

## بررسی بازده و خصوصیات فیزیکوشیمیایی پکتین استخراجی از ضایعات پوست بادمجان

لیلا ناطقی<sup>۱\*</sup>، سمیه انصاری<sup>۱</sup>، علیرضا شهاب لواسانی<sup>۱</sup>

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین-پیشوا، ورامین، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۱۷)

### چکیده

پوست بادمجان دارای مواد با ارزشی مانند پکتین است که استخراج آن می‌تواند از جنبه اقتصادی و زیست محیطی سودمند باشد. هدف کلی از این پژوهش بررسی تاثیر سه متغیر دما (۶۰، ۷۵ و ۹۰)، زمان (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰) و pH (۱/۵، ۲/۲۵ و ۳) بر میزان بازدهی، درصد گالاکتورونیک اسید و درجه استریفیکاسیون پکتین استخراج شده از پوست بادمجان بود. از روش سطح پاسخ به منظور بهینه‌سازی شرایط استخراج استفاده گردید. جهت بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی پکتین حاصله نیز آزمون‌های پایداری امولسیون در روزها و ماه‌های مختلف، بررسی رفتار جریان در غلظت‌های متفاوت انجام شد. مطابق با نتایج، بالاترین راندمان استخراج از پوست بادمجان، ۲۸/۳۰ درصد در شرایط شدید استخراج دما ۹۰°C، زمان ۱۵۰ min و pH ۱/۵ مشاهده گردید. بالاترین درصد گالاکتورونیک اسید پکتین استخراجی از پوست، ۷۶/۵۰ درصد، در شرایط دمای ۷۵°C، زمان ۱۰۰ min و pH ۲/۲۵ مشاهده گردید. بالاترین درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی از پوست ۸۳/۲۰۰ درصد در شرایط دمای ۶۰°C، زمان ۵۰ min و pH ۳ بود. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که دمای استخراج موثرترین فاکتور بر بازده و درجه استریفیکاسیون پکتین استخراج شده بود. بیشترین پایداری امولسیون پکتین پوست بادمجان در دمای ۴ درجه سلسیوس و روز اول بوده‌است. با افزایش غلظت نمونه‌های پکتین (از ۰/۱٪ تا ۰/۲٪) ضریب قوام آن‌ها افزایش یافته است و رفتار تمام نمونه‌ها نیوتنی بود. بنابراین از ضایعات پوست بادمجان می‌توان به عنوان منبع پکتین استفاده نمود.

**کلید واژگان:** پکتین، بهینه سازی استخراج، پوست بادمجان، خصوصیات فیزیکوشیمیایی

\* مسئول مکاتبات: leylanateghi@yahoo.com

## ۱- مقدمه

پکتین یک ترکیب طبیعی است که در گیاهان وجود داشته و نقش مهمی را در ساختار دیواره سلولی برعهده دارد و همچنین در بردارنده گروهی از پلی ساکاریدهای غنی از واحدهای گالاکتورونیک اسید به همراه مقدار کمتری از قندهای مختلف می باشد [۱]. دوفرم تجاری از پکتین، در دسترس هستند: پکتین با درجه متیلاسیون بالا و پایین (پکتین پراستر و کم استر). پکتین پراستر در محلول های حاوی مواد جامد محلول زیاد و سیستم اسیدی تشکیل ژل می دهند در حالیکه پکتین های کم استر در pH های گسترده تر و محدوده مواد جامد محلول تشکیل ژل می دهند اما به وجود کاتیون های دو ظرفیتی برای تشکیل ژل نیاز دارند [۲]. از مهم ترین خصوصیات پکتین می توان بهر هایش بسیار خوب طعم، خصوصیات فراوری خوب و پایداری در pH های کم اشاره کرد. امروزه از پکتین علاوه بر استفاده به عنوان عامل ژل کننده، به عنوان قوام دهنده و عامل پایدارکننده نیز استفاده می شود. پکتین در محصولات مختلف مانند محصولات بر پایه میوه ها، محصولات نانوایی، محصولات لبنی، داروها، نوشیدنی های شیری و به عنوان فیبر رژیمی، محصولات قنادی و... استفاده می شود. علاوه بر این ها، از پکتین در صنایع داروسازی نیز بهره زیادی برده می شود [۳].

امروزه به صورت تجاری پکتین از پوست مرکبات و تفاله سیب و چغندر قند استحصال می شود که هر کدام بر اساس منبع استخراجشان تنوع زیادی از لحاظ ساختاری و عملکرد دارند [۴]. تقریباً پکتین در تمام میوه جات و سبزیجات یافت می شود لذا محققین تحقیقات زیادی در خصوص استحصال این ترکیب از ضایعات میوه جات داشته و دارند. این روشها عبارتند از روش استخراج آنزیمی [۵ و ۶] با استفاده از آنزیم های پلی گالاکتوروناز، پکتین استراز و رامنوگالاکتوروناز [۷]، استفاده از ترکیبات چگالی دهنده نظیر سدیم هگزا متا فسفات، آمونیم اگزالات و اتیلن دی آمین ترا استیک اسید [۶] و روش مجاورت با اسید [۷]. این<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، به استخراج و بررسی خصوصیات پکتیناز پوست لیمو، گریپ فروت و پرتقال شیرین

پرداختند. در این مطالعه از روش ترسیب با الکل برای استخراج پکتین استفاده گردید و این محققین به مقایسه خصوصیات پکتین های استخراج شده مانند محتوای متوکسیل، حلالیت در آب سرد و گرم و ... مبادرت نموده و بیان نمودند که محتوای متوکسیل و حلالیت پکتین استخراج شده از پوست پرتقال شیرین نسبت به سایر گونه ها، بیشتر بوده است [۸].

بادمجان<sup>۲</sup> گیاهی است یکساله و دارای ساقه نسبتاً ضخیم و پوشیده از کرک که ارتفاع ساقه آن تا ۷۰ سانتیمتر می رسد. برگهای بیضی شکل با نوک باریک و گل های آن بنفش رنگ است. میوه این گیاه دراز و باریک و یا گرد است که به رنگهای بنفش، سیاه، زرد و سفید دیده می شود. بادمجان علاوه بر داشتن ویتامین ها و موادمعدنی گوناگون، شامل مواد گیاهی مهمی می باشند که فعالیت های آنتی اکسیدانی دارند [۹]. در حین فراوری و کنسروسازی بادمجان، کلاهدک و پوست آن جزو ضایعات بوده و دور ریخته می شود [۱۰]. از این رو در این مطالعه، تلاش می شود تا از ضایعات پوست بادمجان در جهت استخراج پکتین که ماده ای ارزشمند در صنایع غذایی می باشد، استفاده کرد و همچنین روش استخراج پکتین به وسیله سطح پاسخ، بهینه سازی گردیده و خصوصیات پکتین استخراج شده مورد بررسی قرار می گیرد. لازم به ذکر است تاکنون در کشور ایران تحقیقی پیرامون این مقوله صورت نگرفته است.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- تولید پودر پوست بادمجان

بادمجان از بازار محلی در تهران تهیه شد. پوست از بادمجان جدا گردید و سپس به خوبی با آب شستشو داده شده و به قطعات کوچک بریده شد. در مرحله بعد، در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید تا به وزن ثابت برسد سپس با استفاده از آسیاب پودر شده و با مش ۶۰ الک گردید [۱۱]. پودر تولیدی برای مصارف بعدی در ظرف پلی اتیلنی و در جای خشک نگهداری شد.

2. *Solanum melongena*

1. Ain

معادله ۱:

$$\text{وزن پکتین خالص} = \frac{\text{بازده تولید پکتین (\%)}}{\text{وزن ماده اولیه}}$$

**Table 1** Temperature, time and pH for extraction of pectin from eggplant peel

Treatments	Temperature (°C)	Time (Min)	pH
1	75	100	3.00
2	75	150	2.25
3	90	150	1.50
4	90	100	1.50
5	90	50	2.25
6	60	100	1.50
7	90	150	3.00
8	60	50	2.25
9	75	50	1.50
10	75	100	1.50
11	60	150	2.25
12	90	50	1.50
13	75	50	2.25
14	90	100	3.00
15	60	150	3.00
16	60	50	3.00
17	75	100	2.25
18	60	150	1.50
19	60	50	1.50
20	60	100	3.00
21	90	50	3.00
22	75	50	3.00
23	75	150	1.50
24	90	100	2.25
25	75	150	3.00
26	90	150	2.25
27	60	100	2.25

## ۲-۴- اندازه‌گیری محتوای اسید گالاکتورونیک

میزان اسید گالاکتورونیک مطابق با روش مسیبی و همکاران (۱۳۹۶) اندازه‌گیری شد [۱۲]. درصد گالاکتورونیک اسید پکتین استخراج شده از پوست بادمجان با روش رنگ سنجی با استفاده از معرف متاهیدروکسی دی فنیل با استفاده از اسپکتروفتومتر ماوراء بنفش مرئی (سسیل CE۲۵۰۲، انگلستان) اندازه‌گیری شد. ۰/۰۵ گرم از نمونه پکتین‌های استخراج شده در یک ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری با آب مقطر دیونیزه به حجم رسانده شد. مخلوط

## ۲-۲- استخراج پکتین

در این تحقیق برای استخراج پکتین از روش فتحی و همکاران (۱۳۹۱) [۱۱]، با اندکی تغییر به شرح زیر استفاده شد. ابتدا ۳ گرم نمونه پودر خشک شده را در ارلن ریخته و با ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر اسیدی شده با اسید سیتریک با pH های مشخص (۱/۵۰، ۲/۲۵ و ۳) مخلوط شده و در حمام آب گرم با دمای (۶۰، ۷۵ و ۹۰) درجه سلسیوس به مدت مشخص (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰) دقیقه توسط همزن مغناطیسی همزده و حرارت داده شد (دامنه آزمایش برای هر فاکتور بر اساس نتایج آزمایشات اولیه انتخاب گردید) (جدول ۱). پس از طی زمان لازم برای استخراج نمونه‌ها از حمام آب گرم خارج شدند و محلول ۲ مرتبه با پارچه متقال صاف شد و برای جداسازی ذرات معلق باقیمانده، محلول حاصل در ۴۰۰۰rpm به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شد. برای جداسازی ذرات جامد از عصاره مایع رویی پس از سانتریفوژ از کاغذ صافی شماره ۴۱ عبور داده شد عصاره حاوی پکتین در یخچال گذاشته شده و پس از رسیدن به دمای ۴ درجه سلسیوس، اتانول ۹۶ درصد با نسبت ۱ به ۲ (عصاره به الکل) جهت ترسیب پکتین به آن اضافه گردید و یک شب در یخچال نگهداری شد تا کاملاً پکتین رسوب کرده و تعادل برقرار شود. سپس رسوب پکتین توسط سانتریفوژ در ۴۰۰۰rpm به مدت ۱۵ دقیقه از مایع جدا شد. مایع رویی را خارج کرده و رسوب باقیمانده جهت حذف ناخالصی‌ها با اتانول ۷۰ درصد و سپس با اتانول ۹۶ درصد شستشو داده شد. پس از هر مرحله شستشو با الکل، با سانتریفوژ کردن در ۴۰۰۰rpm به مدت ۱۰ دقیقه، رسوب باقیمانده از مایع جدا گردید. در پایان نمونه‌های پکتین به دست آمده به روش انجامی خشک شدند. پکتین خشک شده پس از توزین (جهت اندازه‌گیری بازده استخراج) تبدیل به پودر شده و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شد.

## ۲-۳- بازده تولید پکتین

برای بدست آوردن بازده تولید پکتین از معادله ۱ استفاده گردید [۱۱].

اسید ۰/۱ مولار به آن اضافه شد و بهم زده شد تا رنگ صورتی کاملاً ناپدید شود. اسید اضافی با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به همان نقطه پایانی تیتراژ شد، حجم سود مصرفی به عنوان  $V_2$  یادداشت شد. درصد استری شده با توجه به معادله ۲ محاسبه شود [۱۳].

معادله ۲

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

## ۲-۶- اندازه گیری خصوصیات امولسیون

از روش دالو<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۵) [۱۴]، با کمی تغییر برای اندازه گیری فعالیت امولسیفایری و پایداری امولسیون استفاده شد. بدین منظور ۵ میلی لیتر روغن آفتاب گردان را با ۵ میلی لیتر محلول پکتین ۰/۵ درصد وزنی/وزنی مخلوط کرده و ۰/۲ درصد سدیم آزید برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها به آن اضافه شد. در مرحله بعد نمونه‌ها با هموژنایزر در دور ۱۰۰۰۰ rpm به مدت ۴ دقیقه مخلوط شدند. سپس امولسیون ایجاد شده برای ۵ دقیقه در دور ۳۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد. فعالیت امولسیونی با توجه به معادله ۳ محاسبه می‌شود.

معادله ۳:

$$EA (\%) = \frac{ELV}{Wt} \times 100$$

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

همچنین برای اندازه گیری پایداری امولسیون، نمونه به مانند روش بالا تهیه شده و در ۴ لوله سانتریفوژ ۱۰ میلی لیتری ریخته شد. ۲ لوله برای اندازه گیری پایداری امولسیون، در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱ و ۳۰ روز قرار گرفتند. ۲ لوله دیگر نیز در دمای ۲۳ درجه سلسیوس برای مدت مذکور قرار گرفتند. در نهایت پایداری امولسیون با استفاده از معادله ۴ بدست آمد.

معادله ۴:

$$ES (\%) = \frac{VEr}{VEI} \times 100$$

توسط همزن مغناطیسی همزده شد تا کاملاً حل شود. ۱ میلی لیتر از این محلول رقیق حاوی پکتین به ۳ لوله آزمایش شیشه‌ای که یک لوله آزمایش برای اندازه گیری جذب نمونه شاهد و دو لوله برای اندازه گیری جذب نمونه پکتین در داخل مخلوط آب یخ غوطه ور بودند، منتقل شد. سپس ۶ میلی لیتر از محلول تترا بورات سدیم که از قبل آماده شده بود، را به هر کدام از لوله آزمایش‌ها اضافه شد و لوله‌ها ورتکس شدند تا محتویات آنها کاملاً مخلوط شود. محتویات داخل لوله‌ها را در حمام آب جوش ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ دقیقه حرارت داده شد و بعد از گذراندن مدت زمان قید شده، فوراً تا درجه حرارت اتاق سرد شد. به دو لوله آزمایش حاوی نمونه پکتین ۰/۱ میلی لیتر معرف متا هیدروکسی دی فنیل و به لوله آزمایش حاوی نمونه شاهد ۰/۱ میلی لیتر محلول سدیم هیدروکسید ۰/۵ درصد اضافه و محتویات هر لوله کاملاً مخلوط شد. لوله‌های آزمایش در درجه حرارت اتاق به مدت ۱۵ دقیقه باقی ماندند و سپس جذب محتویات هر لوله در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه گیری شد. منحنی کالیبراسیون با اندازه گیری جذب محلولهای استاندارد گالاکتورونیک اسید در محدوده غلظت های استاندارد ۲۰-۴۰-۶۰-۸۰-۱۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر در ۵۲۰ نانومتر تهیه و غلظت گالاکتورونیک اسید در هر نمونه پکتین با استفاده معادله رگرسیون خطی منحنی کالیبراسیون و بر اساس وزن خشک پکتین، محاسبه شد.

## ۲-۵- درجه استریفیکاسیون (DE)

درجه استریفیکاسیون پکتین با استفاده از روش تیتراسیون با اندکی تغییرات اندازه گیری شد. بدین منظور ۰/۲ گرم از نمونه پکتین خشک شده با ۲ میلی لیتر اتانول ۹۸٪ مرطوب شد. سپس ۲۰ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه به آن اضافه شده تا حل شدن کامل در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. بعد از حل شدن کامل نمونه، ۲ قطره فنل فتالین به آن اضافه گردید. و با سود ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ صورتی کم رنگ تیتراژ شد. حجم سود مصرف شده به عنوان  $V_1$  ثبت شد. به محلول خنثی شده در مرحله اول تیتراسیون ۱۰ میلی لیتر سود ۰/۱ مولار اضافه شده و به مدت ۲ ساعت بر روی همزن مغناطیسی به هم زده شد تا پکتین صابونی شود. ۱۰ میلی لیتر هیدروکلریک

که در آن ES پایداری امولسیون، VE<sub>r</sub> حجم لایه امولسیون باقی مانده و VE<sub>i</sub> حجم لایه امولسیون اولیه می باشد.

## ۲-۷- اندازه گیری ویسکوزیته

ویسکوزیته غلظت های مختلف محلول پکتین بوسیله ویسکومتر چرخشی<sup>۱</sup> در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه گیری شد. برای هر آزمون حدود ۲۰ میلی لیتر از نمونه به سیلندر اندازه گیری منتقل شده و تغییرات ویسکوزیته در برابر افزایش نرخ برش در محدوده  $110-12 S^{-1}$  اندازه گیری شد. برای آنالیز رفتار رئولوژیکی نمونه ها از مدل های نیوتونی<sup>۲</sup> و قانون توان<sup>۳</sup> استفاده شد [۱۵].

## ۲-۸- طیف FT-IR

در این مطالعه، طیف FT-IR پکتین با تفکیک پذیری  $4 cm^{-1}$  ثبت شد. این طیف بوسیله اسپکتروفوتومتر FT-IR (Perkin

## ۲-۹- طراحی آزمایش و تجزیه تحلیل آماری

برای طراحی تیمارهای جدول ۱، از روش فاکتوریل کامل و برای ارزیابی شرایط بهینه استخراج پکتین از پوست بادمجان روش آماری سطح پاسخ توسط نرم افزار Minitab16 مورد استفاده قرار گرفت. اثر سه متغیر مستقل دما (A)، زمان (B) و pH (C) در سه سطح بر روی مقادیر متغیر وابسته شامل راندمان استخراج، درصد گالاکتورونیک اسید و درجه استریفیکاسیون، خواص امولسیفایری و ویسکوزیته در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. سطوح متغیرهای مستقل به صورت حقیقی و کد شده در جدول ۲ ارائه شده است.

**Table 2** Independent variable values of the process and their corresponding levels

Independent variable	Symbol	-1	0	+1
Temperature (°C)	A	60	75	90
Time (min)	B	50	100	150
pH	C	1.5	2.25	3

سلسیوس، زمان ۵۰ دقیقه و pH ۳ بدست آمد. افزایش بازده با افزایش زمان استخراج می تواند به این دلیل باشد که افزایش حرارت باعث افزایش حلالیت پکتین شده و در نتیجه سرعت استخراج نیز افزایش می یابد [۱۲]. علت رابطه ای افزایش بازدهی با کاهش pH می تواند مربوط به تأثیر اسید بر دیواره سلولی محصول اولیه و آزادسازی پکتین در محلول استخراج شده باشد. لذا در برخی از موارد استفاده از اسید قوی تر منجر به تخریب دیواره سلولی بیشتر محصول اولیه و در نتیجه آزادسازی و تولید پکتین بیشتر می شود [۱۷ و ۱۶]. در تایید نتایج حاصل از تحقیق حاضر این گونه می توان بیان نمود که حلال بایستی اول به درون بافت تفاله خشک نفوذ کرده، پکتین را در خود حل کند و متعاقباً آن را به بیرون از بافت تفاله تراوش کند و افزایش درجه حرارت باعث افزایش حلالیت پکتین استخراج شده و در نتیجه باعث افزایش سرعت استخراج می گردد [۱۸].

این که دمای بالا موجب افزایش راندمان استخراج می شود توسط بسیاری از محققین گزارش شده است [۲۰ و ۱۹]. همچنین با افزایش درجه حرارت ضریب نفوذ افزایش یافته و از این رو سرعت انتشار تقویت خواهد گردید [۲۱]. مطابق نتایج جدول ۳،

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- نتایج حاصل استخراج پکتین از پوست

#### بادمجان

#### ۳-۱-۱- بازدهی استخراج پکتین از پوست بادمجان

بازدهی استخراج پکتین از پوست بادمجان و مقادیر پیش بینی شده بازدهی استخراج پکتین از پوست بادمجان توسط نرم افزار در جدول ۳، گزارش شده است. با توجه به نتایج جدول ۳، مشاهده می شود که شرایط متفاوت استخراج تأثیر قابل توجهی روی بازده پکتین دارد. بطوری که بازده تولید برای پوست از ۱۱/۰۱ درصد تا ۲۸/۳۰ درصد متغیر بود. نتایج نشان داد با افزایش دما (از ۷۵ به ۹۰ درجه سلسیوس)، زمان استخراج (از ۱۰۰ به ۱۵۰ دقیقه) و کاهش pH (از ۳ به ۲/۲۵) اثر معنی دار در افزایش بازده پکتین مشاهده شد ( $P \leq 0/05$ ). بطوریکه بالاترین راندمان در شدیدترین شرایط استخراج پکتین از پوست بادمجان ۲۸/۳۰ درصد در دمای ۹۰°C، زمان ۱۵۰ دقیقه و pH ۱/۵ بدست آمد و کمترین راندمان ۱۱/۰۱ درصد در دمای ۶۰ درجه

که در این جدول مشاهده می‌گردد مقدار ضریب تبیین این مدل  $(R^2)$ ، ۹۸/۱۶٪ و ضریب تبیین اصلاح شده آن  $(R^2\text{-adj})$ ، ۹۷/۱۸٪ بدست آمد که نشان دهنده برازش خوب مدل برای داده‌های آزمایشی است.

اختلاف معنی‌داری بین مقادیر تجربی و میزان عددی پیش‌بینی شده بازدهی استخراج پکتین از پوست بادمجان در این تحقیق مشاهده نگردید.

تجزیه و تحلیل واریانس بر روی این چند جمله‌ای درجه دوم انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور

**Table 3** Extracted pectin Yield from eggplant peel in different conditions

Treatments	Yield of eggplant peel (%)	Predicted the yield of eggplant peel (%)
1	14.22	13.83
2	14.75	15.63
3	28.30	28.20
4	27.30	25.84
5	20.12	21.20
6	12.20	12.36
7	25.11	24.82
8	11.50	11.90
9	14.90	14.26
10	15.01	15.82
11	12.05	11.36
12	22.30	22.84
13	14.32	13.27
14	22.11	22.57
15	11.18	11.01
16	11.01	11.65
17	14.70	14.77
18	12.85	11.82
19	12.12	12.25
20	11.15	11.65
21	19.18	19.67
22	14.01	12.38
23	15.18	16.73
24	24.35	24.15
25	14.28	14.64
26	27.01	26.46
27	11.92	11.95

استخراج به شکل معنی‌داری افزایش نشان داد (شکل ۱). ضمناً اثرات درجه دوم زمان و pH و اثرات متقابل بین زمان × بر روی راندمان پکتین بی‌معنی بود ( $P > 0.05$ ). همچنین دمای استخراج موثرترین فاکتور بر بازده پکتین بود.

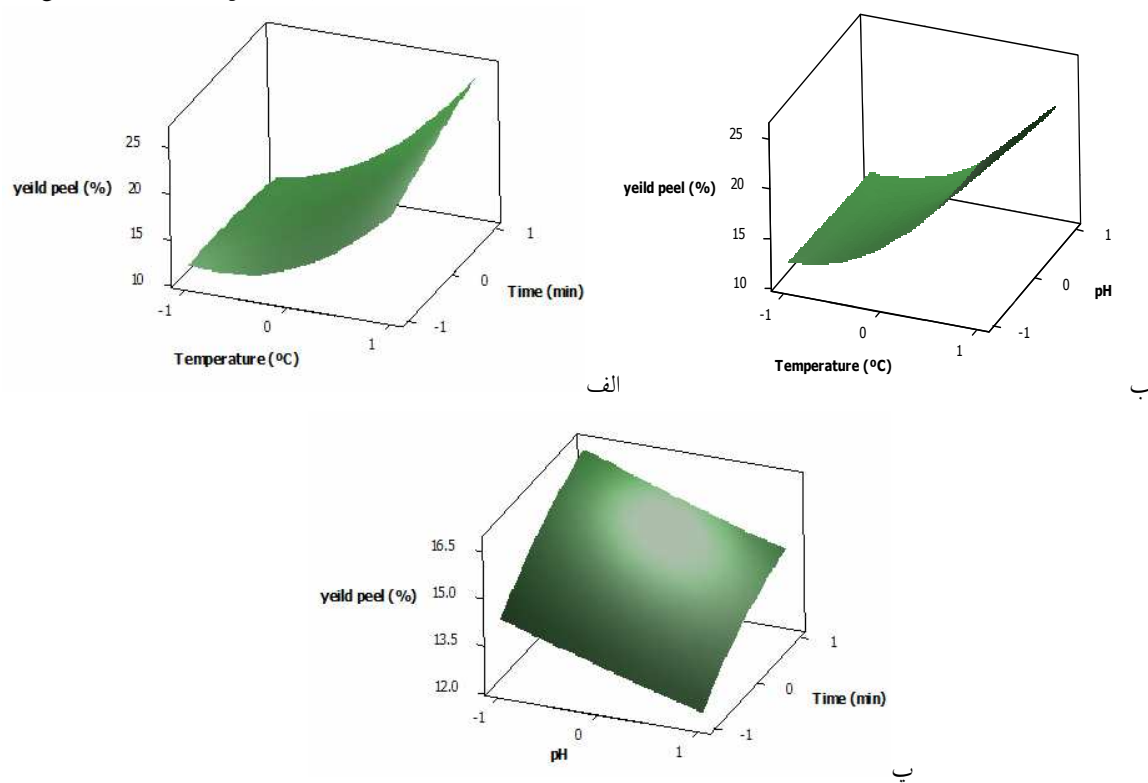
بر طبق جدول ۵، اثرات خطی هر سه متغیر زمان، دما و pH اثرات درجه دوم دمای استخراج و نیز اثر متقابل بین دما × زمان و دما × pH و pH × زمان بر روی راندمان پکتین معنی‌دار بود ( $P \leq 0.05$ ) بطوریکه با افزایش دما و زمان و کاهش pH میزان

**Table 4** Analysis of variance (ANOVA) response surface model models

source	model	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> -adj
Yield (%)	14.773 + 6.10A + 1.180B - 0.990C + 1.447AB - 0.639AC - 0.0533BC + 3.278A <sup>2</sup> - 0.319B <sup>2</sup> + 0.053C <sup>2</sup>	98.16	97.18
Galacturonic acid (%)	76.9426 - 2.8661A - 0.0756B + 1.7217C - 0.0350AB + 1.4775AC + 0.4842BC - 7.6861A <sup>2</sup> - 1.4178B <sup>2</sup> - 7.9328C <sup>2</sup>	93.22	89.63
Esterification degree (%)	53.9463 - 17.8617A - 1.3106B + 1.0042AB - 2.8433AC - 0.2000BC + 4.2728A <sup>2</sup> + 0.2128B <sup>2</sup> - 2.1222C <sup>2</sup>	99.36	99.03

**Table 5** Analysis of variance (ANOVA) response surface model

Source	Yield (%)		Galacturonic acid (%)		Esterification degree (%)	
	P-value	F-value	P-value	F-value	P-value	F-value
Model	0.00*	100.53	0.00*	25.97	0.00*	295.37
A	0.00*	750.12	0.00*	35.47	0.00*	2373.37
B	0.00*	28.10	0.87	0.02	0.02*	12.78
C	0.00*	19.96	0.00*	12.80	0.00*	170.37
A <sup>2</sup>	0.00*	72.24	0.00*	85.04	0.00*	45.27
B <sup>2</sup>	0.41	0.69	0.10	2.89	0.74	0.11
C <sup>2</sup>	0.89	0.02	0.00*	90.58	0.04*	11.17
AB	0.00*	28.16	0.95	0.00	0.03*	5.00
AC	0.03*	5.49	0.02*	6.28	0.00*	40.09
BC	0.84	0.04	0.42	0.67	0.66	0.20

\*Significant effect ( $p \leq 0.05$ )**Fig1** Surface interactions effects on pectin extraction yield from eggplant peel a) temperature  $\times$  extraction time b) temperature  $\times$  pH, c) time  $\times$  pH.

مطلوبیت متعلق به دمای ۹۰ درجه سلسیوس، زمان ۱۵۰ دقیقه و pH برابر با ۱/۵ بود. نتایج پیش‌بینی شده توسط آزمایشات تاییدی با دو بار تکرار انجام شد و اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی مشاهده نگردید.

۳-۱-۱-۱- شرایط بهینه راندمان استخراج پکتین از پوست

بادمجان

مطابق با شکل ۲ پیش‌بینی شد حداکثر راندمان یا میزان پکتین استخراجی از پوست بادمجان ۲۸/۲۰ درصد با ۹۹/۴۳ درصد

که معمولاً ناشی از دپلمریزه شدن زنجیره گالاکتورونان پکتین است صورت گیرد بنابراین با تبدیل شدن پلیمرهای سنگین مولکول پکتین به پلیمرهای سبک جداسازی آن به صورت یک رسوب جامد توسط الکل سخت‌تر می‌گردد و در نتیجه درجه خلوص کاهش می‌یابد [۱۲ و ۲۳].

امگا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) با استخراج پکتین از پوست موز دریافتند که در pH برابر با ۲، بازده کمتر از pH برابر با ۱/۵ بوده اما میزان گالاکتورونیک اسید در pH برابر با ۲ بیشتر بوده است [۲۴]. اما برخلاف تحقیق حاضر، یاپو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۷)، پکتین را از چغندر قند در شرایط مختلف استخراج کرده و دریافتند که pH موثرترین فاکتور بر درصد گالاکتورونیک اسید بوده و پکتین استخراج شده در pH برابر با ۱/۵ از پکتین استخراج شده در pH برابر با ۲ خالص‌تر بود. زمان و دما هم تأثیر متوسطی بر درصد گالاکتورونیک اسید داشت. در مورد تأثیر pH، بر روی خلوص می‌توان گفت در pH های اسیدی پکتین استخراج شده به ترکیبات با وزن مولکولی کم تجزیه می‌شود که با اتانول رسوب نمی‌کند که این امر می‌تواند منجر به کاهش پکتین استخراجی گردد از طرفی دیگر ترکیبات دیگری غیر از مواد پکتیکی در pH برابر با ۱/۵ از دیواره سلولی حل شده و با الکل رسوب می‌کنند بنابراین شرایط حاکم در آزمایش تأثیر بسیار زیادی روی بازدهی و درجه خلوص پکتین استخراجی می‌تواند داشته باشد [۲۵].

امگا و همکاران (۲۰۰۸) و گارنا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۷)، با استخراج پکتین از پوست موز و تفاله سیب مشاهده نمودند میزان گالاکتورونیک اسید تحت تأثیر pH بوده است و زمان و دمای استخراج میزان گالاکتورونیک اسید را تحت تأثیر قرار نداده است [۲۲ و ۲۴]. مطابق نتایج جدول ۶، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر تجربی و میزان عددی پیش‌بینی شده میزان گالاکتورونیک اسید پوست بادمجان در این تحقیق مشاهده نگردید.

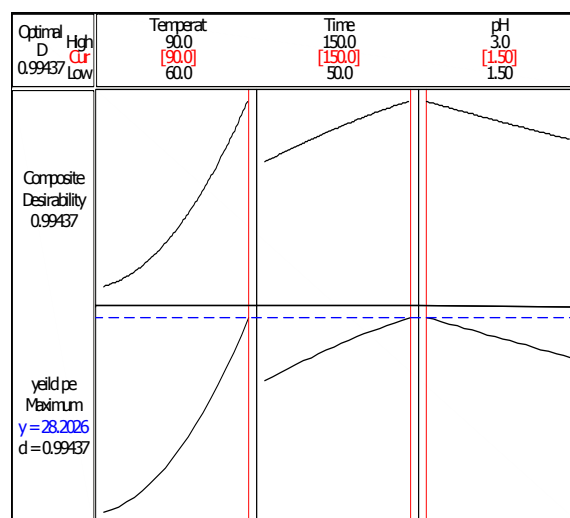


Fig 2 Optimal conditions for extracted pectin yield from eggplant peel

### ۳-۱-۲- میزان گالاکتورونیک اسید پوست بادمجان

در بعضی از منابع علمی از پکتین به عنوان گالاکتورونان نام برده می‌شود، به این دلیل که پکتین‌ها بیوپلیمرهای پیچیده‌ای هستند که غالباً از گالاکتورونیک اسیدهای متیله شده تشکیل شده اند. با توجه به اینکه گالاکتورونیک اسید ترکیب اصلی پکتین است با تعیین مقدار آن می‌توان خلوص پکتین رسوب داده شده با الکل را تخمین زد [۲۲].

با توجه به نتایج جدول ۶، در pH و زمان‌های متفاوت استخراج با افزایش دما از ۶۰ به ۷۵ درجه سلسیوس و pH از ۱/۵ به ۲/۲۵ درصد گالاکتورونیک اسید به شکل معنی‌داری افزایش یافت و گرچه زمان اثر معنی‌داری بر روی تغییرات میزان گالاکتورونیک اسید نداشت. بیشترین درصد گالاکتورونیک اسید برای پوست در دمای ۷۵ درجه سلسیوس، زمان ۱۰۰ دقیقه و pH ۲/۲۵ برابر با ۷۶/۵۰ درصد بوده است در حالی که کمترین درصد گالاکتورونیک اسید برای پکتین استخراج شده از پوست ۵۰/۷۳ درصد در شرایط دمای ۹۰ درجه سلسیوس، زمان ۱۵۰ دقیقه و pH ۱/۵ بوده است. در شرایط شدید استخراج یعنی زمان و درجه حرارت بالا ممکن است تخریب حرارتی پکتین استخراجی

1. Emaga  
2. Yapo  
3. Garna

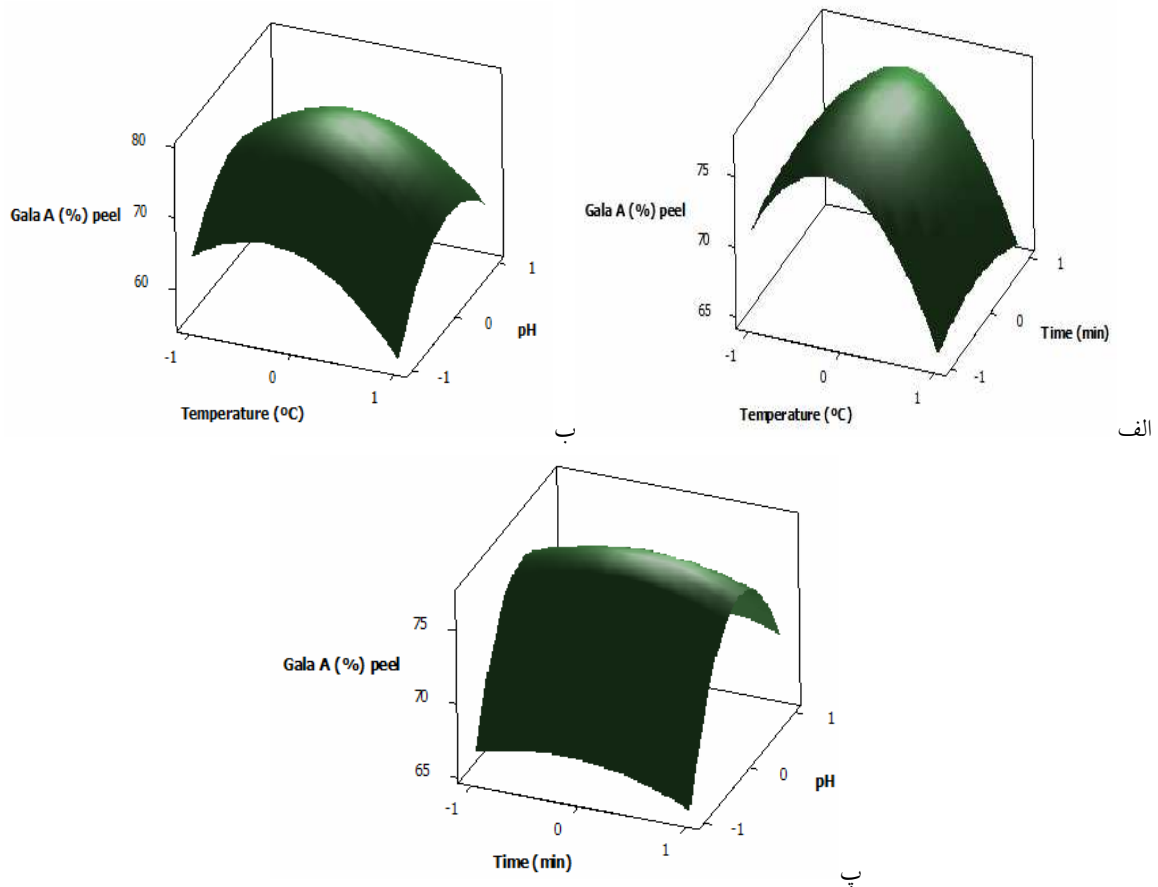


**Table 6** Extracted pectin galacturonic acid from eggplant peel in different conditions

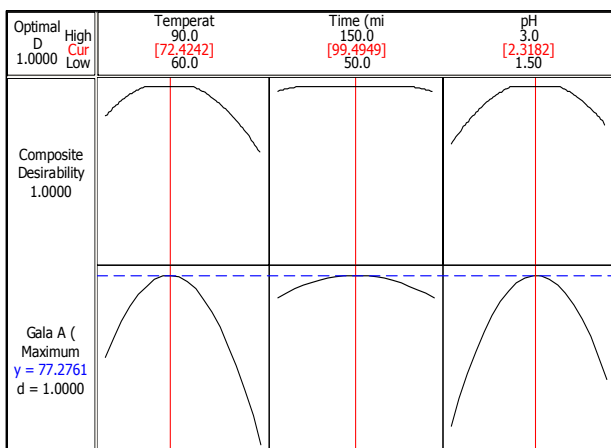
Treatments	Galacturonic acid of eggplant peel (%)	Predicted galacturonic acid of eggplant peel (%)
1	71.15	70.73
2	75.30	75.44
3	50.73	53.24
4	53.19	55.25
5	67.19	65.08
6	65.15	63.94
7	59.16	60.61
8	69.15	70.74
9	65.13	66.43
10	68.17	67.28
11	68.17	70.66
12	55.18	54.43
13	73.80	74.60
14	60.17	61.65
15	64.11	63.46
16	63.81	62.57
17	76.50	76.94
18	63.11	62.00
19	64.17	63.05
20	65.19	64.43
21	58.18	59.86
22	70.08	68.90
23	66.14	65.31
24	69.11	66.39
25	70.11	69.72
26	68.50	64.86
27	70.14	72.12

حرارت × pH نیز بر روی تغییرات میزان گالاکتورونیک اسید معنی دار بود ( $P \leq 0.05$ ) بطوریکه با افزایش دما و زمان و کاهش pH میزان گالاکتورونیک اسید به شکل معنی داری افزایش نشان داد (شکل ۳). همچنین اثرات خطی زمان و اثرات درجه دوم زمان و اثرات متقابل بین دما × زمان و زمان × pH بر روی تغییرات گالاکتورونیک اسید بی معنی بودند ( $P > 0.05$ ). در ضمن اثر مربعی pH موثرترین فاکتور بر میزان اسید گالاکتورونیک معرفی گردید.

تجزیه و تحلیل واریانس بر روی مدل چند جمله‌ای درجه دوم انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود ضریب تبیین این مدل ( $R^2$ )، ۹۳/۲۲٪ و ضریب تبیین اصلاح شده آن ( $R^2$ -adj)، ۸۹/۶۳٪ بدست آمد که نشان دهنده برازش خوب مدل با داده‌های آزمایشی است. مطابق جدول ۵، اثرات خطی درجه حرارت (A) و (C) pH عبارت‌های معنی دار در این مدل بودند ( $P \leq 0.05$ ). اثرات درجه دوم درجه حرارت و pH و اثرات متقابل بین درجه



**Fig 3** Surface interaction effects on the percentage of galacturonic acid of extracted pectin from eggplant peel, a) temperature  $\times$  extraction time, b) temperature  $\times$  pH, c) time  $\times$  pH.



**Fig 4** Optimal conditions for extracted pectin galacturonic acid from eggplant peel

### ۱-۲-۱-۳- شرایط بهینه گالاکتورونیک اسید استخراج پکتین

#### از پوست بادمجان

مطابق با شکل ۴ پیش‌بینی شد حداکثر گالاکتورونیک اسید موجود در میزان پکتین استخراجی از پوست بادمجان ۷۷/۲۷ درصد با ۱۰۰ درصد مطلوبیت متعلق به دمای ۷۲/۴۲ درجه سلسیوس، زمان ۹۹/۴۹ دقیقه و pH برابر با ۲/۳۱ بود. نتایج پیش‌بینی شده توسط آزمایشات تاییدی با دو بار تکرار انجام شد و اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی مشاهده نگردید.

## ۳-۱-۳- درجه استریفیکاسیون پوست بادمجان

به واکنش یک کربوکسیلیک اسید (گروه عاملی  $\text{COOH}$ ) با یک الکل (گروه عاملی  $\text{OH}$ ) که طی آن یک استر و آب بدست می‌آید، واکنش استری شدن می‌گویند. در این واکنش بر اساس ساز و کار آن  $\text{OH}$  از اسید و  $\text{H}$  از الکل جدا شده و آب تولید می‌شود. واکنش استری شدن یک واکنش تعادلی بوده که در حضور کاتالیزگر مناسبی (مانند  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) انجام می‌پذیرد. درجه استریفیکاسیون پکتین، که نشانگر تعداد مول های متانول به ازای ۱۰۰ مول گالاکتورونیک اسید است، یکی از مهمترین پارامترها برای شناسایی کاربرد آن است [۱۳].

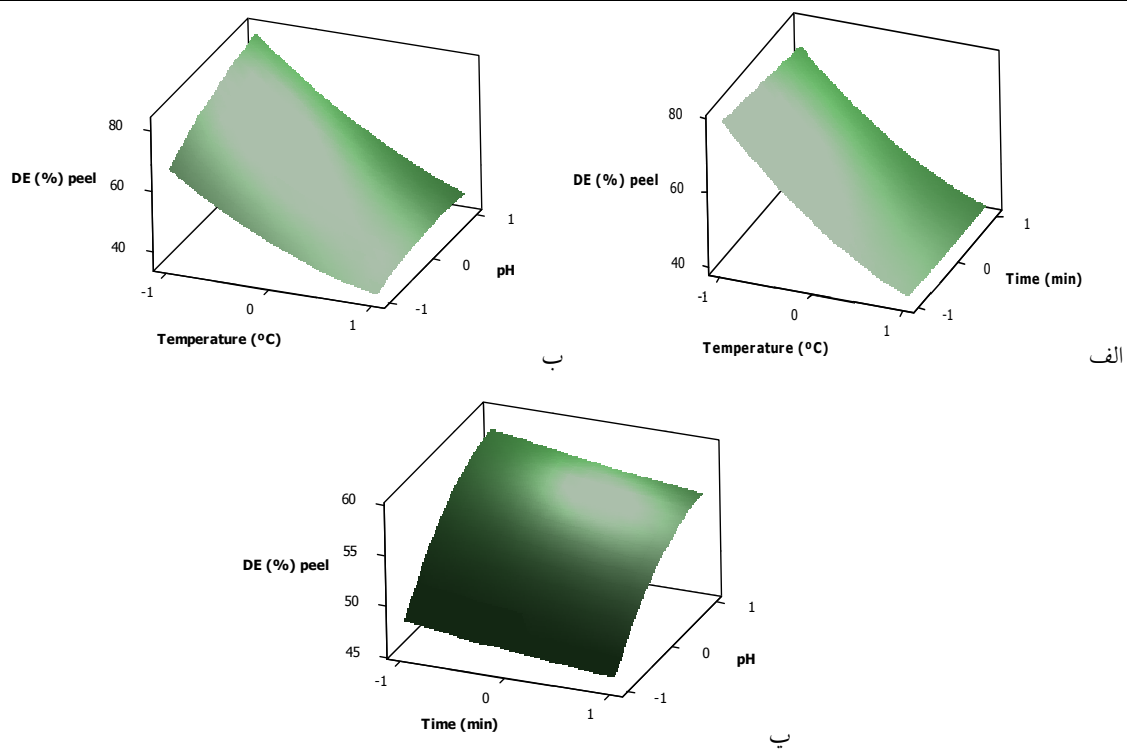
با توجه به نتایج جدول ۷، بیشترین مقدار استریفیکاسیون برای پکتین استخراج شده از پوست ۸۳/۲۰۰ درصد در درجه حرارت ۶۰ درجه سلسیوس، زمان ۵۰ دقیقه و  $\text{pH}$  برابر ۳/۰۰ بود. کمترین مقدار درجه استریفیکاسیون برای پکتین پوست ۳۵/۴۱۰ درصد در دمای ۹۰ درجه سلسیوس، زمان ۱۵۰ دقیقه و  $\text{pH}$  برابر با ۱/۵ حاصل گردید. در واقع با کاهش  $\text{pH}$ ، افزایش دما و زمان استخراج علی‌رغم افزایش بازده، درجه استریفیکاسیون پکتین به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد که این کاهش می‌تواند به علت تجزیه پیوندهای استری پکتین در شرایط سخت هیدرولیز اسیدی باشد. یاپو و همکاران (۲۰۰۷)، نیز گزارش کردند که شرایط سخت‌تر استخراج از نظر  $\text{pH}$  و دما، داستریفیکاسیون زنجیره پلی گالاکتورونیک را افزایش می‌دهد [۲۵]. تصور می‌شود که درجه استریفیکاسیون بالا نشان دهنده این است که پکتین کمتر آسیب دیده است زیرا پیوندهای استری نسبت به پیوندهای گلیکوزیدی آلفا ۱ و ۴ بین گالاکتورونیک

اسیدها، مقاومت کمتری به هیدرولیز اسیدی دارند [۲۶]. امگا و همکاران (۲۰۰۸)، در استخراج پکتین از پوست موز گزارش کردند که علاوه بر تأثیر  $\text{pH}$  و دما، افزایش زمان استخراج نیز میزان متوکسیل پکتین را کاهش می‌دهد [۲۴]. ژمیریچکین<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، استخراج پکتین به روش اسیدی و آنزیمی از تفاله کدو تنبل را با هم مقایسه و درجه استریفیکاسیون پکتین استخراج شده با روش اسیدی ۶۶ درصد و با روش آنزیمی را برابر با ۶۸ درصد گزارش کردند [۲۷]. مطابق نتایج اختلاف معنی‌داری بین مقادیر تجربی و میزان عددی پیش‌بینی شده درجه استریفیکاسیون پوست بادمجان در این تحقیق مشاهده نگردید.

تجزیه و تحلیل واریانس بر روی این مدل چند جمله‌ای درجه دوم انجام شد که نتایج آن در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. مقدار ضریب تبیین این مدل ( $R^2$ )، ۹۹/۳۶٪ و ضریب تبیین اصلاح شده آن ( $R^2\text{-adj}$ )، ۹۹/۰۳٪ بدست آمد که نشان دهنده برازش خوب مدل به داده‌های آزمایشی است. بر طبق جدول ۵ اثرات خطی درجه حرارت (A)، زمان (B) و  $\text{pH}$ (C) عبارات‌های معنی‌دار در این مدل بودند ( $P \leq 0/05$ ). اثرات درجه دوم درجه حرارت و  $\text{pH}$  و اثرات متقابل بین درجه حرارت  $\times$  زمان و درجه حرارت  $\times \text{pH}$  نیز معنی‌دار بودند ( $P \leq 0/05$ ) بطوریکه با کاهش دما و زمان و افزایش  $\text{pH}$  درجه استریفیکاسیون به شکل معنی‌داری افزایش نشان داد (شکل ۵). همچنین اثرات درجه دوم زمان و اثرات متقابل بین زمان  $\times \text{pH}$  بی‌معنی بودند ( $P > 0/05$ ). همچنین دمای استخراج موثرترین فاکتور بر درجه استریفیکاسیون بود.

**Table 7** Esterification degree of extracted pectin from eggplant peel in different conditions

Treatments	Esterification degree of eggplant peel I(%)	Predicted esterification degree of eggplant peel (%)
1	58.17	56.61
2	50.17	52.84
3	35.41	36.39
4	35.83	36.29
5	42.11	40.37
6	64.80	66.33
7	39.12	39.88
8	80.37	78.60
9	48.83	48.36
10	48.12	47.03
11	75.11	73.97
12	36.12	36.61
13	53.14	55.47
14	39.80	40.17
15	78.81	79.28
16	83.20	84.31
17	52.11	53.94
18	64.19	64.42
19	68.90	68.65
20	81.70	81.58
21	40.14	40.89
22	59.32	58.33
23	48.09	46.14
24	41.70	40.35
25	56.14	55.31
26	41.53	40.56
27	76.19	76.08

**Fig 5** Surface interaction effects on the degree of estrification of extracted pectin from eggplant peel, a) temperature × extraction time, b) temperature × pH, c) time × pH

تکرار انجام شد و اختلاف معنی داری بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی مشاهده نگردید.

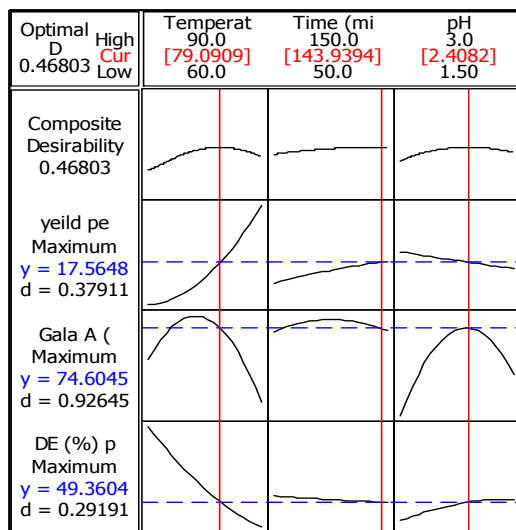


Fig 7 Simultaneous optimum charts for extracted pectin from eggplant peel

### ۳-۱-۴- اندازه‌گیری پایداری امولسیون

فعالیت امولسیفایری و پایداری امولسیون پکتین استخراج شده از پوست بادمجان در شرایط بهینه با استفاده از محلول ۰/۵ درصد وزنی/وزنی پکتین در جدول ۸ نشان داده شده است. بعد از سانتریفوژ کردن امولسیون‌ها ۳ فاز قابل تشخیص در محیط مشاهده شد. فاز روغنی به علت چگالی کمتر در بالا، فاز امولسیونی به علت چگالی متوسط در وسط و فاز آبی به علت چگالی بالاتر در پایین. همانطور که مشاهده می‌شود پایداری امولسیفایری بعد از ۳۰ روز برابر با ۷۷ درصد بوده است. و همچنین پایداری امولسیون در دمای ۲۳ درجه پس از یک روز برابر با ۸۵ درصد بود. نتایج نشان داد پایداری امولسیون پکتین حاصل از پوست بادمجان در دمای ۴ درجه سلسیوس در روز سی‌ام به شکل معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بیشتر از دمای ۲۳ درجه سلسیوس بوده است. ما و همکاران (۲۰۱۳)، خواص امولسیفایری پکتین حاصل از چغندر قند را مورد بررسی قرار دادند و به نتایج مشابهی دست یافتند. این محققین بیان داشتند که دامنه پایداری امولسیون حاصل از پکتین بدست آمده توسط اسیدهای مختلف در دمای ۴ درجه سلسیوس بعد از یک روز بین ۷۹/۴-۷۴/۳ درصد و در دمای ۲۳ درجه سلسیوس بعد از یک

### ۳-۱-۳- شرایط بهینه درجه استریفیکاسیون استخراج پکتین

#### از پوست بادمجان

مطابق با شکل ۶، پیش‌بینی شد حداکثر درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی از پوست بادمجان ۸۴/۳۱ درصد با ۱۰۰ درصد مطلوبیت متعلق به دمای ۶۰ درجه سلسیوس، زمان ۵۰ دقیقه و pH برابر با ۳ بود. نتایج پیش‌بینی شده توسط آزمایشات تاییدی با دو بار تکرار انجام شد و اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی مشاهده نگردید.

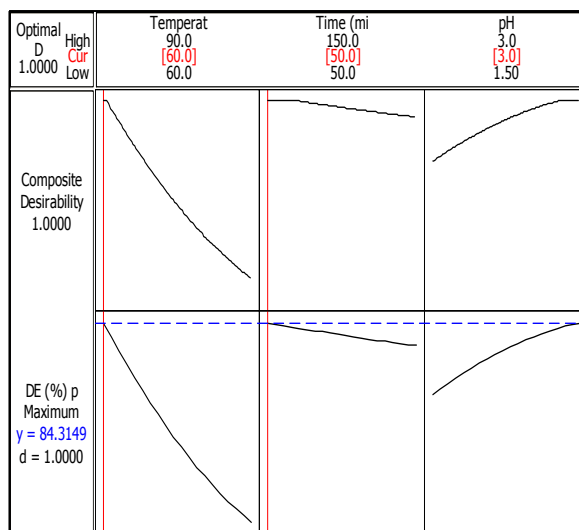


Fig 6 Optimal conditions for extracted pectin esterification degree from eggplant peel

### ۳-۱-۴- بهینه‌سازی شرایط استخراج پکتین بر روی

درصد راندمان، درصد گالاکتورونیک اسید و درجه

#### استریفیکاسیون پکتین استخراجی از پوست بادمجان

شکل ۷ نمودار بهینه یا اپتیمم بازده، درصد گالاکتورونیک اسید و درجه استریفیکاسیون پکتین استخراجی از پوست بادمجان را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، پیش‌بینی شد شرایط بهینه استخراج برای دستیابی به حداکثر میزان بازدهی، گالاکتورونیک اسید و درجه استریفیکاسیون با ۶۷/۸۰ درصد مطلوبیت در دمای ۷۹/۰۹ درجه سلسیوس، زمان ۱۴۳/۹۳ دقیقه و pH برابر ۲/۴ بود که بازدهی در آن ۱۷/۵۶ درصد، گالاکتورونیک اسید ۷۴/۶۰ درصد و درجه استریفیکاسیون ۴۹/۳۶ درصد بدست آمده است. نتایج پیش‌بینی شده توسط آزمایشات تاییدی با دو بار

بیشتر از ۲۳ درجه سلسیوس می‌باشد [۱۷]. مطابق با نتایج جدول ۸ زمان نیز اثر معنی‌داری روی پایداری امولسیون داشته است به‌طوری‌که میزان پایداری امولسیون با افزایش زمان نگهداری کاهش معنی‌داری داشته است که این کاهش در دمای ۲۳ درجه سلسیوس شدیدتر بود.

روز بین ۶۹/۳ - ۶۲/۱ درصد بوده است. همچنین این فاکتور بعد از ۳۰ روز در دمای ۴ درجه سلسیوس بین ۷۹/۳ - ۷۴/۲ درصد و در دمای ۲۳ درجه سلسیوس بین ۶۹/۲ - ۶۲/۱ درصد بود. در نتیجه می‌توان بیان داشت که پایداری امولسیون در دماهای مختلف متفاوت بوده و در دمای ۴ درجه سلسیوس به مراتب

**Table 8** Emulsifier stability of pectin extracted from eggplant peel

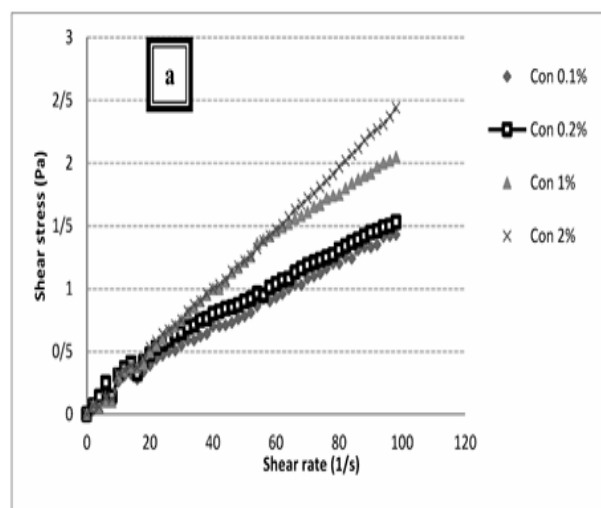
Time (Day)	Temperature (°C)	Emulsifier stability (%)
1	4	86 <sup>a</sup>
	23	85 <sup>a</sup>
30	4	81 <sup>b</sup>
	23	77 <sup>c</sup>

Different small letter showed significant differences in each column ( $p \leq 0.05$ )

در جدول ۹، مقادیر شاخص‌های رئولوژیکی شامل اندیس جریان (n) و ضریب قوام (K) غلظت‌های مختلف پکتین استخراج شده از پوست بادمجان در شرایط بهینه با برازش داده‌ها بر مدل‌های نیوتنی و توان آورده شده است. نتایج حاصل از برازش داده‌ها بیانگر این است که رفتار تمام نمونه‌ها نیوتنی بوده و اندیس جریان آن‌ها نزدیک به یک می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش غلظت نمونه‌های پکتین، ضریب قوام آن‌ها افزایش یافته است. در واقع با افزایش غلظت پکتین، ویسکوزیته نیز افزایش یافته است [۲۸]. ایگلزیاز<sup>۱</sup> و لزانو<sup>۲</sup> (۲۰۰۴)، ترکیب شیمیایی و خصوصیات رئولوژیکی از جمله درجه حرارت ژله‌ای شدن پکتین استخراج شده از آفتاب گردان را بوسیله محلول سدیم هگزامتاسفات و بدنبال آن رسوب دادن با الکل و یا با محلول هیدروکلریک اسید، اندازه‌گیری کردند و پکتین‌های تجاری متوکسیل پایین مورد مقایسه قرار دادند. وزن مولکولی متوسط محاسبه شده براساس اندازه‌گیری ویسکوزیته ذاتی پکتین دامنه‌ای از ۳۹۵۰۰ تا ۵۲۰۰۰ دالتون را شامل می‌شد. همچنین این محققین گزارش نمودند که پکتین آفتابگردان در درجه حرارت‌های بالا و در حضور یون‌های کلسیم فوراً تشکیل ژل می‌دهد [۲۹].

### ۳-۱-۵- ویسکوزیته

در شکل ۸، (a) مقادیر تنش برشی به عنوان تابعی از نرخ برش برای غلظت‌های مختلف پکتین استخراج شده از پوست بادمجان در شرایط بهینه استخراج نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، تمامی نمونه‌ها دارای رفتار نیوتنی هستند (n=1).



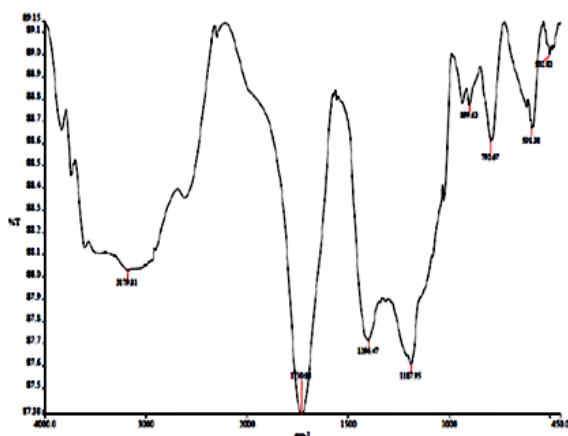
**Fig 8 (a)** Shear stress versus shear rate for extracted pectin of eggplant peel

1. Iglesias  
2. Lozano

**Table 9** Viscosity and rheological characteristics obtained from fitting viscosity on various models of extracted pectin of eggplant peel

Concentration (w/v)%	Viscosity (cP)	Model	N	K(Pa S <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup> (%)
0.1	1.55	Newtonian	1	0.013	99.3
		Power	1.002	0.016	97.6
0.2	1.73	Newtonian	1	0.014	98.6
		Power	1.004	0.017	97.7
1	2.40	Newtonian	1	0.021	98.8
		Power	1.007	0.022	96.6
2	2.43	Newtonian	1	0.024	99.8
		Power	1.008	0.023	98.0

می‌باشد. پیک موجود در محدوده  $2800-2400\text{cm}^{-1}$  برای نمونه مربوطه به حالت لرزشی CH شامل لرزش‌های کششی و خمشی  $\text{CH}_2$ ،  $\text{CH}_3$  و CH می‌باشد [۱۳]. گروه کربوکسیل ۲ باند را نشان داده است: ۱-باند نامتقارن کششی در  $1730\text{cm}^{-1}$  و یک باند متقارن کششی ضعیف‌تر در  $1403\text{cm}^{-1}$  برای پکتین پوست بادمجان می‌باشد. ۲- پیک جذب قوی بین  $899\text{cm}^{-1}$  و  $793\text{cm}^{-1}$  در پوست بادمجان نشان شده است.

**Fig 9** FT-IR spectrum of extracted pectin of eggplant peel

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش استخراج پکتین از ضایعات پوست بادمجان به روش اسیدی با اسید سیتریک تحت شرایط دما، زمان و pH های مختلف انجام گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده راندمان پکتین از پوست در مجموع از ۱۱/۰۱ تا ۲۸/۳۰ درصد، درصد گالاکتورونیک اسید از ۵۰/۷۳ تا ۷۶/۵۰ درصد و درجه استری شدن از ۳۵/۴۱ تا ۸۳/۲۰ درصد در ۲۷ تیمار استخراجی

در جدول ۹ ویسکوزیته‌غلظت‌های مختلف پکتین استخراج شده از پوست بادمجان در شرایط بهینه در یک نرخ برش ثابت (۵۰rpm) نشان داده شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویسکوزیته نشان می‌دهد که ویسکوزیته ایجاد شده توسط نمونه‌های مختلف در غلظت‌های پایین مشابه هم می‌باشد و تفاوت آنچنانی ندارد. پانوئیل<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، رفتار شل شونده پکتین را به جهت‌گیری زنجیره‌های پلیمری آن در جهت جریان مرتبط دانسته‌اند، 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 [۳۰].

#### ۳-۱-۶-۱-۳- طیف FT-IR پکتین حاصل از پوست بادمجان

##### در شرایط بهینه

یکی از راه‌های شناسایی ساختار پکتین استفاده از طیف FT-IR است. با توجه به شکل ۹، ناحیه جذب قوی  $3000\text{cm}^{-1}$  برای نمونه پکتین پوست بادمجان که نشان دهنده جذب کششی OH می‌باشد، مربوط به لرزش باندهای هیدروژنی داخل و خارج مولکولی است. باندهای کششی OH در دامنه‌ای از فرکانس اتفاق می‌افتند و نشان دهنده اجزای مختلفی، شامل باندهای کششی حاصل از گروه‌های کربوکسیل آزاد در فاز بخار و همچنین باندهای خمشی موجود در گروه‌های کربوکسیلیک اسید می‌باشند. در نمونه پکتین نیز ناحیه مذکور مربوط به لرزش داخل و خارج سلولی باند هیدروژنی در پلیمر گالاکتورونیک اسید

1. Panouille

- [7] Ebrahim zadeh, M.E. and Azad bakht, M. 1385. Pectin extraction and comparison of yield, degree of estrification and the percentage of galacturonic acid in the skin of some citrus, *Mazandaran Journal of Medical Sciences*, 16(54), 52-59 (In Persian).
- [8] Aina, V. O., Mustapha, M. B., Mamman, O. A., Amina, Z., Hauwa, U. M. S. and Yagana, B. A. 2012. Extraction and characterization of pectin from peels of lemon (*Citrus limon*), grape fruit (*Citrus paradise*) and sweet orange (*Citrus sinensis*). *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, 3(6): 259-262.
- [9] Chan, C. H., Yusoff, R., Ngoh, G. C. and Kung, F. W. L. 2011. Microwave-assisted extractions of active ingredients from plants. *Journal of Chromatography A*, 1218(37): 6213-6225.
- [10] Fishman, M. L. and Chau, H. K. 2000. Extraction of pectin by microwave heating under pressure. U. S. patent No. 6,143,337. Washington, DC: U. S. patent and Trademark Office.
- [11] Fathi, B., Maghsoudlou, Y., Ghorbani, M. and Khamiri, M., 2012. Effect of pH, temperature and time of acidic extraction on the yield and characterization of pectin obtained from pumpkin waste, *Journal of Food Industry Research*, 22(4), 465-475 (In Persian).
- [12] Mosayebi, V., Emam-Djomeh, Z., Tabatabaei Yazdi, F. 2017. Optimization of extraction conditions of pectin by conventional method from black mulberry pomace. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, 62(14), 341-356 (In Persian).
- [13] Santos, J. D. G., Espeleta, A. F., Branco, A. and de Assis, S. a. 2013. Aqueous extraction of pectin from sisal waste. *Carbohydrate Polymers*, 92(2): 1997-2001.
- [14] Dalev, P. G. and 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.
- [15] Yapo, B. M. 2011. Pectic substances: from simple pectic polysaccharides to complex pectins-A new hypothetical model. *Carbohydrate Polymes*, 86(2): 373-385.
- [16] Chen, Y., Zhang, J. G., un, H. J. and Wei, J. 2014. Pectin from *Abelmoschus esculentus*: optimization of extraction and rheological
- متغیر بود. بالاترین راندمان برای پوست بادمجان (۲۸/۳۰ درصد) در شدیدترین شرایط استخراج یعنی در دمای ۹۰ درجه سلسیوس، زمان ۱۵۰ دقیقه و pH برابر با ۱/۵ بدست آمد که درصد گالاکتورونیک اسید پکتین در پوست ۵۰/۷۳ و درجه استری شدن برای پکتین پوست در همین شرایط برابر ۳۵/۴۱ بود. بر اساس نتایج ANOVA شرایط دما، زمان و pH مهمترین فاکتورها روی بازده استخراج پکتین از پوست بادمجان بود. نتایج نشان داد که پایداری امولسیون پکتین پوست بادمجان در دمای ۴ درجه سلسیوس و روز اول به ترتیب بیشتر از دمای ۲۳ درجه سلسیوس و روز ۳۰ می باشد. با افزایش غلظت نمونه های پکتین، ضریب قوام آن ها افزایش یافته است، رفتار تمام نمونه ها نیوتنی بوده و اندیس جریان آن ها نزدیک به یک می باشد. در نهایت این گونه می توان بیان نمود که با استفاده از پوست بادمجان می توان پکتینی با رفتار نیوتنی و درجه زلی مطلوب تولید کرد.

## ۵- منابع

- [1] Baiano, A. 2014. Recovery of Biomolecules from Food Wastes- A Review. *Molecules*, 19(9): 14821-14842.
- [2] Kratchanova, M., Pavlova, E., Panchev, I. and Kratchanov, C. 2012. Influence of microwave Pretreatment of Fresh orange Peels on Pectin extraction. *Progress in Biotechnology*, 14: 941-946.
- [3] Sharma, M. A. 2006. Effect of variety and acid washing method on extraction yield and quality of sunflower head pectin. *Food Chemistry*, 83(1): 43-47.
- [4] Ralet, O. 2011. Pectin Content of lime and lemon peel as extracted by nitric acid. *Journal of Food Science*, 43(1): 72-73.
- [5] Aimukhamedova, M. B. 1988. Methods of pectin extraction from beet pulp. *Pishchevaya Promyshlennost. USSR No. 5*, 19-20.
- [6] Mirmajidi, A. and Babaie, B. 2009. Pectin extraction from commercial cultivars of sugar beet pulp using the pre-hydrolysis technique (Technical Note). *Journal of Agricultural Engineering Research*, 4(9), 103-114 (In Persian).



- pectin from yellow passion fruit by products as compared with commercial citric acid extractant. *Bioresource Technology*, 100(12): 3147-3151.
- [24] Emaga, T. H., Ronkart, S. N., Robert, C., Wathelet, B. and Paquot, M. 2008. Characterization of pectins extracted from banana peels under different conditions using an experimental design. *Food Chemistry*, 108(2): 436-471.
- [25] Yapo, B., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B. and 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.
- [26] Scabio, A., Fertinani, H. C., Schemin, M. H., Petkowicz, C. O., Carneiro, E. B., Nogueira, A. and Wosiachi G. 2007. A model for pectin extraction from apple pomace. *Brazilian Journal of Food Technology*, 10(4): 259-265.
- [27] Zhemerichkin, D. A. and Ptitchkina, N. M. 2006. The composition and properties of pumpkin and sugar beet pectins. *Food Hydrocolloids*, 9(2): 147-149.
- [28] Dickinson, M. 1992. Pectin extraction from citrus peel by polygalacturonase produced on whey. *Bioresource Technology*, 47(1), 25-28.
- [29] Iglesias, M.I. and Lozano, J.E. 2004. Extraction and characterization of sunflower pectin. *Journal of Food Engineering*, 62(3): 215-223.
- [30] Panouille, I. N., Kirtchev, N. A. and Kratchanov, C. 2006. Kinetic model of pectin extraction. *Carbohydrate polymers*, 11(3), 193-204.
- properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 70: 498-505.
- [17] Ma, S., Yu, S., Zheng, X., Wang, X., Bao, Q.-D. and Guo, X. 2013. Extraction, characterization and spontaneous emulsifying properties of pectin from sugar beet pulp. *Carbohydrate polymers*, 98(1): 750-753.
- [18] Methacanon, P., Krongsin, J. and Gamonpilas, C. 2014. Pomelo (*Citrus maxima*) pectin: Effects of extraction parameters and its properties. *Journal of Food Hydrocolloids*, 35: 383-391.
- [19] Vinogradov, E. V., Brade, L., Brade, H. and Holst, O. 2003. Structural and serological characterisation of the O-antigenic polysaccharide of the lipopolysaccharide from *Acinetobacter baumannii* strain 24. *Carbohydrate Research*, 338(23): 2751-2756.
- [20] Ye, C. L. and Jiang, C. J. 2011. Optimization of extraction process of crude polysaccharides from *Plantago asiatica* L. by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 84(1): 495-502.
- [21] Masmoudi, M., Besbes, S., Chaabouni, M., Robert, C., Paquot, M., Blecker, C. and Attia, H. 2008. Optimization of pectin extraction from lemon by-product with acidified date juice using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 74(2): 185-192.
- [22] Garna, H., Mabon, N., Robert, C., Cornet, C., Nott, K., Legeros, H., Wathelet, B. and Paquot, M. 2007. Effect of extraction conditions on the yield and purity of apple pomace pectin precipitated but not washed by alcohol. *Journal of Food Science*, 72(1): C001-C009.
- [23] Yapo, B. M. 2009. Lemon juice improves the extractability and quality characteristics of

## Investigation of yield and physicochemical properties of pectin extracted from eggplant peel

Nateghi, L. <sup>1\*</sup>, Ansari, S. <sup>1</sup>, Shahab Lavasani, A. R. <sup>1</sup>

1. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

(Received: 2017/03/07 Accepted: 2017/07/08)

Eggplant peel contains valuable materials such as pectin which its extraction can be beneficial from economic and environmental aspects. The overall objective of this study was to evaluate the effect of three variable temperature (60, 75 and 90), time (50, 100 and 150) and pH (1.5, 2.25 and 3) on the yield, the galacturonic acid content and esterification degree of Eggplant peel pectin. Response surface methodology was used to optimize the extraction conditions. To study the physicochemical properties of the pectin, the emulsion stability during different days and at some temperatures, flow behavior at different concentrations. According to the results, the highest extraction yield of the eggplant peel was 28.30% which was observed temperature 90°C, time 150min and pH 1.5. The highest galacturonic acid content of the extracted pectin of eggplant peel was 76.50%, at temperature 75°C, time 100 min and pH 2.25, The highest esterification degree of extracted pectin of eggplant peel was 83.200%, which was observed at temperature 60°C, time 50 min and pH 3, The results of variance analysis showed that extraction temperature was the most effective factor on the yield and esterification degree of the pectin extracted. The most emulsion stability of eggplant peel pectin was observed at 4 °C and on the first day of storage. With increasing of the concentrations of pectin samples (from 0.1% to 2%), viscosity was increased- Flow behavior of the all samples was Newtonian. Therefore, can be used of eggplant peel waste as a source of pectin.

**Keywords:** Pectin, Extraction optimization, Eggplant peel, Physicochemical properties

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: leylanateghi@yahoo.com