

مطالعه و بهینه‌سازی اثرات برخی از عوامل مؤثر بر فرایند استخراج آب آلبالو به روش فیلتر پرس

علی حاجی احمد^{۱*}، امیرحسین میرزابه^۲

- ۱- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول: hajiahmad@ut.ac.ir

چکیده

ایران با سطح زیر کشت آلبالو ۲۱۱۸۱ هکتار و تولید ۹/۶۶٪ از کل تولید جهانی پنجمین تولیدکننده آلبالو در جهان است. مصرف تازه خوری آلبالو به علت فسادپذیری زیاد، محدود بوده و تولید فراورده‌های بر پایه آلبالو یک روش مهم در کاهش ضایعات این محصول است. اولین گام جهت تولید نوشیدنی‌های بر پایه آلبالو، استحصال آب آلبالو است. با توجه به اهمیت طراحی ماشین‌های آبمیوه‌گیری کارا و عملکرد رضایت‌بخش روش فیلتر پرس در آبگیری میوه‌ها، این مطالعه به منظور بررسی و بهینه‌سازی اثرات ارتفاع لایه محصول، قطر سیلندر و بیشینه تنش فشاری وارد بر توده محصول بر درصد آبمیوه استخراج شده از آلبالو، جابجایی بیشینه پیستون، چگالی توده و چگالی واقعی تفاله باقیمانده، رطوبت نسبی و تخلخل نهایی تفاله و مقدار انرژی ویژه مصرف شده انجام شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که اثرات هر سه متغیر ورودی مستقل در سطح احتمال ۱٪ بر کلیه متغیرهای وابسته معنی‌دار شدند. کاهش ارتفاع لایه، افزایش قطر سیلندر و افزایش تنش بیشینه منجر به افزایش درصد آب استحصال می‌گردد، که در این بین افزایش تنش بیشینه بیشترین تأثیر را دارد. معیارهای افزایش درصد آبمیوه استحصال، کاهش انرژی ویژه و افزایش ارتفاع لایه به ترتیب اولویت در بهینه‌سازی فرایند آبگیری اعمال شدند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که انتخاب ارتفاع ۴۲ میلی‌متری لایه‌ها، قطر ۵۵ میلی‌متری سیلندر و اعمال نیروی ۵۰۰ کیلوگرمی منجر به استحصال ۷۶/۱۲٪ آب میوه با درجه مطلوبیت ۸۳/۵۰٪ گردید.

کلمات کلیدی:

قطر سیلندر، تنش فشاری، آبمیوه، چگالی، تخلخل، تفاله، بهینه‌سازی

مطالعه و بهینه‌سازی اثرات برخی از عوامل مؤثر بر فرایند استخراج آب آلبالو به روش فیلتر پرس

فهرست نمادها

نماد	واحد	تعریف	نماد	واحد	تعریف
A	mm	ارتفاع لایه توده محصول	H_{max}	mm	ارتفاع بیشینه لایه توده محصول در آزمایش‌ها
B	mm	قطر سیلندر محفظه آبگیری	H_{min}	mm	ارتفاع کمینه لایه توده محصول در آزمایش‌ها
C	mm	تنش بیشینه وارد بر توده محصول	H_p	mm	ارتفاع لایه توده محصول در نقطه مورد نظر
D	%	درجه مطلوبیت (رضایت‌بخشی)	M	g	جرم آب استحصال شده در فرایند آبگیری
E	kJ/kg	انرژی ویژه وارده به محصول در نقطه مورد نظر	M_{max}	g	جرم آب بیشینه استحصال شده در آزمایش‌ها
E_{abs}	J	انرژی اعمال شده توسط پیستون به توده محصول	M_{min}	g	جرم آب کمینه استحصال شده در آزمایش‌ها
E_{max}	kJ/kg	انرژی ویژه بیشینه در آزمایش‌ها	M_p	g	جرم آب استحصال شده در شرایط مورد نظر
E_{min}	kJ/kg	انرژی ویژه کمینه در آزمایش‌ها	W_E	-	وزن متناظر با انرژی ویژه در بهینه‌سازی
E_p	kJ/kg	انرژی ویژه وارده به محصول در نقطه مورد نظر	W_H	-	وزن متناظر با ارتفاع لایه در بهینه‌سازی
E_{sp}	kJ/kg	انرژی ویژه (وارد بر واحد جرم توده میوه)	W_M	-	وزن متناظر با جرم آب استحصالی در بهینه‌سازی
F	N	نیروی بیشینه وارد بر توده محصول	ρ_b	kg/m ³	چگالی توده تفاله
H	mm	ارتفاع لایه توده محصول	ρ_t	kg/m ³	چگالی واقعی تفاله

مقدمه

آلبالو (*Prunus cerasus* L.) متعلق به خانواده *Rosaceae*، زیر خانواده پرونوئیده، یکی از مهم‌ترین میوه‌های هسته‌دار مناطق معتدله می‌باشد. آلبالو به‌طور عمده در لهستان، روسیه، صربستان، مجارستان، ایران، اتریش، آذربایجان، آلمان و ترکیه تولید می‌شود (FAO, 2019). بر مبنای گزارش‌های سالانه سازمان خواربار و کشاورزی (فائو)، در سال ۲۰۱۷ میلادی تولید سالانه آلبالو در جهان برابر با ۱/۲ میلیون تن و در ایران برابر با ۱۱۶ هزار تن بوده است (FAO, 2019). سطح زیر کشت آلبالو برابر با ۲۱۱۸۱ هکتار بوده و ایران ۹/۶۶٪ کل تولید جهانی را به خود اختصاص داده و پنجمین تولیدکننده آلبالو در جهان است [1].

آلبالو یکی از میوه‌های بومی ایران است که به فرم‌های یخ‌زده، کنسرو شده، آب‌میوه، شور و خشک مصرف می‌شود [2]. مصرف تازه خوری آلبالو به علت فسادپذیری زیاد، محدود بوده و سهم کمی از مصرف را شامل می‌شود. میوه آلبالو سرشار از انواع آنتوسیانین‌ها به‌ویژه سیانیدین ۳-گلیکوزید است [3]. آنتوسیانین‌ها، ترکیبات پلی فنول و بزرگ‌ترین گروه از رنگ‌دانه‌های گیاهی محلول در آب هستند. این ترکیبات فلاونوئیدهایی با خاصیت آنتی‌اکسیدان هستند که برای بسیاری از سیستم‌های بدن نقش محافظتی دارند و به پیشگیری از بیماری‌های قلبی نیز کمک می‌نمایند [4]. مطالعات در مدل‌های حیوانی و انسانی نشان می‌دهد که مصرف پلی فنول‌ها باعث کاهش غلظت کلسترول HDL می‌شوند [5-8]. اثرات مصرف فلاونوئیدها و همچنین آنتوسیانین‌های خاص ایزوله شده از منابع گیاهی آن‌ها بر بیماری‌های قلبی - عروقی در مطالعاتی چند به اثبات رسیده است [9-12]. همچنین آلبالو در

طب سنتی برای درمان التهاب کلیه، ناراحتی‌های کبد، معده، روده و نیز بیماری‌های تبادار مصرف می‌شود [13]. از ترکیب‌هایی که در این گیاه شناسایی شده است می‌توان به فلاونوئیدها، رامنتین، مالویدین، دلفینیدین، پینوسمیرین، نارینجین، کوئرستین، رزوراترول، دی‌هیدروکوئرستین، پئونیدین، اپیژنین، پرو و آتوسیانیدین، گلوکز (فرولوبیل دی - گلوکز، کوماروبیل - گلوکز)، استیبینز، کاتکین‌ها، گالیک اسید، گالوکاتکین و سایر آنتی‌اکسیدان‌ها (نظیر کالوتانین) اشاره نمود [13].

آب‌میوه به‌عنوان یک غذای سالم در حال حاضر توسط درصد زیادی از جمعیت جهان در حال مصرف می‌باشد. آب‌میوه‌ها جزء اساسی و مهم رژیم غذایی به‌شمار می‌روند. طبق تعریف، آب‌میوه‌ها مایع استخراج شده از میوه‌ها هستند که مورد تخمیر قرار نگرفته‌اند و شامل فرآوری‌های اصلی مانند پیش‌تیمار، استخراج عصاره‌ها و تیمارهای پس از پرس می‌باشند معمولاً آب‌میوه‌ها به‌صورت کنسانتره درآمده تا هزینه حمل‌ونقل محصول کاهش یابد [14]. کنسانتره آسان‌تر از خود میوه‌ها برای فرآوری هستند چراکه آب کمتری به آن‌ها اضافه شده و نیز آن‌ها انعطاف‌پذیری بیشتری برای فرمولاسیون دارند [15].

اولین گام جهت تولید فراورده‌هایی نظیر مربا، مارمالاد، آب‌میوه، نوشابه، پاستیل، سس و ژله از آلبالو، استحصال آب آلبالو است. لذا استفاده از دستگاه‌های مکانیزه منطبق بر اصول و موازین بهداشتی جهت آگیری میوه می‌تواند گامی در راستای ایجاد امکان فروش این فراورده‌ها در بازار جهانی باشد. در حال حاضر دستگاه مخصوص آگیری آلبالو وجود ندارد و دستگاه‌های موجود که برای آگیری آلبالو مورد استفاده قرار می‌گیرند دستگاه‌هایی چندمنظوره هستند. اغلب دستگاه‌های چندمنظوره نه تنها عملکرد بهینه را برای آگیری آلبالو ارائه نمی‌دهند بلکه این دستگاه‌ها معمولاً منطبق بر اصول بهداشتی هم نیستند [16].

تاکنون بسیاری از محققان در زمینه طراحی و بهینه‌سازی دستگاه‌های آب‌میوه‌گیری برای میوه‌ها و محصولات کشاورزی مختلف کار کرده‌اند. چندین دستگاه دستی، دستگاه موتوری و نئوماتیکی برای استخراج آب مرکبات تولید و طراحی، ساخته و ارزیابی شده است [17-21]. همچنین، روش‌های مختلفی برای آگیری میوه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. دستگاه‌های پرس غلته‌ای برای آلوئه‌ورا [22]، دستگاه مارپیچ دوار برای انگور [23] و پرس هیدرولیک برای سیب [24] و انار طراحی [25]، ساخته و ارزیابی شده‌اند. استفاده از روش فیلتر پرس برای آگیری محصولات مختلف گزارش شده و در همه موارد، نتایج کاملاً رضایت‌بخش بوده است [26-31].

با توجه به کارایی روش فیلتر پرس در آگیری میوه‌ها و فقدان دستگاه مخصوص آگیری آلبالو، این مطالعه به‌منظور بررسی و بهینه‌سازی برخی از عوامل تأثیرگذار در روش فیلتر پرس بر میزان آب استخراج شده از آلبالو انجام شده است. ارتفاع لایه محصول، قطر سیلندر و بیشینه تنش فشاری وارد بر توده محصول به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. آزمایش‌ها در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی انجام شد. تغییرات درصد آب‌میوه استخراج شده، جابجایی پیستون، چگالی توده و چگالی واقعی تقاله باقیمانده، رطوبت نسبی و تخلخل نهایی تقاله و مقدار انرژی ویژه مصرف شده به‌عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند. در نهایت با توجه به درصد آب استخراج شده و بهره‌وری انرژی، متغیرهای مستقل توسط نرم‌افزار، بهینه‌سازی شده و با آزمون عملی مورد صحت‌سنجی قرار گرفتند.

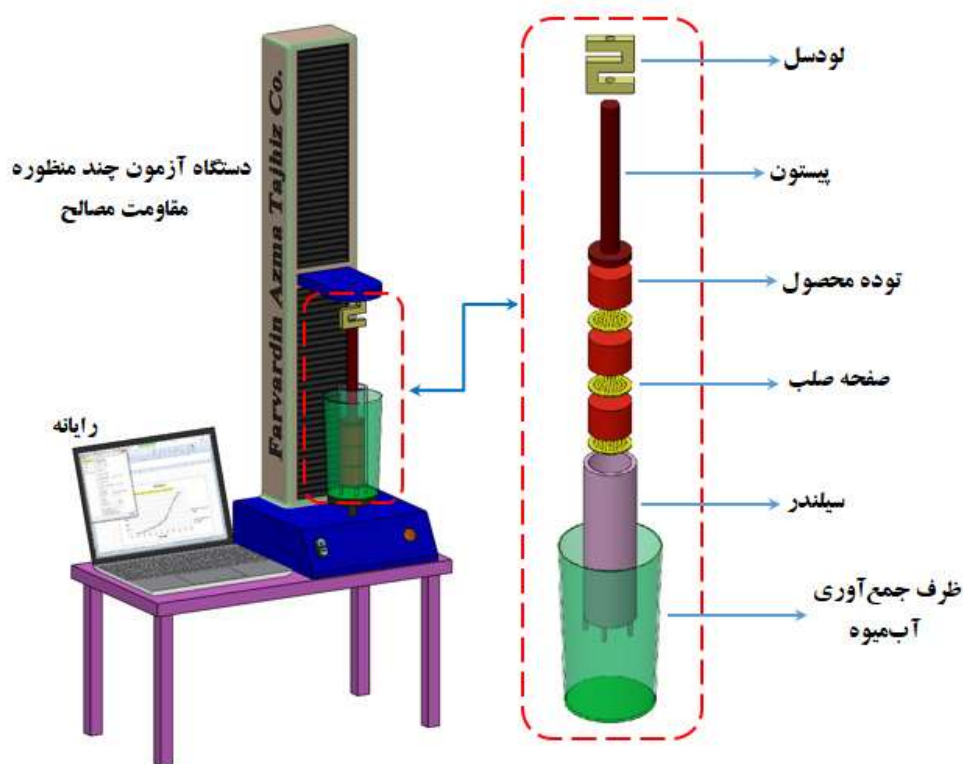
مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف تعیین اثرات برخی از عوامل مؤثر بر سینتیک استخراج آب آلبالو رقم سیگانی انجام شده است. به‌منظور انجام آزمایش‌ها ابتدا میوه‌ها به‌صورت دستی از درخت‌های مختلف از یک باغ محلی در شهرستان

شهریار، در هفتم خردادماه ۱۴۰۰ چیده شدند. مقدار مورد نیاز میوه (حدود ۲۲ کیلوگرم) از درخت‌ها چیده شده و به آزمایشگاه منتقل شد. میوه‌ها تا زمان آزمایش در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس قرار داده شدند. قبل از انجام هر آزمایش ابتدا میوه‌ها به روش دستی هسته‌گیری شدند. میزان رطوبت میوه‌های هسته‌گیری شده بر اساس روش استاندارد آون هوای گرم در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد [32]. همچنین مقادیر چگالی توده و چگالی واقعی میوه‌های هسته‌گیری شده قبل از شروع فرایند آبنگیری، بر مبنای روش‌های ظرف استوانه‌ای با ابعاد استاندارد و پیکنومتر اندازه‌گیری شدند [32]. با معلوم بودن چگالی توده و واقعی، تخلخل اولیه میوه‌های هسته‌گیری شده محاسبه شد. کلیه آزمایش‌ها در سه روز متوالی (هشتم، نهم و دهم خردادماه ۱۴۰۰) با سه تکرار انجام شد.

از دستگاه آزمون چندمنظوره مقاومت مصالح (Hi-500-SE، فروردین آزما تجهیز، ایران) برای ایجاد تنش لازم برای آبنگیری آلپالو استفاده شد. از سه سیلندر با ارتفاع ۲۵۰ میلی‌متر ساخته شده از فولاد ضدزنگ با قطر داخلی ۴۵، ۵۰ و ۵۵ 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 آب میوه فراهم شود. فشار ایجاد شده توسط دستگاه آزمون چندمنظوره مقاومت مصالح با استفاده از پیستون‌هایی به قطر ۴۵، ۵۰ و ۵۵ 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 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 هر یک 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.



شکل ۱- طرح‌واره سامانه استخراج آب آلبالو به روش فیلتر پرس

سه متغیر ارتفاع لایه محصول، قطر سیلندر و تنش بیشینه وارد بر محصول به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. در هر آزمون با قرار دادن دو صفحه فولادی مذکور در بین توده میوه‌های هسته‌گیری شده سه لایه ایجاد شد. ارتفاع لایه‌ها در سه سطح ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر در نظر گرفته شدند. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد قطر سیلندر در سه سطح ۴۵، ۵۰ و ۵۵ میلی‌متر مورد آزمون قرار گرفت. با توجه به متفاوت بودن قطر سیلندرها، به منظور بررسی اثر تنش بیشینه وارد بر توده میوه‌ها، نیروی بیشینه وارده در هر سیلندر دارای سه سطح بود. در سیلندر با قطر داخلی ۴۵ میلی‌متر سطوح نیروی بیشینه شامل ۲۶۷/۷۷، ۳۰۱/۲۴ و ۳۳۴/۷۱ کیلوگرم بودند که تنش‌های متناظر ۱۶۵۱/۶۳، ۱۸۵۸/۰۹ و ۲۰۶۴/۵۴ کیلو پاسکال را به ترتیب ایجاد می‌کردند. در سیلندر با قطر داخلی ۵۰ میلی‌متر سطوح نیروی بیشینه شامل ۳۳۰/۵۸، ۳۷۱/۹۰ و ۴۱۳/۲۲ کیلوگرم بودند. در سیلندر با قطر داخلی ۵۵ میلی‌متر سطوح نیروی بیشینه شامل ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بودند. لازم به ذکر است که در سیلندرهایی با قطر داخلی ۵۰ و ۵۵ میلی‌متر نیز تنش بیشینه ۱۶۵۱/۶۳، ۱۸۵۸/۰۹ و ۲۰۶۴/۵۴ کیلو پاسکال ایجاد می‌شد.

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 هر ثانیه ثبت شدند. با انجام آزمایش‌های اولیه، بهترین سرعت بارگذاری مقدار ثابت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. تمام آزمایش‌ها تا رسیدن به نیروی مورد نظر ادامه یافت. پس از اتمام مدت‌زمان هر آزمون، مقدار آب‌میوه استخراج شده توزین شد. با مشخص بودن

جرم اولیه میوه هسته‌گیری شده، درصد جرمی آبمیوه استحصالی 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 تفاله‌ناشی از هریک از آزمایش‌ها در آون قرار داده شده 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 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. 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 [16].

$$E_{Sp} = \frac{E_{abs}}{M} \quad (1)$$

با در نظر گرفتن متغیرهای مستقل ورودی و نیز در نظر گرفتن درصد آب استحصالی، جابجایی، چگالی توده تفاله، چگالی واقعی تفاله، تخلخل نهایی تفاله، رطوبت نهایی تفاله و انرژی ویژه مصرف شده در طول فرایند به‌عنوان متغیرهای وابسته، توسط نرم‌افزار Design Expert 11 مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. لازم به ذکر است که کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام و نتایج حاصل از میانگین‌گیری سه تکرار مذکور مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. جهت بهینه‌سازی فرایند استخراج آب آلبالو، سه فاکتور ارتفاع لایه‌ها، انرژی ویژه و درصد آبمیوه به‌عنوان عوامل مؤثر در بهینه‌سازی در نظر گرفته شدند و بهینه‌سازی بر مبنای بیشینه شدن درصد استحصال، بیشینه شدن ارتفاع لایه و کمینه شدن انرژی ویژه صورت گرفت. پنج نقطه با متغیرهای ورودی متفاوت از نقاط بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار انتخاب گردیدند. آزمایش‌ها با دو تکرار برای پنج نقطه پیشنهادی نرم‌افزار انجام و پیش‌بینی نرم‌افزار مورد صحت‌سنجی قرار گرفتند. برای محاسبه درجه مطلوبیت^۱ هریک از نقاط بهینه پیشنهادی از رابطه ۲ استفاده گردید [16].

$$D = 100 \left[\left(\frac{H_p - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \right)^{W_H} \left(\frac{M_p - M_{min}}{M_{max} - M_{min}} \right)^{W_M} \left(\frac{E_{max} - E_p}{E_{max} - E_{min}} \right)^{W_E} \right]^{\left(\frac{1}{\sum W} \right)} \quad (2)$$

نتایج و بحث

نتایج حاصل از میانگین‌گیری سه تکرار هریک از آزمایش‌های ۲۷ گلنه طرح فاکتوریل در مورد درصد آب استحصال شده مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. درصد آب استحصال شده به‌صورت نسبت جرم آب‌میوه به جرم اولیه میوه هسته‌گیری شده تعریف شد. مدل‌سازی درصد آب استخراج شده از میوه توسط یک مدل با اثرات متقابل دو عاملی^۲ صورت گرفت که نتایج حاصل از تجزیه واریانس در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در

¹ Desirability

² Two Factor Interaction (2FI)

جدول ۱ مشاهده می‌شود، مدل مذکور در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و دارای ضریب تبیین ۰/۹۶۹۸ و ضریب تغییرات ۷/۶۳۳۰٪ است. لذا می‌توان گفت مدل توانایی بالایی در برازش داده‌ها داشته است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس درصد آب‌میوه استحصال شده

مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات خطا	درجه آزادی	منابع تغییر
<۰/۰۱ **	۱۰۷/۰۴	۱۵۸۵/۴۶	۶	مدل
<۰/۰۱ **	۹۶/۳۶۷	۱۴۲۷/۲۸	۱	ارتفاع لایه (A)
<۰/۰۱ **	۲۱/۱۹۸	۳۱۳/۹۶	۱	قطر سیلندر (B)
<۰/۰۱ **	۵۱۶/۹۹۴	۷۶۵۷/۰۹	۱	تنش بیشینه (C)
۰/۵۸۲۶	۰/۳۱۱۹	۴/۶۲۰۴	۱	AB
۰/۰۲۹۴ *	۵/۴۹۸۴	۸۱/۴۳۶۹	۱	AC
۰/۱۸۱۴	۱/۹۱۶۶	۲۸/۳۸۷۱	۱	BC
		۱۴/۸۱۰۷	۲۰	باقیمانده
			۲۶	مجموع
		۳/۸۴۸۴		انحراف معیار
		۷/۶۳۳۰		ضریب تغییرات %
		۰/۹۶۹۸		ضریب تبیین

*: معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪

** : معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪

نتایج حاصل از تجزیه واریانس جابجایی پیستون در جدول ۲ گزارش شده است. مدل‌سازی مقدار جابجایی پیستون تا رسیدن به تنش بیشینه نیز توسط یک مدل با اثرات متقابل دو عاملی صورت گرفت. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مدل مورد استفاده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و ضریب تبیین ۰/۹۸۴۶ و ضریب تغییرات ۵/۵۴۰۳٪ گویای توانایی بالای مدل در برازش داده‌ها است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس جابجایی پیستون تا رسیدن به تنش بیشینه

مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات خطا	درجه آزادی	منابع تغییر
<۰/۰۱ **	۲۱۳/۱۵	۴۳۹۰/۲۶	۶	مدل
<۰/۰۱ **	۱۰۵۵/۶۵	۲۱۷۴۲/۹۷	۱	ارتفاع لایه (A)
<۰/۰۱ **	۷/۹۸۲۲	۱۶۴/۴۰	۱	قطر سیلندر (B)
<۰/۰۱ **	۱۹۵/۶۱۶	۴۰۲۹/۰۲	۱	تنش بیشینه (C)
۰/۴۳۹۵	۰/۶۲۲۱	۱۲/۸۱۳۳	۱	AB
<۰/۰۱ **	۱۸/۵۹۸۷	۳۸۳/۰۷	۱	AC
۰/۵۱۱۸	۰/۴۴۶۰	۹/۱۸۷۵	۱	BC
		۲۰/۵۹۶۵	۲۰	باقیمانده
			۲۶	مجموع
		۴/۵۳۸۳		انحراف معیار

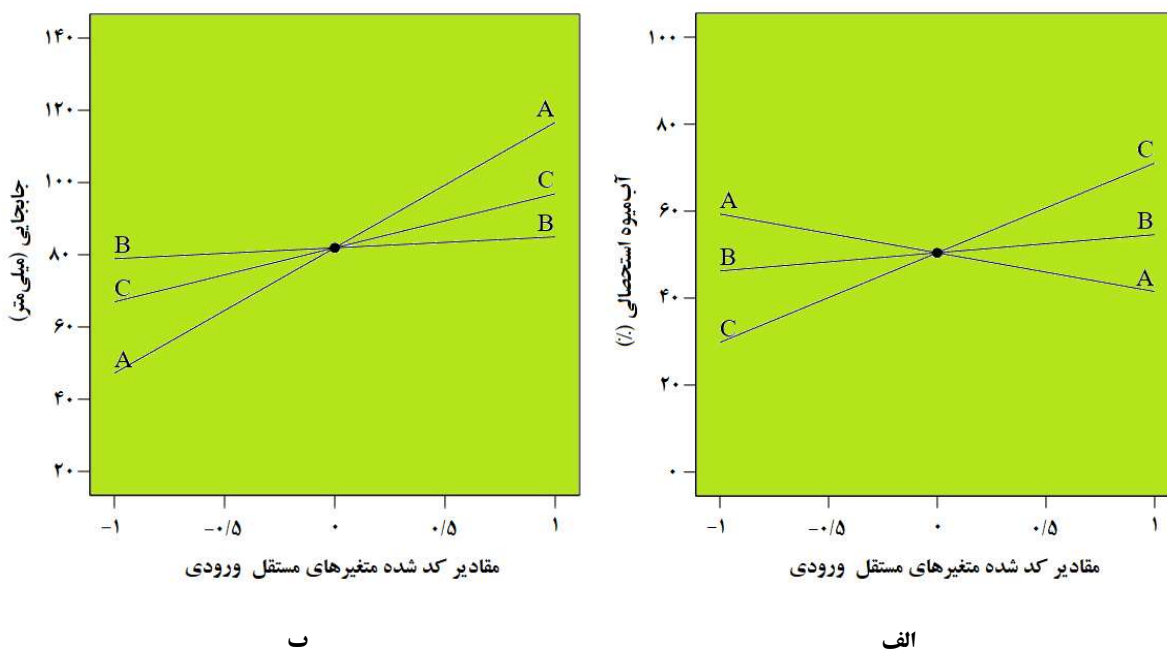
ضریب تغییرات %	۵/۵۴۰۳
ضریب تبیین	۰/۹۸۴۶

** : معنی داری در سطح احتمال ۱ %

با توجه به اینکه سطوح متغیرها با هم متفاوت بودند، جهت معرفی این متغیرها به نرم افزار، سطوح مختلف متغیرها به صورت کد شده برای نرم افزار تعریف شدند. برای کد کردن متغیر ارتفاع لایه، پایین ترین سطح ارتفاع (۲۰ میلی متر) برابر با ۱- و بالاترین سطح ارتفاع (۶۰ میلی متر) برابر با ۱+ در نظر گرفته شدند. در این حالت میانگین ارتفاع بیشینه و کمینه (۴۰ میلی متر) برابر با صفر کدگذاری شد. برای متغیر قطر سیلندر، سه سطح ۴۵، ۵۰ و ۵۵ میلی متر به ترتیب برابر با ۱-، ۰ و ۱+ کدگذاری شدند. برای متغیر تنش بیشینه، سه سطح ۱۶۵۱/۶۳، ۱۸۵۸/۰۹ و ۲۰۶۴/۵۴ کیلو پاسکال به ترتیب با کدهای ۱-، ۰ و ۱+ در نظر گرفته شدند.

نمودار پراکندگی^۱ درصد آب استخراج شده و جابجایی بیشینه پیستون در شکل ۲ نشان داده شده است. طبق جداول ۱ و ۲، اثرات هر سه متغیر مستقل ارتفاع لایه (A)، قطر سیلندر (B) و تنش بیشینه (C) در سطح احتمال ۱ % بر مقدار متغیرهای وابسته درصد آب استخراج شده و جابجایی بیشینه پیستون معنی دار شدند. با توجه به اطلاعات مندرج در جداول ۱ و ۲، متغیرهای ارتفاع لایه و تنش بیشینه دارای اثر متقابل در سطح احتمال ۵ % و ۱ % به ترتیب بر روی درصد آب استخراج شده و جابجایی بیشینه پیستون است، در حالی که سایر اثرات متقابل معنی دار نشدند. با توجه به شکل ۲-الف، کاهش ارتفاع لایه، افزایش قطر سیلندر و افزایش تنش بیشینه منجر به افزایش درصد آب استحصال از میوه آلبالو می شوند. واضح است که به دلیل بیشتر بودن شیب خط تنش بیشینه در نمودار پراکندگی نسبت به شیب خطوط دو متغیر دیگر، درصد آب میوه استحصالی وابستگی بیشتری به تغییرات تنش بیشینه دارد. بررسی اثر متقابل ارتفاع لایه و تنش بیشینه نشان داد که در تنش های بیشینه بزرگ تر، افزایش ارتفاع لایه منجر به کاهش قابل ملاحظه درصد آب میوه استخراجی می گردد؛ این در حالی است که در تنش های بیشینه کوچک تر، افزایش ارتفاع لایه تأثیر چندانی بر مقدار درصد آب میوه استخراج شده ندارد. نتایج بدست آمده در مورد اثر متغیرهای مستقل مورد بررسی بر روی درصد آب استخراج شده با یافته های سایر محققان انطباق دارد [24,33,34].

¹ Perturbation



شکل ۲- نمودار پراکندگی نسبت به تغییرات متغیرهای ورودی (الف) درصد آب‌میوه استحصالی (ب) جابجایی بیشینه پیستون

با توجه به شکل ۲-ب، افزایش مقادیر ارتفاع لایه، قطر سیلندر و تنش بیشینه منجر به افزایش جابجایی بیشینه پیستون می‌شوند. واضح است که به دلیل بیشتر بودن شیب خط ارتفاع لایه در نمودار پراکندگی نسبت به شیب خطوط دو متغیر دیگر، جابجایی بیشینه پیستون وابستگی بیشتری به تغییرات ارتفاع لایه دارد. بررسی اثر متقابل ارتفاع لایه و تنش بیشینه نشان داد که در لایه‌های با ضخامت بیشتر، افزایش تنش بیشینه منجر به افزایش قابل‌ملاحظه جابجایی بیشینه پیستون می‌گردد؛ حال آنکه در لایه‌های با ضخامت کمتر، افزایش تنش بیشینه مقدار محدودتری از اثر گذاری در افزایش مقدار جابجایی بیشینه پیستون را از خود نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله در جدول ۳ گزارش شده است. مدل‌سازی مقدار چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله توسط دو مدل با اثرات متقابل دو عاملی صورت گرفت. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی مقدار چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و به ترتیب ضرایب تبیین ۰/۹۴۵۲ و ۰/۹۵۳۹ همراه با ضرایب تغییرات ۰/۴/۱۲۳۳٪ و ۰/۵/۶۷۴۰٪ گویای توانایی بالای مدل‌های مذکور در برازش داده‌ها است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله

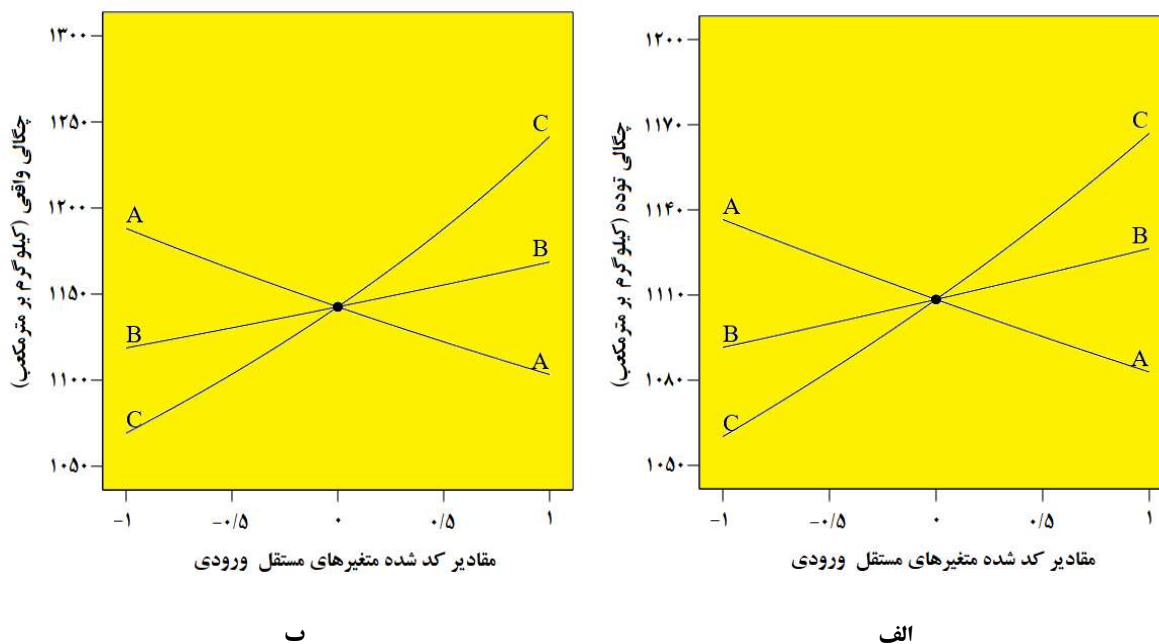
چگالی واقعی (kg/m^3)			چگالی توده (kg/m^3)			درجه آزادی	منابع تغییر
مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات خطا	مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات خطا		

<۰/۰۱ **	۶۹/۰۸۹۲	۱/۰۰۳ E-۱۹	<۰/۰۱ **	۵۷/۵۷۷	E-۲۰ ۵/۲۸۹	۶	مدل
<۰/۰۱ **	۶۸/۰۲۴۰	۹/۸۸۴ E-۲۰	<۰/۰۱ **	۵۵/۴۴۲	E-۲۰ ۵/۰۹۳	۱	ارتفاع لایه (A)
<۰/۰۱ **	۲۳/۷۰۱۸	۳/۴۴۳ E-۲۰	<۰/۰۱ **	۲۳/۳۳۳	E-۲۰ ۲/۱۴۳	۱	قطر سیلندر (B)
<۰/۰۱ **	۲۶۹/۴۵۴۰	۳/۹۱۵ E-۱۹	<۰/۰۱ **	۲۱۵/۶۸۸	E-۱۹ ۱/۹۸۱	۱	تنش بیشینه (C)
۰/۰۴۲۲ *	۴/۷۰۷۳	۶/۸۳۹ E-۲۱	۰/۰۳۱۶ *	۵/۳۳۹۸	E-۲۱ ۴/۹۰۵	۱	AB
<۰/۰۱ **	۳۴/۲۶۰۰	۴/۹۷۸ E-۲۰	<۰/۰۱ **	۳۰/۵۹۴۷	E-۲۰ ۲/۸۱۰	۱	AC
<۰/۰۱ **	۱۴/۳۸۵۵	۲/۰۹۰ E-۲۰	<۰/۰۱ **	۱۵/۰۶۲۴	E-۲۰ ۱/۳۸۳	۱	BC
		۱/۴۵۳ E-۲۱			E-۲۲ ۹/۱۸۷	۲۰	باقیمانده
						۲۶	مجموع
		۳/۸۱۱ E-۱۱			۳/۰۳۱ E-۱۱		انحراف معیار
	۵/۶۷۴۰				۴/۱۲۳۳		ضریب تغییرات %
	۰/۹۵۳۹				۰/۹۴۵۲		ضریب تبیین

*: معنی داری در سطح احتمال ۰.۵ %

** : معنی داری در سطح احتمال ۰.۱ %

نمودار پراکندگی چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله در شکل ۳ نشان داده شده است. طبق جدول ۳، اثرات هر سه متغیر مستقل ارتفاع لایه، قطر سیلندر و تنش بیشینه در سطح احتمال ۰.۱ % بر مقدار چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله معنی دار شدند. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۳، کلیه اثرات متقابل متغیرهای ورودی بر روی چگالی توده و واقعی نهایی تفاله معنی دار شدند. با توجه به شکل ۳، کاهش ارتفاع لایه، افزایش قطر سیلندر و افزایش تنش بیشینه منجر به افزایش چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله می شوند. واضح است که به دلیل بیشتر بودن شیب خط تنش بیشینه در نمودار پراکندگی نسبت به شیب خطوط دو متغیر دیگر، مقادیر چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله وابستگی بیشتری به تغییرات تنش بیشینه دارند. بررسی اثر متقابل ارتفاع لایه و قطر سیلندر نشان داد که با افزایش قطر سیلندر در لایه‌های با ارتفاع کمتر، افزایش محسوس تر چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله نسبت به لایه‌های با ارتفاع کمتر مشاهده می گردد. همچنین، بررسی اثر متقابل ارتفاع لایه و تنش بیشینه نشان داد که در تنش‌های بیشینه بزرگ تر، افزایش ارتفاع لایه منجر به کاهش قابل ملاحظه چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله می گردد؛ این در حالی است که در تنش‌های بیشینه کوچک تر، افزایش ارتفاع لایه تأثیر چندانی بر چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله ندارد. ضمناً افزایش قطر سیلندر در تنش‌های بیشینه کمتر، موجب افزایش محدودتری از چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله نسبت به تنش‌های بیشینه بیشتر می شود.



شکل ۳- نمودار پراکندگی نسبت به تغییرات متغیرهای ورودی (الف) چگالی توده نهایی تفاله (ب) چگالی واقعی نهایی تفاله

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تخلخل و رطوبت نهایی تفاله در جدول ۴ گزارش شده است. مدل سازی مقدار چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله توسط دو مدل با اثرات متقابل دو عاملی صورت گرفت. همان گونه که مشاهده می شود، مدل های مورد استفاده در پیش بینی مقدار چگالی توده و چگالی واقعی نهایی تفاله در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بوده و به ترتیب ضرایب تبیین ۰/۹۷۲۴ و ۰/۹۶۱۳ همراه با ضرایب تغییرات ۱/۷۵۱۳٪ و ۶/۶۶۸۴٪ گویای توانایی بالای مدل های مذکور در برازش داده ها است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تخلخل و رطوبت نهایی تفاله

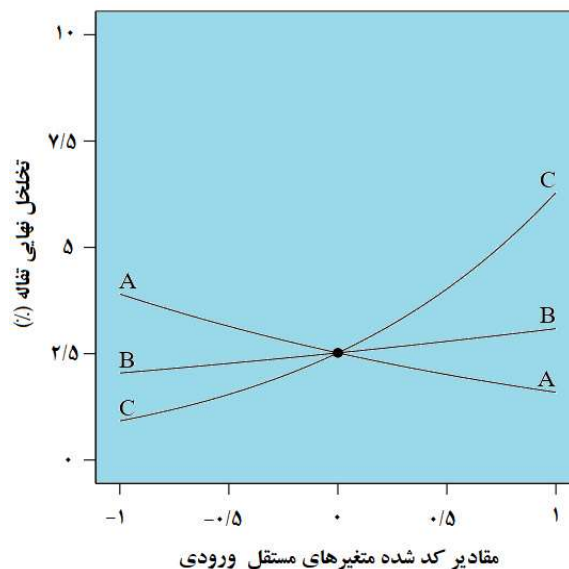
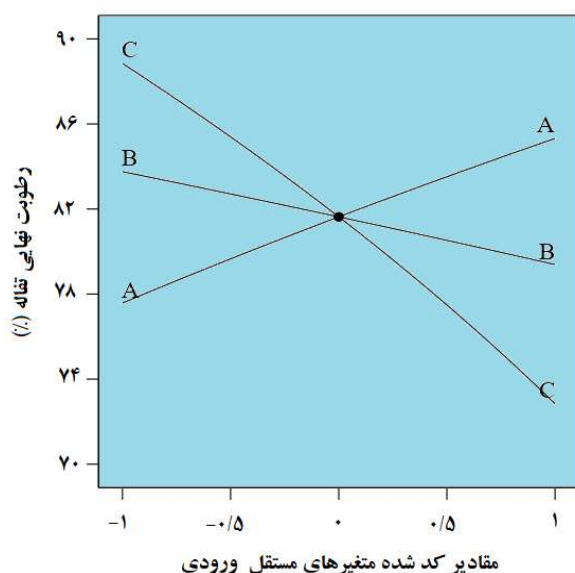
رطوبت نهایی (٪ بر مبنای وزن تر)			تخلخل نهایی (٪)			درجه آزادی	منابع تغییر
مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات خطا	مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات خطا		
<۰/۰۱ **	۸۲/۹۸۹	۱/۰۹۵×۱۰ ^{۱۱}	<۰/۰۱ **	۱۱۷/۷۷	۰/۰۴۳۳	۶	مدل
<۰/۰۱ **	۸۰/۸۴۶	۱/۰۶۷×۱۰ ^{۱۱}	<۰/۰۱ **	۱۱۸/۴۰	۰/۰۴۳۵	۱	ارتفاع لایه (A)
<۰/۰۱ **	۲۵/۸۶۰۳	۳۴۱۳۱۶۳۷۴۸۸	<۰/۰۱ **	۲۵/۰۵۶۷	۰/۰۰۹۲	۱	قطر سیلندر (B)
<۰/۰۱ **	۳۳۷/۰۳۸	۴/۴۴۸×۱۰ ^{۱۱}	<۰/۰۱ **	۵۴۱/۱۷۹	۰/۱۹۹۱	۱	تنش پیشینه (C)
۰/۰۶۳۷	۳/۸۵۲۲	۵۰۸۴۳۷۲۱۶۴	۰/۲۰۱۹	۱/۷۴۰۳	۰/۰۰۰۶	۱	AB
<۰/۰۱ **	۳۶/۵۹۱۶	۴۸۲۹۵۳۰۸۷۷۱	<۰/۰۱ **	۱۳/۸۹۴۶	۰/۰۰۵۱	۱	AC
<۰/۰۱ **	۱۳/۷۴۲۴	۱۸۱۳۷۹۲۳۵۴۶	۰/۰۲۰۲ *	۶/۳۶۰۷	۰/۰۰۲۳	۱	BC
		۱۳۱۹۸۴۴۲۴۹			۰/۰۰۰۳	۲۰	باقیمانده

مجموع	۲۶	
انحراف معیار	۰/۰۱۹۸	۳۶۳۲۹/۶۶
ضریب تغییرات ٪	۱/۷۵۱۳	۶/۶۶۸۴
ضریب تبیین	۰/۹۷۲۴	۰/۹۶۱۳

*: معنی داری در سطح احتمال ۰.۵٪

** : معنی داری در سطح احتمال ۰.۱٪

نمودار پراکندگی تخلخل و رطوبت نهایی تفاله در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق جدول ۴، اثرات هر سه متغیر مستقل ارتفاع لایه، قطر سیلندر و تنش بیشینه در سطح احتمال ۰.۱٪ بر مقدار تخلخل و رطوبت نهایی تفاله معنی دار شدند. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۴، اثر متقابل متغیرهای ورودی ارتفاع لایه و قطر سیلندر بر روی تخلخل و رطوبت نهایی تفاله معنی دار نشد. با توجه به شکل ۴، کاهش ارتفاع لایه، افزایش قطر سیلندر و افزایش تنش بیشینه منجر به افزایش تخلخل و کاهش رطوبت نهایی تفاله می‌شوند. بدیهی است که به دلیل بیشتر بودن شیب خط تنش بیشینه در نمودار پراکندگی نسبت به شیب خطوط دو متغیر دیگر، مقادیر تخلخل و رطوبت نهایی تفاله وابستگی بیشتری به تغییرات تنش بیشینه دارند. بررسی اثر متقابل ارتفاع لایه و تنش بیشینه وارد بر توده محصول نشان داد که با افزایش ضخامت لایه در تنش‌های بیشینه بزرگ‌تر، کاهش محسوس تخلخل و افزایش چشمگیر رطوبت نهایی تفاله می‌گردد، درحالی‌که اثر تغییرات ضخامت لایه در تنش‌های بیشینه کوچک‌تر در مقدار تخلخل و رطوبت نهایی تفاله قابل چشم‌پوشی است. همچنین، بررسی اثر متقابل قطر سیلندر و تنش بیشینه نشان داد که در تنش‌های بیشینه بزرگ‌تر، افزایش قطر سیلندر منجر به کاهش قابل‌ملاحظه رطوبت نهایی تفاله و افزایش چشمگیر تخلخل نهایی تفاله می‌گردد؛ این در حالی است که در تنش‌های بیشینه کوچک‌تر، این افزایش تأثیر چندانی بر تغییرات دو کمیت مذکور ندارند. یافته‌های بدست آمده در مورد اثر متغیرهای مستقل مورد مطالعه بر روی تخلخل و رطوبت نهایی تفاله با نتایج سایر محققان انطباق دارد [26,28,31].



ب

الف

شکل ۴- نمودار پراکندگی نسبت به تغییرات متغیرهای ورودی (الف) تخلخل نهایی تقاله ب) رطوبت نهایی تقاله

نتایج حاصل از تجزیه واریانس انرژی ویژه در جدول ۵ گزارش شده است. مدل سازی مقدار انرژی ویژه توسط مدلی با اثرات متقابل دو عاملی صورت گرفت. همان گونه که مشاهده می شود، مدل مورد استفاده در پیش بینی مقدار انرژی ویژه، در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بوده و به ترتیب ضریب تبیین ۰/۸۶۷۷ و ضریب تغییرات ۱۴/۲۴۳۱٪ گویای توانایی بالای مدل های مذکور در برازش داده ها است.

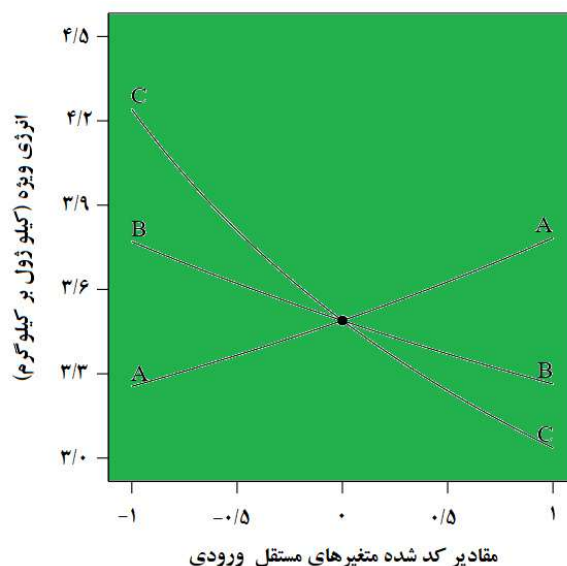
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس انرژی ویژه مصرفی (جذب شده توسط محصول)

مقدار P	مقدار F	میانگین مربعات خطا	درجه آزادی	منابع تغییر
<۰/۰۱ **	۲۱/۸۵۳۷	۰/۰۰۳۱	۶	مدل
<۰/۰۱ **	۱۸/۶۰۴۶	۰/۰۰۲۶	۱	ارتفاع لایه (A)
<۰/۰۱ **	۱۷/۱۵۳۹	۰/۰۰۲۴	۱	قطر سیلندر (B)
<۰/۰۱ **	۸۶/۲۲۴۰	۰/۰۱۲۲	۱	تنش بیشینه (C)
۰/۱۲۸۱	۲/۵۱۹۳	۰/۰۰۰۴	۱	AB
۰/۲۱۰۵	۱/۶۷۳۷	۰/۰۰۰۲	۱	AC
۰/۰۳۸۷ *	۴/۹۴۶۲	۰/۰۰۰۷	۱	BC
		۰/۰۰۰۱	۲۰	باقیمانده
			۲۶	مجموع
			۰/۰۱۱۹	انحراف معیار
			۱۴/۲۴۳۱	ضریب تغییرات %
			۰/۸۶۷۷	ضریب تبیین

*: معنی داری در سطح احتمال ۵٪

** : معنی داری در سطح احتمال ۱٪

نمودار پراکندگی انرژی ویژه در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق جدول ۵، اثرات هر سه متغیر مستقل ارتفاع لایه، قطر سیلندر و تنش بیشینه در سطح احتمال ۱٪ بر مقدار انرژی ویژه معنی دار شدند. با توجه به شکل ۵، کاهش ارتفاع لایه، افزایش قطر سیلندر و افزایش تنش بیشینه منجر به کاهش انرژی ویژه می شوند این نتایج در یافته های سایر پژوهشگران نیز به چشم می خورد [16,27]. بدیهی است که به دلیل بیشتر بودن شیب خط تنش بیشینه در نمودار پراکندگی نسبت به شیب خطوط دو متغیر دیگر، مقدار انرژی ویژه وابستگی بیشتری به تغییرات تنش بیشینه دارد. بررسی اثر متقابل قطر سیلندر و تنش بیشینه وارد بر توده محصول نشان داد که افزایش قطر سیلندر در تنش های بیشینه بزرگ تر، منجر به کاهش محسوس تر انرژی ویژه می گردد، در حالی که اثر تغییرات قطر سیلندر در تنش های بیشینه کوچک تر در مقدار انرژی ویژه قابل اغماض است.



شکل ۵- نمودار پراکنندگی انرژی ویژه مصرفی (جذب شده توسط محصول) نسبت به تغییرات متغیرهای ورودی

پس از استخراج موفقیت آمیز مدل‌های پیش‌بینی رفتار تغییرات متغیرهای وابسته نسبت به ارتفاع لایه، قطر سیلندر و تنش بیشینه، بهینه‌سازی فرایند استحصال آب آلبالو با معیارهای افزایش درصد آب‌میوه استخراج شده، کاهش انرژی ویژه مصرفی و افزایش نرخ آنگیری با افزایش حجم بارگیری در هر چرخه به کمک نرم‌افزار Design Expert صورت پذیرفت. با توجه به اینکه قیمت واحد انرژی در مقایسه با قیمت واحد جرم آب‌میوه استحصالی حدود ۵۰٪ است، ضریب وزنی درصد تولید آب‌میوه نسبت به انرژی ویژه دو برابر لحاظ گردید. به دلیل اهمیت کاهش زمان بارگیری میوه در هر چرخه، و تناسب حجم بارگیری با ارتفاع لایه، ضریب وزنی ۱ به ارتفاع لایه اختصاص داده شد. پس از اعمال ضرایب وزنی در رابطه ۲، بهینه‌سازی بر مبنای بهبود درجه مطلوبیت بیشینه شدن درصد آب‌میوه استخراجی، کمینه شدن انرژی ویژه و بیشینه شدن ارتفاع لایه (کمینه شدن دفعات بارگیری در طول ساعات کار ماشین) به ترتیب با ضرایب وزنی ۴، ۲ و ۱ صورت گرفت. در رابطه ۲، مقادیر کمینه و بیشینه ارتفاع لایه، درصد آب استحصالی و انرژی ویژه به ترتیب برابر با ۲۰ و ۶۰ میلی‌متر، ۱۸/۷۰ و ۸۶/۳۷ درصد و ۲/۷۰ و ۵/۸۳ کیلوژول بر کیلوگرم به دست آمده از میانگین گیری سه تکرار هر یک از تیمارها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج مربوط به ۵ نقطه بهینه با متغیرهای ورودی متمایز در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- نتایج پیش‌بینی ۵ نقطه بهینه در فرایند استحصال آب آلبالو با متغیرهای ورودی متمایز

شماره نقطه	ارتفاع لایه (mm)	قطر سیلندر (mm)	نیروی بیشینه (kg)	درصد آبدهی (%)	جابجایی پیستون (mm)	چگالی واقعی تفاله (kg/m ³)	چگالی توده تفاله (kg/m ³)	تخلخل تفاله (%)	رطوبت تفاله (%)	انرژی ویژه (kJ/kg)	درجه مطلوبیت (%)
۱	۴۲	۵۵	۵۰۰	۷۵/۴۱	۱۰۵/۳۸	۱۲۹۸/۳۴	۱۲۰۲/۳۹	۷/۸۳	۶۸/۶۲	۲/۷۹	۸۲/۴۴
۲	۵۵	۵۵	۵۰۰	۶۷/۶۱	۱۳۲/۰۴	۱۲۱۲/۲۳	۱۱۵۲/۲۹	۵/۱۸	۷۵/۲۸	۲/۸۱	۸۰/۷۳

۷۵/۶۶	۳/۰۱	۷۱/۸۱	۶/۶۸	۱۱۷۴/۲۳	۱۲۵۳/۸۸	۹۱/۹	۷۲/۴۶	۴۱۳/۲۲	۵۰	۳۷/۵	۳
۷۳/۴۵	۳/۱۲	۷۹/۰۳	۳/۹۷	۱۱۲۲/۶۲	۱۱۶۷/۲۳	۱۲۷/۳۶	۶۲/۳۶	۴۱۳/۲۲	۵۰	۵۵	۴
۶۸/۴۲	۳/۳۶	۷۸/۵۷	۴/۲۶	۱۱۲۱/۵۵	۱۱۷۰/۱۲	۹۷/۹۱	۶۳/۹۶	۳۳۴/۷۱	۴۵	۴۲/۵	۵

به منظور صحت سنجی نتایج بهینه‌سازی انجام شده توسط نرم‌افزار، متغیرهای ورودی هر یک از نقاط پیشنهادی ارائه شده در جدول ۶ در دو تکرار مورد آزمون قرار گرفتند. در جدول ۷ میانگین نتایج به دست آمده برای هر یک از نقاط پیشنهادی ۵ گانه ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، در نقاط ۱، ۲ و ۴ میانگین درجه مطلوبیت محاسبه شده نسبت به درجه مطلوبیت مورد انتظار بالاتر بوده است. مقایسه جداول ۶ و ۷ نشان می‌دهد که در کلیه موارد اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی نرم‌افزار و میانگین محاسبه شده از نتایج دو تکرار صحت سنجی کمتر از ۲/۳۰٪ است.

جدول ۷- میانگین نتایج صحت سنجی ۵ نقطه بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار

شماره نقطه	ارتفاع لایه (mm)	قطر سیلندر (mm)	نیروی بیشینه (kg)	درصد آبدهی (٪)	جابجایی پیستون (mm)	چگالی واقعی تفاله (kg/m ³)	چگالی توده تفاله (kg/m ³)	تخلخل تفاله (٪)	رطوبت تفاله (٪)	انرژی ویژه (kJ/kg)	درجه مطلوبیت (٪)
۱	۴۲	۵۵	۵۰۰	۷۶/۱۲	۱۰۴/۶۹	۱۲۱۲/۱۳	۱۳۱۰/۹۵	۷/۸۰	۶۸/۱۸	۲/۷۳	۸۳/۵۰
۲	۵۵	۵۵	۵۰۰	۶۷/۴۳	۱۳۲/۴۵	۱۱۶۰/۹۱	۱۲۱۲/۰۳	۵/۱۸	۷۴/۸۹	۲/۷۴	۸۱/۰۴
۳	۳۷/۵	۵۰	۴۱۳/۲۲	۷۱/۷۷	۹۲/۱	۱۱۷۳/۶۴	۱۲۶۵/۶۹	۶/۷۲	۷۱/۳۷	۲/۹۶	۷۵/۴۹
۴	۵۵	۵۰	۴۱۳/۲۲	۶۲/۹۳	۱۲۶/۸۱	۱۱۲۸/۸۳	۱۱۷۶/۸۷	۳/۹۷	۷۸/۷۰	۳/۰۹	۷۴/۱۵
۵	۴۲/۵	۴۵	۳۳۴/۷۱	۶۳/۴۹	۹۸/۱۳	۱۱۱۸/۱۷	۱۱۶۹/۲۹	۴/۲۵	۷۸/۴۰	۳/۳۳	۶۸/۲۴

نتیجه‌گیری

نه تنها آب‌میوه به عنوان یک غذای سالم در حال حاضر توسط درصد زیادی از جمعیت جهان در حال مصرف بوده و آب‌میوه‌ها جزء اساسی و مهم رژیم غذایی به شمار می‌روند، بلکه ای میوه‌گیری به عنوان یکی از روش‌های کار آمد در زمینه کاهش ضایعات محصولات کشاورزی است. روشهای و ماشینهای مختلفی برای استخراج آب انواع میوه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در این بین روش فیلتر پرس به عنوان یکی از روشهای رایج و موثر شناخته می‌شود. در پژوهش حاضر، اثرات ارتفاع لایه محصول (در سه سطح ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر)، قطر سیلندر (در سه سطح ۴۵٪، ۵۰ و ۵۵ میلی‌متر) و بیشینه تنش فشاری وارد بر توده محصول (در سه سطح ۱۶۵۱/۶۳، ۱۸۵۸/۰۹ و ۲۰۶۴/۵۴ کیلو پاسکال) بر درصد آب‌میوه استخراج شده از آلبالو، جابجایی بیشینه پیستون (جابجایی توده میوه)، چگالی توده و چگالی واقعی تفاله باقیمانده، رطوبت نسبی و تخلخل نهایی تفاله و مقدار انرژی ویژه مصرف شده مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد که تغییر متغیرهای ورودی می‌تواند منجر به تغییرات درصد آب‌میوه استخراج شده از آلبالو در محدوده ۱۸/۷۰٪ تا ۸۶/۳۶٪، جابجایی بیشینه پیستون در محدوده ۳۵/۲ تا ۱۳۶/۹ میلی‌متر، چگالی توده تفاله در محدوده ۱۰۵۴/۹۴ تا ۱۳۶۸/۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، چگالی واقعی تفاله در محدوده ۱۰۶۰/۶۳ تا ۱۶۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب، تخلخل نهایی تفاله در محدوده ۰/۵۴ تا ۱۷/۲۶٪ و رطوبت نسبی تفاله در محدوده ۳۵٪ تا ۸۹/۴۲٪ میشوند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی نشان داد که در کلیه موارد اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی نرم‌افزار و میانگین محاسبه شده از نتایج دو تکرار صحت سنجی کمتر از ۲/۳۰٪ بوده و بیشینه درجه مطلوبیت قابل دستیابی برابر با ۸۳/۵۰٪ است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان پژوهش حاضر کمال مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاری شرکت فروردین آزما تجهیز، مهندس رضا پارسایی، مهندس میثم امامیان و دکتر محمدحسن ترابی اعلام می‌دارند.

منابع

- [1] Vahid-Berimanlou R, Nadi F. Investigating the Energy Consumption and Economic Indices for Sweet-Cherry and Sour-Cherry Production in Northeastern Iran. *J Agric Mach* 2021;11:97-110.
- [2] Boriss H, Brunke H, Specialist A, Kreith M. Commodity Profile: Cherries, Sweet and Tart. *Agric Mark Resour Cent (Ag MRC)* 2006.
- [3] Blando F, Gerardi C, Nicoletti I. Sour cherry (*Prunus cerasus* L) anthocyanins as ingredients for functional foods. *J Biomed Biotechnol* 2004;2004:253.
- [4] Harborne JB, Grayer RJ. The anthocyanins. *The flavonoids*, Springer; 1988, p. 1-20.
- [5] Arts ICW, Jacobs DR, Gross M, Harnack LJ, Folsom AR. Dietary catechins and cancer incidence among postmenopausal women: the Iowa Women's Health Study (United States). *Cancer Causes Control* 2002;13:373-82.
- [6] Knekt P, Jarvinen R, Reunanen A, Maatela J. Flavonoid intake and coronary mortality in Finland: a cohort study. *Bmj* 1996;312:478-81.
- [7] Ikeda I, Imasato Y, Sasaki E, Nakayama M, Nagao H, Takeo T, et al. Tea catechins decrease micellar solubility and intestinal absorption of cholesterol in rats. *Biochim Biophys Acta (BBA)-Lipids Lipid Metab* 1992;1127:141-6.
- [8] Hertog MGL, Feskens EJM, Kromhout D, Hollman PCH, Katan MB. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. *Lancet* 1993;342:1007-11.
- [9] Zern TL, Wood RJ, Greene C, West KL, Liu Y, Aggarwal D, et al. Grape polyphenols exert a cardioprotective effect in pre-and postmenopausal women by lowering plasma lipids and reducing oxidative stress. *J Nutr* 2005;135:1911-7.
- [10] Xu J-W, Ikeda K, Yamori Y. Upregulation of endothelial nitric oxide synthase by cyanidin-3-glucoside, a typical anthocyanin pigment. *Hypertension* 2004;44:217-22.
- [11] Preuss HG, Wallerstedt D, Talpur N, Tutuncuoglu SO, Echard B, Myers A, et al. Effects of niacin-bound chromium and grape seed proanthocyanidin extract on the lipid profile of hypercholesterolemic subjects: a pilot study. *J Med* 2000;31:227-46.
- [12] Sautebin L, Rossi A, Serraino I, Dugo P, Di Paola R, Mondello L, et al. Effect of anthocyanins contained in a blackberry extract on the circulatory failure and multiple organ dysfunction caused by endotoxin in the rat. *Planta Med* 2004;70:745-52.
- [13] Golabi S, hassanpour-ezati M, Rohampour K. Effect of aqueous extracts of sun-dew (*Drosera spatulata*) on the firing rate of PGI nucleus neurons after formalin-induced pain in rats. *J Physiol Pharmacol* 2010;14:282-7.
- [14] Daliri S, Khorshidpour B, Pourahmad R. Investigation of the Possibility of Probiotic Juice Production Based on Mixture of Sour Cherry, Cranberry and Apple by *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*. *J Food Technol Nutr* 2020;17:53-66.
- [15] Falade KO, Babalola SO, Akinyemi SOS, Ogunlade AA. Degradation of quality attributes of sweetened Julie and Ogbomoso mango juices during storage. *Eur Food Res Technol* 2004;218:456-9.
- [16] Mirzabe AH, Hajiahmad A, Asadollahzadeh AH. Extracting barberry juice: Mathematical models describing loading stage, stress-relaxation behavior, and momentary juice mass. *J Food Process Eng* 2021;44.
- [17] Bhalekar SD. Design and Fabrication of Pneumatic Operated Juice Extract Machine 2019.
- [18] Khazaei J, Massah J, Mansouri GH. Effect of some parameters of air-jet on pneumatic extraction of citrus juice and juice sacs. *J Food Eng* 2008;88:388-98.
- [19] Michael UO, Bamidele OB, Aromuegbe IP. Fabrication and testing of a manually operated citrus juice extracting machine. *Indian J Eng* 2018;15:111-6.
- [20] Odewole MM, Falua KJ, Adebisi SO, Abdullahi KO. Development and Performance Evaluation of a Manually-

- Operated Multipurpose Fruit Juice Extractor. *FUOYE J Eng Technol* 2018;3.
- OO Martins BO, OH Adeyemi OM. Design and Construction of a Motorized Citrus Juice Extractor 2018. [21]
- Dinesha DT, Ramachandra CT, Uday kumar Nidoni S. Performance evaluation of roller type aloe vera gel [22]
extraction machine. *J Pharmacogn Phytochem* 2019;8:1987-92.
- Formato A, Ianniello D, Romano R, Pellegrino A, Vilecco F. Design and development of a new press for grape [23]
marc. *Machines* 2019;7:51.
- Wilczyński K, Kobus Z, Dziki D. Effect of Press Construction on Yield and Quality of Apple Juice. *Sustainability* [24]
2019;11:3630.
- De Pasquale C, Catania P, Vallone M. Influence of the Pressing System on Pomegranate Juice Physical-Chemical [25]
Properties. *Chem Eng Trans* 2017;58:433-8.
- Rao MA, Cooley HJ. Role of cultivar and press aid in pressing characteristics and juice yields of crushed grapes. [26]
J Food Process Eng 1992;15:65-79.
- Sreedevi P, Rao PS. Microbial destruction kinetics of high-pressure-processed sugarcane juice (*Saccharum* [27]
officinarum). *J Food Process Eng* 2018;41:e12850.
- Pei L, Hou S, Wang L, Chen J. Effects of high hydrostatic pressure, dense phase carbon dioxide, and thermal [28]
processing on the quality of Hami melon juice. *J Food Process Eng* 2018;41:e12828.
- Mushtaq M. Extraction of fruit juice: An overview. *Fruit juices*, Elsevier; 2018, p. 131-59. [29]
- Latif S, Romuli S, Barati Z, Müller J. CFD assisted investigation of mechanical juice extraction from cassava [30]
leaves and characterization of the products. *Food Sci Nutr* 2020;8:3089-98.
- Moreira SA, Pintado ME, Saraiva JA. Effect of a winter savory leaf extract obtained using high hydrostatic [31]
pressure on the quality of carrot juice. *J Sci Food Agric* 2021;101:74-81.
- Mirzabe AH, Hajjahmad A, Asadollahzadeh AH. Moisture-dependent engineering properties of arugula seed [32]
relevant in mechanical processing and bulk handling. *J Food Process Eng* 2021:e13704.
- Kips L, De Paepe D, Van Meulebroek L, Van Poucke C, Larbat R, Bernaert N, et al. A novel spiral-filter press [33]
for tomato processing: process impact on phenolic compounds, carotenoids and ascorbic acid content. *J Food Eng*
2017;213:27-37.
- Buvé C, Kebede BT, De Batselier C, Carrillo C, Pham HTT, Hendrickx M, et al. Kinetics of colour changes in [34]
pasteurised strawberry juice during storage. *J Food Eng* 2018;216:42-51.

Study and optimization of the effects of some factors affecting the sour cherry juice extraction process by the filter press method

Ali hajiahmad^{1*}, Amir Hosein Mirzabe²

1. Assistant Professor, Department of Mechanics of Biosystem Engineering, Faculty of Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Ph.D. candidate, Department of Mechanics of Biosystem Engineering, Faculty of Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding author: hajiahmad@ut.ac.ir

Abstract

Iran is the fifth-largest producer of sour cherries in the world, with a field area of 21,181 hectares and a production of 9.66% of the total world production. Consumption of fresh cherries is limited due to high perishability, and the production of sour cherry-based products is a critical way to reduce the waste of this product. The first step in producing sour cherry-based beverages is to extract sour cherry juice. Considering the importance of designing efficient juicers and the satisfactory performance of the filter press method in fruit juicing, this study aims to investigate and optimize the effects of layer height, cylinder diameter, and maximum compressive stress on the percentage of juice extracted from sour cherries, maximum piston displacement (deformation of fruits), bulk and true density of pomace, porosity and relative humidity of pomace, and the amount of specific energy consumed. The results showed that all three independent input variables were significant at the level of 1% probability on all dependent variables. Decreasing the layer height, increasing the cylinder diameter, and increasing the maximum stress lead to an increase in the percentage of extracted juice, among which increased the maximum stress is the most significant factor. The criteria of increasing the percentage of extracted fruit juice, decreasing the specific energy, and increasing the layer's height were applied as priorities in optimizing the juicing process, respectively. The optimization results showed that the selection of 42 mm height of the layers, 55 mm diameter of the cylinder, and the application of 500 kg force resulted in the extraction of 76.12% of the juice with a degree of desirability of 83.50%.

Keywords: Cylinder diameter, Compressive stress, Juice, Density, Porosity, Pomace, Optimization.