

کارایی روش سطح پاسخ در بهینه سازی شرایط استخراج اینولین از گیاه شنگ

الناز میلانی^{۱*}، غلامعلی گلی موحد^۱ و فرشته حسینی^۲

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۲۰

۱- مربی پژوهشی، گروه فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد

۲- مربی پژوهشی، گروه افزودنی های غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد

*مسئول مکاتبه: Email: e_milani81@yahoo.com

چکیده

اینولین به علت دارا بودن ویژگی های مفید تغذیه ای و عملکردی نظیر جایگزین چربی، بهبود بافت و اثرات پری بایوتیک به طور گسترده ای در غذاهای عملگر در سطح جهان مورد استفاده می باشد. شنگ یکی از منابع ارزشمند اینولین می باشد. اما همچنان اطلاعات کمی در خصوص نحوه استخراج اینولین از گیاه شنگ موجود است. در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی به منظور بررسی تأثیر زمان (۴۰-۵ دقیقه)، نسبت آب به ماده ی جامد (۵-۱۵) و دما (۹۰-۴۰ درجه سانتی گراد) بر میزان راندمان استخراج اینولین از شنگ و بهینه سازی فرایند متداول استخراج اینولین، استفاده شد. از متدولوژی رویه سطح پاسخ نیز جهت یافتن حالت بهینه اثر متقابل فاکتورها و برآورد بهترین شرایط فرایند با کمترین میزان آزمون استفاده گردید. ترکیب شیمیایی و میزان مواد معدنی گیاه شنگ نیز توسط روش های استاندارد AOAC تعیین گردید. نتایج آنالیز واریانس نشان داد، اثر دما و مدت زمان بر استخراج اینولین معنی دار بود ($p < 0.05$). شرایط عملیاتی بهینه برای فرآیند استخراج اینولین جهت حصول بیشینه ی راندمان ۱۳/۲۳ درصد؛ شامل دمای ۵۶/۲۴ درجه ی سانتی گراد، نسبت آب به ماده ی جامد ۸/۹۷ و زمان ۳۹ دقیقه تعیین گردید.

واژه های کلیدی: استخراج، اینولین، خصوصیات شیمیایی، شنگ و روش رویه سطح پاسخ

Application of Response Surface Methodology for Optimization of Inulin Extraction from Salsify Plant

E Milani^{*1}, QA Golimovahhed¹ and F Hosseini²

Received: 16 February, 2010 Accepted: 09 April, 2011

¹Research Instructor, Department of Food Processing, Iranian Academic Centre for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran

²Research Instructor, Department of Food Additives, Iranian Academic Centre for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran

*Corresponding author: E-mail: e_milani81@yahoo.com

Abstract

Inulin is widely used in functional foods throughout the world due to its useful nutritional and functional properties such as fat replacer, texture improvement and prebiotic effects. Salsify Plant is the one of valuable source of inulin, but few studies exist on its extraction. In this research, central composite design (CCD) was performed to investigate the effect of each variable, time (5-40 min), solvent: solid ratio (5-15 v/w) and temperature (40-90°C) on inulin extraction yield from salsify and optimization of conventional extraction of inulin. Response surface methodology (RSM) was also employed to optimize multiple variables to predict the best performance conditions with a minimum number of experiments. Chemical properties and mineral contents of salsify plant were also determined according to AOAC methods. The results of analysis of variance showed that effects of time and temperature on inulin extraction were significant ($P < 0.05$). The optimal conditions for maximizing inulin extraction yield (13.23%) were at 56.24°C, solvent: solid ratio of 8.97:1 (v/w) for 39 min.

Key words: Chemical properties, Extraction, Inulin, Response surface methodology, Salsify

را تشکیل دهند، فروکتان گفته و این ترکیبها در طبیعت بصورت اینولین با پیوند $\beta^2 \rightarrow 1$ و یا لوان پیوند $\beta^2 \rightarrow 6$ می باشد (کارابین ۱۹۹۹ و تنگند ۲۰۰۲). فروکتان های نوع اینولین بر اساس درجه پلیمریزاسیون به گروههای مختلفی مانند الیگوفرکتوز (ترکیبی از الیگومرها با $DP^3=2-7$)، اینولین طبیعی یا استاندارد با $DP=2-65$ و اینولین بلند زنجیره و با کارآیی بالا $DP=10-65$ طبقه بندی می شوند (روبرفرید ۲۰۰۷ و رودریگوس ۲۰۰۷). اینولین، فیبر غذایی محلول و قابل تخمیری است که از طریق بهبود نظم، افزایش تناوب دفع و حجم مدفوع به بهبود عملکرد روده کمک می نماید؛ رژیم حاوی اینولین رشد لاکتوباسیل ها و

مقدمه

تاریخ شناخت و استخراج اینولین مربوط به ۲۰۰ سال پیش است. زمانیکه دانشمند آلمانی به نام رز، نخستین بار ترکیبی با منشا گیاهی را از زنجبیل شامی^۱ توسط آبجوش جدانمود (کاسمنت ۱۹۹۶). سپس در اواخر قرن ۱۹ پالپ های گیاه کنگر فرنگی اورشلیم^۲ از طریق پخت و خشک کردن غده ها تهیه و با نسبت ۵۰:۵۰ به آرد برای تهیه نان افزوده شد (برایقنتی ۱۹۹۹، روبرفرید ۲۰۰۷ و رودریگوس ۲۰۰۷). بطور کلی به بسپارهای خطی یا منشعب فروکتوز که در آن پیوند فرکتوزیل_ فروکتوز اکثر پیوندهای گلیکوزیدی

¹ *Inula helenium*

² *Jerusalem Artichoke*

³ Degree of polymerization

مواد و روش ها

مواد

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل، شنگ تهیه شده از ارتفاعات کرمانشاه، دی نیترو سالیسیلیک اسید از شرکت سیگما (SIGMA)، فنول کریستاله از Panreac uimica، اینولین استاندارد از Beneo-OraftiR، اسید سولفوریک ۹۶٪، تارتارات مضاعف سدیم و پتاسیم، هیدروکسید سدیم و دی فروکتوز استاندارد از شرکت مرک آلمان (Merck)، بود.

روش ها

محتوی پروتئینی شنگ، توسط دستگاه میکروکلدال خودکار Tecator و محاسبه ضریب تبدیل ۶/۲۵؛ میزان چربی توسط دستگاه سوکسله Whatman و میزان خاکستر به کمک کوره الکتریکی (دما ۵۵۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت) موجود در پژوهشکده ی صنایع غذایی جهاد دانشگاهی آنالیز شد (کامپوس ۲۰۰۹)؛ مواد معدنی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی biochrom و فیبرکل به کمک روش آنزیمی به شماره ۹۹۱/۴۳ و دستگاه آنالیز فیبر مدل BI500، اندازه گیری شد (AOAC, 1995).

آماده سازی نمونه های شنگ

نمونه ها به طور کامل پوست گیری شده و به دقت شسته شدند. پس از آن نمونه های شنگ، به قطعات کوچک برش خورده و برای ۲۴ ساعت در آون (مدل DENA) با دمای ۴۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا رطوبت نهایی نمونه ها به ۵٪ کاهش یابد؛ سپس نمونه ها از آون خارج و به دسیکاتور منتقل شده و پس از سرد شدن، توسط آسیاب پودر و سپس از الک آزمایشگاهی با مش ۵۰ میکرومتر جهت رسیدن به دانه بندی یکسان عبور داده شدند (فروزان مهر ۱۳۸۵، لینگیون ۲۰۰۷ و کامپوس ۲۰۰۹).

استخراج آبی عصاره ی شنگ

جهت استخراج عصاره ی شنگ، ابتدا مقدار مشخص از پودر گیاه 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

بیفیدو باکتررا تحریک و بصورت انتخابی مانع رشد ارگانسیم های پاتوژن می گردد (روبرفرید ۲۰۰۷ و کامپوس ۲۰۰۹).

اینولین در ۱۵٪ از گونه های گیاهان گلدار مانند پیاز، سیر، مارچوبه، موز، کنگر فرنگی، کاسنی، غده کوب، تره فرنگی، شنگ^۴ و ریشه بابا آدم به طور طبیعی موجود بوده و در ضمن توسط برخی از باکتری ها و قارچ ها نیز تولید می شود؛ مقدار اینولین در گیاهان مذکور در دامنه ۱ تا ۲۰٪ نسبت به وزن گیاه تازه وجود دارد (راستال ۲۰۰۲). دو گونه که در حال حاضر در صنعت برای تولید اینولین استفاده می شوند متعلق به کامپوزیته و شامل کنگر فرنگی و کاسنی می باشند (چربوت ۲۰۰۲). میزان تولید اینولین در دنیا، حدود ۱۰۰۰۰۰ تن برآورد می گردد (روبرفرید ۲۰۰۷). گیاه شنگ به فارسی اسلیخ و در طب سنتی با نام ذنب الخیل نامبرده شده است. گیاهی است از خانواده *Carinatus Gilib* که نام علمی آن *Tragopogon pratensis L* است. شنگ، گیاهی است علفی جزء سبزی های خوردنی؛ ریشه آن دوکی شکل سفید مایل به زرد و برگ ها نواری می باشد. این گیاه در چمنزاهای مرطوب مناطق شمال و غرب ایران، در کردستان و دامنه های البرز می روید. اما همچنان اطلاعات کمی در مورد نحوه استخراج اینولین، از آن موجود است. مصرف شنگ، اسهال خونی و صفاوی را قطع می کند. عصاره آن جهت التیام زخم معده و تقویت معده نافع است و جوشانده آن برای رفع اختلالات کبد و احساس سوزش در معده و ترش کردن مفید است؛ زکریا رازی مصرف شنگ را برای دفع سموم، توصیه نمود (زرگری ۱۳۷۲).

امروزه اینولین به ماده اولیه مهمی در صنایع غذایی تبدیل شده و سبب بهبود ویژگیهای کیفی فراورده های غذایی می گردد (کاسمنت ۱۹۹۶، والتر ۱۹۹۹ و روبرفرید ۲۰۰۷). هدف از انجام پژوهش، دستیابی شرایط بهینه استخراج آبی اینولین از گیاه شنگ با استفاده از روش سطح پاسخ برای تعیین مقادیر بهینه ی فاکتور های مورد بررسی بود.

⁴ Salsify

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 ۰/۱ 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 نمونه ها افزوده گردید و در نهایت میزان جذب نمونه ها در ۵۳۰ نانومتر خوانده شد. جهت تهیه منحنی استاندارد قند احیاء از D فرکتوز به عنوان استاندارد استفاده گردید؛ بدین منظور محلول های مختلف با غلظت های متفاوت D فرکتوز تهیه شده و با روش ذکر شده میزان جذب این محلول ها اندازه گرفته شد. قند احیا نمونه ها با قراردادن میزان جذب های خوانده شده در معادله خط نمونه های استاندارد محاسبه شد (فروزان مهر ۱۳۸۵، لینگیون ۲۰۰۷ و کامپوس ۲۰۰۹).

اندازه گیری میزان اینولین

برای اندازه گیری اینولین، میزان قند احیای محاسبه شده از میزان قند کل به دست آمده کسر گردیده و درصد اینولین واقعی به روش زیر محاسبه شد (فروزان مهر ۱۳۸۵، بالدینی ۲۰۰۴، لینگیون ۲۰۰۷ و کامپوس ۲۰۰۹).

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؛ پس از اتمام سانتریفیوژ، ۱ میلی لیتر از محلول شفاف رویی را برداشته و در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ رسانده و از این محلول جهت عملیات بعدی استفاده نمودیم (لینگیون ۲۰۰۷).

روش اندازه گیری قند کل

برای اندازه گیری قند کل از روش ارائه شده توسط دوبیوس و همکاران^۵ (۱۹۵۶) استفاده شد، بدین منظور ۱ میلی لیتر از عصاره شنگ استخراج شده را تا غلظت ۱ درصد رقیق و سپس ۱ میلی لیتر از عصاره رقیق شده را به لوله آزمایش منتقل کرده و ۳ میلی لیتر محلول اسید سولفوریک (۹۶٪) به آن افزوده شد و لوله ها به کمک آب سرد تا رسیدن به دمای اتاق خنک شدند، سپس ۵۰ میکرولیتر محلول فنل ۹۰٪ به لوله ها افزوده و سرد کردن به مدت ۳۰ دقیقه به کمک آب سرد ادامه یافت، در نهایت میزان جذب نمونه ها توسط اسپکتروفتومتر در ۴۸۰ نانومتر خوانده شد. جهت تهیه منحنی استاندارد قند کل از اینولین استفاده شد، بدین منظور محلول های حاوی اینولین با غلظت های مختلف را تهیه و میزان جذب هر یک از آن ها در طول موج ۴۸۰ نانومتر اندازه گیری شد. قند کل نمونه ها از طریق میزان جذب های خوانده شده در معادله ی خط نمونه های استاندارد محاسبه گردید (فروزان مهر ۱۳۸۵، بالدینی ۲۰۰۴، لینگیون ۲۰۰۷ و کامپوس ۲۰۰۹).

روش اندازه گیری قند احیاء

جهت اندازه گیری قند احیاء از روش بالدینی و همکاران^۶ (۲۰۰۴)، استفاده شد؛ بدین منظور ابتدا یک مخلوط استاندارد تهیه شد. جهت تهیه آن، ۲۵ گرم سدیم پتاسیم تارتارات مضاعف، ۱/۶ گرم هیدروکسید سدیم و ۱ گرم دی

⁵ Dubois et al.

⁶ Baldini et al.

بازده استخراج اینولین(درصد) = (مقدار اینولین × حجم عصاره استخراجی / مقدار پودر شنگ) × ۱۰۰

جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها.

| متغیرمستقل | نماد ریاضی | کد و سطح مربوطه |
|------------|----------------|-----------------|
| دما | X ₁ | ۹۰، ۶۵، ۴۰ |
| زمان | X ₂ | ۴۰، ۲۲/۵، ۵ |
| نسبت | X ₃ | ۱۲، ۸/۵، ۵ |

طرح آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

روش سطح پاسخ (RSM) مجموعه ای از تکنیک های آماری است که در بهینه سازی فرایند هایی بکار می رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تاثیر قرار می گیرد. شمای گرافیکی مدل ریاضی سبب تعریف واژه ی روش سطح پاسخ شده است. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتور ها، قابل برآورد هستند. مهمترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتور ها بود، از اینرو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد (آتکینسون ۱۹۹۲ و میر ۲۰۰۲). در این مطالعه اثر متغیر های مستقل شامل X₁ دما، X₂ زمان و X₃ نسبت حلال به ماده جامد، در سه سطح مورد ارزیابی قرار گرفت؛ در جدول ۱ متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها نشان داده شده است. متغیرها، مطابق معادله اخیر کدگذاری شدند در این جا، X_i مقدار بدون بعد متغیر مستقل فرایند، X_i مقدار واقعی متغیر مستقل فرایند، \bar{X}_i مقدار واقعی متغیر مستقل در نقطه ی مرکزی و ΔX_i تغییر پله ای است. در مرحله دوم طرح آماری گزینش شده و رابطه مدل مورد استفاده برای پیش بینی، برازش شده و مورد ارزیابی قرار می گیرد.

مدل مورد استفاده در RSM عموماً " رابطه ی درجه دوم می باشد. در RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می نماید، مدل چند متغیره به صورت

زیر می باشد. در معادله مذکور Y پاسخ پیش بینی شده، β_0 ضریب ثابت، $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ اثرات خطی، $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ اثرات مربعی و $\beta_{23}, \beta_{33}, \beta_{32}$ اثرات متقابل می باشند. از نرم افزار Design Expert 7.1.6 جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودار های مربوط به روش سطح پاسخ استفاده گردید.

$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{32} x_3 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{31} x_3 x_1$
در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی با سه متغیر مستقل؛ شامل دما، نسبت آب به دانه و زمان استخراج، ۳ سطح، ۳ بلوک و ۶ تکرار در نقطه مرکزی طرح (برای محاسبه تکرار پذیری فرایند) جهت بررسی تاثیر شرایط استخراج اینولین و بهینه سازی فرایند مذکور استفاده شد. در جدول ۲، تیمارهای استخراج آبی شنگ مشاهده می شود.

جدول ۲- تیمارهای مربوط به استخراج آبی شنگ.

| تیمار | دما (C°) | نسبت آب به ماده جامد | زمان (دقیقه) | راندمان (درصد) |
|-------|----------|----------------------|--------------|----------------|
| ۱ | ۹۰ | ۱۲ | ۵ | ۱/۳ |
| ۲ | ۴۰ | ۸/۵ | ۲۲/۵ | ۱۱/۵ |
| ۳ | ۹۰ | ۵ | ۵ | ۵/۳۸ |
| ۴ | ۶۵ | ۸/۵ | ۲۲/۵ | ۹/۵ |
| ۵ | ۶۵ | ۸/۵ | ۴۰ | ۱۱/۵ |
| ۶ | ۶۵ | ۸/۵ | ۲۲/۵ | ۱۰ |
| ۷ | ۶۵ | ۵ | ۲۲/۵ | ۶/۸۷ |
| ۸ | ۴۰ | ۵ | ۴۰ | ۹/۹۵ |
| ۹ | ۶۵ | ۱۲ | ۲۲/۵ | ۹/۰۳ |
| ۱۰ | ۹۰ | ۵ | ۴۰ | ۶/۶۷ |
| ۱۱ | ۴۰ | ۵ | ۵ | ۸/۲۸ |
| ۱۲ | ۶۵ | ۸/۵ | ۲۲/۵ | ۷/۵۹ |
| ۱۳ | ۴۰ | ۱۲ | ۴۰ | ۱۲/۵ |
| ۱۴ | ۶۵ | ۸/۵ | ۵ | ۸/۸ |
| ۱۵ | ۶۵ | ۸/۵ | ۲۲/۵ | ۱۰/۶۳ |
| ۱۶ | ۹۰ | ۱۲ | ۴۰ | ۶/۸۹ |
| ۱۷ | ۴۰ | ۱۲ | ۵ | ۹/۵۴ |
| ۱۸ | ۹۰ | ۸/۵ | ۲۲/۵ | ۴/۵ |
| ۱۹ | ۶۵ | ۸/۵ | ۲۲/۵ | ۱۱ |
| ۲۰ | ۶۵ | ۸/۵ | ۲۲/۵ | ۱۱/۸۳ |

نتایج و بحث

اندازه گیری ساختار شیمیایی موجود در سنگ

میزان ساختار شیمیایی و مواد معدنی موجود در سنگ در جدول ۳ قابل مشاهده است. مطابق گزارش هاردن برگ (۱۹۸۶)، در هر ۱۰۰ گرم سنگ خام ۲/۹ گرم پروتئین، ۰/۶ گرم چربی، ۱۸ گرم هیدرات کربن، ۴۷ میلی گرم کلسیم، ۶۶ میلی گرم فسفر، ۱/۵ میلی گرم آهن و پتاسیم به میزان ۳/۸ میلی گرم، موجود است.

جدول ۳- ساختار شیمیایی و میزان مواد معدنی موجود در گیاه سنگ.

| میزان مواد معدنی موجود در صد گرم سنگ | | | | | |
|--|------|----------------|------|-------|----|
| بر حسب میلی گرم | | | | | |
| Fe | Cu | Zn | Na | K | Ca |
| ۲۵/۸۷ | ۶۴/۲ | ۲۶/۱۷ | ۲۹/۲ | ۱۳/۹ | ۸۳ |
| ساختار شیمیایی موجود در صد گرم سنگ بر حسب میلی گرم | | | | | |
| چربی | | پروتئین خاکستر | | NDF | |
| ۰/۵۴ | | ۷/۱۴ | | ۱۳/۷۶ | |
| ADF | | ADF | | ADF | |
| ۲۹۳/۴ | | ۱۳ | | ۲۹۳/۴ | |

گزینش مدل مناسب و تجزیه مدل برازش یافته

جدول ۴ نتایج حاصل از تجزیه آماری را نشان می دهد. به طور متداول جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین^۷ (R^2) و آزمون عدم برازش^۸ استفاده می شود. معنی دار بودن آزمون عدم برازش برای یک مدل بیانگر این است که نقاط به خوبی اطراف مدل قرار نگرفته اند و نمی توان از مدل برای پیش گویی مقادیر متغیرهای تابع استفاده نمود. بنابراین با عدم معنی داری آزمون عدم برازش، می توان دریافت؛ مدل، به خوبی می تواند بر داده های مورد بررسی برازش شود. جدول ANOVA نشان داد، آزمون عدم برازش برای تمام صفات مورد اندازه گیری، معنی دار نبود، این نشان می دهد، تمام مدل ها به خوبی روند داده ها را نشان می دهند. از طرف دیگر پاسخ ها با

ضرایب اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بود که این امر نشان دهنده این است که تمام مدل ها به خوبی روند تغییر داده ها را نشان می دهند. از طرف دیگر^۹ R^2 تصحیح شده^۹ نیز به منظور اطمینان از این مسئله که مدل می تواند به خوبی اعداد را تخمین بزند، محاسبه شد؛ ضریب تبیین^۲ R^2 بعنوان نسبت تغییرات توصیف شده توسط مدل به تغییرات کل بیان می شود که معیاری از درجه تناسب برازش می باشد.

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس مدل برای راندمان.

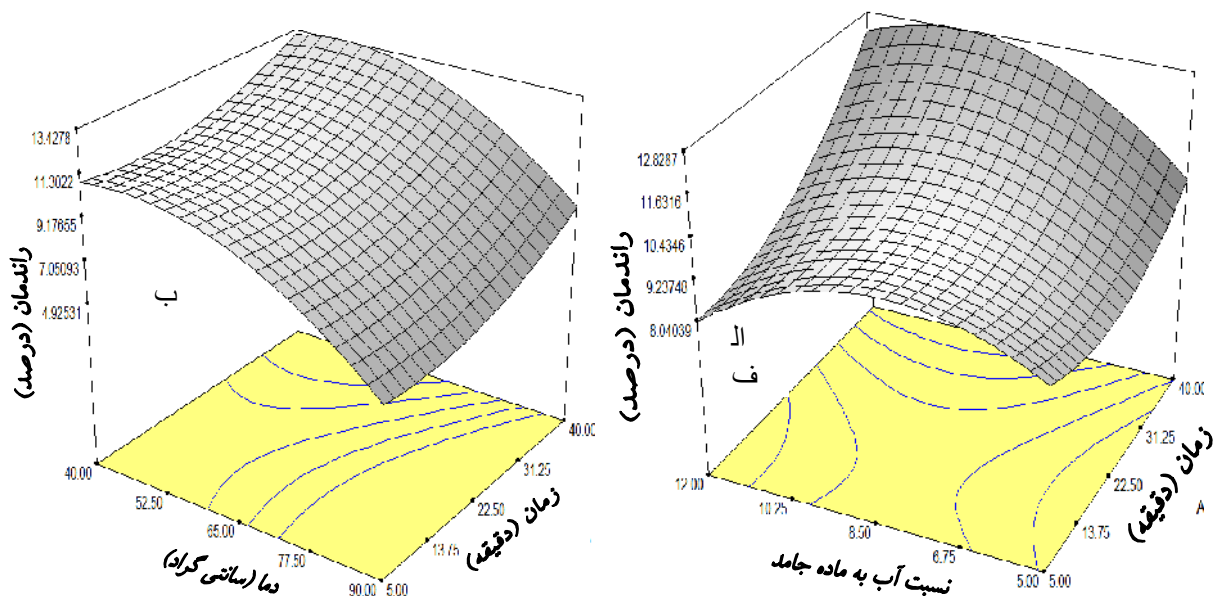
| منبع | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | ارزش F | ارزش P |
|----------------|--------------|------------|----------------|--------|--------|
| مدل | ۱۲۶/۱۲ | ۹ | ۱۵/۲۴ | ۱۳/۳۱ | ۰/۰۰۰۲ |
| زمان A | ۱۲/۷۵ | ۱ | ۱۲/۷۵ | ۱۰/۰۹ | ۰/۰۰۰۷ |
| نسبت B | ۱/۷۴ | ۱ | ۱/۷۴ | ۱/۵۳ | ۰/۲۴ |
| دما C | ۶۶/۲۱ | ۱ | ۶۶/۲۱ | ۵۸/۲۱ | ۰/۰۰۰۱ |
| AB | ۴/۰۴ | ۱ | ۴/۰۴ | ۳/۵۶ | ۰/۰۸۱ |
| AC | ۰/۱۳ | ۱ | ۰/۱۳ | ۰/۱۱ | ۰/۷۵ |
| BC | ۷/۳۸ | ۱ | ۷/۳۸ | ۶/۸۰ | ۰/۰۲۵ |
| A ^۲ | ۲/۹۴ | ۱ | ۲/۹۴ | ۲/۵۹ | ۰/۱۳۷ |
| B ^۲ | ۶/۶۱ | ۱ | ۶/۶۱ | ۵/۲۲ | ۰/۰۳۶ |
| C ^۲ | ۱۲/۵۸ | ۱ | ۱۲/۵۸ | ۱۱/۱۲ | ۰/۰۰۷ |
| عدم برازش مدل | ۷/۹۸ | ۵ | ۱/۵۹ | ۲/۳۲ | ۰/۱۸ |
| باقیمانده | ۱۱/۳۷ | ۱۰ | ۱/۱۴ | | |
| خطای خالص | ۳/۰۲ | ۵ | ۰/۶۹ | | |

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 می باشد (۸)، با توجه به جدول ۴ برای فاکتور راندمان، مدل درجه دوم کاسته از نظر آماری معنی دار بود ($P \leq 0.001$)؛ سایر عبارات های معنی دار مدل نیز شامل زمان، دما، عبارت درجه دوم شدت صوت و دما بودند. همچنین عبارت های مربوط به برهم کنش شدت صوت-دما معنی دار بودند. مقدار R^2 بالا

^۷ Coefficient of determination^۸ Lack of fitness^۹ Adjusted R²

با توجه به معنی داری اثر خطی و درجه دوم ($P \leq 0/01$) میتوان وجود انحناء در شکل رویه و کنتور را انتظار داشت. افزایش راندمان با افزایش دما احتمالاً به دلیل بهبود انتقال جرم در نتیجه افزایش حلالیت اینولین و کاهش ویسکوزیته حلال است؛ بعلاوه افزایش دمای استخراج می تواند سبب شتاب دهی تبخیر حلال و افزایش هزینه های تامین انرژی و تقویت استخراج ناخالصی ها و مواد زاید گردد (تانگلدن ۲۰۰۲، میر ۲۰۰۲ و لینگیون ۲۰۰۷).

(۰/۹۲۴) و $R^2_{adjusted}$ (۰/۸۵۸)، نیز بیانگر قدرت بالای مدل درجه دوم در پیش بینی بود (میر ۲۰۰۲ و بالدینی ۲۰۰۴). در شکل ۱، اثر همزمان دو متغیر بر راندمان استخراج اینولین از گیاه شنگ نشان داده شده است. در شکل ۱-الف، در دمای ثابت ۶۵ درجه سانتی گراد، اثر همزمان مدت زمان-نسبت آب به ماده جامد، بر راندمان استخراج نشان داده شده است. بر این اساس افزایش مدت زمان تا ۲۲ دقیقه تأثیری در روند راندمان استخراج نداشت؛ اما پس از آن، با افزایش مدت زمان استخراج، راندمان افزایش یافت.

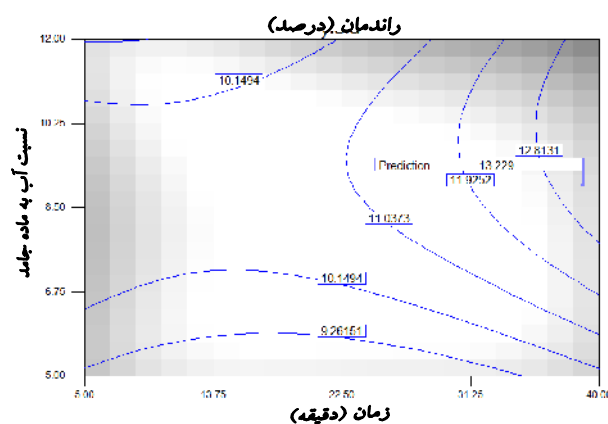


شکل ۱- نمایش سه بعدی؛ اثر همزمان نسبت آب به ماده جامد-زمان (الف) و زمان-درجه حرارت (ب) بر راندمان استخراج اینولین

استخراج از دما و مدت زمان تأثیر می پذیرند، به طوری که دما به میزان بیشتری از زمان بر راندمان تأثیر داشت. نتایج بررسی فروزان مهر و همکاران (۱۳۸۶)، نشان داد، در میان اثرات خطی نسبت حلال به کنگر فرنگی و پس از آن زمان استخراج به ترتیب با $P < 0/01$ و $P < 0/05$ ، بیشترین تأثیر معنادار را بر مقدار استخراج قند کل داشتند. به طوری که با افزایش آنها میزان استخراج به صورت خطی

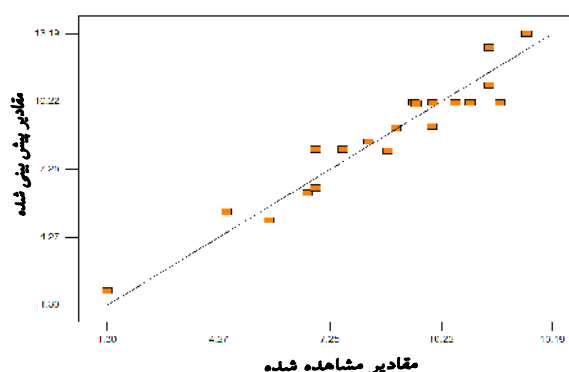
در شکل ۱-ب، اثر درجه حرارت-زمان، در نسبت ثابت آب به ماده جامد، بر راندمان استخراج نشان داده شده است؛ بر این اساس، زمان های بالاتر از ۲۲ دقیقه تأثیر محسوسی بر راندمان داشته است چنانکه با افزایش زمان تا ۴۰ دقیقه، راندمان به صورت خطی در محدوده تغییرات X ها افزایش می یابد. از میان شرایطی که برای استخراج اینولین از گیاه شنگ اعمال شد، مشخص شد راندمان

تیونینگ^{۱۱}، بهترین پاسخ‌ها بدست آمد (آتکینسون ۱۹۹۲ و میر ۲۰۰۲). تنظیمات اعمال شده برای فرایند بهینه سازی، شامل مدت زمان کمینه و راندمان بیشینه بود. تعیین شرایط عملیاتی بهینه، توسط نمودار رویه پاسخ و کنتور انجام پذیرفت. نتایج فرایند بهینه سازی، نشان داد؛ شرایط بهینه استخراج آبی اینولین از گیاه شنگ باراندمان ۱۳/۲۳ در شکل ۳، نمودار کنتور بهینه سازی استخراج اینولین از شنگ در دمای بهینه ۵۶/۲۴ درجه سانتی گراد قابل مشاهده است. درصد؛ شامل دمای ۵۶/۲۴ درجه سانتی گراد، زمان ۳۹ دقیقه و نسبت آب به ماده جامد ۸/۹۷ تعیین گردید.



شکل ۳- نمودار بهینه سازی استخراج آبی اینولین از شنگ

افزایش یافت. در میان اثرات متقابل، تنها اثر معنادار مربوط به ترکیب نسبت حلال به کنگرفرنگی - زمان با $P < 0.05$ بود. بنابراین نسبت حلال به کنگرفرنگی و زمان به احتمال بسیار قوی مؤثرترین متغیرهای مطالعه بودند. در پژوهش لینگیون و همکاران (۲۰۰۷)، بر استخراج اینولین از کنگرفرنگی، مشخص شد؛ نسبت حلال به کنگرفرنگی و دما دارای بیشترین تاثیر بر بازده استخراج بود.



شکل ۴- مقایسه مقادیر مشاهده شده راندمان با مقادیر پیش بینی شده

مقایسه مقادیر مشاهده شده (Y_0) با مقادیر پیش بینی شده (Y) در شکل ۲ آمده است؛ مشاهدات، بیانگر همبستگی بسیار خوب بین نتایج بدست آمده با روش تجربی و مقادیر پیش بینی شده با روش آماری است. با بکارگیری روش آماری سطح پاسخ، معادله اخیر که نشان دهنده ارتباط تجربی متغیرهای آزمایش و درصد راندمان به صورت کدگذاری شده است، به دست آمد:

$$Y = 10.17 + 1.29X_1 + 0.47X_2 - 2.44X_3 + 0.13X_{12} - 1.19X_{13} - 1.11X_{11} - 1.59X_{22} - 2X_{33}$$

بهینه سازی استخراج آبی اینولین از گیاه شنگ شرایط عملیاتی بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی^{۱۰} جستجو شد. بدین منظور، در ابتدا اهداف بهینه سازی را مشخص کرده و سپس سطوح پاسخ و متغیرهای مستقل را تنظیم کرده و با استفاده از تکنیک فاین

¹¹ Fine tuning

¹⁰ Numerical optimization

منابع مورد استفاده

- زرگری، ع، ۱۳۷۲. گیاهان دارویی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، جلد سوم، صفحه ۸۹۰
- فرزان مهر، ح. عباسی، س، ۱۳۸۶. بهینه سازی استخراج اینولین از کنگر فرنگی با و بدون اعمال فراصوت به کمک روش سطح پاسخ. هفدهمین کنگره ملی صنایع غذایی، (ارومیه).
- AOAC official method, 2000.11 Polydextrose in foods. Official methods of analysis of AOAC International, 17th edition, Revision 2, Chap. 45, p. 78.
- Atkinson AC and Donev AN, 1992. Optimum experimental design. Oxford University Press 5:132-189
- Baldini M, Danuso F and Turi M, 2004. Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke for inulin and sugar yield from stalks and tubers. Industrial Crops and Products 19: 25–40.
- Brighenti F, Casiraghi E, Ferrari A, 1999. Effect of consumption of a ready-to-eat breakfast cereal containing inulin on the intestinal milieu and blood lipids in healthy male volunteers, European Journal of Clinical Nutrition 53: 726–733.
- Campos D, Betalleluz I, Renzo T, Rosana Ch and Romina P, 2009. Nutritional and functional characterisation of Andean chicuru (*Stangea rhizanta*). Food Chemistry 112: 63–70
- Carabin G and Flamm W, 1999. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. Regulatory Toxicology and Pharmacology 30: 268–282.
- Cherbut C, 2002. Inulin and oligofructose in the dietary fibre concept, British Journal of Nutrition 87: 159–162.
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK and Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Analytical Chemistry 28: 350-356.
- Li J, Ding S, and Ding X, 2007. Optimization of the ultrasonically assisted extraction of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* cv. Jinsixiaozao. Journal of Food Engineering 80:176-183.
- Lingyun W, Jianhua W, Xiaodong Zh and Yalin F, 2007. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. Journal of Food Engineering 79: 1087–1093.
- Myers RH and Montgomery DC, 2002. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 2nd Ed. Wiley Pub Inc, New York. pp. 51-83.
- Rastall RA and Maitin V, 2002. Prebiotics and synbiotics: towards the next generation. Current Opinion in Biotechnology 13: 490-496.
- Roberfroid MB, 2007. Inulin-type fructans: functional food ingredients. Journal of Nutrition 137: 2493–2502.
- Rodrigues SP and Gustavo A, 2007. Ultrasound extraction of compounds from coconut (*Cocos nucifera*) shell powder. Journal of Food Engineering 80: 869-872.
- Tungland B and Meyer D, 2002. Non digestible and polysaccharides (dietry fiber): their physiology and role in human health and food. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 1: 73-77.
- Walter T, 1999. Bread goes prebiotic, International Journal of Ingredients 2: 20–21.