

مدل سازی و بهینه سازی استخراج روغن شاهدانه به کمک اولتراسونیک و با روش سطح پاسخ

زهرة كرمى^a، قاسم يوسفى^b، محمد عليپور نجمى^b، زهرا امام جمعه^c

^a دانش آموخته کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران

^b دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، تهران، ایران

^c دانشیار دانشگاه تهران، گروه علوم و صنایع غذایی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۳/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۱۷

۳۷

چکیده

مقدمه: گیاه شاهدانه از جمله گیاهان دارویی است که از زمان‌های بسیار دور (۲۰۰۰ سال پیش) شناخته شده می‌باشد و روغن آن به علت ارزش‌های غذایی و دارویی همواره مورد توجه محققین قرار گرفته است. امروزه استفاده از امواج فراصوت با توجه به اثرات مؤثر آن در نگهداری و فرآیند مواد غذایی رو به گسترش می‌باشد. اثرات مکانیکی امواج فراصوت و پدیده کاویتاسیون ایجاد شده در اثر این امواج، سبب افزایش نفوذپذیری حلال به داخل سلول‌های گیاهی، افزایش انتقال جرم و به دنبال آن افزایش بازدهی استخراج در دماهای پایین‌تر می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق از طرح Box- Behnken به منظور بررسی تأثیر زمان (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه)، دما (۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سلسیوس) و نسبت حلال به ماده جامد (۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌لیتر در گرم) تحت فرآیند اولتراسونیک در فرکانس ۳۵ کیلوهرتز بر میزان راندمان استخراج استفاده شد. از روش سطح پاسخ نیز به منظور تعیین کردن نقاط بهینه فرآیند استخراج روغن به کمک اولتراسونیک جهت دستیابی به حداکثر راندمان استخراج از شاهدانه مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تأثیرات خطی و درجه دوم هر سه متغیر دما، زمان و نسبت حلال به نمونه بر روی راندمان استخراج روغن از شاهدانه معنی‌دار بود. شرایط عملیاتی بهینه برای فرآیند استخراج جهت رسیدن به بیشینه راندمان ۷۸/۰۴ درصد در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، نسبت حلال به ماده جامد ۱۲/۳۷ میلی‌لیتر در گرم و زمان ۹۰ دقیقه تعیین گردید.

نتیجه‌گیری: معادله رگرسیونی به دست آمده در این بررسی، می‌تواند برای یافتن شرایط بهینه جهت رسیدن به بیشینه بازدهی روغن استخراجی از شاهدانه و مقادیر پیش‌بینی شده برای راندمان استخراج روغن در یک مرحله باشد. همچنین روش اولتراسونیک سبب شد که استخراج روغن در دمای پایین‌تر و زمان کوتاه‌تر صورت گیرد بنابراین منجر به کاهش تخریب روغن استخراجی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: استخراج روغن، اولتراسونیک، روش سطح پاسخ، شاهدانه

مقدمه

شاهدانه (*Cannabis sativa L.*) گیاهی یک‌ساله است که در بسیاری از کشورها به دلیل فیبر و روغن بالای آن کشت داده می‌شود (Roulac, 1997). دانه شاهدانه به طور متوسط دارای ۲۵-۲۰ درصد پروتئین، ۳۵-۳۰ درصد روغن، ۱۵-۱۰ درصد فیبر نامحلول و ۲۵ درصد کربوهیدرات می‌باشد (Deferne & Pate, 1996; Wang et al., 2008). میزان ترکیبات غیر صابونی روغن شاهدانه ۱-۰/۳ درصد است که شامل استرول‌ها، ۴-۳۰۰۰-۳۳۰۰ از استرول‌های گیاهی می‌باشد که نقش ثابت شده‌ای در کاهش کلسترول خون و کاهش خطر بیماری‌های قلبی-عروقی دارند (Oomah et al., 2002). لیپیدهای موجود در دانه شاهدانه شامل موم، تری گلیسرید، دی گلیسرید، مونوگلیسرید، فسفولیپید، اسیدهای چرب آزاد و غیره می‌باشند و تری گلیسریدها با ۸۵-۷۴ درصد بیشترین مقدار را دارا هستند. روغن موجود در شاهدانه حاوی بیش از ۹۰ درصد چربی غیراشباع بالادست با چند پیوند دوگانه (PUFA) بوده که بیشتر آن را لینولئیک اسید و آلفالینولئیک اسید تشکیل می‌دهد و تنها حاوی ۱۱-۹ درصد از نوع اسیدهای چرب اشباع (SFA) می‌باشد. میزان اسیدهای چرب ضروری در این روغن ۸۰ درصد است در حالی که این عدد در روغن بزرک از ۷۲ درصد تجاوز نمی‌کند و روغن این دانه را در مقام بعدی قرار می‌دهد (Rausch, 1995). اسیدهای چرب ضروری اسیدهای چربی هستند که بدن انسان و بسیاری از دام‌ها توانایی ساخت آن‌را ندارند و می‌بایست در جیره غذایی از آنها بهره بگیرند. روغن شاهدانه یک منبع بالانس شده طبیعی اسیدهای چرب ضروری EFAS می‌باشد. نسبت اسید آلفا-لینولئیک (ω₃) به اسید لینولئیک (ω₆) در آن ۱:۳ است (Koga, 1997). این نسبت نقش مهمی در سلامت تغذیه‌ای انسان و سایر تک‌مده‌ای‌ها برعهده دارد در انسان مصرف اسیدهای چرب ضروری با نسبت ذکر شده (۱:۳) باعث کاهش اثرات بیماری‌هایی از قبیل اسکروزیس، مرگ ناگهانی قلب، فشار خون، سطح کلسترول خون، سرطان و علائم بیماری روماتیسم مفصلی می‌شود (Horribin, 1994 Hansen, 1994).

همچنین روغن شاهدانه حاوی مقادیر نسبتاً خوبی از اسیدهای چرب غیر اشباع اولئیک، گامالیونولیک و استرایدونیک می‌باشد. این اسیدهای چرب هر چند جزو اسیدهای چرب ضروری دسته‌بندی نمی‌شوند ولی پیش‌ساز بسیاری از اسیدهای چرب ω₃ و ω₆ بلند زنجیره می‌باشند. مشخص شده که تغذیه این اسیدهای چرب در انسان باعث کاهش بیماری‌های پوستی و افزایش فعالیت سیستم ایمنی می‌شوند. مقادیر اسیدهای چرب آزاد در روغن شاهدانه کمتر از ۱ درصد است. این موضوع باعث افزایش بیش از پیش ارزش غذایی این ماده خوراکی می‌شود. به نظر می‌رسد این روغن به دلیل بالا بودن میزان اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه اسید لینولئیک، مستعد اکسیداسیون می‌باشد ولی به دلیل دارا بودن توکوفرول (پیش‌ساز ویتامین E) میزان اکسیداسیون آن به حداقل رسیده است. میزان توکوفرول در آن به طور متوسط حدود ۲۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم دانه می‌باشد که رقم قابل توجهی است (Lane et al.; Deferne & Pate, 1996; al., 2001).

در سال‌های اخیر در مورد استفاده از اولتراسونیک برای استخراج روغن از دانه‌های روغنی به دلیل کاهش زمان استخراج و امکان استفاده از دماهای پایین مطالعات فراوانی صورت گرفته است. امواج اولتراسونیک می‌توانند باعث ایجاد یکسری از انقباض و انبساط‌های متوالی در محیط شوند که این باعث ایجاد فشار و حذف متوالی آن بر ماده (اثر sponge) می‌شود، نیروهای حاصل به‌وسیله این مکانیسم مکانیکی می‌توانند نسبت به کشش سطحی که حلال را در لوله‌های موئینه بافت ماده نگه می‌دارد بیشتر شوند و بنابراین ایجاد کانال‌های ماکروسکوپی در دانه‌های روغنی کنند که این باعث استخراج آسانتر روغن از دانه‌های روغنی می‌شود لذا عمل استخراج را می‌توان در حرارت‌های پایین انجام داد (Simal et al., 1998; Nandes et al., 2008). در محیط مایع امواج صوتی باعث ایجاد کاویتاسیون می‌شوند. کاویتاسیون عبارت از تشکیل و فروپاشی حباب در محیط مایع می‌باشد. سرعت کاویتاسیون، انقباض و انبساط‌های متوالی بستگی به فرکانس اولتراسوند دارد و سبب دفرمه‌شدن مواد جامد متخلخل، ایجاد کانال‌های میکرو (Fernandes et al., 2008) و کاهش ضخامت لایه مرزی (Carcel et al.,

فرکانس ۳۵ کیلوهرتز و با توان ۱۰۰ درصد و در سه سطح حلال به جامد (۱:۵، ۱:۱۰ و ۱:۱۵ وزنی-حجمی) و سه زمان (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت. برای استخراج روغن از حلال هگزان استفاده گردید. پس از مرحله استخراج، نمونه با فیلتر (MN615 ¼) صاف شد و روغن از حلال توسط اوپراتور تحت خلاء در دمای ۳۷ درجه سلسیوس جدا گردید. راندمان روغن استحصال شده با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Y = \frac{Me/Mt}{M1/Mt} \times 100$$

M_e : وزن روغن

M_t : وزن شاهدانه

M_1 : کل مقدار روغن موجود در شاهدانه

- تجزیه و تحلیل آماری

روش سطح پاسخ از گروهی تکنیک‌های آماری و ریاضی تشکیل شده است که می‌توان با استفاده از آنها روابط موجود بین پاسخ و متغیرهای مستقل را مشخص کرد. نرم‌افزار RSM تاثیر متغیرهای مستقل را - به تنهایی یا با هم- بر روی فرایندها تعریف می‌کند. علاوه بر این به- منظور تجزیه و تحلیل تاثیرات متغیرهای مستقل، این روش شناسی تجربه‌ای، یک مدل ریاضی در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد. نمای گرافیکی مدل به دست آمده موجب کاربرد اصطلاح روش سطح پاسخ گردیده است. رابطه‌ی بین ورودی و پاسخ به این صورت است:

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon$$

در این رابطه η پاسخ بوده، f تابع نامعلومی از پاسخ است. X_1, X_2, \dots, X_n نماینده‌ی متغیرهای مستقل هستند؛ n تعداد متغیرهای مستقل است و بالاخره ε خطای آماری است که از منشا غیر از مواردی دارد که f دربرگیرنده آنهاست. این‌ها شامل تاثیراتی همچون خطای اندازه‌گیری می‌شود. عموماً چنین فرض می‌شود که ε دارای یک توزیع نرمال با میانه صفر و پراکندگی می‌باشد. 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 اینرو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد. (Lazarides, 1999; Myers, 2002; &

2007) می‌شود که این موارد منجر به افزایش انتقال جرم در میوه‌ها و دانه‌های روغنی می‌شوند.

تحقیقات صورت گرفته در مورد استفاده از اولتراسونیک در استخراج روغن حاکی از افزایش راندمان و کیفیت بهتر آن نسبت به روش‌های معمولی است. جهت استخراج روغن از دانه هندوانه Shan و همکاران (۲۰۱۱) از پیش تیمار اولتراسونیک برای استخراج روغن از دانه هندوانه استفاده کردند. آنان بیان داشتند که در استخراج روغن با روش آنزیمی با پیش تیمار اولتراسونیک نسبت به بدون تیمار با اولتراسونیک راندمان استخراج تا ۲۰٪ افزایش می‌یابد (Shan et al., 2011). استفاده ترکیبی از سوکسله و اولتراسونیک در مورد استخراج روغن از سویا و آفتابگردان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با این روش زمان استخراج روغن حداقل به نصف کاهش می‌یابد (Garcia et al., 2006). مطالعات مشابهی که توسط لی و همکاران در مورد استخراج روغن از دانه‌های سویا با اولتراسونیک با شدت فرکانس ۲۰ کیلوهرتز صورت گرفت راندمان استخراج به طور چشمگیری افزایش یافته بود (Li et al., 2004).

هدف از این پژوهش بررسی پارامترهای زمان، دما و نسبت حلال به نمونه در فرکانس ۳۵ کیلوهرتز با استفاده از دستگاه اولتراسوند بر میزان روغن استخراجی از شاهدانه و بهینه‌سازی این پارامترها با روش سطح پاسخ و همچنین ارائه یک مدل برای یافتن شرایط بهینه جهت رسیدن به حداکثر بازدهی روغن استخراجی از شاهدانه در یک مرحله بود.

مواد و روش‌ها

- تهیه و آماده‌سازی نمونه

دانه شاهدانه از موسسه بذر و نهال استان البرز با ۳۴ درصد روغن تهیه شد. آماده‌سازی آن شامل تمیز کردن، جداسازی پوسته، الک کردن و سپس آسیاب کردن دانه‌ها انجام شد. نمونه‌های آسیاب شده از الک با مش ۳۰۰ میکرومتر عبور داده شد.

- استخراج و جداسازی

استخراج با استفاده از دستگاه اولتراسونیک در حمام آب گرم در سه دما (۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سلسیوس) و با شدت

در این تحقیق از طرح Box-Behnken با سه متغیر مستقل شامل دما، زمان و نسبت حلال به ماده جامد، در سه سطح، یک بلوک و سه تکرار در نقطه مرکزی طرح (برای محاسبه تکرار پذیری فرآیند) جهت بررسی تاثیر شرایط افزایش استخراج مواد جامد و بهینه‌سازی فرآیند مذکور استفاده شد.

یافته‌ها

- بررسی داده‌ها توسط روش سطح پاسخ - RSM. با توجه به نقاط تعریف شده در طرح RSM، آزمون‌های مربوطه انجام شد. در جدول ۲ نتایج انجام آزمون‌های تعیین راندمان روغن شاهدانه ارائه شده است. در مرحله بعدی داده‌های به دست آمده از آزمون‌های مختلف توسط روش سطح پاسخ آنالیز گردیدند. ضرایب رگرسیونی تخمین زده شده و جدول تجزیه واریانس برای هر یک از پاسخ‌ها مطابق جدول ۳ بود.

- گزینش مدل مناسب و تجزیه مدل برازش- یافته

به منظور حصول مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی پاسخ، رابطه‌های خطی و چند جمله‌ای درجه دوم برای داده‌های بدست آمده از آزمایش‌ها برازش شدند. سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفته تا مدل مناسب گزینش

(Montgomery). در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل زمان (X_1)، نسبت حلال به ماده جامد (X_2) و دما (X_3) در سه سطح مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۱ متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها نشان داده شده است.

جدول ۱- متغیرهای فرایند استخراج و سطوح آنها در طرح

Box-Behnken				
متغیر	نماد	سطوح متغیر		
زمان (min)	X_1	۳۰	۶۰	۹۰
دما ($^{\circ}\text{C}$)	X_2	۳۰	۴۵	۶۰
نسبت حلال به ماده جامد (ml/g)	X_3	۵	۱۰	۱۵

مدل مورد استفاده در روش سطح پاسخ عموماً رابطه درجه دوم می‌باشد. در روش سطح پاسخ برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می‌نماید، مدل چند متغیره به صورت معادله ۱ می‌باشد. در معادله مذکور، Y پاسخ پیش بینی شده، β_0 ضریب ثابت، β_1 ، β_2 ، β_3 ضرایب خطی، β_{11} ، β_{22} ، β_{33} اثرات مربعی و β_{23} ، β_{12} ، β_{13} اثرات متقابل می‌باشند.

معادله (۱)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$$

جدول ۲- نمایش طراحی آزمون‌ها بر اساس مدل Box-Behnken با سه متغیر به همراه نتایج مشاهده شده و پیش‌گویی شده

تیمار	زمان (دقیقه)	دما ($^{\circ}\text{C}$)	نسبت حلال به ماده جامد	درصد روغن استخراج شده	راندمان % بدست آمده	راندمان % پیش‌بینی شده
۱	۳۰	۳۰	۱۰	۱۸/۶۴	۵۴/۸۱	۵۵/۲۷
۲	۹۰	۳۰	۱۰	۲۰/۶۲	۶۰/۶۳	۶۱/۰۰
۳	۳۰	۶۰	۱۰	۱۹/۷۹	۵۸/۱۹	۵۷/۸۳
۴	۹۰	۶۰	۱۰	۲۵/۹۰	۷۶/۱۸	۷۵/۷۳
۵	۳۰	۴۵	۵	۱۲/۴۷	۳۶/۶۸	۳۶/۵۰
۶	۹۰	۴۵	۵	۱۳/۶۶	۴۰/۱۸	۴۰/۱۰
۷	۳۰	۴۵	۱۵	۱۷/۱۱	۵۰/۳۲	۵۰/۴۲
۸	۹۰	۴۵	۱۵	۲۳/۸۹	۷۰/۲۵	۷۰/۴۴
۹	۶۰	۳۰	۵	۱۰/۳۵	۳۰/۴۵	۳۰/۱۹
۱۰	۶۰	۶۰	۵	۱۶/۶۶	۴۹/۰۱	۴۹/۵۶
۱۱	۶۰	۳۰	۱۵	۲۱/۶۲	۶۳/۵۸	۶۳/۰۴
۱۲	۶۰	۶۰	۱۵	۲۰/۶۳	۶۰/۶۹	۶۰/۹۶
۱۳	۶۰	۴۵	۱۰	۱۹/۸۴	۵۸/۲۵	۵۸/۵۹
۱۴	۶۰	۴۵	۱۰	۱۹/۸۶	۵۸/۴۱	۵۸/۵۹
۱۵	۶۰	۴۵	۱۰	۲۰/۰۶	۵۸/۹۹	۵۸/۵۹

می‌یابد. همچنین شکل ۲ نشان می‌دهد با افزایش زمان مجاورت حلال با ماده جامد و نسبت حلال به ماده جامد میزان استخراج بیشتر می‌شود
اثر توام دما و زمان بر روی راندمان استخراج مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که در نمودار شکل ۳ مشخص است با افزایش زمان و دما راندمان افزایش می‌یابد.

بحث

تاثیر دما در نسبت‌های کم حلال به جامد بیشتر از مقادیر بالای آن می‌باشد که علت آن اشباع شدن حلال از روغن می‌باشد. از آنجایی که روش مورد استفاده از نوع غیر مداوم است و با توجه به اشباع شدن حلال از روغن، بعد از زمان کوتاهی گرادبان غلظت روغن بین حلال و دانه روغنی کاهش یافته و سرعت استخراج نیز نزول می‌یابد. تاثیر دما بر روی راندمان در نسبت‌های پایین‌تر ماده حلال به جامد بیشتر است و با افزایش این نسبت تاثیر دما نیز کاهش می‌یابد. از آنجائیکه با افزایش نسبت حلال به ماده‌ی جامد قابلیت استخراج و ظرفیت نگهداری روغن توسط حلال افزایش می‌یابد و با توجه به کند بودن کاهش

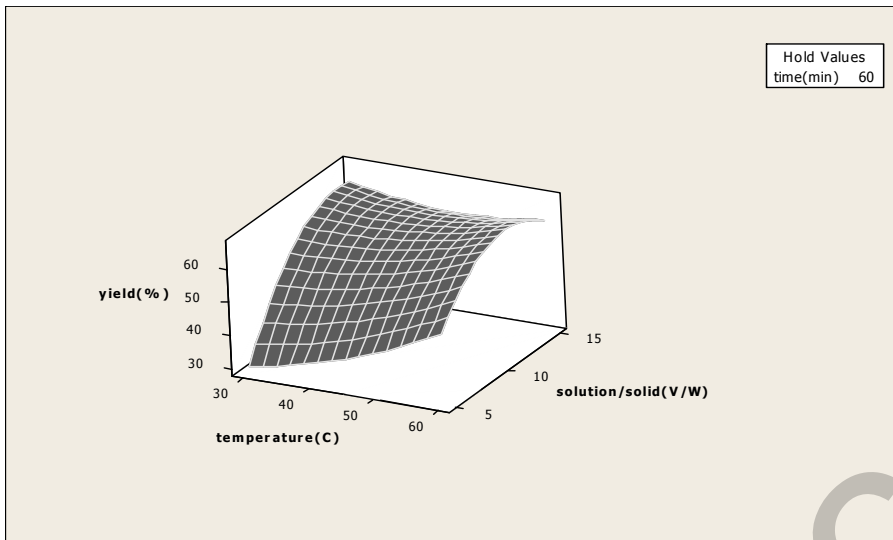
گردد. نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیون راندمان در جدول ۳ نشان داده شده است. ضریب همبستگی برای راندمان ۹۹/۹۲٪ بوده است و با توجه به بی‌معنی بودن عدم برازش (P=۰/۲۰۷) می‌توان از مدل رگرسیون حاصل جهت پیش‌بینی مقادیر متغیرهای تابع در سطوح مختلف استفاده کرد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان می‌دهد که متغیرهای زمان و نسبت حلال به ماده جامد (P<۰/۰۰۵) معنی‌دار شدند در حالیکه دما معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین مدل درجه دوم برای درصد راندمان به غیر از زمان*زمان در سطح (P<۰/۰۰۵) معنی‌دار شدند. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز واریانس مدل مناسب برای درصد راندمان استخراج روغن از شاهدانه تحت تیمار با امواج اولتراسونیک با شدت فرکانس ۳۵ کیلو هرتز و ۱۰۰ درصد توان آن به- صورت زیر می‌باشد:

$$Y = 11730.8 - 0.5339X_1 - 0.4894X_2 + 12.0867X_3 + 0.013X_1^2 + 0.121X_2^2 - 0.415X_3^2 + 0.068X_1X_2 + 0.0274X_1X_3 - 0.0715X_2X_3$$

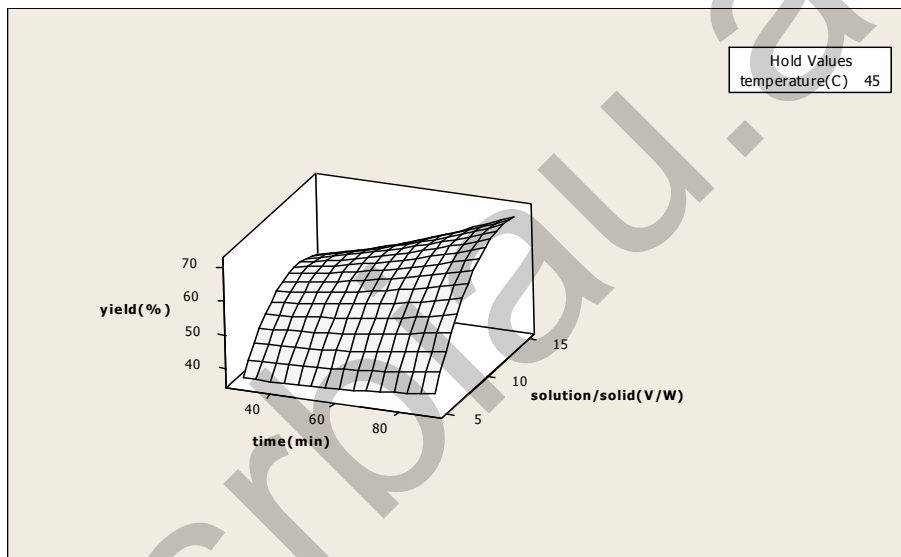
همان‌طور که از شکل ۱ برمی‌آید با افزایش دما و نسبت حلال به جامد درصد راندمان استخراج افزایش

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس ضرایب رگرسیون مدل Box Behnken روی استخراج روغن

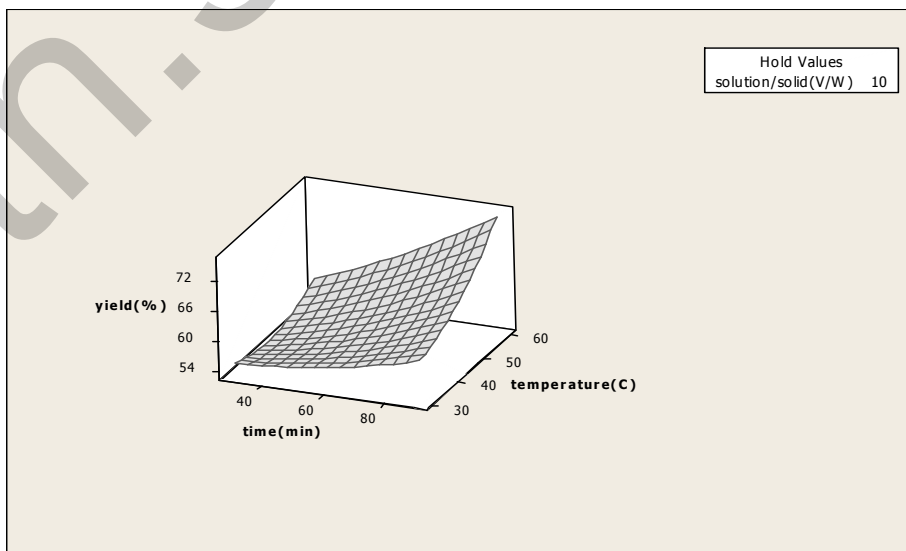
منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	ارزش F	ارزش P	ضرایب مدل
مدل	۹	۲۰۸۱/۴۱	۶۶۰/۹۰	۰/۰۰۰	-
خطی	۳	۱۴۰۷/۹۵	۵۶۶/۱۲	۰/۰۰۰	-
زمان	۱	۲۷۹/۰۲	۹۰/۱۰	۰/۰۰۰	-۰/۵۳۳۹
دما	۱	۱۴۹/۵۵	۱۲/۹۷	۰/۰۱۶	-۰/۴۸۹۴
حلال / ماده جامد	۱	۹۷۹/۳۸	۱۳۵۳/۹۸	۰/۰۰۰	۱۲/۰۸۶۷
درجه دوم	۳	۴۵۴/۰۵	۴۳۲/۵۱	۰/۰۰۰	-
زمان*زمان	۱	۱۰/۷۱	۱۳/۸۸	۰/۰۱۴	۰/۰۰۱۳
دما*دما	۱	۴۵/۹۲	۷۷/۹۵	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲۱
حلال / ماده جامد * حلال / ماده جامد	۱	۳۹۷/۴۲	۱۱۳۵/۷۰	۰/۰۰۰	-۰/۴۱۵
برهمکنش	۳	۲۱۹/۴۱	۲۰۹	۰/۰۰۰	-
زمان*دما	۱	۲۶/۹۷	۱۰۵/۶۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶۸
زمان*حلال به ماده جامد	۱	۶۷/۴۷	۱۹۲/۸۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۷۴
دما*حلال به ماده جامد	۱	۱۱۴/۹۷	۳۲۸/۵۶	۰/۰۰۰	-۰/۰۷۱۵
خطای مانده ها	۵	۱/۷۵	-	-	-
عدم برازش	۳	۱/۵۰	۳/۹۸	۰/۲۰۷	-
خطای خالص	۲	۰/۲۵	-	-	-
کل	۱۴	۲۰۸۳/۱۶	-	-	-



شکل ۱- نمایش نمودار سه بعدی سطح پاسخ مربوط به تاثیر نسبت حلال به ماده جامد و دما بر روی راندمان استخراج



شکل ۲- نمایش نمودار سه بعدی سطح پاسخ مربوط به تاثیر نسبت حلال به ماده جامد و زمان بر روی راندمان استخراج



شکل ۳- نمایش نمودار سه بعدی سطح پاسخ مربوط به تاثیر زمان و دما بر روی راندمان استخراج

مولسیفیکاسیون، انتشار و صدمه به بافت نیز به افزایش استخراج اجزای مورد نظر از مواد خام کمک می‌کند. بهینه‌سازی متغیرهای وابسته با استفاده از جدول ۳ انجام شد و نقاط اُپتیمم به دست آمدند. این مقادیر بهینه در زمان ۹۰ دقیقه، دما 60°C و نسبت حلال به ماده جامد ۱۲/۳۷ میلی‌لیتر بر گرم به دست آمد که با بررسی آنها به این نکته می‌رسیم که مقادیر به دست آمده طی آزمایشات تجربی با دانسته‌های پیشین بدست آمده در مورد عوامل موثر بر راندمان استخراج روغن هماهنگی دارد (Aliakbarian *et al.*, 2008; Banik and pandy, 2007). جهت تایید مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل نیاز به آزمون است، عمل استخراج در شرایط بهینه ارائه شده توسط مدل در سه تکرار انجام گردید و نتیجه با مقدار پیش‌بینی شده توسط آن مقایسه گردید. میزان راندمان تولید پیش‌بینی شده مدل، ۷۸/۰۴ بود که نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در این شرایط ۷۷/۸۱ بود. این نتایج نشان می‌دهد که اختلاف معناداری ($P < 0.005$) بین مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار راندمان استخراج در نقطه بهینه وجود ندارد این نشان می‌دهد که مدل توانسته تا حدود زیادی اثر ۳ متغیر زمان، دما و نسبت حلال به نمونه را در راندمان استخراج روغن نشان دهد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نیاز روز افزون کشورمان به روغنی با کیفیت مناسب و غنی از اسیدهای چرب ضروری، شاهدانه با دارا بودن حدود ۳۴٪ روغن به عنوان یکی از منابع روغن مورد توجه است. با توجه به بالا بودن دما و زمان در روش‌های سنتی استخراج امروزه از روش‌های مختلفی چون اولتراسونیک و مایکروویو و سیال فوق بحرانی جهت کاهش تخریب مواد مغذی برای استخراج روغن استفاده می‌شود. شرایط متفاوت از جمله دما، زمان و نسبت حلال به نمونه در روش استخراج به کمک اولتراسونیک در شاهدانه نشان داد که دما، زمان و نسبت حلال به نمونه، راندمان استخراج روغن را تحت تاثیر قرار داده‌اند. معادله رگرسیونی به دست آمده در این بررسی، می‌تواند برای یافتن شرایط بهینه جهت رسیدن به بیشینه راندمان استخراج روغن از شاهدانه و مقادیر پیش‌بینی شده برای راندمان استخراج روغن در یک مرحله باشد. همان‌طور که

گردید، در نسبت‌های بالاتر حلال به ماده جامد امکان استخراج بیشتر روغن وجود دارد. در واقع در نسبت حلال به ماده جامد پایین‌تر اشباع‌شدن سریعتر صورت می‌گیرد، در نتیجه افزایش زمان استخراج تاثیر معنی‌داری بر راندمان ندارد. افزایش دما به علت کاهش ویسکوزیته حلال و افزایش انرژی جنبشی نفوذ آن را به داخل دانه‌ها افزایش می‌دهد و سرعت استخراج را بالا می‌برد. افزایش دما ممکن است سبب بازشدن دیواره سلولی شود که نتیجه آن در دسترس بودن ترکیبات برای افزایش استخراج می‌باشد. از این گذشته، در دمای بالا ویسکوزیته حلال کاهش می‌یابد و ضریب انتشار افزایش می‌یابد بنابراین کارایی استخراج افزایش می‌یابد (Pan *et al.*, 2000). افزایش دما، استخراج با حلال را هم از طریق افزایش ضریب انتشار و هم از طریق افزایش حلالیت ترکیبات فنولیک بهبود می‌دهد (Al-Farsi & Lee, 2008). هنگام برخورد امواج با یک ماده، این امواج نیرویی را اعمال می‌کنند، اگر نیرو بر سطح عمود باشد، به عنوان موج فشاری از درون غذا عبور می‌نماید و در صورتی که موج موازی سطح باشد باعث موج برشی می‌گردد. هر دو نوع موج در هنگام عبور از غذا ضعیف می‌گردند. امواج اولتراسونیک باعث یکسری تغییرات ناگهانی در فشار و دما می‌شوند که باعث تجزیه بافت، ایجاد حباب‌های هوا در غذاهای مایع، نازک کردن غشاء سلولی و تولید رادیکال‌های آزاد که این عمل اثر کشنده بر روی میکروارگانیسم‌ها دارد، می‌گردند. عمل تجزیه بافت و متلاشی کردن آن و همچنین نازک کردن غشاء سلولی باعث شده است تا از این امواج در استخراج نیز بهره گرفته شود. با استفاده از این روش می‌توان با کاهش چشمگیر زمان به راندمانی مشابه با استخراج با حلال دست یافت (Zou *et al.*, 2010).

علت افزایش میزان استخراج روغن با افزایش زمان اولتراسونیک را می‌توان به پدیده کوانتاسیون نسبت داد که در واقع در اثر انتشار امواج صوتی در فاز جامد-مایع، چرخه‌های انقباض و انبساطی در محیط ایجاد می‌شود که باعث تشکیل حباب‌هایی شده که این حباب‌ها در ادامه رشد و در نهایت متلاشی می‌شوند. این عمل باعث نوسان ذرات جامد و مایع شده و تحت عمل اولتراسونیک سرعت پیدا می‌کنند. در نتیجه مواد حل‌شونده سریعاً از فاز جامد به حلال انتشار پیدا می‌کنند. علاوه بر این، دیگر اثرات مانند

compounds and methods for their use. US Patent, 6204290.

Lazarides, H. N. (1999). Advances in osmotic dehydration in processing foods. (eds. F. A. R. Oliveria, et al.) CRC Press, New York.

Li, H. Pordesimo, L. & Weiss, J. (2004). High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *J Food Res. Int.*, 37, 731–738.

Myers, R. H. & Montgomery, D. C. (2002). Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 2nd Ed. Wiley Pub Inc, New York. pp. 51-83.

Andrade, F. A. N., Linhares, F. E. & Rodrigues, S. (2008). Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 1049–1054.

Oomah, B., Busson, M., Godfrey, D. & Drover, J. (2002). Characteristics of hemp (*Cannabis Sativa L*) seed oil. *Food Chemistry*, 76, 33-43.

Pan, X. J., Liu, H. Z., Jia, G. H. & Shu, Y. Y. (2000). Microwave-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice root. *Journal of Biochemical Engineering*, 5, 173–177.

Rausch, P. (1995). Verwendung von Hanfsamen-1 in der Kosmetik. In *Bio resource hemp* (2nd ed.; pp. 556–561). Cologne, Germany: Nova-Institute.

Roulac, J. W. (1997). *Hemp horizon*. Canada: Chelsea Green Publishing Co.

Simal, S., Benedito, J., Sanchez, E. & Rossem, C. (1998). Use of Ultrasound to Increase Mass Transport Rates During Osmotic Dehydration. *Journal of Food Engineering*, 36, 323-336.

Shan, L., Lianzhou, J. & Yang, L. (2011). Research of aqueous enzymatic extraction of watermelon seed Oil of ultrasonic pretreatment assisted. *Procedia Engineering*, 4949 – 4955.

Tarleton, E. S., Wakeman, R. J., Povey, M. J. W. & Mason T. J. (1998). *Ultrasounds in Food Processing*, Blackie Academic and Professional, Glasgow, 193–218.

Wang, X., Tang, C., Yang, X. & Gao, W. (2008). Characterization amino acid composition and vitro digestibility of hemp (*Cannabis Sativa L*) proteins. *Food Chemistry*, 107: 11-18.

Zou, Y., Xie, C., Fan, G., Gu, Z. & Han, Y. (2010). Optimization of ultrasound-assisted extraction of melanin from *Auricularia auricular* fruit bodies. *Innovative food science and Emerging Technologies*, 11, 611-615.

در این پژوهش مشاهده گردید روش اولتراسونیک سبب می‌شود که استخراج روغن در دمای پایین‌تر و زمان کوتاه‌تر صورت گیرد بنابراین منجر به کاهش تخریب روغن استخراجی می‌گردد.

منابع

Aliakbarian, B., De Faveri, D., Converti, A. & Perego, P. (2008). Optimisation of olive oil extraction by means of enzyme processing aids using response surface methodology. *Biochemical Engineering Journal* 42, 34–40

Al-Farsi, M. A. & Lee, C. Y. (2008). Optimization of phenolics and dietary fibre extraction from date seeds. *Food Chemistry*, 108, 977–985.

Banik, R. M. & Pandey, D.K. (2008). Optimizing conditions for oleanolic acid extraction from *Lantana camara* roots using response surface methodology. *Industrial crops and products*, 27, 241–248.

Carcel, J. A., Benedito, J., Rossello, C. & Mulet, A. (2007). Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78, 472–479.

Deferre, J. L. & Pate, D. W. (1996). Hemp seed oil: a source of valuable essential fattyacids. *Journal of the International Hemp Association*, 3, 4–7.

Fernandes, F. A. N., Linhares, F. E. & Rodrigues, S. (2008). Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 1049–1054.

Garcia, L., Luque, J. & Chromatogr. A. (2004). Ultrasound-assisted Soxhlet extraction: an expedite approach for solid sample treatment: Application to the extraction of total fat from oleaginous seeds. *J. Chromatogr*, 24, 237–242.

Hansen, H. (1994). New biological and clinical roles for n-3 fatty acids. *Nutrition Reviews*, 52, 162-167.

Horribin, D. (1992). Nutritional and medical importance of gamma – linolenic acid. *Prog. Lipid*. 31, 2: 94-163.

Koga, T. (1997). Linoleic and alpha Linolenic acids differently modify the effects of elaidic acid on polyunsaturated fatty acid metabolism and some immune indices in rats. *Br. Nutr.* 77, 4, 645-656.

Lane, R. H. Qureshi, A. A. & Salser, W. A. (2001). Tocotrienols and tocotrienol-like