

تحلیل روش فیلتر پرس کنترل شده به منظور استخراج ویژگی‌های رئولوژیکی بافت

میوه هندوانه در فرآیند آب‌گیری

جواد طریقی^{۱*}، اکبر عطایی^۲، علی حاجی‌احمد^۳

*۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

* ایمیل نویسنده مسئول: tarighi@uma.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴

چکیده

از آنجایی که ضایعات محصول هندوانه با فاصله گرفتن از زمان برداشت بیشتر می‌شود، راه حل مناسب جهت جلوگیری از این ضایعات، سوق دادن آن به سمت صنایع تبدیلی است. تولید فرآورده‌ها بر پایه هندوانه یک روش مهم در کاهش ضایعات این محصول است. اولین گام جهت تولید نوشیدنی‌های هندوانه، استحصال آب هندوانه است. با توجه به اهمیت طراحی ماشین‌های آب‌میوه‌گیری کارا و عملکرد رضایت بخش روش فیلتر پرس در آب‌گیری میوه‌ها، این مطالعه به منظور بررسی اثرات بارگذاری بیشینه، تعداد لایه‌ها و سرعت بارگذاری بر درصد آب میوه استخراج شده از هندوانه، جرم لحظه‌ای آب میوه، نیرو و جابجایی انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که اثرات هر سه متغیر ورودی مستقل در سطح احتمال ۱٪ بر کلیه متغیرهای وابسته معنی‌دار شدند. افزایش بارگذاری بیشینه، افزایش تعداد لایه‌ها و کاهش سرعت بارگذاری منجر به افزایش درصد آب استحصال می‌گردد. نتایج نشان داد پایین‌ترین درصد آب میوه استحصالی به مقدار ۵/۹۵ درصد و بالاترین درصد آب میوه استحصالی با مقدار ۹۵/۳۶ درصد است.

کلمات کلیدی

"آب میوه"، "بارگذاری بیشینه"، "فیلتر پرس"، "نرخ بارگذاری"، "هندوانه"

۱- مقدمه

درصد آب، ۳۱/۵ درصد پوسته و ۱۰/۴ درصد تفاله تولید می‌کنند (Oberoi and Sogi, 2017). کاروتن‌ها مانند لیکوپن و β کاروتن به ترتیب نشانگر رنگ‌های قرمز و نارنجی هندوانه هستند. شیرینی هندوانه عمدتاً به دلیل ترکیبی از ساکارز، گلوکز و فروکتوز است. ساکارز و گلوکز ۲۰-۴۰ درصد و فروکتوز ۳۰-۵۰ درصد کل قندهای یک هندوانه رسیده را تشکیل می‌دهند (Bianchi et al., 2018). آب هندوانه دارای مقادیر شگفت‌آور و متراکمی از مواد مغذی است. یک فنجان از این نوشیدنی، مقادیر بالایی از ویتامین C و ویتامین A دارد که به ترتیب به میزان ۳۰ و ۲۵ درصد از نیاز روزانه شما برای این مواد مغذی را پوشش می‌دهد. این نوشیدنی همچنین دارای مقادیر متوسطی از پتاسیم، فیبر غذایی، کلسیم، آهن و ۱/۵ گرم پروتئین است. مهم‌تر از همه، در یک فنجان از این آب فقط ۷۰ کالری وجود دارد، اما غنی از آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد فعالی مانند لیکوپن، بتا کاروتن، اسیدهای آمینه و فلاونوئیدها است (Edwards et al., 2003). میوه‌ها جدا از نقشی که در رژیم غذایی انسان دارند به دلیل رطوبت زیاد مستعد فاسد شدن هستند. تلفات ناشی از فساد پس از برداشت محصول می‌تواند از طریق آفت‌هایی که در مزرعه، هنگام برداشت، ذخیره‌سازی یا توزیع اتفاق می‌افتد، رخ دهد. تلفات پس از برداشت میوه‌ها در کشورهای درحال توسعه ۲۰ تا ۵۰ درصد گزارش شده است. اگر فراوری زودرس این محصولات انجام شود، می‌توان از این تلفات جلوگیری کرد.

آب میوه‌ها بخش مهمی از رژیم‌های مدرن در بسیاری از کشورها و یکی از بهترین نوشیدنی‌ها هستند. آب میوه‌ها قسمت قابل توجهی از نیاز بدن به مواد معدنی و ویتامین‌ها را تأمین می‌کنند (Al-Jedah and Robinson, 2002; Williams et al., 2004) و متخصصان تغذیه مصرف روزانه آن‌ها را توصیه می‌کنند. طبق تعریف، مایع استخراج شده از میوه که تخمیر نشده است و شامل فرآیندهای اصلی مانند پیش‌فرآوری‌ها، استخراج عصاره‌های میوه و تیمارهای پس از فشار است را آب میوه می‌نامند. مصرف آب میوه در طی سال‌های گذشته به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و به طرز چشمگیری در حال رشد است، زیرا مصرف‌کنندگان به محصولات سالم و آماده مصرف علاقه‌مند هستند. صنعت تولید آب میوه یکی از صنایعی است که نقش مهمی در صنایع غذایی دارد و تهیه محصول باکیفیت بالا برای دستیابی به یک رقابت مؤثر مهم است (Dak et al., 2007). هندوانه (*Citrullus lanatus*) از خانواده Cucurbitaceae است (Schipper, 2000). این گیاه در بیش از ۹۶ کشور دنیا رشد می‌کند (Produce, 2008). چین با تولید ۷۰/۳ درصد از کل تولید هندوانه جهان در سال ۲۰۱۵ پیشرو است. سایر کشورهای پیشرو ترکیه، ایران، برزیل، ایالات متحده آمریکا و مصر هستند (FAOSTAT, 2016). میوه هندوانه ۵۵/۳

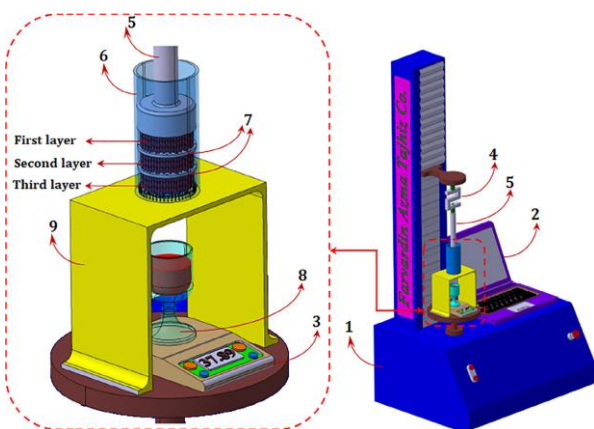
پوست به ترتیب ۲/۱ و ۲/۷ درصد (آناناس)، ۲/۱ و ۲/۵ درصد (پرتقال) و ۲/۹ و ۲/۶ درصد (هندوانه) بود. آدیابو و همکاران (Adebayo et al., 2014) برای انجام ارزیابی عملکرد استخراج کننده آب آناناس، یک دستگاه استخراج قابل حمل موتوری قابل استفاده برای مصارف خانگی را طراحی کردند و به منظور تعیین بهترین عوامل عملیاتی استخراج برای نمونه اولیه، عملکرد آن را مورد ارزیابی قرار دادند. دو عامل عملیاتی که برای ارزیابی این دستگاه استفاده شد سرعت استخراج و شدت تغذیه بود که هر کدام در سه سطح و هر یک از این عوامل در سه تکرار انجام شد. نتایج ارزیابی عملکرد به دست آمده از این طرح آزمایشی نشان دهنده بازده مطلوب استخراج آب (۸۷/۵۰ درصد)، ظرفیت استخراج آب (۲۶/۷۰ لیتر در ساعت) و تلفات استخراج آب (۱۲/۵۰ درصد) بود. علیرغم اینکه تلفات این دستگاه در مقایسه با روش دستی کمی بیشتر بود اما آگیری با این نمونه اولیه پنج برابر سریع تر از روش دستی ارزیابی شد. میرزابه و همکاران (Mirzabe et al., 2021) با استفاده از روش فیلتر پرس و اعمال فشار محوری و با استفاده از مدل‌های ریاضی که مرحله بارگذاری، رفتار آسایش-تنش و جرم لحظه‌ای آب میوه را توصیف می‌کردند؛ عملکرد محصول زرشک را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق تأثیر مدت زمان قرار گرفتن در معرض آب، نرخ بارگذاری و تعداد لایه‌ها بر استخراج آب زرشک به روش فشار محوری بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش مدت زمان قرار گرفتن در معرض آب می‌تواند بازده استخراج آب میوه و بازده انرژی را افزایش دهد. با این وجود، افزایش نرخ بارگذاری باعث کاهش بازده استخراج آب میوه و بازده انرژی می‌شود. قرار دادن صفحات فلزی یا چوبی سفت و سخت بین میوه‌ها به طور سنتی در طول استخراج برای استخراج آب بیشتر استفاده می‌شود. نتایج نشان داد که افزایش تعداد لایه‌ها باعث افزایش عملکرد آگیری و کاهش بازده انرژی می‌شود. اما با توجه به قیمت بسیار بالاتر آب زرشک نسبت به هزینه برق مصرفی دستگاه، تعداد لایه‌های بالاتر مقرون به صرفه است. از یک طرف، مکانیزه سازی فرآیند تولید آب هندوانه برای ارتقا بیشتر سلامت فرآیند تولید آن ضرورت دارد. از طرف دیگر، امروزه علاوه بر روش‌های سنتی، دستگاه‌های مختلفی برای استخراج آب میوه‌های مختلف وجود دارد. بیشتر این دستگاه‌ها چند منظوره هستند و برای انواع مختلفی از میوه‌ها استفاده می‌شوند. به طور مشخص قابل درک است که این دستگاه‌های چند منظوره به دلیل ویژگی‌های مختلف فیزیکی، مکانیکی و رئولوژیکی، نمی‌توانند فرآیند آب میوه‌گیری مؤثر را برای چندین نوع میوه فراهم کنند. بنابراین، برای طراحی دستگاه آب میوه‌گیری مؤثر، اطلاعات دقیق در مورد فرآیند استخراج آب هندوانه لازم است. پژوهش حاضر با هدف تعیین اثرات برخی از عوامل مؤثر بر سینتیک استخراج آب هندوانه انجام شده است.

هزینه زیاد و کمبود ابزار کارآمد برای فرآوری محصول، سیستم بازاریابی و حمل و نقل ضعیف و همچنین فسادپذیری میوه به تلفات بیشتر پس از برداشت محصول کمک می‌کند. فقدان ابزار مکانیکی محلی و ساده برای فرآوری میوه به آب میوه اغلب منجر به محدودیت استفاده از میوه و در نتیجه تلفات بیشتر پس از برداشت محصول به دلیل پوسیدگی می‌شود. به منظور کاهش تلفات میوه‌ها، استخراج آب میوه یک گزینه مناسب است (Eyeowa et al., 2017). آب میوه‌های تازه تهیه شده به روش‌های سنتی، اگرچه دلپذیر و خوش طعم هستند و حاوی ویتامین‌ها و مواد معدنی موجود در میوه‌های اصلی هستند، اما در بیشتر موارد به دلیل عدم رعایت استانداردهای بهداشتی در تهیه آن‌ها، می‌تواند به عنوان منابع بالقوه آلودگی عمل کند. این آلودگی ممکن است قبل یا بعد از استخراج آب میوه اتفاق بیفتد (Addo et al., 2008). تاکنون بسیاری از محققان در زمینه طراحی و بهینه‌سازی دستگاه‌های آب میوه‌گیری برای میوه‌ها و محصولات کشاورزی مختلف کار کرده‌اند. (Adekanye and Adelakun, 2017) یک دستگاه آب میوه‌گیری هندوانه در مقیاس کوچک تولید کردند و در دامنه‌های مختلف، عوامل عملیاتی را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد آب میوه، بازده آب میوه‌گیری، اتلاف آگیری و ظرفیت به ترتیب برابر ۸۶، ۹۲/۶، ۱۸ درصد و ۴۹/۰۴ کیلوگرم بر ساعت بود. این دستگاه بر اساس اصل نیروی فشاری و برشی عمل می‌کند. همچنین از یک موتور الکتریکی یک اسب بخار تغذیه می‌شد و سرعت دنده را کاهش می‌داد تا در ۴۶/۶۷ دور در دقیقه کار کند. پراساد و همکاران (Prasad et al., 2012) چرخ‌دنده‌های فلزی دستگاه آگیری نیشکر را با چرخ دنده‌های پلاستیکی نایلون و پلی کربنات جایگزین کردند تا سر و صدا و وزن دستگاه را کاهش دهند. سپس یک مدل استاتیک سه بعدی توسط بسته نرم‌افزاری ANSYS انجام دادند. لنده و همکاران (Lande et al., 2015) همان اصلاحات و تجزیه و تحلیل مکانیکی را در دستگاه آب میوه‌گیری نیشکر انجام دادند با این تفاوت که از پلیمرهای پلی‌امید ۶۶ و تفلون استفاده کردند. آویارا و همکاران (Aviara et al., 2013) دستگاه استخراج آب چند میوه‌ای با استفاده از میوه‌های آناناس، پرتقال و هندوانه برای ارزیابی عملکرد طراحی کرده و ساختند. شاخص‌های عملکردی در نظر گرفته شده درصد عملکرد آب، بازده آگیری و افت آگیری بود. نتایج تجزیه و تحلیل عملکرد نشان داد که نوع میوه و پوست به طور معنی‌داری بر شاخص‌های عملکرد در سطح معنی‌داری ۱ درصد تأثیر می‌گذارد. درصد عملکرد آب آناناس، پرتقال و هندوانه با پوست و بدون پوست به ترتیب ۷۹/۱ و ۶۸/۷ درصد، ۷۷ و ۶۹/۲ درصد و ۸۹/۵ و ۸۹/۷ درصد بود. بازده آگیری برای آناناس، پرتقال و هندوانه با پوست به ترتیب ۹۶/۹، ۹۴/۳ و ۹۶/۶ درصد بود و مقدار بدون پوست آن‌ها ۸۳/۶، ۸۴/۲ و ۹۷/۱ درصد بود. افت آگیری میوه‌های با پوست و بدون

۲- روش انجام تحقیق

به منظور انجام آزمایش‌ها محصول تهیه شده از بازار محلی شهرستان کرج به آزمایشگاه منتقل شد. آزمایش‌ها در آزمایشگاه دانشکده ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج انجام گرفت. به منظور انجام آزمایش، پوست محصول هندوانه به صورت دستی از گوشته آن جدا گردید. با استفاده از لوله استوانه‌ای جنس PVC به قطر ۵۰ میلی‌متر، هندوانه را به صورت قسمت‌های استوانه‌ای شکل تقسیم کرده و تکه‌های شش سانتی‌متری ایجاد شد. به منظور کاهش میزان خطا در مقدار آب میوه استحصالی و همچنین کاهش تأثیر هسته محصول بر مقدار آن، قسمت‌هایی از محصول که هسته کمی داشتند مورد استفاده قرار گرفت. محصول هندوانه برای انجام آزمایش به صورت یک لایه شش سانتی‌متری، دو لایه سه سانتی‌متری و سه لایه دو سانتی‌متری تقسیم شد. سپس، وزن توده محصول آماده شده قبل از انجام هر آزمایش توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. فشار لازم برای آب‌گیری محصول توسط دستگاه آزمون چند منظوره مقاومت مصالح (500-Hi-SE، فروردین آزما تجهیز، ایران) ایجاد شد. این دستگاه به رایانه متصل شد و تنظیمات مربوط به آزمایش از طریق نرم‌افزار اعمال شد. از یک استوانه با ارتفاع ۱۵۰ میلی‌متر ساخته شده از فولاد ضد زنگ با قطر داخلی ۵۷ میلی‌متر به عنوان سیلندر استفاده شد. از یک پیستون با سطح مقطعی به قطر ۵۷ میلی‌متر برای اعمال فشار ایجاد شده توسط دستگاه آزمون چند منظوره به توده محصول استفاده گردید. برای ثبت هم‌زمان داده‌های نیرو و جابجایی، از یک لودسل ۵۰۰ کیلوگرمی (نوع S، Zemic، چین) در اتصال پیستون به فک دستگاه آزمون چند منظوره استفاده 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 (Mirzabe et al., 2021). بنابراین، برای بررسی ارتفاع لایه و تعداد لایه‌ها برای سیلندر مورد نظر سه صفحه فولادی سوراخ‌دار با ضخامت دو میلی‌متر استفاده شد. قطر صفحات فولادی برابر با قطر داخلی سیلندر بود. قطر سوراخ‌ها و شبکه‌بندی آن‌ها منطبق بر کف سیلندر بود. برای شروع آزمایش در هر سه قسمت یک لایه، دو لایه و سه لایه ابتدا یک صفحه فولادی در انتهای استوانه قرار داده شد. پس از آن توده مشخصی از محصول روی صفحه فولادی قرار گرفته و در انجام آزمایش‌های دو لایه و سه لایه صفحه فولادی دیگری به عنوان لایه دوم و سوم روی محصول قرار داده شد. همچنین به منظور جمع‌آوری آب هندوانه ظرفی در زیر استوانه که روی ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ بود؛ قرار گرفت. نقطه آغاز آبیگری^۱ زمانی است که اولین قطره آب میوه از بافت میوه خارج می‌شود و ترازوی دیجیتال عدد غیر صفر را

نشان می‌دهد. از آنجاکه فاصله زمانی بین تشکیل اولین قطره و افتادن اولین قطره در ظرف می‌تواند متفاوت باشد، از یک دوربین فیلم‌برداری برای تشخیص دقیق نقطه آغاز آبیگری استفاده شد. محل نصب دوربین به گونه‌ای تنظیم شده بود که به محض خروج قطره از استوانه، فیلم را از ترازوی دیجیتال ضبط کرده و نقاط شروع را تشخیص می‌داد. لازم به ذکر است که ساعت رایانه برای همگام‌سازی داده‌های ثبت شده توسط دستگاه آزمون چندمنظوره، ترازوی دیجیتال و دوربین استفاده شد. پیستون را در بالای لایه اول قرار داده و به صفحه‌ای که با پیچ به لودسل وصل شده است متصل نموده تا فشار دستگاه اعمال شود. شکل ۱ طرح‌واره دستگاه مورد استفاده در این تحقیق برای استخراج آب هندوانه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- طرح‌واره دستگاه استخراج آب هندوانه (۱) دستگاه آزمون چندمنظوره مقاومت مصالح و سایر قطعات مرتبط با آن، (۲) رایانه، (۳) ترازوی دیجیتال، (۴) لودسل، (۵) پیستون، (۶) سیلندر، (۷) صفحات (فیلتر) فولادی صلب، (۸) ظرف جمع‌آوری آب میوه، (۹) پایه فلزی

سه متغیر بارگذاری بیشینه، تعداد لایه‌ها و سرعت بارگذاری به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. با روشن کردن دستگاه آزمون چندمنظوره، نیرو و تغییر شکل مربوطه در طول زمان آزمون با سرعت جمع‌آوری اطلاعات ۱۰ هرتز ثبت شد. در حقیقت، کیفیت آب استخراج شده تحت تأثیر یک روش فشاری یا فشرده کننده است (Mushtaq, 2018). اگر در فرآیند استخراج آب از فشار بالا استفاده شود، طعم خوش آب میوه از بین می‌رود؛ بنابراین، برای رسیدن به آب میوه خوش طعم، حداکثر بارگذاری بیشینه ۴۰۰ کیلوگرم بود. سپس، آزمایش تا رسیدن به زمان آسایش تنش ادامه یافت. بازه زمان آسایش تنش از لحظه توقف اعمال فشار تا پایان آزمایش می‌باشد که توسط سیستم اندازه‌گیری شد. یک زمان بارگیری برای هر تیمار به عنوان زمان آسایش تنش در نظر گرفته شد. پس از پایان آزمایش، آب جمع‌آوری شده توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد. به دلیل نیروی کم در ابتدای مرحله بارگذاری، میزان جریان جرم آب میوه کم بود. با افزایش نیرو، میزان استحصال آب میوه افزایش یافت. پس از رسیدن به

لحظه‌ای آب میوه و ضرایب مدل بارگذاری، جابجایی و درصد جرمی آب میوه تحت تأثیر بارگذاری بیشینه (max load)، سرعت (نرخ) بارگذاری و تعداد لایه‌ها بررسی شد. برای محاسبات مربوط به درصد جرمی و جرم لحظه‌ای آبمیوه، از روابط ارائه شده توسط Mirzabe و همکاران استفاده شد.

۳- نتایج

درصد جرمی آب میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس درصد جرمی آب میوه در جدول ۱ گزارش شده است. مدل سازی مقدار درصد جرمی آب میوه توسط یک مدل با اثرات متقابل دو عاملی صورت گرفت. همان گونه که مشاهده می‌شود، مدل مورد استفاده در پیش‌بینی درصد جرمی آب میوه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده و ضریب تبیین ۰/۹۶ همراه با ضریب تغییرات ۱۷/۰۹ گویای توانایی بالای مدل مذکور در برازش داده‌ها است.

بارگذاری بیشینه و قطع اعمال فشار، میزان تولید آب میوه کاهش یافت. این کاهش را می‌توان به کاهش درصد جرمی آب میوه در نمونه تحت فشار نسبت داد؛ بنابراین، نمودار جرمی لحظه‌ای آب میوه در ابتدا دارای نرخ افزایشی و در انتها نرخ کاهش و ثابت دارد که منطبق با نمودار تابع آرک تانژانت است. با آغاز بارگذاری، دوربین که اعداد روی ترازوی دیجیتال را نشان می‌داد شروع به فیلم‌برداری کرد و برای هر لحظه جرم آب‌میوه ثبت گردید. برای هر آزمایش، داده‌های اندازه‌گیری شده از زمان و جرم لحظه‌ای آب میوه توسط دوربین در نرم‌افزار Excel ثبت شد. با آغاز هر آزمون و اعمال فشار توسط دستگاه، نیرو و جابجایی برای هر لحظه توسط رایانه ثبت شد. این مقادیر نیرو و جابجایی در نرم‌افزار MATLAB 2014b فراخوانی شده و نرم‌افزار نمودار نیرو-جابجایی را ارائه کرد. سطح زیر نمودار نیرو-جابجایی به‌عنوان انرژی جذب شده یا مصرف شده توسط میوه در نظر گرفته شد. همه آزمایش‌ها به‌صورت طرح فاکتوریل و در سه تکرار انجام شد. با استفاده از تجزیه واریانس در بسته نرم‌افزاری Design Expert 11، رفتارهای ضرایب ثابت معادله جرم

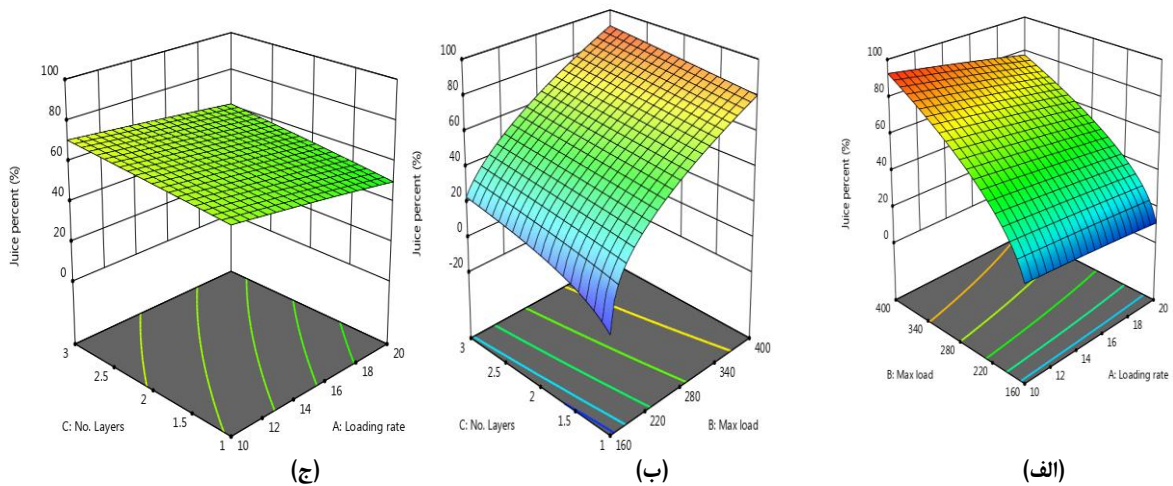
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس درصد جرمی آب میوه استحصالی

Source of variation	SSE	DF	MSE	F-value	P-value
مدل (model)	697445900.8	6	116240983.5	262.73	8.75E-48 **
نرخ بارگذاری (A)	24735658.52	1	24735658.52	55.91	1.26E-10 **
بارگذاری بیشینه (B)	639962097.5	1	639962097.5	1446.46	2.54E-50 **
تعداد لایه (C)	16581154.52	1	16581154.52	37.48	4.05E-08 **
AB	12655737.95	1	12655737.95	28.60	9.50E-07 **
AC	213271.05	1	213271.05	0.48	4.90E-01
BC	3297981.24	1	3297981.24	7.45	7.91E-03 **
Residual	32739982.36	74	442432.19		
Total	730185883.2	80			

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد C.V = 17.09 %

(et al. 2021) بر روی محصول زرشک انجام دادند؛ افزایش تعداد لایه‌ها و کاهش نرخ بارگذاری باعث افزایش درصد آب استحصالی شد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. همچنین درصد آب‌میوه استحصالی برای محصول زرشک ۴۶/۱۳ درصد بود که در مقایسه با محصول هندوانه مقدار کمتری را نشان می‌دهد.

درصد آب میوه استحصالی بین محدوده ۵/۹۵ (بارگذاری بیشینه ۱۶۰ کیلوگرم، نرخ بارگذاری ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه و تعداد لایه ۱) تا ۹۵/۳۶ (بارگذاری بیشینه ۴۰۰ کیلوگرم، نرخ بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه و تعداد لایه ۳) درصد متغیر بود. مطابق شکل ۲ نتایج نشان داد که افزایش بارگذاری بیشینه، افزایش تعداد لایه و کاهش نرخ بارگذاری باعث افزایش درصد آب میوه استحصالی می‌شود. در تحقیق مشابهی که میرزابه و همکاران (Mirzabe



شکل ۲- اثرات متقابل پارامترهای عملیاتی بر درصد آب میوه استحصالی (الف) نرخ بارگذاری و بارگذاری بیشینه (ب) نرخ بارگذاری و تعداد لایه‌ها (ج) بارگذاری بیشینه و تعداد لایه‌ها

جرم لحظه‌ای آب میوه

در پیش‌بینی مقدار ضرایب ثابت معادله جرم لحظه‌ای آب میوه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌داری قابل توجهی داشته‌اند و به ترتیب ضرایب تبیین ۰/۹۲، ۰/۹۱، ۰/۹۸ و ۰/۸۸ همراه با ضرایب تغییرات ۲۱/۱۵، ۲۱/۶۶، ۲/۲۸ و ۱۵/۵۷ (درصد) است که گویای توانایی بالای مدل‌های مذکور در برازش داده‌ها است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ضرایب ثابت (a, b, c, d) معادله جرم لحظه‌ای آب میوه در جداول ۲، ۳، ۴ و ۵ گزارش شده است. مدل‌سازی مقدار ضرایب توسط چهار مدل با اثرات متقابل دو عاملی صورت گرفت. با توجه به نتایج، مدل‌های مورد استفاده

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ضریب ثابت a در معادله جرم لحظه‌ای آب میوه

Source of variation	SSE	DF	MSE	F-value	P-value
مدل (model)	8998930.06	6	1499821.68	151.46	1.76E-39 **
نرخ بارگذاری (A)	307778.64	1	307778.64	31.08	3.83E-07 **
بارگذاری بیشینه (B)	8304337.32	1	8304337.32	838.61	4.12E-42 **
تعداد لایه (C)	202456.06	1	202456.06	20.45	2.29E-05 **
AB	149895.75	1	149895.75	15.14	0.00 **
AC	82.93	1	82.93	0.01	0.93
BC	34379.37	1	34379.37	3.47	0.07 *
Residual	732781.53	74	9902.45		
Total	9731711.59	80			
C.V = 21.1 %					

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس ضریب ثابت b در معادله جرم لحظه‌ای آب میوه

Source of variation	SSE	DF	MSE	F-value	P-value
مدل (model)	184929.65	6	30821.61	122.30	2.40E-36 **
نرخ بارگذاری (A)	4989.37	1	4989.37	19.80	2.99E-05 **
بارگذاری بیشینه (B)	174315.19	1	174315.19	691.65	2.75E-39 **
تعداد لایه (C)	3338.46	1	3338.46	13.25	5.03E-04 **
AB	1894.88	1	1894.88	7.52	7.65E-03 **
AC	3.38	1	3.38	0.01	0.91
BC	388.37	1	388.37	1.54	0.22
Residual	18649.95	74	252.03		
Total	203579.61	80			
C.V = 21.66 %					

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

جدول ۴ - نتایج تجزیه واریانس ضریب ثابت c در معادله جرم لحظه‌ای آب میوه

Source of variation	SSE	DF	MSE	F-value	P-value
مدل (model)	0.84	6	0.14	488.22	2.18E-57 **
نرخ بارگذاری (A)	0.28	1	0.28	979.28	2.04E-44 **
بارگذاری بیشینه (B)	0.48	1	0.48	1682.45	1.22E-52 **
تعداد لایه (C)	0.07	1	0.07	257.99	7.92E-26 **
AB	0.00	1	0.00	4.76	0.03 *
AC	0.00	1	0.00	1.86	0.18
BC	0.00	1	0.00	2.98	0.09 *
Residual	0.02	74	0.00		
Total	0.86	80			
C.V = 2.28 %					

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد

جدول ۵ - نتایج تجزیه واریانس ضریب ثابت d در معادله جرم لحظه‌ای آب میوه

Source of variation	SSE	DF	MSE	F-value	P-value
مدل (model)	31677120.3	6	5279520.05	89.98	5.81E-32 **
نرخ بارگذاری (A)	5961501.4	1	5961501.37	101.60	1.57E-15 **
بارگذاری بیشینه (B)	20008176.6	1	20008176.59	341.00	2.00E-29 **
تعداد لایه (C)	3515299.6	1	3515299.59	59.91	4.01E-11 **
AB	1503269.8	1	1503269.79	25.62	2.94E-06 **
AC	92540.9	1	92540.92	1.58	0.21
BC	596332.1	1	596332.06	10.16	0.00 **
Residual	4341936.0	74	58674.81		
Total	36019056.4	80			
C.V = 15.57 %					

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

نیرو و جابجایی

معادله نیرو-جابجایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌داری قابل توجهی داشته‌اند و به ترتیب ضرایب تبیین ۰/۹۷، ۰/۹۷، ۰/۹۷ و ۰/۹۳ همراه با ضرایب تغییرات ۶/۶۳، ۳/۹۱، ۳/۲۲ و ۱۰/۸۸ درصد است که گویای توانایی بالای مدل‌های مذکور در برآزش داده‌ها است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس جابجایی و ضرایب ثابت a، b و c معادله نیرو-جابجایی در جداول ۶، ۷، ۸ و ۹ گزارش شده است. مدل‌سازی مقدار ضرایب و جابجایی توسط چهار مدل با اثرات متقابل دو عاملی صورت گرفت. با توجه به نتایج، مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی مقدار جابجایی و مقدار ضرایب ثابت

جدول ۶ - نتایج تجزیه واریانس جابجایی

Source of variation	SSE	DF	MSE	F-value	P-value
مدل (model)	10013.33	6	1668.89	459.13	2.00E-56 **
نرخ بارگذاری (A)	199.10	1	199.10	54.78	1.75E-10 **
بارگذاری بیشینه (B)	8182.46	1	8182.46	2251.07	3.77E-57 **
تعداد لایه (C)	1372.09	1	1372.09	377.47	8.79E-31 **
AB	21.02	1	21.02	5.78	0.019 **
AC	1.86	1	1.86	0.51	0.48
BC	236.80	1	236.80	65.15	9.50E-12 **
Residual	268.98	74	3.63		
Total	10282.32	80			
C.V = 6.63 %					

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس ضریب a

Source of variation	SSE	DF	MSE	F-value	P-value
مدل (model)	4.56	6	0.76	349.29	3.59E-52 **
نرخ بارگذاری (A)	0.12	1	0.12	56.19	1.16E-10 **
بارگذاری بیشینه (B)	3.59	1	3.59	1648.22	2.52E-52 **
تعداد لایه (C)	0.80	1	0.80	369.58	1.69E-30 **
AB	0.00	1	0.00	0.53	0.47
AC	0.00	1	0.00	0.10	0.75
BC	0.05	1	0.05	21.09	1.76E-05 **
Residual	0.16	74	0.00		
Total	4.72	80			
C.V = 3.91 %					

** معنی داری در سطح ۱ درصد

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس ضریب b

Source of variation	SSE	DF	MSE	F-value	P-value
مدل (model)	11.04	6	1.84	361.08	1.10E-52 **
نرخ بارگذاری (A)	0.30	1	0.30	59.78	4.16E-11 **
بارگذاری بیشینه (B)	8.64	1	8.64	1695.29	9.29E-53 **
تعداد لایه (C)	1.99	1	1.99	391.16	2.90E-31 **
AB	0.00	1	0.00	0.29	0.59
AC	0.00	1	0.00	0.05	0.83
BC	0.10	1	0.10	19.89	2.87E-05 **
Residual	0.38	74	0.01		
Total	11.42	80			
C.V = 3.22 %					

** معنی داری در سطح ۱ درصد

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس ضریب c

Source of variation	SSE	DF	MSE	F-value	P-value
مدل (model)	8.16E+27	6	1.36E+27	158.74	3.54E-40 **
نرخ بارگذاری (A)	2.35E+26	1	2.35E+26	27.48	1.45E-06 **
بارگذاری بیشینه (B)	6.41E+27	1	6.41E+27	748.06	1.98E-40 **
تعداد لایه (C)	1.20E+27	1	1.20E+27	140.44	9.07E-19 **
AB	8.06E+25	1	8.06E+25	9.41	0.00 **
AC	4.35E+25	1	4.35E+25	5.08	0.03 *
BC	1.88E+26	1	1.88E+26	21.98	1.23E-05 **
Residual	6.34E+26	74	8.57E+24		
Total	8.80E+27	80			
C.V = 10.88 %					

** معنی داری در سطح ۱ درصد

* معنی داری در سطح ۵ درصد

۴- نتیجه گیری

نشان دهنده دقت بالای مدل‌ها و نزدیک بودن مقدار واقعی و پیش‌بینی است. بررسی نتایج نشان می‌دهد پایین‌ترین درصد آب‌میوه استحصالی به مقدار ۵/۹۵ درصد با متغیرهای ورودی (نرخ بارگذاری ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه، بارگذاری بیشینه ۱۶۰ کیلوگرم و یک‌لایه) و بالاترین درصد آب‌میوه استحصالی با مقدار ۹۵/۳۶ درصد با متغیرهای ورودی (نرخ بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه، بارگذاری بیشینه ۴۰۰ کیلوگرم و سه‌لایه) است؛ بنابراین، به‌منظور استحصال درصد بالای آب‌میوه باید نرخ بارگذاری را کاهش و بارگذاری بیشینه و تعداد لایه‌ها را افزایش داد.

طبق جداول تجزیه واریانس، تأثیر سه متغیر بارگذاری بیشینه، تعداد لایه‌ها و سرعت بارگذاری به‌عنوان متغیرهای مستقل بر مدل پیش‌بینی درصد جرمی آب‌میوه، ضرایب ثابت معادله‌های نیرو-جابجایی و معادله جرم لحظه‌ای آب‌میوه و جابجایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اگرچه در همه موارد مقدار P مربوط به هر یک از متغیرهای ورودی مستقل یا اثرات متقابل آن‌ها به تنهایی معنی‌دار نبود؛ اما معنی‌داری همه مدل‌های پیش‌بینی، نشان دهنده توانایی بالای آن‌ها در ارزیابی داده‌ها است. همچنین در اغلب موارد ضریب تبیین بالای مدل‌ها،

منابع

- Addo, M. G., W. G. Akanwariwiak, P. Addo-Fordjour, and K. Obiri-Danso. 2008. Microbiological and sensory analysis of imported fruit juices in Kumasi. Ghana. Res. J. Microbiol 3: 552-558.
- Adebayo, A. A., O. M. Unigbe, and E.O. Atanda. 2014. Fabrication and performance evaluation of a portable motorized pineapple juice extractor. Innovative Systems Design and Engineering 5: 22-29.
- Adekanye, T. A., and O. J. Adelakun. 2017. Evaluation of a portable watermelon juice extracting machine. Agric. Eng. Int. CIGR J 19: 219-223.
- Al-Jedah, J. H., and R. K. Robinson. 2002. Nutritional value and microbiological safety of fresh fruit juices sold through retail outlets in Qatar. Pakistan J. Nutr. 1: 79-81.
- Aviara, N. A., A. A. Lawa, D. S. Nyam, and J. Bamisaye. 2013. Development and performance evaluation of a multi-fruit juice extractor. Global Journal of Engineering, Design and Technology 2: 16-21.
- Bianchi, G., A. Rizzolo, M. Grassi, L. Provenzi, and R. L. Scalzo. (2018). External Maturity Indicators, Carotenoid and Sugar Compositions and Volatile Patterns in 'CuoreDolce®' and 'Rugby' Mini-Watermelon (*Citrullus Lanatus* (Thunb) Matsumura & Nakai) Varieties in Relation of Ripening Degree at Harvest. Post Biol. Technol 136: 1-11.
- Dak, M., R.C. Verma, and S.N.A. Jaaffrey. 2007. Effect of temperature and concentration on Rheological properties of "Kesar" mango juice. Journal of Food Engineering 80: 1011-1015.
- Edwards, A.J., B.T. Vinyard, E.R. Wiley, E.D. Brown, J.K. Collins, P. Perkins-Veazie, R.A. Baker and B.A. Clevidence. 2003. Consumption of Watermelon Juice Increases Plasma Concentrations of Lycopene and β -Carotene in Humans. The Journal of Nutrition 133: 1043-1050.
- Eyeowa, A., B. Adesina, Diabana, and O.A. Tanimola. 2017. Design, fabrication and testing of a manual juice extractor of small scale applications. Current Journal of Applied Science and Technology 22: 1-7.
- FAOSTAT. 2016. Agricultural Production Primary Crops. Available at://www.fao.org. Accessed 8 February, 2016.
- Fruit & Vegetable Processing Market by Product Type, Equipment, Operation, and Region-Global Forecast to 2022. <https://www.marketsandmarkets.com>.
- Lande, M.S.M., A.D. Desai, A.B. Verma, and A. V. Gaur. 2015. Stress Analysis of Polycarbonate Spur Gears for Sugarcane Juice Machine Using FEA. Int. J. Recent Technol. Mech. Electr. Eng. 2: 14-19.

- Mirzabe A.H., A. Hajiahmad, and A.H. Asadollahzadeh. 2021. Extracting barberry juice: Mathematical models describing loading stage, stress-relaxation behavior, and momentary juice mass. *J Food Process Eng*; 44.
- Mushtaq, M. 2018. Extraction of fruit juice: An overview, in: *Fruit Juices*. Elsevier, 131–159.
- Oberoi, D. P. S., and S. Sogi. 2017. Utilization of Watermelon Pulp for Lycopene Extraction by Response Surface Methodology. *Food Chem* 232: 1–7.
- Prasad, V.S., S.A. Hussain, V. Pandurangadu, K. PalaniKumar. 2012. Modeling and analysis of spur gear for sugarcane juice machine under static load condition by using FEA. *Int. J. Mod. Eng. Res* 2: 2862–2866.
- Produce, P. 2008. Baby Seedless Watermelon. *Seedless Watermelon*. Available at: [//www.producepete.com/index.html](http://www.producepete.com/index.html).
- Schippers, R.R. 2000. *African Indigenous Vegetable: An Overview of the Cultivated Species*. Chatham, UK: Natural Resources Institute/ACP-EU Technical Center for Agricultural and Rural Cooperation.
- Williams, R.C., S.S. Sumner, D.A. Golden. 2004. Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* in apple cider and orange juice as affected by ozone and treatment temperature. *J. Food Prot* 67: 2381–2386.

Analysis of controlled filter press method in order to extract the rheological properties of watermelon fruit texture in the dewatering process

Javad Tarighi^{1*}, Akbar Ataei², Ali Hajiahmad³

*1- Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, IRAN

2- Masters student Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, IRAN

4- Department of Mechanical Engineering in Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Tehran, IRAN

*Email Address: tarighi@uma.ac.ir

Abstract

Introduction

Fruit juices are an important part of modern diets in many countries and one of the best drinks. Fruit juices provide a significant portion of the body's needs for minerals and vitamins and are recommended by nutritionists. By definition, the liquid extracted from fruit that has not been fermented and contains major processes such as preprocessing, extraction of fruit extracts, and post-pressure treatments is called fruit juice. Consumption of fruit juices has increased significantly over the past years and is growing significantly because consumers are interested in healthy and ready-to-eat products. The fruit juice industry is one of the industries that play an important role in the food industry and providing a quality-high product is important to achieve effective competition. Watermelon (*Citrullus lanatus*) belongs to the family Cucurbitaceae. This plant grows in more than 96 countries. China leads in 2015 with 70.3% of total world watermelon production. Other leading countries are Turkey, Iran, Brazil, the United States and Egypt. Watermelon fruit produces 55.3% water, 31.5% shell and 10.4% pulp. Carotenoids such as lycopene and β -carotene indicate the red and orange colours of watermelon, respectively. Watermelon sweetness is mainly due to a combination of sucrose, glucose and fructose. Sucrose and glucose make up 20-40% and fructose 30-50% of the total sugars of ripe watermelon. Watermelon juice has amazing and dense amounts of nutrients. One cup of this drink has high amounts of vitamin C and vitamin A, which cover 30% and 25% of your daily requirement for these nutrients, respectively. This drink also has moderate amounts of potassium, dietary fibre, calcium, iron and 1.5 grams of protein. Most importantly, a cup of this water contains only 70 calories but is rich in antioxidants and active ingredients such as lycopene, beta-carotene, amino acids and flavonoids. Apart from their role in the human diet, fruits are prone to spoilage due to high humidity. Post-harvest spoilage losses can be caused by pests that occur on the farm during harvesting, storage or distribution. Post-harvest mortality has been reported at 20 to 50 per cent in developing countries. If these products are processed prematurely, these losses can be avoided. The high cost and lack of efficient tools for crop processing, poor marketing and transportation system, as well as fruit perishability, contribute to more post-harvest losses. The lack of local and simple mechanical tools for processing fruit into fruit juice often leads to limited use of the fruit and consequently more losses after harvest due to rot. In order to reduce fruit losses, fruit juice extraction is a suitable option. Traditionally prepared fresh fruit juices, although pleasant and palatable and containing the vitamins and minerals found in the original fruits, can in most cases act as potential sources of contamination due to non-compliance with health standards in their preparation. This contamination may occur before or after fruit juice extraction. So far, many researchers have worked on the design and optimization of fruit juicers for various fruits and agricultural products. On the one hand, mechanization of the watermelon water production process is necessary to further improve the health of the production process. On the other hand, today, in addition to traditional methods, there are various devices for extracting different fruit juices. Most of these devices are versatile and are used for a variety of fruits. It is clear that these multipurpose devices, due to their different

physical, mechanical and rheological properties, can not provide an effective fruit juicing process for several types of fruit. Therefore, to design an effective fruit juicer, accurate information about the watermelon juice extraction process is required. The aim of this study was to determine the effects of some factors affecting the kinetics of watermelon water extraction.

Methodology

In order to perform the experiments, the product prepared from the local market of Karaj city was transferred to the laboratory. The experiments were performed in the laboratory of the Faculty of Agricultural Machinery, University of Tehran, located in Karaj. In order to perform the experiment, the skin of the watermelon crop was manually separated from its mantle. Using PVC cylindrical tubes with a diameter of 50 mm, the watermelon was divided into cylindrical parts and six-centimetre pieces were created. In order to reduce the error in the amount of extracted fruit juice and also to reduce the effect of the crop on the amount, parts of the product that had little core were used. The watermelon crop was divided into six-centimetre, two-centimetre and two-centimetre layers for testing. Then, the mass weight of the prepared product was measured before each experiment by a digital scale with an accuracy of 0.01. Necessary pressure for dehydration of the product was created by a multifunctional material strength test machine (-500-Hi SE, Farvardin Azma Tajhiz, Iran). The device was connected to a computer, and the test settings were applied through software. A cylinder with a height of 150 mm made of stainless steel with an inner diameter of 57 mm was used as a cylinder. A piston with a cross-sectional area of 57 mm in diameter was used to apply the pressure created by the multi-purpose test machine to the product mass. To record the force and displacement data simultaneously, a 500 kg load cell (type S, Zemic, China) was used to connect the piston to the jaw of the multifunction test device.

Conclusion

According to the analysis of variance tables, the effect of three variables of maximum load, the number of layers and loading speed as independent variables on the model of predicting fruit juice mass percentage, constant coefficients of force-displacement equations and moment juice-displacement mass equation was significant at 1% level. However, in all cases the P-value associated with each of the independent input variables or their interactions alone was not significant; but the significance of all forecasting models shows their high ability to evaluate data. Also, in most cases, the high explanation coefficient of the models indicates the high accuracy of the models and the proximity of the real value and prediction. The results show that the lowest percentage of extracted fruit juice is 5.95% with input variables (loading rate of 20 mm/min, maximum loading of 160 kg and single layer) and the highest percentage of extracted fruit juice with 95.36% with input variables (loading rate). 10 mm / min, maximum load of 400 kg and three layers); Therefore, in order to extract a high percentage of fruit juice, the loading rate must be reduced and the maximum loading and the number of layers must be increased.

Keywords

Juice; Maximum load; Filter press; Loading rate; Watermelon