# بهینه‌سازی شرایط استخراج اینولین از ریشه بابا آدم به کمک روش سطح پاسخ (RSM)

**الناز میلانی[1]*، فرشته حسینی[1]، الهام زائرزاده[2]، غلامعلی گلی موحد[1]، امیر توکلی[2]**

۱- مربی پژوهشی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی مشهد، مشهد
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
*آدرس مکاتبه: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی، سه راهی علوم تربیتی، ساختمان اقبال، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی مشهد، تلفن: ۸۷٦۲۰۰٤ (۰۵۱۱)، نمابر: ۸۷٦۲۰۰۱ (۰۵۱۱)
پست الکترونیک: e_milani81@yahoo.com

**تاریخ دریافت:** ۸۹/۱/۲۵ **تاریخ تصویب:** ۹۰/۱/۲۷

## چکیده

**مقدمه:** اینولین به علت داشتن ویژگی‌های مفید تغذیه‌ای و اثرات پری بایوتیک به طور بسیار گسترده‌ای در غذاهای عملگردر سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. ریشه باباآدم حاوی اینولین بوده و به میزان وسیعی در مناطق شمالی و غرب ایران کشت می‌شوند؛ اما همچنان اطلاعات کمی در خصوص نحوه استخراج آن موجود است.

**هدف:** بهینه‌سازی فرایندااستخراج متداول اینولین با استفاده از طرح مرکب مرکزی و متدولوژی رویه‌ی سطح پاسخ

**روش بررسی:** در این پژوهش از طرح مرکب مرکزی، به منظور بررسی تأثیر همزمان؛ نسبت آب به ماده‌ی جامد V/W (۵ - ۱۵)، زمان (٤۰ - ۵ دقیقه) و دما (۹۰ - ٤۰ درجه سانتی‌گراد) بر راندمان اینولین استخراجی از ریشه باباآدم بهره گرفته شد. روش سطح پاسخ، جهت یافتن حالت بهینه برهمکنش فاکتورها و برآورد بهترین شرایط فرایند با کمترین تعداد آزمایش قابل اجراست. جهت تعیین میزان اینولین، میزان قند کل و قند احیاء به ترتیب توسط روش فنل سولفوریک اسید و دی نیتروسالیسیلیک اسید، محاسبه شد.

**نتایج:** بر اساس آزمایش‌های انجام شده شرایط بهینه‌ی استخراج اینولین جهت به دست آمدن بیشینه‌ی بازده ۱۲ درصد؛ دمای ٦٦/۱٤ درجه‌ی سانتی‌گراد، نسبت آب به ماده‌ی جامد ۱٤/۹۸ و زمان ۳۷/٦ دقیقه تعیین شد.

**نتیجه‌گیری:** کارایی مفید متدولوژی رویه سطح پاسخ در بهینه‌سازی فرایند استخراج اینولین از ریشه بابا آدم.

**گل‌واژگان:** اینولین، استخراج، ریشه باباآدم، خصوصیات شیمیایی، متدولوژی رویه سطح پاسخ



[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]

## مقدمه

دانشمندان اینولین را در دسته الیگوساکاریدهای غیرقابل هضم (Non Digestible Oligosaccharid) قرار داده و AOAC اینولین را به عنوان ترکیبات فیبری رژیمی محلول در محصولات غذایی معرفی کرده است [۱،۷]. اینولین و فروکتوالیگو ساکارید نقش‌ها و فواید زیادی دارند که آنها را برای استفاده در فرمولاسیون غذاهای عملگر مناسب می‌سازد. مطالعات مختلف in vivo و in vitro نشان داده است رژیم حاوی (2-1) B اینولین و فروکتوالیگو ساکارید رشد بیفیدوباکترو لاکتوباسیل‌ها را تحریک نموده و به صورت انتخابی از رشد ارگانیسم‌های پاتوژن جلوگیری می‌کنند؛ افزون بر مطالب اخیر، اینولین، فیبر غذایی محلول و قابل تخمیری است که از طریق بهبود نظم، افزایش تناوب دفع و حجم مدفوع به بهبود عملکرد روده کمک می‌نماید [۲۰].

اینولین به طور طبیعی دربیش از ۳٦۰۰۰ نوع گیاه متعلق به ۱۰ خانواده و ۱۲۰۰ گونه تولید می‌شود. پس از نشاسته و سلولز، فراوانترین کربوهیدراتی است که به صورت طبیعی در گیاهان وجود دارند. اینولین، پلیمر اصلی ذخیره‌ای اعضای خانواده کامپوزیته نظیر کاسنی، غده کوکب، قاصدک، کنگر فرنگی، سیر، پیاز، موز، ریشه بابا آدم و شنگ است [۲۰،۲۱]. اولین گزارش‌ها حاکی از اثر سلامتی بخش اینولین، مربوط به اوایل قرن ۱۹ است، کولز (۱۸۷٤) طی پژوهش خود اعلام کرد، هیچ‌گونه قندی در ادرار افراد دیابتی که روزانه ۱۲۰ گرم اینولین مصرف می‌کنند، مشاهده نشد [۲۰،۲۱].

امروزه اینولین به ماده اولیه مفید در صنعت غذا تبدیل شده و امکان بهبود خواص تغذیه‌ای را در محصولات مختلف فراهم می‌کند [۱۰]. در واقع اینولین باعث حفظ بیشتر رطوبت و ماندگاری بالاتر می‌شود، حلالیت این ماده امکان استفاده از آن را در نوشیدنی‌ها و محصولات لبنی نیز فراهم کرده است [۸،۱٤،۲۲]. به دلیل خصوصیات ویژه تشکیل‌دهنده ژل در اینولین این ماده برای تولید محصولات کم چربی بدون هیچ‌گونه تأثیر سوء بر بافت آن به کار می‌رود [۱۲،۲۱]، در حال حاضر، گیاه کاسنی تنها منبع مهم استخراج صنعتی اینولین است؛ مقدار اینولین موجود در کاسنی بومی ایران به علت وضع آب و هوا بسیار کمتر از کاسنی اروپا و آمریکا است؛ گیاه بابا آدم به میزان وسیعی در مناطق شمالی و غربی ایران کشت می‌شود؛ اما همچنان اطلاعات کمی در خصوص نحوه استخراج اینولین از این گیاه موجود است. بابا آدم (*Burdock tuber*) با نام علمی *Aractium Lappal* که فیل گوش نیز نامیده می‌شود متعلق به تیره گل مینا از گیاهان دو لپه می‌باشد. این گیاه به حالت وحشی، در نواحی معتدل آسیا و در بعضی نقاط ایران مانند نواحی البرز، خراسان، کرمان، رودبار، تفرش می‌روید و در بعضی نقاط پرورش داده می‌شود؛ ریشه گیاه دراز و دوکی شکل بوده، پوست ریشه قهوه‌ای، مغز آن سفید و طعم آن کمی شیرین است. دارای اینولین، کربنات و نیترات پتاسیم، رزین‌های مختلف و گلوکوزید لاپین است [۱٤،۲۲]. مطابق بررسی‌های انجام شده در کشور، تاکنون هیچ پژوهشی در زمینه استخراج اینولین از گیاه بابا آدم گزارش نشده است؛ از این رو تحقیق حاضر، به عنوان گامی نخست در زمینه استحصال اینولین از گیاهان بومی به شمار می‌رود. با این حال بررسی مقالات سایر کشورها درخصوص موضوع بحث، حاکی از اهمیت استخراج اینولین و کاربرد آن در صنایع غذایی و دارویی است [٤،۷،۸،۱۰،۱۱،۱۳]؛ بر این اساس، لی و همکاران (۲۰۰۷)، اثرات پری‌بایوتیک اینولین استخراج شده از گیاه بابا آدم را تحت شرایط in vivo و in vitro مورد بررسی قرار دادند [۱٤]. در حضور اینولین بابا آدم، میزان بیفید و باکترو لاکتوباسیلوس‌ها به شدت افزایش یافت. نتایج آنها نشانگر اثرات سلامتی‌زایی اینولین حاصل از باباآدم بود [۲۲]. لو و همکاران (۲۰۰۹)، نیز به کمک فناوری توام امواج فراصوت – ماکروویو، اینولین را از ریشه بابا آدم استخراج نمودند. بر این اساس؛ عملکرد همزمان امواج فراصوت و ماکروویو سبب تشدید فعالیت استخراج شده و در ٦۰ ثانیه اول، بیشترین میزان بازده استخراج مشاهده شد (۹۹ میلی‌گرم بر گرم)؛ اما پس از گذشت زمان، بازده استخراج کاهش یافت،



[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]

این پدیده ناشی از تشدید عملکرد همزمان ۲ روش فراصوت و ماکرویوو بوده و سبب تجزیه اینولین به فراکسیون‌های تشکیل‌دهنده خصوصاً مونوساکاریدهای احیاء کننده شد [۱۷]. در حال حاضر به دلیل هزینه زیاد واردات اینولین، مصرف آن در صنایع داخلی مقرون به صرفه نبوده و کاربرد منحصر به فرد آن کماکان ناشناخته است، از این رو به منظور استفاده از اینولین در فرآورده‌های غذایی و دارویی و با توجه به کمبود کارهای پژوهشی مستند دراین زمینه، هدف از انجام تحقیق، معرفی منبع بومی بالقوه غنی از اینولین و دستیابی شرایط بهینه استخراج آبی اینولین از ریشه بابا آدم با استفاده از روش سطح پاسخ برای تعیین مقادیر بهینه‌ی فاکتورهای مورد بررسی بود. در روش متداول استخراج، به منظور بررسی تأثیر مستقل و متقابل سه متغیر دما، زمان استخراج و نسبت حلال به ماده جامد بر راندمان استخراج به دلیل محدوده وسیع مورد بررسی هر کدام از متغیرها، می‌بایست آزمون‌های زیادی بررسی شود؛ اما از آنجاکه، استفاده از منابع عظیم گیاهی کشور با روش‌های اقتصادی همواره مدنظر بوده است؛ به کمک طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر؛ جهت حصول حداکثر بازده و حداکثر ضریب اطمینان صحت آزمون، تیمارهای کمتر و همچنین زمان کمتری موردنیاز است. در این تحقیق، هدف از بهینه‌سازی به حداکثر رساندن مقدار بازده بود. بر این اساس شرایط بهینه استخراج اینولین با اعمال امواج فراصوت و دستیابی ۹۱/۱ درصد راندمان استخراج، دمای ٤٦ درجه سانتی‌گراد، زمان ۳۱/٤٥ دقیقه و شدت صوت ۱۰۰ درصد تعیین شد. اما چنانچه دستیابی به بیشینه راندمان در کنار کاربرد شدت صوت‌های پایین و کاهش هزینه مصرفی مدنظر باشد؛ شرایط بهینه استخراج اینولین با بازده ۸٤/۸ درصد؛ شامل دما ٤٤ درجه سانتی‌گراد، زمان ۳۸ دقیقه و شدت صوت ۲۰ درصد می‌باشد.

## مواد وروش‌ها

### مواد

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل، ریشه بابا آدم ۳ ساله از گروه باغبانی دانشگاه فردوسی، اسیدسولفوریک ۹٦ درصد، تارتارات مضاعف سدیم و پتاسیم، هیدروکسیدسدیم و D- فروکتوز استاندارد از شرکت مرک آلمان (Merck)، دی نیترو سالیسیلیک اسید (DNS) از شرکت سیگما (SIGMA)، فنول کریستاله از Panreac Quimica و اینولین استاندارد (HP) ازشرکت Beneo-OraftiR بود.

### روش‌ها

محتوی پروتئینی ریشه بابا آدم، با استفاده از روش میکرو کلدال خودکار Tecator و محاسبه ضریب تبدیل ٦/۲٥، محتوی چربی توسط دستگاه سوکسله و میزان خاکستر به کمک کوره الکتریکی (دما ٥٥۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱٥ ساعت) موجود در پژوهشکده‌ی صنایع غذایی جهاددانشگاهی آنالیز شد [AOAC, 1995]؛ مواد معدنی به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی و میزان فیبر خام، ADF (Acid detergent fiber) فیبر محلول در دترجنت اسیدی نظیرسلولز ولیگنین وNDF (Neutral Detergent Fiber) فیبر محلول در دترجنت خنثی شامل همی سلولز، سلولز ولیگنین، به کمک روش آنزیمی به شماره ۹۹۱/٤۳ و دستگاه آنالیز فیبر مدل 1010 Heat Extrator اندازه‌گیری شد [AOAC, 1995 و ۱۷].

### آماده‌سازی نمونه‌های ریشه بابا آدم

نمونه‌ها به طور کامل پوست‌گیری و مورد شستشو قرار گرفتند. پس از آن ریشه‌های بابا آدم به قطعات کوچک برش خورده و به مدت ۲٤ ساعت در آون مدل (DENA) در دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا رطوبت نهایی نمونه‌ها به ٥ درصد کاهش یافت؛ سپس نمونه‌ها از آون خارج و به دسیکاتور منتقل شدند؛ پس از سرد شدن، نمونه‌ها را توسط آسیاب پودر کرده و از الک آزمایشگاهی با مش٥۰ میکرومتر، جهت رسیدن به اندازه دانه‌بندی یکسان عبور داده شدند [۱٥].

### استخراج آبی عصاره‌ی ریشه بابا آدم

جهت استخراج عصاره‌ی ریشه بابا آدم، ابتدا مقدار مشخص از پودر ریشه را با مقادیر مشخص آب مقطر مخلوط



[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]

نموده؛ سپس مخلوط تحت تیمارهای دمایی توسط بن ماری مدل Memmert در زمانی مشخص مطابق با جدول شماره ۱ قرار گرفت. مخلوط تیمار شده را توسط کاغذ صافی واتمن شماره ٤٠ و قیف بوخنرتحت خلاء صاف نموده و محلول زیرصافی تحت تیمار با سانتریفوژ مدل Herlab unicen FR با سرعت ٤٥٠٠ گرم، به مدت ۱۰ دقیقه و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت؛ سپس ۱ میلی‌لیتراز محلول رویی را در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ رسانده و از این محلول جهت عملیات بعدی استفاده شد [۱۵].

**روش اندازه‌گیری قند کل**

برای اندازه‌گیری قند کل از روش ارائه شده توسط دوبیوس و همکاران (۱۹٥٦) (Dubois et al.) استفاده شد، بدین‌منظور ۱ میلی‌لیتر از عصاره سیب‌زمینی ترشی استراج شده را تا غلظت ۱ درصد رقیق کرده و سپس ۱ میلی‌لیتر از عصاره رقیق شده را به لوله آزمایش منتقل کرده و ۳ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوریک غلیظ (۹٦ درصد) به آن افزوده شد و لوله‌ها به کمک آب سرد تا رسیدن به دمای اتاق خنک شدند، سپس ۵۰ میکرولیتر محلول فنل ۹۰ درصد 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 ٤٨٠ نانومتر خوانده شد [۹]. جهت تهیه منحنی استاندارد قند کل از گلوکز استفاده شد، بدین‌منظور محلول‌های حاوی گلوکز با غلظت‌های مختلف را تهیه کرده و میزان جذب هر یک از این محلول‌ها در طول موج ٤٨٠ نانومتر اندازه گرفته شد. قند کل نمونه‌ها از طریق میزان جذب‌های خوانده شده در معادله‌ی خط نمونه‌های استاندارد محاسبه شد [۹،۱٦].

**روش اندازه‌گیری قند احیاء**

جهت اندازه‌گیری قند احیاء از روش بالدینی و همکاران (۲۰۰٤)، استفاده شد؛ بدین‌منظور ابتدا نیاز به تهیه یک مخلوط استاندارد است؛ برای تهیه مخلوط استاندارد، ۲۵ گرم سدیم پتاسیم تارتارات مضاعف، ۱/٦ گرم هیدروکسید سدیم و ۱ گرم دی نیتروسالیسیک اسید مخلوط شده و این مخلوط به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد؛ برای یکنواخت شدن مخلوط به دست آمده از همزن مدل مولینکس در دمای اتاق و به مدت ۳۰ تا ٦۰ دقیقه استفاده شد؛ سپس ۲/۵ میلی‌لیتر از این محلول را به ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره استخراج شده و رقیق شده تا غلظت ۱ درصد افزوده و این مخلوط در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱۰ دقیقه در حمام بن ماری قرار گرفت، سپس سرد شدن به کمک آب سرد تا دمای محیط انجام شده و ۲/٤ میلی‌لیتر آب مقطر به نمونه‌ها افزوده شد و در نهایت میزان جذب نمونه‌ها در ۵۳۰ نانومتر خوانده شد [۳،٤]. جهت تهیه منحنی استاندارد قند احیاء از D- فروکتوز به عنوان استاندارد استفاده شد، بدین‌منظور محلول‌های مختلف با غلظت‌های متفاوت D - فروکتوز تهیه شده و با روش ذکر شده میزان جذب این محلول‌ها اندازه گرفته شد. قند احیا نمونه‌ها با قراردادن میزان جذب‌های خوانده شده در معادله خط نمونه‌های استاندارد محاسبه شد [۳،٤].

**اندازه‌گیری میزان اینولین**

برای اندازه‌گیری میزان اینولین ریشه بابا آدم، میزان قند احیای محاسبه شده از میزان قند کل به دست آمده کسر شد و درصد اینولین واقعی به روش زیر محاسبه شد [۳،٤،۱۱،۱۵].

بازده 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. 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 روطرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد [۲]. در این



[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]

**جدول شماره ۱- تیمارهای مربوط به استخراج آبی ریشه بابا آدم**

| تیمار | دما (درجه سانتی‌گراد) | نسبت آب به ماده جامد | زمان (دقیقه) | راندمان (درصد) | تیمار | دما (درجه سانتی‌گراد) | نسبت آب به ماده جامد | زمان (دقیقه) | راندمان (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۹۰ | ۱۵ | ۵ | ۱۱/۷ | ۱۱ | ٤۰ | ۵ | ۵ | ۱/٦ |
| ۲ | ٤۰ | ۱۰ | ۲۲/۵ | ۷/۸۸ | ۱۲ | ٦۵ | ۱۰ | ۲۲/۵ | ۸/۷۲ |
| ۳ | ۹۰ | ۵ | ۵ | ۳/۳۸ | ۱۳ | ٤۰ | ۱۵ | ٤۰ | ۱۰/۳۷ |
| ٤ | ٦۵ | ۱۰ | ۲۲/۵ | ۸ | ۱٤ | ٦۵ | ۱۰ | ۵ | ۱۰/۳٤ |
| ۵ | ٦۵ | ۱۰ | ٤۰ | ۹/۱ | ۱۵ | ٦۵ | ۱۰ | ۲۲/۵ | ۸/۷٦ |
| ٦ | ٦۵ | ۱۰ | ۲۲/۵ | ۳۱/۳٦ | ۱٦ | ۹۰ | ۱۵ | ٤۰ | ۱۰/۹۹ |
| ۷ | ٦۵ | ۵ | ۲۲/۵ | ٦/٤۸ | ۱۷ | ٤۰ | ۱۵ | ۵ | ٦/٤٤ |
| ۸ | ٤۰ | ۵ | ٤۰ | ۱٤/۷۵ | ۱۸ | ۹۰ | ۱۰ | ۲۲/۵ | ٦/۱٦ |
| ۹ | ٦۵ | ۱۵ | ۲۲/۵ | ۱۰/۷۸ | ۱۹ | ٦۵ | ۱۰ | ۲۲/۵ | ۸/۷۳ |
| ۱۰ | ۹۰ | ۵ | ٤۰ | ۳/۲۷ | ۲۰ | ٦۵ | ۱۰ | ۲۲/۵ | ۸/۸۳ |

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 ۲ نشان داده شده است. شش تکرار نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش استفاده شد. در ضمن، متغیرها $x_i = (X_i - \overline{X}_i)/\Delta X_i$ مطابق معادله کدگذاری شدند: در اینجا، $X_i$ مقدار واقعی متغیر مستقل فرایند، $\overline{X}_i$ مقدار واقعی متغیر مستقل در نقطه‌ی مرکزی و $\Delta X_i$ تغییر پله‌ای است. در جدول شماره ۱ متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها نشان داده شده است. مدل مورد استفاده در RSM عموماً رابطه‌ی درجه دوم می‌باشد. در روش RSM برای هر متغیر وابسته، مدلی تعریف شده 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، $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ 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 بهینه‌سازی فرآیند مذکور استفاده شد. تعداد کل آزمایشات با ۲ تکرار برابر ٤۰ بود و متغیر وابسته (پاسخ)، درصد بازده استخراج اینولین بود.

آخرین مرحله این مدل آماری، شامل ارائه گرافیکی رابطه‌ی مدل و تعیین شرایط عملیاتی بهینه بود که به وسیله‌ی نمودار رویه پاسخ و کنتور (Contour) انجام پذیرفت. شرایط عملیاتی بهینه برای استخراج اینولین از ریشه بابا آدم، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی (Numerical optimization) جستجو شد [۲،۱۹].

## نتایج و بحث

### اندازه‌گیری ساختار شیمیایی موجود در ریشه بابا آدم

میزان ساختار شیمیایی و مواد معدنی موجود در ۱۰۰ گرم ریشه بابا آدم در جدول شماره ۳ قابل مشاهده است. مطابق پژوهش‌های انجام شده؛ ۱۰۰ گرم ریشه تازه بابا آدم، به طور



[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]

میانگین دارای ۲/٦ گرم پروتئین، ۱/۲ گرم خاکستر، ۲/۲ گرم فیبرکل، ۰/۲ گرم چربی، ٦۱/۲ میلی‌گرم کلسیم، ۱ میلی‌گرم آهن، ٤٥۰ میلی‌گرم پتاسیم، ٦۱ میلی‌گرم کلسیم و ۰/۵ میلی‌گرم روی می‌باشد [۱۸].

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

مطابق جدول شماره ٤، آزمون ضعف برازش مربوط به مدل برازش یافته (چند جمله‌ای درجه دوم) بر پاسخ معنی‌دار نبود. با توجه به مقادیر $R^2$ (۰/۹۲٤) و $R^2_{adjusted}$ (۰/۸۵۸) مربوط به مدل‌ها می‌توان دریافت؛ مدل چند جمله‌ای درجه دوم دارای مقادیر بالاتری است، بنابراین در برازش داده‌ها توان بیشتری را دارا می‌باشد. با توجه به جدول شماره ۵، مدل درجه دوم کاسته برای راندمان از نظر آماری معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۰۱). مقدار بالای $R^2$ بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی می‌باشد.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۰۱) زمان و نسبت آب به ماده جامد بر بازده استخراج بود. در مورد اثرات درجه‌ی دوم برای فاکتورهای مورد بررسی، ضریب رگرسیون درجه‌ی دو مربوط به فاکتور دما در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. از میان آثار متقابل فاکتورهای مورد بررسی تنها اثر متقابل بین دو فاکتور زمان و دما برای بازده از نظر آماری معنی‌دار بود که نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ی خطی توأم بین دو فاکتور مورد بررسی بر میزان بازده بود.

**جدول شماره ۲- نمایش متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها**

| متغیرهای مستقل | نماد ریاضی | کد و سطح مربوطه | | |
|---|---|---|---|---|
| دما (درجه سانتی‌گراد) | $X_1$ | +۱ | ۰ | -۱ |
| زمان (دقیقه) | $X_2$ | ۹۰ | ٦۵ | ٤۰ |
| نسبت آب به ماده‌ی جامد (حجمی/ وزنی) | $X_3$ | ٤۰ | ۲۲/۵ | ۵ |

**جدول شماره ۳ - ساختار شیمیایی و میزان مواد معدنی موجود در ریشه بابا آدم**

| نمونه | ساختار شیمیایی (درصد) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | چربی | پروتئین | خاکستر | فیبر کل | NDF | ADF |
| ریشه بابا آدم | ۰/۲۳ | ۹/۲ | ۱۵ | ۲ | ۱ | ۱ |

| نمونه | عنصر (میکروگرم در گرم خاکستر ریشه بابا آدم) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ca | K | Na | Zn | Cu | Fe |
| ریشه بابا آدم | ٤٦۳۱۲٤/۲ | ۱۲۵٦۲۲ | ۱۵۷۰۰٦/۷ | ۱۳۵۳/۲ | ۳۳ | ۰ |

**جدول شماره ٤- نتایج آزمون ضعف برازش یافته بر پاسخ**

| مدل | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | ارزش F | ارزش P |
|---|---|---|---|---|---|
| Quadratic | ۱۰/۸۰ | ۵ | ٦۷/۵٦ | ۲/۸۲ | ۰/۰۰۳۲ |
| خطای خالص | ۰/۵٦ | ۵ | ۰/۱۱ | | |



[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]

**جدول شماره ۵- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای راندمان**

| منبع | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | ارزش F | ارزش P |
|---|---|---|---|---|---|
| مدل | ۱۳۰/۸٦ | ۹ | ۱٤/۲٤ | ۱۳/٦۰ | ۰/۰۰۰۲ |
| زمان A | ٤/۱۵ | ۱ | ٤/۱ | ۳/۸۵ | ۰/۰۰۷ |
| نسبت آب به ماده جامد B | ۸٦/۸۷ | ۱ | ۸٦/۸۷ | ۸۱/۵۳ | ۰/۰۰۰۱ |
| دما C | ۱/۰۹ | ۱ | ۱/۰۹ | ۰/۹۷ | ۰/۳٤۷ |
| AB | ۰/۱۵ | ۱ | ۰/۱۵ | ۰/۱٤ | ۰/۷۱۲ |
| AC | ۱۰/۸۱ | ۱ | ۱۰/۸۱ | ۱۰/۱۵ | ۰/۰۰۹۷ |
| BC | ۵/۹۲ | ۱ | ۵/۹۲ | ۵/۵۷ | ۰/۰٤٤ |
| $A^2$ | ۰/۹٤ | ۱ | ۰/۹٤ | ۰/۸۸ | ۰/۳٦۹ |
| $B^2$ | ۰/٦۸ | ۱ | ۰/٦۸ | ۰/٦۳ | ۰/٤٤٤ |
| $C^2$ | ۱۲/۰٤ | ۱ | ۱۲/۰٤ | ۱۱/۳٦ | ۰/۰۰۷ |
| باقی‌مانده | ۱۰/۵٦ | ۱۰ | ۱۰/۵٦ | | |
| خطای خالص | ۰/۵٦ | ۵ | ۰/۱۱ | | |

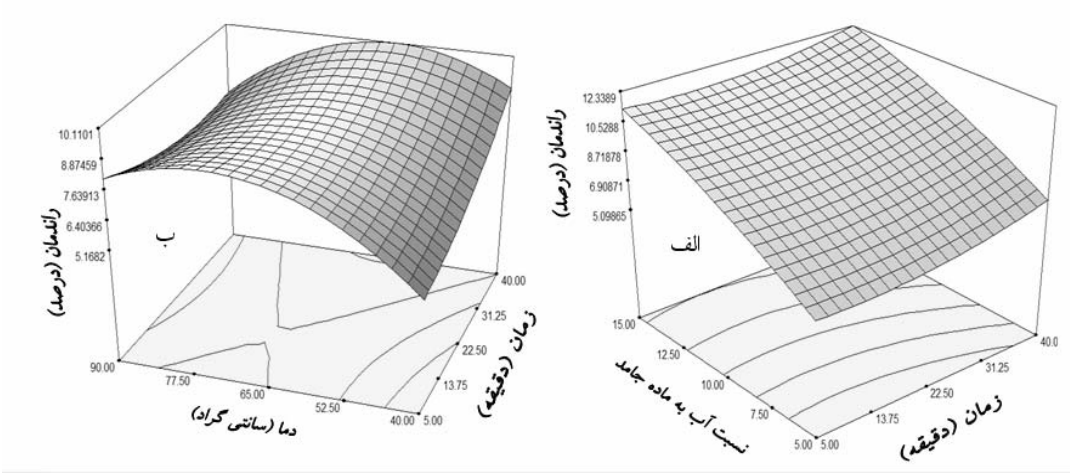
اثر همزمان نسبت آب به ماده جامد - زمان در دمای ثابت ٦۵ درجه سانتی‌گراد بر بازده استخراج در شکل شماره ۱- الف، نشان داده شده است. بر این اساس، ابتدا زمان تأثیر نامحسوسی بر بازده داشت؛ چنانکه با افزایش زمان تا ۲۲/۵ دقیقه، روند تغییرات ثابت و پس از آن با افزایش مدت زمان تا ٤۰ دقیقه بازده به صورت خطی در محدودهٔ تغییرات X ها افزایش یافت؛ تأثیر مستقل نسبت آب به ماده جامد بر بازده، بدون لحاظ نمودن سایر متغیرها، به صورت خطی است به طوری که با افزایش نسبت آب به ماده‌ی جامد، میزان بازده افزایش یافت؛ معنی‌دار بودن اثر خطی نسبت آب به ماده‌ی جامد ($p<۰/۰۰۱$) 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 گردید [۱٤]. نتایج مشابهی توسط لینگیون (۲۰۰۷) مبنی بر تأثیرپذیری استخراج صمغ از میزان آب وافزایش بازده گزارش شده است. نتایج بررسی فروزان مهر و همکاران (۲۰۰۷)، نشان داد که در میان اثرات خطی نسبت حلال به کنگرفرنگی و پس از آن زمان استخراج به ترتیب با $p<۰/۰۰۱$ و $p<۰/۰۵$، بیشترین تأثیر معنی‌دار را بر مقدار استخراج قند کل داشتند. به طوری که با افزایش آنها میزان استخراج به صورت خطی افزایش یافت [۱۱]. لینگیون و همکاران (Lingyun et al.) (۲۰۰۷)، در پژوهش خود، مشخص نمودند نسبت حلال به کنگرفرنگی و دما دارای بیشترین تأثیر بر بازده استخراج بود [۱۵].

در شکل شماره ۱- ب اثر همزمان نسبت دما- زمان، در نسبت ثابت آب به ماده جامد ۱۰ بر راندمان استخراج مشاهده می‌شود. بر این اساس افزایش دما تا میزان مشخص ۷۷/۵ درجه سانتی‌گراد راندمان استخراج را افزایش داد و پس از آن، بازده استخراج کاهش یافت. با توجه به معنی‌داری اثرات خطی و درجه دوم دما ($p\leq ۰/۰۱$) می‌توان وجود انحناء در شکل رویه و کنتوررا انتظار داشت. افزایش بازده 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 دما ۷۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌تواند در اثر افزایش دپلیمریزاسیون 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 شود [٤،٦،۸]. در مطالعه ویلی و همکاران (Wei Li et al.) (۲۰۰۷) نتایج بهینه‌سازی استخراج



[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]




**شکل شماره ۱- نمایش نمودار سه بعدی؛ اثر همزمان دو متغیر نسبت آب به ماده جامد-زمان (الف) و زمان- درجه حرارت (ب) بر بازده استخراج اینولین**

پلی‌ساکارید نتایج نشان داد که افزایش دما تا ٦٠ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش بازده استخراج می‌شود اما به کارگیری دماهای بالاتر به دلیل احتمال تجزیه پلی ساکاریدها به قندهای آزاد باعث کاهش بازده می‌شود [۲۲]. تأثیر مستقل زمان بر بازده، به صورت خطی است به طوری که با افزایش مدت زمان، میزان بازده افزایش یافت. بکر و همکاران (Bekers et al.) (۲۰۰۷)، میزان اینولین به دست آمده از سیب‌زمینی ترشی را در ۳ درجه حرارت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌گراد و ٤ زمان ٥، ١٥، ٣٠، ٦٠ دقیقه بررسی نمودند. بر اساس نتایج، زمان بهینه جهت استحصال بیشینه اینولین به ترتیب در ۳ تیمار حرارتی معادل ٦٠، ١٥ و ٣٠ دقیقه بود [٥].

با به کارگیری روش آماری سطح پاسخ، معادله‌ی زیر که نشان‌دهنده‌ی ارتباط تجربی میزان درصد بازده و متغیرهای آزمایش به صورت کدگذاری شده است؛ به دست آمد:

$$Y = 13.67 + 0.139X1 + 0.573X2 + 0.44X3 - 1.6X12 - 2.65X13 + 1.91X11 - 0.02X22 - 3.34X33$$

**بهینه‌سازی**

نتایج فرایند بهینه‌سازی، نشان داد؛ شرایط بهینه استخراج آبی اینولین از ریشه بابا آدم با بازده ۱۲ درصد؛ شامل دمای ٦٦/١٤ درجه سانتی‌گراد، زمان ۳۷/٦ دقیقه و نسبت آب به ماده‌ی جامد ١٤/٩٨ تعیین شد.

## نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق بیانگر کارایی مفید متدولوژی رویه پاسخ در بهینه‌سازی فرایند استخراج بود. از میان شرایطی که برای استخراج اینولین از ریشه بابا آدم اعمال شد، مشخص شد که راندمان استخراج از نسبت آب به دانه و زمان تأثیر می‌پذیرند، به طوری که نسبت آب به دانه به میزان بیشتری از زمان بر راندمان تأثیر داشت. بایستی اشاره نمود که هدف از انجام این تحقیق، به دست آوردن شرایط تأثیرگذار بر استخراج اینولین از ریشه بابا آدم به عنوان یک کار آغازین بود که به هر حال، انجام تحقیقات بیشتر در این رابطه ضروری جلوه می‌نماید. از نتایج به دست آمده می‌توان چنین برداشت نمود که اینولین استحصالی از بابا آدم، قابل رقابت با اینولین استحصالی از کاسنی اروپا و آمریکاست؛ همچنین استخراج اینولین از ریشه بابا آدم در کشور با توجه به هزینه‌ی بالای واردات آن و کاربرد وسیع آن در زمینه‌ی دارویی و تغذیه‌ای، منطقی خواهد بود.



[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]

## منابع


**1.** Anonymous. AOAC Official methods of analysis. 18th ed. Maryland: AOAC International 2006, 56 - 63.

**2.** Atkinson AC & Donev, A.N. Optimum experimental design. Oxford University Press, 1992, 5: 132 - 89.

**3.** Baldini M, Danuso F, Turi M & 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.

**4.** Beatriz H, Bernal, Jario Calle, Elcy Q. Duarte, Roberto Pinzon, Mario Velasa\quez. Inulin from tubers of Dahlia imperialis Roetz. Rev. *Col. Cienc. Quim. Farm*. 2005; 34 (2): 122 - 5.

**5.** Bekers, M, Carbohydrates in Jerusalem artichoke powder suspension. *Nutrition & Food Sci*. 2007; 37 (1): 42 - 9.

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

**7.** Carabin G and W Flamm. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. *Regulatory Toxicology and Pharmacol.* 1999; 30: 268 – 82.

**8.** Coussement, P. Pre- and synbiotics with inulin and oligofructose, *Food Technol. Eur*. 1996; 102 – 4.

**9.** Dubois M, K A. Gilles, J K. Hamilton P. A. Rebers and F. Smith. Calorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chem.* 1956; 28: 350 –6.

**10.** Franck A. Technological functionality of inulin and oligofructose, Br. J. Nutr. 2002; 87: 287 – 91.

**11.** 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, 310 - 11.

**12.** Gomes, M and Xavier, F. Development of probiotic cheese manufactured from goat milk response surface analysis via technological manipulation. *J. Dairy. Sci*. 1998; 81: 1492 - 507.

**13.** Kaur N and A K. Gupta. Application of inulin and oligofructose in health and nutrition. *J. Bioscience* 2002; 27: 703 – 14.

**14.** Li J, S. 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.

**15.** 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.

**16.** López-Molina, Dorotea, María Dolores, Rojas-Melgarejo, Alexander N. P. Hiner, Soledad Chazarra and José Neptuno. Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke. 2005, 163 - 70.

**17.** Lou Z, Wang H, Danxi W and Zhang Y. 2009. Preparation of inulin and phenols-rich dietary fibre powder from burdock root. *Carbohydrate Polymers* 78 (4): 666 - 71.

**18.** Morita K and et al. "Chemical Nature of a Desmutagenic Factor from Burdock ((Arctium lappa Linne)." *Agric. Biol. Chem.* 1985; 49: 925 - 32.

**19.** Myers RH. Montgomery DC. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 2nd Edition. Wiley, New York. 2002, 51 - 83.

**20.** Roberfroid M. Inulin-type fructans: Functional food ingredients. New York: CRC Press. 2005, 113 – 44.




[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]

**21.** Van den Ende W, Fructan metabolism in chicory roots, Ph.D. Thesis, University of Leuven, Belgium. 1996, 5 - 11.

**22.** Zargari A. Medicinal Plant. Tehran University Publication. Fifth edition, 1993, Volume 5: 890 - 4.

[ Downloaded from jmp.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.2717204.2012.11.41.23.9 ]