

بهینه سازی استخراج اینولین از غده‌ی سیب زمینی ترشی به کمک روش سطح پاسخ (RSM)

الناز میلانی^{۱*} هاشم پورآذرنگ^۲ شهرزاد وطن خواه^۳ حنه وکیلان^۴

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۲

تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۲

چکیده

اینولین به علت ویژگی‌های عملکردی نظیر جایگزینی چربی و شکر، ایجاد احساس دهانی و همچنین بهبود بافت و خصوصیات سلامت زایی خود به عنوان یک ماده ی پری بایوتیک به طور بسیار گسترده ای در غذاهای عملگر در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیب زمینی ترشی یکی از منابع ارزشمند اینولین می‌باشد. در این تحقیق از متدولوژی رویه ی پاسخ و طرح مرکب مرکزی به منظور بررسی تأثیر زمان (۵ و ۴۰ دقیقه)، نسبت آب به ماده ی جامد (۱:۱ تا ۵:۱) و دما (۴۰ و ۹۰ درجه سانتی گراد) بر راندمان اینولین استخراج شده از غده ی سیب زمینی ترشی و بهینه سازی فرایند استخراج اینولین بهره گرفته شد. بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق، نسبت آب به ماده ی جامد، دما و زمان به ترتیب موثرترین فاکتورها بر استخراج اینولین بودند. بر اساس آزمایش‌های انجام شده شرایط بهینه ی استخراج اینولین جهت حصول بیشینه ی راندمان ۴۲/۷۱۴۹ درصد؛ دمای ۷۶/۶۴ درجه ی سانتی گراد، نسبت آب به ماده ی جامد ۱۲ و زمان ۲۳/۹۰ دقیقه تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: اینولین، استخراج، سیب زمینی ترشی، متدولوژی رویه سطح پاسخ

مقدمه

تخمیری هستند که از طریق بهبود نظم، افزایش تناوب دفع و حجم مدفوع به بهبود عملکرد روده کمک می‌نمایند (۱۲ و ۱۵). رژیم حاوی $B(2-1)$ فروکتان‌ها رشد بیفیدوباکتریها و لاکتوباسیل‌ها را تحریک نموده، سبب افزایش تولید ویتامین B و K شده و بصورت انتخابی از رشد ارگانسیم‌های پاتوژن به ویژه، باکتریوئیدس، فوزوباکتیریا و کلاستریدیا جلوگیری می‌کنند. مصرف اینولین سبب کاهش تری گلیسریدها و کاهش تولید چربی نیز می‌گردد بنابراین ریسک ابتلا به بیماری‌های قلبی در افراد کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که به ازای مصرف هر گرم اینولین و لیگوفروکتوز، حدود ۱/۵ کیلوکالری انرژی تولید می‌شود که این میزان انرژی معادل فقط ۳۸ درصد انرژی یک مولکول قند شش کربنی هضم شده است (۹ و ۱۵). هنگامی که اینولین کاملاً با آب مخلوط شود، شبکه سه بعدی ژلی را بوجود آورده و سبب تشکیل ساختمان کرمی با بافت قابل گسترش می‌شود که به راحتی می‌توان آن را به عنوان جایگزین چربی در مواد غذایی استفاده کرد (۱۵).

اینولین، در بیش از ۳۶۰۰۰ نوع گیاه تولید می‌شود و پلیمر ذخیره‌ای گیاهانی نظیر کاسنی، غده ی کوکب، کنگر فرنگی و سیب زمینی ترشی می‌باشد. اینولین توسط برخی باکتری و قارچ‌ها نیز سنتز می‌شود که تفاوت اینولین تولیدی با اینولین گیاهی در درجه ی پلیمریزاسیون آن می‌باشد (۱ و ۱۵). سیب زمینی ترشی با نام علمی

پری بایوتیک‌ها، لیگوساکاریدهایی با قابلیت هضم اندک هستند که پس از رسیدن به محیط روده به عنوان منبع کربن یا انرژی، بطور انتخابی نسبت و فعالیت باکتری‌های روده را تغییر داده و بر سلامت میزبان اثرات سلامتی بخش می‌گذارند. این گونه به نظر می‌رسد اهمیت پری بایوتیک‌ها بیشتر از پروبایوتیک‌ها باشد؛ زیرا هر فردی دارای پروبایوتیک‌های خاص خود است که این باکتری‌ها از منطقه‌ای به منطقه دیگر جهان فرق می‌کند (۱۲ و ۱۵). اینولین کربوهیدراتی است متشکل از پیوندهای (2-1) فروکتوزیل-فروکتوز با یک واحد گلوکز انتهایی (2-1) است که تعداد واحدهای فروکتوز در آن بین ۲ تا ۷۰ متغیر است. اینولین بر اساس طول زنجیره و درجه ی پلیمریزاسیون، به گروه‌های مختلفی مانند لیگوفروکتوز ترکیبی از لیگومرها با (4-2 DP)، اینولین طبیعی یا استاندارد (65-2 DP) طبقه بندی می‌شوند (۱۲ و ۱۵).

اینولین و لیگوفروکتوزها، فیبرهای غذایی محلول و قابل

۱ مربی پژوهشی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد و دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد

* نویسنده مسئول (Email : e_milani81@yahoo.com)

۲ استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳ و ۴ دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار

از پودر سیب زمینی ترشی را با مقادیر مشخص آب مقطر مخلوط نموده؛ سپس مخلوط تحت تیمارهای دمایی توسط بن ماری مدل Memmert در زمانی مشخص مطابق با جدول ذکر شده قرار گرفت. مخلوط تیمار شده را توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ و قیف بوخترتحت خلاء صاف نموده و محلول زیرصافی تحت تیمار با سانتریفوژ مدل Herlab unicen FR با سرعت ۴۵۰۰g، به مدت ۱۰ دقیقه و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت؛ سپس ۱ میلی لیتر از محلول رویی را برداشته و در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ رسانده و از این محلول جهت عملیات بعدی استفاده نمودیم (۱۰).

روش اندازه گیری قند کل

برای اندازه گیری قند کل از روش ارائه شده توسط دوبیوس و همکاران (۱۰) استفاده شد، بدین منظور ۱ میلی لیتر از عصاره سیب زمینی ترشی استخراج شده را تا غلظت ۱ درصد رقیق کرده و سپس ۱ میلی لیتر از عصاره رقیق شده را به لوله آزمایش منتقل کرده و ۳ میلی لیتر محلول اسید سولفوریک غلیظ (۹۷٪) به آن افزوده شد و لوله‌ها به کمک آب سرد تا رسیدن به دمای اتاق خنک شدند، سپس ۵۰ میکرولیتر محلول فنل ۹۰٪ به لوله‌ها افزوده شده و سرد کردن به مدت ۳۰ دقیقه به کمک آب سرد ادامه یافت در نهایت میزان جذب نمونه‌ها توسط اسپکتروفتومتر مدل Cecil Series CE393 در ۴۸۰ نانومتر خوانده شد. جهت تهیه منحنی استاندارد قند کل از اینولین استفاده شد، بدین منظور محلول‌های حاوی اینولین با غلظت‌های مختلف را تهیه کرده و میزان جذب هر یک از این محلول‌ها در طول موج ۴۸۰ نانومتر اندازه گرفته شد. قند کل نمونه‌ها از طریق میزان جذب‌های خوانده شده در معادله ی خط نمونه‌های استاندارد محاسبه شد (۱۰ و ۱۲).

روش اندازه گیری قند احیاء

جهت اندازه گیری قند احیاء از روش بالدینی و همکاران (۵)، استفاده شد؛ بدین منظور ابتدا یک مخلوط استاندارد تهیه شد. جهت تهیه مخلوط استاندارد، ۲۵ گرم سدیم پتاسیم تارتارات مضاعف، ۱/۶ گرم هیدروکسید سدیم و ۱ گرم دی نیتروسالیسیک اسید مخلوط شده و این مخلوط به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد؛ به منظور یکنواخت شدن مخلوط حاصله از همزن مدل مولینکس در دمای اتاق و به مدت ۳۰ تا ۶۰ دقیقه استفاده شد؛ سپس ۲/۵ میلی لیتر از این محلول را به ۱/۰ میلی لیتر عصاره استخراج شده و رقیق شده تا غلظت ۱ درصد افزوده و این مخلوط در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد برای ۱۰ دقیقه گرمخانه گذاری شد، سپس سرد شدن به کمک آب سرد تا دمای محیط انجام شده و ۲/۴ میلی لیتر آب مقطر به نمونه‌ها افزوده گردید و در نهایت میزان جذب نمونه‌ها در ۵۳۰ نانومتر خوانده

Helianthus tuberosus دارای ساقه ای راست بوده که در قسمت انتهایی منشعب و غده زیر زمینی آن، به قطر ۴ تا ۵ سانتی متر و درازای ۷ تا ۱۵ سانتی متر می‌باشد؛ غده سیب زمینی ترشی دارای ۶۰ تا ۱۵ درصد اینولین است (۱ و ۶). هدف از انجام این تحقیق، دستیابی شرایط بهینه ی استخراج آبی اینولین از سیب زمینی ترشی با استفاده از روش سطح پاسخ برای تعیین مقادیر بهینه ی فاکتورهای مورد بررسی بود.

مواد و روش‌ها

مواد

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل، سیب زمینی ترشی تهیه شده از گروه باغبانی دانشگاه فردوسی، دی نیترو سالیسیلیک اسید از شرکت سیگما (SIGMA)، فنول کریستاله تهیه شده از Panreac Quimica، اینولین استاندارد (HP) از Beneo-OraftiR اسید سولفوریک ۹۶٪، تارتارات مضاعف سدیم و پتاسیم، هیدروکسید سدیم و دی فروکتوز استاندارد از شرکت مرک آلمان (Merck)، بود.

روش‌ها

محتوی پروتئینی سیب زمینی ترشی، با استفاده از روش میکرو کدال خودکار Tecator و محاسبه ضریب تبدیل ۶/۲۵، محتوی چربی توسط دستگاه سوکسله و میزان خاکستر به کمک کوره الکتریکی (دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد و زمانی حدود ۱۵ ساعت) موجود در پژوهشکده ی صنایع غذایی جهاد دانشگاهی آنالیز شد (AOAC, 1995)؛ مواد معدنی به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی و فیبرکل به کمک روش آنزیمی به شماره ۹۹۱/۴۳ و دستگاه آنالیز فیبر اندازه گیری گردید (AOAC, 1995).

آماده سازی نمونه‌های سیب زمینی ترشی

نمونه‌ها به طور کامل پوست گیری شده و به دقت شسته شدند. پس از آن نمونه‌های سیب زمینی ترشی را به قطعات کوچک برش زده و به مدت ۲۴ ساعت در آون (مدل DENA) در دمای ۵ درجه سانتی گراد قرار دادیم تا رطوبت نهایی نمونه‌ها به ۵٪ کاهش یابد؛ سپس نمونه‌ها را از آون خارج نموده و به دسیکاتور منتقل نمودیم؛ پس از سرد شدن، نمونه‌ها را توسط آسیاب پودر کرده و سپس از الک آزمایشگاهی با مش ۵۰ میکرومتر جهت رسیدن به اندازه دانه بندی یکسان عبور دادیم (۱۰).

استخراج آبی عصاره ی سیب زمینی ترشی

جهت استخراج عصاره ی سیب زمینی ترشی، ابتدا مقدار مشخص

می‌نماید، مدل چند متغیره به صورت زیر می‌باشد. در معادله ذکر شده Y پاسخ پیش‌بینی شده، β_0 ضریب ثابت، $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ اثرات خطی، $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ اثرات مربعی و $\beta_{23}, \beta_{32}, \beta_{31}$ اثرات متقابل می‌باشند. از نرم افزار 7.1.6 Design Expert جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ استفاده گردید.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{32} x_3 x_2 + \beta_{31} x_3 x_1 + \beta_{13} x_1 x_3$$

در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی با سه متغیر مستقل؛ شامل دما، نسبت آب به دانه و زمان استخراج، در سه سطح، سه بلوک و شش تکرار در نقطه مرکزی طرح (برای محاسبه تکرار پذیری فرایند) به منظور بررسی تأثیر شرایط استخراج اینولین و بهینه‌سازی فرایند مذکور استفاده شد. تعداد کل آزمایشات با دو تکرار برابر ۴۰ بوده و متغیر وابسته (پاسخ)، درصد بازده استخراج اینولین بود (جدول ۲). مرحله سوم شامل ارائه گرافیکی رابطه‌ی مدل و تعیین شرایط عملیاتی بهینه بود که به وسیله‌ی نمودار رویه پاسخ و کنترل انجام پذیرفت. شرایط عملیاتی بهینه برای استخراج اینولین از سیب زمینی ترشی، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی^۱ جستجو شد. در تکنیک مذکور، فضای پاسخ با استفاده از مدل‌های ایجاد شده و به منظور یافتن بهترین شرایطی که اهداف بهینه‌سازی مورد نظر را برآورده کند؛ جستجو شد. بدین منظور، در ابتدا اهداف بهینه‌سازی را مشخص کرده و سپس سطوح پاسخ و متغیرهای مستقل را تنظیم کرده و با استفاده از تکنیک فاین تیونینگ^۲، بهترین جواب‌ها به دست آمد (۱۱). تنظیمات اعمال شده برای فرایند بهینه‌سازی در جدول ۵ ارائه شده است.

نتایج و بحث

خصوصیات کیفی

میزان پروتئین، چربی، خاکستر و سلولز موجود در پودر سیب زمینی ترشی به ترتیب شامل ۹/۲، ۰/۴، ۶ و ۰/۷۶ درصد و در خصوص نمونه اینولین استحصالی به ترتیب ناچیز، ۷ و ۰/۵ درصد بود.

مطابق بررسی بکر و همکاران (۲۰۰۷)، بطور میانگین ۱۰۰ گرم غده سیب‌زمینی ترشی حاوی ۶۸٪ تا ۱۳ کربوهیدرات بوده که از این میان سهم اینولین ۸۰٪، ساکارز ۱۰٪، قند احیاء کننده ۵٪ تا ۳/۵٪، پروتئین ۶۷٪ تا ۱۰ و مواد معدنی ۹٪ تا ۰/۸ بوده که پتانسیم بیشترین مقدار آن را تشکیل می‌دهد (۶).

شد. جهت تهیه منحنی استاندارد قند احیاء از D فروکتوز به عنوان استاندارد استفاده شد. بدین منظور محلول‌های مختلف با غلظت‌های متفاوت D فروکتوز تهیه شده و با روش ذکر شده میزان جذب این محلول‌ها اندازه گرفته شد. قند احیاء نمونه‌ها با قراردادن میزان جذب‌های خوانده شده در معادله خط نمونه‌های استاندارد محاسبه شد (۵).

اندازه گیری میزان اینولین

برای اندازه گیری میزان اینولین در سیب زمینی ترشی میزان قند احیاء محاسبه شده از میزان قند کل به دست آمده کسر گردیده و درصد اینولین واقعی به روش زیر محاسبه شد (۱۰ و ۲).
بازده استخراج اینولین (%) = (مقدار اینولین × حجم عصاره استخراجی / مقدار پودر سیب زمینی ترشی) × ۱۰۰

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

RSM مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری است که در بهینه‌سازی فرآیندهایی بکار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. شمای گرافیکی مدل ریاضی سبب تعریف واژه‌ی متدولوژی رویه پاسخ شده است. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند. مهمترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورها بود، از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد (۱۳). در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل X_1 دما، X_2 زمان و X_3 نسبت حلال به ماده جامد، در سه سطح مورد ارزیابی قرار گرفت که در جدول (۱) نشان داده شده است. شش تکرار نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش استفاده شد. در ضمن، متغیرها مطابق معادله‌ی زیر کدگذاری شدند:

در این جا، X_i مقدار واقعی متغیر مستقل فرایند، \bar{X}_i مقدار واقعی متغیر مستقل در نقطه‌ی مرکزی و ΔX_i تغییر پله‌ای است. در جدول ۱ متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آن‌ها نشان داده شده است.

$$x_i = (X_i - \bar{X}_i) / \Delta X_i$$

$$X_1 = (دما - ۶۵) / ۲۵$$

$$X_2 = (۴۲/۵ - زمان) / ۱۷/۵$$

$$X_3 = (۳/۵ - نسبت آب به ماده ی جامد) / ۸/۵$$

در مرحله دوم طرح آماری گزینش شده و رابطه مدل مورد استفاده برای پیش بینی، برازش شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل مورد استفاده در RSM عموماً رابطه‌ی درجه دوم می‌باشد.

در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان

1- Numerical optimization

2- Fine tuning

جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها

کد و سطح مربوطه			نماد ریاضی	متغیرهای مستقل
+	۰	-		
۴۰	۶۵	۹۰	X_1	دما (درجه سانتی گراد)
۵	۲۲/۵	۴۰	X_2	زمان (دقیقه)
۵	۸/۵	۲	X_3	نسبت آب به ماده ی جامد (حجمی/وزنی)

جدول ۴- تیمارهای مربوط به استخراج آبی سیب زمینی ترشی

تیمار	نسبت آب به ماده جامد	دما (C°)	زمان (دقیقه)	راندمان (درصد)	تیمار	نسبت آب به ماده جامد	دما (C°)	زمان (دقیقه)	راندمان (درصد)
۱	۱۲	۹۰	۵	۳۲/۲۸	۱۱	۵	۴۰	۵	۵
۲	۸/۵	۴۰	۲۲/۵	۱۷/۵۵	۱۲	۸/۵	۶۵	۲۲/۵	۳۲/۵
۳	۵	۹۰	۵	۱۵/۷۶	۱۳	۱۲	۴۰	۴۰	۲۱/۱۴
۴	۸/۵	۶۵	۲۲/۵	۲۹/۸۴	۱۴	۸/۵	۶۵	۵	۲۱/۷۴
۵	۸/۵	۶۵	۴۰	۳۰/۹۸	۱۵	۸/۵	۶۵	۲۲/۵	۳۱/۳۶
۶	۸/۵	۶۵	۲۲/۵	۳۱/۳۶	۱۶	۱۲	۹۰	۴۰	۳۴/۷۴
۷	۵	۶۵	۲۲/۵	۲۳/۴۵	۱۷	۱۲	۴۰	۵	۲۱/۲۴
۸	۵	۴۰	۴۰	۱۴/۷۵	۱۸	۸/۵	۹۰	۲۲/۵	۳۲/۲۱
۹	۱۲	۶۵	۲۲/۵	۴۵/۴۸	۱۹	۸/۵	۶۵	۲۲/۵	۲۹/۲۴
۱۰	۵	۹۰	۴۰	۱۸/۸۶	۲۰	۸/۵	۶۵	۲۲/۵	۲۷

جدول ۳- میزان مواد معدنی موجود در هر صدگرم سیب زمینی ترشی برحسب میلی گرم

نمونه	کلسیم	فسفر	آهن	پتاسیم
سیب زمینی ترشی	۳۷	۴۰	۱/۷	۵/۹
اینولین تولیدی	۳۱/۰۲	۱۱	۰/۰۳۲	۵/۸

مدل سازی

با توجه به شرایط تعیین شده، ۲۰ استخراج نهایی انجام گرفت. جدول ۲ نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. به کمک ضرایب رگرسیون اثر شرایط استخراج بر روی متغیرهای وابسته محاسبه شد. جداول ۳ و ۴ نتایج حاصل از تجزیه آماری را نشان می‌دهد. برای اینکه مدل توانایی خوبی برای برازش اطلاعات داشته باشد لازم است که $R^2_{adjusted}$ و $R^2_{predicted}$ دارای بالاترین مقدار باشد (۳)؛ ضریب تعیین (R^2) به عنوان نسبت تغییرات توصیف شده توسط مدل به تغییرات کل بیان می‌شود که معیاری از درجه ی تناسب برازش می‌باشد. بنابراین هرچه مقدار R^2 به یک نزدیک تر شود، قدرت مدل برازش یافته در توصیف تغییرات پاسخ به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل بیشتر می‌باشد. چنین عنوان شود که برای یک مدل با برازش خوب، مقدار R^2 بایستی حداقل ۰/۸ باشد (۸)، لازم به ذکر است ضریب تعیین مدل بدست آمده در این تحقیق ۰/۹۱ بود.

تأثیر متغیرهای مستقل بر پاسخ

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، جمله‌های مدل که معنی دار بوده اند شامل جملات خطی زمان، نسبت آب به ماده ی جامد، دما، جملات درجه ی دوم زمان و دما بودند. جملات مربوط به اثرات درجه دوم، به شکل مدل حالت انحنای بخشیده اند. همچنین عبارت‌های مربوط به برهم کنش معنی دار نبودند و از مدل حذف شدند، به عبارت دیگر هیچ گونه برهم کنشی میان متغیرهای مستقل وجود نداشت. تأثیر زمان بر راندمان بدون لحاظ نمودن تغییرات سایر متغیرها، به گونه ای بود که با افزایش زمان به تدریج بازده راندمان استخراج اینولین افزایش یافته و سپس روند کاهش نسبی راندمان دیده شد. در شکل ۴ الف اثر همزمان نسبت آب به ماده جامد درجه حرارت، در مدت زمان ثابت ۲۲/۵ دقیقه بر راندمان استخراج نشان داده شده است. بر این اساس افزایش دما تا یک میزان مشخص (C°) ۷۷ راندمان استخراج را افزایش داده و پس از آن، راندمان استخراج

مربوط به ترکیب نسبت حلال به کنگرفرنگی - زمان در سطح احتمال $p < 0.05$ بود. لینگین و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهش خود، مشخص نمودند نسبت حلال به کنگرفرنگی و دما دارای بیشترین تأثیر بر بازده استخراج بود. بکرز و همکاران (۸)، نیز میزان اینولین بدست آمده از کنگرفرنگی را در ۳ درجه حرارت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌گراد و ۴ زمان ۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰ دقیقه مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج آنها، زمان بهینه جهت استحصال بیشینه اینولین به ترتیب در ۳ تیمار حرارتی معادل ۶۰، ۱۵ و ۳۰ دقیقه بود.

لازم به ذکر است؛ جهت بررسی اثر pH بر راندمان استخراج، اندازه‌گیری راندمان در pH ۸ و ۹ پیگیری شد، نتایج حاکی از عدم تأثیر این فاکتور بر راندمان بود. نتایج بررسی لینگین و همکاران (۱۴) نیز، بیانگر عدم معنی داری فاکتور pH بر راندمان استخراج بود.

در مورد اثرات درجه‌ی دوم برای فاکتورهای مورد بررسی، ضریب رگرسیون درجه‌ی دو مربوط به فاکتور دما در سطح ۱٪ و فاکتور زمان در سطح ۵٪ معنی دار بود. آثار متقابل فاکتورهای مورد بررسی برای راندمان معنی دار نبود (جدول ۳). نتایج بدست آمده از اثر متقابل فاکتورها در جدول ۳ درج گردیده است. اثر متقابل بین دو فاکتور زمان و نسبت آب به ماده‌ی جامد، زمان و دما، نسبت آب به ماده‌ی جامد و دما از نظر آماری معنی دار نبود که نشان دهنده‌ی عدم وجود رابطه‌ی خطی توأم بین فاکتورهای مورد بررسی بر میزان راندمان می‌باشد.

بهینه‌سازی

نتایج فرایند بهینه‌سازی، نشان داد؛ شرایط بهینه استخراج آبی اینولین باراندمان ۴۳ درصد؛ شامل دمای ۷۶/۶۴ درجه سانتی‌گراد، زمان ۲۴ دقیقه و نسبت آب به ماده‌ی جامد ۱۲ تعیین گردید. لینگین (۲۰۰۷) شرایط بهینه جهت دست‌یابی به حداکثر راندمان استخراج اینولین (۷۳/۶٪) از کنگرفرنگی اورشلیم را استفاده از مدت زمان ۲۰ دقیقه، نسبت آب به ماده‌ی جامد ۱۰/۵۶ و دمای ۷۴/۷۶ درجه سانتی‌گراد گزارش نمود. فروزان مهر (۱۳۸۶) نیز شرایط بهینه‌ی استخراج اینولین را از کنگر فرنگی ایرانی دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۵ دقیقه و نسبت آب به ماده‌ی جامد را ۵ اعلام نمودند.

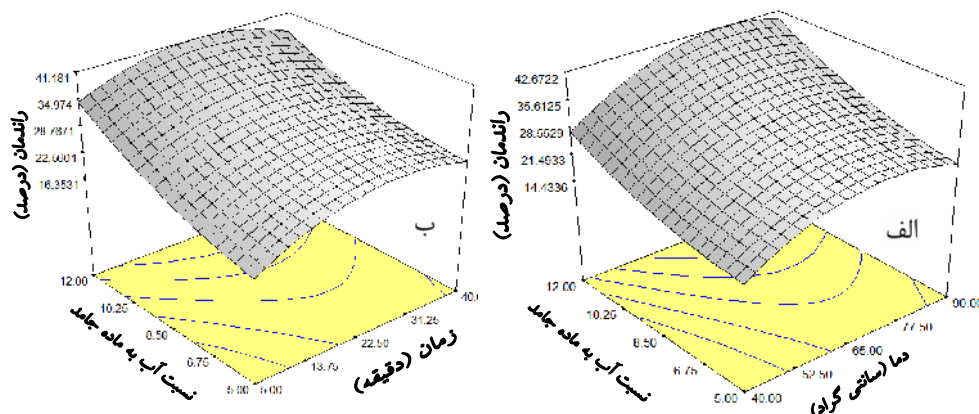
با به کارگیری روش آماری سطح پاسخ، معادله‌ی زیر که نشان دهنده‌ی ارتباط تجربی میان میزان درصد راندمان و متغیرهای آزمایش به صورت کدگذاری شده است، به دست آمد (جدول ۵):

$$Y = 30.91 + 2.45X_1 + 7.71X_2 + 5.42X_3 - 5.60X_1^2 - 7.08X_3^2$$

کاهش یافت. با توجه به معنی داری اثرات خطی و درجه دوم دما (۰/۰۱) P می‌توان وجود انحناء در شکل رویه و کنتور انتظار داشت. افزایش راندمان با افزایش دما احتمالاً به دلیل بهبود انتقال جرم در نتیجه افزایش حلالیت اینولین و کاهش ویسکوزیته حلال است و روند کاهشی راندمان بعد از دمای ۷۷°C می‌تواند در اثر افزایش دیپلمیریزاسیون اینولین به قندهای آزاد در اثر افزایش دما باشد علاوه بر آن افزایش دمای استخراج می‌تواند منجر به شتابدهی تبخیر حلال و افزایش هزینه‌های تأمین انرژی و تقویت استخراج ناخالصی‌ها گردد (۶، ۸ و ۱۱). در مطالعه‌ی لی و همکاران (۲۰۰۷) نتایج بهینه‌سازی استخراج پلی ساکارید نتایج نشان داد که افزایش دما تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش بازده استخراج می‌شود اما به کارگیری دماهای بالاتر به دلیل احتمال تجزیه پلی ساکاریدها به قندهای آزاد باعث کاهش راندمان می‌گردد (۱۰).

اثر همزمان نسبت آب به ماده جامد و زمان در دمای ثابت ۶۵ درجه سانتی‌گراد بر راندمان استخراج در شکل ۶ ب، نشان داده شده است. بر این اساس، زمان تأثیر محسوسی بر راندمان داشته است چنانکه با افزایش زمان تا ۳۲ دقیقه، راندمان به صورت خطی در محدوده تغییرات Xها افزایش یافته؛ پس از آن روند تغییرات ثابت شده و به نظر می‌رسد با افزایش زمان از ۴۰ دقیقه بدلیل افزایش دیپلمیریزاسیون اینولین به قندهای آزاد، راندمان استخراج کاهش یافته است.

رزوگ و همکاران (۱۷)، در پژوهش خود در استخراج پکتین از پوست پرتقال، اظهار نمودند که افزایش زمان استخراج سبب کاهش راندمان می‌شود چراکه زمان‌های طولانی سبب تخریب مولکول پکتین می‌شود بنابراین زمان‌های کوتاه تر را مناسب دانستند. سپولودا و همکاران (۱۹)، نیز استفاده از زمان‌های کوتاه را جهت استخراج صمغ گزارش نمودند. براین اساس، نسبت آب به ماده‌ی جامد تأثیر عمده بر راندمان داشته است. تأثیر مستقل نسبت آب به ماده جامد بر راندمان، بدون لحاظ نمودن سایر متغیرها، به صورت خطی است به طوری که با افزایش نسبت آب به ماده‌ی جامد، میزان راندمان افزایش پیدا می‌کند که معنی دار بودن اثر خطی نسبت آب به ماده‌ی جامد ($p < 0.01$) مؤید آن است. افزایش بازده احتمالاً به دلیل نفوذ بیشتر آب و افزایش پدیده اسمز بوده که قابلیت حل شدن اینولین افزایش یافته و در نتیجه میزان اینولین بیشتری خارج می‌شود (۱۶). نتایج مشابهی توسط محمدمینی (۳) و لینگین (۱۴) مبنی بر تأثیری پذیری استخراج صمغ از میزان آب و افزایش راندمان گزارش شده است. نتایج بررسی فروزان مهر و همکاران (۲)، نشان داد که در میان اثرات خطی نسبت حلال به کنگر فرنگی و پس از آن زمان استخراج به ترتیب با $p < 0.05$ و $p < 0.01$ ، بیشترین تأثیر معنادار را بر مقدار استخراج قند کل داشتند؛ به طوری که با افزایش آنها میزان استخراج به صورت خطی افزایش یافت. در میان اثرات متقابل، تنها اثر معنادار



شکل ۴- نمایش نمودار سه بعدی؛ اثر همزمان دو متغیر نسبت آب به ماده جامد - درجه حرارت (الف) و نسبت آب به ماده جامد - زمان (ب) بر راندمان استخراج اینولین

جدول ۳- نتایج جدول آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای راندمان

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال F	احتمال P
مدل	۱۴۶۱/۴۴	۹	۱۶۲/۳۸	۱۸/۳۹	<۰/۰۰۰۱
زمان A	۵۹/۷۸	۱	۵۹/۷۸	۶/۷۷	۰/۰۲۶۴
نسبت آب به ماده جامد B	۵۹۳/۸۲	۱	۵۹۳/۸۲	۶۷/۲۷	<۰/۰۰۰۱
دما C	۲۹۳/۴۴	۱	۲۹۳/۴۴	۳۳/۲۴	۰/۰۰۰۲
AB	۱۳/۷۶	۱	۱۳/۷۶	۱/۵۶	۰/۲۴۰۴
AC	۲/۰۹	۱	۲/۰۹	۰/۲۴	۰/۶۳۷۰
BC	۱۱/۹۳	۱	۱۱/۹۳	۱/۳۵	۰/۳۷۲۰
A ²	۸۶/۳۱	۱	۸۶/۳۱	۹/۷۸	۰/۰۱۰۷
B ²	۱۷/۲۳	۱	۱۷/۲۳	۱/۹۵	۰/۱۹۲۷
C ²	۱۳۷/۹۴	۱	۱۳۷/۹۴	۱۵/۶۳	۰/۰۰۲۷

جدول ۴- مقادیر به کار رفته در بهینه سازی

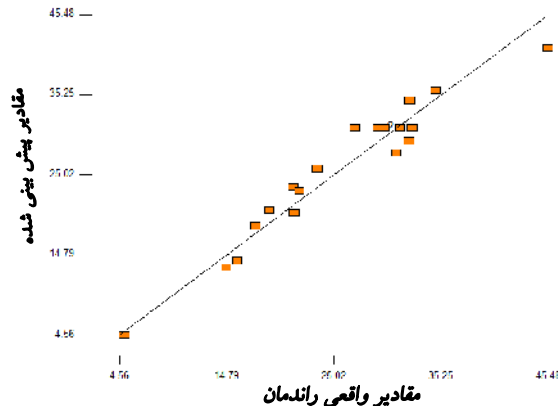
متغیر مستقل	مقدار	پاسخ	مقدار	وزن
زمان (دقیقه)	۵ -۴۰	راندمان	۵ -۴۰	۱
نسبت آب به ماده جامد (V/W)	۵ -۴۰			
دما (سانتی گراد)	۴۰ -۹۰			

جدول ۵- مقادیر ضرایب مدل های درجه دوم کاسته برای پاسخ های استخراج اینولین از سیب ترشی

ضرایب	۰	۱	۲	۳	۱۲	۱۳	۱۱	۲۲	۲۳	۱۱۲	۱۱۳	۲۱۲	۲۱۳	۱۲۳	۱۱۲۳
پاسخ (راندمان)	۳۰/۹۱	۲/۴۵	۷/۷۱	۵/۴۲	-۱/۳۱	-۰/۵۱	۱/۲۲	-۵/۶۰	۲/۵۰	-۷/۰۸					

همبستگی بسیار خوب بین نتایج به دست آمده با روش تجربی و مقادیر پیش بینی شده با روش آماری است.

مقایسه ی مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش بینی شده تطابق نزدیک این اعداد را نشان می دهند (شکل ۲)؛ این امر نشان دهنده ی



شکل ۴. مقایسه‌ی مقادیر مشاهده شده راندمان با مقادیر پیش‌بینی شده راندمان

نتیجه گیری

کمتری بود. بایستی اشاره نمود که هدف از انجام این تحقیق، به دست آوردن شرایط تأثیرگذار بر استخراج اینولین از سیب زمینی ترشی به عنوان یک کار آغازین بود که به هر حال، انجام تحقیقات بیشتر در این رابطه ضروری جلوه می‌نماید. از نتایج بدست آمده می‌توان چنین برداشت نمود که استخراج اینولین از سیب زمینی ترشی در کشور با توجه به هزینه‌ی بالای واردات آن و کاربرد وسیع آن در زمینه‌ی دارویی و تغذیه‌ای، منطقی خواهد بود.

نتایج حاصل از تحقیق بیانگر کارایی مفید متدولوژی رویه پاسخ در بهینه‌سازی فرایند استخراج اینولین از سیب زمینی ترشی بود. از میان شرایطی که برای استخراج اینولین از سیب زمینی ترشی اعمال شد، مشخص شد که راندمان استخراج از نسبت آب به دانه و دما تأثیر می‌پذیرند، به طوری که نسبت آب به دانه به میزان بیشتری از دما بر راندمان تأثیر داشته و اثر زمان نسبت به دو فاکتور دیگر به میزان

منابع

۱. زرگری، ع. ۱۳۷۲. گیاهان دارویی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، جلد سوم، صفحه ۸۹۰.
۲. فرزاد مهر، ح. و عباسی، س. ۱۳۸۶. بهینه‌سازی استخراج اینولین از کنگر فرنگی با و بدون اعمال فراصوت به کمک روش سطح پاسخ. هفدهمین کنگره ملی صنایع غذایی، (ارومیه).
۳. محمد امینی، ا. ۱۳۸۶. بهینه‌سازی شرایط استخراج ترکیبات هیدروکلئیدی دانه‌ی بالنگو شیرازی و بررسی تأثیر افزودن آن بر خواص رئولوژیکی و کیفیت نان حجیم در مقایسه با صمغ گزانتان. دانشگاه فردوسی مشهد، گروه علوم و صنایع غذایی.
- 4- AOAC. 1990. Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemist.
- 5- Atkinson, A.C., & Donev, A.N. 1992. Optimum experimental designs. Oxford University Press:132-189.
- 6- Baldini, M., Danuso, F., Turi, M., & Vannozzi, G. P. 2004. Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for inulin and sugar yield from stalks and tubers. *Industrial Crops and Products*, 19: 25-40.
- 7- Beatriz, H.Bernal, Jario Calle, Elcy Q.Duarte, Roberto Pinzon, Mario Velasquez. 2005. Inulin from tubers of *Dahlia imperialis* Roetz. *Rev. Col. Cienc. Quim. Farm.* 34(2): 122-125.
- 8- Bekers, M, Grube. M., Upite, D., Kaminska, E. & Linde, R. 2007. Carbohydrates in Jerusalem artichoke powder suspension. *Nutrition & Food Science.* 37 (1): 42- 49
- 9- Cui, W. Mazza, G. Oomah, B.D. & Biliaderis, C.G.1994. Optimization of an aqueous extraction process for flaxseed gum by response surface methodology, *LTW.* 27, 363-369.
- 10- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.
- 11- Joglekar, A. & May, A. 1987. Product excellence through design of experiments, *Cereal Foods World.* 32: 857-868.
- 12- Kaur, N. and Gupta A. K. 2002. Application of inulin and oligofructose in health and nutrition. *Journal of*

- Bioscience, 27: 703–714.
- 13- Li, Jin-wei., dong Ding, Shao, Xiao-lin Ding. 2007. Optimization of the ultrasonically assisted extraction of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* cv. jinsixiaozao *Journal of Food Engineering* 80: 176–183
 - 14- Lingyun, W. Jianhua, W., Xiaodong. Zh. Da, T., Yalin, Y., Chenggang, C., Tianhua, F., Fan, Zh. 2007. Studies on the extracting technical conditions of inulin From Jerusalem artichoke tubers. *Journal of Food Engineering* 79: 1087–1093.
 - 15- López-Molina, Dorotea, María Dolores Navarro-Martínez, Francisco Rojas-Melgarejo, Alexander N.P. Hiner, Soledad Chazarra and José Neptuno. 2005. Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke (*Cynara scolymus* L.)
 - 16- Myers, R.H., & Montgomery, D.C. 2002. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 2nd Edition. Wiley, New York.
 - 17- Rezzoug, Sid-Ahmed. Maache-Rezzoug, Zoulikha. Sannier. 2008. A Thermomechanical Preprocessing for Pectin Isolation from Orange Peel with Optimisation by Response Surface Methodology. *International Journal of Food Engineering* Volume 4, Issue 1:10
 - 18- Roberfroid, M. 2005. Inulin-type fructans: Functional food ingredients. New York: CRC Press.
 - 19- Sep lveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments* 68: 534–545.