بهینه‌سازی استخراج اینولین از ریشه باباآدم توسط امواج فراصوت با استفاده از روش سطح پاسخ

الناز میلانی[1]*، رسول کدخدایی[2]، غلامعلی گلی‌موحد[1]، فرشته حسینی[1]

۱- مربی پژوهشی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی واحد مشهد، مشهد

۲- استادیار، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، خراسان رضوی

*آدرس مکاتبه: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی، سه راهی علوم تربیتی، ساختمان اقبال، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی واحد مشهد، تلفن: ۸۷۶۲۰۰٤ (۰۵۱۱)، نمابر: ۸۷٦۲۰۰۱ (۰۵۱۱)

پست الکترونیک: e_milani81@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۱ **تاریخ تصویب:** ۹۰/٤/٦

چکیده

مقدمه: اینولین به دلیل ویژگی‌های مفید تغذیه‌ای و اثرات پری بیوتیک به طور گسترده‌ای در جهان مورد استفاده می‌باشد. ریشه باباآدم منبع غنی از اینولین می‌باشد. امروزه استفاده از امواج فراصوت با توجه به اثرات مؤثر آن، رو به گسترش می‌باشد. اثرات مکانیکی امواج فراصوت و کاویتاسیون‌های تولید شده، باعث افزایش نفوذپذیری حلال به داخل سلول‌های گیاهی و به دنبال آن افزایش راندمانی استخراج در دماهای پایین می‌شود.

هدف: بهینه‌سازی شرایط استخراج اینولین به کمک امواج فراصوت.

روش بررسی: در این بررسی اعمال امواج فراصوت به صورت مستقیم و طراحی آزمایش شامل کاربرد طرح مرکب مرکزی بود. در این طرح، روش سطح پاسخ، جهت یافتن حالت بهینه اثر متقابل فاکتورها و برآورد بهترین شرایط فرآیند با کمترین تعداد آزمایش، استفاده شد. براین اساس؛ جهت تعیین میزان اینولین در محلول استخراجی، ترکیب‌های مختلف زمان (۵ - ۲۵ دقیقه)، دما (۲۰ - ٦۰ درجه سانتی‌گراد) و شدت صوت (۲۰ - ۱۰۰ درصد) مورد مطالعه قرار گرفت و میزان قند کل و قند احیاء اندازه‌گیری شد و سپس برای اندازه‌گیری میزان اینولین، میزان قند احیای محاسبه شده از میزان قند کل به دست آمده کسر شد. راندمان استخراج اینولین (درصد) به روش مقابل قابل محاسبه است = (مقدار اینولین × حجم عصاره استخراجی/ مقدار پودر ریشه باباآدم) ×۱۰۰.

نتایج: با توجه به مدل تجربی به دست آمده، ارتباط میان متغیرهای مورد مطالعه مناسب تشخیص داده شد. بر اساس آزمایش‌های انجام شده شرایط بهینه استخراج اینولین با اعمال امواج فراصوت و دستیابی ۲٤/۳۵ درصد راندمان استخراج، دمای ۳٦/۸ درجه سانتی‌گراد، زمان ۲۵ دقیقه و شدت صوت ۸۳/۲ درصد تعیین شد.

نتیجه‌گیری: کارایی مفید امواج فراصوت در بهبود فرایند استخراج اینولین

گل‌واژگان: ریشه باباآدم، اینولین، استخراج، امواج فراصوت

[Downloaded from jmp.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.42.26.4]

مقدمه

اینولین و الیگو فروکتوز به دلیل تأثیرات مثبت بر واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بدن انسان تحت عنوان مواد اولیه عملگر در نظر گرفته می‌شوند [۳]. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که این مواد پری بیوتیک و بیفیدوژنیک بوده و و از طریق فعالیت باکتری‌ها، قابل هضم می‌باشند. مصرف این مواد منجر به تحریک سیستم ایمنی بدن شده، به صورتی که باعث ایجاد جمعیت غالب بیفید و باکترها و کاهش باکتری‌های بیماری‌زای روده می‌شوند [۵،۱٦].

مصرف اینولین سبب کاهش خطر ابتلاء به پوکی استخوان از طریق افزایش جذب کلسیم و کاهش ابتلاء به بیماری‌های قلبی عروقی از طریق کاهش سنتز تری گلیسریدها و اسیدهای چرب در کبد می‌شود [۱۵].

لازم به ذکر است که به ازای مصرف هر گرم اینولین حدود ۱/۵ کیلوکالری انرژی تولید می‌شود که این میزان فقط ۳۸ درصد انرژی یک مولکول قند شش کربنی هضم شده است [۱٤]. امروزه اینولین به طور موفقیت‌آمیزی برای جایگزینی چربی و قند با مزایایی شامل میزان کالری کمتر، غنی‌سازی با فیبر غذایی و دیگر ویژگی‌های تغذیه‌ای نیز به کار می‌رود [۱۵]. تاکنون برای استخراج اینولین از گیاهان روش‌های مختلفی معرفی شده؛ از جمله این روش‌ها می‌توان به استخراج با آب گرم، ترسیب با حلال‌های مختلف مانند اتانل، پروپانل، استون، استونیتریل و استخراج با اعمال امواج فراصوت اشاره نمود [۲،۱۱]. استفاده از منابع عظیم گیاهی کشور با روش‌های اقتصادی همواره مورد نظر بوده است. برای به استفاده درآوردن به فعل و عملی از این امکانات بالقوه، امروزه استخراج با روش فراصوت به دلیل کارایی بالاتر و میزان مصرف انرژی و آب پایین‌تر به عنوان روشی اثبات شده و به صورت جایگزینی مناسب برای روش‌های استخراج قدیمی، تبدیل شده است [۱۱،۱۷].

روش‌های متفاوت استخراج با و بدون به کارگیری امواج فراصوت جهت بررسی اثر سونیکاسیون بر قابلیت خروج ترکیبات پلی ساکارید، سلولز و همی سلولز از گیاه جوجوبا، پوسته گندم و تفاله سیب به کار گرفته شد [۲،۷،۱۰]. نتایج نشان داد به کارگیری امواج فراصوت نه نتها موجب بهبود مرحله استخراج بلکه منجر به بروز خواص ساختمانی و عمکردی ویژه‌ای در محصول می‌شود. در استخراج همی سلولز از نیشکر امواج فراصوت موجب افزایش خروج همی سلولز از طریق شکسته شدن اتصالات بین همی سلولز و لیگنین می‌شود [۸]. کاربرد امواج فراصوت امکان استخراج در دماهای پایین‌تر را فراهم می‌کند. در آزمایش دیگری نتایج استخراج فلاونوئیدها نشان داد شرایط بهینه استخراج به کمک امواج فراصوت در دماهای بسیار پایین‌تر نسبت به استفاده از حمام آب داغ در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد [۱۹]. اثر افزایشی امواج فراصوت در استخراج مواد گیاهی به واسطه شکستن سلول‌ها و رهایش محتویات آنها به محیط استخراج است [۲،۱۱،۱۷].

حال با توجه به اهمیت تغذیه‌ای اینولین، روند رو به رشد تمایل و استفاده‌ی صنایع غذایی از این ماده به عنوان یک ترکیب مفید پربایوتیک، جایگزین مناسب برای چربی و قند و نبود کارهای پژوهشی مستند در این زمینه شناخت منابع این ماده در کشور و تعیین شرایط بهینه‌ی استخراج آن یک ضرورت می‌باشد. باباآدم (*Burdock tuber*) با نام علمی *Aractium Lappa* که فیل گوش نیز نامیده می‌شود یکی از منابع غنی از اینولین است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر اعمال امواج فراصوت در شرایط بهینه‌ی استخراج آبی بر روی میزان اینولین استخراجی از ریشه باباآدم است که برای این منظور از روش سطح پاسخ ((Response Surface Methodology (RSM)) یا برای تعیین ترکیب بهینه متغیرها استفاده شد.

مواد وروش‌ها

مواد

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل، ریشه بابا آدم تهیه شده از گلخانه دانشگاه فردوسی، اسید سولفوریک ۹٦ درصد،

[Downloaded from jmp.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.42.26.4]

دی فروکتوز، تارتارات مضاعف سدیم و پتاسیم و هیدروکسید سدیم همگی از شرکت مرک آلمان (Merck)، دی نیترو سالیسیلیک اسید از شرکت سیگما (SIGMA)، فنول کریستاله تهیه شده از PANREAC QUIMICA واینولین (HP) از شرکت Beneo-OraftiR بود.

روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌های ریشه بابا آدم

ریشه‌های باباآدم به طور کامل پوست‌گیری، شستشو و به قطعات کوچک برش خورده و به مدت ٢٤ ساعت در آون ٥٥ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا رطوبت نهایی نمونه‌ها به ٥ درصد کاهش یابد؛ نمونه‌ها پس از خروج از آون به دسیکاتور منتقل و پس از سرد شدن، توسط آسیاب پودر شده و از الک با مش ٥٠ میکرومتر، جهت رسیدن به اندازه دانه‌بندی یکسان عبور داده شدند [١١].

استخراج آبی با اعمال فراصوت

پس از دستیابی شرایط بهینه استخراج آبی با استفاده از روش رویه سطح پاسخ، نمونه‌های باباآدم تحت تیمار فراصوت در زمان، دما و شدت صوتی مختلف به منظور به دست آوردن شرایط بهینه استخراج بررسی اثر هر یک از تیمارها قرار گرفتند در این راستا از دستگاه فراصوت مستقیم مدل FRIGOMIX CV33، با فرکانس ٣٠ کیلو هرتز و توان٧٥٠ وات استفاده شد. در این روش ٤ گرم از پودر ریشه باباآدم به دست آمده در بشری ریخته و با مقدار مشخص آب تحت شرایط بهینه نسبت آب به ماده جامد (١٥ به ١) مخلوط شد. پس از همزدن، مخلوط تحت تیمارهای مختلف ذکر شده در جدول شماره ١ قرار گرفت. کنترل دمایی با استفاده از دستگاه سیرکولاتور و چرخش آب گرم در اطراف محفظه حاوی محلول استخراجی انجام شد. پس از اتمام عملیات مخلوط تیمار شده را توسط کاغذ صافی واتمن شماره ٤٠ و قیف بوخنر تحت خلاء صاف نموده و محلول زیرصافی تحت تیمار با سانتریفوژ مدل Herlab unicen FR با سرعت ٤٥٠٠ گرم، به مدت ١٠ دقیقه در دمای ٢٥ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ١ میلی‌لیتر از محلول رویی جمع‌آوری و در بالن ژوژه به حجم ١٠٠ رسانده و از این محلول جهت عملیات بعدی استفاده شد [١٠،١١].

روش اندازه‌گیری قند کل

برای اندازه‌گیری قند کل از روش ارائه شده توسط دوبیوس (١٩٥٦) استفاده می‌شود، بدین‌منظور ١ میلی‌لیتر از عصاره استخراج شده را تا غلظت ١ درصد رقیق کرده و سپس ١ میلی‌لیتر از عصاره رقیق شده را به لوله آزمایش منتقل و ٣ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوریک غلیظ (٩٧ درصد) به آن افزوده شد و لوله‌ها به کمک آب سرد تا رسیدن به دمای اتاق خنک شدند، سپس ٥٠ میکرولیتر محلول فنل ٩٠ درصد به لوله‌ها افزوده و سرد شدن به مدت ٣٠ دقیقه به کمک آب سرد پی‌گیری شد. در نهایت میزان جذب نمونه‌ها توسط اسپکتروفتومتر مدل Cecil Series CE393 در ٤٨٠ نانومتر خوانده شد. جهت تهیه منحنی استاندارد قند کل از گلوکز استفاده شد، بدین‌منظور محلول‌های حاوی اینولین با غلظت‌های مختلف را تهیه و میزان جذب هر یک از آنها در طول موج ٤٨٠ نانومتر اندازه گرفته شد. به منظور محاسبه‌ی قند کل پس از قراردهی میزان جذب‌های خوانده شده در معادله‌ی خط به دست آمده از طریق نمونه‌های استاندارد میزان غلظت واقعی نمونه محاسبه شد [١،٤].

روش اندازه‌گیری قند احیاء

جهت اندازه‌گیری قند احیاء از روش بالدینی و همکاران (٢٠٠٤)، استفاده شد؛ بدین منظور ابتدا نیاز به تهیه یک مخلوط استاندارد می‌باشد. جهت تهیه مخلوط استاندارد ٢٥ گرم تارتارات مضاعف سدیم پتاسیم، ١/٦ گرم هیدروکسید سدیم و ١ گرم دی نیترو سالیسیک اسید را مخلوط و حجم آن به ١٠٠ میلی‌لیتر رسانده شد، جهت یکنواخت شدن مخلوط به دست آمده از همزن مدل در دمای اتاق، به مدت ٣٠ تا ٦٠ دقیقه استفاده شد. ٢/٥ میلی‌لیتر از این محلول را به ٠/١ میلی‌لیتر

[Downloaded from jmp.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.42.26.4]

جدول شماره ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها

متغیرهای مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه		
		+۱	۰	-۱
دما (درجه سانتی‌گراد)	X_1	٦۰	٤۰	۲۰
زمان (دقیقه)	X_2	۲۵	۱۵	۵
شدت صوت (درصد)	X_3	۱۰۰	٦۰	۲۰

عصاره استخراج شده و رقیق شده تا غلظت ۱ درصد افزوده و این مخلوط در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱۰ دقیقه گرمخانه‌گذاری شد، سپس سرد شدن به کمک آب سرد تا دمای محیط انجام گرفت و ۲/٤ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه‌ها افزوده شد، در نهایت میزان جذب نمونه‌ها در ۵۳۰ نانومتر خوانده شد [۱،٤]. جهت تهیه منحنی استاندارد قند احیاء از D فروکتوز به عنوان استاندارد استفاده شد، به منظور محاسبه‌ی قند احیا، کلیه مراحل مربوط به قند کل، به طور دقیق پیگیری شد [۱،٤].

اندازه‌گیری میزان اینولین

برای اندازه‌گیری میزان اینولین ریشه باباآدم، میزان قند احیای محاسبه شده از میزان قند کل به دست آمده کسر گردیده و درصد اینولین واقعی به روش زیر محاسبه می‌شود [۱،٤،٦،۱۱].

راندمان استخراج اینولین (درصد) = (مقدار اینولین × حجم عصاره استخراجی/ مقدار پودر ریشه بابا آدم) ×۱۰۰

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

RSM مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری است که در بهینه‌سازی فرآیندهایی به کار می‌رود که پاسخ موردنظر 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 مسأله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورها بود، از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد [۱۲،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 در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. شش تکرار نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش استفاده شد. در ضمن، متغیرها مطابق معادله‌ی زیر کدگذاری شدند:

$x_i = (X_i - \overline{X}_i)/\Delta X_i$ در اینجا، X_i مقدار بدون بعد متغیر مستقل فرایند، X_i مقدار واقعی متغیر مستقل فرایند، $\overline{X}_i$ مقدار واقعی متغیر مستقل در نقطه‌ی مرکزی و ΔX_i تغییر پله‌ای است. در مرحله دوم طرح آماری گزینش شده و رابطه مدل مورد استفاده برای پیش‌بینی، 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 شد که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می‌نماید، مدل چند متغیره به صورت زیر می‌باشد. درمعادله ذکر شده Y پاسخ پیش‌بینی شده، β_0 ضریب ثابت، $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ اثرات خطی، $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ اثر مربعات و $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ اثرات متقابل می‌باشند. از نرم‌افزار Expert 7.1.6 Design جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ استفاده شد.

$$Y=\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\beta_3x_3+\beta_{11}x_1^2+\beta_{22}x_2^2+\beta_{33}x_3^2+\beta_{12}x_1x_2+\beta_{13}x_1x_3+\beta_{23}x_2x_3$$

در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی با سه متغیر مستقل؛ شامل دما، نسبت آب به دانه و زمان استخراج، سه سطح، سه بلوک و شش تکرار در مرکز طرح (برای محاسبه تکرارپذیری فرآیند) به منظور بررسی تأثیر شرایط استخراج اینولین و

[Downloaded from jmp.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.42.26.4]

بهینه‌سازی فرآیند مذکور استفاده شد. تعداد کل آزمایش‌ها با ۲ تکرار برابر ٤٠ بود و متغیر وابسته (پاسخ)، درصد راندمان استخراج اینولین بود (جدول شماره ۲).

مرحله سوم شامل ارائه گرافیکی رابطه‌ی مدل و تعیین شرایط عملیاتی بهینه بود که به وسیله‌ی نمودار رویه پاسخ و کنتور انجام پذیرفت. شرایط عملیاتی بهینه برای استخراج اینولین از ریشه باباآدم، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی (Numerical optimization) جستجو شد [۱۲،۱۳]. بدین‌منظور، در ابتدا اهداف بهینه‌سازی را مشخص و سپس سطوح پاسخ و متغیرهای مستقل را تنظیم کرده و با استفاده از تکنیک فاین تیونینگ (Fine tuning)، بهترین جواب‌ها را به دست خواهیم آورد [۱۲،۱۳].

نتایج

گزینش مدل مناسب و **تجزیه مدل برازش یافته**

به منظور حصول مدل‌های تجربی برای پیش بینی پاسخ، رابطه‌های خطی و چند جمله‌ای درجه دوم بر داده‌های به دست آمده از آزمایش‌ها برازش شدند. سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفته تا مدل مناسب گزینش گردد. از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون ضعف برازش آن معنی‌دار نبوده و دارای بالاترین مقدار $R^2_{adjusted}$ و $R^2_{predicted}$ باشد. مطابق جدول شماره ۳، آزمون ضعف برازش مربوط به مدل برازش یافته (چند جمله‌ای درجه دوم) بر پاسخ معنی‌دار نمی‌باشد. با توجه به مقادیر R^2 (۰/۹٤٥) و $R^2_{adjusted}$ (۰/۸۹٥) مربوط به مدل‌ها، مشاهده می‌شود که مدل چند جمله‌ای درجه دوم دارای مقادیر بالاتری است، بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری را دارا می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس در جدول شماره ٤ قابل مشاهده است؛ نتایج بیانگر تاثیر معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۰۱$) شدت صوت و مدت زمان بر راندمان استخراج بود. در مورد اثرات درجه‌ی دوم برای فاکتورهای مورد بررسی، ضریب رگرسیون درجه‌ی دو مربوط به فاکتور شدت صوت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. از نظر آماری آثار متقابل فاکتورهای مورد بررسی زمان – شدت صوت برای راندمان معنی‌دار بود که نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ی خطی توأم بین دو فاکتور مورد بررسی بر میزان راندمان می‌باشد.

جدول شماره ۲- تیمارهای به کار گرفته شده در استخراج با اعمال فراصوت

تیمار	دما (درجه سانتی‌گراد)	شدت صوت (درصد)	زمان (دقیقه)	راندمان (درصد)	تیمار	دما (درجه سانتی‌گراد)	شدت صوت (درصد)	زمان (دقیقه)	راندمان (درصد)
۱	٤٠	٦٠	۱٥	۲۲/۱٥	۱۱	۲٠	۲٠	٥	۷/٦
۲	٤٠	٦٠	۱٥	۲۱/۲۱	۱۲	۲٠	۲٠	۲٥	۱۱/۷٥
۳	٤٠	٦٠	۱٥	۱۹/۱	۱۳	۲٠	۱٠٠	٥	۱٠/۹۱
٤	٤٠	٦٠	۱٥	۲۱/٥	۱٤	۲٠	۱٠٠	۲٥	۲۱/۱٤
٥	٤٠	٦٠	۱٥	۲٠	۱٥	۲٠	٦٠	۱٥	۱۸/۹
٦	٦٠	۲٠	٥	۸/۱۱	۱٦	٤٠	٦٠	٥	۱۲/۸۷
۷	٦٠	۲٠	۲٥	۱٠/۸	۱۷	٤٠	٦٠	۲٥	۲٤/۸
۸	٦٠	۱٠٠	٥	۱۲/۷۹	۱۸	٤٠	۲٠	۱٥	۱۱/۹
۹	٦٠	۱٠٠	۲٥	۱۹/۸٤	۱۹	٤٠	۱٠٠	۱٥	۱۸
۱٠	٦٠	٦٠	۱٥	۱٥/٠٥	۲٠	٤٠	٦٠	۱٥	۲۱/٥

[Downloaded from jmp.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.42.26.4]

جدول شماره ۳- نتایج آزمون ضعف برازش یافته بر پاسخ

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
Quadratic	۲۲/۵۹	۵	٤/٥٦	٤/٢٤	۰/۰۰۳٦
عدم برازش	۲۲/۵۹	۵	٤/٥٦	٤/٢٤	۰/۰٦
خطای خالص	۵/۰۲	۵	۱/۰۷		

جدول شماره ٤- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای راندمان

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
مدل	٤٧٢/١٢	۹	٥٢/٢٤	١٨/٦٠	۰/۰۰۰۱
زمان A	١١٩/٧٥	۱	١١٩/٧٥	٤٢/۰۹	۰/۰۰۰۱
شدت صوت B	١١٤/٣٨	۱	١١٤/٣٨	٤١/٦٦	۰/۰۰۰۱
دما C	۱/۲۱	۱	۱/۲۱	۱/۰٦	۰/۱۸۰
AB	١٦/١٣	۱	١٦/١٣	٥/٨٩	۰/۰۳٤
AC	۳/۱۳	۱	۳/۱۳	۱/۸۹	۰/۳۲۸۸
BC	۰/۳۸	۱	۰/۳۸	۱/۸۰	۰/۲۱۰۰
A2	۱/٦	۱	۱/٦	۰/۱٤	۰/۷۱۲
B2	٤٥/٩٢	۱	٤٥/٩٢	١٦/٢٢	۰/۰۰۲۳
C2	١٩/٢٩	۱	١٩/٢٩	۷/۱۲	۰/۰۲۲
باقی مانده	٤٠٧/٨٢	١٠	٤٠/٧٨		
خطای خالص	۷۰/۰۲	۵	١٤	٤/٨٢	۰/۰٥٤٦

در شکل شماره ۱- الف؛ اثر همزمان دما و شدت صوت بر راندمان استخراج اینولین از ریشه بابا آدم، نشان داده شده است. بر این اساس، دما تأثیر محسوسی بر راندمان نداشت چنانکه با افزایش دما تا ٤٠ درجه سانتی‌گراد، راندمان به میزان کم افزایش یافت و پس از آن نمودار داخل دو فرایند کاهش یافت. با توجه به معنی‌داری اثرات خطی و درجه دوم شدت صوت ($p \leq ۰/۰۱$) می‌توان وجود انحناء در شکل رویه و کنتور را انتظار داشت. اثر همزمان زمان و شدت صوت بر راندمان استخراج در شکل شماره ۱- ب، نشان داده شده است. بر این اساس، زمان تاثیر محسوسی بر راندمان داشت، چنانکه با افزایش زمان، راندمان به صورت خطی در محدوده تغییرات X ها افزایش یافت. با توجه به تأثیر معنی‌دار شدت صوت بر راندمان ($p \geq ۰/۰۵$) چنین نتیجه می‌شود که راندمان استخراج اینولین از ریشه باباآدم به تغییرات شدت صوت اعمال شده حساسیت زیادی دارد.

بهینه‌یابی شرایط استخراج اینولین از ریشه بابا آدم به کمک امواج فراصوت

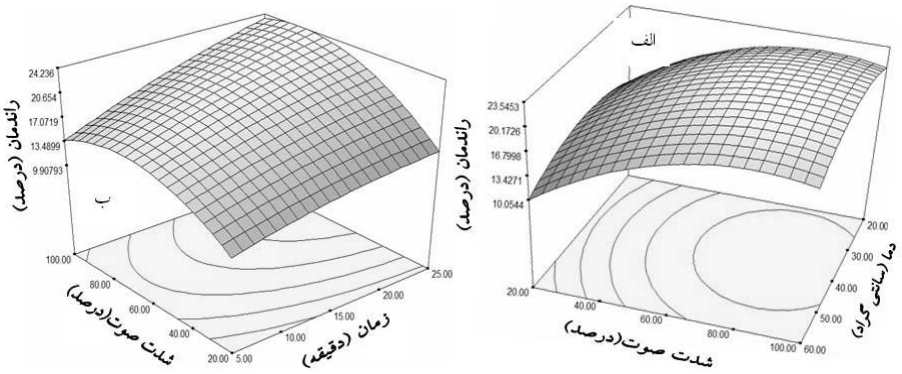
با به کارگیری روش آماری سطح پاسخ، معادله‌ی زیر که نشان‌دهنده‌ی ارتباط تجربی میان راندمان استخراج قند کل و متغیرهای آزمایش به صورت کدگذاری شده است، به دست آمد. ضرایب مدل درجه دوم کاسته بیانگر تأثیر شرایط مختلف استخراج بر راندمان بوده و با استفاده از تکنیک حداقل مربعات محاسبه شدند.

$$Y= 20.45+3.46X_1 + 3.35X_2 - 0.39X_3 +1.42\ X_1X_2 - 0.62X_1X_3 +0.22X_2X_3 - 0.76X_1X_1 - 4.08\ X_2X_2 - 2.69X_3X_3$$

مقایسه مقادیر مشاهده شده (Y_0) با مقادیر پیش بینی شده (Y) در جدول شماره ۵ آمده است؛ مشاهدات این جدول بیانگر همبستگی بسیار خوب بین نتایج به دست آمده با روش تجربی و مقادیر پیش بینی شده با روش آماری است.

[Downloaded from jmp.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.42.26.4]



شکل شماره ۱- نمایش نمودار سه بعدی؛ اثر همزمان دو متغیر دما - شدت صوت (الف) و زمان- شدت صوت (ب) بر راندمان استخراج اینولین

جدول شماره ۵- مقایسه مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از هر تیمار

تیمار	نتایج آزمایش	نتایج پیش‌بینی شده	تیمار	نتایج آزمایش	نتایج پیش‌بینی شده
۱	۲۱/٦۰	۲۰/۱٤	۱۱	۱۰/۲۱	۱۰/۰۸
۲	۱۹/۷۵	۲۰/۱٤	۱۲	۲۱/۱۰	۲۱/۲۳
۳	۷/۷۰	۷/۲۱	۱۳	۱۰/٤۳	۱۰/٦۲
٤	۱۹/۹۵	۲۰/۰٦	۱٤	۱۵/۳٤	۱۷/۰۷
۵	۱۸/۹۰	۱۷/٤٦	۱۵	۱۱/۱٤	۱۲/۷۱
٦	۲۰/٤۵	۲۰/۱٤	۱٦	۲۱/۵۵	۲۰/۱٤
۷	۱۸/۸۰	۱۹/٤۱	۱۷	۲۱/۸۰	۲۰/۱٤
۸	۱۱/۹۰	۱۲/۵۲	۱۸	٦۰/۳۵	۱۵/۹۲
۹	۲۲/۷۵	۲۰/۱٤	۱۹	۱۱/۵۰	۱۱/٦۳
۱۰	۲٤/۱۵	۲۲/۸٤	۲۰	۱۲//۰۵	۱۲/۳۳

در این تحقیق، هدف از بهینه‌سازی به حداکثر رساندن مقدار راندمان بود. بر این اساس شرایط بهینه استخراج اینولین با اعمال امواج فراصوت و دستیابی ۲٤/۳۵ درصد راندمان استخراج، دمای ۳٦/۸ درجه سانتی‌گراد، زمان ۲۵ دقیقه و شدت صوت۸۳/۲ درصد تعیین شد. در شکل زیر نمودار کنتور بهینه‌سازی استخراج اینولین از ریشه بابا آدم توسط فراصوت در دمای ۳٦/۸ درجه سانتی‌گراد قابل مشاهده است.

بحث

افزایش راندمان با افزایش دما تا ٤۰ درجه سانتی‌گراد احتمالاً به دلیل بهبود انتقال جرم در نتیجه افزایش حلالیت اینولین و کاهش ویسکوزیته حلال بود و روند کاهشی آن بعد از دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد در اثر کاهش تعداد حباب‌های کاویتاسیون تولید شده توسط امواج فراصوت و همچنین افزایش دپلیمریزاسیون اینولین به قندهای آزاد در اثر افزایش دما بود (ویلی ۲۰۰۷).

در یک مطالعه، شرایط بهینه استخراج سلولز سبوس برنج بررسی شد؛ بر این اساس، استفاده از زمان فراصوت ۳۰ دقیقه بیشترین راندمان را در راندمان استخراج داشت، این مسأله به دلیل تخریب دیواره سلولی و قابلیت خروج و در دسترس بودن بیشتر این ترکیبات بود؛ در مقابل زمان‌های ۱۰ - ۵ دقیقه افزایش معنی‌داری در روند استخراج در مقایسه با استخراج معمولی نداشت و لذا مستلزم به کارگیری شدت‌های صوتی بالاتر بود [۱۷]. زانگ (۲۰۰۸)، از پروب مستقیم فراصوت در

[Downloaded from jmp.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.42.26.4]

استخراج اپیمدین استفاده کرد؛ نتایج بررسی نشان داد، افزایش زمان فراصوت تا ۲۰ دقیقه منجر به افزایش راندمان استخراج شد اما به کارگیری زمان‌های بیشتر از ٤٠ دقیقه منجر به ظهور روند کاهشی در پروسه استخراج شد [۱۸]؛ با این حال از نقطه نظر زمان استفاده از زمان‌های بیش از ۳۰ دقیقه در به کارگیری امواج فراصوت توصیه نمی‌شود [۱۷]. لوو همکاران (۲۰۰۹)، به کمک فناوری توام امواج فراصوت ماکروویو، اینولین را از ریشه باباآدم استخراج نمودند. در این روش توان ماکروویو ٤٠٠ وات، توان فراصوت۵۰ وات، نسبت آب به ماده جامد ۱:۱۵، دمای استخراج ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان استخراج ۱ دقیقه منظور شد. عملکرد همزمان امواج فراصوت و ماکروویو سبب تشدید فعالیت استخراج شد و در ٦٠ ثانیه اول، بیشترین میزان استخراج مشاهده شد اما پس از گذشت این زمان، راندمان استخراج کاهش یافت، این پدیده احتمالاً ناشی از تشدید عملکرد همزمان دو روش بوده و سبب تجزیه اینولین به فراکسیون‌های تشکیل دهنده خصوصاً مونوساکاریدهای احیاءکننده شد. نتایج اخیر بیانگر تأثیر محسوس امواج فراصوت بر کاهش مدت زمان استخراج به میزان ۵ برابر می‌باشد [۱۲].

منابع

1. Baldini M, Danuso F, Turi M and Vannozzi GP. Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) for inulin and sugar yield from stalks and tubers. *Industrial Crops and Products* 2004; 19: 25 – 40.

2. Campos, David. Betalleluz, Indira. Renzo Tauquino, Romina Pedreschi. Nutritional and functional characterisation of Andean chicuru (Stangea rhizanta). *Food Chem*. 2009; 112: 63 – 70.

3. Debruyn A, Alvarez A P, Sandra P and De Leenheer L. Isolation and identification of b-D-fructofuranosyl-(2-1)- D-fructose, a product of the enzymatic hydrolysis of the inulin from Cichorium intybus; *Carbohydr. Res*. 1992; 235: 303 – 8.

4. Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA and Smith, F. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Analytical Chem*. 1956; 28: 350 – 6.

5. Frank, A. and L. D. Leenheer. Inulin. Available at: http://www.wiley- vch.de/books/biopoly/pdf v06/bpol60. (2006). 14_439_448.

6. Frouzanmehr H, Abbasi S. Optimization of inulin extraction from Helianthus tuberous with or without ultrasonic technique by using Response surface methodology. 17th conference of food science. Iran. 2007, pp: 310 - 11.

7. Fua Caili, Haijun Tiana, Quanhong Li. Ultrasound-assisted extraction of xyloglucan from apple pomace. *Ultrasonics Sonochem*. 2006; 13 (6): 511 - 6.

8. Hromádková Z and Ebringerová A. Ultrasonic extraction of plant materials—investigation of hemicellulose release from buckwheat hulls. *Ultrasonics Sonochem*. 2003; 10 (3): 127 – 33.

9. Jiang JY. The method of planting Helianthus tuberosus for desert prevention. Chinese Patent Office under the State Intellectual Property Office of PR China (SIPO) 99122622.41999. 1999, 11.23 (in Chinese).

10. Ku Y, Jansen O, Oles CJ, Lazar EZ, Rader JI. Precipitation of inulins and oligoglucoses by ethanol and other solvents. Analytical, Nutritional and Clinical Methods. *Food Chem.* 2003; 81: 125 – 32.

11. Li J, Ding and X. Ding. Optimization of the ultrasonically assisted assisted extraction of polysaccharides from Zizyphus jujuba cv. Jinsixiaozao. *J. Food Engineering* 2007; (80) 1: 176 - 83.

[Downloaded from jmp.ir on 2026-01-31]
[DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.42.26.4]

12. Lingyun W, Jianhua W, Xiaodong Zh Da T, Yalin Y, Chenggang C, Tianhua F, Fan Zh. Studies on the extracting technical conditions of inulin From Jerusalem artichoke tubers. *J. Food Engineering* 2007; 79: 1087 – 93.

13. Lou Zaixiang, Wang Hongxin, Danxi Wang, Yan Zhang. Preparation of inulin and phenols-rich dietary fibre powder from burdock root. *Carbohydrate Polymers* 2009; 78: 666 – 71.

14. Montgomery DC. Design and analysis of experiments. New York: John Wiley. 1996, 45 - 93.

15. Myers RH, Montgomery DC. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 2nd Edition. Wiley, New York. 2002, 115 - 24.

16. Ritsema T and S Smeekens. Fructans: beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology* 2003; 6: 223 – 30.

17. Roberfroid, M. Inulin-type fructans: Functional food ingredients. New York: CRC Press. 2005; 12 - 20.

18. Somboonpanyakul P, Wang Q. Cui, W. Barbut S, Jantawat P. Malva nut gum. (Part I): Extraction and physicochemical characterization. *Carbohydrate polymers* 2005; 64: 247 - 53.

19. Vilkhua, Kamaljit, Mawsona, Raymond, Lloyd Simonsa and Darren Bates. Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry - A review. *Innovative Food Science & Emerging Technol.* 2008; 9 (2): 161 - 9.

20. Zhang LF and Liu ZL. Optimization and comparison of ultrasound/ microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes. *Ultrasonics Sonochem.* 2008; 15: 731 – 7.

21. Zhang Lan. Ying Shan, Keji Tang and Ramesh Putheti. Ultrasound-assisted extraction flavonoids from Lotus (Nelumbo nuficera Gaertn) leaf and evaluation of its anti-fatigue activity. *International J. Physical Sci*. 2009; 4 (8): 418 - 22.

22. Zheng, Liyun and Sun, Da-Wen. Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes—a review. *Trends in Food Science & Technol*. 2006; 17 (1): 16 - 23.

[Downloaded from jmp.ir on 2026-01-31]

[DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.42.26.4]