

مقاله پژوهشی

فرآیند چند مرحله‌ای با جریان متقابل برای استخراج گلیسیریزیک اسید از گیاه شیرین بیان

زینب عزیزی حیقت^۱، علی اکبر سیف کردی^۲، عظیم اکبرزاده خیاوی^{۳*}، مهدی ارجمند^۴

۱. دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

۲. دکترای مهندسی شیمی، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف تهران

۳. استاد، بخش نانو بیو تکنولوژی پایلوت، انستیتو پاستور ایران، تهران

۴. دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران جنوب

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵)

چکیده

در این تحقیق، عصاره ریشه شیرین بیان به روش استخراج چند مرحله‌ای با جریان متقابل در مقیاس بنج، استخراج و میزان اسید گلیسیریزیک موجود در آن مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر پارامترهای مختلف از جمله دما، زمان، تعداد مراحل استخراج و نسبت حلال (اتانول و آمونیاک غلیظ) به جامد ارزیابی شد. شرایط بهینه استخراج از طریق روش آماری سطح پاسخ تعیین گردید. نتایج تحلیل آماری نشان داد که سه متغیر دما، زمان و تعداد مراحل استخراج تأثیر معنی داری بر باده استخراج دارند. براساس بهینه سازی با معیار بیشینه سازی پاسخ، شرایط بهینه به صورت زمان ۵/۹۸ ساعت، دمای $46/17^{\circ}\text{C}$ ، نسبت حلال به جامد $7/70\text{ cc/gr}$ ، تعداد مراحل ۴ به دست آمد. در این شرایط بازده استخراج گلیسیریزیک اسید $78/7\%$ بود.

واژه‌های کلیدی: استخراج چند مرحله‌ای، شیرین بیان، اسید گلیسیریزیک، سطح پاسخ

۱. مقدمه

گیاهان دارویی یکی از منابع غنی کشور محسوب می‌شوند که امکان صادرات آنها نیز وجود دارد. ایران از لحاظ آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی در زمینه رشد گیاهان دارویی یکی از بهترین مناطق جهان محسوب می‌گردد و در گذشته هم منبع تولید و مصرف گیاهان دارویی بوده است. شیرین‌بیان یکی از مهمترین گیاهان دارویی و صنعتی است که از تولیدات آن به شکل‌های مختلف و کاربردهای متنوع از جمله صنایع داروسازی و صنایع غذایی استفاده می‌شود.

شیرین‌بیان^۱ متعلق به خانواده fabaceae است که عمدتاً در جنوب اروپا و آسیا رشد می‌کند. ریشه شیرین‌بیان به دلیل خواص نرم‌کنندگی، ضدالتهابی، ضدویروسی، ضد حساسیت، آنتی‌اکسیدانی، محافظت‌کننده دستگاه گوارش و ضدسرطان به‌طور گسترده در طب گیاهی استفاده می‌شود. عصاره شیرین‌بیان در محصولات مختلفی مانند شربت‌های سرفه، آدامس‌ها، نوشیدنی‌ها و تنباکو برای افزایش شیرینی استفاده می‌شود [۱]. این گیاه متعلق به تیره اصلی بقولات^۲ و تیره فرعی پروانه‌واران^۳ و از راسته گل سرخیان^۴ است [۳، ۲]. شیرین‌بیان^۵ یکی از مهمترین گیاهان دارویی است که از لحاظ اقتصادی ارزش بالایی دارد و به‌طور گسترده برای کاربردهای مختلف مورد پژوهش قرار گرفته است [۴]. بوته این گیاه به ارتفاع ۳۰-۶۰ cm است و به نوع گیاه و شرایط اقلیمی محل رویش بستگی دارد که گل‌های آبی یا بنفش رنگی دارد. ریشه‌های آن ۱۵-۲۰ cm هستند و شکل میله‌ای استوانه‌ای با قطر ۵/۰-۵/۲ cm دارند [۵، ۶، ۷].

ریشه شیرین‌بیان حاوی ترکیبات متعددی از جمله قندها (تا ۱۸٪)، فلاونوئیدها، استرول‌ها، اسیدهای آمینه، صمغ‌ها، نشاسته‌ها، اسانس‌ها و ساپونوزیدها است. مهمترین ساپونین موجود در ریشه شیرین‌بیان اسید گلیسیریزیک (GA, C₄₂H₆₂O₁₆) که از دو واحد اسید گلوکورونیک و یک مولکول اسید گلیسرینیک آگلیکون تشکیل شده است [۱۶-۸]. اسید گلیسیریزیک دارای وزن مولکولی ۸۲۲/۹۱ g می‌باشد. این ماده

به شکل کریستال‌های بی‌رنگ در دمای ۱۷۰°C نرم بوده و در ۲۰۵°C ذوب می‌گردد. در دماهای پایین در الکل و اتر تقریباً نامحلول است که با افزایش دما نیز حلالیت آن در آب، الکل و اسید استیک افزایش می‌یابد [۱۷]. گلیسیریزیک اسید از لحاظ کاربردی از اهمیت بالایی برخوردار است و اخیراً فناوری استخراج GA از شیرین‌بیان بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است [۱۸-۲۰]. روش‌های معمول استخراج شامل روش‌های سوکسله، استخراج جامد-مایع و استخراج مایع-مایع می‌باشد که این روش‌ها با مصرف زیاد حلال، زمان استخراج طولانی، افزایش احتمال تخریب ترکیبات ناپایدار گرمایی همراه می‌باشند [۲۱]. به‌علاوه روش‌های غیرمتداول و جدید که برای استخراج مورد استفاده قرار می‌گیرد، مثل استخراج با روش‌های امواج فراصوت [۲۲]. استخراج با حلال فوق بحرانی [۲۳] و استخراج جامد-مایع فشار بالا [۲۴] به ابزارهای پیشرفته و انرژی زیاد نیاز دارند. بنابراین، این روش‌ها در مقیاس‌های صنعتی برای استخراج محصول دارای محدودیت هستند و گاهی غیرممکن می‌باشند. در این پروژه از فناوری استخراج چند مرحله‌ای با جریان متقابل^۶ (MSCE) به‌عنوان تکنیک جایگزین استفاده شده است. در این فناوری استخراج پویای چرخه‌ای با استخراج با جریان متقابل پیوسته ترکیب شده [۲۵] و موجب بهبود انتقال حرارت و جرم می‌شود که در کنار کاهش مصرف حلال باعث افزایش بهره استخراج شده است. این دستاوردها روش استخراج چند مرحله‌ای با جریان متقابل را به تکنولوژی دلخواه برای استفاده در مقیاس صنعتی معرفی کرده است [۲۶]. استخراج مؤثر و مطلوب محصول تابع پارامترهای فرآیند مثل اندازه ذرات نمونه، غلظت حلال، نسبت حلال به ماده خشک، دما و زمان استخراج می‌باشد. بهینه‌کردن این پارامترها و بهبود کیفیت محصول نهایی مهمترین چالشی است که برای کاربردی کردن هر تکنولوژی در مقیاس صنعتی باید در نظر گرفته شود. در این راستا محققان به بهینه‌سازی پارامترهای مهم در بازیابی ترکیبات با ارزش از ضایعات صنعتی روی آورده‌اند [۲۷، ۲۸]. در سال ۲۰۰۰ استخراج لئونورین از لئونوروس با این روش انجام شده است. همچنین برای استخراج پلی فنول‌های چای سبز از روش MSCE استفاده شده است [۲۹]. در سال ۲۰۰۴ ونگ و همکاران فناوری‌های متنوعی را

1. Glycyrrhiza glabra
2. Leguminosae
3. Fabaceae
4. Rosales
5. Licorice

6. multi-stage countercurrent extraction

فاکتوریل کامل و روش سطح پاسخ^۱ برای تعیین سطوح پارامترها و مدل کردن پاسخ استفاده شد. متغیرهای مستقل شامل اندازه ذره ریشه شیرین‌بیان در سه سطح (۱۲۰، ۶۰، ۳۵-۶۰، ۳-۲۰، ۱) بود. نتایج نشان داد که قطر ریشه شیرین‌بیان در سه سطح (cm) تأثیر معنی‌داری بر بازدهی اسید گلیسیریزیک داشت، در حالی که تأثیر معنی‌داری بر اندازه ذره مشاهده نشد [۳۵].

در روش استخراج با جریان متقابل، تماس مؤثر بین خوراک و حلال که از جهت‌های مخالف وارد سیستم می‌شوند همراه با امکان جابجایی چندجهتی حلال، موجب بهبود فرایند انتقال جرم می‌گردد. حداکثر بازده استخراج هنگامی حاصل می‌شود که مقدار ماده خام به حلال به حالت بهینه تنظیم شوند. در اغلب مطالعات، این فرآیند در دماهای نزدیک به دمای محیط (حدود 30°C تا 40°C) انجام شده است تا ضمن صرفه‌جویی در مصرف انرژی، از تخریب ترکیبات حساس به حرارت نیز جلوگیری شود [۳۲، ۳۰]. علاوه بر این، این روش به دلیل کاهش احتمال افزایش دمای کنترل نشده، کوتاه بودن زمان عملیات و بازدهی مطلوب، نسبت به روش‌های مرسوم دارای مزیت‌هایی است. براساس مطالعات پیشین، با مصرف حجمی مشابه از حلال، بازده استخراج گلیسیریزیک اسید در روش جریان متقابل بیشتر از روش‌هایی چون سوکسله و اولتراسونیک گزارش شده است [۳۲، ۳۰].

در این پژوهش، استخراج اسید گلیسیریزیک از ریشه شیرین‌بیان به روش چندمرحله‌ای با جریان متقابل (MCE) در مقیاس بنچ و با بهره‌گیری از طراحی آزمایش به روش سطح پاسخ انجام شد. در این راستا، اثر متغیرهای فرایندی شامل دما، زمان، تعداد مراحل استخراج و نسبت حلال به جامد بر بازده کلی عصاره مورد بررسی آماری قرار گرفت. شرایط بهینه به‌منظور حداکثرسازی بازده استخراج، بر اساس مدل درجه دوم کامل، تعیین گردید. نتایج نشان داد که فرآیند MCE می‌تواند با کاهش مصرف حلال، زمان عملیات و دمای فرآیند، گزینه‌ای مؤثر برای استخراج ترکیبات حساس مانند اسید گلیسیریزیک باشد.

نوآوری پژوهش حاضر در به‌کارگیری همزمان فرایند استخراج چندمرحله‌ای با جریان متقابل در مقیاس بنچ و

برای استخراج گلیسیریزیک اسید به‌کار گرفتند که عبارت بودند از: استخراج تک‌مرحله‌ای، استخراج دومرحله‌ای، استخراج ریزموج، استخراج با امواج فراصوت و استخراج چندمرحله‌ای با جریان متقابل، نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که در استخراج چندمرحله‌ای با جریان متقابل بیشترین بازده استخراج به‌دست می‌آید. تعداد مراحل استخراج تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی بازده استخراج نداشته است. همان‌طور که نتایج نشان داد بازده تئوری استخراج با سه‌مرحله‌ای به $93/3\%$ و با ۵ مرحله‌ای به $98/4\%$ رسید [۳۰].

در سال ۲۰۰۵ استخراج گلوکورافارین از کارداریا به‌صورت تک‌مرحله‌ای و چندمرحله‌ای با روش MSCE انجام شد و در طی فرآیند سه مرحله‌ای استخراج محصول بالای 90% رسید [۳۱].

سفارزاده و همکاران در سال ۲۰۱۸ از استخراج چندمرحله‌ای با جریان متقابل (MSCE) برای تولید عصاره پلی‌فنولی با غلظت بالا از تفاله‌های انار و انگور برای مقاصد تجاری استفاده کردند که در مقایسه با استخراج یک‌مرحله‌ای، MSCE با کاهش میزان حلال مصرفی (8 ml/g در مقابل 30 ml/g) و دمای استخراج (40°C در مقابل 65°C) عملکرد و کارایی بهتری داشته است؛ همچنین عنوان گردید که این روش جداسازی موجب کاهش مصرف انرژی و جلوگیری از تخریب مواد زیست فعال می‌شود [۳۲].

در سال ۲۰۱۸ خان احمدی و همکاران گزارش کردند که بالاترین راندمان استخراج اسید گلیسیریزیک از ریشه شیرین‌بیان $54/9\%$ در شرایط زمان استخراج ۱۷ ساعت، نسبت حلال به جامد $10/10\text{ ml/g}$ و pH و درجه حرارت 60°C به روش بهینه‌سازی سطح پاسخ بود [۳۳].

در سال ۲۰۱۵ شبخیز و همکاران استخراج اسید گلیسیریزیک را از شیرین‌بیان تحت فشار بررسی کردند. بیشترین بازده استخراج اسید گلیسیریزیک از ریشه شیرین‌بیان در فشار ۱۵ بار و درجه حرارت 90°C بود. آنها حداکثر استخراج اسید گلیسیریزیک را $51/570\text{ mg/g}$ نمونه خشک به دست آوردند [۳۴].

در سال ۲۰۲۰ نصری و همکاران تأثیر اندازه ذره و قطر ریشه شیرین‌بیان بر میزان استخراج اسید گلیسیریزیک با استفاده از التراسونیک را بررسی کردند. از روش طراحی تجربی

1. RSM (Response surface methodology)

کد نمونه گیاهی PMP/A تأیید گردید. ریشه‌های شیرین بیان پس از تمیزشدن و حذف گل‌ولای، با قیچی باغبانی به قطعات کوچک بریده شدند و در دمای 25°C به مدت یک هفته خشک گردیدند. سپس ریشه‌ها با آسیاب چکشی پودر شده و با اندازه ذرات 0.5 mm (مش ۳۵)، در کیسه‌های پلی‌اتیلنی و در فریزر با دمای 4°C - نگهداری شدند.

۳.۲. فرآیند MSCE

شکل (۱) سیستم‌های چندمرحله‌ای جریان متقابل را به صورت ناپیوسته و پیوسته به ترتیب نشان می‌دهد. جریان‌های زیرین و بالایی به صورت جریان متقابل مداوم با یکدیگر جریان می‌یابند. در این سیستم گیاه در یک جهت و حلال در جهت دیگر حرکت کرده و در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند. اگر مقادیر حلال و مواد و نرخ جریان بهینه باشند، استخراج مواد مؤثره از گیاه به طور کامل امکان پذیر است. این فرایند بسیار کارآمد بوده و استخراج در زمان کمتری انجام می‌شود. عصاره کاملاً تغلیظ شده از یک طرف سیستم و گیاه بدون مواد مؤثره از طرف دیگر واحد خارج می‌گردد. با این روش در مقایسه با سایر روش‌ها با مقدار حلال کمتری می‌توان مقدار مشخصی از مواد مؤثره را از گیاه استخراج کرد؛ زیرا محلول تغلیظ شده بعد از تماس با جامد تازه سیستم را ترک می‌کند.

استفاده از روش آماری سطح پاسخ مبتنی بر مدل درجه دوم کامل برای بهینه‌سازی استخراج اسید گلیسیریزیک از ریشه شیرین بیان است. در حالی که در مطالعات پیشین این روش‌ها عمدتاً به صورت مستقل یا در مقیاس‌های محدود بررسی شده‌اند، در این تحقیق برای نخستین بار مدل‌سازی اثر متقابل متغیرهای فرآیندی انجام شده و شرایط عملیاتی بهینه با قابلیت توسعه صنعتی ارائه گردیده است.

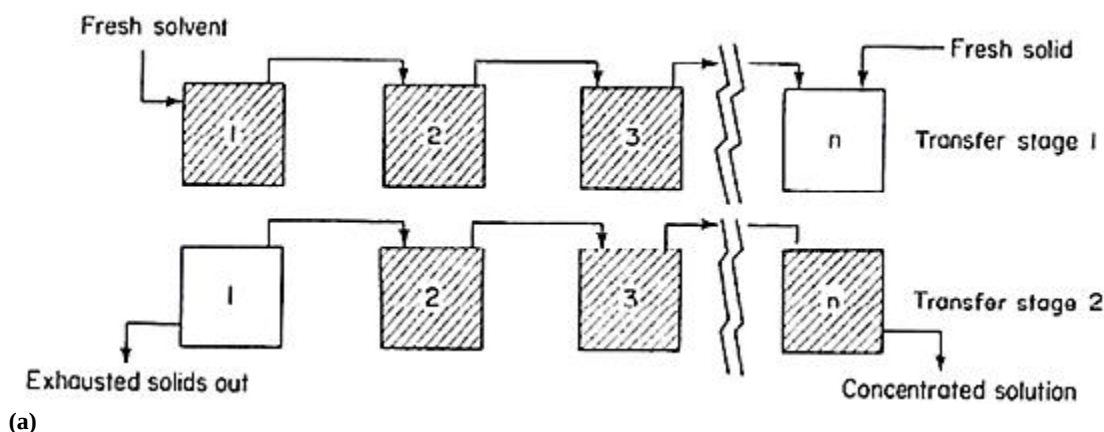
۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد شیمیایی

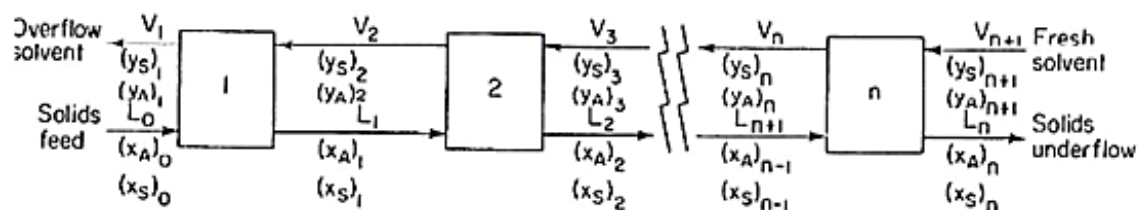
ریشه شیرین بیان در (گونه گلیسرینا گلابرا papilionaceae) از استان فارس شهرستان مرودشت تهیه گردید. اصالت گونه‌های گیاهی توسط دانشکده داروسازی (PMP/A) تأیید شده است. مونوآمونوم گلیسیریزیک اسید با درجه خلوص ۹۹/۹ به عنوان استاندارد HPLC از شرکت سیگما^۱ خریداری شد. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق با خلوص بالا از شرکت مرک^۲ آلمان تهیه گردید.

۲.۲. تهیه پودر شیرین بیان

گونه گیاهی شیرین بیان با بررسی‌های دقیق گیاه‌شناسی، تطبیق با منابع فلور معتبر، و توسط متخصصان گروه فارماکوگنوزی دانشکده داروسازی شناسایی و اصالت آن با



1. Sigma
2. Merck



(b)

شکل (۱). روش‌های عملیات در سیستم‌های استخراج جامد-مایع برحسب جهت جریان

(a) سیستم چندمرحله‌ای با جریان متقابل به صورت پیوسته و (b) سیستم چندمرحله‌ای با جریان متقابل به صورت ناپیوسته [۳۶].

Fig. 1. Unit operations in solid-liquid extraction processes a) continuous multistage countercurrent, b) batch multistage counter-current

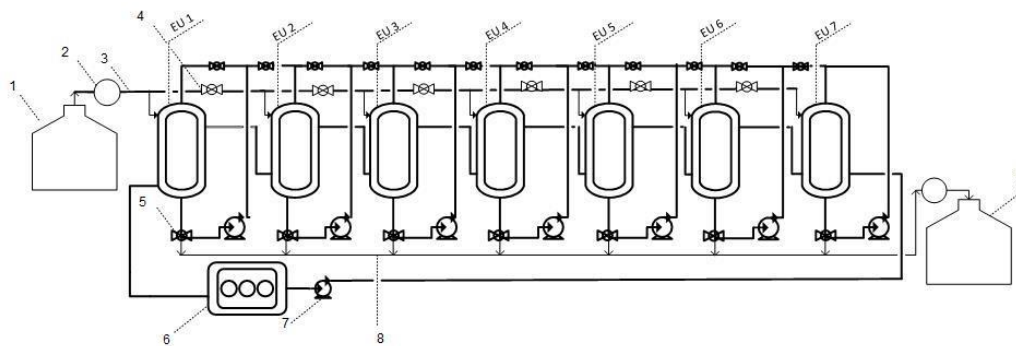
مختلف متفاوت بوده و برای ایجاد گرادیان غلظتی طراحی شده است. برای مثال در ایجاد گرادیان غلظتی یک استخراج ۵ مرحله‌ای ترتیب زمانی غوطه‌ورسازی در واحدهای EU1 تا EU5 به ترتیب $T/6$, $2T/6$, $3T/6$, $4T/6$ و ۰ دقیقه می‌باشد. در پایان مرحله پیش‌استخراج، محلول استخراجی EU1 به EU5 منتقل شده و محلول‌های استخراجی EU2 و EU4 جابجا می‌شود و به واحد EU1 حلال تازه تزریق می‌شود و واحد EU3 هیچ تغییری نمی‌کند. بعد از تکمیل بخش پیش‌استخراج بخش دوم استخراج چندمرحله‌ای با جریان متقابل شروع می‌شود که شرایط این استخراج بنابر آزمایش‌های طراحی شده در نرم‌افزار در هر آزمایش متفاوت می‌باشد. شمایی از مراحل استخراج MSCE برای یک استخراج سه مرحله‌ای در شکل ۴ نشان داده شده است [۳۲].

در این تحقیق فرایند در دستگاه استخراج با جریان متقابل انجام شد که در شکل (۲) نشان داده شده است این دستگاه شامل ۷ واحد استخراجی می‌باشد. (البته در این کار از ۵ واحد آن استفاده شده است) این واحدها با یک لوله به هم وصل شده‌اند. هر واحد شامل یک مخزن استخراج و یک پمپ می‌باشد، که به‌طور مستقل عمل می‌کند. شماتیک این دستگاه در شکل (۳) نشان داده شده است [۳۲]. استخراج چندمرحله‌ای با جریان متقابل می‌تواند به دو بخش پیش استخراج و استخراج تقسیم شود. در مرحله پیش استخراج در هر واحد ۱۰ g از پودر آسیاب‌شده و مش‌بندی شده با ابعاد حدود ۰/۵ mm با حلال یعنی ۹۸ ml اتانول ۶۰٪ و ۲ ml آمونیاک غلیظ مخلوط شده و برای زمان مشخصی تحت استخراج قرار می‌گیرد. این زمان استخراج برای مخزن‌های



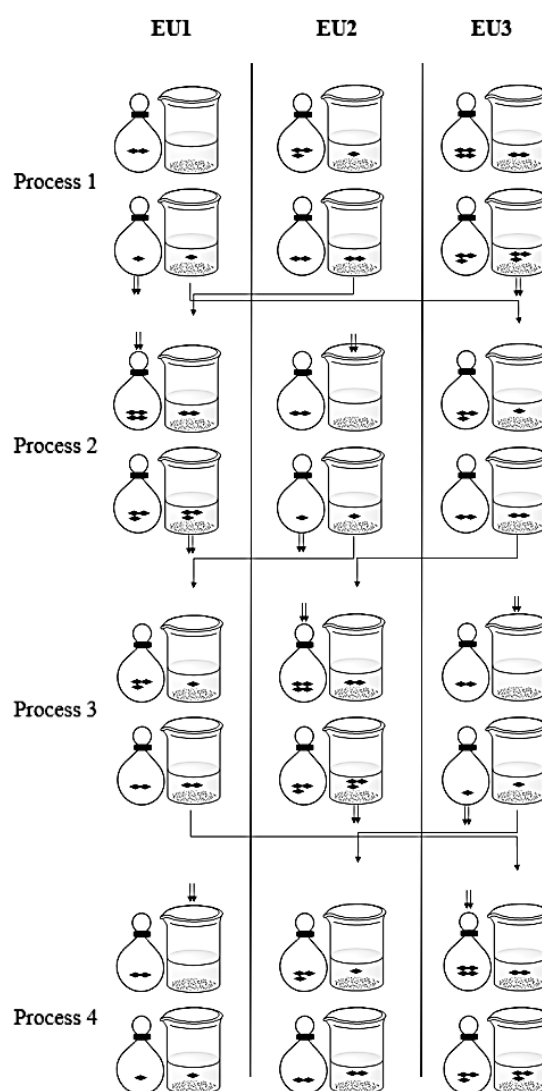
شکل (۲). دستگاه استخراج چند مرحله‌ای با جریان متقابل

Fig. 2. Multistage counterflow extraction device



شکل (۳). شماتیک دستگاه MSCE [۳۲]

Fig. 3. Extraction flow and equipment schematic diagram



شکل (۴). مراحل استخراج برای استخراج جریان متقابل سه مرحله‌ای [۳۲]

Fig. 4. Flow diagram of the three-stage MSCE process

پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert و روش طراحی آزمایش مرکب مرکزی در قالب متدولوژی سطح پاسخ انجام شد. این رویکرد امکان مدل‌سازی دقیق، ارزیابی اثرات متغیرهای مستقل و تعیین شرایط بهینه فرآیند را فراهم نمود. RSM مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری است که برای بهینه‌سازی فرآیندهایی به کار می‌رود که پاسخ موردنظر تحت تأثیر چندین متغیر قرار دارد. نمودارهای گرافیکی حاصل از مدل ریاضی، مبنای نام‌گذاری این روش به‌عنوان «سطح پاسخ» بوده‌اند. این طرح آماری با کاهش تعداد آزمایش‌ها، امکان برآورد کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم از جمله اثرات اصلی و اثرات متقابل بین عوامل را فراهم می‌کند. با توجه به هدف این پژوهش که بررسی تأثیرات اصلی و متقابل متغیرها بر بازده استخراج بود، روش RSM به‌عنوان طرح آماری مناسب انتخاب گردید. در این مطالعه، اثر متغیرهای مستقل شامل دما، زمان، تعداد مراحل استخراج و نسبت حلال به جامد مورد ارزیابی قرار گرفت [۳۸]. محدوده پارامترها و سطوح مورد استفاده در جدول (۱) و آزمایشات طراحی شده در جدول (۲) آورده شده است. در این روش اطلاعات به دست آمده از طراحی Central Composite با یک چندجمله‌ای مرتبه دوم به شرح زیر برازش می‌شود. مدل مورد استفاده در روش سطح پاسخ به‌طور معمول رابطه درجه دوم می‌باشد.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=0}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

در این رابطه، Y ، پارامتر پاسخ (شامل چهار متغیر وابسته فوق)، β_0 ، ثابت، β_i ، ضریب خطی، β_{ii} ، ضریب درجه دوم، β_{ij} ، ضریب تقابل و X_i و X_j پارامترهای مستقل هستند.

جدول (۱). محدوده پارامترها و سطوح مورد استفاده متغیرهای آزمایش

Table 1. The range of designed independent variables

Factor	Name	Low Level	Mean Level	High Level
A	Temperature(°C)	۲۵	۴۰	۵۵
B	Time(hr)	۲	۴	۶
C	N	۱	۳	۵
D	S/M(ml/g)	۷	۸	۹

۴.۲. آنالیز HPLC

آنالیز اسید گلیسیریزیک با استفاده از دستگاه HPLC (آمریکا، Waters Company) انجام شد. دستگاه شامل دو پمپ HPLC Waters 510، آشکارکننده جذب قابل تنظیم Waters 486، آشکارکننده UV با طول موج ۲۵۴ nm، ستون C18 و شیر تزریق Waters U6K بود. زمان اجرا برای جداسازی کروماتوگرافیک ۱۵ دقیقه و زمان اقامت اسید گلیسیریزیک تقریباً ۶ دقیقه بود.

حجم تزریق برای همه آزمایش‌ها ۱۰ μL بود. پیک اسید گلیسیریزیک از طریق مقایسه زمان اقامت با استانداردها شناسایی گردید. روش استاندارد British Pharmacopoeia در این پژوهش استفاده گردید [۳۲].

۵.۲. روش آماری

روش بهینه‌سازی سطح پاسخ به‌دلیل صرفه‌جویی در زمان و هزینه سودمندتر از روش‌های متداول یک بهینه‌سازی می‌باشد. برای استخراج عصاره شیرین بیان با روش MSCE از طراحی آزمایش مرکب مرکزی^۱ با به‌کارگیری نرم‌افزار Design-Expert استفاده شد. در این مقاله به‌منظور بررسی شرایط بهینه استخراج، تأثیر پارامترهای مستقل (شامل تعداد مراحل، نسبت حلال به جامد، دمای استخراج و زمان استخراج) بر روی فرآیند استخراج گلیسیریزیک اسید از شیرین بیان با روش جریان متقابل از روش سطح پاسخ استفاده شد و تعداد ۳۰ آزمایش بر اساس روش طراحی مرکب مرکزی انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. شرایط فرایندی با روش سطح پاسخ

تحلیل آماری و بهینه‌سازی فرآیند استخراج در این



جدول (۲). طراحی تجربی متغیرها و نتایج تجربی متغیر پاسخ

Table 2. Experimental design of variables and the test results of responses

Run	A(°C)	B(hr)	C	D(ml/g)	Glycyrrhizic acid(%)
۱	۴۰	۴	۵	۸	۶۳
۲	۵۵	۶	۵	۷	۶۳/۲
۳	۴۰	۴	۳	۸	۷۱
۴	۴۰	۴	۳	۸	۶۷/۷
۵	۲۵	۲	۵	۷	۴۶/۱
۶	۵۵	۶	۱	۹	۳۴/۹
۷	۲۵	۲	۵	۹	۴۲/۱
۸	۲۵	۲	۱	۷	۲۳/۹
۹	۴۰	۴	۳	۸	۷۰/۵
۱۰	۲۵	۶	۵	۹	۵۶
۱۱	۲۵	۲	۱	۹	۲۰/۶
۱۲	۵۵	۶	۱	۷	۳۳/۵
۱۳	۵۵	۶	۵	۹	۵۴
۱۴	۵۵	۴	۳	۸	۵۸
۱۵	۲۵	۶	۱	۷	۲۵/۴
۱۶	۴۰	۴	۳	۸	۶۸/۵
۱۷	۴۰	۴	۳	۹	۶۹
۱۸	۴۰	۲	۳	۸	۶۶
۱۹	۴۰	۴	۳	۸	۶۹/۵
۲۰	۴۰	۴	۱	۸	۲۷/۵
۲۱	۵۵	۲	۱	۷	۳۵
۲۲	۴۰	۴	۳	۸	۶۵
۲۳	۵۵	۲	۱	۹	۲۸/۹
۲۴	۴۰	۴	۳	۷	۶۵
۲۵	۵۵	۲	۵	۹	۵۲/۵
۲۶	۲۵	۶	۵	۷	۶۳
۲۷	۵۵	۲	۵	۷	۵۱
۲۸	۴۰	۶	۳	۸	۷۸
۲۹	۲۵	۴	۳	۸	۴۷/۵
۳۰	۲۵	۶	۱	۹	۳۰/۶

۲.۳. ارزیابی پارامتر پاسخ گلیسیریزیک اسید استخراج شده

بر اساس جدول آزمایشات طراحی شده توسط نرم‌افزار آماری Design-Expert^۱، ۳۰ مورد استخراج نهایی انجام شد.

جدول (۳) و (۴) نتایج آنالیز واریانس را برای مدل درجه دوم کامل با آثار متقابل به‌ترتیب در مورد پاسخ بازدهی اسید گلیسیریزیک نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تأثیر معنی‌داری بر اسید گلیسیریزیک نداشت. درحالی‌که (T) دما، (N) تعداد مراحل و (t) زمان تأثیر معنی‌داری بر پاسخ بازدهی اسید گلیسیریزیک داشت.

چنان‌که مشاهده می‌گردد F-Value مدل درجه دوم برابر با ۴۰/۱۸ است که بیانگر این است مدل معنادار است. که از تقسیم میانگین مربعات رگرسیون به میانگین مربعات خطا محاسبه می‌شوند. این پارامتر آزمونی برای مقایسه واریانس مدل با واریانس باقی مانده است. اگر واریانس‌ها به یکدیگر نزدیک باشند، این نسبت به یک نزدیک خواهد بود. مقدار بالای این پارامتر برای مدل بیانگر کارایی مدل است. در مورد جملات درجه دوم، جمله C^2 (توان دوم پارامتر A^2) دارای مقدار p-value کمتر از ۰/۰۵ است (تعداد مراحل) و تأثیر معناداری بر مدل دارد. سایر جملات درجه دوم تأثیر معناداری بر مدل ندارند و می‌توانند از مدل حذف گردند.

مقدار F-value مربوط به Lack of Fit در این مدل برابر با ۴/۱۷ است. بیانگر آن است که عدم برازش معنادار نیست. به عبارت دیگر مدل داده‌های تجربی را برازش می‌کند $p\text{-value} > 0.05$.

بر طبق آنالیز آماری از نتایج طراحی آزمایش، ضریب R-Squared برای گلیسیریزیک اسید مقدار ۰/۹۷۴۰ می‌باشد، و تأیید می‌نماید که مدل پیشنهادی از طراحی آزمایش، هم‌خوانی و پوشش خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد.

جدول (۳). نتایج ANOVA برای ارزیابی پارامتر پاسخ بازده گلیسیریزیک اسید در مورد مدل درجه دوم با آثار متقابل

Table 3. ANOVA for response surface full quadratic model including interactions for response of Glycyrrhizic acid yield

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	۸۳۷۴/۵۸	۱۴	۵۹۸/۱۸	۴۰/۱۸	<۰/۰۰۰۱	Significant
A-T	۱۷۲/۹۸	۱	۱۷۲/۹۸	۱۱/۶۲	۰/۰۰۰۳۹	
B-t	۲۹۲/۰۱	۱	۲۹۲/۰۱	۱۹/۶۲	۰/۰۰۰۵	
C-N	۲۹۵۴/۲۴	۱	۲۹۵۴/۲۴	۱۹۸/۴۴	<۰/۰۰۰۱	
D-S/M	۱۷/۰۱	۱	۱۷/۰۱	۱/۱۴	۰/۳۰۱۹	
AB	۳۶/۳۰	۱	۳۶/۳۰	۲/۴۴	۰/۱۳۹۲	
AC	۲۰/۹۳	۱	۲۰/۹۳	۱/۴۱	۰/۲۵۴۲	
AD	۰/۶۸	۱	۰/۶۸	۰/۰۴۶	۰/۸۳۳۶	
BC	۵۰/۷۷	۱	۵۰/۷۷	۳/۴۱	۰/۰۸۴۶	
BD	۰/۳۳	۱	۰/۳۳	۰/۰۲۲	۰/۸۸۳۵	
CD	۱۵/۸۰	۱	۱۵/۸۰	۱/۰۶	۰/۳۱۹۲	
A2	۴۴۰/۰۵	۱	۴۴۰/۰۵	۲۹/۵۶	<۰/۰۰۰۱	
B2	۱۰۰/۱۶	۱	۱۰۰/۱۶	۶/۷۳	۰/۰۲۰۳	
C2	۱۰۹۲/۲۶	۱	۱۰۹۲/۲۶	۷۳/۳۷	<۰/۰۰۰۱	
D2	۳/۸۴	۱	۳/۸۴	۰/۲۶	۰/۶۱۸۹	
Residual	۲۲۳/۳۰	۱	۱۴/۸۹			
Lack of Fit	۱۹۹/۴	۱	۱۹/۹۴	۴/۱۷	۰/۰۶۴۲	not significant
Pure Error	۲۳/۹۰	۵	۴/۷۸			
Cor Total	۸۵۹۷/۸۹	۲۹				

جدول (۴). آنالیز واریانس پاسخ بازدهی اسید گلیسیریزیک

Table 4. The analysis of variance for reduced quadratic model with interactions on glycyrrhizic acid yield response

Source	Std. Dev	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	R-Squared	PRESS
Quadratic	۳/۸۶	۰/۹۴۹۸	۰/۸۶۴۷	۰/۹۷۴۰	Suggested

طبق نتایج تجربی معادله ۲ با استفاده از روش طراحی مرکب مرکزی، تابع پاسخ توسط یک معادله چندجمله‌ای درجه دوم برازش داده شد. این معادله بر حسب عوامل کدگذاری شده به صورت زیر ارائه شده است:

نقاط در بین دو خط قرار دارند و بنابراین مدل به‌خوبی داده‌های تجربی را برازش می‌کند.

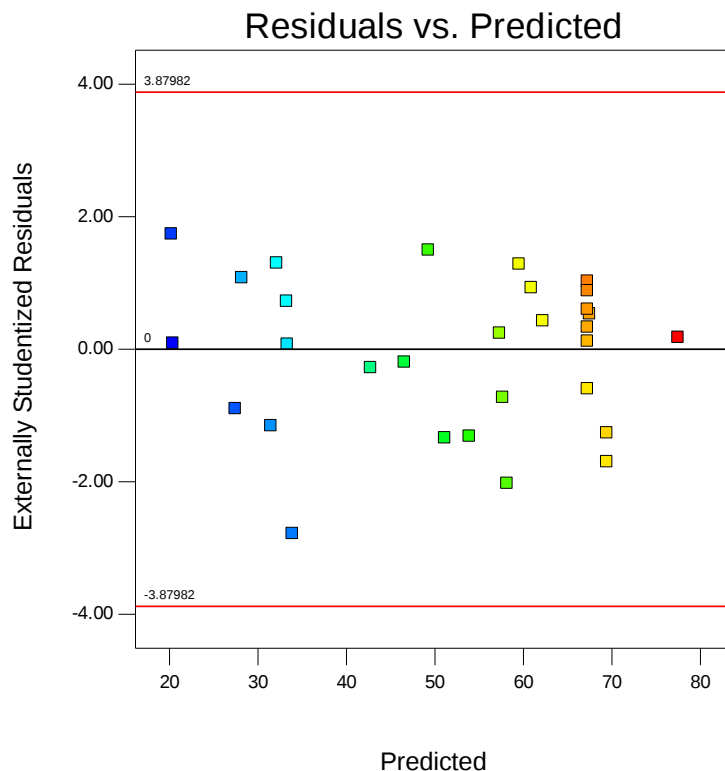
شکل (۶) نمودار نرمال باقیمانده‌ها را برای پاسخ بازدهی اسید گلیسیریزیک نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود نقاط بر روی خط راست قرار دارند و از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند.

$$R1 = +67.24 + 3.10 * A + 4.03 * B + 12.81 * C - 0.97 * D - 1.51 * A * B - 1.14 * A * C - 0.21 * A * D + 1.78 * B * C + 0.14 * B * D - 0.99 * C * D - 13.03 * A^2 + 6.22 * B^2 - 20.53 * C^2 + 1.22 * D^2 \quad (2)$$

شکل (۵) نمودار باقیمانده‌ها برحسب مقادیر پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود

Design-Expert® Software
R1

Color points by value of
R1:
78
20.6



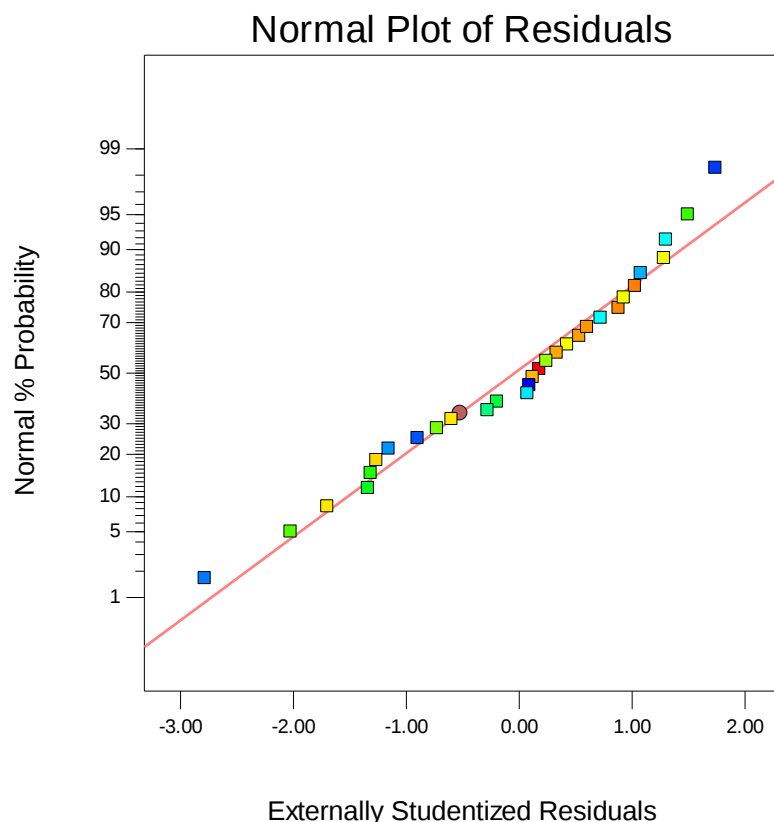
شکل (۵). نمودار باقیمانده‌ها بر حسب مقادیر پیش‌بینی‌شده در مورد پاسخ گلیسیریزیک اسید

Fig. 5. The residuals against the predicted Glycyrrhizic acid yield response



Design-Expert® Software
R1

Color points by value of
R1:
78
20.6



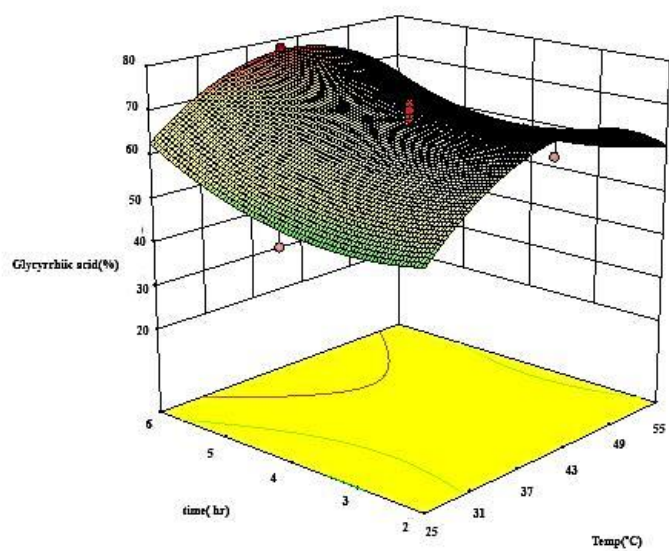
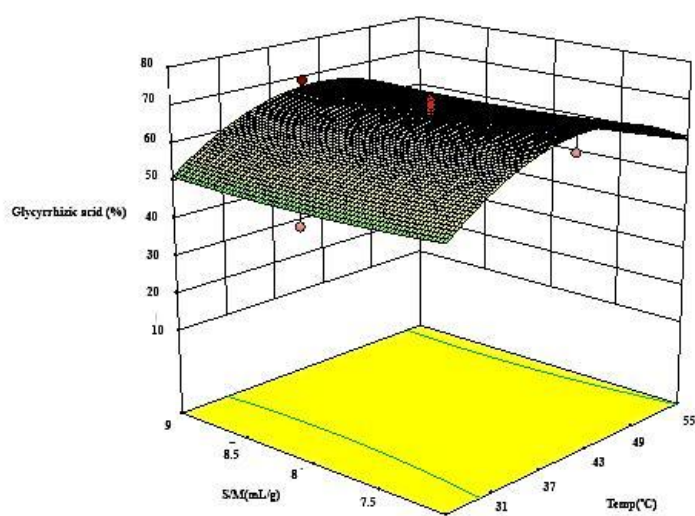
شکل (۶). نمودار نرمال باقیمانده‌ها در مورد پاسخ گلیسیریزیک اسید
Fig. 6. The normalized residuals plot for Glycyrrhizic acid yield response

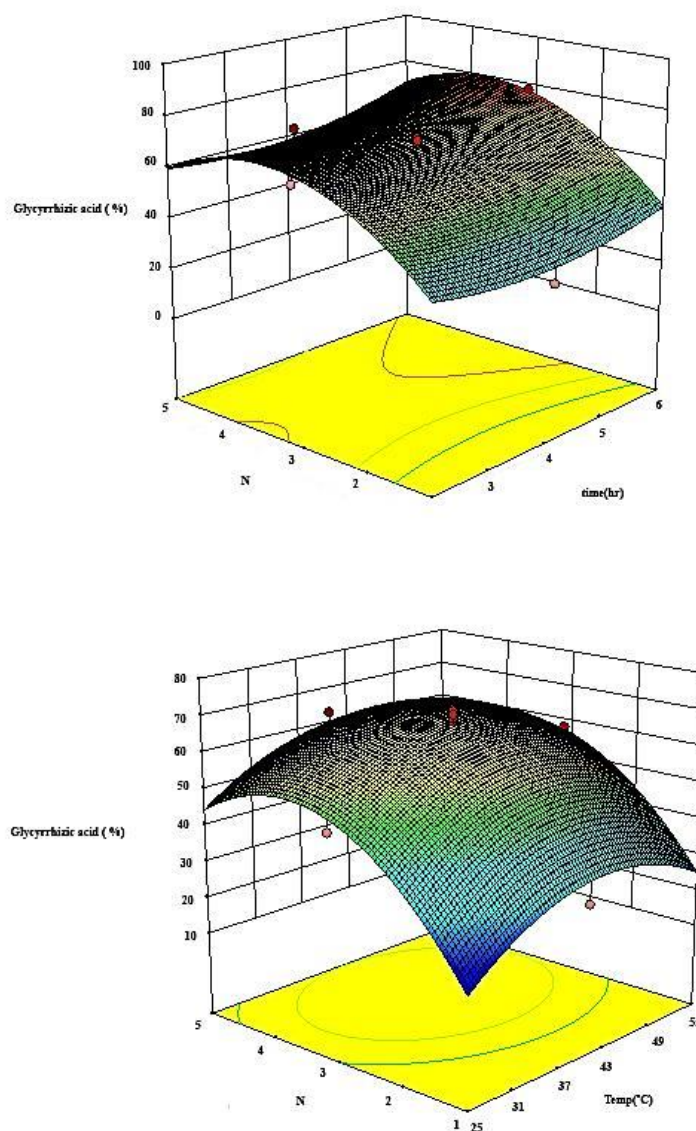
۳.۳. نمودار سطح پاسخ سه بعدی

استخراج شده افزایش می‌یابد. این به دلیل افزایش نفوذپذیری حلال، کاهش ویسکوزیته و کشش سطحی و تسریع انتقال جرم است [۳۹]. با این حال، در دماهای بالاتر از $46/17^{\circ}\text{C}$ ، افزایش دما باعث کاهش پایداری ترکیبات فعال می‌شود، که منجر به تثبیت یا حتی کاهش بازده استخراج می‌گردد. حداکثر استخراج در دمای $46/17^{\circ}\text{C}$ صورت می‌گیرد و افزایش دما تا 55°C به معنی افزایش استخراج نیست. علاوه بر این، دماهای پایین‌تر به دلیل حفظ پایداری ترکیبات و صرفه‌جویی در مصرف انرژی ترجیح داده می‌شوند.

یکی از مزایای استفاده از طراحی آزمایش، بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار و امکان بررسی تأثیرات متقابل فاکتورها بر دامنه پاسخ می‌باشد، به‌منظور بررسی این تأثیرات متقابل شکل‌های سه‌بعدی فاکتورها دو به دو رسم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

شکل‌های (a-۷) و (b-۷) اثر فاکتورها بر فرآیند استخراج را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش دما از ۲۵ تا حدود $46/17^{\circ}\text{C}$ ، مقدار اسید گلیسیریزیک





شکل (۷). الف) نمودارهای سه بعدی سطح پاسخ تأثیر دم، زمان، تعداد مراحل استخراج

و ب) نسبت خوراک به حلال روی پاسخ بازدهی اسید گلیسیریزیک

Fig. 7. a) 3D response surface effects of solvent to solid ratio and

b) temperature and time and stage number on Glycyrrhizic acid yield response

۴.۳. شرایط بهینه استخراج MSCE گلیسیریزیک

اسید برای دستیابی به مقدار بیشینه پاسخ‌ها

در این مطالعه، بهینه‌سازی فرآیند استخراج چندمرحله‌ای ریشه شیرین بیان با هدف بیشینه‌سازی مقدار اسید گلیسیریزیک پاسخ انجام شد. معیار بهینه‌سازی در نرم‌افزار Design-Expert بر اساس بیشینه‌کردن این پاسخ تعیین گردید. شرایط بهینه استخراج مطابق جدول (۵)

تأثیر متقابل زمان با فاکتورهای دیگر به این صورت است که در حالت کلی زمان اثر مستقیم با افزایش پاسخ دارد و مقدار استخراج گلیسیریزیک اسید در زمان‌های بالای ۴ ساعت نتایج بهتری نشان می‌دهند. در واقع وقتی جامدات زمان بیشتری در تماس با حلال قرار می‌گیرند باعث نفوذ بیشتر حلال به آنها شده و ترکیبات بیشتری استخراج می‌شود [۴۰].

شامل دمای °C ۴۶/۱۷، زمان ۵/۹۸ ساعت، تعداد مراحل ۴ و نسبت حلال به جامد ۷/۷۰ است. مقدار پیش‌بینی شده بازده استخراج اسید گلیسیریزیک در این شرایط برابر با ۷۸/۷٪ می‌باشد. آزمایش‌های تأییدی انجام‌شده مقدار تجربی نزدیک به این مقدار را نشان داد که اعتبار مدل و روند بهینه‌سازی را تأیید می‌کند.

جدول (۵). شرایط بهینه پیش‌بینی‌شده برای پاسخ بازدهی اسید گلیسیریزیک

Table 5. The predicted optimal conditions for glycyrrhizic acid yield response

Number	Temp	Time	N	S/M	R1y	Desirability
۱	۴۶/۱۷	۵/۹۸	۳/۷۵	۷/۷۰	۷۸/۶۹۲۱	۱/۰۰۰
۲	۴۰/۹۵	۵/۹۶	۳/۵۵	۸/۴۹	۷۹/۳۷۶۳	۱/۰۰۰
۳	۳۹/۶۷	۵/۵۸	۳/۸۵	۷/۱۵	۷۸/۵۲۱۳	۱/۰۰۰
۴	۴۳/۷۴	۵/۹۸	۳/۴۶	۸/۶۹	۷۸/۹۵۰۷	۱/۰۰۰
۵	۳۸/۲۹	۵/۹۸	۳/۳۲	۷/۰۶	۸۰/۷۸۵۹	۱/۰۰۰
۶	۳۶/۳۵	۵/۹۸	۳/۵۵	۷/۶۲	۷۹/۲۹۲۵	۱/۰۰۰
۷	۴۲/۷۵	۵/۷۶	۳/۹۶	۷/۶۶	۷۸/۱۲۲۹	۱/۰۰۰
۸	۴۳/۴۲	۵/۹۷	۳/۵۶	۸/۱۱	۷۹/۱۹۹۵	۱/۰۰۰
۹	۳۸/۱۱	۵/۹۱	۴/۰۰	۸/۳۹	۷۸/۱۹۱۷	۱/۰۰۰
۱۰	۴۲/۷۱	۵/۹۸	۳/۷۱	۷/۸۸	۷۹/۸۶۱۵	۱/۰۰۰

۴. نتیجه‌گیری

روشی کارآمد با مصرف بهینه انرژی و حلال، و تولید محصولی با کیفیت بالاتر، قابلیت کاربرد در مقیاس صنعتی برای استخراج ترکیبات فعال گیاهان دارویی را دارا می‌باشد.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از پژوهشگاه علمی صنعتی ایران که در انجام پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

در این مطالعه، اثر فناوری استخراج چندمرحله‌ای با جریان متقابل در استخراج اسید گلیسیریزیک از ریشه شیرین‌بیان در مقیاس پنج مورد بررسی قرار گرفت. بهینه‌سازی شرایط فرآیند استخراج با بهره‌گیری از روش سطح پاسخ (RSM) و مدل‌سازی آماری درجه دوم به‌منظور بیشینه‌سازی درصد استخراج اسید گلیسیریزیک انجام شد. پارامترهای زمان استخراج، دما، نسبت حلال به جامد و تعداد مراحل استخراج به‌عنوان متغیرهای مؤثر انتخاب و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که مدل آماری به خوبی قادر به پیش‌بینی پاسخ‌های تجربی بوده و صحت آن توسط داده‌های آزمایشگاهی تأیید گردید. یافته‌ها حاکی از آن است که فناوری استخراج چندمرحله‌ای با جریان متقابل، به‌عنوان

مراجع

- [1] Isbrucker, R.A. & Burdock, G.A. (2006). Risk and safety assessment on the consumption of Licorice root (*Glycyrrhiza* sp.), its extract and powder as a food ingredient, with emphasis on the pharmacology and toxicology of glycyrrhizin. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 46, 167-192.
<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2006.06.002>.
- [2] Tolouizadeh, KH., (1941). Study on Glycyrrhiza products of Iran, Thesis of Medical Sciences, Tehran University.
- [3] Vaya, J., Belinky, P., Aviram, M. (1997). Antioxidant constituents from licorice roots: isolation, structure elucidation and antioxidative capacity toward LDL oxidation. *Free Radic. Biol. Med.*, 23(2), 302-313.
[https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(97\)00089-0](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(97)00089-0).



- [3] Lesan Khoshnik, GH., (1962). Kinds of Iran Glycyrrhiza and their growth locations. Thesis of Medical Sciences, Tehran University.
- [4] Fenwick, G. R., Lutomski, J. & Nieman C. (1990). Liquorice, composition, uses and analysis. *Food Chem.*, 38, 119- 143.
[https://doi.org/10.1016/0308-8146\(90\)90159-2](https://doi.org/10.1016/0308-8146(90)90159-2)
- [5] Jaymand, K. & Rezaee, M. (2002). Evaluation of glycyrrhizin in Licorice root using high performance liquid chromatography. *Iran. J. Med. Aromat. Plants*, 14, 1-14.
<https://doi.org/10.1007/s11738-020-03090-4>
- [6] Kamali Servestani, R. (1991). Economical view on Glycyrrhiza. Food Science Congress, Shiraz.
- [7] Zargari, A. (1981). Medicinal plants, 3st edition, Tehran University Publication.
- [8] Nezamabadi, H., Rahimiyan Mashhadi, H., Zand, A. & Alizadeh, H. (2006). Ecophysiological aspects of Licorice rhizome. *Plant Diseases and Pests*, 74(2), 45 – 62.
- [9] Martin. R.J., Duglas, M.H., & Heaney, A.J., (1997). Yield and root distribution in a commercial licorice crop. *J. Crop and Food Res*, 40, 45 - 9.
- [10] Hough, C.A.M. (1973) Developments in sweeteners-1, edited by Hough C A M. parker K J. Vlitos AJ. LTD London. 140 - 3.
- [11] Jiang Y, Lu TH & Chen F. (2004). preparative purification of glycyrrhizin extracted from the root of licorice using high-speed counter- current chromatography. *J. Chromatogr*, 1033, 183 -6.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.01.033>
- [12] Montoro P, Maldini M, Russo M, Postorino S, Piacente S and Pizza C. (2011). Metabolic profiling of roots of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) from different geographical areas by ESI/MS/MS and determination of major metabolilites by LC-ESI/MS and LC-ESI/MS/MS. *J. Pharmaceut Biomed Anal*, 54, 535 - 45.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2010.10.004>
- [13] Blumenthal M., Goldberg A. & Brinckmann. (2000). Expanded commission E monographs. 1st ed. integrative medicine communications. J.Herbal Medicine, USA. 233 - 5.
- [14] Alan Teck W.E, Yuan H.M & Shi O.E. (2007). Evaluation of surfactant assisted pressurized liquid extraction for the determination of glycyrrhizin and ephedrine in medicinal plants. *Analytica Chimica Acta*, 583, 289 - 95.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.09.019>
- [15] Mehravar M. (1991). Extraction of licorice from licorice roots by pure water and one percent aqueous ammonia solution. M.Sc. Thesis. Shiraz University, Shiraz, Iran. 107. (In Persian).
- [16] Marzi V., Circella G., Vampa G.M. (1993). Effect of soil depth on the rooting system growth in *Glycyrrhiza glabra* L. *ISHS Acta Horti.*, 331,71-8.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.331.52>
- [17] Ibanogula, E. & Ibanogula, S. (2000). Foaming behavior of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract. *Food Chem.*, 70, 333– 336.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00098-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00098-4)
- [18] Pan, X.J., Liu, H.Z., Jia., G.H. (2000). Microwave-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice root. *Biochem. Eng. J*, 5, 173– 177.
[https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00057-7](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00057-7)
- [19] Huang, Y.L. (1997). Extraction of glycyrrhizin from licorice. *Guangzhou Food Sci. Technol*. 13(3), 16–17.
- [20] Zhao, X., Li, B.T., Liu., X. (2000). Study on strengthening extraction of glycyrrhizic acid by ultrasound field. *Food Sci. Technol.*, 5, 38–39.
- [21] Shehata, E., Grigorakis, S., Loupassaki, S., Makris, D.P. (2015). Extraction optimisation using water/glycerol for the efficient recovery of polyphenolic antioxidants from two *Artemisia* species. *Sep. Purif. Technol*, 149, 462–469.
<https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2015.06.017>
- [22] Tabaraki, R., Heidarizadi, E., Benvidi, A. (2012). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel antioxidants by response surface methodology. *Sep. Purif. Technol.*, 98, 16–23.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.06.038>
- [23] He, L., Zhang, X., Xu, H., Xu, C., Yuan, F., Knez, Ž., Novak, Z., Gao, Y. (2012). Subcritical water extraction of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) seed residues and investigation into their antioxidant activities with HPLC–ABTS+ assay. *Food Bioprod. Process*, 90, 215–223.
<https://doi.org/10.1016/J.FBP.2011.03.003>
- [24] Xi, J., Yan, L. (2017). Optimization of pressure-enhanced solid-liquid extraction of flavonoids from *Flos Sophorae* and evaluation of their antioxidant activity. *Sep. Purif. Technol*, 175, 170–176.
<https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2016.10.013>
- [25] Wang, Q.E., Ma, S., Fu, B., Lee, F.S.C., Wang, X. (2004). Development of multi-stage countercurrent extraction technology for the extraction of glycyrrhizic acid (GA) from licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Biochem. Eng. J*, 21, 285–292.
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2004.06.002>
- [26] Xie, Z., Liu, X., Chen, Y., Wang, L. (2009). Pilot-Scale Multi-Stage Countercurrent Extraction of



- Scutellarein from *Erigeron breviscapus* (Vant.) Hand-Mazz. *Sep. Sci. Technol.*, 44, 1250–1260. <https://doi.org/10.1080/01496390902728801>.
- [27] Galanakis, C.M., Markouli, E., Gekas, V. (2013). Recovery and fractionation of different phenolic classes from winery sludge using ultrafiltration. *Sep. Purif. Technol.*, 107, 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.01.034>.
- [28] Galanakis, C.M., Schieber, A. (2014). *Editorial. Food Res. Int.*, 65, 299–300. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.019>.
- [29] Jiang, S.T., Pan, L.J., Huang, S.X. (1997). Study on the multistage countercurrent extracting green tea polyphenols with ethyl acetate. *J. Agric. Eng.*, 4, 202–206.
- [30] Wang, Q.E., Ma, S., Fu, B., Lee, F.S.C., Wang, X. (2004). Development of multi-stage countercurrent extraction technology for the extraction of glycyrrhizic acid (GA) from licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Biochem. Eng. J.*, 21, 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2004.06.002>.
- [31] Powell, E.E., Hill, G. a., Juurlink, B.H.J., Carrier, D.J. (2005). Glucoraphanin extraction from *Cardaria draba*: Part 2. Countercurrent extraction, bioactivity and toxicity testing. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* <https://doi.org/10.1002/jctb.1274>.
- [32] Saffarzadeh, M., & Masoudi-Khosrowshahi, F. (2018). Simultaneous separation and concentration of polyphenols from pomegranate industrial waste by multistage counter-current system; comparing with ultrafiltration concentration. *Sep. Purif. Technol.*, 204, 261–275. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.04.083>.
- [33] Khanahmadi, M., Gaffarzadegan, R., Khalighi-Sigaroodi, F., Naghdi Badi, H., Mehrafarin, A., Hajiaghvae, R. (2018). Optimization of the glycyrrhizic acid extraction from licorice by response surface methodology. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, 37(1), 121-129
- [34] Shabkhiz, M.A., Eikani, M.H., Golmohammad, F., Bashiri Sadr, Z. (2015). Optimized Pressurized hot water extraction of glycyrrhizic acid from *Licorice* roots. *Innov. Food Technol.*, 2(4), 11-21. (In Persian). [DOI:10.22104/JIFT.2015.200](https://doi.org/10.22104/JIFT.2015.200)
- [35] Nasri, Z. (2022). Particle size and root diameter effects on the extraction of glycyrrhizic acid from licorice using ultrasonic: Full factorial experimental design and response surface methodology. *Iran. Food Sci. Technol. Res. J.* 18(2), 179-194. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2021.67074.0>
- [36] Schweitzer, P.A. (1979). Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers: McGraw-Hill.
- [37] British Pharmacopoeia, (2009). Medicines and Healthcare products Regulatory Agency, London.
- [38] Sin, H.N., Yusof, S., Sheikh Abdul Hamid, N., Abd. Rahman, R., (2006). Optimization of hot water extraction for sapodilla juice using response surface methodology. *J. Food Eng.*, 74, 352-357. DOI: [10.1016/j.jfoodeng.2005.03.005](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.005)
- [39] Goto, M., Sato, M., Hirose, T., (1993). Extraction of peppermint oil by supercritical carbon dioxide, *J. Chem. Eng. JPN*, 26, 474-481.
- [40] Corrales, M., Fernández, A., Butz, P., Tauscher, B., Dm, P., (2009). Extraction of anthocyanins from grape skins assisted by high hydrostatic pressure. *J. Food Eng.*, 90, 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.003>

*Research Article***A multi-stage counter-current process for extracting glycyrrhizic acid from the licorice plant****Zeinab Azizi Haghighat¹, Aliakbar Safekordi², Azim Akbarzadeh^{3*} and Mehdi Ardjmand⁴**

1. Department of Chemical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran;

2. Chemical Engineering Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran;

3. Department of Chemical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran;

4. Department of Pilot Nanobiotechnology, Pasteur Institute of Iran, Tehran, Iran

(Received 22 April 2025, Received in revised form 24 August 2025, Accepted 27 August 2025)

Introduction: Licorice (*Glycyrrhiza glabra*) belongs to the Fabaceae family and is mainly grown in southern Europe and Asia. Licorice root is widely used in herbal medicine due to its emollient, anti-inflammatory, antiviral, antiallergic, antioxidant, gastrointestinal protective, and anticancer properties. Licorice root contains numerous compounds including sugars (up to 18%), flavonoids, sterols, amino acids, gums, starches, essential oils, and saponosides. The most important saponin found in licorice root is glycyrrhizic acid (GA, C₄₂H₆₂O₁₆), which, has been composed of two glucuronic acid units and one glycyrrhetic acid aglycone molecule. Glycyrrhizic acid has a molecular weight of 822.91 g. It is a colorless crystalline substance that softens at 170 °C and melts at 205 °C. Common methods for extracting GA from licorice include Soxhlet, solid-liquid extraction, and liquid-liquid extraction, which are associated with high solvent consumption, long extraction times, and increased risk of thermally unstable compounds. In addition, unconventional, new methods used for extraction, such as ultrasonic extraction, supercritical solvent extraction, and high-pressure solid-liquid extraction, require advanced equipment and high energy. Therefore, these methods are not useful and sometimes impossible on an industrial scale. Due to these disadvantages, in this study, multi-stage countercurrent extraction technology (MSCE) has been used as an alternative technique. In this technology, dynamic cyclic extraction is combined with continuous countercurrent extraction, which improves heat and mass transfer and increases extraction yield along with reducing solvent consumption.

Materials and methods: Dried licorice root samples (*Glycyrrhiza glabra*, papilionaceae variety) were collected from Fars province. The authenticity of the plant species was verified by the Faculty of Pharmacy (PMP/A). After cleaning and removing dirt, the licorice roots were cut into smaller pieces using gardening scissors and dried at 25°C for one week. The roots were then ground into powder with a hammer mill and stored in a polyethylene bag in a freezer at -4°C. Multi-stage countercurrent extraction was carried out using a countercurrent extraction device composed of seven extraction units, each connected by pipe. Each unit includes an extraction tank and a pump that operates independently. This extraction process is divided into two parts: pre-extraction and extraction. In the pre-extraction stage, 10 grams of ground and meshed powder with dimensions of about 0.5 mm per unit is mixed with 98 ml of ethanol 60 % and 2 ml of concentrated ammonia as solvent, and then is subjected to extraction for a determined time. For example, in a five-stage extraction designed to establish this gradient, the immersion time in units EU1 to EU5 is set at T/6, 2T/6, 3T/6, 4T/6, and 0 min, respectively. At the end of the pre-extraction stage, the extraction solution from EU1 is transferred to EU5,

* Corresponding author: azimakbarzadeh@pasteur.ac.ir

while the solutions from EU2 and EU4 are moved as well. Fresh solvent is then injected into unit EU1, and no changes are made to unit EU3. Following the pre-extraction phase, the second stage of the multi-stage extraction with countercurrent flow begins, with conditions differing for each experiment based on the designs specified in the software.

Results and discussion: Based on the results, S/M had no significant effect on glycyrrhizic acid, while the temperature (T), number of stages (N), and time (t) had a significant effect on the response of glycyrrhizic acid yield. The value of R-squared (0.974) shows that the model applied fits the experimental data as well. One of the advantages of using experimental design and optimization by the software is the possibility of examining the mutual effects of factors on the response range. In order to examine these mutual effects, the three-dimensional shapes of the factors have been plotted. Maximum extraction occurs at a temperature of 46.17. This is due to enhanced solvent permeability, reduced viscosity and surface tension, and improved mass transfer at elevated temperatures. However, above 46.17 °C, thermal degradation of glycyrrhizic acid may occur, limiting further increases in extraction yield. Therefore, the optimal extraction temperature balances maximizing yield and maintaining compound stability. Additionally, lower temperatures are preferred to reduce energy consumption and preserve compound integrity.

Conclusions: In this study, the effect of multi-stage countercurrent extraction technology on glycyrrhizic acid extraction from licorice root at bench scale was investigated. Optimization of the extraction process conditions was carried out using response surface methodology (RSM) and second-order statistical modeling to maximize the glycyrrhizic acid extraction percentage. Extraction time, temperature, solvent-to-solid ratio, and number of extraction stages were selected and evaluated as effective variables. The results showed that the statistical model was able to accurately predict the experimental responses, and its validity was confirmed by laboratory data. The findings indicate that the multi-stage countercurrent extraction technology, as an efficient method with optimized energy and solvent consumption and producing a higher-quality product, has the potential for industrial-scale application in the extraction of active compounds from medicinal plants.

Keywords: *Multi-stage countercurrent extraction, licorice, glycyrrhizic acid, response surface methodology*