



مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی پکتین حاصل از تفاله سیب به دو روش ماکروویو و تیمار با اسید

در دمای بالا: بهینه‌یابی به روش سطح - پاسخ

حامد جمشیدیان^۱، علی رافع^{۲*}، سید مهدی میرزابابایی^۳

۱- دانشجوی دکتری گروه فرآوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۲- دکتری PhD دانشیار گروه فرآوری مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۳- دکتری PhD استادیار گروه ماشین‌آلات مواد غذایی مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	<p>پکتین به جهت داشتن خواص عملکردی و تغذیه‌ای ویژه مانند تغلیظ‌کنندگی و ژل دهندگی جایگاه خاصی در صنایع غذایی دارد. هرچند استخراج پکتین از منابع مختلف گیاهی به روش‌های مختلف انجام گرفته است، اما باتوجه به نوع منبع و روش مورداستفاده، خواص پکتین استحصالی متفاوت و طبیعتاً کاربرد متفاوتی خواهد داشت. براین اساس، این پژوهش باهدف بهینه‌یابی و ارزیابی کمی و کیفی استخراج پکتین از تفاله سیب درختی به کمک ماکروویو و روش استخراج با اسید انجام گرفت. راندمان استخراج به کمک ماکروویو در دامنه pH ۱/۲۲ تا ۱/۷۸، زمان ۱۰/۶ تا ۱۷/۴ دقیقه و توان ۳۲۰ تا ۵۸۰ وات و به روش استخراج اسیدی در دامنه pH ۱/۵ تا ۲، زمان ۶۰ تا ۹۰ دقیقه و دمای ۷۵ تا ۹۰ درجه سانتیگراد با روش سطح پاسخ (RSM) بهینه‌یابی شد. نتایج نشان داد که در استخراج به کمک ماکروویو در pH ۱/۲۲، زمان ۱۷/۴ دقیقه و توان ۵۸۰ وات و در روش استخراج اسیدی در pH ۱/۵، دمای ۹۰ درجه سانتیگراد و در زمان ۹۰ دقیقه حداکثر بازده استخراج (به ترتیب ۹/۱۷ و ۸/۸۳٪) مشاهده گردید. همچنین تحت شرایط بهینه استخراج در روش ماکروویو، پکتین با مشخصات کیفی بهتری (درجه استریفیکاسیون، گالاکتورونیک اسید، وزن معادل، محتوای متوکسیل، فعالیت امولسیفایری و ظرفیت نگهداری آب بالاتری) نسبت به روش اسیدی حاصل گردید.</p>
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵	
کلمات کلیدی:	
ژل، پکتین، تفاله سیب درختی، روش استخراج اسیدی، ماکروویو.	
DOI: 10.52547/fsct.19.122.129	
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.122.19.2	
* مسئول مکاتبات:	
rafe@rifst.ac.ir	

۱- مقدمه

پکتین پلی ساکاریدی است که از واحدهای D-گالاکتورونیک اسید (D-GalA) که ایزومری از D-گلوکورونیک اسید (D-GlcA) می باشد تشکیل شده است که به این ساختار خطی زنجیره‌های جانبی قندهای خنثی دیگری مانند ال-رامنوز، ال-آرابینوز، دی-زایلوز و دی-گالاکتوز^۱ می تواند متصل شود. پکتین در سه ساختار پلی مری، هموگالاکتورونیک، رامنوگالاکتورونیک اسید I و رامنو گالاکتورون II وجود دارد [۱]. نسبت گروه‌های کربوکسیلی استری شده به کل گروه‌های کربوکسیلی را درجه استری شدن (DE) می نامند، که نقش مهمی در خواص ژل‌کنندگی پکتین دارد. پکتین تجاری به دو گروه اصلی پکتین با متوکسیل بالا (عامل ژل‌ساز، پایدارکننده، امولسیفایر و غلیظ‌کننده‌ها در تولید مربا و ژله‌ها) و پکتین با متوکسیل پایین (جایگزین چربی در کره‌ها، بستنی‌ها، لعاب‌های برگشت‌پذیر با حرارت صنعت نانوائی، محصولات گوشتی امولسیفای شده یا محصولات کم کالری) طبقه‌بندی می‌شود [۲].

سیب با نام علمی *Malus domestica* یک میوه درختی سردسیری از خانواده گل‌سرخیان (*Rosaceae*) است. سیب چهارمین میوه درختی مهم جهان بعد از مرکبات، انگور و موز می‌باشد. طبق آمار FAO تولید جهانی سیب حدود ۸۳ میلیون تن است که ایران با تولید حدود ۲ میلیون تن در سال ششمین کشور تولیدکننده سیب در دنیا محسوب می‌شود. میزان جذب سالانه سیب درختی توسط صنایع تبدیلی حدوداً یک سوم تولید کل آن در کشور بوده است [۳]. تفاله سیب تقریباً بین ۱۰ تا ۱۵ درصد پکتین برحسب وزن خشک دارد [۴]. با وجود این منبع غنی، بسیاری از کشورها و کارخانجات این بخش را تحت عنوان ضایعات دور می‌ریزند. علاوه بر این به علت مرطوب بودن و دارا بودن ترکیبات قندی باعث فساد و مشکلات زیست‌محیطی نیز می‌گردد. بدین منظور، به صورت سنتی جهت خوراک دام و کنسانتره‌های غذایی به کار می‌رود [۵].

برای استخراج پکتین از بافت گیاهی، به طور متداول از محلول‌های اسیدی (به‌طورکلی اسیدکلریدریک) استفاده می‌شود. برای استخراج پکتین از تفاله سیب معمولاً از محلول‌های اسیدی (۳-۱/۵ pH) در دمای بالا استفاده می‌شود [۶]. در فرایند مرسوم استخراج پکتین در مقیاس

صنعتی، پکتین با آب داغ (۱۰۰-۶۰ درجه سانتی‌گراد) اسیدی شده با یک اسید معدنی (مانند سولفوریک، فسفریک، نیتریک و هیدروکلریک) که pH آن به ۳-۱/۳ رسانده شده است در مدت ۰/۵ تا ۶ ساعت استخراج می‌شود. البته تعدادی از اسیدهای ارگانیک و نمک‌های آنها مانند اگزالیک اسید، آمونیوم اگزالات، تارتاریک اسید و پلی فسفات‌ها نیز به کار می‌روند [۷]. پانچو و همکاران (۱۹۸۹) سینتیک استخراج پکتین از تفاله سیب درختی را با استفاده از ۰/۵ درصد اسید نیتریک در دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد بررسی کرد و مشخص شد که بیشترین استخراج در بالاترین دما خواهد بود [۸]. لین و همکاران (۱۹۷۸) اعلام کردند که افزودن مقداری اسید هیدروکلریک اسید به رسوب پکتین سیب درختی، موجب خالص‌سازی بهتر پکتین با اتانول می‌گردد [۹]. کیم و همکاران (۱۹۷۸) حلال‌های متفاوتی را برای استخراج پکتین در دماهای ۷۵ و ۹۵ درجه سانتی‌گراد به کار برده و اعلام کردند بیشترین بازده استخراج به ترتیب توسط هیدروکلریک اسید، سولفوریک اسید، اگزالات آمونیوم و سدیم هگزامتافسفات و در دماهای ۹۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد [۱۰].

اخیراً از روش‌های نوین مختلفی مانند استخراج به کمک ماکروویو، استخراج به کمک اولتراسوند، استخراج با سیال فوق بحرانی و ... جهت استخراج پکتین استفاده گردیده است که استخراج به کمک امواج ماکروویو به دلیل کاهش هزینه، زمان و انرژی مصرفی، کاهش تخریب محیط‌زیست، سهولت انجام و بهبود راندمان و کیفیت پکتین استحصالی، برای استخراج این پلی‌ساکارید استفاده شده است. دو مکانیسم اصلی برای تولید دما با ماکروویو در مواد دی‌الکتریک وجود دارد [۱۱]: پلاریزاسیون یونی و چرخش دوقطبی. پلاریزاسیون یونی زمانی که یون‌ها در محلول، در پاسخ به میدان الکتریکی حرکت می‌کنند، اتفاق می‌افتد. انرژی جنبشی توسط میدان الکتریکی به یون‌ها منتقل می‌شود. این یون‌ها با یون‌های دیگر برخورد کرده، باعث تبدیل انرژی جنبشی به دما می‌شوند. زمانی که یون‌ها تحت تأثیر میدان الکتریکی در فرکانس 2450×10^9 مگاهرتز می‌چرخند، مقادیر زیادی دما تولید می‌کند [۴]. درحالی‌که مکانیسم چرخش دوقطبی بسیار مهم است ولی بستگی به حضور مولکولی قطبی دارد. مهم‌ترین ماده قطبی در مواد غذایی، آب است [۱۲]. چرخش سریع دوقطبی‌های آب همراه با هدایت یونی یون‌های H^+ و Cl^- یک حلال با اتلاف

1. L-rhamnose, L-arabinose, D-xylose and D-galactose.

(که در تهیه پوره سیب درختی به کار می‌رود) از مجتمع صنایع غذایی اصفهان (آیدا بین‌الملل) تهیه و در آن (پارس آزما مدل K.M 55، ساخت ایران) در دمای ۹۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خشک شد و رطوبت آن از ۸۷/۵ درصد به ۵ درصد رسید. ساقه، هسته و دیگر مواد خارجی به صورت دستی جدا شد. سپس، تفاله سیب درون آسیاب (IKA مدل M20 Universal ساخت چین) ریخته شده، از الک با اندازه ذرات ۶۰ (میکرون) عبور داده شده و در کیسه‌های پلاستیکی غیرقابل نفوذ بسته‌بندی شده و در دمای یخچال نگه داری شده تا در آزمایش‌های استخراج پکتین مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۲- استخراج به روش متداول

۱۰ گرم پودر تفاله سیب با نسبت جامد به حلال، ۱: ۲۵ (وزنی/حجمی) به اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال اضافه و جهت غیرفعال‌سازی آنزیم‌های پکتولیتیکی در حمام آب گرم با کنترل دما و هم زدن با همزن مکانیکی پره‌دار (Arthur N. Thomas Co., U.S.A.) (دمای ۹۸ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰-۱۲ دقیقه تا زمان تبدیل رنگ قهوه‌ای به سفید) قرار داده شد. پس از خنک شدن سوسپانسیون تا دمای اتاق، به مدت ۶۰ دقیقه در ۱۵۰۰ دور در دقیقه در آب سرد سانتریفیوژ گردید (با این کار مواد محلول مانند قندها حذف شدند). قسمت رویی لوله‌های فالتون جمع‌آوری و تا یک چهارم حجم اولیه تغلیظ شدند. سپس، pH محلول را با NaOH ۰/۱ نرمال به ۲ رسانده و پکتین با افزودن ۲ برابر اتانول ۹۶٪ رسوب داده شد. به منظور دو فاز شدن، نمونه به مدت ۱۲ ساعت استراحت داده شد. قسمت رسوب‌کرده توسط فیلتراسیون جدا و دو مرحله با اتانول ۶۰٪ و دو مرحله با اتانول ۷۰٪ و در نهایت یک مرحله با اتانول ۹۶٪ شستشو داده شد. تمامی مراحل شستشو با اتانول روی همزن به مدت ۳۰ دقیقه برای حذف ناخالصی‌هایی همچون مونو و دی‌ساکاریدها بود. آنگاه، پکتین حاصله را برای حذف الکل پرس کرده و در آن (پارس آزما مدل K.M 55، ساخت ایران) تحت خلأ (۱- بار) در ۴۰ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. پکتین حاصله در دمای ۲۰- درجه سانتیگراد در تاریکی نگهداری شد. در این روش دما (۹۰-۷۵ درجه سانتیگراد)، زمان استخراج (۶۰-۹۰ دقیقه) و pH (۲ تا ۱/۵) به عنوان فاکتورهای مستقل در نظر گرفته شدند [۱].

دی‌الکتریک بالا فراهم می‌کند که می‌تواند به سرعت در حال گرم شدن باشد. ماکروویو منجر به افزایش دمای حجمی می‌شود. تأثیر این حرارت‌دهی حجمی، توسط ویژگی‌های دی‌الکتریک ماده و فرکانس ماکروویو تعیین می‌گردد [۱۳، ۱۴]. باقریان و همکاران (۲۰۱۱) تیمار ماکروویو در استخراج پکتین از گریپ‌فروت را با روش معمول مقایسه و اعلام داشتند با افزایش توان ماکروویو، راندمان استخراج و درصد گالاتکتورونیک اسید افزایش می‌یابد [۱۵]. ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۷) برای استخراج پکتین پوست هندوانه از ماکروویو استفاده و نشان دادند که با افزایش زمان استخراج و غلظت اسیدسولفوریک، راندمان افزایش و از آن به بعد کمی کاهش می‌یابد [۱۶]. ساو و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر فرایند ماکروویو (زمان و توان ماکروویو) را بر استخراج را مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند که با افزایش زمان و توان ماکروویو راندمان افزایش می‌یابد [۱۷]. صابریان و همکاران (۲۰۱۷) روش مرسوم استخراج را با روش ماکروویو با متغیرهای نوع اسید مورد استفاده و نسبت حلال به ماده خشک جهت استخراج پکتین از پوست لیمو مقایسه و محصول تولیدی را از جنبه شیمیایی و تکنولوژیک مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. کاظمی و همکاران (۲۰۱۹) از روش ماکروویو برای استخراج پکتین پوست پسته استفاده و توان ۷۰۰ وات، مدت زمان ۱۶۵ ثانیه و pH=۱/۵ را به عنوان شرایط بهینه گزارش کردند و نشان دادند که تیمار ماکروویو منجر به چروکیدگی شدن و ناهمواری‌هایی بر سطح مولکول پکتین می‌شود که ناشی از شکسته شدن مولکول پکتین و کاهش DE در این وضعیت است [۱۹].

هدف از این تحقیق استخراج پکتین از تفاله سیب درختی به عنوان ضایعات کارخانه‌های صنایع تبدیلی به عنوان یک منبع جدید با استفاده از امواج ماکروویو و همچنین بهینه‌سازی شرایط فرایند برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج با استفاده از روش سطح پاسخ بود. در ادامه نیز خصوصیات فیزیکوشیمیایی پکتین استخراجی مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تفاله سیب

تفاله مرطوب سیب درختی (Golab Kohanz apple)

۲-۳- استخراج به کمک ماکروویو

نمودار استخراج پکتین توسط ماکروویو در شکل ۱ آورده شده است که تفاله در مقادیر مختلف اسیدکلریدریک مخلوط گردید. سپس عصاره فیلتر و توسط حجم برابر اتانول ۹۵٪ (حجمی/حجمی) رسوب داده شد. توده پکتین به منظور شسته شدن مونو و دی ساکاریدها با اتانول ۹۵٪ (حجمی/حجمی) سه مرتبه شسته شدند. سپس در آن ۵۰ درجه سانتیگراد خشک گردید. پکتین خشک به صورت پودری درون کیسه‌های غیرقابل نفوذ به هوا ذخیره شد (HDPE). در این روش توان (۳۲۰-۵۸۰ وات)، زمان استخراج (۱۰/۶-۱۷/۴ دقیقه) و pH (۱/۲۲ تا ۱/۷۸) به عنوان فاکتورهای مستقل در نظر گرفته شدند [۱].

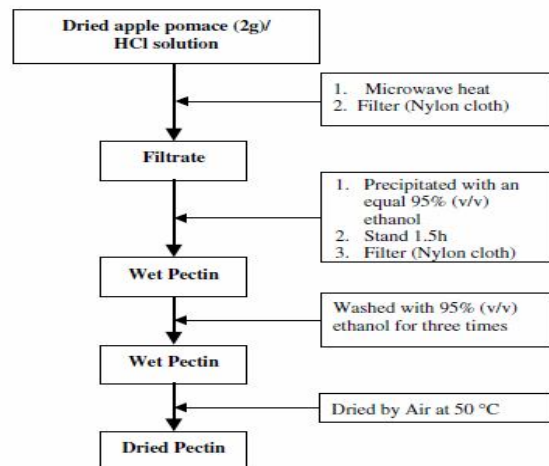


Fig 1 Microwave extraction process of pectin [1]

۲-۴- اندازه‌گیری راندمان

مقدار بازده پکتین با تقسیم مقدار پکتین خشک استخراج شده بر مقدار وزن تفاله به دست آمد [۴]:

$$\text{راندمان استخراج} = \frac{\text{وزن پکتین خشک شده}}{\text{وزن پودر تفاله}} \times 100 \quad (1)$$

۲-۵- درجه استریفیکاسیون

۲۰ میلی‌گرم نمونه پکتین به وسیله اتانول مرطوب شده، سپس در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر در ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت قرار داده شد. ۵ قطره معرف فنل فتالین به محلول اضافه کرده و با سود ۰/۵ نرمال تیترا گردید (V_1). سپس ۱۰ میلی‌لیتر سود ۰/۵ نرمال جهت هیدرولیز به محلول اضافه شد. درب ارلن مایر را گذاشته و با آهنربا روی هات پلیت به مدت

۲ ساعت در دمای اتاق هم زدن صورت گرفت. سپس، ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۰/۵ نرمال اضافه کرده و تا ظهور رنگ صورتی محلول با سود ۰/۵ نرمال تیترا شد (V_2) [۲۰].

$$DE = \frac{V_2}{V_2 + V_1} \times 100 \quad (2)$$

۲-۶- محتوای گالاکتورونیک اسید

۱ میلی‌لیتر از محلول پکتین (۱۰۰ میلی‌آب مقطر / ۱۰ میلی‌گرم پکتین) و ۶ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوریک غلیظ مخلوط شده و به مدت ۲۰ دقیقه استراحت داده شد. پس از آن ۲۰۰ میکرولیتر محلول کاربوزول ۰/۱٪ (در حلال اتانول) اضافه شده و برای رسیدن به رنگ صورتی ۲ ساعت استراحت داده شد. جذب اتمی در ۵۲۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفومتر انجام گرفت. میزان گالاکتورونیک اسید از محلول استاندارد گالاکتورونیک اسید (۰-۲۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) قرائت و به صورت mg/g بیان گردید [۲۱].

۲-۷- وزن معادل

۰/۵ گرم پکتین با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و در ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲ ساعت هم زده و پس از افزودن ۱ گرم NaCl با NaOH ۰/۱ نرمال در حضور معرف فنل فتالین (۵ قطره) تیترا گردید [۲۱]:

(۳)

$$\text{Eq. W} = \frac{\text{وزن پکتین} \times 1000}{\text{گرم}} \quad (3)$$

نرمالیه سود مصرفی میلی × لیتر سود مصرفی

۲-۸- محتوای متوکسیل (%)

به وسیله محلول خشتی حاصل از روش سنجش Eq.W حاصل می‌شود. محلول خشتی با ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۲۵ مولار NaOH مخلوط شده و برای ۳۰ دقیقه در دمای اتاق استراحت داده شد. سپس، ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۲۵ مولار HCL اضافه کرده و با NaOH ۰/۱ مولار تیترا گردید [۲۱]:

$$\text{محتوای متوکسیل} = \quad (4)$$

نرمالیه سود مصرفی × میلی لیتر سود مصرفی × ۳,۱

گرم وزن پکتین

1. Equivalent weight

روش سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از روش‌های آماری و ریاضی است و برای مدل کردن و تجزیه و تحلیل مسائلی که در آن متغیر پاسخ تحت تأثیر چندین متغیر مستقل به کار می‌رود. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند. مهم‌ترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورها بود، از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد. مدل مورد استفاده در RSM عموماً رابطه درجه دوم می‌باشد [۴]. روش سطح پاسخ، جهت یافتن حالت بهینه برهم‌کنش فاکتورها و برآورد بهترین شرایط بهینه فرایند با کمترین تعداد آزمایش قابل اجراست. در این پژوهش به منظور بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل با متغیرهای پاسخ (وابسته) راندمان استخراج (%). معادله چندجمله‌ای مرتبه دوم زیر استفاده شد:

$$y_k = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j \quad (7)$$

که در معادله فوق y_k پاسخ‌های پیش‌بینی شده، x_i متغیرهای کد شده متغیرهای طبیعی (مستقل)، k تعداد متغیرها، β_0 ثابت مدل، β_j ضرایب متغیرها، β_{jj} ضریب پارامتر درجه دوم و β_{ij} ضرایب اثرات متقابل متغیرها می‌باشد. ضرایب β از طریق انجام آزمایش و نهایتاً رگرسیون بدست آمدند. برازش سطوح پاسخ و بهینه‌سازی فرایند استخراج با استفاده از نرم‌افزار دیزاین - اکسپرت نسخه ۷ انجام شد و تجزیه واریانس (ANOVA) روی ضرایب مدل درجه دوم با این نرم‌افزار انجام شد. این پژوهش، به روش کاملاً تصادفی در قالب طرح مرکب مرکزی مرکز سطح، بهینه‌سازی شد. هر فاکتور در سه سطح مختلف (۱-، ۰، +۱)، دو نقطه محوری ($+\alpha$ و $-\alpha$) و شش تکرار در نقطه مرکزی برای و تخمین خطای آزمایش مطالعه شد (جدول ۱). در طرح مکعب مرکزی ۲۰ واحد آزمایشی حاصل شد (جدول ۲) [۴]. آخرین مرحله این مدل آماری، شامل ارائه گرافیکی رابطه مدل و تعیین شرایط عملیاتی بهینه بود که به وسیله نمودار رویه پاسخ و کنتور ۳ انجام پذیرفت.

۹-۲- فعالیت و پایداری امولسیفایری

ساختار امولسیفایری: برای (EA) Emulsifying activity و (ES) Emulsion stability امولسیون روغن در آب تهیه گردید: برای این روش ۵ میلی‌لیتر روغن آفتاب‌گردان (روغن نباتی ناز اصفهان) به ۵ میلی‌لیتر محلول ۵٪ آبی (۰/۵٪ وزنی/وزنی) به همراه ۰/۰۲٪ سدیم آزاید به عنوان باکتری‌کش اضافه شد. سپس محلول پیش امولسیون به وسیله هموژنایزر (مدل D-130 کمپانی Wiggins آلمان) ۱۰۰۰۰g برای مدت ۴ دقیقه مخلوط شده و سپس در RPM ۴۰۰ به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد [۴].

$$\text{Emulsion Activity}\% = 100 \times \left(\frac{\text{TVS (حجم کل سیستم)}}{\text{ELV (حجم لایه امولسیون)}} \right)$$

برای پایداری امولسیون از روش مشابه استفاده گردید. پس از ۱ و ۳۰ روز نگهداری امولسیون در دمای اتاق و یخچال (به ترتیب ۲۵ و ۴ درجه سانتیگراد) به روش زیر محاسبه گردید [۴].

$$\text{Emulsion Stability}\% = 100 \times \left(\frac{\text{REL (حجم لایه امولسیون باقیمانده)}}{\text{IEL (حجم لایه امولسیون اولیه)}} \right)$$

۱۰-۲- ظرفیت نگهداری آب (WHC¹) و ظرفیت نگهداری روغن (OHC²)

۱ گرم پکتین به ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر یا روغن آفتاب‌گردان (با چگالی ۰/۹ گرم بر میلی‌لیتر) اضافه شده و سپس به مدت ۱ دقیقه هم زده و به مدت ۳۰ دقیقه در ۳۰۰۰g سانتریفیوژ گردید. قسمت رویی حذف و قسمت زیرین وزن شد. WHC یا OHC به صورت گرم آب یا روغن که به وسیله ۱ گرم پکتین نگه‌داشته می‌شوند بیان شد [۴].

۱۱-۲- طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

1 Water Holding Capacity
2 Oil Holding Capacity

Table 1 Experimental scope used in Design Expert software

Levels			Code	Unit	Factor	Method
+1	0	-1				
90	82.5	75	X ₁	°C	Temperature	Traditional
90	75	60	X ₂	min	Time	
2	1.75	1.5	X ₃	-	pH	
580	450	320	X ₁	W	Power	MAE
17.4	14	10.6	X ₂	min	Time	
1.78	1.5	1.22	X ₃	-	pH	

Table 2 Conditions of pectin extraction process by Design Expert software

MAE				Traditional				run
Response	Variables			Response	Variables			
Efficiency	pH	Time	Power	Efficiency	pH	Temperature	Time	
7	1.5	10.6	450	6.33	1.75	82.5	75	1
7.5	1.22	10.6	320	5.5	1.75	82.5	60	2
8	1.5	14	450	6	1.5	90	60	3
6.5	1.78	17.4	580	5.5	2	75	90	4
7.8	1.5	14	450	5.17	2	75	60	5
8.33	1.22	14	450	6.83	1.75	90	75	6
4.67	1.78	17.4	320	5.67	1.75	75	75	7
8.17	1.5	14	450	6.17	1.75	82.5	75	8
8.17	1.22	17.4	320	8.17	2	90	90	9
4.67	1.78	10.6	320	8.83	1.5	90	90	10
8	1.5	17.4	450	6.34	1.75	82.5	75	11
8	1.5	14	450	5.83	2	82.5	75	12
8	1.5	14	580	6.67	1.5	82.5	75	13
8	1.22	10.6	580	6.67	1.5	75	60	14
7.5	1.5	14	320	6.34	1.75	82.5	75	15
8.17	1.5	14	450	6.17	2	90	60	16
5.33	1.78	10.6	580	7.17	1.5	75	90	17
9.17	1.22	17.4	580	6.5	1.75	82.5	75	18
5.7	1.78	14	450	7	1.75	82.5	90	19
7.83	1.5	14	450	6.5	1.75	82.5	75	20

۳- نتایج و بحث

تعیین معنی‌داری آماری متغیرهای مدل انجام شد. مدل‌های چندجمله‌ای مرتبه دوم و ضرایب رگرسیون آنها برای هر روش در جدول ۳ بیان شده است.

در این پژوهش از روش سطح پاسخ طرح مرکب مرکزی مرکز-سطح به‌منظور بهینه‌یابی استخراج پکتین استفاده شد. تجزیه و تحلیل رگرسیون و ANOVA برای برازش مدل و

Table 3 Regression coefficients of second order polynomial models

Pred R ²	Adj R ²	R ²	Model	Method
0.8626	0.9553	0.9765	Quadratic	Traditional
0.8995	0.9730	0.9858	Quadratic	MAE

پایین‌تر) راندمان افزایش می‌یابد. بیشترین راندمان استخراج در دمای ۹۰ درجه، مدت‌زمان ۹۰ دقیقه و در pH ۱/۵ صورت گرفت (جدول ۲).

۳-۱- تأثیر متغیرهای مستقل بر راندمان

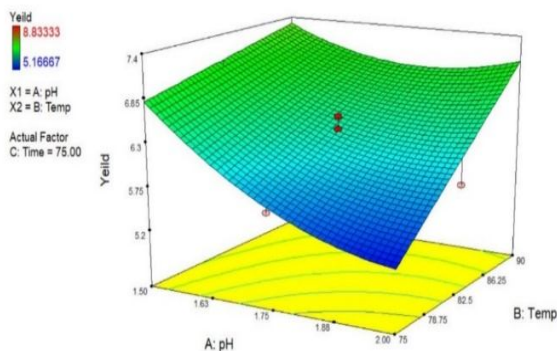
استخراج پکتین در روش متداول

با افزایش دما و زمان استخراج و اسیدی‌تر شدن محیط (pH)

Table 4 Results of analysis of variance (ANOVA) quadratic response level model for traditional extraction

P value	F value	Average squares value	degree of freedom	Total squares	Source
< 0.0001	47.77	2.32	6	13.9	Model
< 0.0001	41.75	2.03	1	2.03	A-pH
< 0.0001	70.15	3.4	1	3.40	B-Temp
< 0.0001	105.89	5.14	1	5.14	C-Time
< 0.0001	18.33	0.89	1	0.89	AB
0.0009	41.23	2	1	2	BC
< 0.0001	9.28	0.45	1	0.45	A ²
		0.049	13	0.63	Remaining
			19	14.53	Pure error

افزایش زمان استخراج از ۶۰ تا ۹۰ دقیقه نیز بازده استخراج پکتین افزایش می‌یابد [۲۰]. محققین زیادی از جمله یاپو و همکاران (۲۰۰۷)، هانگ و همکاران (۲۰۱۰)، چان و همکاران (۲۰۱۳) دما را به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم در استخراج ترکیبات مختلف پلی‌ساکاریدی نظیر پکتین گزارش کرده‌اند [۲۶-۲۸]. اگرچه احتمالاً استفاده از دماهای بالاتر از ۹۰ درجه باعث افزایش راندمان استخراج می‌گردد اما به دلیل تخریب حرارتی بیش از حد پکتین استفاده از این دماها توصیه نمی‌شود [۱۴، ۲۹]. افزایش بازده استخراج پکتین با افزایش دما احتمالاً به دلیل افزایش حلالیت این پلی‌ساکارید در حلال و به دنبال آن افزایش انتقال جرم آن از ذرات ترکیب جامد به داخل حلال می‌باشد. به‌طورکلی بالا بودن بازده استخراج پکتین در pHهای پایین‌تر مربوط به تأثیر اسید بر دیواره سلولی ماده جامد اولیه و آزادسازی پکتین در حلال می‌باشد؛ لذا هرچه pH استفاده شده پایین‌تر باشد تخریب دیواره سلولی بیشتر و میزان استخراج پکتین نیز بیشتر می‌شود [۳۰، ۳۱].

**Fig 2 A** - 3D display; Simultaneous effect of pH and temperature on extraction efficiency in traditional method

مطابق جدول ۴، آزمون برازش مربوط به مدل برازش یافته (چندجمله‌ای درجه دوم) بر پاسخ معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.0001$). با توجه به مقادیر R^2 مندرج در جدول ۳ مربوط به مدل‌ها می‌توان دریافت؛ مدل چندجمله‌ای درجه دوم دارای مقادیر بالاتری است، بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری را دارا می‌باشد. مقدار بالای R^2 بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار ($p < 0.005$) زمان، pH و دما بر بازده استخراج بود. بازده استخراج به علت مسائل اقتصادی مورد استفاده قرار گرفت. از میان آثار متقابل فاکتورهای مورد بررسی اثر متقابل بین فاکتورها برای بازده از نظر آماری معنی‌دار بود که نشان‌دهنده وجود رابطه خطی توأم بین فاکتورهای مورد بررسی بر میزان بازده بود.

اثر هم‌زمان pH - دما در زمان ۷۵ دقیقه بر بازده استخراج در شکل ۲A و اثر هم‌زمان pH - زمان استخراج در دمای ثابت ۸۲/۵ درجه سانتی‌گراد بر بازده استخراج در شکل ۲B نشان‌داده شده است. براین‌اساس، با افزایش دما از ۷۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد بازده به‌صورت خطی در محدوده تغییرات افزایش یافت؛ تأثیر مستقل pH بر بازده، بدون لحاظ نمودن سایر متغیرها، تقریباً به‌صورت خطی است به‌طوری‌که با کاهش pH میزان بازده به نسبت بیشتری افزایش می‌یابد و معنی‌دار بودن اثر خطی pH مؤید آن است. زیاری و همکاران (۲۰۱۰)، مصباحی و همکاران (۲۰۰۵)، گارنا و همکاران (۲۰۰۷) و پاگان و همکاران (۲۰۰۱) نتایج مشابه را گزارش کردند [۲۲-۲۵]. تجزیه پروتوپکتین موجود در تفاله سیب در pH اسیدی‌تر و دمای بالاتر دلیل اصلی این امر می‌باشد. همچنین با

۲-۳- تأثیر متغیرهای مستقل بر راندمان

استخراج پکتین در روش ماکروویو

امواج ماکروویو بخشی از طیف الکترومغناطیس در محدوده فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰ گیگاهرتز است. به علت احتمال تداخل این امواج با وسایل ارتباطی، استفاده از آن در فرکانس-های خاصی محدود شده است. فرکانس مورد استفاده در وسایل خانگی ۲۵۴۰ و وسایل تجاری ۹۵۰ مگاهرتز است. استخراج با ماکروویو منجر به کاهش زمان فرایند و به دنبال آن افزایش سرعت استخراج می‌گردد [۷]. در این تحقیق با افزایش توان و زمان استخراج و اسیدی تر شدن محیط (pH پایین تر) راندمان افزایش می‌یابد. بیشترین راندمان استخراج در توان ۵۸۰ وات، مدت زمان ۱۷/۴ دقیقه و در pH ۱/۲۲ بود (جدول ۲).

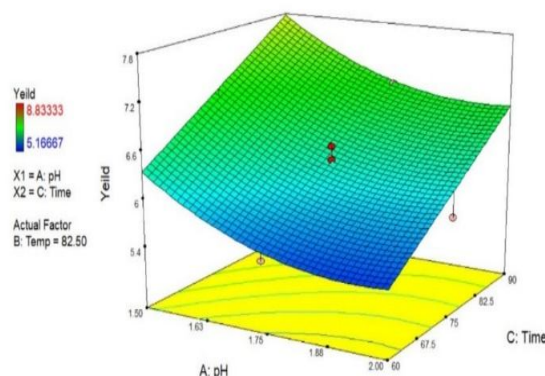


Fig 2B - 3D display; Simultaneous effect of pH and extraction time on extraction efficiency in traditional method

Table 5 Results of analysis of variance (ANOVA) quadratic response level model for MAE extraction

P value	F value	Average squares value	degree of freedom	Total squares	Source
< 0.0001	103.87	5.04	6	30.25	Model
< 0.0001	421.29	20.45	1	20.45	A-pH
< 0.0001	33.13	1.61	1	1.61	B-Time
< 0.0001	41.53	2.02	1	2.02	C-Power
0.0189	7.18	0.35	1	0.35	BC
< 0.0001	45.83	2.22	1	2.22	A ²
0.0141	8.02	0.39	1	0.39	B ²
		0.049	13	0.63	Remaining
			19	30.88	Pure error

است. توان ماکروویو یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که روی راندمان استخراج مؤثر بوده و سبب افزایش آن می‌شود [۱۹]. افزایش انرژی پرتوهای ماکروویو می‌تواند سبب افزایش نفوذ حلال استخراج به داخل ماده جامد و افزایش فعل و انفعالات مولکول‌ها با میدان مغناطیسی شده و در نتیجه سبب افزایش انتشار پکتین از ماده جامد به حلال می‌شود. بسیاری از محققین گزارش کرده‌اند دمای بالا موجب افزایش بازدهی استخراج می‌شود و دلیل افزایش بازدهی در دماهای بالاتر، را به دلیل افزایش حلالیت پلی‌ساکاریدها در حلال استخراجی و همچنین افزایش انتقال جرم از ماده به محلول گزارش کرده‌اند، هم چنین با افزایش دما ضریب نفوذ افزایش یافته و از این رو سرعت انتشار تقویت خواهد گردید. زمان پرتوهای یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر بر راندمان استخراج پکتین می‌باشد. افزایش زمان پرتوهای تأثیر مثبت روی راندمان استخراج می‌گذارد. این نتیجه که توسط بسیاری از محققین تأیید شده است ممکن است مربوط به افزایش نفوذ

مطابق جدول ۷، آزمون برازش مربوط به مدل برازش یافته (چندجمله‌ای درجه دوم) بر پاسخ معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.0001$). با توجه به مقادیر R^2 مندرج در جدول ۳ مربوط به مدل‌ها می‌توان دریافت؛ مدل چندجمله‌ای درجه دوم دارای مقادیر بالاتری است، بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری را دارا می‌باشد. با توجه به جدول شماره ۵، مدل درجه دوم کاسته برای راندمان از نظر آماری معنی‌دار بود ($p < 0.005$). مقدار بالای R^2 بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار pH ($p < 0.005$) زمان و توان بر بازده استخراج بود. از میان آثار متقابل فاکتورهای مورد بررسی اثر متقابل بین فاکتورها برای بازده از نظر آماری معنی‌دار بود.

اثر هم‌زمان توان - زمان استخراج در pH ۱/۵ بر بازده استخراج در شکل ۳A و اثر هم‌زمان pH - زمان استخراج در توان ۴۵۰ وات بر بازده استخراج در شکل ۳B نشان داده شده

پکتین و کاهش DE در این وضعیت است [۱۹]. باقریان و همکاران (۲۰۱۱) تیمار ماکروویو در استخراج پکتین از گریپ - فروت را با روش معمول مقایسه و اعلام داشتند با استفاده از امواج ماکروویو به مدت ۶ دقیقه در توان ۹۰۰ وات، راندمان استخراج را به ۲۷/۸٪ افزایش خواهد داد. این محققان اعلام داشتند با افزایش توان ماکروویو، درصد گلاکتورونیک اسید نیز افزایش می‌یابد. این امر به معنی خلوص بیشتر است. هرچند افزایش توان فرایند بر وزن مولکولی تأثیر داشته و منجر به کاهش آن می‌گردد [۱۵].

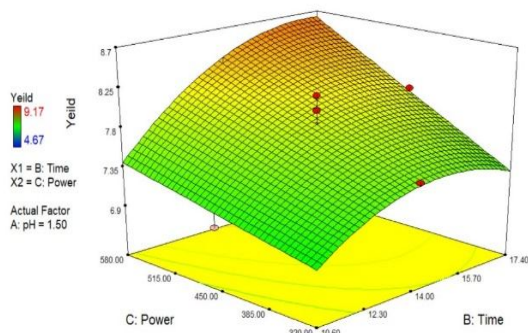


Fig 3A - 3D display; Simultaneous effect of power and extraction time on extraction efficiency in microwave method

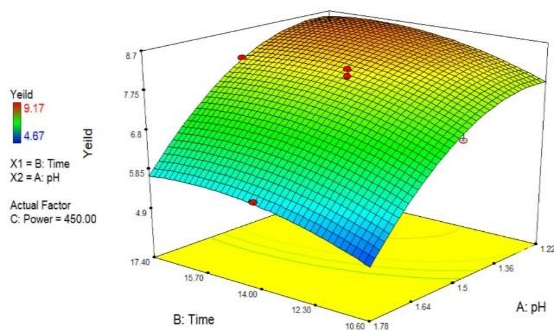


Fig 3B - 3D display; Simultaneous effect of pH and extraction time on extraction efficiency in microwave method

۳-۳- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی صورت گرفته روی پکتین استحصال شده

در جدول ۶ ویژگی‌های پکتین استخراج شده در حالت بهینه هر روش نشان داده شده است که تأثیر زمان و دمای بالا بر کیفیت پکتین استخراج شده، به‌خصوص در روش متداول مشهود بود.

حلال به داخل ماتریکس ماده جامد در اثر افزایش زمان و در نتیجه ایجاد فرصت کافی برای حل شدن پکتین در حلال استخراج باشد. pH یکی از فاکتورهای کلیدی مؤثر بر راندمان استخراج می‌باشد و انتخاب pH مناسب برای رسیدن به حداکثر راندمان امری ضروری است. علت رابطه افزایش بازدهی با کاهش pH مطابق با گزارشات متون علمی می‌تواند مربوط به تأثیر اسید بر دیواره سلولی محصول اولیه و آزادسازی پکتین در محلول استخراج شده باشد؛ بنابراین هرچه اسید قوی‌تر باشد، تخریب دیواره سلولی بیش‌تر می‌گردد و در نتیجه آزادسازی و تولید پکتین نیز بیشتر خواهد بود. در تأیید نتایج حاصل از تحقیق حاضر این‌گونه می‌توان بیان نمود که حلال بایستی اول به درون بافت تفاله خشک نفوذ کرده، پکتین را در خود حل و در ادامه آن را به بیرون از بافت تفاله تراوش کند. شکل ۳B به‌وضوح نشان می‌دهد که راندمان استخراج با کاهش pH افزایش می‌یابد. حلال با اسیدیته بالا سبب هیدرولیز پکتین‌های غیر محلول و تبدیل آنها به پکتین محلول شده و در نتیجه راندمان استخراج افزایش می‌یابد [۱۹، ۱].

ماران و همکاران (۲۰۱۴) فرایند استخراج پکتین از پوست هندوانه را با استفاده از ماکروویو با توان ۱۶۰ تا ۴۸۰ وات در مدت‌زمان ۶۰ تا ۱۸۰ ثانیه و pH=۱ تا ۲ انجام و بالاترین راندمان را در توان ۴۷۷ در مدت‌زمان ۱۲۸ ثانیه در pH=۱/۵ و با استفاده از حلال HCL معادل با ۲۵/۸ درصد را گزارش کردند [۱۱]. با افزایش توان ماکروویو، نفوذ حلال به درون ماتریکس پلی‌ساکارید و به دنبال آن انتقال جرم و حرارت افزایش می‌یابد [۱۹]. ساری و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر فرایند ماکروویو (زمان و توان ماکروویو) را بر استخراج پکتین از پوست هندوانه مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران نیز مشاهده کردند که با افزایش زمان و توان ماکروویو راندمان افزایش می‌یابد (۳/۹۲ تا ۵/۸ درصد) [۱۴]. این محققان نشان دادند که تیمار ماکروویو با توان ۲۷۹ وات به مدت ۶ دقیقه محصولی با بیشترین وزن نسبی نسبت به سایر سطوح استفاده شده ایجاد می‌کند [۱۹]. کاظمی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش ماکروویو برای استخراج پکتین پوست پسته استفاده و توان ۷۰۰ وات، مدت‌زمان ۱۶۵ ثانیه و pH=۱/۵ را به‌عنوان شرایط بهینه گزارش کردند. این محققان نشان دادند که تیمار ماکروویو منجر به چروکیدگی شدن و ناهمواری‌هایی بر سطح مولکول پکتین می‌شود که ناشی از شکسته شدن مولکول

Table 6 Properties of pectin extracted in the traditional and MAE method

WHC	Emulsification stability				Emulsification activity	Metoxyl Content	Eq.W	GLA	Degree of Esterification	Efficiency (%)	Power (W)	pH	Time (min)	T(°C)	Method
	30 Day		1 Day												
	24(°C)	4(°C)	24(°C)	4(°C)											
4	86.9	89.5	89.75	92.1	48.8	7.9	909	54	58.73	8.83	-	1.5	90	90	traditional
4.12	87.9	89.98	90.75	92.8	56.2	9.02	929	68.7	66.83	9.17	580	1.22	17.4	-	MAE

متغیرهای مستقل را بر اساس هدف بیشینه یا کمینه متغیرهای پاسخ تعیین کرد و در این پژوهش برای استخراج، شرایط بهینه‌ای بر اساس بیشینه مقدار متغیر پاسخ راندمان استخراج و بیشینه مقادیر متغیرهای pH و کمینه مقدار زمان و توان ماکروویو (جهت کمترین آسیب به پکتین استخراجی) در نظر گرفته شد. جدول ۷ محلول‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۳-۴- بهینه‌یابی

با استفاده از روش تابع مطلوبیت (با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۷)، چندین محلول برای تعیین شرایط بهینه برای داده‌های آزمایشی حاصله از استخراج ارائه شد. محلول-های پیشنهادی با استفاده از تابع مطلوبیت نشان داده شد که شرایط بهینه استخراج پکتین در توان ۵۸۰ وات، زمان ۱۰/۸ دقیقه و pH ۱/۵۸ به دست آمد. نرم‌افزار شرایط بهینه

Table 7 Results of optimization of pectin extraction by MAE with response surface method (RSM)

Degree of desirability	Efficiency	Time	Power	pH	R
0.713	6.66572	10.60	320	1.55	1
0.713	6.64459	10.61	320	1.55	2
0.713	6.6681	10.64	320	1.55	3
0.713	6.68456	10.64	320	1.55	4
0.713	6.68726	10.76	320	1.55	5
0.712	6.71922	10.85	320	1.55	6
0.686	7.24741	12.25	320	1.51	7

۱۷/۴ دقیقه و pH برابر با ۱/۲۲) برابر با ۹/۱۷ و در روش متداول (دمای ۹۰ درجه، زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر با ۱/۵۰) برابر ۸/۸۳ درصد بود. علاوه بر این، درجه استریفیکاسیون پکتین حاصل در روش ماکروویو ۶۶/۸۳ و در روش متداول ۵۸/۷۳ درصد بود که نشان داد پکتین سیب را می‌توان در گروه پکتین با درجه استری بالا طبقه‌بندی کرد. از طرف دیگر، درصد گالاتکتورونیک اسید پکتین استخراجی در شرایط بهینه در روش ماکروویو ۶۸/۷٪ و در روش متداول ۵۴٪ بود. فعالیت امولسیفایری پکتین استخراجی در شرایط مذکور به ترتیب برابر با ۵۶/۲ و ۴۸/۸ درصد (به ترتیب، روش ماکروویو و روش متداول) بود و همچنین پایداری امولسیون پکتین حاصل، در هر دو دمای ۴ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد مناسب بوده است، در نتیجه این نوع پکتین می‌تواند در فرمولاسیون انواع غذاهای امولسیونی کاربرد داشته باشد. اما به‌رحال میزان

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از روش استخراج به کمک امواج ماکروویو و مقایسه آن با روش متداول استخراج برای تولید پکتین از تفاله سیب درختی استفاده شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و کاربردی پکتین استخراجی مورد بررسی قرار گرفت. افزایش زمان، دما و کاهش pH تأثیر معنی‌داری بر عملکرد پکتین داشتند. به دلیل زمان نسبتاً طولانی حرارت‌دهی در روش متداول، پکتین استخراج‌شده دستخوش تخریب حرارتی می‌شود که این خود می‌تواند منجر به تغییرات نامطلوب در خواص فیزیکوشیمیایی و عملکردی آن شود؛ لذا روش مرسوم استخراج چه از لحاظ کمیت و چه کیفیت پکتین حاصل مطلوب نیست. نتایج نشان داد که بیشینه بازده استخراج پکتین در شرایط بهینه در روش ماکروویو (توان ۵۸۰ وات، زمان

- [10] W. Kim, V. Rao, C. Smit. 1978. Effect of chemical composition on compressive mechanical properties of low ester pectin gels, *Journal of Food Science*, 43: 572-575.
- [11] D. Boldor, A. Kanitkar, B.G. Terigar, C. Leonardi, M. Lima, G.A. Breitenbeck. 2010. Microwave assisted extraction of biodiesel feedstock from the seeds of invasive Chinese tallow tree, *Environmental science & technology*, 44: 4019-4025.
- [12] P. Richardson. 1991. Microwave technology-the opportunity for food processors, *Food Science and Technology Today*, 5: 146-148.
- [13] M. Regier, H. Schubert. 2005. Measuring dielectric properties of foods, *The microwave processing of foods*: 41-60.
- [14] M.L. Fishman, H.K. Chau, P.D. Hoagland, A.T. Hotchkiss. 2006. Microwave-assisted extraction of lime pectin, *Food Hydrocolloids*, 20: 1170-1177.
- [15] H. Bagherian, F.Z. Ashtiani, A. Fouladitajar, M. Mohtashamy. 2011. Comparisons between conventional, microwave-and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit, *Chemical engineering and processing: Process Intensification*, 50: 1237-1243.
- [16] H. Ebrahimian, M. Hashemiravan, N. Zand. 2017. Evaluation of effect of edible coating base on carboxy methyl cellulose, Pectin and osmotic dehydration on drying of Pumpkin, *Int. J. Bio-Inorg. Hybr. Nanomater*, 6: 205-213.
- [17] D.-L. Su, P.-J. Li, S.Y. Quek, Z.-Q. Huang, Y.-J. Yuan, G.-Y. Li, Y. Shan. 2019. Efficient extraction and characterization of pectin from orange peel by a combined surfactant and microwave assisted process, *Food chemistry*, 286: 1-7.
- [18] H. Saberian, Z. Hamidi-Esfahani, H.A. Gavlighi, M. Barzegar. 2017. Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 117: 154-161.
- [19] M. Kazemi, F. Khodaiyan, M. Labbafi, S.S. Hosseini, M. Hojjati. 2019. Pistachio green hull pectin: Optimization of microwave-assisted extraction and evaluation of its physicochemical, structural and functional properties, *Food chemistry*, 271: 663-672.
- [20] S.A. El-Nawawi, F.R. Shehata. 1987. Extraction of pectin from Egyptian orange

پایداری امولسیون در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد اندکی بیشتر بود. همچنین در این مطالعه از تفاله سیب استفاده شد که از اصلی‌ترین ضایعات بخش کشاورزی و صنایع تبدیلی در ایران به شمار می‌آید و با مطالعات کاربردی بیشتر در این زمینه می‌تواند به‌عنوان منبع ارزان قیمتی از پکتین معرفی گردد.

۵- منابع

- [1] M. Marić, A.N. Grassino, Z. Zhu, F.J. Barba, M. Brnčić, S.R. Brnčić. 2018. An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction, *Trends in Food Science & Technology*, 76: 28-37.
- [2] J.F. Richardson, J.H. Harker, J.R. Backhurst, Coulson and Richardson's chemical engineering: Particle technology and separation processes, Butterworth-Heinemann, 2002.
- [3] N. Lopez, E. Puertolas, S. Condon, J. Raso, I. Alvarez. 2009. Enhancement of the solid-liquid extraction of sucrose from sugar beet (*Beta vulgaris*) by pulsed electric fields, *LWT-Food Science and Technology*, 42: 1674-1680.
- [4] R. Decareau, Microwave application in the food industry: A technical overview, in: *Proceedings of the workshop on microwave applications in the food and beverage industry*. Ontario Hydro, Toronto, 1986.
- [5] S. Rust, D. Buskirk. 2008. Feeding apples or apple pomace in cattle diets, *Cattle Call*, 13: 2-3.
- [6] A. Wikiera, M. Mika, M. Grabacka. 2015. Multicatalytic enzyme preparations as effective alternative to acid in pectin extraction, *Food Hydrocolloids*, 44: 156-161.
- [7] D.R. Kammerer, J. Kammerer, R. Valet, R. Carle. 2014. Recovery of polyphenols from the by-products of plant food processing and application as valuable food ingredients, *Food Research International*, 65: 2-12.
- [8] I. Panchev, N. Kirtchev, C. Kratchanov. 1989. Kinetic model of pectin extraction, *Carbohydrate polymers*, 11: 193-204.
- [9] F. Sosulski, M. Lin, E. Humbert. 1978. Gelation characteristics of acid-precipitated pectin from sunflower heads, *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 11: 113-116.

- [27] M.J. Hong, D.Y. Kim, T.G. Lee, W.B. Jeon, Y.W. Seo. 2010. Functional characterization of pectin methylesterase inhibitor (PMEI) in wheat, *Genes & genetic systems*, 85: 97-106.
- [28] S.-Y. Chan, W.-S. Choo. 2013. Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks, *Food chemistry*, 141: 3752-3758.
- [29] T. Gachovska, D. Cassada, J. Subbiah, M. Hanna, H. Thippareddi, D. Snow. 2010. Enhanced anthocyanin extraction from red cabbage using pulsed electric field processing, *Journal of Food Science*, 75: E323-E329.
- [30] X. Guo, D. Han, H. Xi, L. Rao, X. Liao, X. Hu, J. Wu. 2012. Extraction of pectin from navel orange peel assisted by ultra-high pressure, microwave or traditional heating: A comparison, *Carbohydrate Polymers*, 88: 441-448.
- [31] X. Huang, D. Li, L.-j. Wang. 2017. Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions, *Journal of Food Engineering*, 211: 1-6.
- peel. Factors affecting the extraction, *Biological Wastes*, 20: 281-290.
- [21] H. Endress. 2000. High Quality Resulting from Product Integrated Environment Protection (PIUS), *Fruit Processing*, 10: 273-277.
- [22] H. Ziari, F.Z. Ashtiani, M. Mohtashamy. 2010. Comparing the effectiveness of processing parameters in pectin extraction from apple pomace, *Afinidad*, 67.
- [23] G. Mesbahi, J. Jamalian, A. Farahnaky. 2005. A comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in food systems, *Food Hydrocolloids*, 19: 731-738.
- [24] E. Graña, T. Sotelo, C. Díaz-Tielas, F. Araniti, U. Krasuska, R. Bogatek, M.J. Reigosa, A.M. Sánchez-Moreiras. 2013. Citral induces auxin and ethylene-mediated malformations and arrests cell division in *Arabidopsis thaliana* roots, *Journal of chemical ecology*, 39: 271-282.
- [25] J. Pagan, A. Ibarz, M. Llorca, A. Pagan, G. Barbosa-Cánovas. 2001. Extraction and characterization of pectin from stored peach pomace, *Food Research International*, 34: 605-612.
- [26] B.M. Yapo, C. Robert, I. Etienne, B. Wathelet, M. Paquot. 2007. Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts, *Food chemistry*, 100: 1356-1364.



Comparison of physicochemical properties of pectin Extracted from apple pomace by microwave and high temperature acid treatment: optimization by surface – Response

Jamshidian, H. ¹, Rafe, A. ^{2*}, Mirzababae, S. M. ³

1. PhD student Food Processing Group Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
2. PhD Associate Professor of Food Processing Department, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.
3. PhD Assistant Professor of Food Machinery Department Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2021/ 10/ 06

Accepted 2021/ 12/ 26

Keywords:

Gel,
Pectin,
Apple Pomace,
Traditional extraction method,
Microwave.

DOI: 10.52547/fsct.19.122.129

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.122.19.2

*Corresponding Author E-Mail:
rafe@rifst.ac.ir

ABSTRACT

Pectin is used as a coagulant in the food industry due to its thickening properties. Also, the polysaccharide is widely used in the food industry, which is due to its unique technological properties (its gelling properties in the production of jams and like jams such as fruit, etc.). The aim of this study was to optimize and evaluate the quantitative and qualitative evaluation of pectin extraction from apple pomace by microwave and acid extraction method. Microwave extraction efficiency in the pH range of 1.22 to 1.78, time 10.6 to 17.4 minutes and power 320 to 580 W and by acid extraction method in the pH range of 1.5 to 2, time 60 to 90 minutes and temperature of 75 to 90 °C was optimized by the response surface method (RSM). The results showed that in microwave extraction at pH 1.22, time 17.4 minutes and power 580 W and in acid extraction method at pH 1.5, temperature 90 °C and time 90 minutes maximum extraction efficiency (9.17 and 8.83% respectively) were observed. Also, under optimal microwave extraction conditions, pectin with better quality characteristics (higher degree of esterification, galacturonic acid, equivalent weight, methoxyl content, emulsifying activity and water holding capacity) was obtained than the traditional method.