بهینه سازی شرایط استخراج صمغ دانه بزرک ایرانی به روش صفحه پاسخ

بهنوش ماهرانی[۱]، محسن برزگر[۱]، محمد علی سحری[۱] وحمید دهقانی[۲]

چکیده

استخراج آبی صمغ دانه بزرک (Linum usitassimum) با استفاده از طرح آماری روش صفحه پاسخ(response surface methodology (RSM) بهینه سازی شد. دراین پژوهش درجه حرارت استخراج در دامنهٔ C° ۱۰۰- ۴۵، pH در محدودهٔ ۷ -۳ و نسبت آب به دانه در دامنهٔ ۲۴-۴ به عنوان فاکتورهای مؤثر بر درصد بازده استخراج، مقدار پروتئین و ویسکوزیته ظاهری صمغ های استخراج شده، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند.

نتایج نشان داد درجه حرارت و pH دو فاکتور مؤثر بر بازده و کیفیت صمغ استخراجی (خلوص و ویسکوزیته ظاهری) است، در صورتی که فاکتور نسبت آب به دانه، دارای اثر کمتری می‌باشد. شرایط بهینه استخراج صمغ دانه بزرک به صورت زیر معرفی گردید، درجه حرارت: C° ۹۰-۸۵، نسبت آب به دانه:۱۴ و pH: ۷- ۶/۵. ویسکوزیته ظاهری صمغ‌های استخراجی نیز اندازه‌گیری شد و اثر شرایط استخراج بر خصوصیت رئولوژیکی صمغ حاصل مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: ***دانه بزرک ایرانی، صمغ، روش صفحه پاسخ، ویسکوزیته***

مقدمه

بزرک یا کتان با نام علمی *Linum usitatissimum* L. گیاهی است یک ساله از تیره کتان (Linaceae) که به صورت بوته‌ای رشد می‌کند. ارتفاع بوته معمولاً ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر و طول دوره رشد محصول ٤/۵ – ۲/۵ ماه می‌باشد. بزرک و کتان از نظر گیاه‌شناسی یک گونه محسوب می‌شوند ولی از نظر خصوصیات رشد، متفاوت هستند(۱). بزرک از نظر پراکندگی جغرافیایی در مناطق گرم و خشک کشور به طور پراکنده کشت می‌شود، از جمله می‌توان به شهرستان‌های اطراف اصفهان (به عنوان مثال شهرضا)، خوزستان، کردستان و مناطقی در شمال کشور از جمله فومن اشاره نمود. دانه بزرک صاف، بیضی شکل و در یک انتها نوک‌تیز است و دارای ابعاد ۱ × ۲/۵ × ۵ میلی‌متر می‌باشد، وزن هزار دانه بزرک بسته به واریته و شرایط رشد بین ۷- ۵ گرم است. رنگ دانه بزرک واریته‌های مختلف از

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲. استادیار اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]
PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

قهوه‌ای تیره تا زرد متغیر است. دانه با یک پوشش چسبناک پوشیده شده است که آن را براق ساخته و زمانی که مرطوب شود، چسبناک می‌شود(۲۱). کنجاله دانه بزرک (دانه روغن‌گیری شده) حاوی ۹/۴ – ۳/۵٪ صمغ است. صمغ دانه بزرک یک مخلوط پلی‌ساکارید ناهمگن است و اختلاف در ترکیب مونوساکاریدها به تنوع واریته‌های آن نسبت داده می‌شود(٦). صمغ دانه بزرک پودر سفید تا کرم رنگی است که رنگ آن نشان دهندهٔ خلوص صمغ است، به آهستگی آب جذب می‌کند و تشکیل محلولی با ویسکوزیته متوسط می‌دهد. ترکیب مونوساکاریدهای صمغ دانه بزرک شامل D- زایلوز، L- آرابینوز، L- رامنوز، L- گالاکتوز،D- گلوگز و L- گالاکتورونیک اسید است. صمغ دانه بزرک دارای خواص قوام دهندگی می‌باشد و به همین دلیل می‌تواند در فرآورده‌های غذایی به کار برده شود. صمغ دانه بزرک از نظر خواص تکنولوژیکی بسیار شبیه به صمغ عربی است و دارای خواص تثبیت‌کنندگی و سوسپانسیون کنندگی بوده و می‌تواند به عنوان عامل امولسیون کننده در شیرهای شکلاتی و دسرهای پوشش سالاد به کار برده شود. در مواردی نیز از نظر خصوصیات رئولوژیکی شبیه به صمغ زانتان است، به طور مثال اثر الکترولیت‌ها بر روی محلول‌های صمغ بستگی به غلظت صمغ دارد و گاه با افزودن کمتر از ۰/۱۵٪ الکترولیتی چون سدیم کلرید، اندکی کاهش در ویسکوزیته محلول حاصل می‌شود.

صمغ دانه بزرک به جهت دارا بودن خاصیت بافری قوی می‌تواند در نوشیدنی‌های میوه‌ای به کار رود و از جهت دیگر در تولید محصولات نانوایی و بستنی مورد استفاده قرارگیرد. هم‌چنین صمغ مزبور، پایدارکنندهٔ بسیار خوبی برای سوسپانسیون‌های خوراکی بوده و به علت خاصیت امولسیون‌کنندگی به عنوان جانشین سفیده تخم‌مرغ در محصولات نانوایی به کار برده می‌شود و این صمغ نیز قادر است از حدود ۱/۵–۰/۵٪ به منظور تثبیت امولسیون‌های غذایی به کار برده شود که این خاصیت بستگی به خلوص صمغ دارد. صمغ دانه بزرک تشکیل محلول غیر یونی را می‌دهد که تیکسوتروپیک (Thixotropic) نیست و دارای درجه بالای ویسکوالاستیسیته در نیروهای برشی مختلف است(۱۰ و۱۹). این صمغ ارزشمند علاوه بر این‌که در صنایع غذایی موارد استفادهٔ زیادی دارد، در صنایع داروسازی، نساجی، نقاشی، چاپ و نفت نیز بسیار به کار برده می‌شود(۹). امروزه روغن دانه بزرک و محصولات متنوع حاصل از آن منبع درآمد ارزی برای بسیاری از کشورها از جمله آمریکا، کانادا و اروپا گردیده است. به طوری که تولید جهانی بزرک در طی سال‌های ۹۷–۱۹۹۶ به حدود ۳–۲ میلیون تن در سال رسیده است و فرآورده‌های حاصل از آن هر روز با تقاضای بیشتری در جهان روبه رو می‌شود(۱۵). در ایران، دانه بزرک جزء دسته دانه‌های با روغن خشک شونده قرار گرفته که از روغن آن تنها به منظور کاربرد در صنایع رنگ‌سازی استفاده می‌شود و کنجالهٔ آن که منبع صمغ به شمار می‌آید، دور ریخته می‌شود و می‌توان گفت به نوعی یک منبع درآمد ارزشمند هدر می‌رود.

در زمینه بررسی‌های اولیه انجام گرفته بر روی صمغ دانه بزرک، نویل(۱۹۱۳) صمغ دانه بزرک را با آب سرد در طی مدت ۲۴ ساعت استخراج و در خلاء خشک نمود و درصد ترکیبات آن را تعیین کرد(١٤). محققان دیگری استخراج صمغ دانه بزرک را در محیط خنثی به روش نویل به کار بردند و صمغ حاصل را با کمک محلول اتانولی ۹۰٪ رسوب‌دادند، سپس رسوبات حاصل را خشک کرده و به بررسی ترکیب شیمیایی صمغ دانه بزرک پرداختند(۲). در پژوهشی دیگر مورالیکریشنا و همکاران (۱۹۸۷) صمغ دانه بزرک را در آب ۱۰۰–۲۵ °C با نسبت آب به دانه (V/W)۱:۲۰ در مدت ۸–۰/۵ ساعت استخراج نمودند. صمغ حاصل را با صافی مش۴۰ صاف کرده و با دستگاه تبخیر کننده تحت خلاء در۴۰ °C تغلیظ نموده و با اتانول ۸۰٪ رسوب دادند و سپس به روش تصعیدی، صمغ را خشک نموده و آسیاب کردند. در نهایت صمغ حاصل را از جهت درصد بازده استخراج، حلالیت، پایداری‌کف، ظرفیت کف‌کنندگی، درصد خاکستر، میزان پروتئین و مواد معدنی بررسی نمودند(۱۱). وارنربرگر و همکاران (۱۹۹۱)، نوع

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

و درصد قندهای اصلی تشکیل دهندهٔ صمغ دانه بزرک را تعیین نموده و با کمک کروماتوگرافی گاز- مایع اطلاعات بیشتری در ارتباط با ساختار صمغ به دست آوردند(۲۰). کویی و همکاران (۱۹۹۴) طرح آماری صفحه پاسخ (RSM)، را برای تعیین شرایط بهینه استخراج صمغ بزرک استفاده نمودند. آنها اثر همزمان فاکتورهای دما، pH و نسبت آب به دانه را بر درصد بازده استخراج، مقدار پروتئین و ویسکوزیته صمغ بررسی نمودند (۵). اُومه و همکاران (۱۹۹۵) نیز به مطالعه در ارتباط با اختلافات موجود در پلی ساکاریدهای محلول در آب دانه‌های بزرک واریته‌های مختلف کانادایی پرداختند(۱۷). بعد از آن‌که صمغ دانه بزرک از جهات مختلف فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی به طور کامل مورد بررسی قرار گرفت، محققان دریافتند که در برخی فرآورده‌های غذایی و غیر غذایی، می‌توان آن را جانشین دیگر صمغ‌ها و ترکیبات مشابه نمود(۱۸). در نهایت آخرین بررسی‌های انجام گرفته، بهینه سازی فرایند خشک کردن صمغ دانه بزرک به روش پاششی(Spray drier)و به دنبال آن کاربردهای دارویی صمغ دانه بزرک بوده است (۸ و۱۶).

مواد و روش‌ها

مواد

دانه بزرک قهوه‌ای از گونه کتان روغنی از بازار تهیه گردید و کلیه ترکیبات شیمیایی مورد نیاز از نوع تجارتی با خلوص بالا بوده و بدون هیچ گونه خالص سازی مجدد مورد استفاده قرار گرفتند.

روش‌ها

به دلیل آن که مهم‌ترین مسئله در این پژوهش بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورهای دما، pH و نسبت آب به دانه بر درصد بازده استخراج، پروتئین و ویسکوزیته ظاهری صمغ‌های استخراجی بود، بنابراین طرح آماری RSM انتخاب شد. روش صفحه پاسخ، کمکی مضاعف برای یافتن حالت بهینه فاکتورها می‌باشد و نشان دهندهٔ چگونگی تأثیر فاکتورها (در دامنهٔ مورد مطالعه) بر نتایج آزمایش‌هاست. به علاوه آثار متقابل فاکتورهای مزبور را نیز در برمی‌گیرد. محدوده کاربرد طرح آماری RSM بسیار گسترده است و در اغلب زمینه‌ها به منظور بهینه سازی شرایط عمل از آن استفاده می‌شود (۱۳). با کمک طرح آماری RSM می توان به اهداف زیر دست یافت:

۱. کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم با کمک این طرح قابل برآورد هستند.

۲. تعداد آزمایش‌ها کاهش می‌یابد.

۳. اثر متقابل فاکتورها بر روی نتایج حاصل از آزمایش‌ها بررسی می‌گردد.

۴. آزمون عدم برازش(Lack of fit) را فراهم می‌سازد.

۵. مقادیر بهینه فاکتورها را می‌توان با کمترین تعداد آزمایش تخمین زد.

در این طرح نخست بر اساس آزمایش‌های مقدماتی، دامنهٔ تغییرات فاکتورها برای دما ۱۰۰-۴۵ درجه سانتی‌گراد، pH : ۷-۳ و نسبت آب به دانه : ۲۴-۴ هر یک در پنج سطح انتخاب گردید. سپس بر اساس تعداد فاکتورها و سطوح آنها جدول طرح آماری (۲۰ استخراج با ۶ تکرار در نقطهٔ مرکزی) معین شد. نقاط مرکزی (Central points) سه فاکتور محاسبه گردید و با در نظر گرفتن کُدهای درج شده شرایط ۲۰ استخراج از نظر دما، pH و نسبت آب به دانه معین شد و سپس آزمایش‌ها تصادفی شدند. مقادیر کُدهای تعریف شده آزمایش برای مقادیر کمتر از نقطه مرکزی:۱/۶۸۲- و ۱-، صفر در نقطه مرکزی و برای مقادیر بیشتر از نقطه مرکزی: ۱/۶۸۲+ و۱+ بودند(۳). در این طرح x_1 (درجه حرارت)، x_2 (pH) و x_3 (نسبت آب به دانه) سه فاکتور مؤثر و درصد بازده استخراجی، پروتئین و ویسکوزیته ظاهری، سه متغیر وابسته بودند. در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می‌نماید. مدل چند متغیره به صورت زیر می‌باشد(۷).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{3}\beta_i X_i + \sum_{i=1}^{3}\beta_{ii} X_i X_i + \sum_{i=1}^{3}\beta_{ij} X_i X_j$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

در مدل فوق β_0 عرض از مبداء، β_i ضریب رگرسیون خطی فاکتورi ام، β_{ii} ضریب رگرسیون درجه دوم فاکتورi ام، β_{ij} اثر متقابل فاکتورi ام و فاکتور j ام و Y متغییر وابسته می‌باشد.

تجزیهٔ آماری معادلات چند متغیره با استفاده از نرم افزار آماری Minitab انجام شد و ضرایب مربوطه و آثار فاکتورها بر متغیرها معین گردید.

برای استخراج صمغ از دانه بزرگ، ابتدا دانه‌ها بدون استفاده از آب تمیز شدند، سپس دانه‌ها توزین و به نسبت معین با آب مخلوط شده (آب دو بار تقطیر مصرفی ابتدا از نظر pH و دما تنظیم شد) و در مدت سه ساعت عمل استخراج انجام گردید. در تمام مدت استخراج مخلوط حاصل با مگنت ۲/۵ سانتی‌متر بر روی گرمکن در دمای ثابت هم زده شد. مخلوط آب و دانه‌ها با صافی مش۴۰ صاف گردید سپس با افزودن اتانول ۹۶٪ به نسبت ۳:۱ رسوب داده شد. رسوبات سفید رنگ حاصل با سانتریفوژ در دور ۶۵۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه جداسازی شد. در ادامه رسوبات منجمد و به روش خشک کردن انجمادی (Freeze drying) خشک گردید. رسوبات خشک شده آسیاب و بسته بندی گردید.

درصد بازده استخراج صمغ دانه بزرگ بر اساس وزن اولیه دانه محاسبه گردید. میزان پروتئین همراه صمغ با میکروکلدال خودکار Tecator و ویسکوزیته ظاهری صمغ‌های استخراج شده در غلظت ۰/۳۵ ٪ در دمای محیط (۲۵ °C) و درpH:۶/۵ با Spindelنوع RV2 دستگاه ویسکومتر Brookfield-DV-II در دور ۲۰۰ rpm اندازه‌گیری شد.

نتایج

با توجه به شرایط تعیین شده، ۲۰ استخراج نهایی انجام گرفت و تجزیه آماری با نرم افزار آماری Minitab انجام شد. جدول ۱ نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. به کمک ضرایب رگرسیون اثر شرایط استخراج بر روی متغیرهای وابسته محاسبه شد. جداول ۲ و۳ نتایج حاصل از تجزیه آماری را نشان می‌دهد.

اثر شرایط استخراج بر درصد راندمان

معنی‌دار بودن اثر خطی فاکتور درجه حرارت نشان داد که درجه حرارت تأثیر عمده‌ای در افزایش راندمان دارد و فاکتور اصلی مؤثر بر درصد راندمان صمغ دانه بزرگ می‌باشد، درصد راندمان صمغ حاصل از ۱۰/۳-۳/۶۶ ٪ متغیر بود و مثبت بودن β_1 نشانگر آن است که با افزایش درجه حرارت، راندمان به صورت خطی در محدودهٔ تغییرات X ها افزایش می‌یابد. بیشترین درصد راندمان مربوط به درجه حرارت بالا بود، به عنوان مثال در درجه حرارت ۸۹°C درصد راندمان صمغ استخراجی در حدود ۱۰/۳٪ بود و کمترین راندمان (۳/۶۶) در پایین‌ترین درجه حرارت(۴۵ °C) دیده شد. با ثابت فرض کردن تغییرات pH و نسبت آب به دانه، راندمان با درجه حرارت در سطح احتمال ۱٪ رابطه خطی داشت.

اثرفاکتورهای pH و نسبت آب به دانه بر راندمان استخراج در برابر اثر درجه حرارت معنی‌دار نبود. بالاترین راندمان درpH پایین و درجه حرارت بالا حاصل شد. با توجه به معنی‌دار نبودن ضرایب رگرسیون خطی اثر فاکتورهای pH و نسبت آب به دانه برای صفت راندمان می‌توان نتیجه گرفت که این دو فاکتور اثر معنی‌داری بر درصد راندمان نداشتند.

ولی در مجموع نتایج به دست آمده از رابطهٔ خطی سه فاکتور مورد استفاده برای میزان راندمان در سطح ۵٪ معنی‌دار به دست آمد(جدول۲). میانگین مربعات عدم برازش خطی نیز غیر معنی‌دار بود و نشان دهندهٔ برازش مدل درجه دو و عدم وجود سایر روابط در تأثیر بر میزان راندمان بود(جدول۲).

اثر درجه دو برای فاکتورهای مورد بررسی به صورت جمعی در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بود که از بین فاکتورهای مذکور فقط ضریب رگرسیون درجه دو مربوط به فاکتور درجه حرارت در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بوده و اثر دو فاکتور دیگر غیر معنی‌دار به دست آمد (جداول ۲ و ۳).

آثار متقابل فاکتورهای مورد بررسی برای صفت راندمان معنی‌دار نبود(جدول ۲). نتایج به دست آمده از اثر متقابل فاکتورها در جدول۳ درج گردیده است. اثر متقابل بین دو

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

جدول۱. مقادیر سطوح فاکتورها و نتایج حاصل از آزمایش‌ها بر روی صمغ‌های استخراجی

نمونه	دما	کُد	pH	کُد	W/S[3]	کُد	راندمان[1]	پروتئین[1]	ویسکوزیته[2]
۱	۶۱/۵	−۱	۴/۲	−۱	۱۰	−۱	۷/۲۲	٤/٥٠	۵۶/۶
۲	۸۹	+۱	۴/۲	−۱	۱۰	−۱	۹/۱۵	۱۰/۰۳	۴۵/۸
۳	۶۱/۵	−۱	۶/۲	+۱	۱۰	−۱	۷/۳۱	۹/۰۴	۵۹/۰
۴	۸۹	+۱	۶/۲	+۱	۱۰	−۱	۶/۲۰	۸/۳۲	۵۷/۰
۵	۶۱/۵	−۱	۴/۲	−۱	۱۸	+۱	۵/۴۸	۳/۰۴	۵۴/۶
۶	۸۹	+۱	۴/۲	−۱	۱۸	+۱	۱۰/۳۳	۸/۳۲	۵۶/۶
۷	۶۱/۵	−۱	۶/۲	+۱	۱۸	+۱	۶/۸۲	۶/۲۱	٥٤/٠
۸	۸۹	+۱	۶/۲	+۱	۱۸	+۱	۹/۱۴	۸/۰۷	۶۰/۲
۹	۴۵	−۱/۶۸۲	۵	۰	۱۴	۰	۳/۶۶	۰/۵۱	۷۶/۲
۱۰	۱۰۰	+۱/۶۸۲	۵	۰	۱۴	۰	۷/۱۷	۶/۸۸	۵۱/۴
۱۱	۷۲/۵	۰	۳	−۱/۶۸۲	۱۴	۰	۵/۸۰	۳/۶۲	۵۴/۸
۱۲	۷۲/۵	۰	۷	+۱/۶۸۲	۱۴	۰	۷/۶۹	۸/۳۶	۶۴/۸
۱۳	۷۲/۵	۰	۵	۰	۴	−۱/۶۸۲	۷/۷۸	۸/۳۲	۶۶/۶
۱۴	۷۲/۵	۰	۵	۰	۲۴	+۱/۶۸۲	۸/۲۱	۸/۴۰	۵۵/۴
۱۵	۷۲/۵	۰	۵	۰	۱۴	۰	۷/۳۰	۱۱/۰۰	۶۵/۶
۱۶	۷۲/۵	۰	۵	۰	۱۴	۰	۷/۴۹	۷/۹۸	۶۱/۸
۱۷	۷۲/۵	۰	۵	۰	۱۴	۰	۸/۱۱	۸/۵۸	۶۳/۸
۱۸	۷۲/۵	۰	۵	۰	۱۴	۰	۷/۵۰	۸/٦٠	۶۲/۴
۱۹	۷۲/۵	۰	۵	۰	۱۴	۰	۸/۹۰	۹/۱۷	۶۳/۴
۲۰	۷۲/۵	۰	۵	۰	۱۴	۰	۷/۸۱	۸/۹۶	۶۳/۴

۱. درصد راندمان ودرصد پروتئین بر حسب(%W/W) ، ۲. ویسکوزیته محلول‌های صمغ بر حسب mPa.s ۳. W/S : نسبت آب به دانه.

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه واریانس برازش مدل درجه دو رگرسیون بر صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات صفت		
		راندمان[2]	پروتئین[2]	ویسکوزیته[1]
رگرسیون	۹	۳/۴۹۶۴*	۱۲/۲۸۷۶*	۷۰/۵۴**
خطی	۳	۶/۷۳۶۶*	۱۷/۸۴۲۹*	۵۱/۹۵ ns
درجه دوم	۳	۲/۵۳٤٥*	۱۵/٦۱٤۰**	۷٦/۳۰*
برهم کنش	۳	۱/۲۱۸۲ns	۳/۴۰۵۸*	۸۳/۳۸**
خطای باقیمانده	۱۰	۰/۶۴۱۵ns	۰/۳۵۱۰ns	۱۹/۲۰ns
عدم برازش	۵	۱/۰۰۰۳ns	۰/۵۲۹۶*	۲۴/۸۳ns
خطای خالص	۵	۰/۲۸۲۸	۰/۱۷۲۴	۱۳/۵۷
کل	۱۹			

ns، * و ** : به ترتیب نشان دهندهٔ غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال۵٪ و ۱٪ می‌باشند.

۱. واحد ویسکوزیته mPa.s

۲. پروتئین و راندمان برحسب درصد W/W گزارش شده است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

جدول۳. مقادیر ضرایب مدل رگرسیون برازش شده برای صفات مورد مطالعه

ضریب	صفت		
	راندمان	پروتئین	ویسکوزیته
β_0	۷/۸۸۳ *	۸/۶۱۶ *	۵۸/۴۷ *
β_1	۱/۲۰۶**	۱/۷۱۷**	۲/۸۸**
β_2	۰/۱۴۱۴ns	۰/۵۲۴**	−۱/۷۳ns
β_3	−۰/۰۶۹۸ns	−۰/۸۳۶**	−۰/۳۴۵ns
β_{11}	−۰./٦٤٥٧*	−۱/۷۰۳**	۰/٤۲۹ns
β_{22}	−۰/۰۵۱۷ns	−۰/۱۱۷ns	−۱/۹٤ns
β_{33}	۰./۲٦٦٥ns	۰/٤۲*	۳/۲۵۸*
β_{12}	−۰/۴۸۸ns	−۱/۱۱**	−۴/۱۵*
β_{13}	۰/۴۶۳۷ns	۰/۱۹۴ns	−۰/۸۵ns
β_{23}	۰/۰۵۳۷ns	−۰/۰۸۹ns	۳/۶۵*
R^2	۰/۸۳۱	۰/۹۶۹	۰/۷۶۸

ns، * و ** : به ترتیب نشان دهندهٔ غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ می‌باشند.

فاکتور pH و نسبت آب به دانه، pH و درجه حرارت، درجه حرارت و نسبت آب به دانه از نظر آماری معنی‌دار نبود که نشان دهندهٔ عدم وجود رابطهٔ خطی توام بین فاکتورهای مورد بررسی بر میزان راندمان می‌باشد.

اثر شرایط استخراج بر میزان پروتئین

نتایج به دست آمده از برازش مدل رگرسیون درجه دو بر صفت میزان پروتئین به همراه ضرایب رگرسیون مدل در جداول ۲و۳ ارائه شده است. رگرسیون خطی مربوط به سه فاکتور مورد بررسی بر میزان پروتئین استخراج شده در سطح ۵٪ معنی‌دار بود به این معنا که سه فاکتور مذکور با میزان پروتئین رابطهٔ خطی دارند. در نسبت آب به دانه وpH ثابت، بالاترین میزان پروتئین در بیشترین درجه حرارت به دست آمد، نتایج نشان داد که با افزایش درجه حرارت، میزان پروتئین صمغ استخراج شده، به صورت خطی افزایش می‌یابد که مثبت بودن ضریب رگرسیون خطی اثر درجه حرارت بر میزان پروتئین مؤید این موضوع می‌باشد. در واقع با افزایش درجه حرارت، استخراج پروتئین تسهیل می‌گردد و این مسئله با توجه به خواص پروتئین‌ها قابل انتظار است. کمترین درصد پروتئین(۰/۵۱٪) مربوط به کمترین درجه حرارت (۴۵ °C) بود.

ضریب رگرسیون خطی مربوط به pH (β_2) در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول۳). بیشترین میزان پروتئین در بالاترین درجه حرارت و کمترین pH به دست می‌آید. نتایج تجربی نشان داد که مقدار پروتئین صمغ دانه بزرک با افزایش pH، کاهش می‌یابد. شاید این مسئله را بتوان به انعقاد پروتئین‌ها در محدودهٔ pH کمی اسیدی تا خنثی و حلالیت بیشتر پروتئین‌ها در محدودهٔ اسیدی نسبت داد(۵).

میزان پروتئین استخراج شده با افزایش نسبت آب به دانه در صورت ثابت فرض کردن اثر دما وpH تا قبل از نقطه بهینه (نسبت آب به دانه ۱۴) روند نزولی دارد. معنی‌دار بودن ضریب معادله اثر نسبت آب به دانه بر درصد پروتئین (β_2=-۰/۸۳۶)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]
PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

در سطح ۱٪، نشان دهنده صحت نتیجه فوق است. ولی با افزایش بیشتر نسبت آب به دانه (بیشتر از ۱۴) میزان پروتئین استخراج شده همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، افزایش می‌یابد. معنی‌دار بودن ضریب رگرسیون درجه دو اثر نسبت آب به دانه بر درصد پروتئین ($\beta_{۲۲}$ =۰/۴۲) در سطح احتمال ۱٪، نشان دهنده روند افزایشی درجه دو میزان پروتئین استخراج شده در دما و pH ثابت می‌باشد.

اثر درجه دو برای فاکتورهای مورد بررسی به صورت جمعی در سطح اطمینان ۱٪ معنی دار بود که از بین فاکتورهای مذکور ضریب رگرسیون درجه دو مربوط به فاکتورهای درجه حرارت و pH به ترتیب در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بوده و اثر فاکتور دیگر غیر معنی‌دار به دست آمد (جداول ۲ و ۳).

اثر متقابل فاکتورهای مورد بررسی بر میزان پروتئین استخراج شده در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود و نشان دهندهٔ تأثیر توأم فاکتورها بر میزان پروتئین استخراجی می‌باشد. با افزایش درجه حرارت، در صد پروتئین همراه صمغ افزایش می‌یابد، در صورتی که شواهد عملی نشان داد که اثر درجه حرارت بر مقدار پروتئین به pH اولیه بستگی دارد. به عنوان مثال، در محدودهٔ pH اسیدی، محتوی پروتئین با افزایش درجه حرارت، افزایش می‌یافت. در صورتی که در محدودهٔ pH خنثی، روند افزایش پروتئین بسیار کمتر بود. معنی‌دار بودن $\beta_{۱۲}$ در سطح احتمال ۱٪، این مطلب را تأیید می‌نماید.

اثر شرایط استخراج بر ویسکوزیته ظاهری

اثر فاکتورهای مورد بررسی بر ویسکوزیته ظاهری صمغ‌های استخراج شده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود و نشان دهندهٔ وجود اثر جمعی رابطهٔ خطی فاکتورهای مذکور با میزان ویسکوزیته صمغ‌های استخراجی بود. معنی‌دار بودن ضریب رگرسیون خطی دما ($\beta_{۱}$) بر ویسکوزیته در سطح احتمال ۱٪ صحت این مطلب را تأیید می‌نماید. ولی رابطهٔ خطی pH و نسبت آب به دانه بر ویسکوزیته معنی‌دار نبود. بالاترین ویسکوزیته ظاهری برای نمونه‌های استخراج شده در pH پایین(کمی اسیدی) تا خنثی و در درجه حرارت ۵۰-۸۰ ºC زمانی که نسبت آب به دانه ثابت در نظر گرفته شود (در نقطهٔ مرکزی)، دیده شد. تغییرات ویسکوزیته ظاهری در مقابل نسبت آب به دانه در مقایسه با درجه حرارت کمتر بود و معنی‌دار نبودن $\beta_{۳}$ مؤید آن است.

اثر درجه دو برای فاکتورهای مورد مطالعه به صورت جمعی در سطح اطمینان ۵ درصد معنی دار بود که از بین فاکتورهای مذکور فقط ضریب رگرسیون درجه دو مربوط به فاکتور pH در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بوده و اثر دو فاکتور دیگر غیر معنی دار به دست آمد (جداول ۲ و ۳).

آثار توأم فاکتورها بر ویسکوزیته ظاهری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود(جدول۲). اثر متقابل بین pH با نسبت آب به دانه و pH با دما در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود و علامت ضرایب مذکور نشان دهندهٔ نوع رابطهٔ بین فاکتورها می‌باشد. با افزایش دما و کاهش pH، ویسکوزیته ظاهری کاهش می‌یابد و با افزایش نسبت آب به دانه و افزایش pH به صورت توأم میزان ویسکوزیته ظاهری صمغ‌های استخراجی افزایش می‌یابد.

تعیین شرایط بهینه استخراج

تعیین شرایط بهینه استخراج به سه روش امکان پذیر است:

الف) بررسی صفحات پاسخ

ب) تجزیه استاندارد (با کمک حل ماتریس)

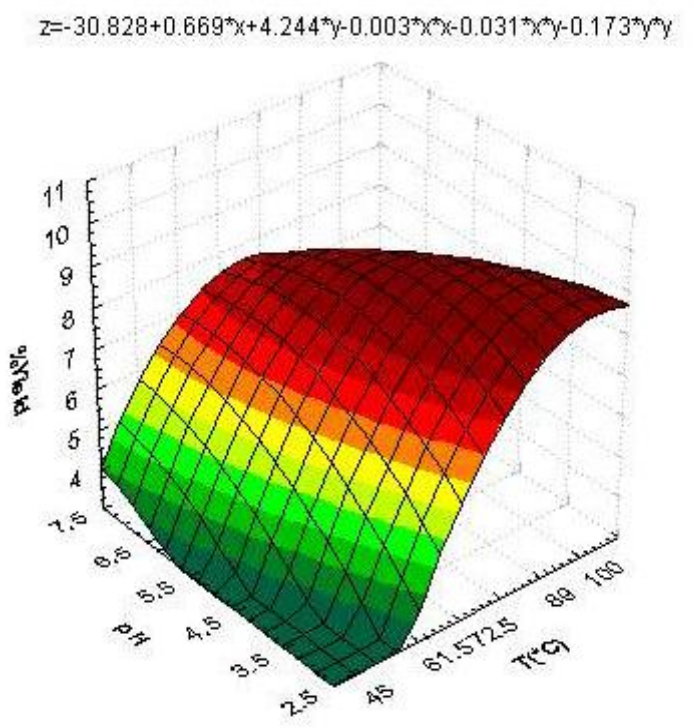
ج) روش عددی (با کمک حل کننده نرم افزار اکسل)

به کمک نمودارهای سه بعدی (صفحات پاسخ) حاصل از معادلات چند متغیره و هم‌چنین خطوط کنتور حاصل از آنها (که تنها به عنوان نمونه در شکل ۳ نشان داده شده است) می‌توان شرایط بهینه استخراج را تعیین نمود. خطوط کنتور در واقع انعکاس تصویر سه بعدی بر روی صفحه مسطح است(۱۲). بهترین شرایط استخراج باید درصد راندمان بالای استخراج، میزان پروتئین استخراج شده بسیار کم و ویسکوزیته بالای محلول صمغ را به همراه داشته باشد. از آن جایی که همراه بودن

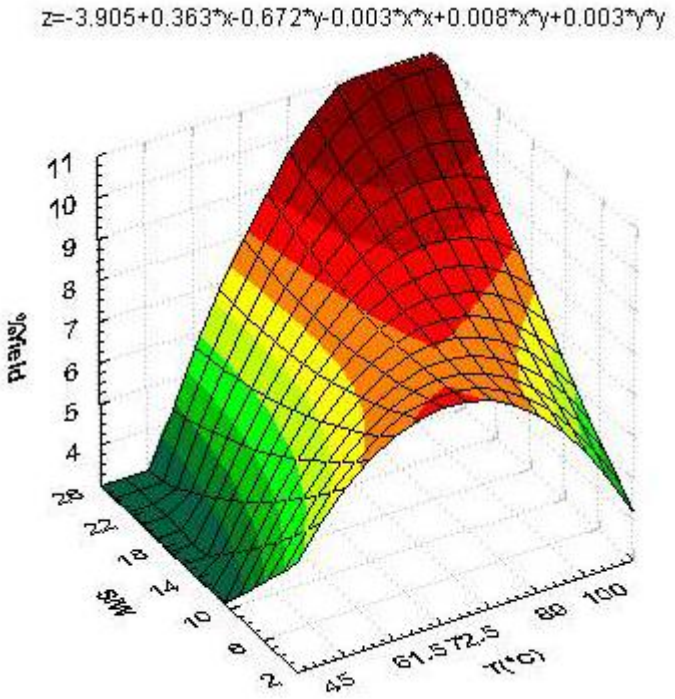
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

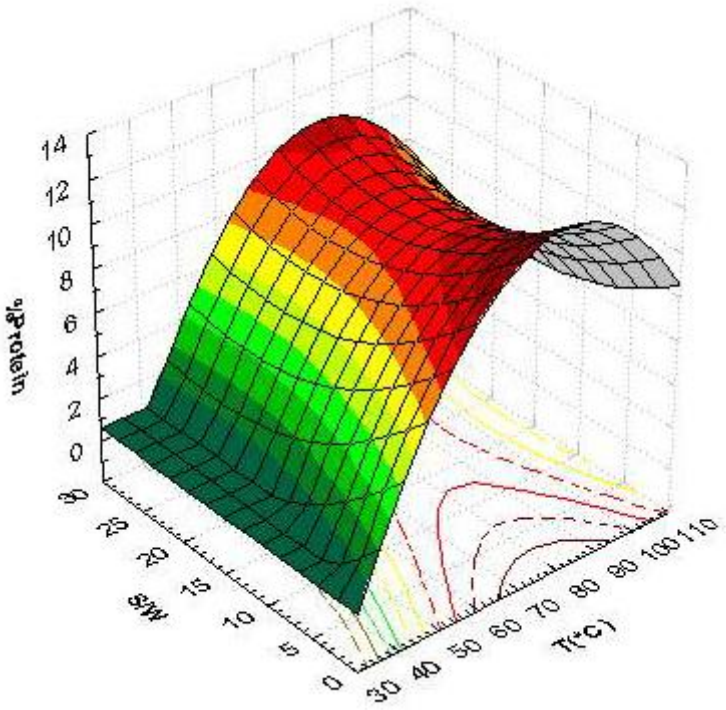


شکل۱. اثر هم‌زمان دما و pH بر درصد راندمان استخراج

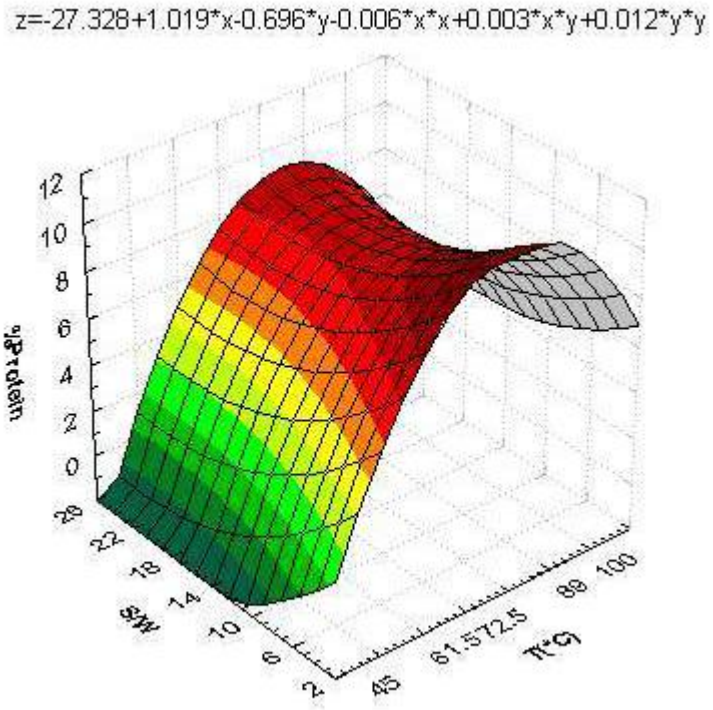


شکل ۲. اثر هم‌زمان دما و نسبت آب به دانه بر درصد راندمان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]
PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com



شکل۳. اثر هم‌زمان دما و نسبت آب به دانه بر درصد پروتئین همراه با خطوط کنتور

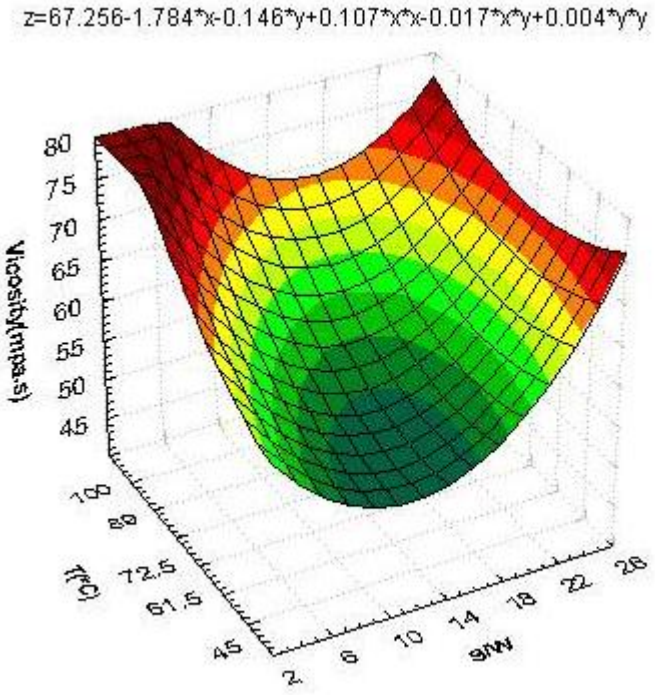


شکل۴. اثر هم‌زمان دما و نسبت آب به دانه بر درصد پروتئین بدون خطوط کنتور

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com



شکل۵. اثر هم‌زمان نسبت آب به دانه و دما بر ویسکوزیته

پروتئین با صمغ یک امر منفی در فرآیند استخراج محسوب می‌شود، باید محدوده‌ای را تعیین نمود که باعث خروج مقدار بسیار کمی پروتئین همراه صمغ شود. شکل‌های ۱، ۲، ۳ و۴ اثر هم‌زمان دو به دو فاکتورهای دما، pH و نسبت آب به دانه را به ترتیب بر درصد راندمان و مقدار پروتئین استخراج شده همراه صمغ نشان می‌دهد. شکل ۵ اثر هم‌زمان pH نسبت آب به دانه و دما را بر ویسکوزیته نشان می‌دهد.

بحث

با کمک طرح آماری روش صفحه پاسخ می‌توان آثار اصلی و برهمکنش فاکتورها را بر متغیرهای وابسته، با حداقل آزمایش، تعیین نمود. با توجه به جدول تجزیه واریانس مشخص شد که درجهٔ حرارت فاکتور مؤثر بر راندمان استخراج است. تاثیرpH و نسبت آب به دانه بر راندمان استخراج در برابر اثر درجه حرارت کمتر است. بالاترین راندمان درpH پایین و درجه حرارت بالا حاصل شده است. این نتایج با مشاهدات کویی و همکاران مطابقت دارد. از نظر راندمان استخراج، نمونه بزرک ایرانی دارای ۱۰/۳ درصد صمغ بوده در حالی که نمونه بزرک کانادایی دارای راندمان استخراج ۸/۰ درصد بوده است (۵).

با کاهش pH، به دلیل افزایش حلالیت پروتئین، میزان پروتئین همراه با صمغ افزایش می‌یابد و این مسئله مطلوب نیست (۵) و باید شرایط استخراج در محدودهٔ pH اسیدی کم تا ایزوالکتریک که پروتئین کمتر محلول است، تعریف گردد. از نظر میزان پروتئین همراه صمغ استخراجی، نمونه ایرانی دارای حدود ۸/۰ درصد پروتئین و نمونه کانادایی دارای ۹/۱ درصد پروتئین می‌باشد (٤) و از این جهت صمغ استخراجی بزرک ایرانی کیفیت بالاتری نسبت به بزرک کانادایی دارد (۵). بالاترین ویسکوزیته برای نمونه‌های استخراج شده در pH پایین(کمی اسیدی) تا خنثی و در درجه حرارت ۵۰-۸۰°C زمانی که نسبت آب به دانه ثابت در نظر گرفته شود (در نقطهٔ مرکزی)، دیده می‌شود. متوسط ویسکوزیته محلول صمغ بزرک ایرانی در نقطه مرکزی (جدول ۱ نمونه‌های ۱۵ تا ۲۰) در غلظت ۰/۳۵ درصد، دمای ۲۵ °C و ٦/٥ =pH ٦٣/٤ مگا پاسکال بوده درصورتی که متوسط ویسکوزیته محلول

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

صمغ بزرک کانادایی در غلظت ۱/۰ درصد، دمای ۲۵ °C و pH= ٦/٥ ۱۰٦/٤٦ مگا پاسکال بوده است (۵). به نظر می‌رسد که اختلاف غلظت صمغ برداشته شده (حدود سه برابر) موجب اختلاف در ویسکوزیته گردیده است. بنابراین با تلفیق نتایج به دست آمده از نمودارها و استفاده از حل ماتریس (طبق روش دوم تعیین شرایط بهینه) بهترین شرایط استخراج صمغ از دانه بزرک عبارت است از:

دما: °C ۹۰-۸۵ ، نسبت آب به دانه: ۱۴ و pH: ۷/۰-۶/۵.

شرایط بهینه استخراج صمغ کانادایی از نظر دما و pH مشابه شرایط استخراج ضمغ بزرک ایرانی بوده ولی نسبت آب به دانه در نمونه کانادایی ۱۳ گزارش شده است (۵). در شرایط تعریف شده فوق درصد راندمان استخراج بالاتر و میزان پروتئین همراه صمغ کمتر بوده است.

سپاسگزاری

در پایان لازم است از همفکری و زحمات آقای دکتر مهدی کدیور کمال تشکر و قدردانی گردد.

منابع مورد استفاده

۱. سعیدی، ق.۱۳۸۰. بررسی تنوع ژنتیکی عملکرد دانه ودیگر ویژگی‌های زراعی در ژنوتیپ‌های بزرک با کیفیت روغن خوراکی و صنعتی در اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵: ۱۰۷-۱۱۹.

2. BeMiller, J. N. 1973. Quince Seed, Psyllium Seed, Flaxseed and Okra Gums. *In*: R. L. Whistler and J. N. BeMiller. (Ed.), Industrial Gum.2nd ed., Academic Press, New York.
3. Box, G. E. P. and K. B. Wilson. 1951. On the experimental attainments of optimum conditions. J. R. Statistical Soc. (B), 13: 1-45.
4. Cui, W., G. Mazza and C. G. Biliaderis. 1994. Chemical structure, molecular size distributions and rheological properties of flaxseed gum. J. Agric. Food Chem. 42: 1891-1895.
5. Cui, W., G. Mazza, B. D. Oomah and C. G. Biliaderis. 1994. Optimization of aqueous extraction process for flaxseed gum by response surface methodology. J. Food Sci. Technol. 27: 363-369.
6. Erskine, A. J. and K. N. Jones. 1957. The structure of linseed mucilage. PART I. Can. J. Chem. 35: 1174-1182.
7. Gardiner, W. P. and G. Gettinby. 1998. Experimental Design Techniques in Statistical Practice: A Practical Software-Based Approach, Harwood. England.
8. Lucas, A. E., D. R. Wild, J. L. Hammond, A. D. Khalil, Sh. Juma, P. B. Daggy, J. B. Stoecker and H. B. Arjmandi. 2002. Flaxseed improves lipid profile without altering biomarkers of bone metabolism in postmenopausal women. J. Clin. Endo. and Metab. 87: 1527-1532.
9. Mazza, G. and C. G. Biliaderis. 1989. Functional properties of flaxseed mucilage. J. Food Sci. 54: 1302-1306.
10. Mazza, G., C. G. Biliaderis and B. D. Oomah. 1992. Extraction and functional properties of flaxseed gum. Proceeding of the 54th Flaxseed Institute of the U.S. America. 84-92.
11. Muralikrishna, G., P. V. Salimath and R. N. Tharanathan. 1987. Structural features of an arabinoxylan and rhamnogalactrunan derived from linseed mucilage. Carbohydrate Res. 161: 256-271.
12. Myers, R. H. 1991. Response Surface Methodology in quality improvement. Commun. Statistics- Theory and Methods 20: 457-476.
13. Myers, R. H., A. L. Khuri and G. Vining. 1992. Response surface alternatives to the taguchi robust parameter design approach. Am. Statistician 46: 131-136.
14. Neville,A. 1913. Linseed mucilage. J. Sci. Food Agric. 5: 113-128.
15. Oomah, B. D. 2001. Flaxseed as a functional source. J. Sci. Food Agric. 81: 889-994.
16. Oomah, B. D. and G. Mazza. 2001. Optimization of spray process for gum. Int. J. Food Sci. Technol. 36: 135-143.
17. Oomah, B. D., E. O. Kenaschuk, W. Cui and G. Mazza. 1995. Variation in the composition of water- soluble polysaccharides in flaxseed. J. Agric. Food Chem. 43: 1484-1488.
18. Rapport, L. and B . Lockwood. 2001. Flaxseed and flaxseed oil. Pharm. J. 266: 286-288.
19. Stewart, S. and G. Mazza. 2000. Effect of flaxseed gum on quality and stability of a model salad dressing. J. Food Quality 23:373-390.
20. Wanneberger, K., T. Nylander and N. Nyman. 1991. Rheological and chemical properties of mucilages in different varieties from linseed (*linum usitatissimum*). Acta Agric. Scand., Section C, 41: 311-319.
21. Whistler, R. L. and J. N. BeMiller. 1993. Industrial Gums, Polysaccharides and Their Derivatives. 3rd ed., Academic Press, New York.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-30]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1383.8.4.13.0]
PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com