



## کاربرد جداساز نیمه پیوسته دورانی در سیالات حوزه صنایع غذایی - مطالعه موردی جداسازی پالپ از

### سیال حاوی پکتین

شفیع رحمتی<sup>۱</sup>، علیرضا مهدویان<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>تاریخ های مقاله :</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵</p>	<p>با توجه به اهمیت و گستردگی صنایع مرتبط با فراوری مواد غذایی در زندگی بشر و نقش کلیدی ماده‌ی اولیه‌ی همانند پکتین در این صنعت، استفاده از روش‌های نوآورانه، بهینه‌تر و کم هزینه تر استخراج این ماده می‌تواند حائز اهمیت باشد. یک سامانه جداساز دورانی نیمه پیوسته برای جداسازی پالپ از سیال حاوی پکتین در پژوهش حاضر بررسی شده است. در این تحقیق به ارزیابی فرایند جداسازی به کمک جداساز نیمه پیوسته با در نظر گرفتن سرعت دورانی، دبی ورودی سیال و زمان در روند جداسازی، بر راندمان (کیفیت جداسازی) و انرژی مصرفی در دبی‌های ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ ml/min و پنج سطح سرعت دورانی ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰، ۵۰۰۰، ۶۰۰۰، ۱ rpm<sup>۱</sup> و بازه‌های زمانی ۵۰-۰، ۵۱-۱۰۰، ۱۰۱-۱۵۰، ۱۵۱-۲۰۰ و ۲۰۱-۲۵۰ ثانیه، با توجه به انرژی مصرفی بهینه پرداخته شده است. محلول حاوی اسید به عنوان حلال پکتین و مقداری فیبر جامد معلق در سیال است که به منظور تولید پکتین ابتدا می‌بایست ذرات جامد آن جدا شود و از جداساز نیمه پیوسته در این مرحله بهره برد. طبق نتایج حاصل شده دبی ورودی ۶۰ ml/min به علت زمان ماند بیشتر جهت جدایش بهتر، سرعت دورانی ۶۰۰۰ rpm به علت ایجاد بیشترین نیروی rcf و در نهایت بازه زمانی ۵۰-۰ ثانیه دارای بهترین کیفیت جداسازی بودند. با در نظر گرفتن زمان و انرژی مصرفی و با استفاده از روش سطح پاسخ RSM نقطه بهینه با بازدهی ۹۹/۱۲ درصد در شرایط سرعت دورانی ۳۴۰۰ rpm، دبی ورودی ۱۲۰ ml/min و زمان ۵۰ ثانیه با مصرف ۶/۴۸ وات ساعت مصرف انرژی، توسط رایانه معرفی شد که با آزمون ۵ نقطه بهینه اول و با خطای ۶ درصد نقطه بهینه معرفی شده صحت سنجی شد.</p>
<p>کلمات کلیدی:</p> <p>پکتین، جداساز دورانی، جداسازی پیوسته، استخراج.</p> <p>DOI: 10.22034/FSCT.19.132.183 DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.132.14.7</p> <p>* مسئول مکاتبات: a.mahdavian@modares.ac.ir</p>	

<sup>1</sup> Revolutions Per Minute

## ۱- مقدمه

امروزه روش‌های مختلف جداسازی دورانی در طیف وسیعی از صنایع کاربرد دارند که خود به سه دسته پیوسته، نیمه پیوسته و ناپیوسته تقسیم‌بندی می‌گردد. فرایند جداسازی در مقیاس نیمه‌صنعتی، عموماً به صورت ناپیوسته انجام می‌شود [۱]. در صنایع بزرگ بطور معمول از جداسازهای پیوسته استفاده می‌گردد، برای مثال در صنایع مربوط به پتروشیمی، نفت و گاز عموماً از جداسازهای پیوسته استفاده می‌شود [۲]، اما در صنایع پزشکی، دامپزشکی و صنعت غذا و نوشیدنی به صورت گسترده از جداسازهای نیمه پیوسته استفاده می‌شود [۳].

همواره جداسازی مواد از یکدیگر، به ویژه جداسازی سیالات دوفازی و چند فازی طور مشخص در حوزه تجهیزات فراوری، دارای اهمیت ویژه‌ای بوده است. فرایند جداسازی برای دستیابی به پدیده‌ای که در آن مخلوطی از چند ماده به دو یا چند محصول متمایز تبدیل شود صورت می‌پذیرد [۴]. جداسازی براساس تفاوت در خواص شیمیایی یا فیزیکی مانند اندازه، شکل، جرم، چگالی یا برهم‌کنش شیمیایی بین اجزای یک مخلوط انجام می‌شود [۵]. دستگاه جداساز دورانی برای جدا کردن ذرات جامد از یک مایع یا تقسیم مخلوط مایعات به اجزای مختلف آن توسط پژوهشگران به کار گرفته می‌شود. تکنیک‌های جداسازی معمولاً به عنوان عملیاتی تعریف می‌شوند که اجزای خاصی را از یک مخلوط بدون انجام واکنش شیمیایی جدا می‌کند [۶].

در روش جداسازی دورانی، سیال چند فازی درون ظرفی قرار می‌گیرد به طوری که با چرخش قسمت دورانی جداساز، مواد محلول سنگین‌تر به سمت خارج از مرکز دوران رانده می‌شوند و به دیواره جداساز فشرده می‌شوند و زمانی که جداساز دورانی از حرکت بازمی‌ایستد، مواد به حالت غیر مخلوط مشاهده می‌گردد. پالپ میوه، شیر و سایر نمونه‌های بیولوژیکی را در صنعت غذا و نوشیدنی به وسیله دستگاه جداساز دورانی جدا می‌کنند [۷].

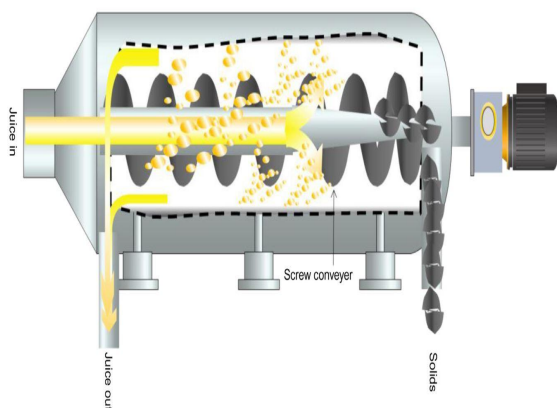
جداسازی بر اساس فازهای سیال از مهم‌ترین معیارهای دسته‌بندی جداسازی است که به گروه‌های جامد - مایع، جامد - جامد و مایع - مایع است. جداسازی جامد - مایع در فراوری مواد غذایی از مجموعه‌ای عملیات واحد مهم و کاربردی است که در فرایندهای صنعتی کاربرد وسیعی دارد و می‌تواند نقش مهمی در تولید، کیفیت و حتی حفظ بسیاری از محصولات غذایی داشته باشد [۸]. تکنیک‌های جداسازی در تعداد زیادی از صنایع

تبدیلی دخیل هستند. جداسازی جامد-مایع در صنایع غذایی برای بسیاری از کارها از جمله تغییر غلظت و شفاف سازی آب میوه ها، جداسازی دوغاب قهوه و چای، لجن زدایی روغن ماهی، بازیابی کریستال های شکر و مواردی مشابه استفاده می‌شود [۹].

پکتین یک ترکیب هیدروکلوئیدی اسیدی است که به عنوان افزودنی طبیعی در صنایع به ویژه در صنایع خوراکی، دارویی و پزشکی کاربردهای بسیاری دارد [۱۰]. در صنعت غذا برای خاصیت ژل‌کنندگی، تثبیت‌کنندگی، ایجاد بافت، امولسیفایری، قوام دهنده‌گی و جایگزین چربی به کار برده می‌شود [۱۱]. همچنین در پزشکی و داروسازی از آن به عنوان فیبر غذایی برای درمان مشکلات گوارشی بهره‌وری می‌گردد. بیشترین کاربرد پکتین در صنایع غذایی، استفاده از آن در تولید مرباها و ژله‌ها به عنوان یک ماده ایجاد کننده‌ی ژل و قوام دهنده است [۱۲ و ۱۳].

در سال‌های اخیر در کشورهای مختلف بسته به نوع ضایعات و تفاله‌های تولید شده در صنایع کشاورزی و غذایی، تحقیقاتی در زمینه استخراج پکتین از این ضایعات با بهره‌گیری از روش‌ها و شرایط مختلف استخراج صورت گرفته است. پکتین به صورت گرد یا ذره‌های با اندازه ریز تا درشت، در رنگ‌های کرم تا قهوه‌ای و گاهی زرد مایل به سبز دیده می‌شود. از طرفی دیگر، پکتین به آسانی در آب حل می‌شود و مایع کلوئیدی و شفافی تولید می‌کند [۱۴]. میوه‌هایی همچون سیب، آلو، گیلاس، انواع مرکبات و فرآورده‌هایی مانند هویج، سیب زمینی، چغندر قند، گوجه فرنگی و انواع سبزیجات حاوی پکتین هستند. با توجه به پژوهش‌های انجام شده می‌توان بهترین منبع برای پکتین را پوست مرکبات دانست [۱۵].

در کشور ما حدود ۳۰٪ از محصولات تولید شده به صورت ضایعات دورریز می‌شوند [۱۶]، بنابراین بسیار مهم است که بتوان با ارائه راهکارهایی میزان ضایعات را کاهش داده و دوباره به چرخه مصرف بازگرداند. یکی از این راهکارها تولید پکتین از ضایعات محصولات کشاورزی به ویژه ضایعات مرکبات است. در میان پلی‌ساکاریدهای استخراج شده از مواد گیاهی، پکتین، یک پلی‌ساکارید بسیار پیچیده است که در دیواره‌های سلولی و لایه‌های میانی گیاهان یافت می‌شود، به دلیل خاصیت ژل‌کنندگی و پایدارکنندگی، به عنوان یک ماده مؤثر در تولید فرآورده‌های خوراکی و کاربردهای دارویی به کار می‌رود. میزان مصرف سالانه



**Fig 1** Schematic of decanter centrifuge machines

در این مطالعه سانتریفیوژ برای افزایش جداسازی گزارش شده است. سانتریفیوژ یک روش کمکی جایگزین برای بهبود کارایی غلظت انجماد بلوک است. محلول غلیظ از آب-میوه منجمد (زغال اخته و آناناس) در سه چرخه انجماد جداسازی شد. برای جداسازی اجباری املاح از نمونه‌های منجمد، از سانتریفیوژی استفاده کردیم که به مدت ۱۰ min در دمای ۲۰ C و ۲۰ RPM و ۴۶۰۰ کار می‌کرد. این تکنیک پس از سیکل سوم عملکرد خوبی دارد و به افزایش تقریباً ۲٫۵ برابری غلظت اولیه جامدات، مقادیر نزدیک به ۰٫۷۴ کیلوگرم املاح در هر ۱ کیلوگرم املاح اولیه می‌رسد. به حدود ۶۰٪ کنسانتره می‌رسد. عملکرد غلظت بلوک انجماد به کمک سانتریفیوژ اعمال شده به آب-میوه به ماتریس یخی نسبت داده شد که به‌عنوان یک جامد متخلخل عمل می‌کند که از طریق آن محلول غلیظ از طریق کانال‌های زهکشی یخ بهبود یافته توسط نیروی گریزازمرکز نفوذ کند [۲۲].

در طول جنگ جهانی دوم (۱۹۳۹-۱۹۴۵)، نیاز به بهبود تولید و توزیع مواد غذایی به‌منظور تضمین تغذیه و سلامت کافی مردم در سراسر جهان اهمیت یافت [۲۳]. به دلیل افزایش جمعیت و گسترش خاک برای مصارف کشاورزی، سهم تکنولوژیکی انقلاب سبز که بر بهره‌وری تأثیر گذاشت، تولیدات کشاورزی در طول ۵۰ سال گذشته بیش از سه برابر افزایش یافته است [۲۴].

چنانچه ذکر شد گزارش‌های دقیق و جامعی در خصوص کاربرد جداسازی نیمه‌پیوسته به‌منظور جداسازی سیال چند فازی در حوزه صنایع غذایی یافت نشد، اگرچه جداسازی ناپیوسته به‌طور گسترده در مراکز تحقیقاتی در دسترس بوده و به‌سهولت قابل کاربرد هستند؛ اما راندمان زمانی بسیار پائین امکان استفاده در فرایندهای صنعتی و نیمه‌صنعتی را از آنها سلب می‌نماید؛ لذا در این تحقیق به جداسازی مواد چند فازی در حوزه صنایع غذایی

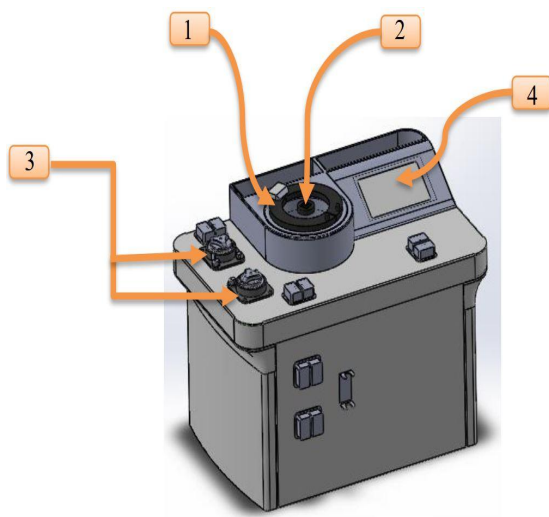
پکتین در سراسرجهان تقریباً ۵۰ هزار تن است که ارزش بازار جهانی حداقل ۴۰۰ میلیون یورو را در برمی‌گیرد [۳]. سطح معمولی پکتین در گیاهان مختلف (وزن تازه) سیب ۱٪، زردآلو ۱٪، گیلاس ۴٪، نارنگی ۱٪، هویج، ۱/۵٪ و پوست مرکبات ۷۱٪ است [۱۷]. در حال حاضر، پکتین تجاری تقریباً به‌طور انحصاری از پوست مرکبات یا تفاله سیب حاصل می‌شود که هر دو محصول جانبی واحدهای تولید آبمیوه هستند. تفاله سیب حاوی ۱۰٪ برحسب ماده خشک است. پوست مرکبات حاوی مقدار نسبتاً بالاتر یعنی حدود ۶۷٪ پکتین نسبت به سیب است. از نظر کاربرد، کیفیت پکتین مرکبات و سیب تا حد زیادی معادل هستند [۱۸]. از ویژگی‌های فیزیکی، رنگ پکتین‌های مرکبات گرمی روشن یا برنزه روشن هستند، درحالی‌که پکتین حاصل از سیب غالباً تیره‌تر است. منابع جایگزین برای استخراج پکتین شامل ضایعات چغندر قند، طبق آفتاب‌گردان و ضایعات انبه است [۱۹]. تولید سالانه مرکبات بیش از ۱۲۴ میلیون تن است و حدود یک سوم مرکبات فراوری می‌شود که هر ساله مقدار زیادی باقیمانده را در پی دارد. پالپ و آبمیوه قسمت‌های خوراکی مرکبات هستند و پوست، دانه، و دیواره‌های تقسیم‌کننده داخلی جزو ضایعات محسوب می‌شوند [۲۰].

در صنعت آبمیوه سانتریفیوژ در بخش‌های مختلف تولید این محصول نقش بسیار پررنگی دارد و از انواع آن استفاده می‌شود. در تحقیقی یک دستگاه سانتریفیوژ نوع دکانتر استفاده شده که با موفقیت مواد جامد معلق را از مایعات و دوغاب جدا می‌کند. اصل کار جداساز دکانتر بر اساس اثرات شناوری است، یعنی زمانی که آب حاوی مواد جامد معلق چرخانده می‌شود، اجزای با چگالی بیشتر به انتهای مخلوط مایع می‌افتند و به دنبال آن اجزای چگالی کمتری فرار می‌گیرند. (شکل ۱) کار یک سیلندر سانتریفیوژ مدرن از نوع دکانتر را توضیح می‌دهد. این نوع زلال‌کننده‌ها بیشتر به همراه سیستم‌های پرس برای جداسازی کامل آب‌میوه از پالپ استفاده می‌شوند. یک دکانتر معمولی شامل یک سانتریفیوژ استوانه‌ای با قطر رو به کاهش است که با یک صفحه تراوا پوشانده شده و در پوششی از گاز بی‌اثر داخل یک کاسه مخروطی دیواره جامد محصور شده است. باکیفیت و خلوص خوب در این تحقیق از این نوع سانتریفیوژ استفاده شده است [۲۱].

## ۲-۱- جداساز دورانی نیمه پیوسته

جداساز دورانی نیمه پیوسته مورد استفاده در این تحقیق، با استفاده از مجموعه ظرف دورانی با قابلیت تنظیم دور، پمپ پراستالتیک<sup>۲</sup> با قابلیت تنظیم دبی و لوله های ورودی و خروجی انتقال سیال کار می کند (شکل ۴). زمانی که سیال وارد جداساز می شود با استفاده از نیروی گریز از مرکز حاصل از دوران ظرف در حال چرخش و تفاوت چگالی قسمت مایع و قسمت های جامد معلق در سیال باعث جداسازی می شود.

مکانیزم ظرف جداساز به این شکل است که زمانی پمپ پراستالتیک مایع را از قسمت ورودی (شکل ۱-۲) به داخل ظرف در حال دوران با سرعت دورانی مشخص پمپ می نماید بعد از گذشت چند دقیقه از انجام فرایند لایه ای (شکل ۲-۳ و شکل ۳) از پالپ که بخش نامطلوب ما در این تحقیق می باشد، تشکیل می شود و لایه کم چگالی (رقیق) در قسمت داخلی تشکیل می شود (شکل ۲-۴) و در نهایت از خروجی (شکل ۲-۲) خارج می گردد که قسمت مطلوب در تحقیق حاضر و حاوی پکتین است.



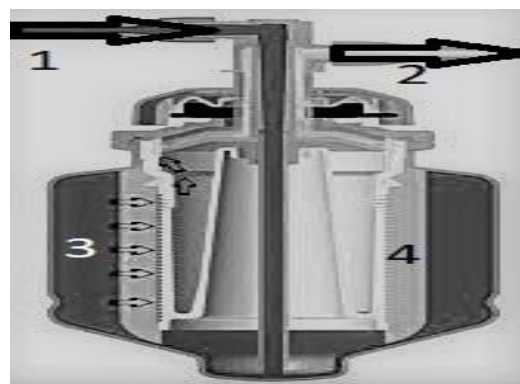
**Fig 4** Schematic of the semi-continuous rotary separator 1: The location of the separator container 2: The location of the fluid inlet and outlet pipe 3: peristaltic pumps 4: The flow and flow control screen

<sup>2</sup> Peristaltic pump

پرداخته شده است که زمینه استخراج ماده ارزشمند پکتین را فراهم می کند.

## ۲- مواد و روش ها

پژوهش حاضر در راستای کاربرد جداساز نیمه پیوسته در حوزه صنایع غذایی یعنی جداسازی محلول سیال حاوی پکتین است. این پژوهش به وسیله جداساز دورانی نیمه پیوسته و سیال چند فاز حاوی پکتین انجام شده است که با دوران سیال مذکور در دور و دبی های مختلف و پایش انرژی مصرفی در روند انجام آزمایش ها و در نهایت اندازه گیری ماده خشک خروجی، کیفیت نمونه های جداسازی شده آن سنجیده شد که ماده خشک خروجی کمتر نشان از کیفیت جداسازی بهتر و مطلوب تر است.



**Fig 2** Semi-continuous separator rotary separator vessel 1: fluid inlet containing pectin 2: fluid outlet 3: separated solid part stuck to the wall of the vessel due to rotational force (undesired part) 4: separated dilute fluid part leaving (desirable part)



**Fig 3** Dissolved solid particles (pulp) stuck to the wall of the separator vessel used



Fig 5 A view of the used Lutron DW-6090A power analyzer

## ۲-۴- نحوه ارزیابی کیفیت جداسازی

پس از دریافت خروجی هر تیمار در ۵ نمونه (هر یک به حجم ۵۰mL) به منظور اندازه‌گیری میزان ماده جامد موجود در هر نمونه تمامی ظروف آزمایش شماره‌گذاری شد و با معلوم بودن وزن ظرف خالی در هر نمونه، ظروف به‌دقت توزین شد.

نمونه به مدت ۱۵min و با سرعت ۱۲۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد تا مواد جامد باقی‌مانده در قسمت انتهایی ظرف نمونه‌گیری جداسازی شده تا بتوان سیال درون ظرف را تخلیه نمود سپس فالكون‌های حاوی مواد خشک باقی‌مانده به مدت ۱۲h و در دمای ۵۰°C نگاه‌داری شد تا اطمینان حاصل شود که رطوبتی در آن باقی نمانده است (شکل ۶). در این مرحله با توزین نمونه بعد از رطوبت‌زدایی کامل وزن ماده خشک هر نمونه مشخص شد و به کمک رابطه ۱، درصد ماده جامد موجود در هر نمونه تعیین گردد.

$$\text{درصد ماده خشک} = \frac{\text{میزان ماده خشک هر نمونه} - \text{میزان ماده خشک نمونه شاهد}}{\text{میزان ماده خشک نمونه شاهد}} \times 100$$



Fig 6 The test container drying under standard conditions

## ۲-۲- روش آماده‌سازی سیال

به‌منظور تهیه پودر پوست پرتقال، پس از تهیه ۳۰ Kg پرتقال تازه، پوست آن جهت خشک‌کردن جدا شد. پوست پرتقال‌ها در اجاق آزمایشگاهی به مدت ۲۴h در دمای ۴۵C خشک گردید. پوست‌های خشک شده پودر شد و به‌منظور یکسان‌سازی اندازه ذرات، از الک با مش شماره ۴۰ عبور داده شد. به‌منظور آماده‌سازی سیال پودر پوست پرتقال با نسبت موردنظر با آب مقطر ترکیب گردید و pH محلول با استفاده از هیدروکلریک اسید تنظیم شد. محلول آماده شده به مدت ۵۰min در دمای ۸۲C همزنی گردید. محلول آماده شده حاوی اسید به‌عنوان حلال پکتین و مقداری فیبر جامد معلق در سیال است که به‌منظور جداسازی پکتین ابتدا می‌بایست ذرات جامد آن جدا شود. جداساز نیمه‌پیوسته در این مرحله به خدمت گرفته شد.

به‌منظور انجام آزمایش چنانچه پیش‌ازاین ذکر شد ابتدا دبی ورودی و سرعت دورانی جداساز و یکی از تیمارهای ۱۷ گانه (پنج سطح سرعت، سه سطح دبی ورودی سیال و پنج بازه زمانی) تنظیم و سپس با تزریق سیال داخل ظرف جداساز پس از گذشت زمانی بین ۵ تا ۹ دقیقه (باتوجه به سرعت دورانی) فاز سبک سیال در خروجی ظرف قابل مشاهده بود. به‌منظور بررسی روند زمانی جداسازی (بررسی تفاوت نمونه‌های اولیه و نمونه‌های بعدی جداسازی شده در هر تیمار) نمونه‌گیری درون ظرف‌هایی با ظرفیت ۵۰ mL انجام شد. این عمل تا رسیدن ظرف جداساز به حد اشباع ادامه یافت و در هر مرحله تعداد ۵ نمونه حاصل گردید؛ بنابراین در هر مرحله جداسازی با ظرفیت ظرف مورد آزمایش در این تحقیق امکان جداسازی ۲۵۰mL سیال وجود داشت.

لازم به ذکر است به‌منظور ورود سیال یکنواخت به ظرف جداساز همزنی ظرف اولیه (مخزن سیال اولیه) به‌طور پیوسته و در طول زمان آزمایش به‌وسیله یک همزن با دور ملایم انجام شد.

## ۲-۳- انرژی مصرفی

به‌منظور اندازه‌گیری انرژی مصرفی هر آزمایش، به کمک یک تحلیل‌گر توان (شکل ۵) در سطوح مختلف آزمایش، میزان توان مصرفی مربوط به هر یک ثبت شد درنهایت نیز با توجه مدت‌زمان ثبت‌شده برای هر آزمایش، انرژی مصرفی محاسبه گردید.

## ۲-۵- تعیین درجه استریفیکاسیون

درجه استریفیکاسیون پکتین به روش تیتراسیون طبق روش سانتوس و همکاران [۲۵] با اندکی تغییرات اندازه‌گیری در این روش ۰/۱ گرم از نمونه‌های پکتین استخراج شده به ارلن‌هایی با حجم ۲۵۰mL اضافه شد. نمونه‌ها پکتین را با ۱mL اتانول مرطوب کرده و ۴۰mL آب مقطر خالی از دی‌اکسیدکربن به هرکدام از ارلن‌ها اضافه گردید. ارلن‌ها به کمک شیکر به مدت ۱۶h هم زده شدند تا پکتین به طور کامل حل گردد. برای شروع تیتراسیون دو قطره فنل فتالین به هر یک از ارلن‌ها اضافه گردید و با سود ۰/۱N تا ظهور رنگ صورتی کم‌رنگ تیترا شد. حجم مصرفی سود در این مرحله به‌عنوان V1 ثبت شد. سپس ۱۰mL سود ۰/۱N به هر یک از محلول‌های خنثی شده اضافه نموده و به مدت ۴۵min هم زده شد تا پکتین صابونی شده و گروه‌های اسیدی آزاد شوند. در نهایت نمونه‌ها را برداشته و به هرکدام ۱۰mL محلول ۰/۱N اسیدکلریدریک اضافه شد و دوباره با سود ۰/۱N تا ظهور رنگ صورتی کم‌رنگ تیترا شد. سود مصرفی در

این مرحله به‌عنوان V2 در نظر گرفته شد. باید توجه داشت که حجم مساوی از اسیدکلریدریک ۰/۱N بتواند سود ۰/۱N را خنثی کند. درجه استری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$DE\% = \frac{v_2}{v_2 + v_1} \times 100$$

دراین رابطه:

DE% = درجه استریفیکاسیون (%).

$v_1$  = حجم مصرفی سود در مرحله اول (mL)

$v_2$  = حجم سود مصرفی در مرحله دوم (mL). بود.

## ۲-۶- آنالیز آماری

تعداد آزمایش‌های انجام شده ۱۷ عدد بوده است که ۵ تکرار برای نقطه مرکزی و همچنین داده‌ها ثبت شده، حاصل میانگین سه بار مشاهده در نظر گرفته شد. در جدول ۱ تیمارهای اعمال شده در آزمایش برای تحلیل به روش سطح پاسخ و پاسخ‌های مربوطه نشان داده شده است.

Table 1 Treatments applied in the experiment for analysis by RSM

test series	Q(mL/min)	RPM (rev/min)	Time step(S)
1	90	4000	150
2	90	4000	150
3	90	4000	150
4	90	4000	150
5	90	4000	150
6	60	2000	200
7	60	3000	100
8	120	5000	50
9	90	6000	200
10	60	2000	200
11	60	5000	150
12	120	3000	50
13	60	4000	50
14	120	5000	100
15	120	2000	250
16	120	3000	250
17	90	6000	250

در این تحقیق به منظور تحلیل تأثیر متغیرهای مستقل مربوط بر متغیرهای وابسته، از نرم افزار Expert Design در روش کلی سطح پاسخ استفاده شده است.

### ۳- نتایج و بحث

در این پژوهش هدف بررسی رفتار جداساز نیمه پیوسته طی تغییرات سرعت جداسازی و دبی ورودی توأم با محاسبه انرژی مصرفی است. در نتایج حاصل شده مشاهده گردید که بهترین سرعت دورانی برای جداسازی ۶۰۰۰rpm است؛ زیرا در هر سه سطح دبی ورودی، بالاترین راندمان حاصل شده در این دور بود. بر اساس نتایج آزمایش‌ها، دبی ۶۰ mL/min دارای بهترین راندمان جداسازی بود این رخداده کاملاً توجه‌پذیر بوده، زیرا دبی کمتر باعث می‌شود سیال زمان بیشتری برای جداسازی در اختیار داشته و لذا جداسازی کامل‌تری رخ می‌دهد در این نوع جداسازی اساساً زمان ماند بیشتر با میزان دبی رابطه عکس دارد و باتوجه به نتایج می‌توان نتیجه گرفت که بهترین کیفیت جداسازی (ماده خشک کمتر) در کمترین دبی اندازه‌گیری شد.

برای مشاهده تأثیر زمان بر روند کیفیت جداسازی، در هر آزمایش ۵ نمونه به ترتیب زمانی از هر آزمایش اخذ شد. مشاهده گردید که گذشت زمان تأثیر منفی بر کیفیت جداسازی داشته است به این معنی که در هر تیمار آزمایش از نمونه شماره ۱ به

شماره ۵ میزان ماده خشک در نمونه‌ها افزایش یافت که دلیل این امر افزایش قطر لایه بیرونی تشکیل شده داخل ظرف از مواد جامد است که باگذشت زمان امکان خروج ماده رقیق‌تر (مطلوب‌تر) را کاهش می‌داد. برای اندازه‌گیری انرژی مصرف شده در فرایند انجام هر آزمایش، انرژی مصرفی لحظه‌ای و انرژی مصرفی در کل فرایند مشاهده و ثبت شد که مطابق انتظار با افزایش دور و دبی مصرف انرژی لحظه‌ای افزایش می‌یابد ولی در مصرف انرژی کلی باتوجه به اینکه دبی بیشتر زمان انجام آزمایش را کم می‌کند؛ لذا دبی بیشتر در نهایت باعث کاهش مصرف انرژی شد. به کمک پاور آنالایزر استفاده شده جهت اندازه‌گیری انرژی مصرفی در هر دور و دبی مشخص و با معلوم بودن زمان کل فرایند هر آزمایش، میزان انرژی مصرفی تعیین شد بالاترین دور و کمترین دبی بیشترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داد.

### ۳-۱- تجزیه واریانس برای راندمان ماده خشک

#### جداسازی شده

راندمان ماده خشک جداسازی شده عبارت است از نسبت وزنی ماده خشک به وزن ماده خشک نمونه شاهد. نتایج تجزیه واریانس اثر متغیرها بر روی راندمان ماده خشک در جدول ۲ ذکر شده‌اند.

**Table 2** Analysis of variance table of the parameters of the quadratic regression model for dry matter efficiency

Source	df	Sum of squares	Means of square	F-value	P-value
Model	9	3668.01	407.56	17.05*	<0.0001
A(RPM)	1	1726.56	1726.56	72.24*	<0.0001
B(Q)	1	37.33	37.33	1.56 <sup>ns</sup>	0.23996
C(TIME)	1	589.36	589.36	24.65*	0.00056
AB	1	47.68	47.68	1.99 <sup>ns</sup>	0.1881
AC	1	640.99	640.99	26.81*	0.0004
BC	1	28.01	28.01	1.17 <sup>ns</sup>	0.30440
A <sup>2</sup>	1	467.32	467.31	19.55*	0.001290
B <sup>2</sup>	1	3.26	3.25	0.13 <sup>ns</sup>	0.7198
C <sup>2</sup>	1	4.43	4.43	0.18 <sup>ns</sup>	0.6760
Residual	10	239.01	23.90		
Lack of Fit	4	174.29	43.57	4.039 <sup>ns</sup>	0.0633
Error	6	64.72	10.79		
total	19	3907.02			

\*\*Significant at the 1% probability level

\*Significant at the 5% probability level.

<sup>ns</sup> not significant

$(R^2 = 91/76\%)$ :

$$Ra_p = 95.99 + 13.9 * A - 7.68 * C + 8.95 * AC - 12.34 * A^2$$

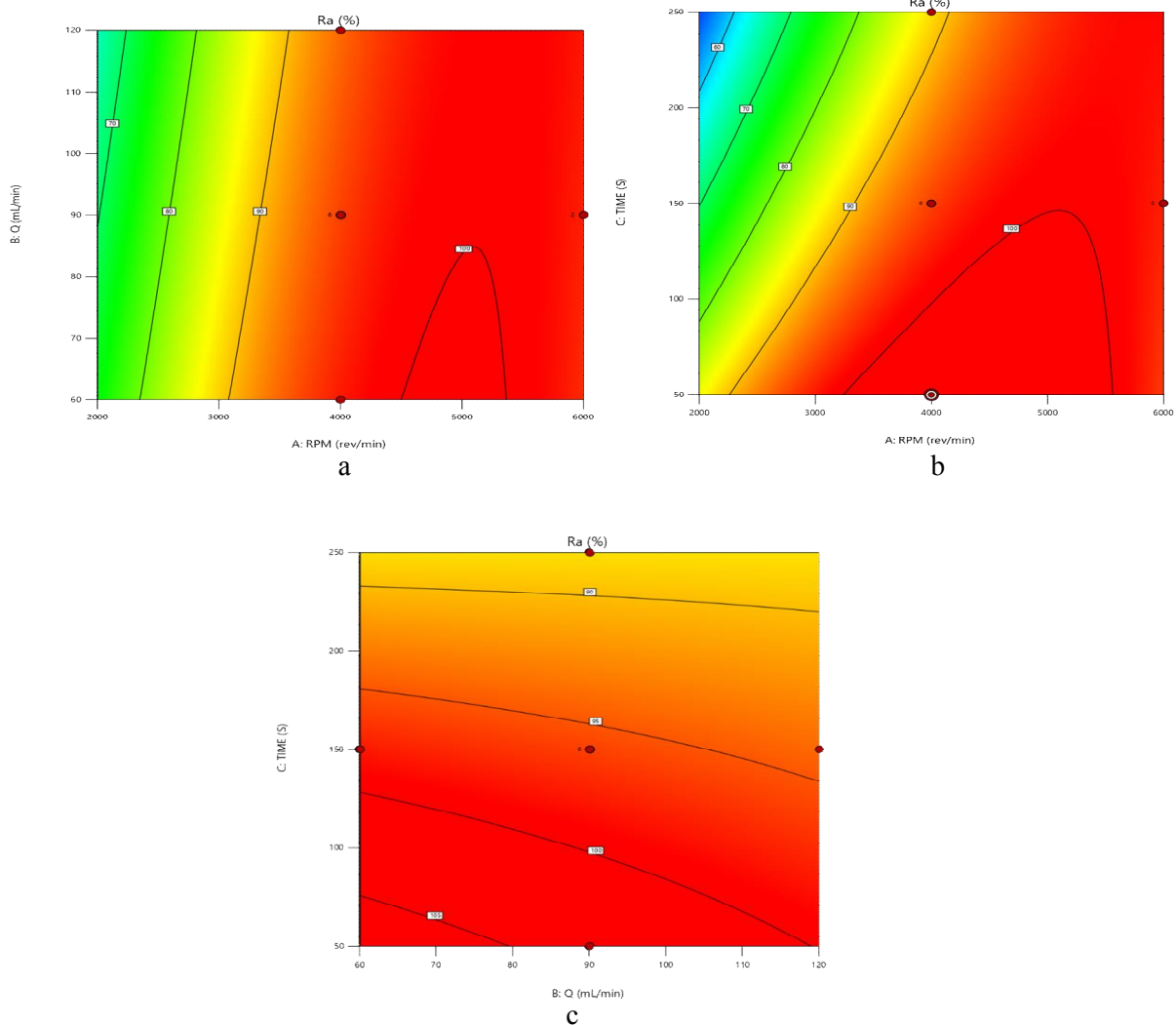
علامت مثبت در پیشروی هر کدام از جمله‌ها نشان‌دهنده تأثیر هم‌افزایی و علامت منفی نشان‌دهنده تأثیر منفی متغیر (ها) بر روی پاسخ می‌باشد.

### ۲-۳- اثر متقابل متغیرهای مستقل بر راندمان ماده

#### خشک جداسازی شده

در شکل ۷ نمودار سطح پاسخ متغیر وابسته (راندمان ماده خشک جدا شده) به‌ازای تغییرات متغیرهای مستقل به‌صورت خطوط تراز دیده می‌شود.

نتایج نشان دادند که مدل معنی‌دار و عدم برازش معنی‌دار نشده است. اثر عوامل سرعت دورانی و زمان در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است همچنین اثر متقابل سرعت دورانی و زمان و توان دوم سرعت دورانی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. معنی‌داری اثرات نام‌برده بیانگر اهمیت و تأثیرگذاری متغیرهای مستقل انتخاب‌شده در این آزمایش است. در جدول ۲ اثر سرعت دورانی را با (A)، اثر دبی (B) و اثر زمان با (C) نشان‌داده شده است. با بهره‌گیری از روش سطح پاسخ، مدل چندجمله‌ای درجه دوم کامل با ضریب تعیین ۹۱/۷۶٪ برای تخمین مقدار راندمان ماده خشک جداسازی شده، با تغییر در میزان مقادیر متغیرهای مستقل، به‌صورت کد شده انتخاب شد. مدل واقعی پیشنهاد شده، یک تابع چندجمله‌ای درجه دوم به‌صورت رابطه ۳ است



**Fig 7** The effect of independent variables on the efficiency of the separated dry matter a) changes in rotational speed and inlet flow rate b) changes in rotational speed and time c) changes in inlet flow rate and time



این کاهش راندمان نقش دارند. اول اینکه با دبی ورودی بیشتر لایه‌ای دوفازی داخل ظرف در حال دوران بادقت کمتری تشکیل می‌شود دوم به دلیل اینکه در مقاطع زمانی بالاتر ظرف کم‌کم در حال پرشدن است و مایع خروجی غلیظتر (راندمان کمتر) می‌شود.

### ۳-۳- تجزیه واریانس برای انرژی مصرفی

انرژی مصرفی که شامل دو بخش مصرف انرژی در پمپ‌ها و گرداننده (روتور) می‌شود (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس اثر متغیرهای متخلف بر روی انرژی مصرفی در جدول ۴ آورده شده‌اند. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان دادند که مدل معنی‌دار و عدم برازش عدم معنی‌دار شده، بنابراین انتخاب مدل و تحلیل‌ها قابل استناد و معتبر است. اثر سرعت دورانی، دبی ورودی و توان دوم دبی ورودی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. معنی‌داری اثرات نام‌برده بیانگر اهمیت و تأثیرگذاری متغیرهای مستقل انتخاب شده در این آزمایش است. در جدول ۴ سرعت دورانی را با (A)، اثر دبی ورودی (B) و اثر زمان با (C) نشان داده شده است.

در شکل الف ۷ مشاهده می‌شود که رابطه سرعت دورانی و دبی ورودی به این شکل است که با افزایش سرعت دورانی راندمان افزایش پیدا کرده است، در مورد دبی ورودی این رابطه شدت کمتری داشته و بر عکس است؛ یعنی با دبی کمتر جدایش باکیفیت‌تر (با راندمان بالاتر) مشاهده گردید که این رخداد کاملاً توجیه‌پذیر بوده؛ زیرا دبی کمتر موجب می‌شود سیال زمان بیشتری به‌منظور جداسازی در اختیار داشته و لذا جداسازی کامل‌تری حاصل می‌شود در این نوع جداسازی اساساً زمان ماند بیشتر با میزان دبی رابطه عکس دارد باتوجه به شکل ب ۷ مشاهده می‌شود که روند تغییرات متغیر وابسته راندمان جداسازی ماده خشک حاوی پکتین با افزایش زمان، راندمان جداسازی بهبود پیدا کرد که دلیل این پدیده افزایش لایه جداسازی شده در داخل ظرف جداساز و بالارفتن غلظت خروجی و در نهایت اثر منفی گذشت زمان بر راندمان جداسازی است و همچنین با افزایش سرعت دورانی راندمان جداسازی بالا می‌رود که دلیل آن را می‌توان به ایجاد نیروی RCF بیشتر در سرعت دورانی بالاتر و ایجاد لایه مستقل‌تر لایه‌ها و در نهایت جداسازی بهتر، متناسب کرد. در شکل ج ۷ هم‌زمان با افزایش دبی ورودی راندمان در مقاطع زمانی بالاتر کاهش می‌یابد که دو پدیده به‌طور هم‌زمان در

**Table 3** The amount of energy consumed by the rotary separator at different speeds and flow rates

(rpm) rotational speed	2000			3000			4000			5000			6000		
<b>Inlet flow rate (mL/min)</b>	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120
<b>(S) Test time</b>	972	559	421	932	536	375	857	501	381	821	591	340	816	517	310
<b>Instant consumption(W)</b>	43.6	47.6	50.1	53.4	56.7	59.1	64.9	67.5	69.5	72.1	74.3	77.2	80.4	82.1	84.3
<b>Total energy (W.h) consumption</b>	<b>11.77</b>	<b>7.39</b>	<b>5.86</b>	<b>13.84</b>	<b>8.44</b>	<b>6.16</b>	<b>15.45</b>	<b>9.39</b>	<b>7.36</b>	<b>16.44</b>	<b>12.20</b>	<b>7.29</b>	<b>18.22</b>	<b>11.79</b>	<b>7.26</b>

**Table 4** Analysis of variance table of quadratic regression model for energy consumption

Source	df	Sum of squares	Means of square	F-value	P-value
Model	9	237.23	26.36	98.09*	< 0.0001
A(RPM)	1	35.62	35.62	132.54*	< 0.0001
B(Q)	1	174.97	174.97	651.14*	< 0.0001
C(TIME)	1	0.0000	0.0000	0.0000 <sup>ns</sup>	1.0000
AB	1	12.75	12.75	47.45*	< 0.0001
AC	1	0.0000	0.0000	0.0000 <sup>ns</sup>	1.0000
BC	1	0.0000	0.0000	0.0000 <sup>ns</sup>	1.0000
A <sup>2</sup>	1	0.0194	0.0194	0.0721 <sup>ns</sup>	0.7937
B <sup>2</sup>	1	8.16	8.16	30.35*	0.0003
C <sup>2</sup>	1	0.1728	0.1728	0.6431 <sup>ns</sup>	0.4412
Residual	10	2.69	0.2687		
Lack of Fit	4	1.36	0.3403	1.54 <sup>ns</sup>	0.3028
Error	6	1.33	0.2210		
total	19	239.92			

\*\*Significant at the 1% probability level

\*Significant at the 5% probability level

<sup>ns</sup> not significant

سیکل) کاهش می‌یابد که به‌خودی‌خود باعث مصرف انرژی کمتر گرداننده (روتور) اصلی جداساز (که بخش قابل‌توجه انرژی صرف روتور می‌شود) و در نتیجه انرژی مصرفی کمتر کل دستگاه جداساز دورانی در یک سیکل می‌شود. در مورد فاکتور سرعت دورانی می‌توان دریافت که هر چه سرعت دوران بیشتر می‌شود، انرژی مصرفی بالاتر می‌رود. بدیهی است این اتفاق به دلیل مصرف بیشتر دوران کننده (روتور) در دوره‌های بالاتر رخ می‌دهد.

در شکل ب ۸ مشاهده می‌گردد که با افزایش سرعت دورانی به‌صورت مستقیم انرژی مصرفی افزایش می‌یابد در صورتی‌که روند مقاطع زمانی بر مصرف انرژی ثابت است و اثری روی مصرف انرژی ندارد که دلیل این پدیده این است که اساساً مقاطع زمانی S ۵۰ در نظر گرفته شده بعد از فرایند جداسازی است و در اصل مربوط به بعد از انرژی مصرفی است و فقط بر راندمان جداسازی اثرگذار است. همچنین به‌طور مشابه در شکل ج ۸ مشاهده می‌شود که زمان بر انرژی مصرفی بی‌تأثیر بوده و با افزایش دبی انرژی مصرفی کاهش می‌یابد که دلیل آن سرعت ورودی بیشتر در نتیجه سیکل کوتاه‌تر و به طبع آن انرژی مصرفی کمتر در کل فرایند است.

با بهره‌گیری از روش سطح پاسخ، مدل چندجمله‌ای درجه دوم کامل با ضریب تعیین ۹۸/۸۱٪ برای تخمین مقدار انرژی مصرفی، با تغییر در میزان مقادیر متغیرهای مستقل، به‌صورت کد شده انتخاب شد. مدل واقعی پیشنهاد شده، یک تابع چندجمله‌ای درجه دوم به‌صورت رابطه ۴ است (R<sup>2</sup>= ۹۸/۸۱٪):

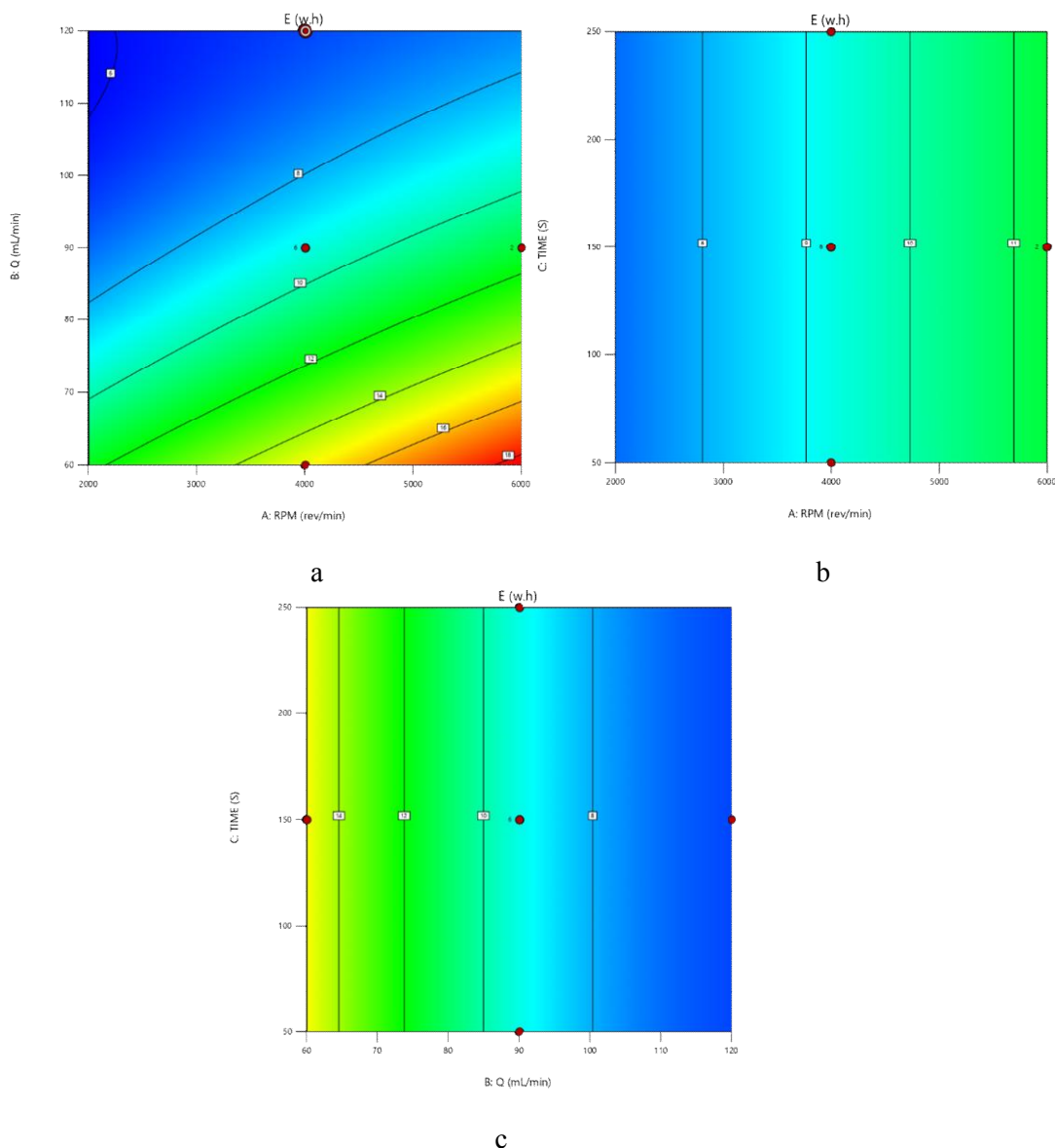
$$Ra_{ij} = 9.24 + 2.08 * A - 4.18 * B - 1.26 * AB + 1.66 * B^2$$

علامت مثبت در پیشروی هرکدام از جمله‌ها نشان‌دهنده تأثیر هم‌افزایی و علامت منفی نشان‌دهنده تأثیر منفی متغیر (ها) بر روی پاسخ می‌باشد.

### ۳-۴- اثر متقابل متغیرهای مستقل بر روی انرژی

#### مصرفی

در شکل الف ۸ مشاهده می‌کنیم که دو عامل معنی‌دار یعنی سرعت دورانی و دبی ورودی هرکدام به نحوی بر انرژی مصرفی جداساز تأثیر داشته‌اند. با مشاهده روند مصرف انرژی دبی ورودی می‌توان دریافت با افزایش دبی مصرف انرژی کاهش می‌یابد. شاید در نگاه اول دبی ورودی بیشتر، مصرف انرژی بیشتر توسط پمپ‌های ورودی را در پی داشته باشد؛ ولی با نگاه دقیق‌تر به کل فرایند متوجه می‌شویم که هرچه قدر دبی ورودی بیشتر باشد زمان انجام یک آزمایش با مقدار مشخص (یک



**Fig 8** The effect of independent variables on energy consumption a) changes in rotational speed and input flow rate b) changes in rotational speed and time c) changes in input flow rate and time

همکاران [۲۷] در یک بررسی مشاهده کردند که نوع گونه میوه‌ای که پکتین از آن استخراج می‌شود بر درجه استری آن بسیار تأثیرگذار است. در این مطالعه چون پودر اولیه مورد استفاده یکسان بود، در نتیجه درجه استری نیز انتظار می‌رود که یکسان باشد. درجه استری با توجه به ارزیابی انجام شده برابر با  $7.0 \pm 0.5$  بود و پکتین استخراج شده با درجه استری بالا محسوب می‌شود که کاربردهای فراوانی دارد.

### ۳-۵- بررسی درجه استری

روند تغییرات درجه استری وابسته به متغیرهایی نظیر دما، pH و ماده اولیه‌ای است که در پژوهش حاضر با توجه به یکسان بودن سطح موارد فوق در آزمایش‌های انجام گرفته درجه استری تغییرات نداشته است. بیشینه میزان داستریفیکاسیون پکتین در شرایط قلیایی به دلیل صابونی شدن گروه‌های استری رخ می‌دهد، به همین دلیل در شرایط اسیدی موجود در این مطالعه میزان حفاظت از گروه‌های متوکسیل بیشتر است [۲۶]. آبی و

## ۳-۶- تعیین نقاط بهینه در ارزیابی فرایند

## جداسازی پالپ در سیال حاوی پکتین

برای بهینه‌سازی فرایند جداسازی پالپ در سیال حاوی پکتین، باید میزان انرژی مصرفی به مقدار کمینه و راندمان جداساز مواد خشک به بیشینه مقدار خود برسند. بدین منظور مطابق جدول ۵ شرایط مرزی متغیرهای مستقل و هدف تعیین گردیدند. از

**Table 5** Boundary conditions of independent and objective variables to optimize the separation process of dry matter from fluid containing pulp

Variable	Maximum weight	Minimum weight	upper limit	lower limit	target
rotational speed	1	1	6000	2000	in specified range
Inlet flow rate	1	1	120	60	in specified range
time	1	1	250	50	in specified range

**Table 6** Introduction of the five optimal points of the pulp separation process from the liquid containing pectin

test series	rotational speed (RPM)	Inlet flow rate (mL/min)	time (S)	Total energy (W.h) consumption	Separation efficiency (%)
1	3400	120	50	6.47	99.12
2	3500	119	50	6.48	99.13
3	3500	120	51	6.48	99.23
4	3300	110	50	6.51	98.98
5	5500	120	200	6.69	97.54

نمونه زمانی گرفته شده در هر آزمایش، سیر نزولی در کیفیت جداسازی باگذشت زمان مشاهده شد، پس می‌توان نتیجه گرفت که اگر مکانیزمی جهت پاک‌سازی لایه پالپ ایجاد شود می‌توان در مدت‌زمان بیشتری خروجی با کیفیت دریافت کرد. در نهایت باتوجه به روند کاهش راندمان جداسازی با نزدیک شدن جداساز نیمه پیوسته به ظرفیت اسمی خود به منظور دریافت خروجی با کیفیت ثابت، لازم است دبی ورودی سیال باگذشت زمان کاهش یابد میزان دقیق این کاهش دبی نیازمند آزمایش‌ها جداگانه و محاسبات در این زمینه می‌باشد. در ادامه این پژوهش می‌توان با استفاده از شبیه‌سازی نرم‌افزاری به منظور رسیدن به بیشینه کیفیت جداسازی بادقت بیشتر به کمک نرم‌افزارهای تحلیل سیال پرداخت همچنین با استفاده از یک سیستم در ابعاد بزرگ‌تر از سیستم کنونی و تکیه بر ساختار جریان پیوسته بودن، می‌توان به هر چه پیشرفت بیشتر این روش و بعد کاربردی آن کمک کرد.

در انتها نقطه بهینه پیشنهادی توسط رایانه، به صورت تجربی در ۳ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. میانگین متغیرهای وابسته به دست آمده با وجود منابع خطا به مقدار رابطه تجربی نزدیک بوده است. مقادیر به دست آمده توسط رابطه تجربی خطای قابل قبولی (۶٪) نسبت به میزان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل (ردیف ۱ جدول ۶) را نشان می‌دهد که این امر نشان‌دهنده انتخاب صحیح مدل و انطباق آن با داده‌های آزمون است.

## ۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد باتوجه به اینکه تشکیل لایه‌ها در RCF بیشتر، بهتر تشکیل می‌شود؛ بنابراین در بیشترین دور یعنی دوره‌های بالا بهترین کیفیت جداسازی را ایجاد می‌نماید. باتوجه به نتایج حاصل شده از جداساز می‌توان پیش‌بینی کرد که در سرعت‌های دوران کم، فارغ از میزان دبی ورودی سیال، جداسازی با کیفیت پایین صورت می‌گیرد. همچنین با مقایسه پنج

## ۵- منابع

- [12] Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K. and Sridhar, R. (2014) Microwave Assisted Extraction of Pectin from Waste Citrullus Lanatus Fruit Rinds. *Carbohydrate Polymers*, Elsevier, 101, 786–791.  
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2013.09.062>.
- [13] Grassino, A.N., Halambek, J., Djaković, S., Brnčić, S.R., Dent, M. and Grabarić, Z. (2016) Utilization of Tomato Peel Waste from Canning Factory as a Potential Source for Pectin Production and Application as Tin Corrosion Inhibitor. *Food Hydrocolloids*, Elsevier, 52, 265–274.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2015.06.020>.
- [14] Sun-Waterhouse, D. and Waterhouse, G.I.N. Spray-Drying of Green or Gold Kiwifruit Juice-Milk Mixtures; Novel Formulations and Processes to Retain Natural Fruit Colour and Antioxidants. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1397-4>.
- [15] Cserjési, P., Bélafi-Bakó, K., Csanádi, Z., Beszédes, S. and Hodúr, C. (2012) Simultaneous Recovery of Pectin and Colorants from Solid Agro-Wastes Formed in Processing of Colorful Berries. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, Akadémiai Kiadó, 7, 65–80.  
<https://doi.org/10.1556/PROGRESS.7.2011.5>.
- [16] Taghizadeh-Alisaraei, A., Hosseini, S.H., Ghobadian, B. and Motevali, A. (2017) Biofuel Production from Citrus Wastes: A Feasibility Study in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 69, 1100–1112.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.102>.
- [17] Srivastava, Pranati, and Rishabha Malviya. 2011.... - Google Scholar. [https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as\\_sdt=0%2C5&q=Srivastava%2C+Pranati%2C+and+Rishabha+Malviya.+2011.+2+Indian+Journal+of+Natural+Products+and+Resources+Sources+of+Pectin%2C+Extraction+and+Its+Applications+in+Pharmaceutical+Industry+-+An+Overview&b](https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Srivastava%2C+Pranati%2C+and+Rishabha+Malviya.+2011.+2+Indian+Journal+of+Natural+Products+and+Resources+Sources+of+Pectin%2C+Extraction+and+Its+Applications+in+Pharmaceutical+Industry+-+An+Overview&b).
- [18] May, C.D. (1990) Industrial Pectins: Sources, Production and Applications. *Carbohydrate Polymers*, Elsevier, 12, 79–99.  
[https://doi.org/10.1016/0144-8617\(90\)90105-](https://doi.org/10.1016/0144-8617(90)90105-)
- [1] Appelt, J., Heschel, W. and Meyer, B. (2016) Catalytic Pyrolysis of Central German Lignite in a Semi-Continuous Rotary Kiln — Performance of Pulverized One-Way ZSM-5 Catalyst and ZSM-5-Coated Beads. *Fuel Processing Technology*, Elsevier, 144, 56–63.  
<https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2015.12.004>.
- [2] Sikin, A.M. and Rizvi, S.S.H. Recent Patents on the Sterilization of Food and Biomaterials by Super-Critical Fluids. Bentham Science Publishers.
- [3] Jaworski, A.J. and Meng, G. (2009) On-Line Measurement of Separation Dynamics in Primary Gas/Oil/Water Separators: Challenges and Technical Solutions—A Review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Elsevier, 68, 47–59.  
<https://doi.org/10.1016/J.PETROL.2009.06.007>.
- [4] Ishii, M. and Hibiki, T. (2010) Thermo-Fluid Dynamics of Two-Phase Flow. Springer Science & Business Media.
- [5] Redelius, P. and Soenen, H. (2015) Relation between Bitumen Chemistry and Performance. *Fuel*, Elsevier, 140, 34–43.
- [6] de Haan, A.B., Eral, H.B. and Schuur, B. (2020) Industrial Separation Processes. *Industrial Separation Processes*, De Gruyter.
- [7] Tarleton, E.S. (2014) Progress in Filtration and Separation. Academic Press.
- [8] Svarovsky, L. (2000) Solid-Liquid Separation. Elsevier.
- [9] Kumar, C.G. and Takagi, H. (1999) Microbial Alkaline Proteases: From a Bioindustrial Viewpoint. *Biotechnology advances*, Elsevier, 17, 561–594.
- [10] Milani, J. and Maleki, G. (2012) Hydrocolloids in Food Industry. *Food industrial processes—Methods and equipment*, InTech Rijeka, Croatia, 2, 2–37.
- [11] Nguémazong, E.D., Christiaens, S., Shpigelman, A., Van Loey, A. and Hendrickx, M. (2015) The Emulsifying and Emulsion - stabilizing Properties of Pectin: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Wiley Online Library, 14, 705–718.

- Elsevier.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856415000569>.
- [23] FAO, 1948.
- [24] FAO, 2017c; (FAO and OECD, 2019b).
- [25] Santos, J.D.G., Espeleta, A.F., Branco, A. and De Assis, S.A. (2013) Aqueous Extraction of Pectin from Sisal Waste. *Carbohydrate Polymers*, Elsevier Ltd., 92, 1997–2001. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.089>.
- [26] Methacanon, P., Krongsin, J. and Gamonpilas, C. (2014) Pomelo (Citrus Maxima) Pectin: Effects of Extraction Parameters and Its Properties. *Food Hydrocolloids*, Elsevier, 35, 383–391.
- [27] Abid, M., Cheikhrouhou, S., Renard, C.M.G.C., Bureau, S., Cuvelier, G., Attia, H. and Ayadi, M.A. (2017) Characterization of Pectins Extracted from Pomegranate Peel and Their Gelling Properties. *Food Chemistry*, Elsevier, 215, 318–325.
- 2.
- [19] Thakur, B.R., Singh, R.K. and Handa, A.K. (2009) *Chemistry and Uses of Pectin — A Review*. <http://dx.doi.org/10.1080/10408399709527767>, Taylor & Francis Group, 37, 47–73. <https://doi.org/10.1080/10408399709527767>.
- [20] Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M. and Cho, M.H. (2018) Citrus Waste Derived Nutra-/Pharmaceuticals for Health Benefits: Current Trends and Future Perspectives. *Journal of Functional Foods*, Elsevier, 40, 307–316. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2017.11.015>.
- [21] Sharma, H.P., Patel, H. and Sharma, S. (2016) Enzymatic Extraction and Clarification of Juice from Various Fruits. *Trends in Post Harvest Technology Journal*, 2, 00–00. [www.jakraya.com/journal/tpht](http://www.jakraya.com/journal/tpht).
- [22] Petzold, G., Moreno, J., Lastra, P., ... K.R.-I.F.S.& and undefined 2015. Block Freeze Concentration Assisted by Centrifugation Applied to Blueberry and Pineapple Juices.



## Application of semi-continuous rotary separator in food industry fluids - a case study of pulp separation from fluid containing pectin

Rahmati, Sh. <sup>1</sup>, Mahdavian, A. <sup>2\*</sup>

1. Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran.  
2. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2022/ 06/ 11  
Accepted 2022/ 12/ 26

#### Keywords:

Pectin,  
Rotary separator,  
Continuous separation,  
Extraction.

**DOI:** 10.22034/FSCT.19.132.183  
**DOR:** 20.1001.1.20088787.1401.19.132.14.7

\*Corresponding Author E-Mail:  
[a.mahdavian@modares.ac.ir](mailto:a.mahdavian@modares.ac.ir)

### ABSTRACT

Considering the importance and extent of industries related to food processing in human life and the key role of a raw material such as pectin in this industry, the use of innovative, more optimal and less expensive methods of extracting this material can be important. A semi-continuous rotary separator system for separating pulp from fluid containing pectin has been investigated in the present study. In this research, to evaluate the separation process with the help of semi-continuous separator by considering the rotational speed, fluid input flow rate and time in the separation process, on the efficiency (separation quality) and energy consumption at flow rates of 60, 90 and 120 ml/min and five levels of rotational speed 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, rpm and time intervals 0-50, 51-100, 101-150, 151-200 and 201-250 seconds, according to the optimal energy consumption. The solution contains acid as a solvent for pectin and some solid fiber suspended in the fluid, in order to produce pectin, its solid particles must be separated first and a semi-continuous separator is used in this step. According to the obtained results, the input flow rate of 60 ml/min due to the longer retention time for better separation, the rotational speed of 6000 rpm due to the creation of the greatest rcf force, and finally the time interval of 0-50 seconds had the best separation quality. By considering the time and energy consumption and using the RSM, the optimal point with an efficiency of 99.12% in the conditions of a rotational speed of 3400 rpm, an input flow rate of 120 ml/min and a time of 50 seconds with a consumption of 6.48 W hours of energy consumption, by computer It was introduced that it was validated by testing the first 5 optimal points and with an error of 6% of the introduced optimal point.