

## Microwave-assisted extraction of pectin from Faba bean hulls and evaluation of its Physicochemical properties

Parisa Habibpour<sup>1</sup> | Sara Ansari<sup>2\*</sup> | Amir Vazirizadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Food Science and Technology, Kherad Institute of Higher Education, Boushehr, Iran.

<sup>2</sup> Department of Food Science and Technology, Kazeroun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran, Email: ansari@kau.ac.ir

<sup>3</sup> Marine Biology & Fishery Dept., Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Boushehr, Iran.

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
Received: 28.11.2020  
Revised: 28.01.2021  
Accepted: 24.03.2021

**Keywords:**  
Faba bean hulls  
Pectin  
Microwave-assisted  
extraction  
Physicochemical properties  
Optimization

### ABSTRACT

**Background and objectives:** Due to the increasing demand for pectin with different functional properties for use in different foods and the usefulness of this compound for human health, much research has been done to find raw materials containing pectin and production of pectin with desirable technological characteristics. The amount of hulls obtained from the fava bean shelling process is equal to 14.28% of the total weight of dried beans, which is currently disposed of as waste, and in addition to environmental problems, destroys rich sources of bioactive compounds such as pectin.

**Materials and methods:** In this study, the effects of some independent variables, including microwave power (360, 540 and 720 W), irradiation time (1, 2.5, and 4 min), pH (1, 2, and 3), and solid-to-liquid ratio (1:15, 1:20 and 1:25) on the yield and degree of esterification (DE) of pectin extracted from fava bean hull by microwave irradiation were investigated. The response surface methodology (RSM) using the Box-Behnken design was used to optimize the extraction conditions.

**Results:** The results indicated that the extraction yield and DE of the extracted pectins were 1.01- 21.02% and 6.44- 39.23%, respectively. By increasing the microwave power, irradiation time, solid-to-liquid ratio and reducing the pH, the extraction yield of pectin increased, while DE decreased. The optimum conditions to reach the maximum extraction yield and DE were microwave power of 719.99 W, irradiation time of 1 min, pH 2.99, and the solid-to-liquid ratio of 1:25, which resulted in extraction yield of % 14.48 and DE of %28.25. On the other hand, the highest stability of the pectin-stabilized emulsion was at 4 °C and after one day. According to results of DE measurement, fava bean hull pectins belonged to low ester pectins. However, FT-IR spectrum revealed that this polysaccharide might belong to high-methoxyl (HM) pectins. The results of rheological test of bean pod pectin (obtained from optimal extraction conditions) showed a viscoelastic behavior at both dispersion concentrations (0.5% and 1.5%). Moreover, the apparent viscosity of samples remained constant with increasing the shear rate (showing the Newtonian flow behavior). FT-IR results also confirmed the presence of pectin structures in the extracted samples. It was found that bean pod pectin was able to produce gels with suitable firmness and high brightness index.

**Conclusion:** According to the results of this study, it was concluded that faba bean pods contain a significant amount of pectin that can be used on a commercial scale. Also, microwaves could be applied as a novel high-

---

efficient method to extract pectin from faba bean hulls. It was also found that microwave energy could be used as a novel high-efficiency method to extract pectin from food waste.

---

Cite this article: Habibpour, P., Ansari, S., Vazirizadeh, A. 2022. Microwave-assisted extraction of pectin from Faba bean hulls and evaluation of its Physicochemical properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 13 (4), 1-22.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJFPP.2022.18587.1643

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## استخراج پکتین از غلاف باقلا با استفاده از انرژی مایکروویو و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن

پریسا حبیب پور<sup>۱</sup> | سارا انصاری<sup>۲\*</sup> | امیر وزیری زاده<sup>۳</sup>

۱. گروه علوم و صنایع غذایی، موسسه غیر انتفاعی خرد، بوشهر، ایران.

۲. گروه علوم و صنایع غذایی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران. رایانامه: ansari@kau.ac.ir

۳. گروه زیست‌شناسی دریا، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> با توجه به نیاز روز افزون به پکتین با ویژگی‌های عملکردی متفاوت جهت استفاده در مواد غذایی مختلف و مفید بودن این ترکیب برای سلامتی انسان، تحقیقات زیادی در جهت یافتن منابع حاوی پکتین و تولید پکتین با ویژگی‌های تکنولوژیکی مطلوب صورت گرفته است. فرآیند غلاف‌زدایی باقلا سبب تولید پوسته معادل ۱۴/۲۸ درصد از وزن کل باقلا خشک می‌گردد که در حال حاضر به‌عنوان ضایعات دور ریخته شده و علاوه بر ایجاد مشکلات زیست محیطی، باعث از دست رفتن منابع غنی از ترکیبات زیست فعال از جمله پکتین خواهد شد.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸ تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۴	<b>مواد و روش‌ها:</b> در این پژوهش به بررسی تأثیر چهار متغیر توان (۳۶۰، ۵۴۰، ۷۲۰ وات)، زمان (۱، ۲/۵ و ۴ دقیقه)، pH (۱، ۲ و ۳) و نسبت مایع به جامد (۱:۱۵، ۱:۲۰ و ۱:۲۵) بر میزان راندمان و درجه استریفیکاسیون پکتین‌های استخراج شده از غلاف باقلا به‌کمک انرژی مایکروویو پرداخته شد. از روش سطح پاسخ و طرح باکس-بنکن به‌منظور بهینه‌سازی شرایط استخراج استفاده گردید.
واژه‌های کلیدی: غلاف باقلا پکتین استخراج با کمک انرژی مایکروویو خصوصیات فیزیکوشیمیایی بهینه‌سازی	<b>یافته‌ها:</b> مطابق با نتایج، راندمان استخراج و درجه استریفیکاسیون پکتین‌های استخراج شده به‌ترتیب در دامنه ۱/۰۱ تا ۲۱/۰۲ درصد و ۶/۲۴ تا ۳۹/۲۳ درصد متغیر بود. به‌علاوه با افزایش توان، زمان، نسبت مایع به جامد و کاهش pH، راندمان استخراج پکتین افزایش یافت؛ در حالی که درجه استریفیکاسیون در این شرایط کاهش یافت. شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان و درجه استریفیکاسیون در توان ۷۱۹/۹۹ وات، زمان ۱ دقیقه، pH برابر با ۲/۹۹ و نسبت مایع به جامد ۱:۲۵ بوده که در این شرایط پاسخ‌های فوق به‌ترتیب برابر با ۱۴/۴۸ و ۲۸/۲۵ درصد پیش‌بینی شدند. از طرفی بیشترین پایداری امولسیون در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و بعد از یک روز بود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری درجه استریفیکاسیون نشان داد که پکتین غلاف باقلا جز پکتین‌های کم‌استر محسوب می‌شود؛ درحالی‌که بر مبنای نتایج طیف FT-IR این پلی‌ساکارید احتمالاً از نوع پکتین با درجه متوکسیل بالا بود. نتایج آزمون رئولوژیکی حاصل از پکتین غلاف باقلا در شرایط بهینه نشان داد که دیسپرسیون پکتین غلاف باقلا در هر دو غلظت (۰/۵ و ۱/۵ درصد) رفتار ویسکوالاستیک داشت؛ به‌طوری‌که در ابتدا رفتار الاستیک و سپس رفتار ویسکوز نشان دادند. همچنین، با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری تغییری نکرده و رفتار نیوتنی مشاهده شد. نتایج FT-IR نیز وجود ساختار پکتین در نمونه‌های استخراجی را تایید کرد.

---

همچنین پکتین حاصل از غلاف باقلا، قادر به تولید ژل با درجه سفتی مناسب و روشنایی بالا بود.

**نتیجه گیری:** بر مبنای نتایج این تحقیق، غلاف باقلا دارای مقادیر مناسبی پکتین مناسب برای کاربرد تجاری می‌باشد و می‌توان از انرژی مایکروویو به عنوان یک روش نوین با کارایی بالا برای استخراج پکتین از ضایعات مواد غذایی استفاده نمود.

---

استناد: حبیب‌پور، پ.، انصاری، س.، وزیریزاده، الف. (۱۴۰۰). استخراج پکتین از غلاف باقلا با استفاده از انرژی مایکروویو و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۳ (۴)، ۱-۲۲.

DOI: 10.22069/EJFPP.2022.18587.1643



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

---

(۱۵ تا ۲۰ درصد) و چغندر قند (۱۵ تا ۳۰ درصد) استحصال می‌شود (۲۵). با این حال، فرآورده‌های جانبی دیگر نظیر تفاله گوجه فرنگی (۷/۵ تا ۳۲ درصد)، پوست هندوانه (۱۹ تا ۲۱ درصد)، پوست موز (۹ درصد)، تفاله هویج (۵ تا ۱۵/۲ درصد)، پوست انبه (۱۷/۱۵ درصد)، ضایعات کدو (۷/۴ درصد)، پوست گل ساعت (۱۰ تا ۱۲/۲۷ درصد) و غیره نیز به‌عنوان منبع بالقوه پکتین مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۳۵، ۱۰، ۲۳). در میان منابع مختلف پکتین، پکتین چغندر قند به‌دلیل بسیاری از عوامل مانند ساختارهای پلی ساکاریدی بسیار منشعب، محتوای بالای گروه‌های استیل آبگریز بر روی زنجیره گالاکتورونیک اسید و بخشی پروتئینی، خواص امولسیون‌ی بسیار خوبی نشان داده است (۲۵). با توجه به اینکه پکتین استخراج شده از منابع مختلف، بر اساس نوع مصرف، ممکن است خصوصیات منحصر به فردی داشته باشند، لذا تحقیقات برای یافتن منابع جدید پکتین و مطالعه خصوصیات آن‌ها همچنان ادامه دارد.

باقلا گیاه لگوم یک ساله است که از نظر گیاه‌شناسی با نام علمی *Vicia faba L.* و از تیره نخود (*Fabaceae*) شناخته می‌شود (۳۱). این دانه دارای پروتئینی با ارزش فیزیولوژیکی بالا می‌باشد که بخش بزرگی از جمعیت انسانی در کشورهای در حال توسعه، از آن به‌عنوان منبع پروتئین استفاده می‌کنند (۲، ۳۱). فرآیند غلاف‌زدایی باقلا سبب تولید پوسته به میزان ۱۴/۲۸ درصد از وزن کل باقلا خشک می‌شود که در حال حاضر به‌عنوان ضایعات دور ریخته شده و یا برای خوراک دام استفاده می‌شود؛ در حالیکه، این ضایعات دارای ترکیبات مغذی و ارزشمند می‌باشند (۱۹). با وجود اینکه میزان پکتین تولیدی از غلاف باقلا کمتر از میوه‌های غنی از پکتین است، می‌توان از پکتین تولیدی از غلاف باقلا استفاده

پکتین هتروپلی ساکاریدی است که از دیواره سلول‌های گیاهی استخراج می‌شود و از زنجیره‌های خطی اسید دی گالاکتورونیک (Gala) اتصال یافته به قندهای خنثی مانند ال-رامنوز<sup>۱</sup>، ال-آرابینوز<sup>۲</sup>، دی-زایلوز<sup>۳</sup> و دی-گالاکتوز<sup>۴</sup> تشکیل شده است (۱۹). بسته به درجه استری شدن اسید گالاکتورونیک، پکتین تجاری به دو گروه پکتین با متوکسیل بالا<sup>۵</sup> (درجه استریفیکاسیون < ۵۰ درصد) و پکتین با متوکسیل پایین<sup>۶</sup> (درجه استریفیکاسیون > ۵۰ درصد) تقسیم می‌شود (۳۵، ۱۲). روش استخراج پکتین یک فرآیند فیزیکوشیمیایی است که در آن مولکول‌های پکتین از دیواره‌های سلول و لایه میانی بافت‌های گیاه هیدرولیز و محلول می‌شوند، این روش در درجه‌ی اول بر روی شکستن پیوندهای بین پکتین و سایر ترکیبات با کمترین آسیب به ساختار شیمیایی پکتین تأثیر دارد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پکتین تحت تأثیر شرایط استخراج و منبع گیاه قرار دارد (۱۹). روش معمول استخراج پکتین بر پایه قرارگیری بافت‌های گیاهی در معرض محلول‌های اسیدی رقیق در دماهای خاص برای دوره‌های زمانی معین است (۳۳). به‌دلیل خواص ژل‌کنندگی، امولسیون‌کنندگی و غلیظ‌شوندگی پکتین بطور گسترده به‌عنوان یک افزودنی ضروری در تولید بسیاری از محصولات غذایی و دارویی بکار می‌رود (۱۲، ۳۲). علاوه‌براین، مشخص شده است که پکتین دارای اثرات درمانی متعددی مانند کاهش چربی خون، پیشگیری از سرطان، درمان چاقی و یبوست است (۱۹). امروزه به‌صورت تجاری پکتین از پوست مرکبات (۲۵ تا ۳۰ درصد)، تفاله سیب

1. *L- Rhamnose*
2. *L- Arabinose*
3. *D- Xylose*
4. *D- Galactose*
5. High Methoxyl Pectin (HM)
6. Low Methoxyl Pectin (LM)

تجاری نموده و بخشی از نیاز کشور به پکتین را تأمین کرد.

روش متداول برای استخراج پکتین، استفاده از آب داغ اسیدی شده با یک اسید معدنی می‌باشد، که قدرت بالای اسید منجر به تخریب پکتین موجود در بافت، خوردگی تجهیزات و آسیب به محیط زیست، مصرف مقدار زیاد حلال و بازدهی کمتری می‌شود (۱، ۴، ۱۰). استخراج به کمک انرژی مایکروویو جایگزینی ارزان، ساده و مناسب برای روش‌های قدیمی استخراج است که دارای مزایایی از جمله زمان فرایند کوتاه‌تر، حلال کمتر، بازدهی بالاتر استخراج و محصولات با کیفیت بهتر و در عین حال با هزینه تولید کمتر می‌باشد (۱۰). مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از مایکروویو منجر به شکسته شدن ساختار سلول و در نتیجه بهبود کیفیت و کمیت پکتین استخراج شده می‌گردد. استخراج به کمک انرژی مایکروویو بطور گسترده‌ای جهت استخراج پکتین از پسماندهای گیاهی مختلف نظیر پوست بادنجان (۱۳۴)، پوست سبز پسته (۱۵) و پوست میوه جک<sup>۱</sup> (۱۸) مورد مطالعه و بکار برده شده است. نتایج حاصل از پکتین پوست بادنجان و پوست سبز پسته نشان داد که با افزایش توان، افزایش زمان پرتودهی و کاهش pH راندمان استخراج پکتین افزایش و درجه استریفیکاسیون کاهش یافته است (۱۴، ۱۵). همچنین نتایج مطالعه انجام شده بر روی پوست میوه جک حاکی از آن بود که افزایش توان و زمان تأثیر مثبتی بر راندمان استخراج داشته است (۱۸). اخیراً شمس و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر توان (۱۶۰، ۳۲۰، ۴۸۰ و ۶۴۰ وات) و زمان اشعه‌دهی (۳، ۶، ۹ و ۱۲ دقیقه) در pH (۱/۵) و نسبت جامد: مایع (۱:۲۰) گرم در میلی لیتر) بر استخراج پکتین از پوست خشک باقلا به کمک انرژی مایکروویو پرداختند (۳۰). برخی

محققین از روش سطح پاسخ<sup>۲</sup> (RSM) برای بهینه‌سازی استخراج پکتین به کمک انرژی مایکروویو استفاده کرده‌اند. بر مبنای نتایج کاظمی و همکاران (۲۰۱۹) شرایط بهینه استخراج پکتین با کمک مایکروویو از پوست سبز پسته (بازدهی استخراج ۱۸/۱۳ درصد) در توان مایکروویو ۷۰۰ وات، زمان تابش ۱۶۵ ثانیه و pH برابر ۱/۵ بود. این در حالی است که شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج (۱۸/۸۱ درصد)، میزان گالاکتورونیک اسید (۷۰/۸۱ درصد) و فعالیت امولسیفایری (۲/۶۸ درصد) پکتین حاصل از پوست بادنجان در توان ۳۶۰ وات، زمان ۴ دقیقه و pH برابر ۱ گزارش شده بود (۱۵).

هدف از این پژوهش بهینه‌سازی استخراج پکتین از غلاف باقلا برای دستیابی به حداکثر راندمان و درجه استری با استفاده از روش سطح پاسخ می‌باشد. در ادامه نیز خصوصیات فیزیکوشیمیایی پکتین استخراجی در شرایط بهینه مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

**تولید پودر غلاف باقلا:** باقلا تازه (*Vicia faba L.*) از بازار محلی در کازرون تهیه شد. غلاف و پوست دانه‌های باقلا به مدت چند روز در سایه خشک گردیدند تا به وزن ثابت برسند. غلاف‌های خشک شده با استفاده از یک آسیاب برقی (مدل Siemens، آلمان) پودر شده و با مش شماره ۲۰ الک گردید. پودر بدست آمده در کیسه‌های پلی اتیلنی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای انجام آزمایشات بعدی نگهداری شد. کلیه مواد شیمیایی، حلال‌ها و استانداردهای مصرفی از شرکت مرک (آلمان) با درجه خلوص تجزیه‌ای تهیه شدند.

**استخراج پکتین:** استخراج پکتین از غلاف باقلا به روش مایکروویو و با استفاده از روش حسینی و

تیترا شد و حجم سود مصرف شده به عنوان  $V_1$  ثبت گردید. به محلول خنثی شده در مرحله اول تیتراسیون ۱۰ میلی لیتر سود ۰/۱ مولار اضافه گردید و به مدت ۲ ساعت بر روی همزن مغناطیسی هم زده شد تا پکتین حالت صابونی پیدا کند. ۱۰ میلی لیتر اسید هیدروکلریک ۰/۱ مولار به آن اضافه شد و مجدداً اسید اضافی با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به همان نقطه پایانی تیترا شد و حجم سود مصرفی به عنوان  $V_2$  یادداشت گردید. درصد استری شدن با توجه به رابطه ۲ محاسبه گردید (۱۰).

$$\text{DE (\%)} = \frac{V_2}{(V_1 + V_2)} \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

**اندازه گیری ویژگی های امولسیون کنندگی:** فعالیت امولسیفایری<sup>۱</sup> و پایداری امولسیون<sup>۲</sup> با استفاده از روش دالو و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۹۵) با اعمال تغییرات جزئی انجام شد. برای جلوگیری از رشد باکتری ها به مخلوط ۵ میلی لیتر محلول پکتین ۰/۵ درصد و ۵ میلی لیتر روغن آفتاب گردان، ۰/۰۲ درصد سدیم آزید اضافه شد. در مرحله بعد نمونه ها با هموزنایزر (مدل JKA، آلمان) با ۵۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) به مدت ۴ دقیقه مخلوط گردیدند. سپس امولسیون ایجاد شده به مدت ۵ دقیقه، در ۵۰۰۰ دور بر دقیقه (rpm) سانتریفیوژ شد. فعالیت امولسیونی با توجه به رابطه ۳ محاسبه گردید (۷). در این معادله، EA فعالیت امولسیون کنندگی، ELV حجم لایه امولسیون شده و Wv حجم کل محلول می باشد.

$$\text{EA (\%)} = \frac{ELV}{Wv} \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

برای اندازه گیری پایداری امولسیون (ES)، نمونه به روش بالا تهیه و در ۴ لوله سانتریفیوژ ۱۰ میلی لیتری ریخته شد. برای اندازه گیری پایداری امولسیون در دماهای پایین، دو لوله در دمای ۴ درجه

همکاران (۲۰۱۶) با اندکی تغییر انجام پذیرفت. پودر غلاف باقلا در نسبت های جامد به مایع مختلف (۱:۱۵، ۱:۲۰ و ۱:۲۵ نسبت حجمی:وزنی) با آب مقطر دیونیزه مخلوط شد. از محلول اسید سبتریک ۹۰ درصد برای تنظیم pH (۱، ۲ و ۳) استفاده گردید. فرایند استخراج در آن مایکروویو (مدل LG، کره جنوبی) و در ترکیب های مختلف زمان (۱، ۲/۵ و ۴ دقیقه) و توان (۳۶۰، ۵۴۰ و ۷۲۰ وات) مطابق با جدول ۱ انجام گرفت. پس از استخراج به وسیله مایکروویو، ذرات معلق و ناخالصی های غیر قابل حل توسط سانتریفیوژ (مدل Hettich، آلمان) با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه جداسازی شد. سپس محلول پکتین به وسیله اتانول ۹۶ درصد (به نسبت یک به یک) رسوب داده شد و پس از نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت، پکتین مرطوب حاصل، ۲ مرتبه با اتانول ۹۶ درصد شستشو داده شد و نهایتاً به وسیله آن در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید (۱۰).

**تعیین بازدهی استخراج پکتین:** بازده تولید پکتین با توجه به رابطه ۱ محاسبه شد که در این معادله M وزن پکتین خالص و  $M_0$  وزن پودر خشک پوست باقلا می باشد (۲۰).

$$\text{رابطه ۱.} \quad (\%) \text{ بازدهی} = \frac{M}{M_0} \times 100$$

**تعیین درجه استریفیکاسیون:** در این مطالعه، درجه استریفیکاسیون پکتین با استفاده از روش تیتراسیون (۱۰) با اندکی تغییر اندازه گیری شد. به طور خلاصه ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به محلول ۰/۲ گرم پکتین در ۲ میلی لیتر اتانول ۹۶ درصد اضافه گردید و تا حل شدن کامل در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. سپس با سود ۰/۱ نرمال در حضور فنل فتالین تا ظهور رنگ صورتی کم رنگ

1. Emulsifying activity  
2. Emulsion stability  
3. Dalev et al

اسپکترومتر طیف تبدیل فوریه مادون قرمز پریکن المر (Perkin Elmer Co، آمریکا) با دقت ۴ واحد بر سانتی‌متر (یا 1/cm) و استفاده از قرص پتاسیم برماید در دامنه ۴۵۰ تا ۴۰۰۰ واحد بر سانتی‌متر رسم گردید (۱۶).

**قدرت ژل:** استحکام ژل پکتین به روش کوه و همکاران (۲۰۱۴) با کمی اصلاح اندازه‌گیری گردید. در آماده‌سازی ژل پکتین، محلول پکتین ۱ درصد (وزنی/حجمی) با pH تنظیم شده ۲/۸ و بریکس ۶۳ به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. ژل حاصل با استفاده از آزمون فشردگی به وسیله یک پروپ استوانه‌ای با قطر ۲۵/۴ میلی‌متر (پروپ TA ۱۱/۱۰۰۰) با سرعت فشردن ۱ میلی‌متر بر ثانیه تا ارتفاع ۱۵ میلی‌متر فشرده شد. میزان سفتی ژل براساس واحد گرم نیرو، معادل با گرم نیروی لازم برای شکستن (فشردن) ژل پکتین می‌باشد (۱۸).

**سنجش رنگ ژل پکتین:** شاخص‌های رنگی با استفاده از رنگ‌سنج هانترلب (مدل Minolta، ژاپن) انجام گرفت. نتایج به دست آمده بر اساس شاخص‌های L\* (روشنایی)، a\* (سبزی و قرمزی) و b\* (زردی و آبی) اندازه‌گیری شد (۱۸).

**تجزیه و تحلیل آماری:** در این تحقیق، جهت بررسی تأثیر شرایط استخراج پکتین از غلاف باقلا به کمک مایکروویو از روش سطح پاسخ و طرح باکس-بنکن<sup>۴</sup> استفاده گردید. اثر چهار متغیر مستقل (توان مایکروویو، زمان پرتودهی، pH و نسبت مایع به جامد) در سه سطح، با پنج تکرار در مرکز (برای محاسبه خطا)، بر بازده استخراج پکتین و درجه استریفیکاسیون مورد بررسی قرار گرفت. سطوح هر یک از متغیرهای مستقل و طرح ماتریس مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است.

سانتی‌گراد به مدت ۱ و ۳۰ روز و دو لوله دیگر نیز در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد برای مدت مذکور قرار گرفته و سانتی‌فیوژ شدند. پس از اندازه‌گیری حجم امولسیون باقی‌مانده (VE<sub>i</sub>)، پایداری امولسیون با استفاده از رابطه ۴ بدست آمد (۷) که در این رابطه، ES پایداری امولسیون، VE<sub>r</sub> حجم لایه امولسیون باقی‌مانده و VE<sub>i</sub> حجم لایه امولسیون اولیه می‌باشد.

$$\text{ES (\%)} = \frac{VE_r}{VE_i} \times 100 \quad \text{رابطه ۴}$$

**سنجش ویسکوزیته:** ویسکوزیته محلول پکتین در غلظت‌های مختلف (۰/۵ و ۱/۵ درصد وزنی/حجمی)، بوسیله ویسکومتر چرخشی (مدل Anton Paar، انگلیس) با استفاده از اسپیندل LV در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. برای تحلیل رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها از مدل‌های نیوتنی و قانون توان (N, K, R<sup>2</sup>) استفاده گردید (۲۸). آزمون‌های رئولوژیکی دینامیکی پکتین با استفاده از دستگاه رئومتر برشی یا چرخشی (مدل Anton Paar, MCR 302، انگلیس) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. برای این منظور حدود ۲۰ میلی‌لیتر از هر نمونه به داخل استوانه ویسکومتر ریخته شده و پس از انجام پروسه رفتار محلول، نمودار ویسکوزیته در مقابل نرخ برش رسم گردید. مدول‌های الاستیک (G') و ویسکوز (G'') با استفاده از آزمون نوسانی با دامنه نوسان کم<sup>۱</sup> و در فرکانس‌هایی از ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز اندازه‌گیری شد. قبل از آزمون روبش فرکانس<sup>۲</sup> یک آزمون روبش کرنش<sup>۳</sup> در فرکانس ثابت ۱۰ هرتز انجام شد تا ناحیه ویسکوالاستیک خطی مشخص شود. تمام آزمون‌های نوسانی در مقدار کرنش ۱ درصد که در محدوده ویسکوالاستیک خطی بود انجام گرفت.

**طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه:** در این تحقیق، طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز بوسیله

1. Small amplitude oscillatory test
2. Frequency sweep test
3. Strain sweep test

4. Box-Behnken



**نتایج و بحث**

معنی دار نبودن آزمون عدم برازش برای این شاخص‌ها بوده است (جدول ۲ و ۳). مقادیر بالای ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب تبیین تعدیل شده ( $R^2_{adj}$ ) برای راندمان استخراج (به ترتیب، برابر ۰/۹۶۸۶ و ۰/۹۳۹۶) و درجه استریفیکاسیون (به ترتیب، برابر ۰/۹۶۲۴ و ۰/۸۷۰۵) نشان‌دهنده برازش خوب مدل پیش‌بینی شده با داده‌های تجربی بود.

**تحلیل آماری:** نتایج آزمایشگاهی مربوط به آزمون‌های انجام شده بر روی ۲۹ تیمار استخراجی پکتین از غلاف باقلا در طرح باکس-بنکن در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج مربوط به تحلیل آماری حاکی از معنی‌دار بودن شاخص‌های مدل رگرسیونی مربوط به این پاسخ‌ها در سطح اطمینان ۵ درصد و

جدول ۱ - طرح ماتریس مورد استفاده در این تحقیق و پاسخ‌های مربوط به بازده استخراج و درجه استریفیکاسیون پکتین غلاف باقلا استخراج شده با مایکروویو

Table 1- Matrix design for Faba bean hull pectin extraction by microwave and responses related to extraction yield and degree of esterification

درجه استریفیکاسیون (%) DE (%)	بازدهی (%) Yield (%)	نسبت مایع به جامد (D) (حجمی/وزنی) Liquid to solid ratio (V/W)	pH (C)	زمان (B) (دقیقه) Time (min)	توان (A) (وات) Power (W)	تیمارها Run
29.16	2.14	1:20	3	2.5	720	1
39.23	1.16	1:20	3	1	540	2
27.53	2.81	1:15	3	2.5	540	3
35.41	1.01	1:20	3	2.5	360	4
26.42	3.95	1:20	3	4	540	5
13.69	12.30	1:20	2	4	720	6
12.13	13.69	1:20	2	2.5	540	7
19.46	9.19	1:15	2	2.5	360	8
10.91	14.32	1:20	2	2.5	540	9
11.25	14.67	1:20	2	2.5	540	10
16.35	6.40	1:15	2	1	540	11
14.49	11.62	1:25	2	4	540	12
13.19	12.01	1:20	2	1	720	13
18.32	12.40	1:15	2	4	540	14
18.24	9.97	1:15	2	2.5	720	15
10.16	14.85	1:20	2	2.5	540	16
12.37	13.08	1:25	2	2.5	360	17
18.16	9.27	1:25	3	2.5	540	18
9.39	17.02	1:25	2	2.5	720	19
8.98	19.77	1:15	1	2.5	540	20
15.33	10.97	1:25	2	1	540	21
10.31	15.03	1:20	2	4	360	22
10.35	14.89	1:20	1	2.5	360	23
6.44	21.02	1:20	1	4	540	24
14.66	11.60	1:20	2	1	360	25
8.01	19.18	1:20	1	2.5	720	26
9.83	17.61	1:25	1	2.5	540	27
28.56	3.31	1:20	1	1	540	28
12.85	13.73	1:20	2	2.5	540	29

جدول ۲ - آنالیز واریانس بازده استخراج پکتین از غلاف باقلا با انرژی مایکروویو

Table 2- Analysis of variance (ANOVA) for the extraction yield of pectin from Faba bean hull by microwave energy

p- Value	F- Value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Df	مجموع مربع Sum of squares	منبع Source
< 0.0001	33.41	67.66	12	811.94	مدل (Model)
0.0234	6.59	13.35	1	13.35	A- توان (Power)
0.0005	20.81	42.15	1	42.15	B- زمان (Time)
< 0.0001	239.26	484.50	1	484.50	pH -C
0.0020	14.90	30.18	1	30.18	D- نسبت مایع / جامد (liquid/solid)
0.0002	25.46	51.56	1	51.56	AB
< 0.0001	41.88	84.80	1	84.80	BC
0.0827	3.53	7.16	1	7.16	BD
0.0097	9.17	18.58	1	18.58	CD
0.0032	12.98	26.28	1	26.28	A <sup>2</sup>
< 0.0001	54.72	110.81	1	110.81	B <sup>2</sup>
0.0003	23.91	48.42	1	48.42	C <sup>2</sup>
0.0934	3.28	6.64	1	6.64	D <sup>2</sup>
-	-	2.02	13	29.33	باقی مانده (Residual)
0.204	2.95	2.80	9	25.20	عدم برازش (Lack of Fit)
-	-	0.28	4	4.13	خطای خالص (Pure Error)
-	-	-	25	838.26	کل (Cor Total)
-	-	0.9686	-	-	ضریب تبیین (R <sup>2</sup> ) (R-Squared)
-	-	0.9396	-	-	ضریب تبیین تعدیل شده (R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> ) (Adj R-Squared)
-	-	0.8230	-	-	ضریب تبیین پیش بینی شده (R <sup>2</sup> <sub>pre</sub> ) (Pred R- Squared)
-	-	20.358	-	-	میزان تکرارپذیری (Adeq Precision)

شده در زیر آمده است. در این معادلات A: توان، B:

زمان، C: pH و D: نسبت مایع به جامد می باشد.

$$\text{Yield (\%)} = 14.25 + 1.19A + 2.37B - 7.02C + 1.59D - 7.33AB - 5.94BC - 1.34BD + 2.15CD - 2.50A^2 - 5.56B^2 - 3.00C^2 + 1.11D^2.$$

$$\text{DE (\%)} = 11.46 - 1.64A - 3.42B + 11.41C - 4.75D + 3.42AB - 2.39BC - 4.06BD - 6.13CD + 2.37A^2 + 1.18B^2 + 7.43C^2 + 0.66D^2.$$

با استفاده از تحلیل رگرسیونی چندگانه بر روی

داده های آزمایشی بدست آمده، معادلات درجه دوم

پیش بینی شده به منظور مطالعه روابط متقابل میان

متغیرها و پاسخ های مربوط به عملکرد استخراج و

درجه استریفیکاسیون تبیین گردید که به صورت کد

استخراج پکتین از غلاف باقلا با استفاده از... / پریسا حبیب پور و همکاران

جدول ۳- آنالیز واریانس درجه استریفیکاسیون پکتین غلاف باقلا استخراج شده با مایکروویو

Table 3- Analysis of variance (ANOVA) for the degree of estrefication of Faba bean hull pectin extracted by microwave energy

p- Value	F- Value	مربع معنی دار Mean square	Df	مجموع مربع Sum of squares	منبع Source
< 0.0001	52.22	139.79	12	1677.43	مدل (Model)
0.0087	9.79	26.22	1	26.22	A- توان (Power)
0.0002	27.07	72.46	1	72.46	B- زمان (Time)
< 0.0001	384.58	1029.45	1	1029.45	pH -C
< 0.0001	70.01	187.40	1	187.40	D- نسبت مایع / جامد (liquid/solid)
0.0076	10.24	27.41	1	27.41	AB
0.0443	5.05	13.51	1	13.51	BC
0.0021	15.20	40.69	1	40.69	BD
< 0.0001	34.15	91.40	1	91.40	CD
0.0055	11.43	30.59	1	30.59	A <sup>2</sup>
0.1558	2.29	6.14	1	6.14	B <sup>2</sup>
< 0.0001	106.00	283.74	1	283.74	C <sup>2</sup>
0.4011	0.76	2.03	1	2.03	D <sup>2</sup>
-	-	2.68	12	32.12	باقی مانده (Residual)
0.1423	3.14	3.46	8	27.70	عدم برازش (Lack of Fit)
-	-	1.10	4	4.42	خطای خالص (Pure Error)
-	-	-	24	1709.55	کل (Cor Total)
-	-	0.9812	-	-	ضریب تبیین (R <sup>2</sup> ) (R-Squared)
-	-	0.9624	-	-	ضریب تبیین تعدیل شده (R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> ) (Adj R-Squared)
-	-	0.8705	-	-	ضریب تبیین پیش بینی شده (R <sup>2</sup> <sub>pre</sub> ) (Pred R- Squared)
-	-	25.881	-	-	میزان تکرارپذیری (Adeq Precision)

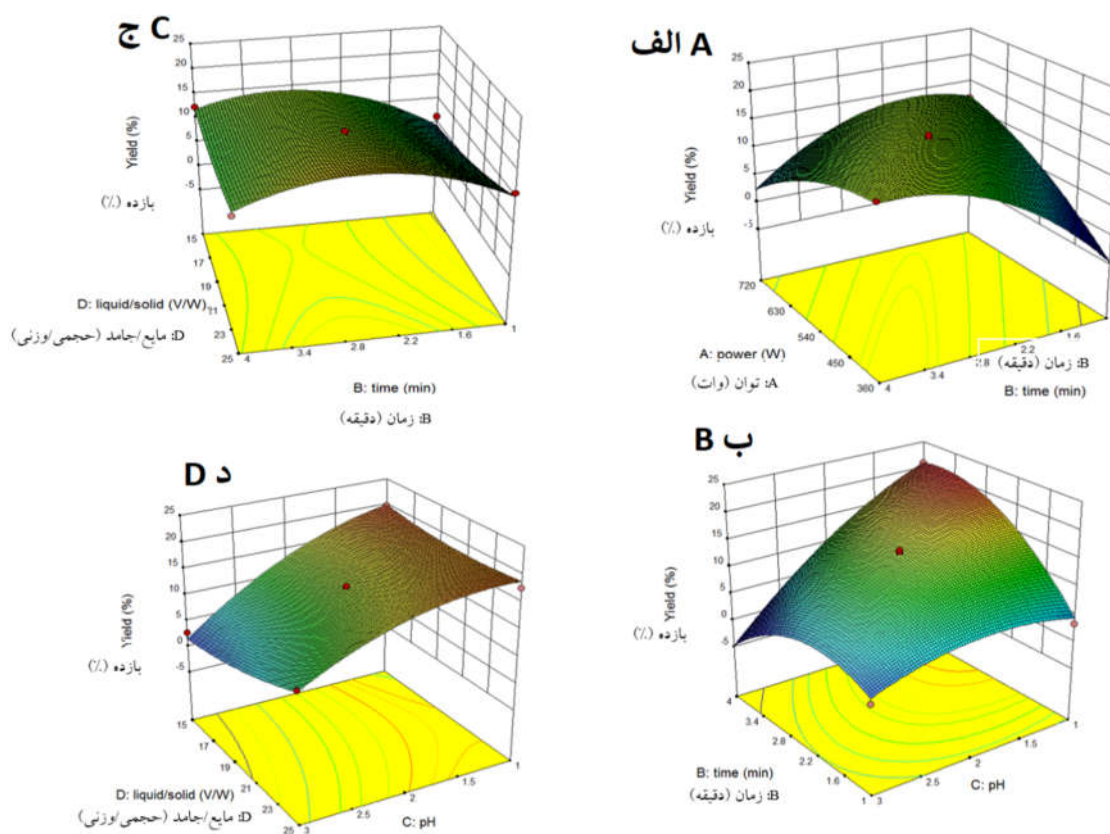
شاخص‌های مهم و کلیدی می‌باشد که هم در کیفیت و هم در کمیت پکتین استخراجی نقش مهمی دارد (۱۵). در ابتدا با افزایش توان مایکروویو، راندمان استخراج پکتین افزایش یافت. این حالت به افزایش انرژی جذب شده توسط ماتریس گیاه و تخریب ساختار پکتین و در نتیجه تسهیل آزادسازی آن نسبت داده می‌شود (۴). اما در ادامه، با افزایش بیشتر توان راندمان کاهش یافته است (شکل ۱). محققین علت

اثر شرایط مختلف استخراج بر راندمان استحصال پکتین: نتایج استخراج پکتین به وسیله انرژی مایکروویو در جدول ۱ نشان می‌دهد که راندمان استخراج در دامنه ۱/۰۱ درصد (تیمار ۴) تا ۲۱/۰۲ درصد (تیمار ۲۴) متغیر بوده است. با توجه به جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد که متغیرهای توان، زمان، pH و نسبت مایع به جامد تأثیر معنی‌داری بر راندمان استخراج داشته‌اند. توان مایکروویو یکی از

در پژوهشی که ونگ و همکارانش (۲۰۱۶) و کوریش (۲۰۱۵) در زمینه تفاله سیب و غلاف باقلا انجام دادند، به نتایج یکسانی دست یافتند (۳۴، ۱۹). از متغیرهای موثر دیگر می‌توان به زمان پرتودهی (شکل ۱) اشاره کرد که با افزایش مدت زمان تابش، عملکرد استخراج افزایش یافت. با این وجود، افزایش بیشتر زمان منجر به کاهش بازدهی گردید. این امر می‌تواند به علت تخریب ساختار پکتین به الیگوساکاریدهای آن باشد (۴). کوریش (۲۰۱۵) و شمس و همکاران (۲۰۲۰) به نتایج مشابهی در زمینه استخراج پکتین از غلاف باقلا به روش اسیدی و انرژی مایکروویو اشاره داشتند (۱۹ و ۳۰).

این امر را شکسته شدن بیشتر ساختار پکتین در توان‌های بالا عنوان کردند (۱۸). نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر با گزارش‌های موجود در زمینه گریپ‌فروت، پوست میوه جک و پوست پرتقال مطابقت داشت (۴، ۱۸، ۲۱).

pH یکی دیگر از عوامل بسیار موثر و تأثیرگذار بر راندمان پکتین می‌باشد و انتخاب pH مناسب برای رسیدن به حداکثر بازدهی امر بسیار مهمی است. شکل ۱ نشان می‌دهد که pH رابطه معکوسی با راندمان استخراج دارد و عملکرد استخراج پکتین با کاهش pH، به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. هر چه اسیدیته محیط بیشتر شود، هیدرولیز پکتین نامحلول بیشتر و در نتیجه بازدهی پکتین افزایش می‌یابد (۱۰).



شکل ۱- اثرات متغیرهای مستقل توان و زمان (الف)، pH و زمان (ب)، زمان و نسبت مایع به جامد (ج) و pH و نسبت مایع به جامد (د) بر بازدهی استخراج پکتین غلاف باقلا

Figure 1- The effects of independent variables, including microwave power and extraction time (a), pH and extraction time (b), extraction time and Liquid-to-solid ratio (c), and pH and Liquid-to-solid ratio (d) on the extraction yield of Fava bean hull pectin.

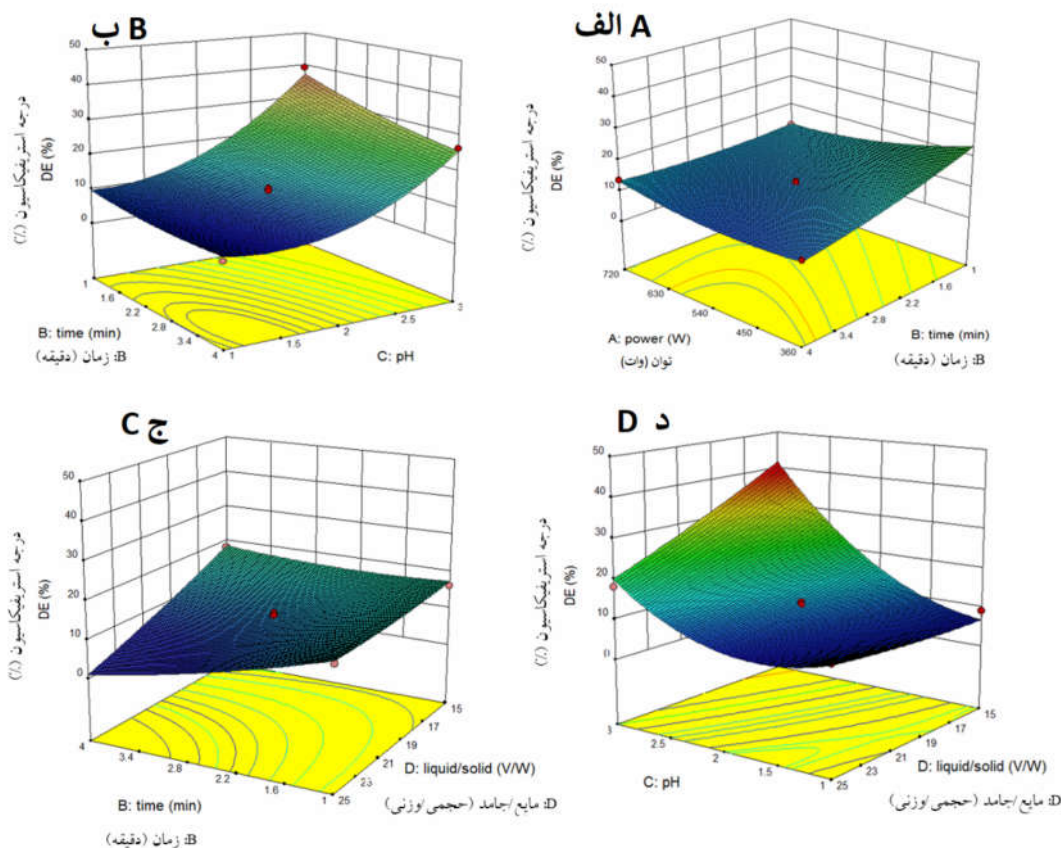
عامل زمان و نسبت مایع به جامد یکی دیگر از متغیرها می‌باشند که اثر معکوس و معنی‌دار ( $P < 0/01$ ) بر درجه استریفیکاسیون دارند. به عبارتی با افزایش مدت زمان و نسبت مایع به جامد، درجه استریفیکاسیون کاهش یافته است (شکل ۲). پژوهشگران علت کاهش درجه استریفیکاسیون را افزایش استرزدایی زنجیره‌های اسید پلی‌گالاکتورونیک می‌دانند (۱۳). با توجه به تحقیق مشابه کوریش (۲۰۱۵) در زمینه استخراج پکتین از غلاف باقلا به روش اسیدی، نشان داده شد که کاهش زمان و افزایش pH باعث افزایش درجه استریفیکاسیون پکتین شده؛ اما، افزایش نسبت مایع به جامد تأثیر چندانی نداشته است (۱۹). همچنین با توجه به نتایج می‌توان دریافت نمود که پکتین غلاف باقلا جزء پکتین‌های کم استر می‌باشد که می‌توان از آن در محصولات کم‌کالری مانند ژله‌های رژیمی، مربا کم‌کالری و محصولات شیرینی ژله‌ای استفاده نمود (۱۲). در پژوهش مشابه که توسط شمس و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد درجه استریفیکاسیون پکتین جدا شده از غلاف باقلا در محدوده ۴۲/۴۲ تا ۷۶/۸۶ درصد و جزء پکتین‌هایی با درجه استری بالا طبقه‌بندی شد (۳۰). این تفاوت در نتایج می‌تواند به علت تفاوت در روش انجام آزمون و واریته مورد استفاده باشد. محققین زیادی نیز بیان کردند که نتایج درجه استریفیکاسیون بسته به ماهیت ماده استخراجی و شرایط استخراج متفاوت است (۹). چنان که در ارتباط با پکتین تفاله سیب، منبع معمول تولید پکتین، درجه استریفیکاسیون مختلفی از ۲۲/۱۵ تا ۵۲/۵۱ درصد (۲۲)، ۵۸ تا ۶۹ درصد (۲۶) و ۶۶/۱۰ تا ۸۲/۲۱ درصد (۳۷) گزارش شده است. طبق تحقیقات یاپو (۲۰۰۹) درجه استریفیکاسیون پکتین استخراج شده به روش اسیدی از میوه پشن<sup>۱</sup> ۵۴ تا ۵۹ درصد

همچنین افزایش متغیر نسبت مایع به جامد (شکل ۱) منجر به افزایش عملکرد پکتین شد؛ اما افزایش بیشتر نسبت مایع به جامد تا ۱:۲۵ باعث کاهش بازدهی گردید. علت این امر می‌تواند مربوط به افزایش بیش از حد نسبت مایع به جامد باشد که منجر به کاهش جذب و انتقال انرژی میکروویو شده، پارگی مواد دیواره سلولی و انتقال جرم را به‌طور مخربی تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه بازدهی پکتین کاهش می‌یابد (۲۴). نتایج اثر متقابل توان و زمان بر بازدهی پکتین در پژوهش حاضر با نتایج تحقیق شمس و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت داشته است (۳۰).

**اثر شرایط مختلف استخراج بر درجه استریفیکاسیون:** همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، میزان درجه استریفیکاسیون پکتین حاصل از غلاف باقلا در دامنه ۶/۴۴ درصد (تیمار ۲۴) تا ۳۹/۲۳ درصد (تیمار ۲) تغییر نمود. با توجه به جدول ۳، اثر زمان، توان، pH و نسبت مایع به جامد بر درجه استریفیکاسیون معنی‌دار ( $P < 0/01$ ) شد. شایان ذکر است که متغیر pH نسبت به سایر متغیرها از اهمیت بیشتری برخوردار بوده است و این متغیر رابطه مستقیمی با درجه استریفیکاسیون داشت (شکل ۲). توان میکروویو یکی دیگر از عوامل موثر و معنی‌دار ( $P < 0/01$ ) بر درجه استریفیکاسیون می‌باشد که با توجه به شکل ۲، افزایش توان در ابتدا موجب افزایش درجه استریفیکاسیون شده و در ادامه با افزایش توان درجه استری کاهش یافته است. این امر به این علت است که توان استخراج از یک طرف با افزایش تحرک مولکولی در درون ماده غذایی و افزایش گرادیان دمایی از درون به سطح سبب آزاد شدن مولکول‌ها و بهبود راندمان استخراج می‌شود و از طرف دیگر با افزایش سرعت هیدرولیز پیوندهای استری در اثر افزایش توان و زمان می‌تواند درجه استریفیکاسیون را کاهش دهد (۱۰).

همین منبع پکتین گزارش کردند (۱۷).

بوده است (۳۶)؛ در حالی که کلیمان و همکاران (۲۰۰۹) درجه استریفیکاسیون ۴۵/۹۴ درصد را برای



شکل ۲- اثر متغیرهای مستقل توان و زمان (الف)، pH و زمان (ب)، زمان و نسبت مایع به جامد (ج) و نسبت مایع به جامد بر درجه استریفیکاسیون پکتین غلاف باقلا

Figure 2-The effects of independent variables, including microwave power and extraction time (a), pH and extraction time (b), extraction time and Liquid-to-solid ratio (c) and pH and Liquid-to-solid ratio (d) on the degree of esterification of Fava bean hull pectin.

بالاترین راندمان استخراج مربوط به شرایط بهینه استخراج بوده، در حالی که درجه استریفیکاسیون در این شرایط در بیشترین حد خود نبوده است.

تعیین ویژگی‌های امولسیفایری در شرایط بهینه: در این پژوهش، نتایج فعالیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون حاصل از روغن و محلول ۰/۵ درصدی پکتین استخراج شده در شرایط بهینه در جدول ۴ آمده است. میزان فعالیت امولسیون‌کنندگی پکتین استخراجی از غلاف باقلا در شرایط بهینه برابر با  $41 \pm 1/41$  درصد بوده است که این مقدار تقریباً مشابه با نتایج پکتین پوست نارنج برابر با ۴۰/۷ درصد

بهینه‌سازی شرایط استخراج: شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج و درجه استریفیکاسیون در توان ۷۱۹/۹۹ وات، مدت زمان ۱ دقیقه، pH برابر با ۲/۹۹ و نسبت مایع به جامد ۱:۲۵ بوده است. در این شرایط راندمان استخراج  $29/85 \pm 0/62$  و درجه استریفیکاسیون  $15/30 \pm 0/45$  بدست آمده است که نزدیکی این نتایج به مقادیر پیش‌بینی شده حاکی از صحت نتایج می‌باشد. همچنین نتایج بهینه‌سازی راندمان استخراج و درجه استریفیکاسیون نشان داد که بین میزان بازدهی و درجه استریفیکاسیون رابطه مستقیمی وجود ندارد، زیرا

## استخراج پکتین از غلاف باقلا با استفاده از... / پریسا حبیب پور و همکاران

پکتین پوست بادمجان ۸۲/۵۵ تا ۹۶/۳۶ درصد (۱۶)، پکتین پوسته نارنج ۷۲/۱ تا ۸۳/۴ درصد (۱۰) و پکتین پوسته سبزه پسته ۸۷/۹ تا ۹۲/۵ درصد (۱۵) می باشد. از این نتایج می توان استنباط کرد که پکتین استخراج شده تحت شرایط خاص می تواند یک امولسیون کننده مناسب باشد.

(۱۰)، پکتین تفاله چغندر قند ۴۷/۱ درصد (۳۲) و پکتین غلاف نخود فرنگی ۳۸ درصد (۵) می باشد. علاوه بر این، امولسیون حاصل از پکتین غلاف باقلا در شرایط مطلوب در دمای ۴ درجه سانتی گراد و بعد از ۱ روز بیشترین پایداری (۴/۶۱ ± ۹۴/۱۶ درصد) را داشت. این مقدار مشابه نتایج سایر محققین از جمله

جدول ۴- خصوصیات امولسیفایری محلول ۰/۵ درصد (وزنی/وزنی) پکتین غلاف باقلا استخراج شده در شرایط بهینه

Table 4-Emulsifying properties of solution containing Faba bean hull pectin (0.5%, w/w) extracted in optimum conditions

پکتین (Pectin)	دما (°C) (Temperature)	مدت زمان (Storage time)	فعالیت امولسیون کننده (Emulsion activity (%))
41± 1.41	23	---	فعالیت امولسیون کننده (Emulsion activity (%))
89.87± 5.35	23	بعد از ۱ روز (1 day)	پایداری امولسیون (درصد)
78.99± 1.57	23	بعد از ۳۰ روز (30 day)	Emulsion stability (%)
94.16± 4.61	4	بعد از ۱ روز (1 day)	Emulsion stability (%)
76.57± 5.45	4	بعد از ۳۰ روز (30 day)	Emulsion stability (%)

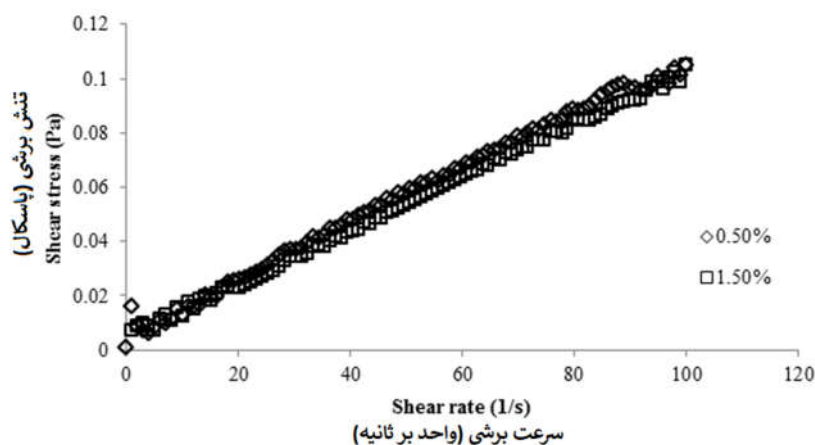
اندازه گیری ویسکوزیته با مدل رئولوژیکی قانون توان حاکی از مقدار یک در شاخص رفتار جریان و ضریب قوام ۰/۰۰۱۱ و ۰/۰۰۱۲ به ترتیب برای محلول های ۰/۵ و ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) پکتین استخراجی از غلاف باقلا در شرایط بهینه بود.

تغییرات مدول های الاستیک  $G'$  و ویسکوز  $G''$  مربوط به آزمون رویش فرکانس محلول های ۰/۵ و ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) پکتین استخراج شده از غلاف باقلا به صورت تابعی از فرکانس زاویه ای در مقدار کرنش ۱ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد، دیسپرسیون پکتین غلاف باقلا در هر دو غلظت رفتار ویسکوالاستیک را نشان داد؛ به طوری که دیسپرسیون فوق در محدوده فرکانس های ۱۳-۰/۱ رادیان بر ثانیه (برای غلظت ۰/۵ درصد) و ۸/۰۱-۰/۱ رادیان بر ثانیه (برای غلظت ۱/۵ درصد) در ابتدا رفتار الاستیک ( $G' > G''$ ) از خود نشان دادند؛ در

اندازه گیری ویسکوزیته در شرایط بهینه: تغییرات ویسکوزیته ظاهری محلول های ۰/۵ و ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی) پکتین استخراج شده از غلاف باقلا در شرایط بهینه بر حسب سرعت برشی (در محدوده یک تا ۱۰۰ یک بر ثانیه) در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در هر دو غلظت، ویسکوزیته ظاهری با افزایش سرعت برشی تغییری نکرد که نشان دهنده رفتار نیوتنی محلول پکتین غلاف باقلا می باشد. همچنین، با افزایش غلظت پکتین در محلول، ویسکوزیته افزایش یافت. در تحقیقات انجام شده بر روی پکتین پوست نارنج و بامیه، رفتار جریان پکتین در غلظت های پایین نیوتنی و با افزایش غلظت به رفتار رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) تغییر پیدا کرد (۱۰، ۶). تغییر رفتار محلول پکتین با افزایش غلظت را می توان مرتبط با شکسته شدن زنجیره های بیوپلیمری و جهت گیری آنها در جهت جریان در تنش های برشی بالاتر دانست. برآزش داده های

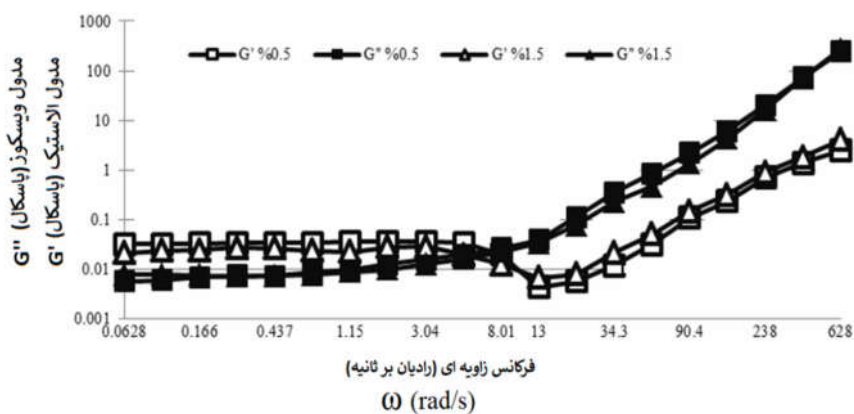
G'' نشانه خوبی از رفتار ویسکوالاستیک یک ماده بوده و نزدیک شدن به حالت ژل را نشان می‌دهد (۶). این نتیجه با گزارش مسیبی و همکاران (۲۷) و چن و همکاران (۶) مطابقت داشت.

فرکانس‌های تقریبی ۱۳ رادیان بر ثانیه (برای غلظت ۰/۵ درصد) و ۸/۰۱ رادیان بر ثانیه (برای غلظت ۱/۵ درصد) بین مدول‌های G' و G'' تقاطع رخ داده و در فرکانس‌های زاویه‌ای بالاتر رفتار ویسکوز (G'' > G') در دیسپرسیون‌ها غالب گردید. در واقع مقادیر G' و



شکل ۳- تنش برشی در برابر سرعت برشی برای محلول پکتین غلاف باقلا در غلظت‌های ۰/۵ و ۱/۵ درصد (وزنی / حجمی) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

Figure 3- Shear stress versus shear rate for Faba bean hull pectin solutions at concentrations of 0.5 and 1.5% (w/v) at 25 °C.



شکل ۴- تغییرات مدول‌های الاستیک G' و ویسکوز G'' با فرکانس زاویه‌ای برای نمونه پکتین غلاف باقلا استخراج شده با مایکروویو در غلظت ۰/۵ و ۱/۵ درصد و در کرنش ۱ درصد و درجه حرارت ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد

Figure 4- Variations of the storage (G') and loss (G'') modulus versus angular frequency for Faba bean hull pectin extracted by microwave (0.5 and 1.5%) at constant strain and temperature of 1% and 25 °C, respectively.

آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۵). ناحیه جذب گسترده بین ۳۳۰۰ تا ۳۵۰۰ بر سانتی‌متر مربوط به اتصالات هیدروژنی درون و بین مولکولی

طیف FTIR در شرایط بهینه: برای بررسی گروه‌های عملکردی پلی‌ساکارید پکتین استخراجی از غلاف باقلا در شرایط بهینه، طیف تبدیل فوریه مادون قرمز

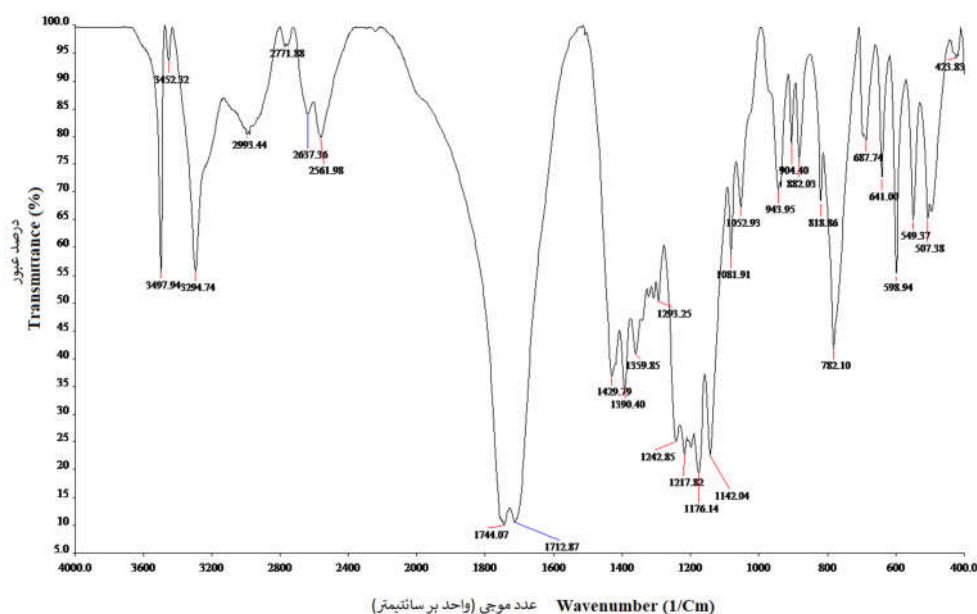


C=O گروه یون کربوکسیلات و ارتعاش کششی C=O گروه استر کربونیل است که می‌تواند در تعیین درجه متوکسیل<sup>۴</sup> مورد استفاده قرار گیرد. نسبت سطح زیر پیک در ۱۷۴۳ بر سانتی‌متر (COO-R) به سطح کل پیک‌ها در ۱۷۴۳ بر سانتی‌متر (COO-R) و ۱۶۳۷ بر سانتی‌متر (COO<sup>-</sup>) به عنوان درجه متوکسیل تعریف می‌گردد (۳۴). در تحقیق حاضر درجه متوکسیل برای پکتین استخراج شده در شرایط بهینه ۴۲ درصد می‌باشد؛ درحالی‌که درجه استریفیکاسیون آن برابر با ۲۹/۸۵ درصد است. در شرایط حاضر و با توجه به درجه متوکسیل گزارش شده برای پکتین غلاف باقلا استخراج شده به روش معمولی (۴۷/۵ تا ۵۴/۶ درصد) که توسط کوریش (۲۰۱۵) صورت گرفت (۱۹) و همچنین نتایج طیف FT-IR می‌توان گفت که پکتین غلاف باقلا در مرز متوکسیل پایین و بالا قرار دارد و احتمالاً تمایل به درجه متوکسیل بالا دارد. این نتایج نیاز به تحقیقات بیشتر و دقیق‌تری در آینده دارد. تحقیقات ناطقی و انصاری (۱۳۹۶) نشان داد که درجه استریفیکاسیون پکتین کلاهدک بادمجان استخراج شده به روش معمولی از ۱۵/۴۳ تا ۵۱/۷۵ درصد متغیر و جز پکتین‌های با درجه استریفیکاسیون پایین بود. طیف FTIR پکتین کلاهدک بادمجان در ناحیه ۱۷۳۱ باند نامتقارن کششی و در ناحیه ۱۳۰۳ باند متقارن کششی ضعیف‌تری داشت که به طیف پکتین باقلا در محدوده ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ نزدیک است (۲۸). طیف جذبی پکتین طالبی و خربزه استخراج شده به روش میکروویو نیز بسیار به نتایج پژوهش حاضر نزدیک است (۱۱).

گروه‌های عاملی OH موجود در قسمت‌های مختلف ساختار پلیمر گالاکتورونیک اسید است (۱۵). پیک ظاهر شده در نوار ۲۸۵۰ تا ۲۹۹۴ بر سانتی‌متر مربوط به ارتعاشات خمشی و کششی گروه‌های CH, CH<sub>2</sub> و CH<sub>3</sub> است (۱۰). به همین ترتیب، پیک ظاهر شده در ۱۷۴۴ cm<sup>-1</sup> مربوط به ارتعاشات کششی گروه CO استر متیل اسید کربوکسیلیک می‌باشد (۳۱). گروه‌های کربوکسیلات دارای دو پیک هستند: ۱- ارتعاشات کششی نامتقارن در ۱۷۱۲ بر سانتی‌متر، ۲- ارتعاشات کششی متقارن ضعیف‌تر در ۱۴۲۹ بر سانتی‌متر. مجموع پیک‌های ناحیه ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ نیز ناحیه "اثر انگشت"<sup>۱</sup> بوده که یک ناحیه منحصر به فرد می‌باشد و تفسیر باندهای آن عموماً دشوار است (۱۰). پیک‌های ظاهر شده در محدوده ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ بر سانتی‌متر بدلیل وجود کربوهیدرات است (۱۵)، که به صورت پیک‌های قوی در موج‌های ۱۱۴۲، ۱۱۷۶، ۱۲۱۷ و ۱۲۴۲ بر سانتی‌متر به ارتعاشات C-O-C از محتوای گلیکوزیدها نسبت داده شد (۱۵ و ۳۲). دو پیک جذبی ۱۰۵۲ و ۱۰۸۱ بر سانتی‌متر مربوط به پیوندهای گلیکوزیدی بین واحدهای قندی می‌باشند (۱۰). حضور پیرانوز و فورانوز در نمونه‌های پکتین نیز به وسیله پیک‌هایی در ناحیه ۱۰۱۰ تا ۱۱۵۰ بر سانتی‌متر اثبات گردید (۱۵). جذب در ناحیه ۸۱۸ بر سانتی‌متر به جذب دی-آلفا-مانو پیرانوز<sup>۲</sup> و جذب در ناحیه ۹۴۳ بر سانتی‌متر به جذب دی-گلوکوپیرانوزیل<sup>۳</sup> مربوط می‌باشد (۳۴). طیف‌های در محدوده ۱۶۰۰ تا ۱۶۳۰ و ناحیه ۱۷۳۰ بر سانتی‌متر به ترتیب مربوط به ارتعاش کششی

4. Degree of methylation (DM)

1. Finger print  
2. α-D-mannopyranose  
3. D-glucopyranosyl



شکل ۵- طیف FT-IR پکتین غلاف باقلا استخراج شده در شرایط بهینه

Figure 5- FT-IR spectrum of Fava bean hull pectin extracted at optimum conditions.

منبع آن متفاوت است. بر مبنای نتایج این تحقیق میزان فاکتور  $a^*$  و  $b^*$  ژل پکتین غلاف باقلا، به ترتیب برابر  $0.44 \pm 0.14$  و  $0.18 \pm 0.42$  و  $88/22 \pm 1/37$  بود که حاکی از روشنایی بالای ژل حاصل از پکتین غلاف باقلا است. پژوهشگران رنگ ایجاد شده در پکتین را به دلیل محبوس شدن پلی فنول‌ها یا رنگ‌دانه‌های محلول در آب در پکتین در هنگام ترسیب می‌دانستند. همچنین بهبود رنگ پکتین می‌تواند با انجام فیلتراسیون به وسیله کربن فعال، خاک دیاتومه و غیره حاصل گردد (۱۸). میزان روشنایی پکتین غلاف باقلا در این تحقیق با مقادیر روشنایی گزارش شده برای ژل پکتین چغندر قند (۷۸/۸) و پوست مرکبات (۸۲/۸) منطبق می‌باشد (۲۵).

### نتیجه‌گیری

پکتین یک افزودنی طبیعی است که به‌طور گسترده‌ای در صنایع غذایی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر، استخراج پکتین به کمک انرژی

قدرت ژل پکتین در شرایط بهینه: با توجه به نتایج درجه استریفیکاسیون پکتین در تحقیق حاضر، پکتین غلاف باقلا جزء پکتین‌های متوکسیل پایین (درجه استریفیکاسیون کمتر از ۵۰ درصد) است. در شرایط ذکر شده پکتین قادر به تشکیل ژل بود و بیشترین سفتی ژل پکتین توسط دستگاه بافت‌سنج برابر  $17/50g$  در مدت زمان  $14/70$  ثانیه اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج حاصل شده، افزایش زمان باعث کاهش سفتی ژل پکتین شده است. این کاهش سفتی ژل در مدت زمان طولانی‌تر می‌تواند ناشی از هیدرولیز بیشتر مولکول‌های پکتین، تجزیه و کاهش وزن مولکولی آن باشد (۸). این نتیجه منطبق بر مقادیر گزارش شده از سفتی ژل پکتین طبق گل آفتابگردان بود (۳). تفاوت در سفتی ژل پکتین‌های کم استر ذکر شده، می‌تواند به دلیل تفاوت در روش‌های استخراج و محتوای خاکستر، پروتئین و اسید گالاکتورونیک باشد (۱۸).

شاخص‌های رنگی ژل پکتین در شرایط بهینه: رنگ پکتین یک عامل مهم در ظاهر ژل است که با توجه به

باقلا در شرایط بهینه برابر با ۴۱ درصد بوده و امولسیون پکتین در این شرایط، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و بعد از ۱ روز دارای بیشترین پایداری بوده است. تغییرات ویسکوزیته ظاهری بر حسب سرعت برشی، حاکی از نیوتنی بودن رفتار همه نمونه‌ها بوده و اندیس جریان آنها نزدیک به یک می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر عنوان کرد که پکتین استخراجی از غلاف باقلا قادر به تشکیل ژل با درجه سفتی مناسب در شرایط بهینه بوده است. با در نظر گرفتن راندمان بالای استخراج و نیز ویژگی‌های مناسب پکتین استخراجی از غلاف باقلا، به نظر می‌رسد می‌توان از غلاف باقلا به‌عنوان منبع مناسب پکتین و از انرژی مایکروویو به‌عنوان یک روش نوین با کارایی بالا برای استخراج پکتین از ضایعات مواد غذایی استفاده نمود.

مایکروویو از غلاف باقلا به‌عنوان یک منبع جدید و بهینه‌سازی شرایط استخراج جهت دستیابی به بیشترین راندمان استخراج و درجه استریفیکاسیون مطلوب مورد بررسی قرار گرفت. از روش سطح پاسخ به منظور طراحی آزمایشات و بهینه‌سازی شرایط استخراج استفاده شد. نتایج نشان داد که بالاترین عملکرد پکتین استخراجی در شرایط مطلوب (توان ۷۱۹/۹۹ وات، زمان ۱ دقیقه، pH برابر با ۲/۹۹ و نسبت مایع به جامد ۱:۲۵ حجمی/وزنی)، ۱۵/۳۰ درصد و درجه استریفیکاسیون ۲۹/۸۵ درصد بوده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری درجه استریفیکاسیون نشان داد که پکتین غلاف باقلا جزء پکتین‌های کم‌استر محسوب می‌شود؛ درحالی‌که بنا بر نتایج طیف FT-IR احتمالاً از نوع پکتین با درجه متوکسیل بالا بود. فعالیت امولسیفایری پکتین غلاف

## References

1. Abbaszadeh, A.H. 2009. Pectin and galacturonic acid from citrus wastes. M.Sc.thesis, University of Boras School of Engineering, Sweden.
2. Al Barri, T.H., and Shtaya, M.J.Y. 2013. Phenotypic characterization of faba bean (*Vicia faba* L.) landraces grown in Palestine. *J. of Agric. Sci. Technol.* 5: 2. 110-117.
3. Ayaseh, A., Ahmadi-zenouz, A., Hamdany, N., and Valizadeh, M. 2006. Extraction of pectin from sunflower heads and studying of its functional properties. *J. of Agric. Sci.* 15: 4.113-128. (In Persian)
4. Bagherian, H., Zokaee Ashtiani, F., Fouladitajar, A., and Mohtashamy, M. 2011. Comparisons between conventional, microwave and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chem. Eng. Process: Process Intensification.* 50: 11. 1237-1243.
5. Bahramipour, M., and Akbari-adergani, B. 2018. Optimization of microwave-assisted extraction of pectin from peas pod by response surface method. *JFST.* 80: 15. 349-360. (In Persian)
6. Chen, Y., Zhang, J.G., Sun, H.J., and Wei, Z.J. 2014. Pectin from *Abelmoschus esculentus*: Optimization of extraction and rheological properties. *Int. J. Biol. Macromol.* 70: 498-505.
7. Dalev, P.G., and Simeonova, L.S. 1995. Emulsifying properties of protein-pectin complexes and their use in oil-containing foodstuffs. *J. Sci. Food Agric.* 68: 2. 203-206.
8. Fathi, B., Ghorbani, M., and Khomeiri, M. 2011. Effect of harvest date and extraction conditions on the yield and characterisation of pectin obtained from pumpkin waste. M.Sc. thesis, Department of Food Science and Technology, University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian)
9. Grassino, A.N., Vikić-Topić D., Roca S., Dent M., and Brncić SR. 2016. Ultrasound assisted extraction and characterization of pectin from tomato waste. *Food Chem.* 198: 93-100.
10. Hosseini, S.S., Khodaiyan, F., and Yarmand, M.S. 2016. Optimization of

- microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.* 140: 59–65.
11. Hosseini, S., Khodaiyan, F., and Barazande, S. 2017. Extraction and Comparison of the Physicochemical Properties of Pectin Extracted from Pineapple, Samsuri and Galia Melon Peels Assisted by Microwave. *Iranian J. Nutrition Sciences & Food Technology.* 11: 4. 71-80.
  12. IPPA. 2009. International Pectin Producers Association. Available from: <http://www.ippa.info>.
  13. Jafari, F., Khodaiyan, F., Kiani, H., and Hosseini, S.S. 2016. Pectin from carrot pomace: Optimization of extraction and physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.* 157:1315-1322.
  14. Karamzadeh, S., and Ansari, S. 2019. Pectin extraction from eggplant peel using microwave and evaluation of its properties. *IFSTRJ.* 15: 5. 649-665. (In Persian)
  15. Kazemi, M., Khodaiyan, F., Labbafi, M., Hosseini, S.S., and Hojjati, M. 2018. Pistachio green hull pectin: Optimization of microwave-assisted extraction and evaluation of its physicochemical, structural and functional properties. *Food Chem.* 271: 663-672.
  16. Kazemi, M., Khodaiyan, F., and Hosseini, S.S. 2019. Eggplant peel as a high potential source of high methylated pectin: Ultrasonic extraction optimization and characterization. *LWT -Food Sci Technol.* (in press)
  17. Kliemann, E., De Simas, K.N., Amante, E.R., Prudêncio, E.S., Teófilo, R.F., Ferreira, M.M. and Amboni, R.D. 2009. Optimisation of pectin acid extraction from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) using response surface methodology. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 3. 476-483.
  18. Koh, P.C., Leong, C.M., and Noranizan, M.A. 2014. Microwave - assisted extraction of pectin from jackfruit rinds using different power levels. *Int. Food Res. J.* 21: 5. 2091-2097.
  19. Korish, M. 2015. Faba bean hulls as a potential source of pectin. *J. Food Sci. Technol.* 52: 9. 6061-6066.
  20. Košťálová, Z., Aguedo, M., and Hromádková, Z. 2015. Microwave-assisted extraction of pectin from unutilized pumpkin biomass. *Chem. Eng. Process: Process Intensification.* 102: 9-15.
  21. Kratchanova, M., Pavlova, E., and Panchev, I. 2004. The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality of extracted pectin. *Carbohydr. polym.* 56: 2.181-185.
  22. Kumar, A., and Chauhan, G.S. 2010. Extraction and characterization of pectin from apple pomace and its evaluation as lipase (steapsin) inhibitor. *Carbohydr. Polym.* 82: 454-459.
  23. Lefsih, K., Giacomazza, D., Dahmoune, F., Mangione, M.R., Bulone, D., San Biagio, P.L., and Madani, K. 2016. Pectin from *Opuntia ficus indica*: Optimization of microwave assisted extraction and preliminary characterization. *Food Chem.* 221: 91-99.
  24. Maran, J.P., Swathi, K., Jeevitha, P., Jayalakshmi, J., and Ashvini, G. 2015. Microwave-assisted extraction of pectic polysaccharide from waste mango peel. *Carbohydr. Polym.* 123: 67-71.
  25. Mesbahi, G., Jamalian, J., and Farahnaky, A. 2005. A comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in food systems. *Food Hydrocoll.* 19: 4. 731-738.
  26. Min, B., Lim, J., Ko, S., Lee, K.G., Lee, S.H., and Lee, S. 2011. Environmentally friendly preparation of pectins from agricultural byproducts and their structural/rheological characterization. *Bioresour. Technol.* 102: 3855-3860.
  27. Mosayebi, V., and Emam Djomeh, Z. 2016. Optimization of ultrasound assisted extraction of pectin from black mulberry (*Morus nigra* L.) pomace. *IFSTRJ.* 13: 4. 594-610. (In Persian)
  28. Nateghi, L., and Ansari, S. 2017. Extraction and evaluation of physicochemical properties of pectin

- extracted from eggplant cap waste. JIFT. 5: 2. 219-239. (In Persian)
29. Santos, J.D., Espeleta, A.F., Branco, A., and de Assis, S.A. 2013. Aqueous extraction of pectin from sisal waste. Carbohydr. Polym. 92: 2. 1997-2001.
30. Shams, R., Masih, D., Ashraf, G., Dar, A.H. and Rizvi, Q.H. 2020. Microwave assisted extraction of pectin from dried hull of faba bean. J. Postharvest Technol. 8: 1.13-22.
31. Singh, A.K., Bharati, R.C., Manibhushan, N.C., and Pedpati, A. 2013. An assessment of faba bean (*Vicia faba* L.) current status and future prospect. Afri. J. Agric. Res. 8: 50. 6634-6641.
32. Swamy, G.J., and Muthukumarappan, K. 2017. Optimization of continuous and intermittent microwave extraction of pectin from banana peels. Food Chem. 220: 108-114.
33. Thibault, J.F., and Ralet, M.C. 2003. Physico-chemical properties of pectins in the cell walls and after extraction. In: Advances in pectin and pectinase research. Springer, Dordrecht. 91-105.
34. Wang, W., Ma, X., Jiang, P., Hu, L., Zhi, Z., Chen, J., Ding, T., Ye, X., and Liu, D. 2016. Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions. Food Hydrocoll. 61: 730-739.
35. Yapo, B.M., 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 Chem. 100: 4. 1356-1364.
36. Yapo, B.M. 2009. Pectin quantity, composition and physicochemical behaviour as influenced by the purification process. Food Res. Int. 42: 8.1197-1202.
37. Ziari, H., Ashtiani, F.Z., and Mohtashamy, M. 2010. Comparing the effectiveness of processing parameters in pectin extraction from apple pomace. AFINIDAD LXVII, 549, 374-379.

