

اثر شرایط استخراج اسیدی بر بازده و ویژگی‌های کیفی پکتین حاصل از پوست نارنج

سیدسعید حسینی^۱، فرامرز خدائیان^{۲*}، محمد سعید یارمند^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲ و ۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۵/۶)

چکیده

نارنج از جمله محصولات بومی ایران است که به فراوانی در صنعت غذا، دارو و مواد آرایشی-بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پوست این میوه منبع غنی از پکتین است و عموماً بعنوان ضایعات دور ریخته می‌شود. در این مطالعه، از روش سطح پاسخ و طرح باکس-بنکن، برای بهینه‌سازی و بررسی اثر متغیرهای مستقل (دما، زمان و pH) بر بازده تولید پکتین و درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی استفاده شد. سپس درصد گالاکتورونیک اسید، خواص امولسیفایری، ویسکوزیته و طیف $FT-IR$ پکتین حاصل از شرایط بهینه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، بازده استخراج و درجه استریفیکاسیون پکتین حاصل از شرایط مختلف استخراج، به ترتیب در دامنه ۲۷/۵-۵ و ۶/۶-۴۶/۵ درصد متغیر است. بالاترین بازده پکتین در دما $95^{\circ}C$ ، زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر با ۱/۵، ۲۸/۷۸ درصد پیش بینی شد که از طریق آزمایشات اعتبارسنجی، تأیید گردید. پکتین استخراجی در شرایط بهینه استخراج دارای درجه استریفیکاسیون ۲۴/۶ درصد، بازده گالاکتورونیک اسید ۷۵/۵ درصد، فعالیت امولسیفایری برابر با ۴۵/۶ درصد و پایداری امولسیون مناسب بوده و همچنین محلول آن در غلظت‌های پایین (کمتر و مساوی ۱ درصد حجمی/وزنی) دارای رفتار نیوتنی است، اما با افزایش غلظت از نیوتنی به سودوپلاستیک تغییر رفتار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پکتین، پوست نارنج، درجه استریفیکاسیون، امولسیون، ویسکوزیته

مقدمه

پکتین به عنوان مخلوط پیچیده‌ای از پلی‌ساکاریدها است که در دیواره سلولی اولیه و حد واسط بین سلول‌های بافت گیاهی قرار دارد و در حدود یک سوم دیواره سلولی اکثر گیاهان را تشکیل می‌دهد (Bagherian et al., 2011; Maran et al., 2014). ترکیب اصلی پکتین، ستونی از گالاکتورونیک اسید با پیوند آلفا ۱ به ۴ می‌باشد، که قندهای خنثی بصورت زنجیره فرعی به آن متصل هستند. بعضی از این گالاکتورونیک اسیدها به وسیله کربن شماره ۶ با متیل و برخی دیگر به وسیله اکسیژن شماره ۲ و ۳ با استیل، استری شده‌اند (Li et al., 2012; Ma et al., 2013; Santos et al., 2013). پکتین دارای حداقل ۸ نوع مختلف از پلی‌ساکاریدها از قبیل هموگالاکتورونان، رامنوگالاکتورونان نوع ۱ و ۲ و مقدار کمتری زیگوگالاکتورونان می‌باشد. هموگالاکتورونان عمومی‌ترین نوع پکتین بوده که حدود ۵۰ تا ۹۰ درصد کل پکتین را تشکیل می‌دهد (Basanta et al., 2012). از جمله مهمترین خصوصیات فیزیکیوشیمیایی پکتین، درجه استریفیکاسیون (DE) آن بوده، که بنا به تعریف

نشانهگر تعداد مول‌های متانول به ازای ۱۰۰ مول گالاکتورونیک اسید است (Santos et al., 2013). پکتین بر اساس درجه استریفیکاسیون، به دو دسته پکتین با درجه استری بالا (بالای ۵۰ درصد) و پکتین با درجه استری پایین (کمتر از ۵۰ درصد) تقسیم می‌شود (Liu et al., 2010). پکتین با درجه استری بالا و پایین دارای ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی مختلفی بوده، در نتیجه دارای کاربرد متفاوتی می‌باشند. پکتین با درجه استری بالا، در سیستم اسیدی با pH ۲ تا ۳/۵ و در حضور غلظت بالای شکر یا سوربیتول (۵۵ تا ۷۵ درصد) ایجاد ژل می‌کند. در حالیکه، ایجاد ژل در پکتین با درجه استری پایین، بدون حضور شکر و یا حضور مقدار جزئی شکر و در محدوده وسیعی از pH (۲ تا ۶) امکان‌پذیر است، اما حضور یون‌های دو ظرفیتی، مثل کلسیم برای این منظور، ضروری است (Chan & Choo, 2013). پکتین بعنوان یک افزودنی طبیعی، به طور گسترده در صنعت غذا به عنوان ثبات‌دهنده، بافت‌دهنده، امولسیفایر، پایدارکننده و ژل‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد، و همچنین کاربردهای دیگری نیز بعنوان جایگزین چربی در پوشش‌های سالاد، بستنی و محصولات گوشتی امولسیفای شده، دارد (Maran et al., 2013). پکتین همچنین در صنعت داروسازی، به منظور کاهش

* نویسنده مسئول: khodaiyan@ut.ac.ir

(pH=۱/۵) را در حدود ۱۵ درصد گزارش کردند. به هر حال استفاده از اسیدهای معدنی نه تنها هزینه را افزایش می‌دهد، بلکه مشکلات زیست محیطی را نیز به دنبال دارد. بنابراین استفاده از یک اسید آلی با بازده تولید مناسب می‌تواند سبب کاهش هزینه و مشکلات زیست محیطی شود (Canteri- Schemin *et al.*, 2005). در روش اسیدی پارامترهای زیادی بر استخراج پکتین موثر است. دمای استخراج، زمان، pH و نسبت مایع به ماده خشک اولیه از آن جمله است (Chen *et al.*, 2014; Wai *et al.*, 2009). بنابراین، بهینه‌سازی اثر این فاکتورها بر استخراج پکتین با کمترین هزینه امری ضروری است (Samavati & Manoochehrizade, 2013). یکی از روش‌های بهینه‌سازی استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) است. در این روش با کمترین آزمایش‌ها و کمترین هزینه می‌توان به شرایط بهینه دست یافت. روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری و ریاضی است که برای طراح آزمایش‌ها، ساختن مدل، بررسی اثر متغیرهای مستقل بر پاسخ و پیش‌بینی و بهینه‌سازی اثر شرایط مختلف بر پاسخ بکار می‌رود (Khodaiyan *et al.*, 2008). بنابراین با توجه به موارد گفته شده و به منظور کاهش هزینه مصرفی، هدف از این تحقیق، بهینه‌سازی شرایط استخراج اسیدی پکتین از پوست نارنج با استفاده از روش سطح پاسخ جهت دستیابی به حداکثر بازده استخراج و همچنین بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پکتین استخراجی است.

مواد و روش‌ها

مواد

پوست نارنج از شهرستان فسا، استان فارس تهیه گردید. سیتریک‌اسید، هیدروکلریک‌اسید، سدیم‌هیدروکسید، اسیدسولفوریک، تترابورات سدیم و سدیم‌آزید از شرکت مرک آلمان و معرف متا هیدروکسی‌دی‌فنیل و گالاکتورونیک‌اسید از شرکت سیگما آمریکا خریداری شد. روغن آفتاب‌گردان از شرکت اوپلا ایران فراهم شد.

آماده‌سازی نمونه

پوست نارنج پس از برش با آب شستشو داده شد. مواد شسته شده در یک سینی از جنس استیل ضد زنگ در دمای ۵۰ °C به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک گردید. پوست‌های خشک شده با آسیاب پودر شد و به منظور جداسازی ذرات درشت و پودر نشده با مش شماره ۲۰ الک گردید. پودر بدست آمده در یک کیسه پلی‌اتیلنی سیاه و در محیط خشک برای انجام آزمایش‌های بعدی نگهداری شد.

کلسترول خون و تسکین درد (Liu *et al.*, 2010)، پیشگیری از بیماری‌های قلبی و سنگ صفرا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bagherian *et al.*, 2011). با توجه به خواص کاربردی و تغذیه‌ای پکتین مصرف آن رو به افزایش است (سالانه ۳۰۰۰ تن در جهان) و هر سال به میزان ۴-۵ درصد، مصرف آن افزایش می‌یابد. امروزه پکتین تجاری از پوست مرکبات، تفاله سیب و چغندر قند بدست می‌آید ولی محققین و تولیدکنندگان به دنبال منابع جدید بوده و هستند و مطالعات زیادی روی پکتین محصولات دیگر، نظیر پوست کاکائو (Chan and Choo, 2013)، پوست شاخه شاه‌توت (Liu *et al.*, 2010)، تفاله هلو (Pagan & Ibarz, 1999)، تفاله لوبیا، دانه آفتاب‌گردان، پوست درخت انبه (Santos *et al.*, 2013)، پوست هندوانه (Maran *et al.*, 2014)، پوست سویا (Kalapathy & Proctor, 2001)، کدو تنبل (Ptichkina *et al.*, 2008) و پوست موز (Qiu *et al.*, 2010) انجام داده‌اند.

نارنج با نام علمی *Citrus aurantium L.* از خانواده مرکبات است (Huang *et al.*, 1995). این گیاه بومی ایران به دلیل خواص دارویی فراوان خود مصرف بالایی دارد. در طب سنتی ایران، گل‌های این گیاه جهت درمان اختلالات عصبی نظیر هیستری، تشنج و ضعف اعصاب استفاده می‌شود. بعلاوه این گیاه بعنوان آرام‌بخش، خواب‌آور، اشتهاآور و برطرف کننده تپش قلب شناخته شده است (Mahmoodi *et al.*, 2005). پوست نارنج که اغلب بعنوان ضایعات دور ریخته می‌شود، منبع با ارزشی از پکتین است. بنابراین استفاده از آن برای تولید پکتین، نه تنها موجب تولید یک فراورده با ارزش از محصولات جانبی کارخانه‌های تولید آبمیوه می‌شود، بلکه مشکلات مربوط به دفع ضایعات را نیز کاهش می‌دهد. استفاده از محلول اسیدی برای استخراج پکتین از روش‌های سنتی و پرکاربرد تولید فراورده می‌باشد. این فرایند با استخراج به وسیله محلول حاوی اسیدهای معدنی شروع شده و بوسیله بازیافت رسوب با الکل ادامه می‌یابد (Ma *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2013). به طور کلی، از اسیدهای معدنی مختلفی چون سولفوریک، فسفریک، نیتریک و هیدروکلریک اسید برای استخراج پکتین از منابع مختلف استفاده می‌شود (Xu *et al.*, 2014). Mollea *et al.* (2007) پکتین را با استفاده از محلول اسیدی شده با هیدروکلریک اسید در pH ۲/۵ از پوست کاکائو استخراج کردند. این محققین راندمان تولید پکتین را برابر با ۹ درصد گزارش کردند. در تحقیقی دیگر Pagan *et al.* (2001) راندمان تولید پکتین استخراج شده از تفاله هلو با استفاده از نیتریک اسید

استخراج پکتین

(رابطه ۲)

$$۱۰۰ \times \frac{\text{حجم ثانویه}}{\text{حجم ثانویه} + \text{حجم اولیه}} = \text{درجه استریفیکاسیون (درصد)}$$

اندازه‌گیری محتوای گالاکتورونیک‌اسید

گالاکتورونیک‌اسید با روش کالریمتریک با استفاده از معرف ۵،۳- دی متیل فنیل اندازه‌گیری شد (Blumenkrantz & Asboe-Hansen, 1973). به لوله‌های آزمایش حاوی ۱ میلی‌لیتر محلول آبی پکتین با غلظت ۲۰۰ میکروگرم پکتین بر میلی‌لیتر، ۶ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک/تتراپورات (Blumenkrantz & Asboe-Hansen, 1973) اضافه شد. سپس لوله‌های آزمایش در حمام آب-یخ به منظور سرد شدن قرار گرفت. بعد از مخلوط کردن نمونه‌ها، لوله‌ها به مدت ۶ دقیقه در آب جوش قرار گرفتند. بعد از سرد شدن نمونه‌ها در حمام آب-یخ، ۱ میلی‌لیتر معرف به هر یک از لوله‌های آزمایش اضافه شده و به هم زده شدند، سپس حداکثر جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. با مقایسه مقدار جذب خوانده شده با منحنی استاندارد، مقدار گالاکتورونیک‌اسید محاسبه گردید. برای رسم منحنی استاندارد گالاکتورونیک‌اسید، از محلول D-گالاکتورونیک‌اسید در آب مقطر دیونیزه، رقت‌های مختلف تهیه شده (۲۵۰-۰ میکروگرم در میلی‌لیتر)، و جذب هر یک از آنها در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. سپس نمودار جذب در مقابل غلظت رسم گردید.

بررسی فعالیت امولسیفایری و ثبات امولسیون

برای تخمین فعالیت امولسیفایری و ثبات امولسیون از روش (Dalev & Simeonova, 1995)، با کمی تغییر استفاده شد. برای تهیه امولسیون ۵ میلی‌لیتر روغن آفتاب‌گردان به ۵ میلی‌لیتر محلول پکتین ۵ درصد حجمی/وزنی (شامل ۰/۲ درصد سدیم‌آزید بعنوان ضد باکتری) اضافه شد. در مرحله بعد، نمونه‌ها با هم‌وزن‌نایزر در دور ۱۰۰۰۰ g به مدت ۴ دقیقه مخلوط شدند. سپس، امولسیون‌ها در شرایط دور ۴۰۰۰ g به مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق سانتریفیوژ شدند. فعالیت امولسیفایری با توجه به رابطه زیر محاسبه گردید:

(رابطه ۳)

$$۱۰۰ \times \frac{\text{حجم لایه امولسین شده}}{\text{حجم کل نمونه}} = \text{فعالیت امولسیفایری (درصد)}$$

برای مطالعه ثبات امولسیون، نمونه‌های تولید شده، به مدت ۱ و ۳۰ روز در هر یک از دماهای ۲۳ °C و ۴ °C نگهداری شد. سپس این فاکتور با توجه به رابطه زیر محاسبه گردید:

به منظور استخراج پکتین از پوست نارنج مطابق با طرح اجرایی، فاکتورهای مختلف نظیر نسبت حجم مایع به وزن جامد (V/W)، دما، زمان و pH بکار گرفته شد. برای تنظیم pH از سیتریک‌اسید استفاده شد (Canteri-Schemin et al., 2005). محلول تهیه شده با pH و نسبت معین مایع به جامد (V/W) بر روی گرم‌کن مجهز به همزن مغناطیسی در دما و زمان مشخص قرار گرفت. پس از طی فرایند استخراج، ذرات معلق و ناخالصی‌های غیر قابل حل توسط سانتریفیوژ (g ۱۰۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه) جدا شدند. جهت جداسازی پکتین از محلول اسیدی، از الکل ۹۶٪ استفاده شد. الکل به نسبت یک به یک به محلول اسیدی اضافه شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴°C محلول نگهداری شد. پس از این مدت پکتین در محلول به صورت ابری دیده شد و با استفاده از سانتریفیوژ در g ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه، جدا شد و پس از دو مرتبه شستشو با الکل ۹۶ درصد، در آن با دمای ۵۰°C، حدوداً به مدت ۱۶ ساعت خشک گردید و بعد از دسیکاتور گذاری و رسیدن به وزن ثابت، بازده تولید پکتین با توجه به رابطه زیر محاسبه گردید (Santos et al., 2013; Maran et al., 2013):

(رابطه ۱)

$$۱۰۰ \times \frac{\text{وزن پکتین خالص (گرم)}}{\text{وزن پودر خشک اولیه (گرم)}} = \text{بازده استخراج (درصد)}$$

اندازه‌گیری درجه استریفیکاسیون (DE)

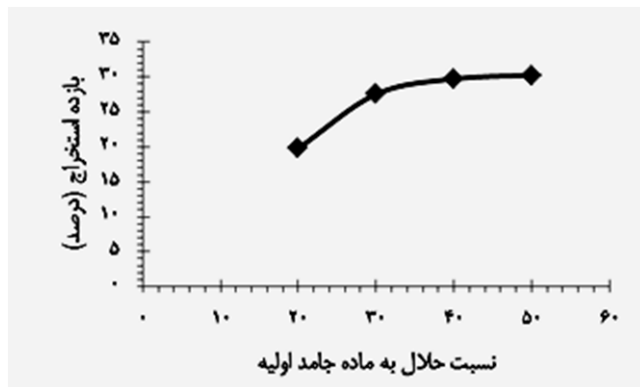
درجه استریفیکاسیون نمونه‌ها با روش Santos et al. (2013) با کمی تغییر اندازه‌گیری شد. ۰/۱ گرم پکتین خشک به داخل ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شده و سپس با ۳ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد مخلوط شد. در مرحله بعد، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شده و روی گرم‌کن مجهز به همزن مغناطیسی در دمای ۴۰°C تا زمان حل شدن کامل پکتین به هم زده شد. ۵ قطره فنل فتالئین به آن اضافه شده و با سدیم‌هیدروکسید ۰/۱ مولار تا ظهور رنگ صورتی کمرنگ تیترا گردید (حجم اولیه). سپس، ۱۰ میلی‌لیتر سدیم‌هیدروکسید ۰/۱ مولار اضافه کرده و به مدت ۱۵ دقیقه برای هیدرولیز بر روی همزن مغناطیسی به هم زده شد. در مرحله بعد، ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکلریک‌اسید ۰/۱ مولار اضافه شده و تا از بین رفتن کامل رنگ صورتی به هم زده شد و سپس هیدروکلریک‌اسید باقی مانده با سدیم‌هیدروکسید ۰/۱ مولار تا ظهور رنگ صورتی تیترا شد (حجم ثانویه). درجه استریفیکاسیون با توجه به رابطه زیر محاسبه گردید:

(رابطه ۴)

نتایج و بحث

اثر نسبت مایع به جامد بر استخراج پکتین

یکی از فاکتورهای مهم در استخراج پکتین نسبت مایع به جامد (V/W) است (Maran et al., 2013; Santos et al., 2013). برای این منظور اثر سطوح مختلف نسبت مایع به جامد (۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰) بر استخراج پکتین در شرایط ثابت دمای ۹۵ °C، زمان ۹۰ دقیقه و pH محلول استخراج برابر با ۱/۵ بررسی شد. شکل ۱ نشان می‌دهد، راندمان استخراج برای نسبت مایع به جامد ۳۰ به میزان ۷/۷۵ درصد بیشتر از شرایطی است که از نسبت مایع به جامد ۲۰ استفاده شد. بطور کلی، در غلظت‌های بالای ماده جامد در محلول استخراجی بدلیل برقراری تعادل دینامیکی بین ماده جامد و محلول میزان انتقال جرم کاهش می‌یابد (Maran et al., 2013). به همین دلیل زمانی که از نسبت ۲۰ استفاده می‌شود بازده تولید به مقدار زیادی کمتر از نسبت ۳۰ است. از طرفی با بیشتر شدن نسبت مایع به جامد (۴۰ و ۵۰) افزایش قابل توجهی در راندمان استخراج دیده نشد. افزایش راندمان استخراج پکتین در اثر افزایش نسبت مایع به جامد مربوط به نیروی محرکه‌ای است که در اثر اختلاف غلظت بین محلول و ماده جامد ایجاد می‌شود و این نیرو سبب انتقال پکتین از ماده خشک به محلول استخراج می‌گردد. اما با ادامه روند افزایش نسبت مایع به جامد شیب افزایش این نیرو محرکه انتقال جرم به دلیل برقراری تعادل بین ماده جامد و محلول کاهش یافته تا اینکه به مقدار ثابتی می‌رسد به همین دلیل با افزایش نسبت مایع به جامد از ۳۰ به ۴۰ و ۵۰ افزایش قابل توجهی در راندمان استخراج دیده نشد (Samavati & Yarmand, 2013). لذا در این تحقیق به دلیل مصرف کمتر الکل و اقتصادی بودن استخراج از نسبت مایع به جامد ۳۰ برای تمامی آزمایش‌ها در بخش بهینه‌سازی استفاده شد (Samavati & Manoochehrizade, 2013).



شکل ۱- تاثیر نسبت مایع به جامد بر بازده استخراج

$$100 \times \frac{\text{حجم لایه امولسیون باقی مانده}}{\text{حجم لایه امولسیون اولیه}} = \text{ثبات امولسیون (درصد)}$$

اندازه‌گیری ویسکوزیته

ویسکوزیته غلظت‌های مختلف پکتین (۰/۱، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد حجمی/ وزنی) به وسیله یک ویسکومتر چرخشی قابل برنامه ریزی (LVDV-II Pro, Brookfield Engineering Inc., USA) و با استفاده از اسپیندل LV در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. حدود ۲۵ میلی‌لیتر از هر نمونه به داخل استوانه ویسکومتر ریخته شد و نرخ برش از ۲/۰۱ تا ۹۸/۱۲ بر ثانیه با فاصله‌های ۳ ثانیه برنامه‌ریزی گردید. سپس نمودار ویسکوزیته در مقابل نرخ برش رسم شد.

طیف FT-IR

طیف FT-IR با دقت ۴ بر سانتی‌متر و بوسیله اسپکترومتر FT-IR پارکین المر (Perkin Elmer Co., MA, USA) با استفاده از روش دیسک پتاسیم برماید در دامنه ۴۰۰۰ تا ۴۵۰ بر سانتی-متر رسم گردید.

آنالیز آماری

جهت بررسی مناسب‌ترین نسبت حجم مایع به وزن جامد (V/W) از طرح یک فاکتور در یک زمان (One Factor at the Time) استفاده شد. در این طرح یک فاکتور متغیر در نظر گرفته می‌شود و سایر فاکتورها ثابت می‌باشند. برای این منظور از سطوح مختلف نسبت مایع به جامد (V/W) ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ استفاده شد و سایر فاکتورها ثابت (دمای ۹۵ °C، زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر با ۱/۵) در نظر گرفته شدند. جهت بهینه‌سازی اثر شرایط استخراج (دما، زمان و pH) از روش سطح پاسخ (RSM) و طرح باکس-بنکن (Box-Behnken) استفاده شد. سطوح و مقادیر واقعی هریک از متغیرهای مستقل، در جدول ۱ آمده است. آنالیز داده در سطح اطمینان ۵ درصد و با استفاده از نرم افزار Minitab 16 انجام شد. تمام اشکال با استفاده از Excel و Design-Expert 7.0 ترسیم شدند.

جدول ۱- سطوح و مقادیر متغیرهای مستقل

کد و مقادیر واقعی متغیرها			متغیرها	
-1	0	+1		
۳۰	۶۰	۹۰	(X ₁)	زمان (دقیقه)
۷۵	۸۵	۹۵	(X ₂)	دما (درجه سلسیوس)
۱/۵	۲/۲۵	۳	(X ₃)	pH

بهینه‌سازی

طرح باکس- بنکن استفاده شد. نتایج تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده مربوط به هر ۳ متغیر مطابق با ماتریس طرح در جدول ۲ نشان داده شده است.

به منظور بهینه‌سازی شرایط استخراج (pH ، زمان و دما) بر بازده پکتین استخراجی از پوست نارنج و درجه استریفیکاسیون آن از

جدول ۲- سطوح متغیرها (pH ، زمان و دمای استخراج) و پاسخ‌های مربوط به بازده استخراج و درجه استریفیکاسیون

پاسخ‌های پیش‌بینی شده		پاسخ‌های اندازه‌گیری شده		متغیرهای مستقل			تیمارها
درجه استریفیکاسیون (درصد)	بازده تولید (درصد)	درجه استریفیکاسیون (درصد)	بازده تولید (درصد)	pH	دما (درجه سلسیوس)	زمان (دقیقه)	
۲۰/۱۸۷	۷/۵۱۳	۲۰/۰	۹/۰	۲/۲۵	۷۵	۳۰	۱
۱۳/۹۸۸	۱۰/۲۸۸	۱۴/۹	۱۰/۸	۲/۲۵	۷۵	۹۰	۲
۱۹/۹۱۲	۱۲/۲۱۳	۱۹/۰	۱۱/۷	۲/۲۵	۹۵	۳۰	۳
۲۷/۶۱۲	۱۲/۶۸۸	۲۷/۸	۱۱/۲	۲/۲۵	۹۵	۹۰	۴
۹/۷۱۳	۲۰/۲۷۵	۸/۶	۲۰/۰	۱/۵۰	۸۵	۳۰	۵
۹/۷۱۳	۲۴/۰۰۰	۷/۵	۲۴/۷	۱/۵۰	۸۵	۹۰	۶
۴۱/۷۸۷	۵/۷۰۰	۴۴/۰	۵/۰	۳/۰۰	۸۵	۳۰	۷
۴۳/۲۸۷	۵/۲۲۵	۴۴/۴	۵/۵	۳/۰۰	۸۵	۹۰	۸
۵/۳۰۰	۱۸/۷۱۲	۶/۶	۱۷/۵	۱/۵۰	۷۵	۶۰	۹
۱۰/۸۷۵	۲۶/۷۱۲	۱۲/۹	۲۷/۵	۱/۵۰	۹۵	۶۰	۱۰
۳۷/۰۲۵	۶/۴۸۸	۳۵/۰	۵/۷	۳/۰۰	۷۵	۶۰	۱۱
۴۴/۸۰۰	۵/۵۸۸	۴۳/۵	۶/۸	۳/۰۰	۹۵	۶۰	۱۲
۴۴/۷۳۳	۸/۵۳۳	۴۶/۵	۹/۰	۲/۲۵	۸۵	۶۰	۱۳
۴۴/۷۳۳	۸/۵۳۳	۴۴/۰	۸/۶	۲/۲۵	۸۵	۶۰	۱۴
۴۴/۷۳۳	۸/۵۳۳	۴۳/۷	۸/۰	۲/۲۵	۸۵	۶۰	۱۵

بین متغیرها می‌باشند، در زیر آمده است:

(رابطه ۵)

$$\begin{aligned} & ۱/۷۷۵۰X_۲ + ۰/۸۱۲۵X_۱ + ۸/۵۳۳۳ = \text{بازده استخراج (درصد)} \\ & - ۸/۳۳۷۵X_۲ + ۰/۷۸۳۳X_۱^۲ + ۱/۳۵۸۳X_۲^۲ + ۴/۴۸۳۳X_۲^۳ - \\ & ۰/۵۷۵۰X_۱X_۲ - ۱/۰۵۰۰X_۱X_۳ - ۲/۲۲۵۰X_۲X_۳ \end{aligned}$$

(رابطه ۶)

$$\begin{aligned} & ۴۴/۷۳۳۳ + ۰/۳۷۵۰X_۱ + ۳/۳۳۷۵X_۲ + ۱۶/۴۱۲۵X_۳ - ۱۱/۳۴۱۷X_۱^۲ - ۱۲/۹۶۶۷X_۲^۲ - \\ & ۷/۲۶۶۷X_۳^۲ + ۳/۴۷۵۰X_۱X_۲ + ۰/۳۷۵۰X_۱X_۳ + ۰/۵۵۰۰X_۲X_۳ \end{aligned}$$

بازده استخراج

جدول ۲، نشان می‌دهد که بازده تولید پکتین در دامنه ۲۷/۵-۵ درصد متغیر است. کمترین استخراج مربوط به شرایط آزمایش شماره ۷ و بالاترین استخراج مربوط به شرایط آزمایش شماره ۱۰ است. آنالیز داده‌ها و حل معادله مربوط به بازده استخراج نشان داد که بالاترین بازده به میزان ۲۸/۷۸ درصد در در دمای ۹۵ °C، زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر با ۱/۵ حاصل می‌شود. جهت تأیید پیش‌بینی مدل، سه واحد آزمایشی تحت شرایط بهینه

نتایج آنالیز واریانس ($ANOVA$) در جدول ۳ نشان می‌دهد

که مدل مرتبه ۲ برای بازده استخراج پکتین و درجه استریفیکاسیون از لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده ($P < ۰/۰۵$) و همچنین مدل چند جمله‌ای درجه ۲ به خوبی با داده‌های تجربی برازش می‌شود، زیرا آزمون عدم برازش برای هر دو پارامتر بازده استخراج و درجه استریفیکاسیون بی‌معنی بوده و به ترتیب برابر با ۰/۰۷۰ و ۰/۲۲۵ می‌باشد، و تنها ۱/۵۴ و ۰/۸۸ درصد داده‌ها قابل توصیف با مدل‌های پیشنهادی نمی‌باشند (میزان R^2 به ترتیب برابر با ۹۸/۴۶ و ۹۹/۱۲ درصد). همچنین مقدار ضریب تبیین تعدیل- شده برای دو پارامتر بازده استخراج و درجه استریفیکاسیون (به ترتیب برابر با ۹۵/۷۰ و ۹۷/۵۵ درصد) بالا بوده که نشان دهنده تأیید برازش خوب مدل است. این موضوع نشان می‌دهد که معادله درجه ۲ برای پیش‌بینی اثر سه متغیر مستقل کفایت می‌کند و نیاز به معادلات با درجه بالاتر نیست. معادلات درجه دو مربوط به بازده استخراج و درجه استریفیکاسیون، که نوعی روابط ریاضی جهت دستیابی به شرایط بهینه با برقراری ارتباط

تکرار شد که میزان $0.72 \pm 27/93$ درصد پکتین بدست آمد. این نتیجه نشان می‌دهد که مدل به خوبی می‌تواند میزان بازده را

تحت شرایط مختلف پیش‌بینی نماید.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای بازده و درجه استریفیکاسیون

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
(الف) بازده استخراج					
رگرسیون	۹	۶۹۰/۶۶۴	۷۶/۷۴۰	۳۵/۶۳	۰/۰۰۱
خطی	۳	۵۸۶/۵۹۷	۱۹۵/۵۳۲	۹۰/۷۸	۰/۰۰۰
درجه دوم	۳	۷۸/۵۳۲	۲۶/۱۷۷	۱۲/۱۵	۰/۰۱۰
اثرات متقابل	۳	۲۵/۵۳۵	۷۴/۲۱۶	۳/۹۵	۰/۰۸۷
خطای باقیمانده	۵	۱۰/۷۶۹	۲/۱۵۴		
عدم برازش	۳	۱۰/۲۶۲	۳/۴۲۱	۱۳/۵۰	۰/۰۷۰
خطای خالص	۲	۰/۵۰۷	۰/۲۵۳		
کل	۱۴	۷۰۱/۴۳۳			
(ب) درجه استریفیکاسیون					
رگرسیون	۹	۳۴۲۷/۷۰	۳۸۰/۸۶	۶۲/۸۳	۰/۰۰۰
خطی	۳	۲۲۴۵/۲۰	۷۴۸/۴۰	۱۲۳/۴۶	۰/۰۰۰
درجه دوم	۳	۱۱۳۲/۴۳	۳۷۷/۴۸	۶۲/۲۷	۰/۰۰۰
اثرات متقابل	۳	۵۰/۰۸	۱۶/۶۹	۲/۷۵	۰/۱۵۲
خطای باقیمانده	۵	۳۰/۳۱	۶/۰۶		
عدم برازش	۳	۲۵/۵۸	۸/۵۳	۳/۶۱	۰/۲۲۵
خطای خالص	۲	۴/۷۳	۲/۳۶		
کل	۱۴	۳۴۵۸/۰۱			

بازده پکتین استخراجی است. بسیاری از محققین بیان داشتند زمان استخراج رابطه مستقیم با بازده استخراج دارد، به طوری که با افزایش زمان، بازده نیز افزایش می‌یابد (Yin et al., 2011). در این مطالعه نیز با افزایش زمان فرایند از ۳۰ به ۹۰ دقیقه بازده استخراج افزایش یافت (شکل ۲(الف و ج)).

pH از دیگر فاکتورهای مهم بر بازده استخراج است. همانطور که در شکل ۲(ب و ج) مشاهده می‌شود، کاهش pH سبب افزایش قابل توجه بازده استخراج شده است، به طوریکه بالاترین بازده تولید مربوط به زمانی بود که از کمترین pH استفاده شد و با افزایش pH بازده کاهش یافت. این نتایج با گزارشات بسیاری از محققین مطابقت دارد (Chen et al., 2014; Yapo et al., 2007). بطور کلی بالا بودن بازده تولید در pH های پایین مربوط به تاثیر اسید بر دیواره سلولی ماده جامد اولیه و آزادسازی پکتین در حلال استخراج است. لذا هرچه pH استفاده شده برای استخراج پایین تر باشد، تخریب دیواره سلولی بیشتر و بدنال آن، آزادسازی و در نتیجه تولید پکتین نیز بیشتر خواهد بود (Ma et al., 2013).

نتایج آنالیز واریانس و معادله ۵ نشان می‌دهد که متغیرهای دما و pH بیشترین اثر را بر بازده پکتین دارند. محققین زیادی، دما را به عنوان یکی از فاکتورهای مهم در استخراج ترکیبات مختلف پلی ساکارییدی نظیر پکتین گزارش کرده‌اند (Chan & Choo, 2013; Wai et al., 2010; Yapo et al., 2007). در این تحقیق نیز دما تاثیر قابل توجهی بر عملکرد پکتین داشته است (شکل ۲(الف و ب)). با افزایش دما از ۷۵ به ۹۵ درجه سلسیوس بازده پکتین به طور قابل توجهی افزایش یافته است. اگرچه ممکن است استفاده از دماهای بالاتر از $95^{\circ}C$ باعث افزایش راندمان استخراج شود، ولی بدلیل تخریب حرارتی بیش از حد پکتین (Samavati & Manoochehrizade, 2013; Wai et al., 2010)، استفاده از این دماها توصیه نمی‌شود. افزایش بازده استخراج با افزایش دما احتمالاً بخاطر افزایش حلالیت این پلی ساکراید در حلال و به دنبال آن افزایش انتقال جرم آن از ذرات ترکیب جامد به داخل حلال است (Braga et al., 2006; Li et al., 2006).

زمان فرآیند استخراج یکی دیگر از فاکتورهای موثر بر

درصد گالاکتورونیک‌اسید

درصد گالاکتورونیک اسید نشان‌دهنده میزان خلوص پکتین می‌باشد و هر چه میزان این پارامتر بیشتر باشد، پکتین حاصل خالص‌تر است (Yapo *et al.*, 2007). 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 باید حداقل ۶۵٪ گالاکتورونیک اسید داشته باشد (Bagherian *et al.*, 2011). در این تحقیق، درصد گالاکتورونیک اسید پکتین استخراج شده در شرایط بهینه از نظر راندمان (دمای ۹۵ °C، زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر با ۱/۵)، مورد بررسی قرار گرفت، که میزان آن برابر با ۷۵/۵ درصد بوده است. این نتیجه مشابه گزارشات بسیاری از محققین می‌باشد، در تحقیقی که توسط Ebrahimzade & Azadbakht (2006) انجام شد، میزان گالاکتورونیک‌اسید پکتین استخراجی از پوست نارنج در حدود ۷۵/۷ درصد گزارش شد، که این مقدار تقریباً مشابه با میزان بدست آمده در تحقیق حاضر است. Ma *et al.* (2013)، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پکتین استخراج شده با کمک اسیدهای مختلف از تفاله چغندر قند را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند، میزان گالاکتورونیک‌اسید در پکتین‌های استخراج شده، بر حسب نوع اسید متفاوت و در دامنه ۷۷/۸-۶۰/۲ درصد است. این محققین نوع اسید و pH را مهمترین عامل بر درصد گالاکتورونیک‌اسید معرفی کرده و بیان داشتند، هر چه اسید مورد استفاده برای استخراج پکتین قویتر باشد درصد گالاکتورونیک‌اسید نیز بیشتر خواهد بود. در تحقیقی دیگر Yapo *et al.* (2007)، درصد گالاکتورونیک‌اسید پکتین استخراج شده از تفاله چغندر قند را در دامنه ۷۶/۳-۳۵/۲ درصد گزارش کرده و بیان داشتند مهمترین عامل بر میزان گالاکتورونیک‌اسید، pH بوده، بطوری که با کاهش pH درصد گالاکتورونیک‌اسید افزایش می‌یابد. در نتیجه می‌توان بیان داشت، پکتین استخراج شده از نارنج در شرایط بهینه، دارای خلوص مطلوبی بوده و حتی قابلیت استفاده در صنایع داروسازی را نیز دارد. زیرا پکتین مورد استفاده در صنعت داروسازی نباید بعد از هیدرولیز کمتر از ۶/۷ درصد گروه متوکسیل و ۷۴ درصد گالاکتورونیک اسید داشته باشد (Ebrahimzade & Azadbakht, 2006).

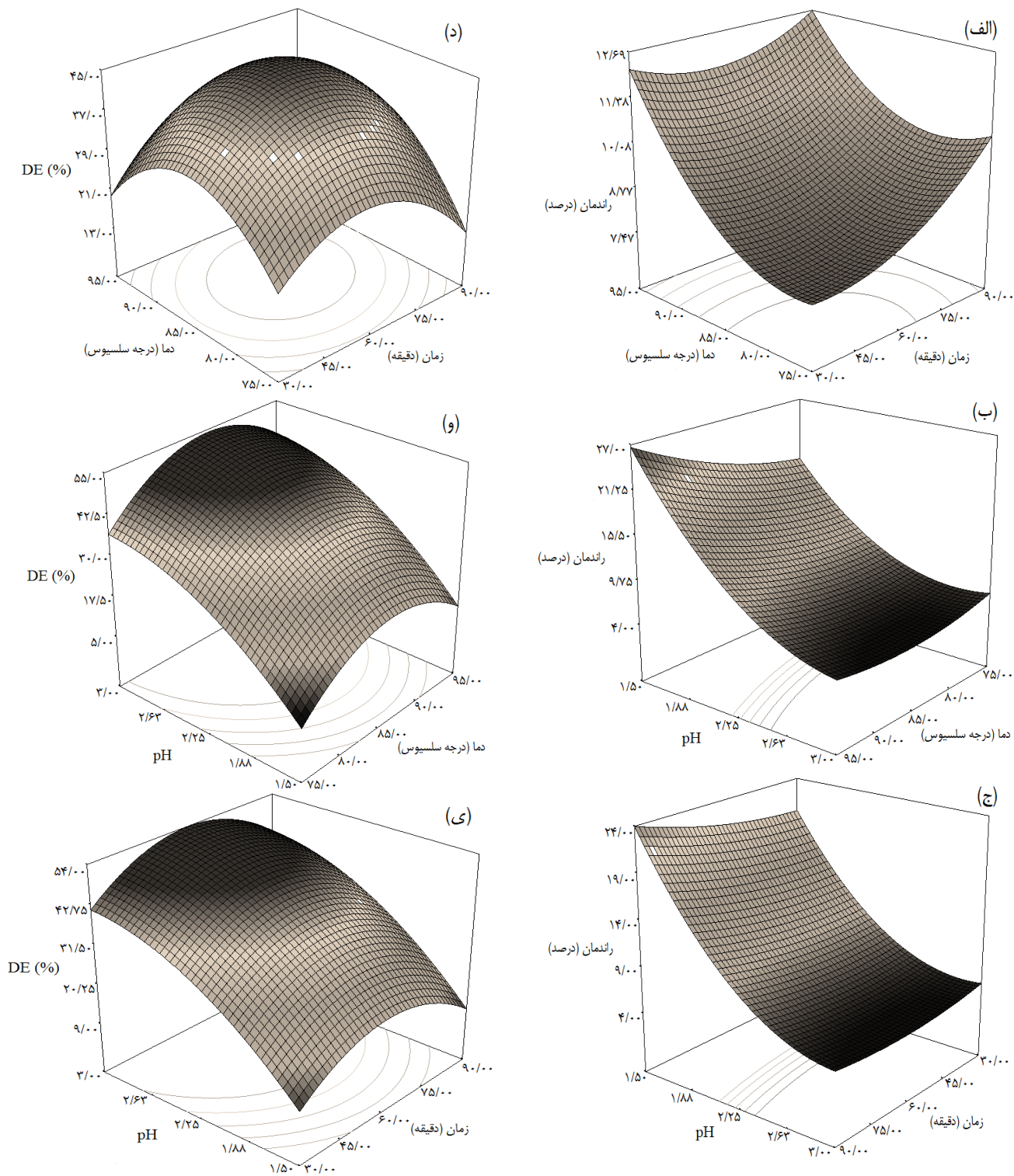
خصوصیات امولسیفایری

فعالیت امولسیفایری و پایداری امولسیون پکتین استخراج شده در شرایط بهینه استخراج مورد بررسی قرار گرفت. بعد از تهیه امولسیون، ۳ فاز قابل تشخیص مشاهده شد: فاز روغن با چگالی

درجه استریفیکاسیون

جدول ۲، نشان می‌دهد که درجه استریفیکاسیون تحت شرایط مختلف متغیر بوده و از ۶/۶ تا ۴۶/۵ درصد در نوسان می‌باشد. با توجه به جدول ۳ و معادله مربوط به درجه استریفیکاسیون (معادله ۶)، اهمیت فاکتورهای pH و دمای استخراج در درجه استریفیکاسیون بیشتر از فاکتور زمان است. شکل ۲(د، و) نشان می‌دهد، هنگامی که دما از ۷۵ به ۸۵ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد پکتین استخراج شده دارای درجه استریفیکاسیون بالاتری است، اما استفاده از دمای بالاتر (۹۵ °C) برای استخراج، سبب کاهش درجه استریفیکاسیون می‌شود، که این به دلیل استرزدایی پکتین در دماهای بالا است (Ma *et al.*, 2013). فاکتور مؤثر دیگر بر درجه استریفیکاسیون، زمان استخراج می‌باشد. با افزایش این فاکتور، درجه استریفیکاسیون پکتین کاهش می‌یابد، و این کاهش درجه استریفیکاسیون با افزایش زمان از ۶۰ به ۹۰ دقیقه، کاملاً محسوس است (شکل ۲(د، ی)).

pH از دیگر فاکتورهای مهم بر درجه استریفیکاسیون است. با توجه به شکل ۲(و، ی)، هر چه pH محلول استخراج پایین‌تر باشد پکتین حاصل درجه استریفیکاسیون پایین‌تری خواهد داشت (Wai *et al.*, 2009). به طور کلی، پکتین‌های حاصل از استخراج‌هایی که در آن‌ها، از دمای بالا، زمان طولانی و pH پایین استفاده شده است درجه استریفیکاسیون پایینی دارند و این به دلیل شرایط سختی است که برای استخراج استفاده شده است و این شرایط سخت سبب تخریب و استرزدایی پکتین می‌شود (Wai *et al.*, 2010). همچنین مشاهده گردید که میزان درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی در شرایط بهینه از نظر راندمان (دمای ۹۵ °C، زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر با ۱/۵)، برابر با ۲۴/۶ درصد است که از این نظر می‌توان آن را جزء پکتین با درجه استری پایینی طبقه‌بندی کرد (Seixas *et al.*, 2014). اینکه پکتین حاصل از پوست نارنج از گروه پکتین‌های با درجه استری پایینی می‌باشد توسط برخی محققین تایید شده است. بطوریکه، Ebrahimzade & Azadbakht (2006) در تحقیقی درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی از پوست نارنج را برابر با ۹/۶ درصد گزارش کردند. همانطور که بیان شد پکتین با درجات استری متفاوت دارای کاربردهای متفاوتی می‌باشند. از این رو، پکتین بدست آمده از این محصول، بدلیل پایین بودن درجه استری آن، برای تولید محصولات با شکر کم مثل ژل‌ها و مرباهای کم‌کالری بسیار مناسب است (Wai *et al.*, 2009).



شکل ۲- تاثیر فاکتورهای مختلف بر بازده استخراج (الف، ب، ج) و درجه استریفیکاسیون (د، و، ی)

جدول ۴- فعالیت امولسیفایری و پایداری امولسیون روغن/ محلول ۰/۵ درصد حجمی / وزنی پکتین

پایداری امولسیون		فعالیت امولسیفایری		دمای (درجه سلسیوس)	
۲۳	۴	۲۳	۴	۲۳	۴
۳۰	۱	۳۰	۱	۲۳	۴۵/۶
۹۳/۱ ^a	۹۳/۷ ^a	۹۳/۵ ^a	۹۳/۹ ^a	زمان نگهداری (روز)	پکتین [®]

*پکتین استخراج شده در شرایط بهینه

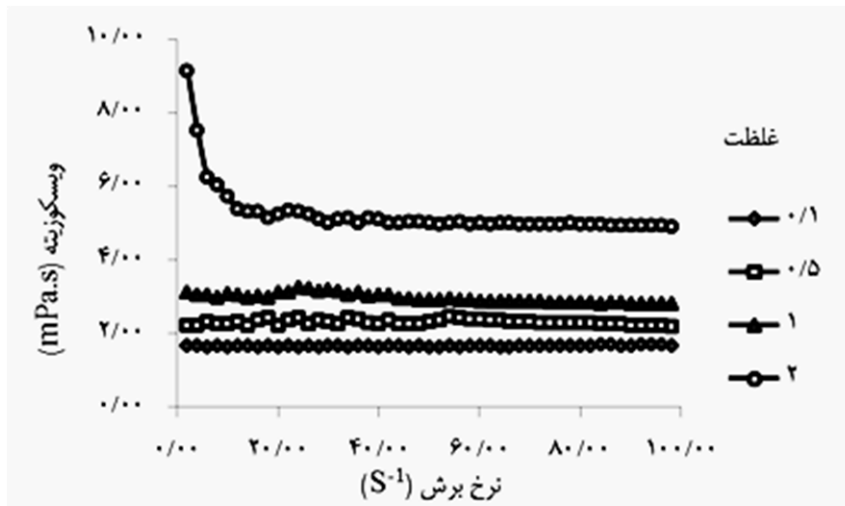
**در هر دما اعداد با حروف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

دریافت که با افزایش غلظت محلول پکتین ویسکوزیته نیز افزایش می‌یابد، اما رفتار محلول پکتین در غلظت‌های مختلف متفاوت است به طوری که، پکتین در سه غلظت ۱، ۰/۵ و ۰/۱ درصد حجمی/ وزنی دارای رفتاری نیوتنی بوده و با افزایش نرخ برش، ویسکوزیته ثابت می‌ماند. ولی با افزایش غلظت (غلظت ۲ درصد حجمی/ وزنی)، رفتار محلول پکتین از نیوتنی به رقیق-شونده با برش تغییر می‌کند و با افزایش نرخ برش، ویسکوزیته کاهش می‌یابد. این نتایج مطابق با گزارشات *Chen et al.* (2014) می‌باشد، این محققین که ویژگی‌های رئولوژیکی پکتین استخراجی از *Abelmoschus esculentus* را مورد مطالعه قرار داده بودند، بیان داشتند که پکتین تولیدی از این محصول در غلظت‌های پایین (کمتر از ۱ درصد حجمی/ وزنی) دارای رفتار نیوتنی بوده ولی با افزایش غلظت، رفتار آن از نیوتنی به سودوپلاستیک تغییر می‌کند. تغییر رفتار محلول پکتین با افزایش غلظت به این دلیل است که، تنش برشی می‌تواند سبب شکسته شدن رشته‌های بیوپلیمری و هم جهت شدن آنها با میدان برشی شود و یا حداقل سبب شکسته شدن پیوندهای فیزیکی ضعیف بین بیوپلیمرهای پکتین شده که در نتیجه آن ویسکوزیته کاهش می‌یابد. این روند کاهش ویسکوزیته، با افزایش نرخ برش ادامه یافته تا اینکه به یک مقدار ثابتی می‌رسد. اما در غلظت‌های پایین (کمتر از ۱ درصد حجمی/ وزنی) فاصله بین بیوپلیمرهای پکتین زیاد بوده، در نتیجه پیوندهای فیزیکی ضعیف بین آنها بسیار کمتر است و با افزایش نرخ برش ویسکوزیته ثابت می‌ماند و همین امر سبب می‌شود تا محلول پکتین در غلظت‌های پایین رفتار نیوتنی داشته باشد (McClements, 2004).

کمتر در بالا، فاز محلول پکتین با چگالی بیشتر در پایین و فاز امولسیون با چگالی متوسط در وسط. مشاهده شد، میزان فعالیت امولسیفایری که بنا به تعریف، حجم لایه امولسیون بر حجم کل می‌باشد برابر با ۴/۶ درصد بوده است. پایداری امولسیون در دماهای ۴ و ۲۳ درجه سلسیوس به ترتیب بعد از ۱ روز برابر با ۹۳/۹ و ۹۳/۷ درصد و بعد از ۳۰ روز برابر با ۹۳/۵ و ۹۳/۱ درصد بوده است، بنابراین در مدت ۳۰ روز پایداری امولسیون در دماهای ۴ و ۲۳ درجه سلسیوس به میزان ۰/۴ و ۰/۶ درصد کاهش یافته است، هر چند از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود (جدول ۴). با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که پایداری امولسیون در هر دو دمای مورد آزمایش مطلوب می‌باشد. این نتایج مشابه گزارشات بسیاری از محققین است (*Ma et al.*, 2013; *Yapo et al.*, 2007).

ویسکوزیته

بطور کلی هیدروکلوئیدهایی مانند پکتین قادر به ایجاد ویسکوزیته بالا در غلظت‌های پایین می‌باشند (*Towle et al.*, 1973) این ویژگی بیشتر به ساختارهای ماکرومولکولی مختلف موجود در نمونه بستگی دارد (*Kontogiorgos et al.*, 2012). همچنین وزن مولکولی، درجه استریفیکاسیون، غلظت و pH از دیگر عوامل مهم در تعیین ویسکوزیته محلول‌های پکتینی می‌باشند (*Ahmmmed*, 2013). در این تحقیق، برای بررسی ویسکوزیته، ۴ محلول با غلظت‌های مختلف از پکتین تولید شده در شرایط بهینه استخراج، تهیه گردید و ویسکوزیته نمونه‌ها با ویسکومتر در دمای اتاق مورد بررسی قرار گرفت. سپس نمودار ویسکوزیته که شامل نرخ برش در محور افقی و ویسکوزیته در محور عمودی است، رسم گردید. با توجه به شکل ۳، می‌توان

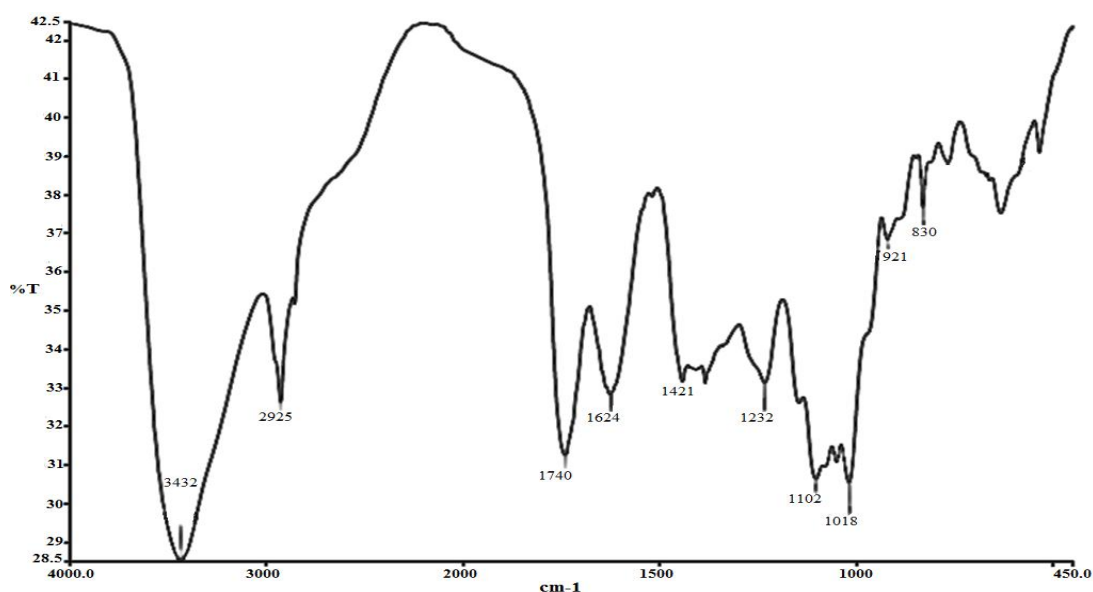


شکل ۳- ویسکوزیته ظاهری غلظت‌های مختلف محلول پکتین استخراجی در شرایط بهینه در مقابل نرخ برش

طیف FT-IR

همین ترتیب، پیک ۱۷۴۰ مربوط به ارتعاشات $O-CH_3$ می‌باشد. گروه های کربوکسیلات دارای دو پیک هستند: (۱) ارتعاشات کششی نامقارن در ۱۶۲۴ بر سانتی‌متر، (۲) ارتعاشات کششی متقارن ضعیف‌تر در ۱۴۲۱ بر سانتی‌متر. دو پیک جذبی قوی ۱۱۰۲ و ۱۰۱۸ مربوط به پیوندهای گلیکوزیدی بین واحد های قندی می‌باشند. به طور کلی به مجموع پیک‌های ناحیه بین ۱۲۰۰ و ۸۰۰، منطقه اثر انگشت گویند که یک ناحیه منحصر به فرد بوده (Kostalova et al., 2013) و تفسیر باندهای آن عموماً دشوار است.

یکی از راه های شناسایی ساختار پکتین استفاده از طیف FT-IR است. در شکل ۴، طیف FT-IR مربوط به پکتین استخراج شده از پوست نارنج در شرایط بهینه نشان داده شده است. ناحیه جذبی قوی بین ۳۵۰۰-۳۳۰۰ بر سانتی‌متر مربوط به گروه‌های OH موجود در قسمت‌های مختلف ساختار پلیمر گالاکتورونیک اسید است. پیک موجود در موج ۲۹۲۵ بر سانتی‌متر مربوط به ارتعاشات C-H می‌باشد که شامل ارتعاشات خمشی و کششی گروه‌های CH ، CH_2 و CH_3 است (Santos et al., 2013). به



شکل ۴- طیف FT-IR پکتین استخراج شده در شرایط بهینه در دامنه فرکانس ۴۵۰-۴۰۰۰ بر سانتی‌متر

ترتیب برابر با $27/93 \pm 0/72$ و $24/6$ درصد است. پکتین بدست آمده در شرایط بهینه استخراج دارای بازده گالاکتورونیک‌اسید $75/5$ درصد، فعالیت امولسیفیری برابر با $45/6$ درصد و پایداری امولسیون مناسب بوده و همچنین محلول آن در غلظت‌های پایین (کمتر و مساوی ۱ درصد حجمی/ وزنی) دارای رفتار نیوتنی است، اما با افزایش غلظت از نیوتنی به سودوپلاستیک تغییر رفتار می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده در مورد راندمان تولید و خصوصیات پکتین استخراجی از پوست نارنج، به نظر می‌رسد می‌توان از پوست نارنج در کنار ضایعات سایر مرکبات به عنوان منبعی از پکتین برای تامین نیاز صنعت غذا استفاده کرد.

نتیجه‌گیری کلی

درخت نارنج از خانواده مرکبات، از جمله گیاهان بومی ایران بوده که عموماً از میوه آن برای تولید آبمیوه استفاده می‌شود. قسمت قابل توجهی از این میوه را پوست که خود منبع غنی از پکتین است، تشکیل داده که به عنوان ضایعات کارخانه‌های تولید آبمیوه دور ریخته می‌شود. با توجه اهمیت پکتین در صنعت غذا، استفاده از این ضایعات به عنوان ماده اولیه تولید پکتین، می‌تواند به عنوان یک ارزش افزوده مطرح باشد. نتایج نشان داد، بازده استخراج و درجه استریفیکاسیون به ترتیب در دامنه $27/5-5$ و $46/5-6/6$ درصد می‌باشد. همچنین بازده تولید و درجه استریفیکاسیون پکتین استخراج شده در شرایط بهینه استخراج (دمای $95^\circ C$ ، زمان ۹۰ دقیقه و pH برابر با ۱/۵) به

REFERENCES

Ahmed, R. (2013). Extraction, characterization and utilization of pectin from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) Waste. Ms.c. dissertation, University of Bangladesh, Mymensingh.

Bagherian, H., Ashtiani, F. Z., 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.
- Basanta, M. F., Ponce, N. M. A., Rojas, A. M. & Stortz, C. A. (2012). Effect of extraction time and temperature on the characteristics of loosely bound pectins from Japanese plum. *Carbohydrate Polymers*, 89(1), 230–235.
- Blumenkrantz, N. & Asboe-Hansen, G. (1973). New method for quantitative determination of uronic acids. *Analytical Biochemistry*, (54), 484–489.
- Braga, M. E. M., Moreschi, S. R. M. & Meireles, M. A. A. (2006). Effects of supercritical fluid extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. starches. *Carbohydrate Polymers*, 63(3), 340–346.
- Canteri-Schemin, M. H., Fertoni, H. C. R., Waszczynskyj, N. & Wosiacki, G. (2005). Extraction of pectin from apple pomace. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(2), 259–266.
- Chan, S. Y. & Choo, W. S. (2013). Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food Chemistry*, 141(4), 3752–3758.
- Chen, Y., Zhang, J. G., Sun, H. J. & Wei, Z.-J. (2014). Pectin from *Abelmoschus esculentus*: Optimization of extraction and rheological properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 70, 498–505.
- 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.
- Ebrahimzade, M. A. & Azadbakht, M. (2006). Pectin extraction and comparison of yield, degree of esterification and galacturonic acid in citrus peel. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 16(54), 52–59. (In Farsi)
- Huang, Y. T., Wang, G. F., Chen, C. F., Chen, C. C., Hong, C. Y. & Yang, M. C. M. (1995). Fructus aurantii reduced portal pressure in portal hypertensive rats. *Life Sciences*, 57(22), 2011–2020.
- Kalopathy, U. & Proctor, A. (2001). Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin. *Food Chemistry*, 73(4), 393–396.
- Khodaiyan, F., Razavi, S. H. & Mousavi, S. M. (2008). Optimization of canthaxanthin production by *Dietzia natronolimnaea* HS-1 from cheese whey using statistical experimental methods. *Biochemical Engineering Journal*, 40(3), 415–422.
- Kontogiorgos, V., Margelou, I., Georgiadis, N. & Ritzoulis, C. (2012). Rheological characterization of okra pectins. *Food Hydrocolloids*, 29(2), 356–362.
- Kostalova, Z., Hromadkova, Z., Ebringerova, A., Polovka, M., Michaelsen, T. E. & Paulsen, B. S. (2013). Polysaccharides from the Styrian oil-pumpkin with antioxidant and complement-fixing activity. *Industrial Crops and Products*, 41, 127–133.
- 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.
- Li, W., Cui, S. W. & Kakuda, Y. (2006). Extraction, fractionation, structural and physical characterization of wheat β -D-glucans. *Carbohydrate Polymers*, 63(3), 408–416.
- Liu, L., Cao, J., Huang, J., Cai, Y. & Yao, J. (2010). Extraction of pectins with different degrees of esterification from mulberry branch bark. *Bioresource Technology*, 101(9), 3268–3273.
- Ma, S., Yu, S., Zheng, X., Wang, X., Bao, Q. & Guo, X. (2013). Extraction, characterization and spontaneous emulsifying properties of pectin from sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 750–753.
- Mahmoodi, M., ShamsiMeimandi, M., Foroumadi, A. R., Raftari, Sh. & AsadiShekari, M. (2005). Antidepressant effect of sour orange flowers extract on lipopolysaccharide-i. *Journal of Kerman University of Medical Sciences*, 4, 244–251. (In Farsi)
- 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.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K. & Sridhar, R. (2014). Microwave assisted extraction of pectin from waste *Citrullus lanatus* fruit rinds. *Carbohydrate Polymers*, 101, 786–791.
- McClements, D. J. (2004). *Food emulsions: principles, practices, and techniques* (2th ed.). Florida: CRC press.
- Mollea, C., Chiampo, F. & Conti, R. (2007). Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study. *Food Chemistry*, 107, 1353–1356.
- Pagan, J. & Ibarz, A. (1999). Extraction and rheological properties of pectin from fresh peach pomace. *Journal of Food Engineering*, 39(2), 193–201.
- Pagan, J., Ibarz, A., Llorca, M., Pagan, A., Barbosa-Canovas, G. V. (2001). Extraction and characterization of pectin from stored peach pomace. *Food Research International*, 34, 605–612.
- Ptichkina, N. M., Markina, O. A. & Rummyantseva, G. N. (2008). Pectin extraction from pumpkin with the aid of microbial enzymes. *Food Hydrocolloids*, 22(1), 192–195.
- Qiu, L., Zhao, G., Wu, H., Jiang, L., Li, X. & Liu, J. (2010). Investigation of combined effects of independent variables on extraction of pectin from banana peel using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 80(2), 326–331.
- Samavati, V. & Manoochehrizade, A. (2013).

- Polysaccharide extraction from *Malva sylvestris* and its anti-oxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 60, 427–436.
- Samavati, V., & Yarmand, M. S. (2013). Statistical modeling of process parameters for the recovery of polysaccharide from *Morus alba* leaf. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 793–806.
- 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.
- Seixas, F. L., Fukuda, D. L., Turbiani, F. R. B., Garcia, P. S., Carmen, L. de O., Jagadevan, S. & Gimenes, M. L. (2014). Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) by microwave-induced heating. *Food Hydrocolloids*, 38, 186–192.
- Towle, G. A. & Christensen, O. (1973). Pectin. In Whistler, R. L. & BeMiller, J. N. (Ed.) *Industrial Gums and Their Derivatives*. 429–461.
- 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.
- Wai, W. W., Alkarkhi, A. F. M. & Easa, A. M. (2010). Effect of extraction conditions on yield and degree of esterification of durian rind pectin: An experimental design. *Food and Bioprocess Processing*, 88(2), 209–214.
- Xu, Y., Zhang, L., Bailina, Y., Ge, Z., Ding, T., Ye, X. & Liu, D. (2014). Effects of ultrasound and/or heating on the extraction of pectin from grapefruit peel. *Journal of Food Engineering*, 126, 72–81.
- 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.
- Yin, X., You, Q. & Jiang, Z. (2011). Optimization of enzyme assisted extraction of polysaccharides from *Tricholoma matsutake* by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 86(3), 1358–1364.