

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

الناز میلانی<sup>۱</sup>، رسول کدخدایی<sup>۲</sup>، غلامعلی گلی موحد<sup>۱</sup>، فرشته حسینی<sup>۱</sup>

۱- مریم 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: ۰۵۱۱ ۸۷۶۲۰۰۴، نمبر: ۰۵۱۱ ۸۷۶۲۰۰۱  
 پست الکترونیک: e\_milani81@yahoo.com

تاریخ تصویب: ۹۰/۴/۶

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۱

### 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 مرکزی بود. در این طرح، روش سطح پاسخ، جهت یافتن حالت بهینه اثر متقابل فاکتورها و برآورد بهترین شرایط فرایند با کمترین تعداد آزمایش، استفاده شد. براین اساس: جهت تعیین میزان اینولین در محلول استخراجی، ترکیب‌های مختلف زمان (۵ - ۲۵ دقیقه)، دما (۲۰ - ۶۰ 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 احیاء محاسبه شده از میزان قند کل به دست آمده کسر شد. راندمان استخراج اینولین (درصد) به روش مقابله 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 ۲۴/۳۵ درصد راندمان استخراج، دمای ۳۶/۸ درجه سانتی‌گراد، زمان ۲۵ دقیقه و شدت صوت ۸۳/۲ درصد تعیین شد.

نتیجه‌گیری: کارایی مفید امواج فراصوت در بهبود فرایند استخراج اینولین

گل واژگان: ریشه بابا‌آدم، اینولین، استخراج، امواج فراصوت



#### مقدمه

پوسته گندم و تفاله سبب به کار گرفته شد [۱۰، ۲۷]. نتایج نشان داد به کارگیری امواج فراصوت نه تنها موجب بهبود مرحله استخراج بلکه منجر به بروز خواص ساختمانی و عمکردن 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 محتويات 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 پرایوئیک، جایگزین مناسب برای چربی و قند و نبود کارهای پژوهشی مستند در این زمینه شناخت منابع این ماده در کشور و تعیین شرایط بهینه استخراج آن یک ضرورت می‌باشد. بابآدم (*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 بهینه استخراج آبی بر روی میزان اینولین استخراجی از ریشه بابآدم است که برای این منظور از روش سطح پاسخ (RSM) یا (Response Surface Methodology) برای تعیین ترکیب بهینه متغیرها استفاده شد.

#### مواد و روش‌ها

##### مواد

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل، ریشه بابآدم تهیه شده از گلخانه دانشگاه فردوسی، اسید سولفوریک ۹۶ درصد،

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 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، ۱۶].

صرف 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 [۱۴]. امروزه اینولین به طور موفقیت‌آمیزی برای جایگزینی چربی و دیگر 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 حللاهای 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،



در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. سپس ۱ میلی لیتر از محلول رویی جمع آوری و در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ رسانده و از این محلول جهت عملیات بعدی استفاده شد [۱۰، ۱۱].

### روش اندازه گیری قند کل

برای اندازه گیری قند کل از روش ارائه شده توسط دوبیوس (۱۹۵۶) استفاده می شود، بدین منظور ۱ میلی لیتر از عصاره استخراج شده را تا غلظت ۱ درصد رقیق کرده و سپس ۱ میلی لیتر از عصاره رقیق شده را به لوله آزمایش منتقل و ۳ میلی لیتر محلول اسید سولفوریک غلیظ (۹۷ درصد) به آن افزوده شد و لوله ها به کمک آب سرد تا رسیدن به دمای اتاق خنک شدند، سپس ۵۰ میکرو لیتر محلول فنل ۹۰ درصد به لوله ها افزوده و سرد شدن به مدت ۳۰ دقیقه به کمک آب سرد پی گیری شد. در نهایت میزان جذب نمونه ها توسط اسپکترو فوتومتر مدل Cecil Series CE393 در ۴۸۰ نانومتر خوانده شد. جهت تهیه منحنی استاندارد قند کل از گلوکز استفاده شد، بدین منظور محلول های حاوی اینولین با غلظت های مختلف را تهیه و میزان جذب هر یک از آنها در طول موج ۴۸۰ نانومتر اندازه گرفته شد. به منظور محاسبه ای قند کل پس از قرار دهی میزان جذب های خوانده شده در معادله خط به دست آمده از طریق نمونه های استاندارد میزان غلظت واقعی نمونه محاسبه شد [۱۴].

### روش اندازه گیری قند احیاء

جهت اندازه گیری قند احیاء از روش بالدینی و همکاران (۲۰۰۴)، استفاده شد؛ بدین منظور ابتدا نیاز به تهیه یک مخلوط استاندارد ۲۵ گرم تارتارات مضاعف سدیم پتاسیم، ۱/۶ گرم هیدروکسید سدیم و ۱ گرم دی نیترو سالیسیک اسید را مخلوط و حجم آن به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد، جهت یکنواخت شدن مخلوط به دست آمده از همزن مدل در دمای اتاق، به مدت ۳۰ تا ۶۰ دقیقه استفاده شد. ۲/۵ میلی لیتر از این محلول را به ۰/۱ میلی لیتر

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 و اینولین (HP) از شرکت Beneo-OraftiR بود.

### روش ها

#### آماده سازی نمونه های ریشه بابا آدم

ریشه های بابا آدم به طور کامل پوست گیری، شستشو و به قطعات کوچک برش خورده و به مدت ۲۴ ساعت در آون ۵۵ درجه سانتی گراد قرار گرفته تا رطوبت نهایی نمونه ها به درصد کاهش یابد؛ نمونه ها پس از خروج از آون به دسیکاتور منتقل و پس از سرد شدن، توسط آسیاب پودر شده و از الک با مش ۵۰ میکرومتر، جهت رسیدن به اندازه دانه بندی یکسان عبور داده شدند [۱۱].

#### استخراج آبی با اعمال فراصوت

پس از دستیابی شرایط بهینه استخراج آبی با استفاده از روش رویه سطح پاسخ، نمونه های بابا آدم 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 گرفته در این راستا از دستگاه فراصوت مستقیم مدل FRIGOMIX CV33، با فرکانس ۳۰ کیلو هرتز و توان ۷۵۰ وات استفاده شد. در این روش ۴ گرم از پودر ریشه بابا آدم به دست آمده در بشری ریخته و با مقدار مشخص آب تحت شرایط بهینه نسبت آب به ماده جامد (۱۵ به ۱) مخلوط شد. پس از همزدن، مخلوط تحت تیمارهای مختلف ذکر شده در جدول شماره ۱ 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 ۴۰ و قیف بوخت تحت خلاء صاف نموده و محلول زیر صافی تحت تیمار با سانتریفوژ مدل Herlab unicen FR با سرعت ۴۵۰۰ گرم، به مدت ۱۰ دقیقه



جدول شماره ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها

کد و سطح مربوطه			نماد ریاضی	متغیرهای مستقل
-1	0	+1		
۲۰	۴۰	۶۰	X <sub>1</sub>	دما (درجه سانتی گراد)
۵	۱۵	۲۵	X <sub>2</sub>	زمان (دقیقه)
۲۰	۶۰	۱۰۰	X <sub>3</sub>	شدت صوت (درصد)

پاسخ انتخاب شد [۱۲، ۱۳]. در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل X<sub>1</sub> دما، X<sub>2</sub> زمان و X<sub>3</sub> سطح در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. شش تکرار نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش استفاده شد. در ضمن، متغیرها مطابق معادله زیر کدگذاری شدند:

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

در اینجا، X<sub>i</sub> مقدار بدون بعد متغیر مستقل فرایند،  $\bar{X}_i$  مقدار مستقل فرایند،  $\Delta X_i$  واقعی متغیر مستقل در نقطه مرکزی و  $\beta_i$  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 رابطه 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. در معادله ذکر شده Y پاسخ پیش‌بینی شده،  $\beta_0$  ضریب ثابت،  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  اثرات خطی،  $\beta_{33}, \beta_{22}, \beta_{11}$  اثر مربعات و  $\beta_{23}, \beta_{32}, \beta_{12}$  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.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3$$

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

عصاره استخراج شده و رقیق شده تا غلظت ۱ درصد افزوده و این مخلوط در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد برای ۱۰ دقیقه گرمانه‌گذاری شد، سپس سرد شدن به کمک آب سرد تا دمای محیط انجام گرفت و  $2/4$  میلی‌لیتر آب مقتدر به نمونه‌ها افزوده شد، در نهایت میزان جذب نمونه‌ها در ۵۳۰ نانومتر خوانده شد [۱، ۴]. جهت تهیه منحنی استاندارد قند احیاء از D فروکتوز به عنوان استاندارد استفاده شد، به منظور محاسبه قند احیاء، کلیه مراحل مربوط به قند کل، به طور دقیق پیگیری شد [۱، ۴].

### اندازه‌گیری میزان اینولین

برای اندازه‌گیری میزان اینولین ریشه بابا‌آدم، میزان قند احیاء محاسبه شده از میزان قند کل به دست آمده کسر گردیده و درصد اینولین واقعی به روش زیر محاسبه می‌شود [۱، ۴، ۶، ۱۱].

randman استخراج اینولین (درصد) = (مقدار اینولین × حجم عصاره استخراجی / مقدار پودر ریشه بابا آدم)  $100 \times$

### 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 واژه 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



آنالیز آماری قرار گرفته تا مدل مناسب گزینش گردد. از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون ضعف برازش آن معنی دار 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 معنی دار نمی‌باشد. با توجه به مقادیر  $R^2_{predicted} (0.945)$  و  $R^2_{adjusted} (0.895)$  مرتبه 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 ۴ قابل مشاهده است؛ نتایج بیانگر تاثیر معنی دار  $p \leq 0.001$  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 معنی دار بود. از نظر آماری آثار متقابل فاکتورهای مورد بررسی زمان - شدت صوت برای راندمان معنی دار بود که نشان‌دهنده وجود رابطه‌ی خطی توأم بین دو فاکتور مورد بررسی بر میزان راندمان می‌باشد.

بهینه‌سازی فرآیند مذکور استفاده شد. تعداد کل آزمایش‌ها با ۲ تکرار برابر ۴۰ 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 ببابا‌آدم، 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 تعزیزه مدل برازش یافته به منظور حصول مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی پاسخ، رابطه‌های خطی و چند جمله‌ای درجه دوم بر داده‌های به دست آمده از آزمایش‌ها برازش شدند. سپس این مدل‌ها مورد

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

تیمار	دما (درجه) سانتی گراد	شدت صوت (درصد)	دما (درجه) سانتی گراد	تیمار	شدت صوت (درصد)	دما (درجه) سانتی گراد	زمان (دقیقه)	زمان (دقیقه)	دما (درجه) سانتی گراد	شدت صوت (درصد)	دما (درجه) سانتی گراد	زمان (دقیقه)	زمان (دقیقه)	تیمار
														تیمار
۷/۶	۵	۲۰	۲۰	۱۱	۲۲/۱۵	۱۵	۶۰		۴۰		۱			
۱۱/۷۵	۲۵	۲۰	۲۰	۱۲	۲۱/۲۱	۱۵	۶۰		۴۰		۲			
۱۰/۹۱	۵	۱۰۰	۲۰	۱۳	۱۹/۱	۱۵	۶۰		۴۰		۳			
۲۱/۱۴	۲۵	۱۰۰	۲۰	۱۴	۲۱/۵	۱۵	۶۰		۴۰		۴			
۱۸/۹	۱۵	۶۰	۲۰	۱۵	۲۰	۱۵	۶۰		۴۰		۵			
۱۲/۸۷	۵	۶۰	۴۰	۱۶	۸/۱۱	۵	۲۰		۶۰		۶			
۲۴/۸	۲۵	۶۰	۴۰	۱۷	۱۰/۸	۲۵	۲۰		۶۰		۷			
۱۱/۹	۱۵	۲۰	۴۰	۱۸	۱۲/۷۹	۵	۱۰۰		۶۰		۸			
۱۸	۱۵	۱۰۰	۴۰	۱۹	۱۹/۸۴	۲۵	۱۰۰		۶۰		۹			
۲۱/۵	۱۵	۶۰	۴۰	۲۰	۱۵/۰۵	۱۵	۶۰		۶۰		۱۰			



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	۴/۵۶	۴/۲۴	۰/۰۰۳۶
عدم برازش	۲۲/۵۹	۵	۴/۵۶	۴/۲۴	۰/۰۶
خطای خالص	۵/۰۲	۵	۱/۰۷		

جدول شماره ۴- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای راندمان

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	ارزش F	ارزش P
مدل	۴۷۲/۱۲	۹	۵۲/۲۴	۱۸/۶۰	۰/۰۰۰۱
زمان A	۱۱۹/۷۵	۱	۱۱۹/۷۵	۴۲/۰۹	۰/۰۰۰۱
شدت صوت B	۱۱۴/۳۸	۱	۱۱۴/۳۸	۴۱/۶۶	۰/۰۰۰۱
دما C	۱/۲۱	۱	۱/۲۱	۱/۰۶	۰/۱۸۰
AB	۱۶/۱۳	۱	۱۶/۱۳	۵/۸۹	۰/۰۳۴
AC	۳/۱۳	۱	۳/۱۳	۱/۸۹	۰/۳۲۸۸
BC	۰/۳۸	۱	۰/۳۸	۱/۸۰	۰/۲۱۰۰
A2	۱/۶	۱	۱/۶	۰/۱۴	۰/۷۱۲
B2	۴۵/۹۲	۱	۴۵/۹۲	۱۶/۲۲	۰/۰۰۲۳
C2	۱۹/۲۹	۱	۱۹/۲۹	۷/۱۲	۰/۰۰۲۲
باقی مانده	۴۰/۷۸۲	۱۰	۴۰/۷۸		۰/۰۵۴۶
خطای خالص	۷۰/۰۲	۵	۱۴	۴/۸۲	

### بهینه‌یابی شرایط استخراج اینولین از ریشه بابا آدم به کمک امواج فراصلوت

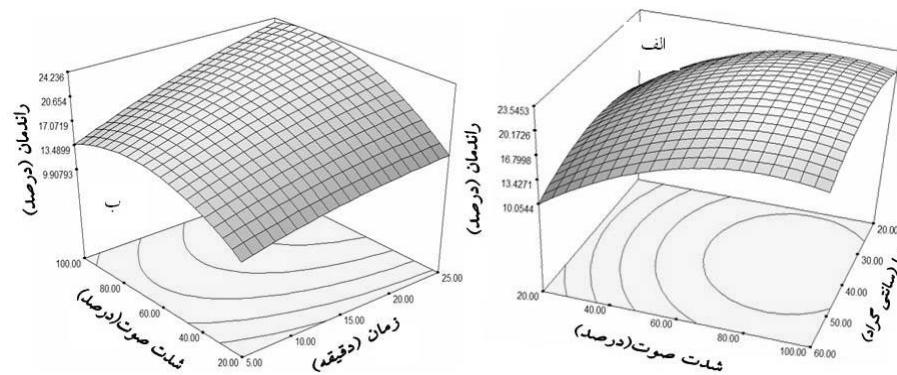
با به کارگیری روش آماری سطح پاسخ، معادله‌ی زیر که نشان‌دهنده‌ی ارتباط تجربی میان راندمان استخراج قدر کل و متغیرهای آزمایش به صورت کدگذاری شده است، به دست آمد. ضرایب مدل درجه دوم کاسته بیانگر تأثیر شرایط مختلف استخراج بر راندمان بوده و با استفاده از تکنیک حداقل مربعات محاسبه شدند.

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

مقایسه مقادیر مشاهده شده ( $Y_0$ ) با مقادیر پیش‌بینی 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 پیش‌بینی شده با روش آماری است.

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 ۴۰ 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 ( $p \leq 0.01$ ) می‌توان وجود اتحانه 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 تأثیر محسوسی بر راندمان داشت، چنانکه با افزایش زمان، راندمان به صورت خطی در محلوده تغییرات  $X$  ها افزایش یافت. با توجه به تأثیر معنی‌دار شدت صوت بر راندمان ( $p \geq 0.05$ ) چنین نتیجه می‌شود که راندمان استخراج اینولین از ریشه بابا آدم به تغییرات شدت صوت اعمال شده حساسیت زیادی دارد.





شکل شماره ۱- نمایش نمودار سه بعدی؛ اثر همزمان دو متغیر دما - زمان- 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	تیمار
۱	۲۱/۶۰	۲۰/۱۴	۱۱	۱۰/۲۱	۱۰/۰۸	
۲	۱۹/۷۵	۲۰/۱۴	۱۲	۲۱/۱۰	۲۱/۲۳	
۳	۷/۷۰	۷/۲۱	۱۳	۱۰/۴۳	۱۰/۶۲	
۴	۱۹/۹۰	۲۰/۰۶	۱۴	۱۰/۳۴	۱۷/۰۷	
۵	۱۸/۹۰	۱۷/۴۶	۱۵	۱۱/۱۴	۱۲/۷۱	
۶	۲۰/۴۵	۲۰/۱۴	۱۶	۲۱/۵۵	۲۰/۱۴	
۷	۱۸/۸۰	۱۹/۴۱	۱۷	۲۱/۸۰	۲۰/۱۴	
۸	۱۱/۹۰	۱۲/۵۲	۱۸	۶۰/۳۵	۱۵/۹۲	
۹	۲۲/۷۵	۲۰/۱۴	۱۹	۱۱/۵۰	۱۱/۶۳	
۱۰	۲۴/۱۵	۲۲/۸۴	۲۰	۱۲/۰۵	۱۲/۳۳	

از دمای ۴۰ درجه سانتیگراد در اثر کاهش تعداد جباب‌های 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 مسئله 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

در این تحقیق، هدف از بهینه‌سازی به حداقل رساندن مقدار راندمان بود. بر این اساس شرایط بهینه استخراج اینولین با اعمال امواج فراصوت و دستیابی ۲۴/۳۵ درصد راندمان استخراج، دمای ۳۶/۸ درجه سانتیگراد، زمان ۲۵ دقیقه و شدت صوت ۸۳/۲ درصد تعیین شد. در شکل زیر نمودار کنتور بهینه‌سازی استخراج اینولین از ریشه بابا آدم توسط فراصوت در دمای ۳۶/۸ درجه سانتیگراد قابل مشاهده است.

## بحث

افزایش راندمان با افزایش دما تا ۴۰ درجه سانتیگراد احتمالاً به دلیل بهبود انتقال جرم در نتیجه افزایش حلالیت اینولین و کاهش ویسکوزیته حلال بود و روند کاهشی آن بعد

منظور شد. عملکرد همزمان امواج فراصوت و ماقرویو سبب تشدید فعالیت استخراج شد و در ۶۰ 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 فرکسیون‌های تشکیل دهنده خصوصاً مونوساکاریدهای احیاء‌کننده شد. نتایج اخیر بیانگر تأثیر محسوس امواج فراصوت بر کاهش مدت زمان استخراج به میزان ۵ برابر می‌باشد [۱۲].

استخراج اپیدین استفاده کرد؛ نتایج بررسی نشان داد، افزایش زمان فراصوت تا ۲۰ دقیقه منجر به افزایش راندمان استخراج شد اما به کارگیری زمان‌های بیشتر از ۴۰ 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]. لتو همکاران (۲۰۰۹)، به کمک فناوری توان امواج فراصوت ماقروویو، اینولین را از ریشه بابا‌آدم استخراج نمودند. در این روش توان ماقروویو ۴۰۰ وات، توان فراصوت ۵۰ وات، نسبت آب به ماده جامد ۱:۱۵، دمای استخراج ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان استخراج ۱ دقیقه

## 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 tuberosus* with or without ultrasonic technique by using Response surface methodology. 17th conference of food science. Iran. 2007, pp: 310 - 11.
7. Fuai 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 (SIPPO) 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.



- 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.** Vilkhu, 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.

