

تأثیر فیلتر غشایی تحت خلأ بر ویژگی‌های کیفی و بازده استخراج پکتین از پوست مرکبات

شعيب غلامی^۱، سعيد مینایی^{۲*}، علیرضا مهدویان^۳

۱ و ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱

چکیده

پکتین به دست آمده از پوست و ضایعات مرکبات در صنایع مختلفی از جمله صنایع غذایی کاربرد دارد. در مقیاس صنعتی، برای جداسازی مواد زیستی از سیالات و شفاف‌سازی سیال، روش فیلتر کردن کاربرد گسترده‌ای دارد. از روش‌های متداول برای تصفیه محلول اسیدی به منظور استخراج پکتین در مقیاس انبوه، استفاده از ترکیب نیروی خلأ و فیلترهای غشایی است. هدف از این پژوهش، بررسی متغیرهای مهم فیلتر غشایی تحت خلأ شامل: میزان ضخامت پرلیت (۱، ۱/۵ و ۲ سانتی‌متر)، اندازه ذرات کمک-فیلتر (۲۰، ۶۰ و ۱۰۰ میکرون)، و میزان خلأ (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ بار) است که بر بازده تولید پکتین، درجه استریفیکاسیون و میزان گالاکتورونیک اسید اثرگذار است. نتایج ارزیابی نشان داد که اندازه ذرات پرلیت و ضخامت لایه بر متغیر وابسته بازده استخراج (سطح احتمال ۵ درصد) معنی‌دار است. با افزایش اندازه ذرات پرلیت از ۲۰ میکرون به ۱۰۰ میکرون، بازده استخراج دو برابر افزایش یافت (از ۷ به ۱۴ درصد رسید). افزایش ضخامت لایه پرلیت از ۱ به ۲ سانتی‌متر، بازده تولید پکتین را از ۲۰ درصد به ۱۰ درصد کاهش داد. بیشترین میزان گالاکتورونیک اسید در ذرات ۲۰ میکرون و ضخامت ۲ سانتی‌متر مشاهده شد. از سوی دیگر، درجه استری پکتین استخراج شده در محدوده 70 ± 5 درصد متغیر بود که میزان استری شدن متأثر از شرایط استخراج است. شرایط بهینه استخراج در $0/38$ بار، اندازه ذرات پرلیت ۵۶ میکرون و سطح ضخامت ۲ سانتی‌متر با نرم افزار مشخص گردید. یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر در انتقال این فناوری از مقیاس آزمایشگاهی به مقیاس تجاری به منظور استخراج پکتین مؤثر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: اسید گالاکتورونیک، پرلیت، پوست پرتقال، استریفیکاسیون، کمک فیلتر، روش سطح پاسخ، مدل‌سازی ریاضی

مقدمه

و در پزشکی و داروسازی از آن به عنوان فیبر غذایی برای درمان مشکلات گوارشی استفاده می‌شود (Maran *et al.*, 2014). اخیراً 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 (Grassino *et al.*, 2016).

پکتین ترکیبی هیدروکلوئیدی اسیدی است که به عنوان افزودنی طبیعی در صنایع خوراکی، دارویی و پزشکی کاربردهای بسیاری دارد (Milani & Maleki, 2012). این ترکیب در صنعت غذا به منظور ژل‌کننده، تثبیت‌کننده، قوام دهنده و جایگزین چربی به کار برده می‌شود (Ngoumazong *et al.*, 2015). بیشترین کاربرد پکتین در صنعت خوراک، استفاده از آن در تولید مربا و ژله است

استخراج پکتین، استخراج با محلول‌های اسیدی در دماهای بالاتر. به‌طور سنتی، پکتین در آب‌اسید ۰/۰۵ تا ۲ مولار با سولفوریک اسید، نیتریک اسید، فسفریک اسید، استیک اسید یا هیدروکلریک‌اسید در دمای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت با هم‌زدن مداوم استخراج می‌شود. استخراج پکتین به عوامل متعددی از جمله دما، مقدار pH، خواص حلال، نسبت جامد به حلال، مواد جامد خشک، اندازه ذرات و سرعت نفوذ بستگی دارد (Minjares-Fuentes *et al.*, 2014). روش‌های ذکر شده برای تولید پکتین در مقیاس آزمایشگاه است که برای استخراج در مقیاس صنعتی کارا نیستند و باید از سازوکار دیگری استفاده شود که در ادامه بررسی می‌گردد.

فیلتراسیون به واسطه جداسازی مواد جامد از مایع با عبور جریان سیال از طریق محیطی با اعمال نیروی محرک مانند فشار مثبت، فشار منفی (خلأ)، گرانش یا گریز از مرکز حاصل می‌شود. فیلتراسیون تحت خلأ فرآیندی است که طی آن سیال موجود از طریق یک محیط فیلتر کاغذی یا پارچه‌ای که ذرات جامد بر روی آن به جای مانده و تشکیل کیک می‌دهد به کمک فشار خلأ عبور می‌کند (K. Scott, 1995). کمک فیلتر یک لایه با ضخامت ثابت است و روی فیلتر قرار می‌گیرد که از انسداد زود هنگام فیلتر جلوگیری کند. کمک فیلترها دارای تخلخل بالایی هستند، بنابراین به جریان مایع در اطراف ذرات خود کمک می‌کنند تا سرعت فیلتراسیون بهبود یابد. بنابراین از انسداد فیلتر جلوگیری می‌شود (Doran, 2013). پرلیت به دلیل اینکه تغییری در مزه، بو و رنگ مایعات نمی‌دهد و دارای قیمت مقرون به صرفه‌ای است، نمونه مناسبی برای فیلتراسیون است (Alkan & Doğan, 2001).

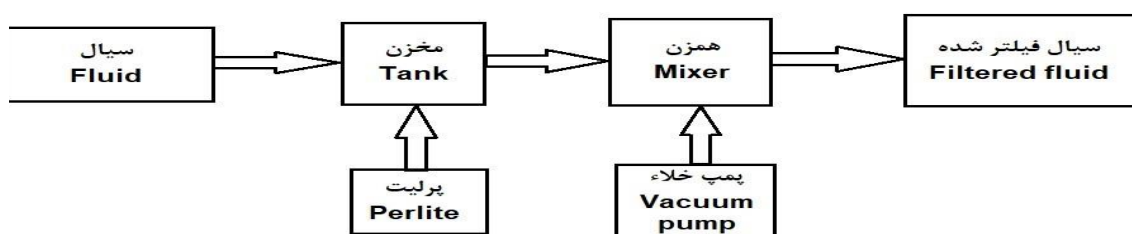
با توجه به کاربردهای ذکر شده برای پکتین، اهمیت روزافزون این ماده بر کسی پوشیده نیست. با توجه به سهولت استخراج این ماده ارزشمند در آزمایشگاه‌ها، تنها مانع تولید نبود تجهیزات و دانش کافی برای تولید در

پکتین به صورت گرد یا ذره‌های با اندازه ریز تا درشت، در رنگ‌های کرم تا قهوه‌ای و گاهی زرد مایل به سبز دیده می‌شود. پکتین به آسانی در آب حل می‌شود و مایع کلوئیدی و شفافی تولید می‌کند (Sun-Waterhouse & Waterhouse, 2015). میوه‌هایی مانند سیب، آلو، گیلاس، انواع مرکبات و فرآورده‌هایی مانند هویج، سیب زمینی، چغندرقد، گوجه فرنگی و انواع سبزی‌ها حاوی پکتین هستند. با توجه به پژوهش‌ها می‌توان بهترین منبع برای پکتین را پوست مرکبات دانست (Cserjési *et al.*, 2011). درجه استری شدن پکتین بر کاربرد آن به‌عنوان عامل ژل‌کننده تأثیرگذار است. برای مثال، پکتین با توجه به درجه استری شدن به دو گروه عمده با درجه متوکسیل بالا و درجه متوکسیل پایین تقسیم می‌شود (Chan *et al.*, 2017). پکتین‌های متوکسیل بالا و متوکسیل پایین خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت و کاربردهای مختلفی دارند. از پکتین متوکسیل بالا می‌توان به‌عنوان عامل ژل‌کننده، پایدارکننده و امولسیفایر در صنعت خوراک برای تولید مربا و ژله بهره گرفت. پکتین متوکسیل پایین می‌تواند به‌عنوان جایگزین چربی در بستنی، ماست، پخت نان گرم، محصولات گوشتی امولسیون‌شده یا محصولات کم‌کالری مانند نوشیدنی‌های گازدار رژیمی به‌کارگرفته شود (Saha & Bhattacharya, 2010). استخراج پکتین با روش‌های مختلفی صورت گرفته است و انتخاب و روش مناسب برای استخراج پکتین با هدف بیشینه کردن بازده استخراج و بهبود کیفیت محصول مهم است. از روش‌های مختلف تهیه پکتین می‌توان به روش استخراج با اسیدهای معدنی، استخراج به کمک امواج فراصوت، ریزموج‌ها و آنزیم با مکانیزه‌های مختلف می‌توان اشاره کرد (Huang *et al.*, 2013).

هدف نهایی هنگام تولید پکتین تجاری دستیابی به پکتین با انحلال پذیری بالا، درجه استری مشخص و با حداکثر راندمان و وزن مولکولی است. روش مرسوم برای

در این پژوهش متغیرهای مهم فیلتر تحت خلأ در جداسازی مواد فیبری از محلول اسیدی پکتین استفاده شده است. متغیرهای مستقل این تحقیق شامل اندازه ذرات کمک فیلتر، ضخامت لایه کمک فیلتر و سطح خلأ فیلتر هستند که اثر آنها بر متغیرهای وابسته تحقیق یعنی بازده تولید، میزان گالاکتورونیک اسید و درجه استریفیکاسیون بررسی گردید.

مقیاس صنعتی است. در مقیاس صنعتی، جداسازی جامد از سیال با استفاده از فیلترهای دورانی تحت خلأ (شکل ۱) صورت می‌پذیرد که در پیشینه پژوهش بررسی گردی. از سوی دیگر، اهمیت روزافزون افزایش بهره‌وری در حوزه مهمی مانند صنایع غذایی به‌ویژه در موضوع بازیافت ماده مهمی همچون استخراج پکتین و از سویی نبود گزارش‌های علمی در خصوص کاربرد فیلترهای تحت خلأ در جداسازی این‌گونه سیالات موجب شد این تحقیق به سرانجام برسد.



شکل ۱: نمودار روند نمای سامانه فیلتر تحت خلأ

Figure 1: Block Diagram of a Vacuum Filtration System

فرآیند استخراج، در دمای ۴- درجه سلسیوس درون یخچال نگهداری شد. مشخصات تجهیزات مورد استفاده در پژوهش در جدول ۱ آمده است. پودر پرتقال به نسبت ۱ به ۲۵ با آب مقطر مخلوط گردید و pH محلول با استفاده از هیدروکلریک اسید به ۱/۷ رسانده شد. محلول آماده شده توسط همزن به مدت ۵۰ دقیقه در دمای ۸۲ درجه سلسیوس مخلوط گردید (Georgiev *et al.*, 2012). پس از تهیه محلول، نمونه از صافی پارچه‌ای عبور داده شد و در دمای اتاق سرد گردید. سیال به‌دست آمده، ماده مورد آزمایش در این تحقیق است. در فرآیند استاندارد آزمایشگاهی به منظور جداسازی پالپ از سیال یک مرحله سانتریفیوژ اجرا می‌شود و پس از آن به منظور جداسازی پکتین از سیال به نسبت ۱ به ۳ اتانول‌زنی می‌شود. در تحقیق حاضر برای مرحله جداسازی به جای سانتریفیوژ از فیلتر تحت خلأ استفاده شد.

مواد و روش‌ها

مواد

پرتقال تامسون شمال از بازار میوه و تره بار تهران تهیه شد. سولفوریک اسید، سدیم کلرید، سدیم هیدروکسید، و هیدرولیک اسید از شرکت مرک (آلمان) تهیه گردید. معرف ۵۳ دی متیل فنل، گالاکتورونیک اسید و فنل فتالین از شرکت سیگما (آمریکا) فراهم شد.

روش تهیه سیال

به منظور تهیه پودر پوست پرتقال، ۴۰ کیلوگرم پرتقال تازه تهیه و پوست آنها برای خشک کردن جدا شد. پوست پرتقال‌ها در اجاق برقی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴۵ درجه سلسیوس خشک گردید. پوست‌های خشک‌شده با آسیاب پودر شد و به منظور یکسان‌سازی اندازه ذرات، به کمک الک با مش شماره ۴۰ صاف شد. پودر تهیه شده برای

جدول ۱: مشخصات تجهیزات مورد استفاده در پژوهش

Table 1: Specifications of the equipment used in the research

نوع/شرکت سازنده	ماده/دستگاه
تامسون	پرتغال
Thomson	Orange
ممرت	اجاق برقی
Memmert/PSAW 101	Oven
ایکا	همزن
IKA/RCT basic	Heater Stirrer
رادوگ	ترازو
Radwag/PS 1000 R1	scales
توس شکن	آسیاب
Toos Shekan	Mill
آ ز	pH متر
AZ/86505	pH meter
کی ان اف	پمپ خلأ
KNF/ NO26.1.2.AN.18	Vacuum pump

جداسازی به کمک سامانه فیلتر تحت خلأ

مدت زمان جداسازی ثبت گردید. در گام پایانی، محلول فیلتر شده به نسبت یک به سه اتانول زنی (۹۶ درصد) رقیق شد و به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید. پکتین موجود در مخلوط آب و الکل که به صورت ابری شناور بود، به کمک سانتریفیوژ در سرعت دورانی ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه جداسازی گردید و در نهایت، پکتین به دست آمده در اجاق برقی به مدت ۶ ساعت خشک گردید (شکل ۲). در این تحقیق اثر عوالم سطح خلأ (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ بار)، ضخامت لایه پرلیت (۱، ۱/۵ و ۲ سانتی متر) و اندازه ذرات پرلیت (۲۰، ۶۰ و ۱۰۰ میکرون) بر بازده تولید، درجه استریفیکاسیون و میزان گالاکتورونیک اسید ارزیابی شد.

در گام نخست به منظور آماده سازی لایه کمک فیلتر، حجم مشخصی از آب مقطر و پرلیت درون مخزن ریخته شد. سازه از پیش ساخته شده به کمک فناوری پرینتر سه بعدی^۱ به منظور تنظیم ضخامت لایه کمک فیلتر روی فیلتر کاغذی قرار داده شد و پمپ خلأ شروع به کار کرد. هنگامی که کمک فیلتر به ضخامت مورد نظر رسید، پمپ خاموش شد و اضافه های پرلیت به کمک یک تیغه برداشته شد. در گام بعدی، با تشکیل ضخامت مشخص از پرلیت، حجم معینی از سیال آماده شده برای آزمایش درون مخزن ریخته شد و با تعیین سطح خلأ مورد نظر، پمپ خلأ شروع به کار کرد و محلول مذکور از کمک فیلتر و فیلتر کاغذی عبور کرد و



شکل ۲: نمونه‌های پکتین استخراج شده به کمک سامانه فیلتر تحت خلأ
Figure 2: Samples of pectin extracted using the vacuum filtration system

روش اندازه‌گیری بازده استخراج پکتین

بازده استخراج پکتین عبارت است از نسبت وزنی پکتین استخراج شده به وزن ماده خشک اولیه. با توجه به روش متداول بیان شده در بخش‌های قبل برای استخراج پکتین و همچنین روش فیلتر تحت خلأ که در این تحقیق بررسی گردید، وزن پکتین خشک شده برای هر آزمایش به کمک ترازو اندازه گرفته شد. راندمان پکتین با توجه به ماده خشک استفاده شده طبق رابطه (۱) قابل محاسبه است.

$$Ra_p = \frac{m_p}{m_e} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه:

Ra_p = راندمان پکتین (درصد)؛

m_p = وزن پکتین خشک شده (گرم)؛

m_e = وزن ماده خشک اولیه برای تهیه محلول (گرم).

روش اندازه‌گیری گالاتورونیک اسید

گالاتورونیک اسید عبارت است واحدهای تشکیل‌دهنده پکتین که میزان آن نشان‌دهنده کیفیت و خلوص پکتین است. بیست میلی‌گرم از نمونه‌های پکتین که از الک با مش ۶۰ عبور داده شده، به درون لوله‌های آزمایش شیشه‌ای کاملاً خشک منتقل شد. برای جلوگیری از به هم چسبیدن ذرات و کلوخه شدن، نمونه‌های پکتین با دو قطره اتانول مرطوب شدند و ۲ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوریک ۷۲ درصد به هر یک از لوله‌های حاوی پکتین اضافه گردید. لوله‌های شیشه‌ای به کمک یک عدد مگنت کوچک و به مدت ۲۰ دقیقه درون بشر حاوی آب با دمای ۵۰ درجه سلسیوس روی همزن مغناطیسی قرار داده شدند. سرعت بالای همزن به منظور حل شدن نمونه‌های پکتین در مدت زمان مذکور به کار گرفته شد. لوله‌ها از درون بشر بیرون آورده شد و تا دمای محیط سرد گردید. نمونه‌ها با آب مقطر ۱۰۰ برابر رقیق و در مرحله بعد به نسبت یک به

صورتی کم رنگ تیترا شد. حجم مصرفی سود در این مرحله به عنوان V1 ثبت شد. پس از آن ۱۰ میلی لیتر سود ۰/۱ نرمال به هر یک از محلول‌های خنثی شده اضافه و به مدت ۴۵ دقیقه هم زده شد تا پکتین صابونی و گروه‌های اسیدی آزاد شوند. به هر یک از نمونه‌ها ۱۰ میلی لیتر محلول ۰/۱ نرمال اسید کلریدریک اضافه شد و دوباره با سود ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ صورتی کم‌رنگ تیترا شد. سود مصرفی در این مرحله به عنوان V2 در نظر گرفته شد. باید توجه داشت که حجم مساوی از اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال بتواند سود ۰/۱ نرمال را خنثی کند. درجه استری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$DE\% = \frac{v_2}{v_2 + v_1} \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه:

DE% = درجه استریفیکاسیون (درصد)

v_1 = حجم مصرفی سود در مرحله اول (میلی لیتر)

v_2 = حجم سود مصرفی در مرحله دوم (میلی لیتر). بود.

یک سود ۰/۵ نرمال به منظور استرزدایی مونومرهای گالاکتورونیک اسید به آنها اضافه گردید. پس از آن، ۰/۱۲۵ میلی لیتر از نمونه‌ها همراه با ۰/۱۲۵ میلی لیتر محلول نمک ۲ درصد و ۲ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ به داخل لوله‌های شیشه‌ای منتقل گردید. مخلوط حاصل ۱۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و در پایان ۳۰ تا ۴۰ ثانیه در آب شهری سرد شد. سپس ۰/۱ میلی لیتر معرف ۳ و ۵ دی متیل فنل به هر یک از لوله‌ها منتقل و پس از هم زدن، ۱۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. اختلاف جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۵۰-۴۰۰ نانومتر در مقابل نمونه بلانک خوانده شد. به منظور جبران افت در میزان گالاکتورونیک اسید به هنگام آبکافت بسیار پکتین، اختلاف جذب حاصل در ضریب ۱/۱۲ ضرب شد. با قرار دادن اختلاف جذب در منحنی استاندارد میزان گالاکتورونیک اسید محاسبه گردید (R. W. Scott, 1979).

درجه استریفیکاسیون

درجه استریفیکاسیون پکتین به روش تیتراسیون طبق روش سانتوس و همکاران (Santos et al., 2013). () با اندکی تغییرات اندازه گیری شد. در این روش، ۰/۱ گرم از نمونه‌های پکتین استخراج شده به ارلن‌هایی با حجم ۲۵۰ میلی لیتر اضافه شد. نمونه‌های پکتین با یک میلی لیتر اتانول مرطوب و ۴۰ میلی لیتر آب مقطر خالی از دی اکسید کربن به هر یک از ارلن‌ها اضافه گردید. ارلن‌ها به کمک شیکر به مدت ۱۶ ساعت 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 ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ

تحلیل آماری

در این پژوهش، به منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل (اندازه ذرات کمک فیلتر، ضخامت لایه کمک فیلتر و سطح خلأ)، بر متغیرهای وابسته (بازده تولید، میزان گالاکتورونیک اسید و درجه استریفیکاسیون)، از نرم افزار Expert Design و روش Box- Behnken در روش سطح پاسخ استفاده شد. آزمایش ۱۷ عدد بود که ۵ تکرار برای نقطه مرکزی در نظر گرفته شد. در جدول ۲ تیمارهای اعمال شده در آزمایش برای تحلیل به روش سطح پاسخ و پاسخ‌های مربوط نشان داده شده است.

جدول ۲: تیمارهای اعمال شده در آزمایش برای تحلیل به روش سطح پاسخ.

Table 2: Treatment strategies used in the experiment for the response surface analysis

ضخامت لایه کمک فیلتر (cm) Perlite layer thickness (cm)	اندازه ذرات کمک فیلتر (میکرون) Perlite particle size (micron)	سطح خلأ (bar) Pressure (bar)	شماره آزمایش Exp. number
1.5	60	0.4	1
1.5	60	0.4	2
1.5	60	0.4	3
1.5	60	0.4	4
2	60	0.2	5
1.5	20	0.2	6
1	60	0.2	7
2	100	0.4	8
2	60	0.6	9
2	20	0.4	10
1	20	0.4	11
1	60	0.6	12
1.5	20	0.6	13
1	100	0.4	14
1.5	100	0.6	15
1.5	100	0.2	16
1.5	60	0.4	17

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) برای بازده استخراج

پکتین

ضخامت لایه پرلیت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. اثر سطح خلأ، اندازه ذرات پرلیت و توان دوم اندازه ذرات پرلیت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. معنی‌دار بودن این اثرها بیانگر اهمیت و تأثیرگذاری متغیرهای مستقل انتخاب‌شده در این آزمایش است. در جدول ۳، اثر سطح خلأ با (A)، اثر اندازه ذرات پرلیت با (B) و اثر اندازه ضخامت لایه پرلیت با (C) نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس اثر متغیرهای متخلف بر بازده استخراج پکتین در جدول ۳ آمده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد در سطح احتمال ۵ درصد مدل معنادار شده است و عدم برازش معنادار نشده است. بنابراین، انتخاب مدل و تحلیل‌ها قابل استناد و معتبر است. اثر عامل

جدول ۳: جدول آنالیز واریانس پارامترهای مدل رگرسیونی درجه دوم برای راندمان پکتین
 Table 3: Analysis of variance of the second-order regression-model variables for the extraction efficiency data

مقدار P p-value	مقدار F F-value	میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variation
0.0004	18.54*	47.38	430.43	9	مدل model
0.0455	5.90*	15.21	15.21	1	A
0.0003	44.29*	114.23	114.23	1	B
<0.0001	101.05**	260.6	260.6	1	C
0.5191	0.4607 ^{ns}	1.19	1.19	1	A × B
0.7669	0.0950 ^{ns}	0.245	0.245	1	A × C
0.1926	2.08 ^{ns}	5.36	5.36	1	B × C
0.5551	0.3840 ^{ns}	0.9904	0.9904	1	A × A
0.0177	9.52*	24.56	24.56	1	B × B
0.0991	3.61 ^{ns}	9.32	9.32	1	C × C
		2.58	18.05	7	باقی مانده residual
0.2774	1.86 ^{ns}	3.5	10.51	3	عدم برازش Lack of fit
		1.89	7.54	4	خطا Pure error
			448.48	16	کل Cor total

**significant at 1% probability level

**معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

*significant at 5% probability level

*معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

not significant^{ns}^{ns}معنی دار نبودن

متغیر(ها) بر پاسخ است.

اثر متقابل متغیرهای مستقل بر بازده استخراج پکتین

در شکل ۳، نمودار سطح پاسخ متغیر وابسته (بازده پکتین) به ازای تغییرات متغیرهای مستقل به صورت خطوط تراز دیده می شود. با توجه به شکل ۳-الف مشاهده می شود که روند تغییرات متغیر وابسته راندمان پکتین با افزایش سطح خلأ، به ازای یک سطح مشخص از اندازه ذرات پرلیت نامحسوس است. اما باید توجه داشت که در سطح

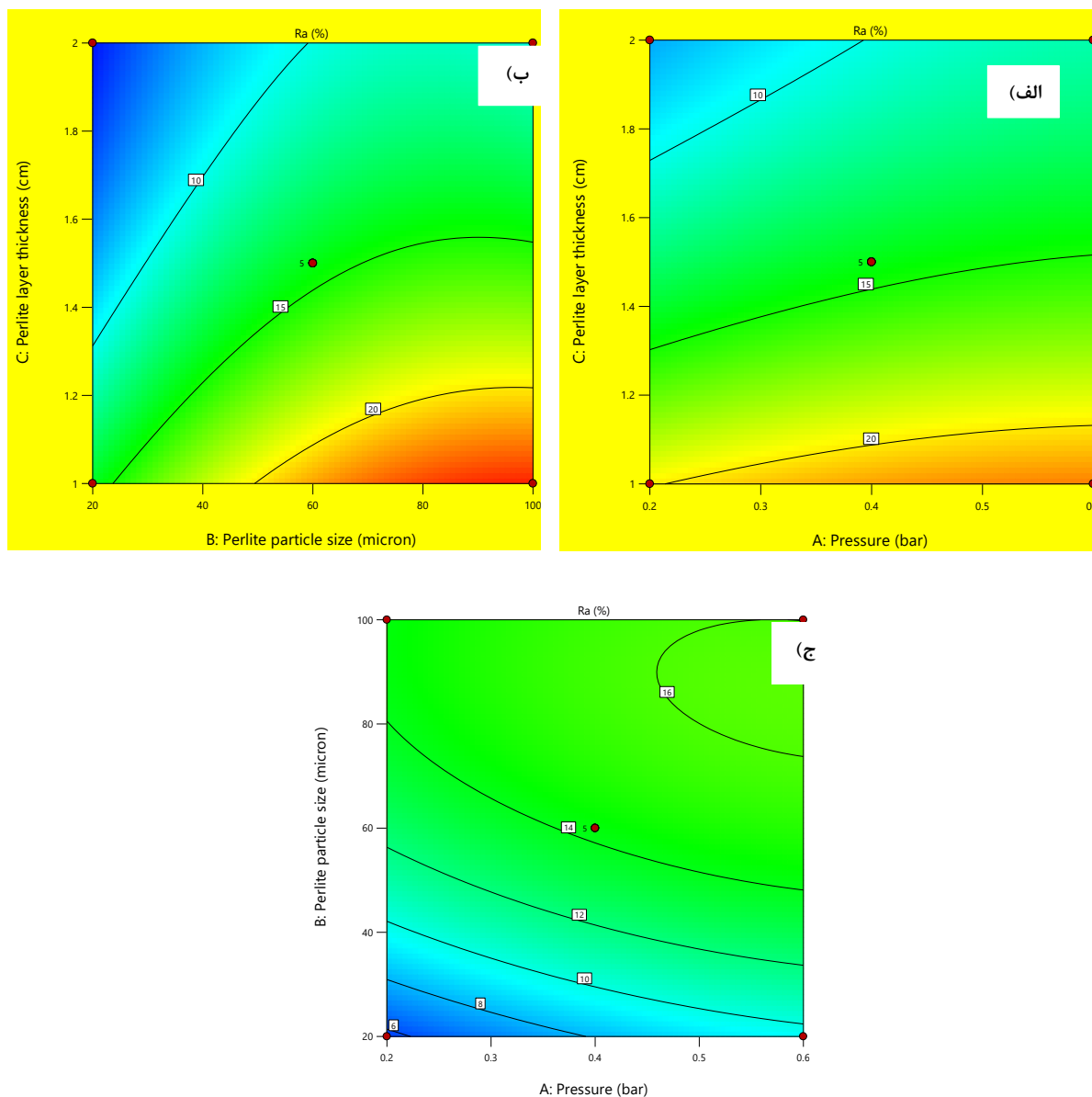
با بهره گیری از روش سطح پاسخ، مدل چند جمله ای مرتبه دوم کامل با ضریب تعیین ۹۵/۹۷ درصد برای تخمین مقدار بازده استخراج، با تغییر در مقادیر متغیرهای مستقل، به صورت کد شده انتخاب و ضرایبی که مدل معنی دار شدند در مدل لحاظ گردید. مدل واقعی پیشنهاد شده، یک تابع چندجمله ای مرتبه دوم به صورت رابطه (۳) است.

$$Ra_p = 18.11 + 6.89 * A + 0.27 * B - 11.41 * C - 0.001 * B^2 \quad (3)$$

نشانه مثبت در پیش روی هر یک از عبارت ها نشان دهنده تأثیر هم افزایی و نشانه منفی نشان دهنده تأثیر منفی

مشخص، با افزایش سطح خلأ نامحسوس است. بیشینه مقدار راندمان پکتین، در بیشترین سطح خلأ و کمینه مقدار ضخامت لایه پرلیت است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت در حالتی که بیشینه راندمان جداسازی وجود دارد بخشی از پکتین جذب کمک فیلتر شده بنابراین راندمان پکتین نیز در این حالت کاهش پیدا کرده است. این نکته در نمودار خطوط تراز اثر سطح خلأ و ضخامت لایه پرلیت نیز قابل مشاهده است (شکل ۳). همان گونه که شکل ۳-ج نشان می‌دهد، روند تغییر متغیر راندمان پکتین با افزایش ضخامت لایه پکتین به ازای یک اندازه ذره پرلیت مشخص روند نزولی دارد. اما روند تغییرات راندمان پکتین با افزایش اندازه ذره پرلیت به ازای یک ضخامت لایه پرلیت مشخص سهمی‌وار است و روند آن در بازه تغییرات کاهشی است. بیشینه مقدار راندمان پکتین، در بیشینه اندازه ذرات پرلیت (۱۰۰ میکرون) و کمینه مقدار ضخامت لایه پرلیت (۱ سانتی‌متر) حاصل شد. از سویی دیگر، خطوط هم‌تراز رابطه سهمی‌وار اندازه ذرات پرلیت را با متغیر راندمان پکتین به خوبی نشان داده است (شکل ۳). النواوی و شهاتا (El-Nawawi & Shehata, 1987) در تحقیقی نشان دادند که میزان بازده استخراج پکتین از پوست پرتقال در فرآیند آزمایشگاهی و توسط سانتریفیوژ به میزان ۳۰ درصد است که در تحقیق حاضر توسط سامانه فیلتراسیون تحت خلأ به میزان ۲۵ درصد رسیده است.

کمینه اندازه ذرات پرلیت با افزایش سطح خلأ، تا سطح (۰/۴ bar) روند افزایشی دنبال می‌کند. از سویی دیگر، با کاهش اندازه ذرات پرلیت به ازای یک سطح خلأ مشخص از اندازه ذرات پرلیت (۶۰ میکرون) راندمان پکتین یک‌روند کاهشی را دنبال می‌کند. کمینه مقدار راندمان پکتین در اندازه ذرات پرلیت (۲۰ میکرون) و کمینه سطح خلأ اتفاق افتاده است. قابل توجه است که هر چه اندازه ذرات پرلیت کوچک‌تر باشد مواد بیشتری توسط کمک فیلتر جذب شده و از این رو بازده استخراج کاهش پیدا کرده است. با افزایش سطح خلأ، مواد بیشتری از کمک فیلتر عبور کرده است در نتیجه بازده پکتین در این حالت بیشتر خواهد بود و بالعکس. در کمینه سطح خلأ، راندمان پکتین کمینه است. بنابراین، مقدار بیشینه راندمان جداسازی در سطح خلأ (۰/۶ بار) و اندازه ذرات پرلیت (۱۰۰ میکرون) است. با توجه به خطوط تراز، به خوبی بیشینه راندمان پکتین با توجه به سطح خلأ و اندازه ذرات پرلیت در شکل ۳-الف نشان داده شده است. می‌توان متصور شد که در حالت کمینه راندمان پکتین، مقداری از پکتین موجود در سیال جذب کمک فیلتر شده و در نهایت موجب کاهش راندمان پکتین در این نقطه شده است. با توجه به شکل ۳-ب، به تدریج با افزایش ضخامت لایه پرلیت به ازای یک سطح خلأ مشخص راندمان پکتین کاهش پیدا کرده است. روند تغییرات متغیر وابسته راندمان پکتین نیز با در نظر گرفتن یک ضخامت لایه پرلیت



شکل ۳: تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر بازده استخراج (الف) اندرکنش سطح خلأ و ضخامت لایه پرلیت، (ب) تغییرات اندازه ذرات پرلیت و ضخامت لایه پرلیت و (ج) اندرکنش سطح خلأ و اندازه ذرات پرلیت

Figure 3: Effects of the independent variables on the extraction efficiency A. interaction of pressure and perlite layer thickness B. interaction of perlite particle size and perlite layer thickness C. interaction of pressure and perlite particle size

بنابراین انتخاب مدل و تحلیل‌ها قابل استناد و معتبر است. اثر عامل ضخامت لایه پرلیت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. اثر اندازه ذرات پرلیت و توان دوم اندازه ذرات پرلیت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. در جدول ۴، اثر سطح خلأ را با (A)، اثر اندازه ذرات پرلیت با (B) و اثر اندازه ضخامت لایه پرلیت با (C) نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) برای گالاکتورونیک اسید

نتایج تجزیه واریانس اثر متغیرهای مختلف بر گالاکتورونیک اسید در جدول ۴ آورده شده‌اند. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۵ درصد، مدل معنی‌دار شده است و عدم برازش معنی‌دار نشده است.

جدول ۴: جدول آنالیز واریانس مدل رگرسیونی درجه دوم برای گالاکتورونیک اسید

Table 4: Analysis of variance of the second-order regression-model variables for the Galacturonic Acid

مقدار P P-value	مقدار F F-value	میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	منابع تغییر Source of variation
0.0002	22.53*	338.63	3047.7	9	مدل model
0.1112	3.32 ^{ns}	49.9	49.9	1	A
0.0002	50.99*	766.36	766.36	1	B
<0.0001	116.21**	1746.41	1746.41	1	C
0.2360	1.68 ^{ns}	25.25	25.25	1	A × B
0.3909	0.8362 ^{ns}	12.57	12.57	1	A × C
0.1176	3.18 ^{ns}	47.82	47.82	1	B × C
0.5534	0.3873 ^{ns}	5.82	5.82	1	A × A
0.0020	22.98*	345.29	345.29	1	B × B
0.0883	3.92 ^{ns}	58.87	58.87	1	C × C
		15.03	105.2	7	باقی مانده residual
0.1102	3.92 ^{ns}	26.16	78.48	3	عدم برازش Lack of fit
		6.68	26.72	4	خطا Pure error
			3152.9	16	کل Cor total

**significant at 1% probability level

**معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

*significant at 5% probability level

*معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

not significant^{ns}

^{ns}معنی دار نبودن

$$Ra_p = 37.62 - 12.48 * A - 0.91 * B + 29.55 * C + 0.005 * B^2 \quad (۴)$$

با استفاده از روش سطح پاسخ، مدل چندجمله‌ای درجه دوم کامل با ضریب تعیین ۹۶/۶۶ درصد برای تخمین مقدار

اثر متقابل متغیرهای مستقل بر گالاکتورونیک اسید

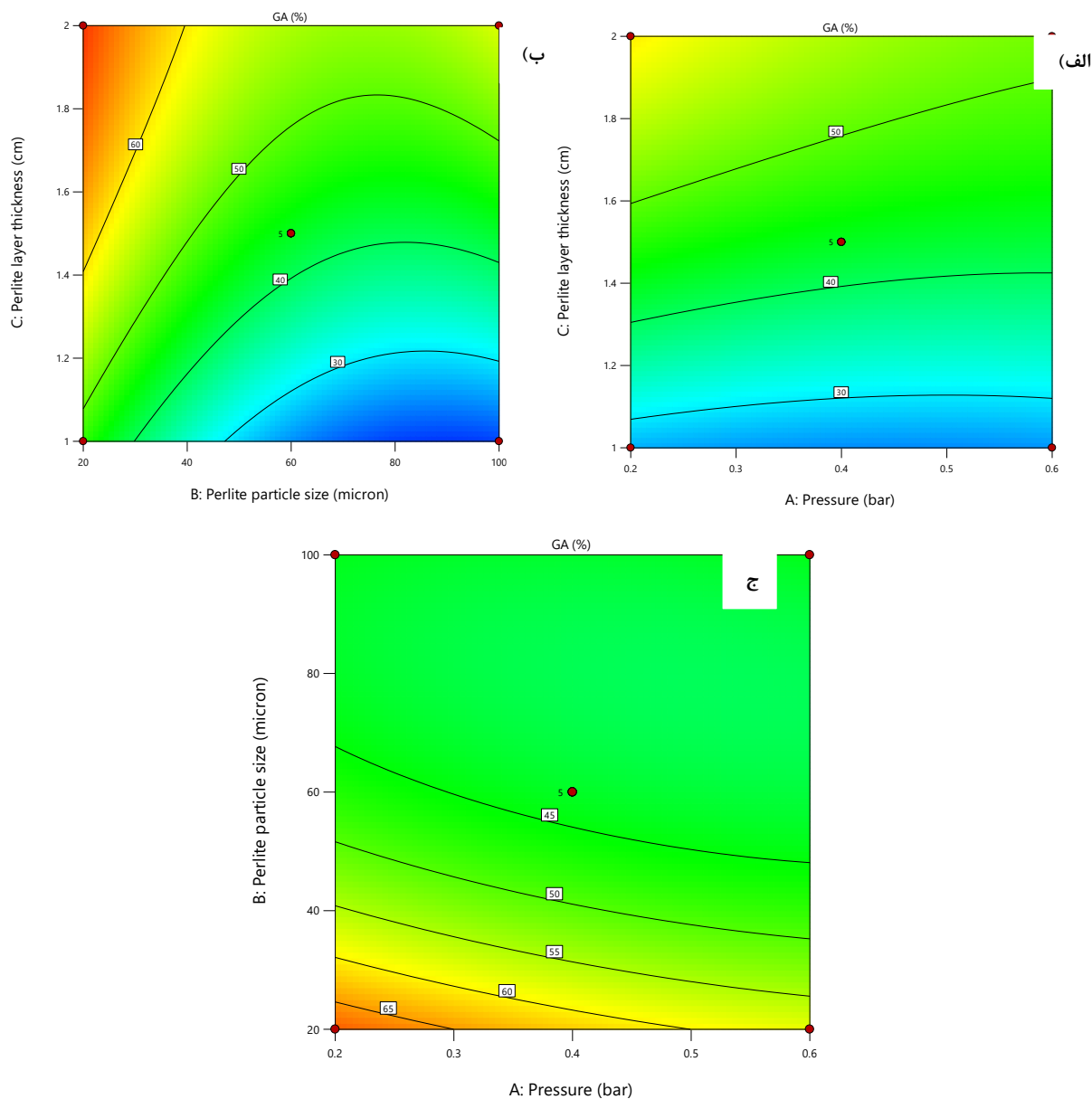
گالاکتورونیک اسید به صورت کد شده انتخاب و ضریب‌هایی

در شکل ۴، نمودار سطح پاسخ متغیر وابسته (گالاکتورونیک اسید) در برابر تغییرات سطح خلأ و اندازه ذرت پرلیت به دو صورت دو بعدی و خطوط تراز دیده می‌شود. با توجه به شکل‌های مذکور مشاهده می‌شود که

که معنی دار شدند در مدل لحاظ گردید. مدل واقعی پیشنهاد شده، یک تابع چندجمله‌ای مرتبه دوم به صورت رابطه (۴) است (R²=۹۶/۶۶):

اما در بیشینه مقدار ضخامت لایه پرلیت روند افزایشی مقدار GA با کاهش سطح خلأ شیب بیشتری دارد. بیشینه مقدار راندمان پکتین در بیشینه سطح خلأ و کمینه مقدار ضخامت لایه پرلیت است. با توجه به نتایج بخش‌های قبل نیز می‌توان گفت در حالتی که بیشینه راندمان پکتین وجود دارد، GA در حالت کمینه است. این نکته در نمودار خطوط تراز اثر سطح خلأ و ضخامت لایه پرلیت نیز مشاهده می‌شود (شکل ۴). همان گونه که شکل (۴-ج) نشان می‌دهد، روند تغییرات متغیر گالاکتورونیک اسید با افزایش ضخامت لایه پرلیت به ازای یک اندازه ذره پرلیت مشخص روند صعودی دارد. روند صعودی GA با کاهش اندازه ذرات پرلیت شیب کمتری داشته است. با در نظر گرفتن یک ضخامت لایه پرلیت مشخص، روند تغییرات GA با کاهش اندازه ذرات پرلیت سهموی است که این حالت به ازای ضخامت‌های لایه کمتر، بیشتر خواهد بود. مقدار بیشینه GA در حالت کمینه اندازه ذرات پرلیت و بیشینه ضخامت لایه پرلیت رخ داده است. از سویی دیگر، خطوط هم‌تراز رابطه سهموی وار اندازه ذرات پرلیت را با متغیر راندمان پکتین به خوبی نشان داده است (شکل ۴).

روند تغییرات متغیر وابسته گالاکتورونیک اسید با کاهش فشار در بیشینه اندازه ذرات پرلیت ثابت بوده و تغییر نکرده است. اما با کاهش اندازه ذرات پرلیت به مرور با کاهش سطح خلأ روند تغییرات صعودی شده است و مقدار بیشینه GA¹ در کمینه سطح خلأ و اندازه ذرات پرلیت مشاهده می‌شود. از سویی دیگر، با در نظر گرفتن یک سطح خلأ ثابت با کاهش اندازه ذرات پرلیت روند تغییرات GA صعودی بوده است و در کمینه سطح خلأ شیب نمودار صعودی بیشینه است. لازم است گفته شود تغییرات در مقدار GA در اندازه ذرات پرلیت کوچک‌تر از ۶۰ میکرون رخ داده است. به بیان دیگر، روند تغییرات GA مشابه رفتار راندمان جداسازی است و هر چه راندمان جداسازی در حالتی بیشتر باشد مقدار GA نیز بیشتر خواهد بود و می‌توان دلیل این امر را جدا شدن بیشتر ناخالصی‌ها دانست. از سوی دیگر، با افزایش اندازه پرلیت ناخالصی‌های عبور یافته بیشتر شده بنابراین مقدار GA کاهش پیدا کرده است (شکل ۴-الف). با توجه به شکل ۴-ب، به تدریج با افزایش ضخامت لایه پرلیت به ازای یک سطح خلأ مشخص مقدار GA افزایش پیدا کرده است. روند تغییرات GA نیز با در نظر گرفتن یک ضخامت لایه پرلیت مشخص با کاهش سطح خلأ نامحسوس است.



شکل ۵: تأثیر متغیرهای مستقل بر متغیر گالاکتورونیک اسید (الف) اندرکنش سطح خلأ و ضخامت لایه پرلیت، (ب) تغییرات اندازه ذرات پرلیت و ضخامت لایه پرلیت و (ج) اندرکنش سطح خلأ و اندازه ذرات پرلیت

Figure 4: : Effects of the independent variables on the Galacturonic Acid A. interaction of pressure and perlite layer thickness B. interaction of perlite particle size and perlite layer thickness C. interaction of pressure and perlite particle size

درجه استری تغییرات نداشته است. بیشینه میزان دستریفیکاسیون 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

نتایج بررسی درجه استری

روند تغییرات درجه استری وابسته به متغیرهایی مانند دما، pH و ماده اولیه‌ای است که در پژوهش حاضر با توجه به یکسان بودن سطح موارد فوق در آزمایش‌های اجرا شده

تعیین نقاط بهینه فرآیند فیلتراسیون به کمک سامانه فیلتر تحت خلأ

برای بهینه‌سازی فرآیند فیلتراسیون به کمک سامانه فیلتر تحت خلأ، باید میزان متغیرهای وابسته به بیشینه مقدار خود برسند. بدین منظور مطابق جدول ۵ شرایط مرزی متغیرهای مستقل و هدف تعیین گردیدند. از قسمت‌های مهم بهینه‌سازی، وزن دهی به متغیرهای تابع هدف است. با توجه به اهمیت یکسان متغیرهای مستقل، وزنی برابر با ۱ برای آنها در نظر گرفته شد. لازم است گفته شود شرایط بهینه زمانی پدیدار می‌گردد که بازده استخراج پکتین و GA در مقدار بیشینه خود باشند.

گروه‌های متوکسیل بیشتر است (Methacanon *et al.*, 2014). آید و همکاران (Abid *et al.*, 2017) در یک بررسی مشاهده کردند که نوع 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 ارزیابی‌ها برابر با 70 ± 5 درصد است و پکتین استخراج شده با درجه استری بالا (High Methoxyl) محسوب می‌شود که کاربردهای فراوانی دارد.

جدول ۵: شرایط مرزی متغیرهای مستقل و هدف برای بهینه‌سازی فرآیند فیلتراسیون.

Table 5: Independent and objective variables boundary conditions for optimization of the filtration process

وزن بیشینه Maximum Weight	وزن کمینه Minimum Weight	حد بالا Upper Limit	حد پایین Lower Limit	هدف Goal	متغیر Source of variation
1	1	0.6	0.2	در گستره تعیین شده Is in range	سطح خلأ pressure
1	1	100	20	در گستره تعیین شده Is in range	اندازه ذرات پرلیت Perlite particle size
1	1	2	1	در گستره تعیین شده Is in range	ضخامت لایه پرلیت Perlite layer thickness
1	1	24.46	4.56	بیشینه شدن maximize	بازده پکتین Extraction efficiency
1	1	73	17.43	بیشینه شدن maximize	گالاکتورونیک اسید Galacturonic acid content

در جدول ۶، نقطه بهینه فرآیند فیلتراسیون و جداسازی پکتین نشان داده شده است. شرایط بهینه در سطح خلأ ۲ سانتی‌متر با روش RSM^1 به دست آمده است.

در جدول ۶، نقطه بهینه فرآیند فیلتراسیون و جداسازی پکتین نشان داده شده است. شرایط بهینه در سطح خلأ

جدول ۶: نقاط بهینه فرآیند فیلتراسیون.

Table 6: optimum level for Vacuum Membrane Filtering system

شماره	سطح خلأ (بار)	اندازه ذرات (میکرون)	ضخامت لایه (سانتی‌متر)	راندمان پکتین (%)	گالاکتورونیک اسید (%)
number	pressure (bar)	Perlite particle size (micron)	Perlite layer thickness (cm)	Extraction efficiency (%)	Galacturonic Acid content (%)
1	0.379	56.174	2	8.492	58.268
2	0.380	55.798	1.999	8.471	58.333
3	0.380	55.857	1.999	8.477	58.315
4	0.383	55.188	1.995	8.467	58.366
5	0.392	53.352	1.983	8.466	58.457

از پژوهش به طور خلاصه عبارت‌اند از:
 ۱- سامانه فیلتراسیون غشایی تحت خلأ ساخته شده می‌تواند به‌عنوان جداسازی سودمند، در فرآیند تولید پکتین به کار رود.

۲- متغیر بازده استخراج پکتین معیار مهمی برای ارزیابی سامانه فیلتراسیون است و نتایج ارزیابی نشان داد که اندازه ذرات پرلیت و ضخامت لایه پرلیت بر این متغیر وابسته به صورت معنی دار مؤثر است.

۳- میزان گالاکتورونیک اسید نشان‌دهنده کیفیت پکتین استخراج شده است و ارزیابی نشان داد که متغیر مستقل ضخامت لایه پرلیت بیشترین تأثیر را بر روند تغییرات آن گذاشته است. با افزایش ضخامت از ۱ به ۲ سانتی‌متر، میزان گالاکتورونیک اسید از ۲۷ به ۵۶ درصد رسیده است که نشان‌دهنده جداسازی ناخالصی در ضخامت بالاتر و کیفیت بهتر پکتین حاصل است.

۴- درجه استری شدن تحت تأثیر شرایط استخراج است و مقدار pH، دما و نوع اسید بر میزان آن تأثیرگذار است. نتایج ارزیابی نشان داد که درجه استریفیکاسیون پکتین‌های استخراج شده 70 ± 5 درصد است. از دیدگاه تقسیم‌بندی، این نوع پکتین در دسته درجه استری بالا (High Methoxyl) قرار می‌گیرد. از پکتین متوکسیل بالا می‌توان

نقطه بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار به صورت تجربی در ۳ تکرار ارزیابی شد. میانگین متغیرهای وابسته به دست آمده با وجود منابع خطا به مقدار رابطه تجربی نزدیک بوده است. مقادیر ثبت شده با اعمال شرایط بهینه به ترتیب برابر است با بازده استخراج پکتین ۷/۸۲ درصد و مقدار گالاکتورونیک اسید ۶۳ درصد. مقادیر به دست آمده توسط رابطه تجربی خطای قابل قبولی (۸ درصد) نسبت به میزان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل (ردیف ۱ جدول ۶) را نشان می‌دهد که این امر نشان‌دهنده انتخاب صحیح مدل و جواب مناسب آن برای داده‌هاست.

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت پکتین در صنایع مختلف، یک سامانه فیلتراسیون تحت خلأ برای جداسازی پکتین از سیال ساخته و در پژوهش حاضر بررسی شد. متغیرهای مستقل که با توجه به اطلاعات پیشینه پژوهش انتخاب شدند عبارت بودند از سطح خلأ، اندازه ذرات پرلیت و ضخامت لایه پرلیت که اثر آنها بر بازده تولید، درجه استریفیکاسیون و میزان گالاکتورونیک اسید به عنوان متغیرهای وابسته بررسی و در انتها نقاط بهینه توسط نرم‌افزار معرفی گردید. نتایج حاصل

به‌عنوان عامل ژل کننده، پایدارکننده و امولسیفایر در صنعت خوراک برای تولید مربا و ژله‌ها بهره گرفت. ۵- با افزایش اندازه ذرات پرلیت از ۲۰ میکرون به ۱۰۰ میکرون بازده استخراج پکتین ۲ برابر افزایش پیدا کرده است. افزایش ضخامت لایه پرلیت از ۱ به ۲ سانتی‌متر، میزان راندمان را از ۲۰ درصد به نصف کاهش داده است.

۶- نقاط بهینه برای تولید پکتین با ویژگی کیفی و درصد بازده استخراج بالا مشخص گردید که برابر است با سطح خلأ ۰/۳۸ بار، اندازه ذرات پرلیت ۵۶ میکرون و سطح ضخامت ۲ سانتی‌متر.

تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

- 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*. 215, 318–325.
- Alkan, M., and Doğan, M. 2001. Adsorption of copper (II) onto perlite. *Journal of Colloid and Interface Science*. 243(2): 280–291.
- Chan, S. Y., Choo, W. S., Young, D. J., and Loh, X. J. 2017. Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. *Carbohydrate Polymers*. 161, 118–139.
- Cserjési, P., Bélafi-Bakó, K., Csanádi, Z., Beszédes, S., and Hodúr, C. 2011. Simultaneous recovery of pectin and colorants from solid agro-wastes formed in processing of colorful berries. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*. 7, 65–80.
- Doran, P. M. 2013. Unit operations. *Bioprocess Engineering Principles*, 445–595.
- El-Nawawi, S. A., and Shehata, F. R. 1987. Extraction of pectin from Egyptian orange peel. Factors affecting the extraction. *Biological Wastes*. 20(4): 281–290.
- Georgiev, Y., Ognyanov, M., Yanakieva, I., Kussovski, V., and Kratchanova, M. 2012. Isolation, characterization and modification of citrus pectins. *Journal of BioScience & Biotechnology*, 1(3).
- 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*. 52, 265–274.
- Huang, H.-W., Hsu, C.-P., Yang, B. B., and Wang, C.-Y. 2013. Advances in the extraction of natural ingredients by high pressure extraction technology. *Trends in Food Science & Technology*. 33(1): 54–62.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., and Sridhar, R. 2014. Microwave assisted extraction of pectin from waste *Citrullus lanatus* fruit rinds. *Carbohydrate Polymers*. 101, 786–791.
- Methacanon, P., Kongsin, J., and Gamonpilas, C. 2014. Pomelo (*Citrus maxima*) pectin: Effects of extraction parameters and its properties. *Food Hydrocolloids*. 35, 383–391.
- Milani, J., and Maleki, G. 2012. Hydrocolloids in food industry. *Food Industrial Processes—Methods and Equipment*. 2, 2–37.
- Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Garau, M. C., Meza-Velázquez, J. A., Simal, S., and Rosselló, C. 2014. Ultrasound-assisted extraction of pectins from grape pomace using citric acid: A response surface

- methodology approach. *Carbohydrate Polymers*. 106(1): 179–189.
- Ngouémazong, 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*. 14(6): 705–718.
- Saha, D., and Bhattacharya, S. 2010. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*. 47(6): 587–597.
- Santos, J. D. G., Espeleta, A. F., Branco, A., and de Assis, S. A. 2013. Aqueous extraction of pectin from sisal waste. *Carbohydrate Polymers*. 92(2): 1997–2001.
- Scott, K. 1995. *Handbook of industrial membranes*. Elsevier.
- Scott, R. W. 1979. Colorimetric determination of hexuronic acids in plant materials. *Analytical Chemistry*. 51(7): 936–941.
- Sun-Waterhouse, D., and Waterhouse, G. I. N. 2015. Spray-drying of green or gold kiwifruit juice–milk mixtures; novel formulations and processes to retain natural fruit colour and antioxidants. *Food and Bioprocess Technology*. 8(1): 191–207.

Original Research

Effect of Vacuum-Membrane Filtering on Quality Attributes and Extraction Efficiency of Pectin from Citrus Peel

Shoaib Gholami, Saeid Minaei*, Alireza Mahdavian

* **Corresponding Author:** Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran. Email: minaee@modares.ac.ir

Received: 31 May 2022 **Accepted:** 2 August 2022

[http://doi: 10.22092/FOODER.2023.358861.1334](http://doi:10.22092/FOODER.2023.358861.1334)

Abstract

Pectin, which is made from citrus peel and waste, is one of the most commonly used compounds in the food industry. For large scale production, a combination of membrane-vacuum filtering has been suggested as an alternative to traditional methods of purifying the acidic solution for pectin extraction. This study investigates the main factors regarding membrane filtering system for separation of fibrous materials from an acidic pectin solution under vacuum. These factors which include: filter-aid-particle size, amount of filter-aid (perlite) added to the solution, and the vacuum level, affect production efficiency, degree of esterification, and galacturonic acid content. Pectin extraction efficiency is an important criterion for evaluating the filtration system and test results showed that both perlite particle size and perlite-layer thickness significantly affect this dependent variable. By increasing the perlite particle size from 20 to 100 microns, the extraction efficiency has doubled. This is while increasing the perlite layer thickness from 1 cm to 2 cm cuts the efficiency in half (from 20% to 10%). The highest galacturonic acid content was obtained with 2cm perlite thickness and 20-microns particle diameter. The degree of esterification was affected by the extraction conditions, and results revealed that the extracted pectin samples have an esterification degree of $70\pm 5\%$. The optimum extraction conditions were determined by the software to be: 2 cm perlite-layer thickness and 56-microns filter-aid particle size at a vacuum level of 0.38 bars. Findings of this study can be utilized in the industrial scale implementation of a biomaterial separation system using vacuum-membrane filtering.

Keywords: Galacturonic Acid content, Perlite, Orange waste, Esterification, Filter Aid, Response-Surface Methodology, Mathematical Modeling