

استخراج پکتین از پوست بادنجان با استفاده از مایکروویو و بررسی خصوصیات آن

سارا کرم‌زاده¹ - سارا انصاری^{2*}

تاریخ دریافت: 1397/08/15

تاریخ پذیرش: 1398/02/25

چکیده

در این پژوهش از روش سطح پاسخ و طرح باکس - بنکن برای بهینه‌سازی شرایط استخراج به کمک امواج مایکروویو پکتین حاصل از پوست بادنجان استفاده شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی پکتین استخراجی مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای مستقل مورد بررسی در این تحقیق شامل توان (360، 450 و 540 وات)، زمان (1، 2/5 و 4 دقیقه) و pH (1، 2 و 3) بودند. راندمان استخراج، درجه استریفیکاسیون، میزان گالاتکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری پکتین‌های استخراج شده به ترتیب 2/20 تا 17/16 درصد، 20/20 تا 36/23 درصد، 51/3 تا 74/7 درصد و 1/87 تا 21/64 درصد به دست آمد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش توان، افزایش زمان و کاهش pH، راندمان استخراج پکتین افزایش، درحالی‌که درجه استریفیکاسیون کاهش یافت. میزان گالاتکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری با افزایش توان تا 450 وات و زمان پرتودهی تا 3 دقیقه ابتدا سیر صعودی و سپس نزولی داشت. شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج، میزان گالاتکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری در توان 360 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1/0 بوده که در این شرایط پاسخ‌های فوق به ترتیب برابر با 18/81، 70/81 و 2/68 درصد پیش‌بینی شدند. همچنین مشاهدات نشان داد که با افزایش غلظت رفتار جریان محلول پکتین از نیوتونی به سودوپلاستیک تغییر کرد. از طرفی پایداری امولسیون پکتین استخراجی، در دمای 4 درجه بیشتر از 23 درجه سلسیوس بوده است. بر مبنای نتایج این تحقیق مایکروویو به‌عنوان یک روش نوین و با کارایی بالا برای استخراج پکتین از پوست بادنجان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پکتین، پوست بادنجان، بهینه‌سازی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی

مقدمه

ایران، 1373). بنابراین، بررسی تولید آن در داخل کشور می‌تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد.

پکتین می‌تواند به‌عنوان یک محصول جانبی، از منابع مختلفی مانند تفاله سیب درختی، تفاله چغندرقد، طبق گل آفتاب‌گردان و پوست مرکبات استخراج گردد. پکتین تفاله سیب درختی به علت استفاده از آنزیم‌های پکتولیتیک در حین تولید کنسانتره آب سیب و پکتین تفاله چغندرقد به دلیل وجود گروه‌های استیل و پکتین طبق گل آفتاب‌گردان درجه متوکسیلاسیون پایینی دارند، در حالی که پکتین پوست مرکبات با درجه متوکسیلاسیون بالا و قدرت تولید ژل قوی بهترین منبع استخراج پکتین می‌باشند. میزان پکتین بر اساس ماده خشک در تفاله سیب درختی، تفاله چغندرقد، طبق گل آفتاب‌گردان و تفاله مرکبات به ترتیب 20-15، 15-20، 20-25 و 25-30 درصد است (Mesbahi *et al.*, 2005). بادنجان با نام علمی *Solanum melongena* یکی از سبزیجات مهم خانواده *Solanaceae* می‌باشد که در سطح وسیعی در کشورهای دنیا کشت می‌شود. در سال 2017 میزان تولید جهانی

پکتین یک استر متیله شده از پلی گالاتکتورونیک اسید با اتصالات α (1→4) است که شامل زنجیره‌های 300 تا 1000 واحدی از گالاتکتورونیک اسید می‌باشد و در دیواره سلولی و تیغه میانی گیاهان قرار دارد (Yeoh *et al.*, 2008). پکتین کاربردهای زیادی در صنایع غذایی و دارویی دارد. در مواد غذایی پکتین غالباً در مربا و ژله به‌عنوان عامل تشکیل ژل و قوام‌دهنده استفاده می‌شود. همچنین در نوشیدنی‌ها، سس‌ها، شربت‌ها³، محصولات قنادی، نانوائی و غیره برای ایجاد بافت مناسب به کار می‌رود (Yan *et al.*, 2010). در سال 2018 تقاضای جهانی برای پکتین بیش از 60 هزار تن در سال بوده که اروپا با 31 هزار تن بزرگترین بازار پکتین (حدود 420 میلیون دلار) را به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2019). در ایران سالیانه حدود یک صد تن پکتین در صنایع غذایی و دارویی به مصرف می‌رسد، که همگی از خارج از کشور تامین می‌گردد و با توجه به قیمت آن در بازارهای جهانی ارزیابی نسبتاً چشم‌گیری دارد (انتشارات مرکز گمرک

100 گرم) در توان 50 وات، زمان اشعه‌دهی 30 دقیقه و pH 1/5 به دست آمد که پکتین حاصل دارای محتوای گالاکتورونیک اسید (66/08 گرم در 100 گرم) و فنول کل بالایی (96/81 میلی گرم معادل گالیک اسید در گرم پکتین) بوده و جزء پکتین‌های با درجه متوکسیل بالا طبقه‌بندی می‌شد.

بر مبنای تحقیقات انجام شده تاکنون، هیچ پژوهشی به بررسی اثر امواج مایکروویو بر راندمان استخراج پکتین و همچنین خصوصیات فیزیکوشیمیایی پکتین حاصل از پوست بادنجان نپرداخته است، بنابراین هدف از این پژوهش بهینه‌سازی استخراج پکتین از نقاله ناشی از پوست بادنجان و در ادامه بررسی خصوصیات پکتین‌های استخراج شده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پوست بادنجان از کارخانه یک و یک (دشت مرغاب، خرم بید، استان فارس) به‌عنوان ضایعات کنسروسازی گرفته شد. این ضایعات پس از شستشو با آب به قطعات کوچک بریده شدند. در مرحله بعد، در آن (Shimaz Co، ایران) با دمای 65°C به مدت 24 ساعت خشک گردیدند تا به وزن ثابت برسند. با استفاده از آسیاب (فن آژما، ایران) پودر شده و با مش 20 الک گردیدند. پودر تولیدی برای مصارف بعدی در ظرف پلی‌اتیلنی و در جای خشک نگهداری شد. کلیه مواد شیمیایی، حلال‌ها و استانداردهای مصرفی از شرکت مرک آلمان با درجه خلوص تجزیه‌ای تهیه شدند.

استخراج پکتین

جهت استخراج پکتین، 5 گرم از نمونه پودر خشک شده در ارلن ریخته شده و 75 میلی‌لیتر محلول آبی اسید سیتریک در pH‌های مختلف (نسبت حجم مایع به وزن جامد (حجمی/وزنی) در تمام تیمارها ثابت و برابر با 15 به 1)، به آن اضافه شد. سپس نمونه طی مدت زمان مشخص درون مایکروویو (Daewoo، KOC-9U0 TPS، کره) با حداکثر توان 900 وات قرار گرفت (جدول 1). در مرحله بعد، محلول دو مرتبه با پارچه متقال صاف شده و برای جداسازی ذرات معلق باقیمانده، محلول حاصل در 4000 rpm به مدت 20 دقیقه سانتریفوژ (Universal 320، آلمان) شد. سپس محلول پکتین به‌وسیله اتانول 98 درصد رسوب داده شد و پس از نگهداری در دمای 7°C به مدت 18 ساعت، پکتین مرطوب حاصل، 2 مرتبه با اتانول 98 درصد شستشو داده شد و نهایتاً به‌وسیله آن در دمای 60°C تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید (Hosseini et al., 2016). سپس آزمون‌های زیر بر روی پکتین‌های استخراجی انجام گردید.

بادنجان در جهان در حدود 52/3 میلیون تن گزارش شده است که در این میان کشور ایران با تولید 654149 تن پس از چین، هند، مصر و ترکیه در مقام پنجم قرار دارد (FAO, 2017). در حین فراوری و کنسرو سازی بادنجان، کلاهدک و پوست آن جزء ضایعات بوده و دور ریخته می‌شود، درحالی که حاوی چندین ماده مغذی، اجزای سازنده و ترکیبات ارزشمند است. اگرچه میزان پکتین این ضایعات در مقایسه با میوه‌های غنی از پکتین تا حدودی کمتر است ولی با این وجود برای استخراج پکتین مناسب است. از این رو در این مطالعه، تلاش می‌شود تا از این ضایعات در جهت استخراج پکتین که ماده‌ای ارزشمند در صنایع غذایی می‌باشد، استفاده کرد.

تولید پکتین معمولاً شامل استخراج، تصفیه/تغلیظ و خشک کردن است. استفاده از یک روش مناسب برای استخراج پکتین برای به حداکثر رساندن عملکرد و کیفیت آن مهم است. شایع‌ترین روش مورد استفاده برای فرآیند استخراج پکتین شامل حرارت‌دهی مستقیم در آب اسیدی شده (روش سوکسله) است، اما به دلیل زمان طولانی استخراج و حجم بالای آب ضایعاتی این روش چندان مطلوب نیست (Yeoh et al., 2008). ناطقی و انصاری (1396) پکتین از ضایعات کلاهدک بادنجان به روش اسیدی با اسید سیتریک تحت شرایط دما (60، 75 و 90 درجه سانتی‌گراد)، زمان (50، 100 و 150 دقیقه) و pH‌های مختلف (1/5، 2/25 و 3) استخراج کردند. بر اساس نتایج به دست آمده راندمان تولید پکتین از کلاهدک از 5/87 تا 12/3 درصد متغیر بود که بالاترین راندمان برای کلاهدک بادنجان (12/3 درصد)، در شدیدترین شرایط استخراج یعنی در دمای 90 درجه سانتی‌گراد، زمان 150 دقیقه و pH برابر با 1/5 به دست آمد که درصد گالاکتورونیک اسید و درجه استری شدن برای پکتین کلاهدک در همین شرایط به ترتیب برابر با 27/90 و 15/43 بود (ناطق و انصاری، 1396). اخیراً تعدادی از روش‌های جدید استخراج به کمک مایکروویو¹، استخراج به کمک اولتراسوند²، استخراج با سیال فوق بحرانی³ و استخراج تسریع شده با حلال⁴ به‌عنوان تکنیک‌های سازگارتر با محیط زیست و کارآمدتر برای افزایش باز یافت ترکیبات ارزش از بافت‌های گیاهی توسعه یافته‌اند (Kazemi et al., 2019). در مقایسه با استخراج با سیال فوق بحرانی، استخراج به کمک مایکروویو ساده‌تر و ارزان‌تر است. استخراج به کمک مایکروویو ویژگی‌های تداخل مویری و ظرفیت جذب آب مواد گیاهی را افزایش داده که این تغییرات فرصتی برای بهبود عملکرد استخراج مولکول‌های هدف از مواد گیاهی را فراهم می‌سازند (Wang et al., 2007). اخیراً کاظمی و همکاران (2019) نیز از روش سطح پاسخ (RSM) برای بهینه‌سازی استخراج پکتین از پوست بادنجان به کمک امواج اولتراسوند استفاده کردند. بر مبنای نتایج آنها بالاترین راندمان استخراج (33/64 گرم در

3 Supercritical fluid extraction
4 Accelerated solvent extraction

1 Microwave-assisted extraction (MAE)
2 Ultrasound-assisted extraction

تیترا شد و حجم سود مصرفی به عنوان V_2 یادداشت گردید. درصد استری شدن با توجه به معادله زیر محاسبه شد (Mesbahi et al., 2005):

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

اندازه گیری خصوصیات امولسیون

در این تحقیق، از روش Simeonova و Dalev (1995) با کمی تغییر برای اندازه گیری فعالیت امولسیفایری² و پایداری امولسیون³ استفاده شد. بدین منظور 5 میلی لیتر روغن آفتاب گردان، با 5 میلی لیتر محلول پکتین 0/5 درصد وزنی/وزنی و 0/02 درصد سدیم آزید برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها به آن اضافه شد. در مرحله بعد نمونه‌ها با هموژنایزر (ارتعاشات صنعتی، ایران) در دور 10000rpm به مدت 4 دقیقه مخلوط شدند. سپس امولسیون ایجاد شده برای 5 دقیقه در دور 3000 rpm سانتریفوژ گردید. فعالیت امولسیونی با توجه به معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$EA (\%) = \frac{ELV}{W_v} \times 100 \quad (3)$$

در معادله بالا، EA فعالیت امولسیونی، ELV حجم لایه امولسیون شده و W_v حجم کل محلول می‌باشد.

برای اندازه گیری پایداری امولسیون، نمونه به مانند روش بالا تهیه و در چهار لوله سانتریفوژ 10 میلی لیتری ریخته شد. دو لوله برای اندازه گیری پایداری امولسیون در دماهای پایین، در دمای 4°C به مدت 1 و 30 روز و 2 لوله دیگر نیز در دمای 23°C برای مدت مذکور قرار گرفتند. در نهایت پایداری امولسیون با استفاده از معادله زیر به دست آمد:

$$ES (\%) = \frac{VE_r}{VE_i} \times 100 \quad (4)$$

EA پایداری امولسیون، VE_r حجم لایه امولسیون باقی مانده و VE_i حجم لایه امولسیون اولیه می‌باشد.

اندازه گیری ویسکوزیته

ویسکوزیته غلظت‌های مختلف محلول پکتین به وسیله ویسکومتر چرخشی (LVDV-II Pro, Brookfield Engineering Inc, آمریکا) در دمای 25°C اندازه گیری شد. برای هر آزمون حدود 20 میلی لیتر از نمونه به سیلندر اندازه گیری منتقل شده و تغییرات ویسکوزیته در برابر افزایش نرخ برش در محدوده 110s^{-1} - 12s^{-1} اندازه گیری شد. برای آنالیز رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها از مدل‌های نیوتونی و قانون توان استفاده شد (Kazemi et al., 2019).

راندمان تولید پکتین

برای به دست آوردن راندمان تولید پکتین از فرمول زیر استفاده شد (Kazemi et al., 2019):

$$100 \times (\text{ماده اولیه} / \text{پکتین خالص}) = \text{درصد راندمان تولید} \quad (1)$$

بررسی محتوای گالاتورونیک اسید

در این تحقیق برای اندازه گیری راندمان اسید گالاتورونیک از روش متا هیدروکسی دی فنیل استفاده شد (Wang et al., 2007). بدین ترتیب که 0/05 گرم از نمونه پکتین استخراج شده به یک بالن حجمی 250 میلی لیتری منتقل شده، با آب مقطر دیونیزه به حجم رسانیده شده و برای حل شدن کامل روی همزن مغناطیسی در دمای اتاق قرار گرفت. سپس یک میلی لیتر از محلول پکتینی تهیه شده به 3 لوله آزمایش (دو لوله برای اندازه گیری جذب نمونه حاوی پکتین و یک لوله برای اندازه گیری جذب نمونه شاهد) غوطه‌ور در حمام آب یخ (فن آزما، ایران) به منظور سرد شدن اضافه گردید. بعد از سرد شدن نمونه‌ها 6 میلی لیتر محلول 0/0125 مولار تترابورات سدیم در اسید سولفوریک غلیظ به آنها اضافه و کاملاً مخلوط شدند. در ادامه لوله‌های آزمایش به مدت 6 دقیقه در حمام آب جوش 100°C حرارت دهی شده و سپس در حمام یخ سریعاً سرد شدند. 0/1 میلی لیتر از معرف محلول 0/15% وزنی/حجمی متاهیدروکسی دی فنیل به دو لوله آزمایش حاوی نمونه پکتینی اضافه شد و جذب آنها پس از گذشت 15 دقیقه با استفاده از اسپکتروفتومتر مرئی/ماورای بنفش (Unico, UV210، اسپانیا) در طول موج 520 نانومتر اندازه گیری شد. منحنی استاندارد جذب/غلظت با اندازه گیری جذب محلول‌های استاندارد گالاتورونیک اسید در محدوده غلظت 20 تا 100 میکروگرم بر میلی لیتر تهیه شد.

درجه استریفیکاسیون¹

درجه استریفیکاسیون پکتین با استفاده از روش تیتراسیون با کمی تغییر اندازه گیری شد. بدین منظور 0/2 گرم از نمونه پکتین خشک شده، با 2 میلی لیتر اتانول 98% مرطوب شد. سپس 20 میلی لیتر آب مقطر دیونیزه به آن اضافه شده و تا حل شدن کامل در دمای 40°C بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. بعد از حل شدن کامل نمونه، با سود 0/1 نرمال در حضور معرف فنل فتالین تا ظهور رنگ صورتی کمرنگ تیترا شد و حجم سود مصرف شده به عنوان V_1 ثبت گردید. به محلول خنثی شده در مرحله اول تیتراسیون، 10 میلی لیتر سود 0/1 مولار اضافه و به مدت 2 ساعت بر روی همزن مغناطیسی به هم زده شد تا پکتین صابونی شود. سپس 10 میلی لیتر هیدروکلریک اسید 0/1 مولار به آن اضافه و اسید اضافی مجدداً با سود 0/1 نرمال تا رسیدن به همان نقطه پایانی

3 Emulsion stability (ES)

1 Degree of estrification (DE)

2 Emulsifying activity (EA)

طیف FT-IR

پرتودهی و pH) در سه سطح، با سه تکرار در مرکز (برای محاسبه خطا)، بر پاسخ‌های راندمان تولید پکتین، درجه استریفیکاسیون، میزان گالاکتورنیک اسید و فعالیت امولسیفایری مورد بررسی قرار گرفت (جدول 1).

در این مطالعه، طیف FT-IR پکتین با تفکیک پذیری 4 cm^{-1} به وسیله اسپکتروفوتومتر FT-IR پرکین المر با استفاده از صفحه پتاسیم برماید در دامنه $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ رسم گردید (Kazemi et al., 2019).

نتایج و بحث

17 تیمار جهت استخراج پکتین تحت شرایط تعیین شده در طرح باکس - بنکن به روش سطح پاسخ به کار گرفته شد که جدول 1 شرایط هر تیمار استخراجی و نیز مقادیر اندازه‌گیری شده هر پاسخ (راندمان، درجه استریفیکاسیون، میزان گالاکتورنیک اسید و فعالیت امولسیفایری) تحت شرایط استخراج به کار رفته را نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق، برای آنالیز داده‌ها و دستیابی به شرایط بهینه تولید پکتین از پوست بادنجان، از نرم افزار Minitab 16، روش سطح پاسخ، طرح باکس - بنکن که هم اثر فاکتورها به صورت تک و هم برهمکنش میان فاکتورها را با کاهش تعداد آزمایش‌های تجربی نشان می‌دهد، استفاده شد. در این تحقیق، اثر سه متغیر (توان میکروویو، زمان

جدول 1- سطوح متغیرها (زمان، pH و توان میکروویو) و پاسخ‌های مربوط به استخراج پکتین از پوست بادنجان

تیمارها	متغیرهای مستقل			پاسخ‌های اندازه‌گیری شده			
	توان (W)	زمان (min)	pH	راندمان تولید (%)	درجه استریفیکاسیون (%)	گالاکتورنیک اسید (%)	فعالیت امولسیفایری (%)
1	360	1	2	5/94	21/38	51/30	1/50
2	540	1	2	6/16	20/20	57/60	3/00
3	360	4	2	9/90	36/23	65/70	4/50
4	540	4	2	12/98	26/14	57/60	6/00
5	360	2/5	1	8/80	29/70	68/40	7/50
6	540	2/5	1	10/56	25/54	66/10	9/00
7	360	2/5	3	2/20	29/70	58/90	10/50
8	540	2/5	3	5/94	23/76	67/00	12/00
9	450	1	1	5/28	22/57	63/00	13/50
10	450	4	1	17/16	31/02	73/80	15/00
11	450	1	3	6/60	21/60	62/10	16/50
12	450	4	3	6/16	30/88	70/20	18/00
13	450	2/5	2	5/72	27/32	72/40	19/50
14	450	2/5	2	6/82	28/51	74/70	21/00
15	450	2/5	2	6/60	28/51	72/40	22/50
16	450	2/5	2	6/27	27/39	72/90	24/00
17	450	2/5	2	6/49	27/75	73/30	21/20

درصد بوده است، که این نشان‌دهنده برآزش خوب مدل پیش‌بینی شده با داده‌های تجربی می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس برای درجه استریفیکاسیون نیز مانند راندمان نشان از بالا بودن ضریب تبیین (99/00 درصد) و ضریب تبیین تعدیل شده (97/72 درصد) داشته است، که نشان‌دهنده برآزش خوب مدل پیش‌بینی شده می‌باشد.

نتایج مربوط به آنالیز آماری در جدول 2 و 3 آورده شده است. نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی مربوط به این پاسخ‌ها در سطح اطمینان 5 درصد معنی‌دار بوده و همچنین آزمون عدم برآزش برای این پارامترها بی‌معنی بوده است. همچنین ضریب تبیین برای راندمان استخراج برابر با 99/12 درصد و همچنین ضریب تبیین تعدیل شده برابر با 98/00

جدول 2- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای راندمان استخراج و درجه استریفیکاسیون

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
(الف) راندمان					
رگرسیون	9	187/51	20/83	87/98	0/00
خطی	3	125/99	0/29	1/01	0/44
درجه دوم	3	20/54	6/85	28/91	0/00
اثرات متقابل	3	40/97	13/66	57/67	0/00
خطای باقیمانده	5	1/66	0/24		
عدم برازش	3	0/96	0/32	1/82	0/28
خطای خالص	2	0/70	0/17		
کل	14	189/17			
ضریب تبیین			0/99		
ضریب تبیین تعدیل شده			0/98		
(ب) درجه استریفیکاسیون					
رگرسیون	9	273/54	30/39	77/06	0/00
خطی	3	243/60	13/38	33/94	0/00
درجه دوم	3	9/13	3/04	7/72	0/01
اثرات متقابل	3	20/81	6/94	17/59	0/00
خطای باقیمانده	5	2/76	0/39		
عدم برازش	3	1/39	0/47	1/37	0/37
خطای خالص	2	1/36	0/34		
کل	14	276/30			
ضریب تبیین			0/99		
ضریب تبیین تعدیل شده			0/98		

$$DE (\%) = -7.95 + 0.09X_1 + 13.21X_2 + 1.90X_3 - 0.01X_1^2 - 0.57X_2^2 - 0.1X_3^2 - 0.01X_1X_2 - 0.005X_1X_3 + 0.14X_2X_3 \quad (2)$$

$$GA (\%) = -170.65 + 0.97X_1 + 30.2X_2 - 15.88X_3 - 0.001X_1^2 - 2.87X_2^2 + 0.59X_3^2 - 0.02X_1X_2 + 0.03X_1X_3 - 0.45X_2X_3 \quad (3)$$

$$EA (\%) = -301.90 + 1.34X_1 + 13.96X_2 + 1.28X_3 - 0.001X_1^2 - 2.64X_2^2 + 0.05X_3^2 + 0.000X_1X_2 - 0.000X_1X_3 - 0.000X_2X_3 \quad (4)$$

در این معادلات X_1 : توان، X_2 : زمان و X_3 : pH می باشد.

میزان ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل شده برای میزان گالاتورونیک اسید به ترتیب برابر با 98/00 درصد و 95/43 درصد بوده است. این اعداد برای میزان امولسیفایری نیز به ترتیب برابر با 98/48 درصد و 96/53 درصد بوده است که نشان دهنده برازش خوب مدل پیش بینی شده بوده است.

معادلات درجه دو پیش بینی شده برای پارامترهای مختلف که نوعی روابط ریاضی جهت دستیابی به شرایط بهینه با برقراری ارتباط بین متغیرها می باشند، به صورت کد شده در زیر آمده است:

$$Yield (\%) = 14.68 - 0.04X_1 - 1.2X_2 - 1.05X_3 + 0.00X_1^2 + 0.95X_2^2 + 0.27X_3^2 + 0.01X_1X_2 + 0.01X_1X_3 - 2.05X_2X_3 \quad (1)$$

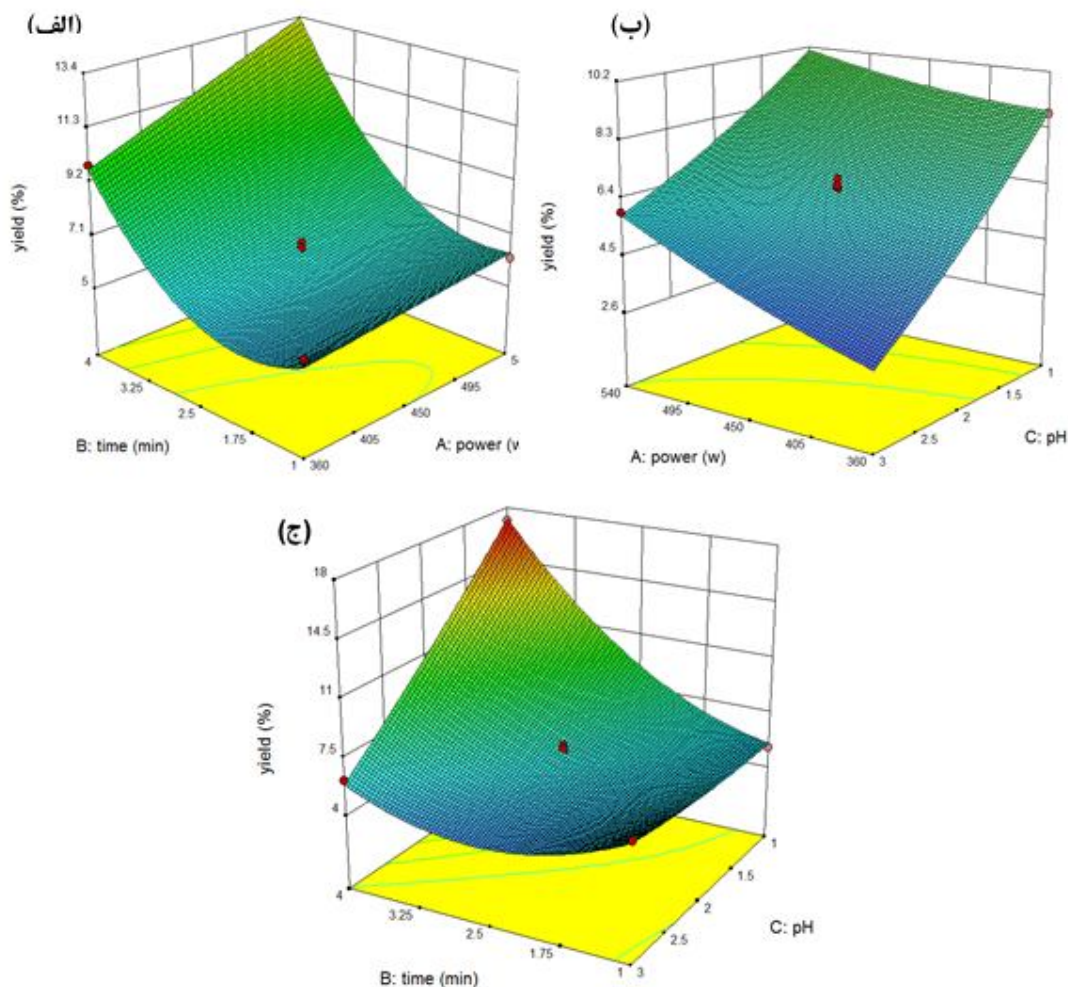
جدول 3- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای میزان گالاکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
(الف) میزان گالاکتورونیک اسید					
رگرسیون	9	758/50	84/27	38/15	0/00
خطی	3	162/06	171/43	77/60	0/00
درجه دوم	3	515/73	171/91	77/82	0/00
اثرات متقابل	3	80/70	26/90	12/18	0/00
خطای باقیمانده	5	15/46	2/20		
عدم برازش	3	11/85	3/95	4/38	0/09
خطای خالص	2	3/61	0/90		
کل	14	773/96			
ضریب تبیین		0/98			
ضریب تبیین تعدیل شده		0/95			
(ب) فعالیت امولسیفایری					
رگرسیون	9	819/58	91/06	50/52	0/00
خطی	3	32/62	196/65	109/06	0/00
درجه دوم		786/96	262/32	145/54	0/00
اثرات متقابل		0/00	0/00	0/00	1/00
خطای باقیمانده		12/61	1/80		
عدم برازش		1/12	0/37	0/13	0/94
خطای خالص	2	11/49	2/87		
کل	14	832/20			
ضریب تبیین		0/98			
ضریب تبیین تعدیل شده		0/96			

دما از 60 به 90 درجه سانتی‌گراد، زمان استخراج از 50 به 150 دقیقه و کاهش pH از 3 به 1/5 اثر معنی دار در افزایش بازده پکتین داشت ($p < 0/05$). کاظمی و همکاران (2019) نیز در تحقیق خود نتایج مشابهی را در زمینه استخراج پکتین از پوست سبز پسته با استفاده از روش مایکروویو گزارش نمودند و انرژی پرتودهی را به‌عنوان عاملی مهم در استخراج پکتین عنوان نمودند. زمان پرتودهی یکی دیگر از فاکتورهای موثر بر راندمان استخراج پکتین می‌باشد. افزایش زمان پرتودهی تاثیر مثبت روی راندمان استخراج می‌گذارد (شکل 1). باقریان و همکاران (2011) به نتایج مشابه در زمینه استخراج پکتین از گریپ فروت و Li و همکاران (2012) نیز به نتایج مشابه در زمینه استخراج پکتین از پالپ چغندر قند دست یافتند. این مقوله ممکن است مربوط به افزایش نفوذ حلال به داخل ماتریکس ماده جامد در اثر افزایش زمان و در نتیجه ایجاد فرصت کافی برای حل شدن پکتین در حلال استخراج باشد (Samavati, 2013).

اثر شرایط استخراج بر راندمان تولید پکتین

همانطور که در جدول 1 نشان داده شد، راندمان استخراج پکتین از پوست بادنجان در دامنه 2/20 تا 17/16 درصد متغیر بوده است. بیشترین راندمان استخراج مربوط به آزمایش شماره 10 (توان 450 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1) و کمترین آن مربوط به آزمایش شماره 7 (توان 360 وات، زمان 2/5 دقیقه و pH برابر با 3) بوده است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌شود توان مایکروویو یکی از مهمترین فاکتورهایی است که روی راندمان استخراج موثر بوده و سبب افزایش آن می‌شود. افزایش انرژی پرتودهی مایکروویو 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 (Yan *et al.*, 2010). طبق مطالعات ناطقی و انصاری (1396) بازده استخراج پکتین از کلاهدک بادنجان به روش مرسوم بین 0/87 تا 12/30 درصد متغیر بود که در مقایسه با تحقیق حاضر بسیار پایین بود. طبق گزارشات آنها افزایش



شکل 1- اثر متغیرهای مستقل توان/ زمان (الف)، توان/ pH (ب) و زمان/ pH (ج) بر راندمان استخراج پکتین پوست بادنجان

اثر شرایط استخراج بر درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی

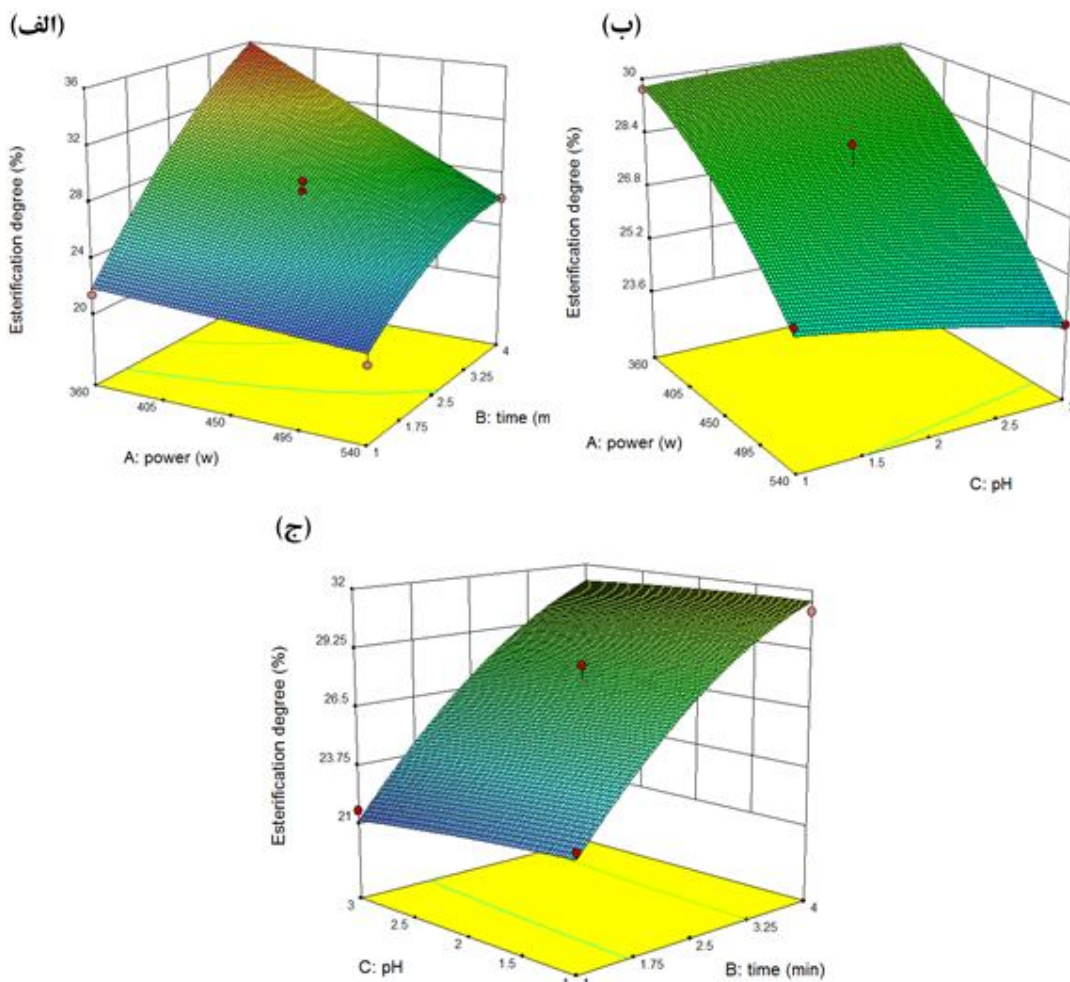
همانطور که در جدول 1 مشاهده می‌شوند درجه استریفیکاسیون در این پژوهش بین 20/20 و 36/23 درصد متغیر بوده است. بیشترین درجه استریفیکاسیون مربوط به تیمار شماره 3 (توان 360 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 2) و کمترین آن مربوط به تیمار شماره 2 (توان 540 وات، زمان 1 دقیقه و pH برابر با 2) بوده است. همچنین این نتایج نشان می‌دهد که بین درجه استریفیکاسیون و راندمان استخراج رابطه مستقیمی وجود ندارد، زیرا بالاترین راندمان استخراج مربوط به شرایط بهینه استخراج بوده درحالیکه درجه استریفیکاسیون در این شرایط در بیشترین حد نبوده است. بنابر نتایج این تحقیق پکتین به دست آمده از پوست بادنجان را می‌توان جزوی از پکتین‌ها با درجه استری پایین طبقه‌بندی کرد. پکتین با درجات استری متفاوت دارای کاربردهای

pH یکی از فاکتورهای کلیدی موثر بر راندمان استخراج می‌باشد و انتخاب pH مناسب برای رسیدن به حداکثر راندمان امری ضروری است. شکل 1 به وضوح نشان می‌دهد که راندمان استخراج با کاهش pH افزایش می‌یابد. حلال استخراج با اسیدیته بالا سبب هیدرولیز پکتین‌های غیرمحلول و تبدیل آن‌ها به پکتین محلول شده و در نتیجه راندمان استخراج افزایش می‌یابد (Maran et al., 2013; Ma et al., 2013). همراستا با نتایج مطالعه حاضر، ناطقی و انصاری (1396) نیز گزارش نمودند که بازده استخراج پکتین از ضایعات کلاهدک بادنجان با کاهش pH افزایش یافته است. این محققین عنوان نمودند که این پدیده می‌تواند مربوط به تاثیر 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.

پرتودهی بالا باشد. طبق نتایج باقریان و همکاران (2011) درجه استریفیکاسیون با افزایش زمان حرارت دهی مایکروویو از 2 به 8 دقیقه افزایش یافت. ناطقی و انصاری (1396) در رابطه با استخراج پکتین از ضایعات کلاهدک بادنجان عنوان کردند که کاهش pH، افزایش دما و زمان استخراج علی‌رغم افزایش راندمان، درجه استریفیکاسیون پکتین را به میزان قابل توجهی کاهش داد که این کاهش را به داستریفیکاسیون زنجیره پلی گالاتورونیک در شرایط سخت نسبت دادند (ناطقی و انصاری، 1396).

متفاوتی می‌باشند. از این رو، پکتین به‌دست آمده از این محصول، به دلیل پایین بودن درجه استری آن، برای تولید محصولات با شکر کم مثل ژله‌ها و مرباهای کم‌کالری بسیار مناسب است (Wai et al., 2009).

اثر زمان پرتودهی، توان مایکروویو و pH روی درجه استریفیکاسیون در شکل 2 آورده شده است. درجه استریفیکاسیون با افزایش زمان پرتودهی افزایش می‌یابد اما درجه استریفیکاسیون با افزایش pH کاهش یافته است. این کاهش می‌تواند به علت تجزیه پیوندهای استری پکتین در شرایط سخت هیدرولیز اسیدی و زمان



شکل 2- اثر متغیرهای مستقل توان / زمان (الف)، توان / pH (ب) و زمان / pH (ج) بر درجه استریفیکاسیون پکتین پوست بادنجان

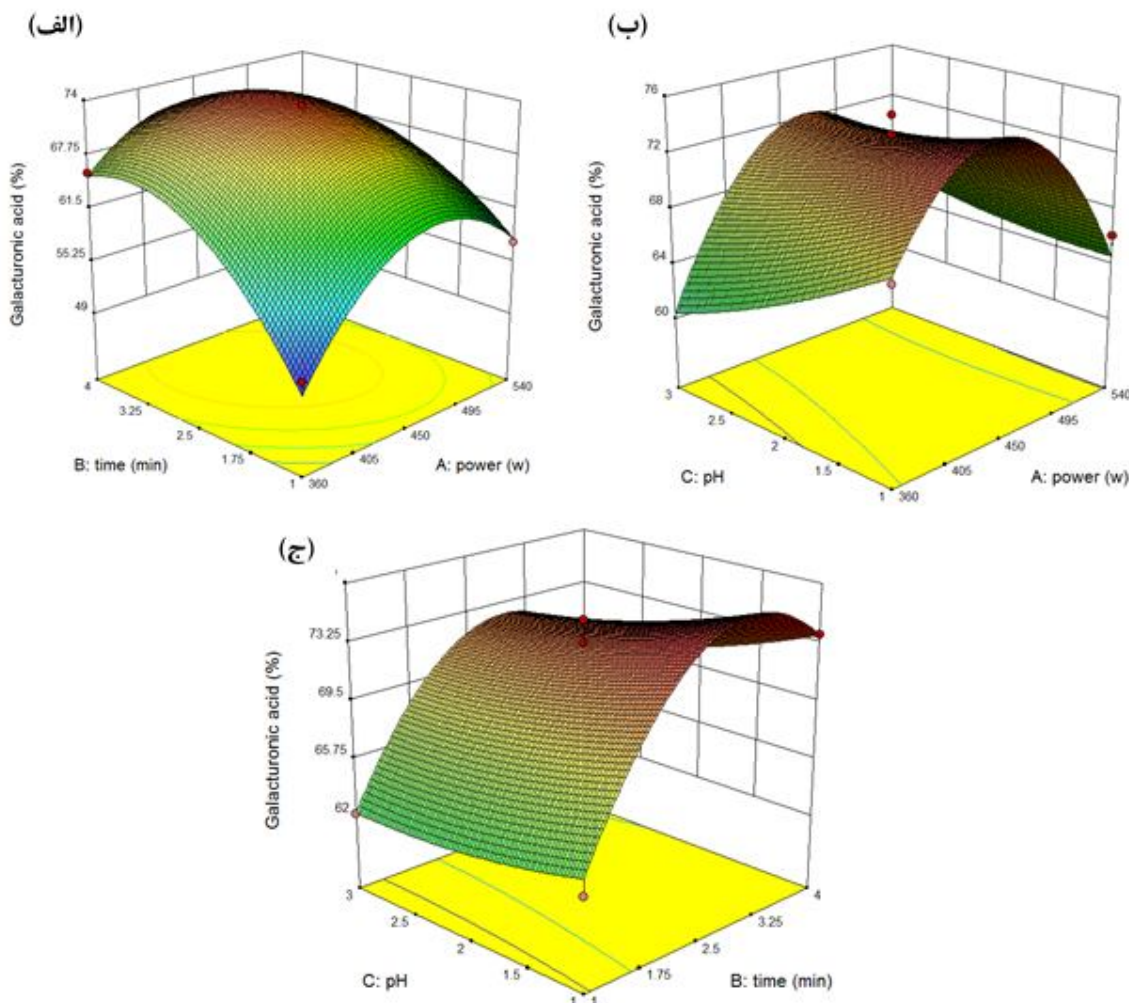
استخراج می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود درجه استریفیکاسیون با افزایش توان مایکروویو به‌طوری معنی‌داری کاهش می‌یابد که این احتمالاً مربوط به هیدرولیز شدن پیوندهای استری در اثر افزایش توان و دما می‌باشد (Hosseini et al., 2016). هم‌راستا با نتایج مطالعه

این نتیجه در گزارشات بسیاری از محققین دیگر مشاهده شده است که به بررسی اثر فاکتورهای مختلف بر درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی از گریپ فروت و چغندر قند پرداختند (Bagherian et al., 2011). توان مایکروویو یکی دیگر از فاکتورهای موثر روی راندمان

اثر شرایط استخراج بر درصد گالاکتورونیک اسید
با توجه به اینکه گالاکتورونیک اسید ترکیب اصلی پکتین است میزان آن نشان‌دهنده درجه خلوص پکتین استخراجی است. همه انواع پکتین با محتوای بالای گالاکتورونیک اسید توصیف می‌شوند و با توجه به نظر سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) و اتحادیه اروپا (EU) پکتین مورد استفاده به‌عنوان افزودنی غذایی و با به هدف دارویی باید حداقل 65 درصد گالاکتورونیک اسید داشته باشد (Bagherian *et al.*, 2011).

حاضر، کاظمی و همکاران (2019) نیز عنوان نمودند که با افزایش توان مایکروویو، درجه استریفیکاسیون پکتین استخراج شده از پوست سبز پسته کاهش یافته است.

به‌طور کلی پکتین به‌دست آمده از آزمایشاتی که در آن‌ها از شرایط بسیار سخت (توان بالا، زمان طولانی و pH بسیار پایین) برای استخراج استفاده شده است دارای درجه استریفیکاسیون پایین‌تری می‌باشند، زیرا شرایط سخت استخراج سبب افزایش استرزدایی زنجیره‌های پکتین می‌شود (Mort *et al.*, 1993).



شکل 3- اثر متغیرهای مستقل توان/ زمان (الف)، توان/ pH (ب) و زمان/ pH (ج) بر میزان گالاکتورونیک اسید پکتین پوست بادنجان

رفته برای استخراج پکتین پوست بادنجان میزان گالاکتورونیک اسید بیشتر از حد توصیه شده دارند. همچنین این مقدار مشابه با میزان گالاکتورونیک اسید گزارش شده برای پکتین استخراجی از پوست بادنجان به روش اولتراسوند (66/08 گرم در 100 گرم) بود (Kazemi *et al.*, 2019). در تحقیقی که توسط ناطقی و انصاری (1396) انجام

میزان گالاکتورونیک اسید در این پژوهش بین 51/3 و 74/7 درصد متغیر بوده است (جدول 1). با در نظر گرفتن آنکه بالاترین راندمان استخراج (17/16 درصد) مربوط به تیمار 10 می‌باشد، بیشترین میزان گالاکتورونیک اسید نیز مربوط به همین تیمار (توان 450 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1) بوده است. بر این اساس غالب تیمارهای به‌کار

موجب تسریع استخراج پکتین با بازدهی بالاتر و خلوص بالاتر (درصد) گالاتورونیک اسید بالاتر) می‌شود

اثر شرایط استخراج بر خصوصیات امولسیفایری

همانطور که در جدول 1 مشاهده می‌شود میزان فعالیت امولسیفایری پکتین در این پژوهش بین 1/87 و 21/64 درصد متغیر بوده است. به عبارت دیگر بیشترین فعالیت امولسیفایری مربوط نقطه مرکزی (توان 450 وات، زمان 2/5 دقیقه و pH برابر با 2) و کمترین آن مربوط به آزمایش شماره 1 (توان 360 وات، زمان 1 دقیقه و pH برابر با 2) بوده است. نتایج بررسی اثر شرایط استخراج روی میزان فعالیت امولسیفایری در شکل 4 نشان داده شده است. با افزایش توان تا 450 وات میزان این پارامترها افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش زمان پرتودهی تا حدود 3 دقیقه، میزان این پارامترها افزایش و سپس کاهش یافت. pH نیز رابطه عکس با میزان این پارامترها داشت. همانطور که در شکل مذکور نشان داده شده است در ابتدا افزایش توان و زمان مصرفی سبب افزایش فاکتور مذکور شده است که این می‌تواند به دلیل باز شدن ساختار پکتین و قرار گرفتن گروه‌های هیدروفوب در سطح می باشد که سبب افزایش فعالیت امولسیفایری شده است (Jafari et al., 2017). اما با ادامه در افزایش فاکتورهای مذکور میزان این پارامتر کاهش یافته است که این می‌تواند به دلیل تخریب ساختار پکتین به دلیل شرایط سخت استخراج باشد (Hosseini et al., 2016).

بهینه‌سازی

همانطور که در شکل 5 نشان داده شده است، شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج، میزان گالاتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری در توان 360 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1/0 بوده که راندمان استخراج در این شرایط برابر با 16/17، میزان گالاتورونیک اسید برابر با 70/81، میزان فعالیت امولسیفایری برابر با 2/68 درصد و درجه استریفیکاسیون برابر با 35/31 پیش‌بینی شده‌اند. آزمون تائیدی که شامل بررسی میزان این پارامترها در شرایط بهینه پیش‌بینی شده با سه تکرار بود، با توجه به نزدیک بودن میزان مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نشان از صحت میزان اعداد پیش‌بینی شده داشت.

پایداری امولسیون

یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های استفاده شده برای بهبود پایداری امولسیون‌های روغن در آب کاربرد امولسیفایرها است. پکتین نیز یکی از امولسیفایرهای مورد استفاده برای پایدار کردن امولسیون‌های روغن در آب می‌باشد. بنابراین در مطالعه حاضر پایداری امولسیون حاصل از روغن و محلول 0/5 درصدی پکتین استخراج شده در شرایط بهینه در دماهای 4 و 23 درجه سلسیوس به ترتیب بعد از 1

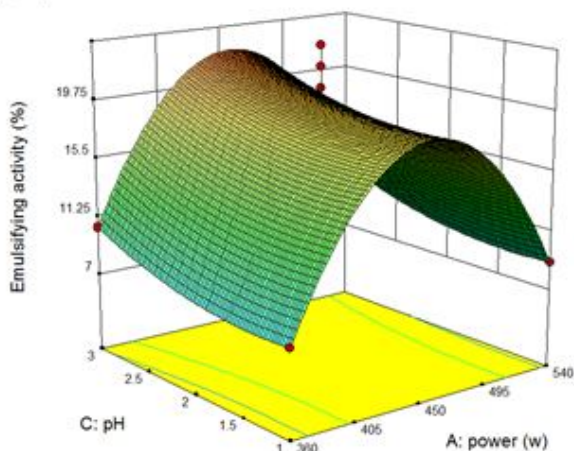
شد، میزان گالاتورونیک اسید پکتین استخراجی از کلاهدک بادنجان به روش مرسوم در حدود 27/9-39/84 درصد گزارش شد، که این مقدار پایین تر از میزان بدست آمده در تحقیق حاضر است. طبق گزارشات این محققین، در pH و زمان‌های متفاوت استخراج با افزایش دما از 75 به 90 درجه سانتی‌گراد و pH از 1/5 به 2/25 درصد گالاتورونیک اسید به شکل معنی‌داری افزایش یافت و زمان اثر معنی‌داری بر روی آن نداشت. این محققین یکی از دلایل افزایش خلوص (میزان) گالاتورونیک اسید در pH برابر 2/25 و دمای 90 درجه سانتی‌گراد راهیدرولیز اساسی قندهای خنثی پکتین در pH بیشتر از 2 و دماهای بالا عنوان کردند. همچنین کاهش خلوص پکتین در pH برابر 1/5 و دماهای بالاتر استخراج احتمالاً به دلیل هیدرولیز جزئی پکتین با وزن مولکولی بالا به زنجیره پکتینی با وزن مولکولی پایین در حضور اسیدی قوی بود که این مولکول‌ها ممکن است با افزایش الکل رسوب ندهند. در تحقیقی دیگر Yapo و همکاران (2007)، و Ma و همکاران (2013) درصد گالاتورونیک اسید پکتین استخراج شده از تفاله چغندر را به ترتیب در دامنه 3/76-2/35 درصد و 8/77-2/60 درصد گزارش کردند و بیان داشتند مهمترین عامل بر میزان گالاتورونیک اسید، نوع اسید و pH بوده، به طوری که با کاهش pH و قویتر شدن اسید مورد استفاده درصد گالاتورونیک اسید افزایش می‌یابد. در نتیجه می‌توان بیان داشت که پکتین استخراج شده از پوست بادنجان در شرایط بهینه، دارای خلوص مطلوبی می باشد.

شکل 3 تاثیر شرایط استخراج به کمک مایکروویو را بر روی محتوای گالاتورونیک اسید نشان می‌دهد. افزایش توان تا 450 وات محتوای گالاتورونیک اسید پکتین افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش زمان پرتودهی تا حدود 3 دقیقه نیز میزان این پارامتر افزایش و پس از آن کاهش یافت. pH نیز رابطه عکس با میزان این پارامترها داشت. با توجه به شکل مذکور می‌توان بیان داشت که با افزایش توان و زمان مصرفی تا حدی و همچنین کاهش pH میزان گالاتورونیک اسید افزایش یافته است که این احتمالاً مربوط به افزایش راندمان تولید پکتین بوده که رابطه مستقیمی با میزان گالاتورونیک اسید داشته است. همچنین با ادامه افزایش در توان و زمان مصرفی میزان گالاتورونیک اسید کاهش یافته است که این می‌تواند مربوط به تخریب ساختار پکتین به دلیل افزایش توان و زمان مصرفی بوده است که منجر به کاهش میزان این فاکتور شده است. حسینی و همکاران (2016) و باقریان و همکاران (2011) در تحقیقی اثر شرایط استخراج به کمک مایکروویو را روی میزان گالاتورونیک اسید پکتین پوست نارنج و گریپ فروت مورد بررسی قرار دادند که به نتایج مشابهی دست یافتند. در کل بنا بر نتایج تحقیق حاضر استفاده از روش مایکروویو

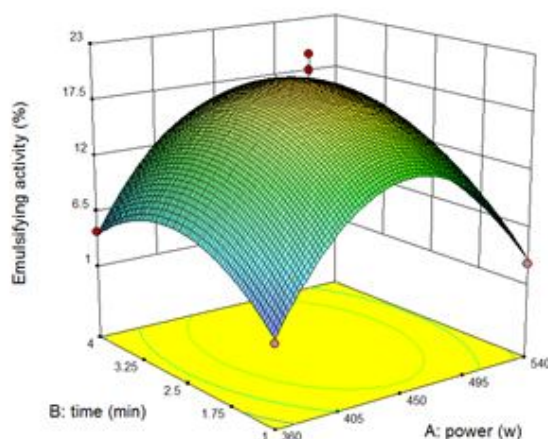
قطرات امولسیون و کاهش پایداری می‌گردد. این نتایج مشابه گزارشات Yapo و همکاران (2007) می‌باشد که به بررسی خصوصیات امولسیونی پکتین استخراج شده از چغندر قند پرداختند. به علاوه همانطور که نتایج نشان می‌دهند در طی یک ماه نگهداری نیز پایداری امولسیون‌ها تقریباً ثابت مانده است.

روز برابر با 77/8 و 66/7 درصد، و بعد از 30 روز برابر با 77/6 و 66/1 درصد بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان داشت که پایداری امولسیون‌ها در هر دو دمای مورد آزمایش مطلوب بوده، اما امولسیون‌ها در دمای 4 درجه سلسیوس مقداری پایدارترند. به نظر می‌رسد که در دماهای بالاتر، حرکات براونی بیشتری در بین قطرات امولسیون برقرار می‌گردد که این پدیده موجب افزایش بهم پیوستگی

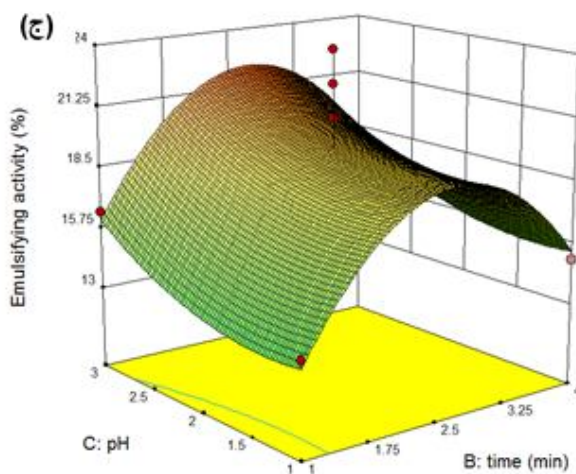
(الف)



(ب)



(ج)



شکل 4- اثر متغیرهای مستقل توان / زمان (الف)، توان / pH (ب) و زمان / pH (ج) بر میزان فعالیت امولسیفایری پکتین پوست بادنجان

50 دور بر دقیقه به ترتیب برابر با 1/59، 2/6 و 4/55 سانتی پواز می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش غلظت، میزان ویسکوزیته محلول‌ها نیز افزایش یافته است. شاخص‌های (اندیس جریان و ضریب قوام) حاصل از برازش داده‌های اندازه‌گیری ویسکوزیته بر مدل‌های مختلف رئولوژیکی (نیوتنی و توان) برای پکتین حاصل از

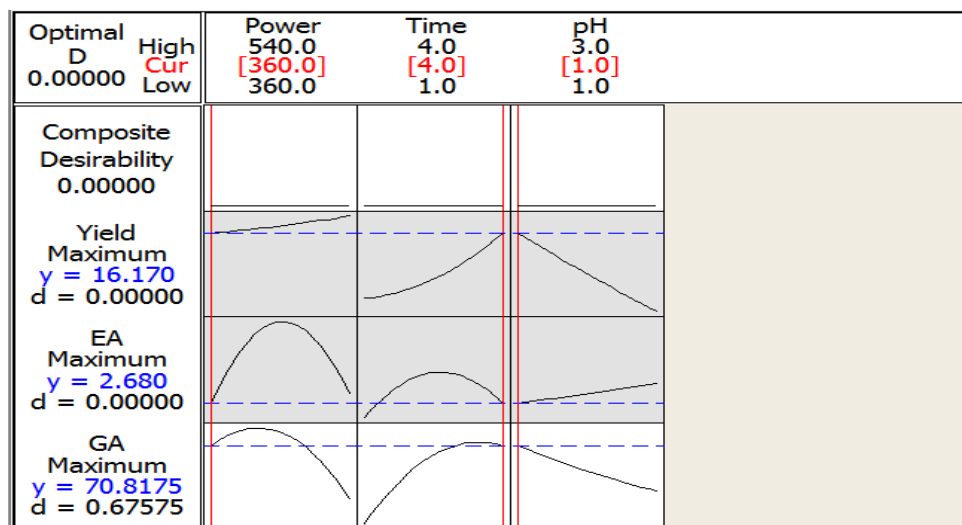
ویسکوزیته

رفتار جریان پکتین استخراج شده در شرایط بهینه در غلظت‌های 0/1، 0/2 و 1 و 2 درصد در نرخ‌های برش مختلف در شکل 6 نشان داده شده است که بیانگر وجود رفتار نیوتنی برای پکتین استخراج شده می‌باشد. میزان ویسکوزیته محلول‌های مختلف پکتین استخراجی در شرایط بهینه در غلظت‌های 0/1، 0/2، 1 و 2% وزنی - حجمی در سرعت

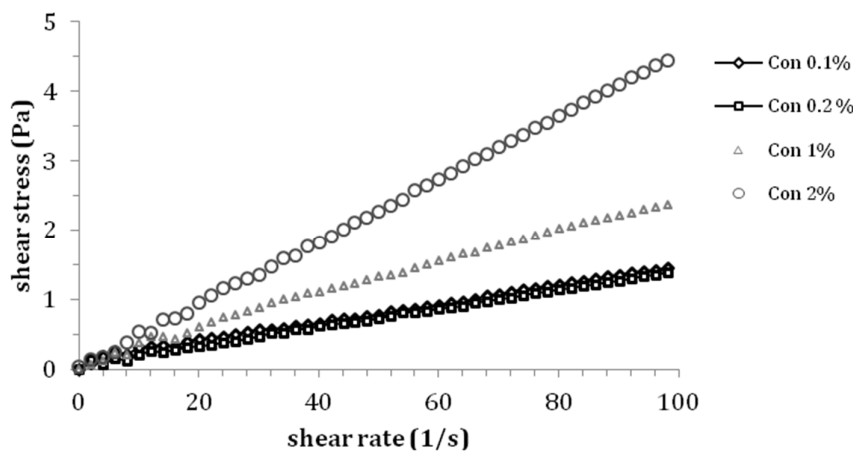
هویج در غلظت 1 درصد حجمی/ وزنی رفتار رقیق‌شونده با برش (سودوپلاستیک) داشته است. در تحقیقی دیگر حسینی و همکاران (2016) اعلام داشتند پکتین استخراجی از پوست نارنج در غلظت‌های کم‌تر از 1 درصد حجمی/ وزنی رفتار نیوتنی داشته است و با افزایش غلظت پکتین رفتار رقیق‌شونده با برش (سودوپلاستیک) غالب گردیده است. ناطقی و انصاری (1396) نیز در رابطه با پکتین استخراجی از کلاهدک بادنجان به کمک حرارت‌دهی در آون در شرایط اسیدی به نتایج مشابهی در زمینه ویسکوزیته دست یافتند (ناطق و انصاری، 1396).

پوست بادنجان در شرایط بهینه استخراج در جدول 4 نشان داده شده است. همانطور که در این جدول مشخص است.

محققین رفتار معمول و رایج برای محلول پکتینی را رفتار رقیق‌شونده با برش¹ دانسته‌اند و این مساله را به جهت‌گیری زنجیره‌های زنجیره‌های پلیمری آن در جهت جریان مرتبط می‌دانند، بنابراین این ماده مقاومت کمتری نسبت به جریان دارد. همچنین در مطالعات مختلف بیان شده که ویسکوزیته پکتین به غلظت گالاکتورونیک اسید در آن نیز، وابسته بوده و با افزایش غلظت آن، ویسکوزیته ایجاد شده توسط پکتین نیز افزایش می‌یابد (Panouille *et al.*, 2006). جعفری و همکاران (2017) نیز گزارش کردند پکتین استخراج شده از تفاله



شکل 5- شرایط بهینه برای راندمان استخراج، میزان گالاکتورونیک اسید و فعالیت امولسیفایری پکتین استخراجی از پوست بادنجان



شکل 6- تنش برشی در برابر نرخ برش محلول‌های پکتین در غلظت‌های مختلف

1 Shear thinning

جدول 4- شاخص‌های حاصل از برازش داده‌های اندازه‌گیری ویسکوزیته بر مدل‌های مختلف رئولوژیکی برای پکتین حاصل از پوست بادنجان در شرایط بهینه استخراج*.

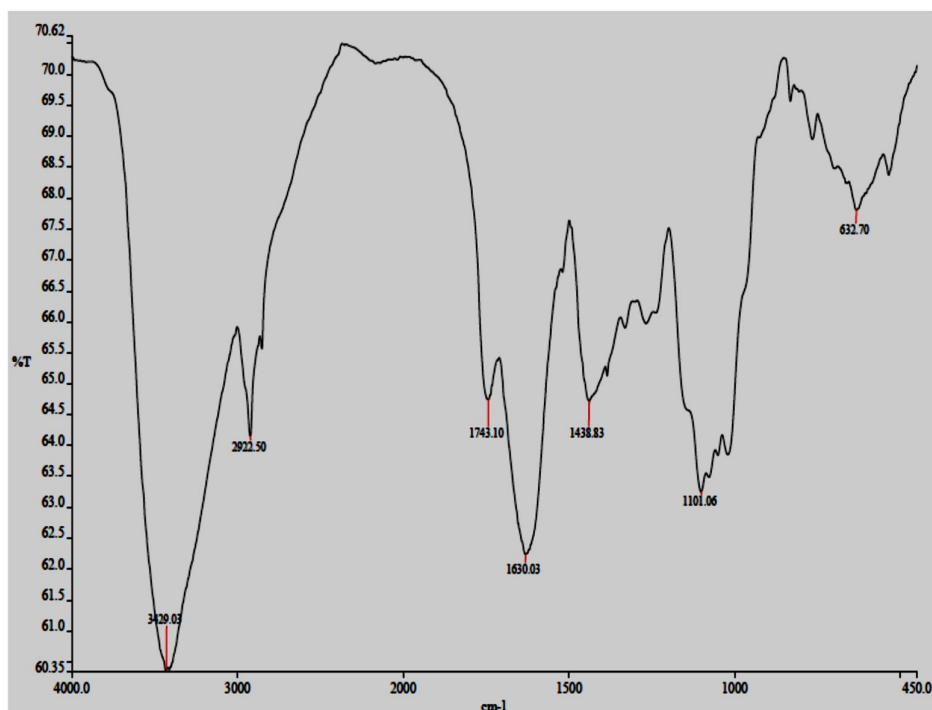
غلظت (w/v%)	مدل	N	k (Pa s ⁿ)	R ² (%)
0/1	نیوتنی	1	0/013	99/4
	توان	0/96	0/015	98/1
0/2	نیوتنی	1	0/013	99/7
	توان	0/99	0/017	99/2
1/0	نیوتنی	1	0/023	99/5
	توان	0/98	0/042	99/1
2/0	نیوتنی	1	0/045	99/9
	توان	0/95	0/054	99/3

*N برابر اندیس رفتار جریان، k برابر شاخص قوام و R² برابر ضریب تبیین در معادله قانون توان می‌باشند.

گروه‌های CH₃ و CH₂، CH₃ است (Santos *et al.*, 2013). به همین ترتیب، پیک 1743 مربوط به ارتعاشات O-CH₃ می‌باشد. گروه‌های کربوکسیلات دارای دو پیک هستند: (1) ارتعاشات کششی نامقارن در 1630 بر سانتی‌متر، (2) ارتعاشات کششی متقارن ضعیف‌تر در 1438 بر سانتی‌متر. به طور کلی به مجموع پیک‌های ناحیه بین 1200 و 800 منطقه اثر انگشت گویند که یک ناحیه منحصر به فرد بوده (Hosseini *et al.*, 2016) و تفسیر باندهای آن عموماً دشوار است.

بررسی طیف FTIR

یکی از راه‌های شناسایی ساختار پکتین استفاده از طیف FTIR است. طیف حاصل از اسپکتروسکوپی مادون قرمز فوری به مربوط به نمونه پکتین استخراجی از پوست بادنجان در شرایط بهینه در شکل 7 نشان داده شده است. ناحیه جذبی قوی بین 3300-3500 بر سانتی‌متر مربوط به گروه‌های OH موجود در قسمت‌های مختلف ساختار پلیمر گالاکتورونیک اسید است. پیک موجود در عدد موجی 2922 بر سانتی‌متر مربوط به ارتعاشات C-H می‌باشد که شامل ارتعاشات خمشی و کششی



شکل 7- طیف FTIR پکتین حاصل از پوست بادنجان در شرایط استخراج بهینه

نتیجه‌گیری

بهینه پیش بینی شده با سه تکرار بوده است نشان داد که راندمان استخراج در این شرایط برابر $0/23 \pm 16/08$ ، درجه اسرئیفیکاسیون برابر با $0/30 \pm 35/10$ ، میزان گالاتکتورنیک اسید برابر با $0/50 \pm 70/29$ درصد و میزان فعالیت امولسیفایری برابر با $0/12 \pm 2/40$ درصد بوده اند. بنابراین نزدیک بودن میزان مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده نشان از صحت میزان اعداد پیش‌بینی شده دارد. پکتین استخراج در شرایط بهینه خاصیت افزایش ویسکوزیته را دارا بوده و همچنین خصوصیات پایداری امولسیون خوبی را از خود نشان داد. در کل این مطالعه نشان داد که می‌توان از روش مایکروویو به‌عنوان یک روش نوین و با کارایی بالا برای استخراج پکتین از ضایعات مواد غذایی استفاده نمود.

در این پژوهش از روش استخراج به کمک امواج مایکروویو برای تولید پکتین از پوست بادنجان به‌عنوان یک منبع جدید استفاده شد. سپس خصوصیات فیزیکیوشیمیایی و کاربردی پکتین استخراجی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج، درجه اسرئیفیکاسیون، میزان گالاتکتورنیک اسید و فعالیت امولسیفایری در توان 360 وات، زمان 4 دقیقه و pH برابر با 1/0 بوده که راندمان استخراج در این شرایط برابر با 16/17، درجه اسرئیفیکاسیون برابر با 35/31، میزان گالاتکتورنیک اسید برابر با 70/81 و میزان فعالیت امولسیفایری برابر با 2/68 درصد پیش‌بینی شده اند. آزمون تأییدیه، که شامل بررسی میزان این پارامترها در شرایط

منابع

- ابراهیم‌پور، ن.، پیغمبردوست، س. ه. و آزاد مرد دمیرچی، ص.، 1389، تاثیر افزودن پکتین، گوار و کاراگینان بر روی ویژگی‌های کیفی نان حجیم بدون گلوتن، مجله پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد 3، شماره 2، ص 86-98.
- انتشارات مرکز گمرک ایران، 1373، آمارنامه‌ی واردات و صادرات ایران، مرکز گمرک ایران، تهران.
- ناطق، ل. و انصاری، س.، 1396، استخراج و بررسی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی پکتین استخراجی از ضایعات کلاهدک بادنجان، فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، دوره 5، شماره 2.
- Anonymous. 19 February 2019. Pectin – A global market overview [press release]. Available at: <http://www.industry-experts.com/verticals/food-and-beverage/pectin-a-global-market-overview>.
- Bagherian, H., Zokaee Ashtiani, F., Fouladitajar, A., & Mohtashamy, M., 2011, Comparisons between conventional, microwave-and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(11), 1237–1243.
- Dalev, P. G., & Simeonova, L. S., 1995, Emulsifying properties of protein-pectin complexes and their use in oil-containing foodstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68(2), 203-206.
- FAO, 2017. Statistical Database. Available from: <<http://www.fao.org>>. Retrieved 2019-04-03
- Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., & Yarmand, M. S., 2016b, Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 140, 59–65.
- Jafari, F., Khodaiyan, F., Kiani, H., & Hosseini, S. S., 2017, Pectin from carrot pomace: Optimization of extraction and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1315–1322.
- Kazemi, M., Khodaiyan, F., Labbafi, M., Hosseini, S. S., & Hojjati, M., 2019, Pistachio green hull pectin: Optimization of microwave-assisted extraction and evaluation of its physicochemical, structural and functional properties. *Food Chemistry*, 271, 663-672.
- Kazemi, M., Khodaiyan, F., & Hosseini, S.S., 2019, Eggplant peel as a high potential source of high methylated pectin: Ultrasonic extraction optimization and characterization, *LWT - Food Science and Technology* (in press).
- Li, D., Jia, X., Wei, Z., & Liu, Z., 2012, Box-Behnken experimental design for investigation of microwave-assisted extracted sugar beet pulp pectin. *Carbohydrate Polymers*, 88(1), 342–346.
- Ma, S., Yu, S., Zheng, X., Wang, X., Bao, Q.D., & Guo, X., 2013, Extraction, characterization and spontaneous emulsifying properties of pectin from sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 750–3.
- Maran, J.P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R., 2013, Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel. *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 703–709.
- Mesbahi, G.; Jamalian, J., & Farahnaky, A., 2005, A comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in food systems. *Food Hydrocolloids*, 19(4), 731–738.
- Mort, A.J., Qiu, F., & Maness, N.O., 1993, Determination of the pattern of methyl esterification in pectin: distribution of contiguous non esterified residues. *Carbohydrate Research*, 247, 21–35.
- Panouillé, M., Thibault, J. F., & Bonnin, E., 2006, Cellulase and protease preparations can extract pectins from various plant byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(23), 8926-8935.
- Samavati, V., 2013, Polysaccharide extraction from *Abelmoschus esculentus*: Optimization by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 588–597.

- Santos, J. D. G., Espeleta, A. F., Branco, A., & de Assis, S. A., 2013, Aqueous extraction of pectin from sisal waste. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1997-2001.
- Wai, W.W., Alkarkhi, A.F.M., & Easa, A.M., 2009, Optimization of pectin extraction from durian rind (*Durio zibethinus*) using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 74(8), C637–C641.
- Wang, S., Chen, F., Wu, J., Wang, Z., Liao, X., & Hu, X., 2007, Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 693-700.
- Yan, M.M., Liu, W., Fu, Y.J., Zu, Y.G., Chen, C.Y., & Luo, M., 2010, Optimisation of the microwave-assisted extraction process for four main astragalosides in *Radix Astragali*. *Food Chemistry*, 119(4), 1663–1670.
- Yapo, B. M., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M., 2007, Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry*, 100(4), 1356-1364.
- Yeoh, S., Zhang, S., Shi, J., Langrish, T. A. G., 2008, A comparison of different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels. *Chemical Engineering Communications*, 195:5, 511-520,

Pectin extraction from eggplant peel using microwave and evaluation of its properties

S. Karamzadeh¹, S. Ansari^{2*}

Received: 2018.11.06

Accepted: 2019.05.15

Introduction: Pectin is a complex mixture of polysaccharides in the primary cell wall of plants which is a polymer of α -galacturonic acid, to which neutral sugar is connected to form aside chain. Pectin is a natural food additive used extensively in the food industry as thickener, texturizer, emulsifier, stabilizer and gelling agent. In 2018, the world market demand for pectin was in excess of 60,000 tons and Europe was estimated to have the largest market with 31,000 tons (valued about US\$420). In Iran, about one hundred tons of pectin is consumed annually in the food and pharmaceutical industries, all of which are supplied from abroad, and due to its price in the world market is of considerable magnitude. Therefore, the study of its production within the country could be of great importance. During processing and canning of eggplant, its cap and skin are discarded as waste which can be considered as a valuable ingredient in the food industry. The main objective of this study was to develop an MAE (Microwave assisted extraction) of pectin from eggplant peel and investigate the effect of process variables (microwave power, irradiation time and pH) and the response (extraction yield, degree of esterification, galacturonic acid content and emulsifying activity); and to obtain optimum conditions for maximum extraction yield of pectin from eggplant peel. The response surface methodology (RSM) using Box-Behnken design was employed in this study.

Material and methods: Eggplant peels were provided by Yek-o-Yek factory as an unwanted by-product. Then, the peels were divided into small pieces and dried in hot air oven at 65 °C until it attains constant weight. The peels were then grinded and passed through a 40-mesh sieve to obtain powdered sample. The independent variables examined were microwave power (360–450–540 W), irradiation time (1–2.5–4 min) and solution pH (1–2–3). MAE of pectin was performed in an ordinary household microwave oven with a total of 17 treatments according to RSM. About 5 g of dried eggplant peel powder was weighed and placed into a 250 ml beaker, 75 ml distilled water (the liquid-solid ratio 15:1 v/w) containing different pH values was added and exposed to microwave radiation at different powers for the selected irradiation times. After microwave heating, the mixture in the beaker was allowed to be cooled down and filtered using filter paper (Whatman no-1). The filtered extract was centrifuged and the supernatant was precipitated with an equal volume of 98% (v/v) ethanol. The coagulated pectin mass was washed with 98% (v/v) ethanol for two times and dried in oven at 60 °C until it attains constant weight. The pectin extraction yield was calculated by dividing the weight of dried pectin to the weight of dried eggplant peel powder. Galacturonic acid content of pectins was determined using the meta-hydroxydiphenyl method. The esterification degree of the pectins was determined by the titrimetric method with minor modifications. The emulsifying activity (EA) of the eggplant peel pectins were analyzed according to the method by Dalev & Simeonova (1995). Optimum extraction conditions to achieve maximum extraction efficiency, degree of esterification, galacturonic acid content and emulsifying activity were determined. Then, the stability of the oil-based emulsion prepared by mixing 0.5% w/w solution of pectin extracted in optimal conditions and corn oil, were examined at 4 and 23 °C. In addition, the behavior of pectin extracted under optimal conditions (at concentrations of 0.1, 0.2, 1 and 2%) and its spectra using a Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) were investigated.

Results and discussion: The results indicated that the extraction efficiency, esterification degree, the amount of galacturonic acid, and the emulsifying activity of the pectins extracted were 2.20- 17.16%, 20.20- 36.13%, 51.3- 74.7%, and 1.87- 21.64%, respectively. With increasing microwave power, irradiation time and decrease of solution pH the extraction efficiency of pectin extracted increased, while esterification degree decreased. The amount of galacturonic acid and emulsifying activity showed an upward trend up to microwave power of 450 watts and the irradiation time of 3 minutes after which demonstrated a downward trend. The optimum conditions for reach to the maximum extraction yield, galacturonic acid content and emulsifying activity were in microwave power of 360 W, irradiation time of 4 min and pH of 1 that at these conditions, the extraction yield of 16.17, galacturonic acid content of 70.81 and emulsifying activity of 2.68 were predicted. Also, these observations indicated that with increase in concentration, the flow behavior of pectin

1 and 2. M.Sc. Graduated student and Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Branch of Kazerun, Kazerun.

(*Corresponding Author Email: ansari.fse@gmail.com or ansari@kau.ac.ir)

solutions was changed from Newtonian to pseudo-plastic. In addition the stability of pectin-stabilized emulsion at 4°C was more than 23°C. In general, this study showed that the microwave method could be used as a novel and high-performance method for extracting pectin from eggplant peel.

Keywords: Pectin, Eggplant peel, Optimization, Physicochemical properties.