

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

## مدل سازی و بهینه‌یابی شرایط استخراج خشک صمغ دانه مرو

احمدرضا حسینی<sup>۱</sup>، سید محمدعلی رضوی<sup>۲\*</sup> و مسعود تقی زاده<sup>۳</sup>

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی آموخته کارشناسی ارشد؛ استاد؛ و دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه

فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۵

### چکیده

در این پژوهش، صمغ دانه مرو بر اساس روش خشک (مبتنی بر اصطکاک) استخراج شد و شرایط استخراج با استفاده از روش سطح پاسخ و در قالب طرح باکس بهینکن بهینه‌یابی گردید. روش استخراج خشک با هدف دستیابی به روشی اقتصادی، سریع، دوست‌دار محیط زیست (تکنولوژی سبز)، بی‌بو، با کاربری آسان و خودکار به کار گرفته شد. متغیرهای مستقل این پژوهش شامل: سرعت روتور (۷۵۰، ۸۲۵ و ۹۰۰ دور بر دقیقه)، زاویه سایش (۰، ۱۰، ۲۰ درجه) و فاصله (ارتفاع) سایش (۱/۵، ۲ و ۲/۵ میلی‌متر) بودند. تأثیر متغیرهای مستقل بر بازده استخراج، مقدار پروتئین و ویسکوزیته ظاهری (نرخ برش ۴۶ بر ثانیه) بررسی شدند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم تغییرات داده‌ها و تأثیر آنها را بر پاسخ‌ها به خوبی توصیف می‌کند. بهینه شرایط استخراج با معیار بیشترین بازده، ویسکوزیته ظاهری و کم‌ترین مقدار پروتئین در سرعت روتور ۹۰۰ دور بر دقیقه، زاویه سایش ۶/۹ درجه و فاصله ۲/۲ میلی‌متر حاصل شد که در این شرایط بازده استخراج، مقدار پروتئین و ویسکوزیته ظاهری به ترتیب برابر با ۱۰/۶۱ درصد، ۷/۰۲ درصد و ۱۱۲ میلی پاسکال ثانیه دست آمد.

### واژه‌های کلیدی

تکنولوژی سبز، بهینه‌یابی، سایش، موسیلاژ دانه‌ای، ویسکوزیته

### مقدمه

نرم کننده، امولسیون کننده و ژل دهنده به کار می‌روند (Glicksman, 1982; Razavi, 2019). هیدروکلوئیدها چهار منشأ اصلی دارند گیاهی، حیوانی، جلبک دریایی، میکروبی که هیدروکلوئیدهای گیاهی از نظر استحصال از بافت گیاه به سه دسته تقسیم می‌شوند: تراوشی، دانه‌ای و ساختاری به ترتیب مانند تاراگان، گوار، و پکتین (Imeson, 2010).

استفاده از هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی در چند دهه اخیر به شدت گسترش یافته است، اگرچه

هیدروکلوئیدها گروهی وسیع از پلیمرهای بلندزنجیر و آب‌دوست با وزن مولکولی بالا هستند که به طور کامل یا جزئی در آب پراکنده می‌شوند و طیف گسترده‌ای از کاربرد و عملکرد را به‌ویژه در تغییر رئولوژی و بافت مواد غذایی دارند. هیدروکلوئیدهای طبیعی مانند پلی ساکاریدها و پروتئین‌ها در صنایع مختلف به عنوان پایدارکننده، قوام دهنده، جایگزین چربی، انکپسولاسیون عطر، طعم و ترکیبات زیست فعال، پوشش‌های خوراکی،

روش‌های جدید نیز محدودیت‌هایی در پی دارند، برای مثال، در روش مایکروویو معیابی گزارش شده است مانند مصرف حلال‌های آلی کمتر دوست‌دار محیط زیست مثل متانول (Zhang *et al.*, 2011)، قابلیت انفجار (Khalil *et al.*, 2018)، اثربخشی کم هنگامی که ترکیب هدف یا حلال غیرقطبی باشند یا ویسکوزیته حلال بالا باشد (Cravotto *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2006)، گران بودن تجهیزات، سخت بودن عملیات استخراج نسبت به روش فراصوت در بسیاری از موارد (Luque-Garcia *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2009). در روش فراصوت نیز محدودیت‌هایی وجود دارد از جمله اینکه اثربخشی استخراج وابسته به بستر گیاه است؛ حلال مورد استفاده باید تنش سطحی، ویسکوزیته و فشار بخار کم داشته باشد؛ در مقیاس صنعتی احتیاج به انرژی بالا دارد (Yusaf & Al-Juboori, 2014)؛ در بعضی موارد فرکانس امواج فراصوت می‌تواند مقاومت به انتقال جرم ایجاد کند (Esclapez *et al.*, 2011)؛ و در بسیاری از موارد سونیکاسیون اضافی می‌تواند آسیب‌هایی به کیفیت ماده مورد استخراج وارد آورد. در روش استخراج به کمک آنزیم نیز معیابی همچون روند استخراج کند (از چند ساعت تا چند روز) و هیدرولیز آنزیمی اندک در مواد با مقدار رطوبت پایین (Khalil *et al.*, 2018) گزارش شده است.

بنابراین، روش‌های جدید مطرح شده احتیاج به صرف هزینه بالا برای خرید تجهیزات اولیه دارند، ضمن اینکه هنوز هم تا حدودی وابسته به حلال هستند. بدین منظور پژوهشگران همواره در جهت جستجوی روش جدید گام بر می‌دارند که محدودیت روش‌های دیگر را نداشته باشد.

از هیدروکلوئیدها بیشتر در غلظت‌های کمتر از ۱ درصد استفاده می‌شود اما همین مقدار جزئی نیز ویژگی‌های بافتی و احساس دهانی محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بدین واسطه می‌توان ویژگی‌های مورد نظر را در محصول نهایی ایجاد کرد (Williams & Phillips, 2000).

به‌منظور استخراج هیدروکلوئیدها، اساساً از روش‌های مرطوب (استخراج با حلال) استفاده می‌شود مانند استخراج با آب، استخراج اسیدی و استخراج قلیایی که این روش‌ها وابسته‌اند به متغیرهایی مانند دما، نسبت آب به دانه، نوع حلال، pH، غلظت نمک، زمان استخراج و... (Wu *et al.*, 2007). محققان بسیاری به منظور بهینه‌یابی و بررسی اثر متغیرها، در مطالعات خود از روش سطح پاسخ استفاده کرده‌اند (Bostan *et al.*, 2010; Koocheki *et al.*, 2010; Razavi *et al.*, 2009). روش‌های معمول استخراج با حلال معیابی دارند از جمله مصرف بالای آب و انرژی، استفاده از مواد شیمیایی و آلودگی زیست‌محیطی که صنایع غذایی و شیمیایی را ناگزیر به یافتن روش‌های جدید با مصرف حلال و انرژی کمتر کرده است (Chemat *et al.*, 2011). امروزه بر اساس مطالعات انجام شده روش‌های نوین با نام تکنولوژی سبز مطرح شده‌اند که نسبت به روش‌های قدیمی مزایای بیشتری دارند و مخاطرات آنها برای طبیعت کمتر است. از روش‌های سبز به منظور استخراج صمغ‌ها می‌توان به استخراج با امواج اولتراسونیک (Farahnaky *et al.*, 2013; Latufa *et al.*, 2017; Rafiquzzaman *et al.*, 2016) امواج مایکروویو (Francavilla *et al.*, 2013; Keisandokht *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2014) و استخراج با آنزیم (Blanco-Pascual *et al.*, 2014; Varadarajam *et al.*, 2009) اشاره کرد. این

برطرف شد. دانه‌های تمیز شده درون بسته‌های پلاستیکی مناسب گذاشته و تا زمان استخراج موسیلاژ در محیط خشک و خنک نگهداری شدند.

#### استخراج موسیلاژ به روش خشک

در روش خشک، دانه‌ها از طریق ورودی به محفظه بین دو سطح سایشی، که سطح فوقانی در حال چرخش دورانی (با قابلیت تنظیم ارتفاع) و سطح زیرین ثابت بود، وارد شدند. نیروی عمودی با تنظیم فاصله دو سطح دارای زبری (فاصله: ۲/۵، ۲، ۱/۵ میلی‌متر) بر دانه به صورت دورانی وارد شد و سرعت لغزش دانه‌ها روی سطح با تنظیم سرعت دورانی روتور (۹۰۰، ۸۲۵، ۷۵۰ دور در دقیقه) و همچنین زاویه سطح سایشی با افق (۲۰، ۱۰، ۰ درجه) کنترل شد. نیروی اصطکاک بین دانه‌ها و سطوح سایش باعث جداسازی لایه‌های موسیلاژی دانه گردید سپس با غربال کردن مواد سایش شده بر اساس اندازه ذرات (مش) خاص، صمغ مورد نظر در عمل به روش خشک استخراج شد. پودر صمغ به دست آمده در بسته‌بندی‌های پلاستیکی مناسب قرار گرفت و در محیط خشک و خنک نگهداری شد.

#### آزمون‌ها

بازده استخراج از نسبت وزن پودر صمغ استخراج شده به وزن اولیه دانه محاسبه و میزان پروتئین با استفاده از روش کلدال تعیین شد، بدین صورت که پودر صمغ با آمونیوم سولفات رسوب داده شد و مواد جامد با سانتریفیوژ کردن (۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه) به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس جداسازی شد و سپس به منظور آنالیز مقدار پروتئین به روش کلدال استفاده شد (AOAC, 2005). ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های هیدراته شده (۱ درصد وزنی - وزنی) در شرایط ثابت دمای ۲۵ درجه سلسیوس، pH برابر با ۷ و نرخ برش ۴۶ بر

دانه‌های موسیلاژی یکی از گسترده‌ترین منابع هیدروکلوئیدهای گیاهی هستند که از گذشته‌های دور در طب سنتی کاربرد داشته‌اند. دانه مرو یا مرمرشک (*Salvia macrosiphon*) با شکل ظاهری کوچک و گرد در تماس با محیط آبی، به دلیل وجود مواد موسیلاژی در دیواره دانه، به سرعت متورم می‌شود (Bostan et al., 2010). نتایج پژوهش‌های سالیان اخیر نشان داده است که موسیلاژ دانه مرو به‌عنوان منبع جدید هیدروکلوئیدی ویژگی‌های عملکردی و رئولوژیکی بسیار ارزشمندی برای کاربرد در صنایع غذایی و دارویی دارد (Razavi et al., 2013). با توجه به کاربردهای متنوع صمغ‌های دانه‌ای و منابع فراوان این دسته از هیدروکلوئیدها، پژوهش در زمینه روش‌های جدید و ارزان قیمت استخراج، که محدودیت‌های کمتری نسبت به سایر روش‌ها داشته باشند، ضروری به نظر می‌رسد. روش طراحی شده در این پژوهش استخراج خشک مبتنی بر سایش و اصطکاک است. نیروی اصطکاک به عواملی چون نیروی عمودی، شرایط سطوح تماسی از نظر زبری و جنس، سرعت لغزش و دما، لایه نازک آب (اصطکاک و چسبندگی) بستگی دارد (Razavi & Akbari, 2018). هدف از این پژوهش، طراحی و ابداع روشی جدید با محدودیت‌های کمتر و دوست‌دار محیط زیست به منظور استخراج صمغ دانه مرو و بهینه‌یابی شرایط استخراج آن است.

#### مواد و روش‌ها

##### مواد اولیه

دانه‌های مرو (*Salvia macrosiphon*) از یک فروشگاه گیاهان دارویی در مشهد تهیه شد. آلودگی فیزیکی دانه‌ها مانند خاک، سنگ، چوب و دانه‌های شکسته با دستگاه دمنده باد و با سرعت مشخص

روتور (۹۰۰، ۸۲۵، ۷۵۰ دور در دقیقه)،  $X_2$ : فاصله سطح سایشی متحرک از سطح ثابت (۲/۵، ۲، ۱/۵ میلی‌متر) و  $X_3$ : زاویه سطح سایشی با افق (۲۰، ۱۰، ۰ درجه) استفاده شده است.

سطوح آزمایشی واقعی و کد شده در جدول ۱ مشاهده می‌شود. تمام آزمایش‌ها در این مطالعه با سه تکرار اجرا شده است. مدل‌های به دست آمده با روش آنالیز واریانس در سطح اطمینان (۹۵ درصد) بررسی شدند و سپس بهترین مدل بر اساس برخی پارامترهای آماری ( $R^2$ ،  $R_{adj}$  و  $R_{predicted}$ ) انتخاب و ضریب‌های آن گزارش شد. سرانجام پس از انتخاب نقطه بهینه توسط نرم‌افزار برای حصول حداکثر راندمان استخراج، ویسکوزیته و حداقل میزان پروتئین، پاسخ‌های پیش‌بینی شده و میانگین پاسخ‌های تجربی از آزمون تی مستقل<sup>۱</sup> استفاده شد.

ثانیه، با ویسکومتر دورانی بوهلین ( Bohlin Model ) (Visco 88, Bohlin Instruments, UK) مجهز به سیرکولاتور حرارتی ( Julabo, Model F12-MC, ) (Julabo Labortechnik, Germany) با پروب C14 اندازه‌گیری شد.

### طرح آزمایش و آنالیز آماری

به منظور مدل‌سازی و بهینه‌یابی شرایط استخراج صمغ دانه مرو و یافتن اثر متغیرهای مستقل (فاصله دو سطح سایشی، سرعت دوران سطح متحرک سایشی و زاویه سطح سایش با افق) بر پاسخ‌های بازده (درصد)، میزان پروتئین (درصد) و ویسکوزیته ظاهری (پاسکال ثانیه) از روش سطح پاسخ (RSM) در قالب نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۱۱ (Stat-Ease Inc., Minneapolis, U.S.A) استفاده شد. در این مطالعه، از طرح باکس بهنکن با سه تکرار در نقطه مرکزی و متغیرهای مستقل  $X_1$ : سرعت دوران

جدول ۱- سطوح آزمایشی واقعی و کدبندی شده متغیرهای مستقل در طرح باکس بهنکن (روش خشک)

متغیرهای مستقل			
سری	سرعت دوران (دور بر دقیقه)	زاویه سایش (درجه)	فاصله دو سطح سایش (میلی‌متر)
۱	۸۲۵ (۰)	۰ (-۱)	۲/۵ (+۱)
۲	۷۵۰ (-۱)	۰ (-۱)	۲ (۰)
۳	۸۲۵ (۰)	۲۰ (+۱)	۲/۵ (+۱)
۴	۷۵۰ (-۱)	۲۰ (+۱)	۲/۵ (+۱)
۵	۹۰۰ (+۱)	۰ (-۱)	۲/۵ (+۱)
۶	۷۵۰ (-۱)	۱۰ (۰)	۱/۵ (-۱)
۷	۹۰۰ (+۱)	۱۰ (۰)	۱/۵ (-۱)
۸	۹۰۰ (+۱)	۲۰ (+۱)	۲ (۰)
۹	۹۰۰ (+۱)	۰ (-۱)	۲ (۰)
۱۰	۸۲۵ (۰)	۱۰ (۰)	۲ (۰)
۱۱	۸۲۵ (۰)	۱۰ (۰)	۲ (۰)
۱۲	۷۵۰ (-۱)	۲۰ (+۱)	۲ (۰)
۱۳	۸۲۵ (۰)	۱۰ (۰)	۲ (۰)
۱۴	۷۵۰ (-۱)	۲۰ (+۱)	۱/۵ (-۱)
۱۵	۹۰۰ (+۱)	۰ (-۱)	۱/۵ (-۱)

## نتایج و بحث

### برازش داده‌ها با مدل‌های آماری

به منظور دستیابی به مدلی مناسب برای پیش‌بینی و تخمین پاسخ‌های مورد نظر (بازده، میزان پروتئین و ویسکوزیته ظاهری)، مدل‌های مختلفی بر داده‌ها برازش داده شد. پس از آن، مدل‌ها آنالیز آماری شدند و نتایج به دست آمده در جدول ۲ گردآوری شد.

با بررسی معنی‌داری مدل‌ها برای پاسخ‌ها، مدل چند جمله‌ای درجه دوم به منظور پیش‌بینی پاسخ‌ها انتخاب شد. با توجه به مقدار بالای ضریب تبیین

( $R^2$ ) به عنوان نسبت تغییرات توصیف شده توسط مدل به تغییرات کل و مقادیر بالای  $R_{predicted}$  و  $R_{adj}$  می‌توان نتیجه گرفت مدل درجه دوم توانایی بالاتری نسبت به سایر مدل‌های بررسی شده در پیش‌بینی پاسخ‌ها دارد. هرچه مقدار ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر باشد، مقادیر حاصل از مدل برازش یافته با مقادیر واقعی همبستگی بیشتری دارد (Wu et al., 2007). بر طبق جدول ۳، مقادیر ضریب تبیین به ترتیب برای بازده، میزان پروتئین و ویسکوزیته ظاهری برابر با: ۰/۹۸۹، ۰/۸۶۷، ۰/۹۹۶ به دست آمد.

جدول ۲- آنالیز واریانس برای ارزیابی پاسخ‌های پیش‌بینی شده در استخراج هیدروکلونید دانه مرو

ویسکوزیته ظاهری Apparent viscosity			پروتئین Protein			بازده Yield			منبع	
P <sub>value</sub>	F <sub>value</sub>	SS	P <sub>value</sub>	F <sub>value</sub>	SS	P <sub>value</sub>	F <sub>value</sub>	SS	DF	
		۰/۰۹۷۱			۹۰۳/۵۷			۲۲۸۶/۶۰	۱	میانگین
۰/۰۰۰۴	۱۴/۵۷	۰/۰۱۶۹	<۰/۰۰۰۱	۴۴/۳۹	۸/۳۷	<۰/۰۰۰۱	۳۵/۲۹	۱۰۹/۱۴	۳	خطی
۰/۸۰۹۶	۰/۳۲۱۹	۰/۰۰۰۵	۰/۹۵۳۱	۰/۱۰۷۹	۰/۰۲۶۹	۰/۷۵۱۰	۰/۴۰۹۰	۱/۵۱	۳	2FI
<۰/۰۰۰۱	۷۳/۳۱	۰/۰۰۳۷	۰/۰۲۴۵	۷/۸۴	۰/۵۴۸۱	<۰/۰۰۰۱	۱۹۶/۰۵	۹/۷۵	۳	درجه دو
۰/۲۱۶۴	۳/۷۸	<۰/۰۰۰۱	۰/۶۴۶۰	۰/۶۶۷۸	۰/۰۵۸۳	۰/۱۱۸۲	۷/۶۲	۰/۰۷۶۲	۳	درجه سه
		$۸/۶ \times ۱۰^{-۶}$			۰/۰۵۸۲			۰/۰۰۶۷	۲	باقی‌مانده
		۰/۱۱۸۳			۹۱۲/۶۴			۲۴۰۷/۰۸	۱۵	مجموع

جدول ۳ - آنالیز واریانس مدل‌های خطی، درجه دوم و برهمکنش هریک از پاسخ‌ها و ضریب‌های ارائه شده برای مدل درجه دوم

ویسکوزیته ظاهری Apparent viscosity			پروتئین Protein			بازده Yield			منبع
P-value	SS	Coefficient	P-value	SS	Coefficient	P-value	SS	Coefficient	DF
< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۱۱		۰/۰۰۰۳	۸/۹۵		< ۰/۰۰۰۱	۱۲۰/۳۹		۹
		۰/۰۶۲۴			۷/۵۱			۱۳/۱۷	۱
۰/۰۳۲۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۰	۰/۰۱۹۹	۰/۲۶۴۴	-۰/۱۸۶۱	۰/۰۰۸۰	۰/۸۶۶۸	-۰/۳۳۶۹	۱
۰/۰۴۷۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۶	۰/۲۸۵۳	۰/۰۳۳۳	-۰/۰۶۶۱	۰/۰۰۵۲	۰/۳۷۰۴	-۰/۲۲۰۲	۱
< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۹۰	۰/۰۴۷۵	< ۰/۰۰۰۱	۴/۳۳	-۱/۰۴	< ۰/۰۰۰۱	۵۳/۲۹	-۳/۶۵	۱
۰/۳۹۸۰	$۶/۶ \times ۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۱۱	۰/۰۷۶۶	۰/۱۱۵۴	-۰/۱۴۴۲	۰/۶۸۰۹	۰/۰۰۳۲	-۰/۰۲۳۸	۱
۰/۵۵۷۱	$۳ \times ۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۱۰	۰/۳۷۰۵	۰/۰۲۲۵	-۰/۰۸۸۲	۰/۰۵۰۳	۰/۱۰۹۱	-۰/۱۹۴۰	۱
۰/۹۵۸۵	$۲/۷ \times ۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۰۳	۰/۴۰۳۷	۰/۰۱۹۴	-۰/۰۸۱۸	۰/۰۰۸۰	۰/۳۰۱۵	-۰/۳۲۲۶	۱
۰/۲۸۱۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۸	۰/۹۸۵۷	$\times ۱۰^{-۶}$ ۸/۲	-۰/۰۰۲۳	۰/۲۶۱۵	۰/۰۲۶۵	۰/۱۲۸۵	۱
۰/۳۳۲۲	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۳۲	۰/۳۳۷۲	۰/۰۲۶۲	-۰/۱۲۷۷	۰/۷۹۰۸	۰/۰۰۱۳	-۰/۰۲۸۵	۱
< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳۶	۰/۰۳۳۷	۰/۰۰۶۴	۰/۴۷۰۶	۰/۳۸۴۴	< ۰/۰۰۰۱	۹/۷۲	-۱/۷۵	۱
	۰/۰۰۰۱			۰/۱۱۶۵			۰/۰۸۲۹		۵
۰/۱۲۸۵	۰/۰۰۰۱		۰/۶۴۶۰	۰/۰۵۸۳		۰/۱۱۸۲	۰/۰۷۶۲		۳
	$۸/۶ \times ۱۰^{-۶}$			۰/۰۵۸۲			۰/۰۰۶۷		۲
	۰/۰۲۱۲			۹/۰۶			۱۲۰/۴۸		۱۴
	۰/۹۹۶			۰/۹۸۷۱			۰/۹۹۹		R <sup>2</sup>
	۰/۹۸۸			۰/۹۶۴۰			۰/۹۹۸		Adj R <sup>2</sup>
	۰/۹۳۵			۰/۸۶۷۵			۰/۹۸۹		Pred R <sup>2</sup>

#### اثر متغیرهای مستقل بر بازده استخراج

با تغییر متغیرهای مستقل در سطوح اشاره شده، بازده استخراج از ۷/۲ تا ۱۵/۴ درصد در نوسان بود. نتایج آنالیز واریانس جدول ۳ نشان می‌دهد اثر خطی سرعت روتور، زاویه سایش، فاصله سایش، برهمکنش زاویه سایش و فاصله و اثر درجه دوم فاصله سایش در پیش‌بینی بازده استخراج معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) هستند. برابر نتایج به دست آمده، به ترتیب فاصله سایش، سرعت روتور و برهمکنش زاویه سایش و

فاصله سایش بیشترین تأثیر را بر بازده استخراج داشتند.

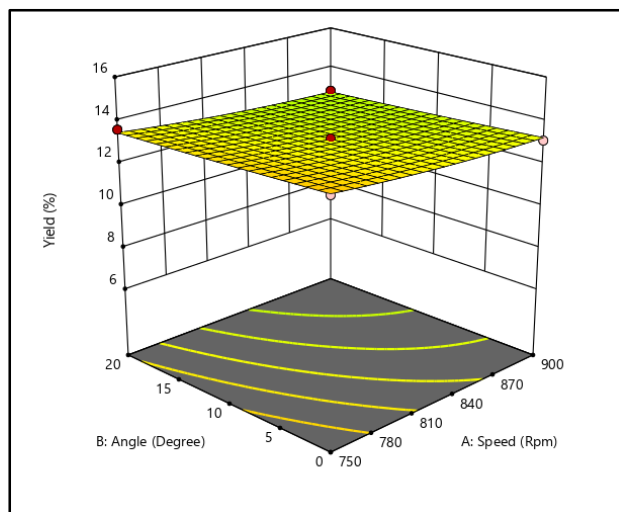
همان‌طور که در شکل ۱- الف مشاهده می‌شود، در فاصله ثابت بین دو سطح سایش، با افزایش سرعت روتور و افزایش زاویه سایش، بازده استخراج صمغ دانه مرو کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند به دلیل سرعت بیشتر دانه‌ها، تحت تأثیر سرعت بالای روتور، در خروج از دستگاه باشد که موجب کاهش زمان اقامت دانه‌ها در محفظه سایش

در شکل ۱- ج با کاهش فاصله و زاویه بین دو سطح سایشی، بازده استخراج صمغ دانه مرو افزایش می‌یابد. علت این موضوع، افزایش احتمال اتصال دانه‌ها با سطح سایشی در فاصله کمتر و در نتیجه سرعت کمتر دانه‌ها در خروج از محفظه در زاویه سایشی نزدیک‌تر به افق است. با افزایش فاصله سایش، تأثیر افزایش زاویه بین دو سطح بر بازده نمایان می‌شود، زیرا هنگامی که فاصله بین دو سطح سایشی در بیشترین مقدار باشد، دانه‌ها آزادی حرکت بیشتری دارند و با افزایش زاویه می‌توانند سریع‌تر به سمت خروجی هدایت شوند. در حالتی که فاصله بین دو سطح کم باشد، دانه‌ها درگیری بیشتری با سطوح سایشی دارند و تأثیر زاویه در خروج آنها از محفظه سایش کاهش می‌یابد. بیشترین بازده در روش استخراج خشک در سرعت ۷۵۰ دور بر دقیقه، زاویه سطوح سایشی با افق ۱۰ درجه و فاصله ۱/۵ میلی‌متر بین دو سطح سایش معادل ۱۵/۴ درصد به دست آمد. فرحناکی و همکاران (Farahnaki et al., 2013) بیشترین بازده استخراج صمغ دانه مرو در روش فراصوت را ۱۶/۶۶ درصد به دست آوردند. دامنه بازده استخراج به دست آمده در این تحقیق مشابه با نتایج انتشار یافته از تحقیقات بستان و همکاران (Bostan et al., 2010) است که این پارامتر را با استخراج روش مرطوب (حلال آبی) در دامنه ۷/۰۴ تا ۱۳/۶۹ درصد گزارش کردند. در روش استخراج خشک، دانه‌های مرو یک بار سایش یافتند اما به دلیل وجود لایه موسیلاژی در اطراف دانه‌ها، با استخراج چند مرحله‌ای می‌توان به بازده استخراج بالاتر نیز دست یافت.

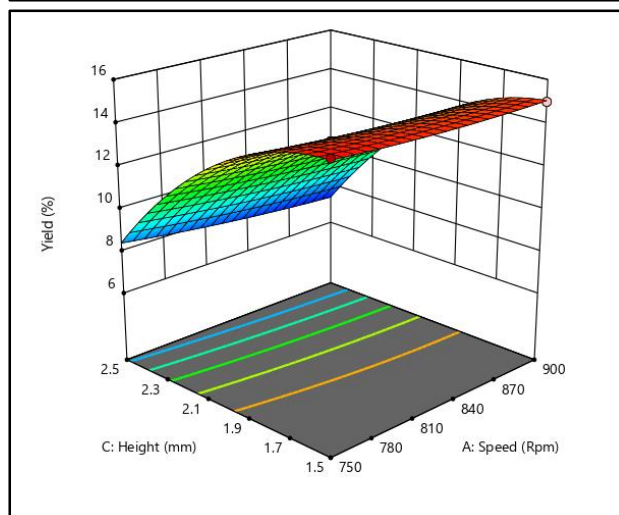
دستگاه شده است. زاویه بین دو صفحه سایش نیز در خروج دخیل است و با افزایش زاویه، سرعت هدایت دانه‌ها به سمت خروجی بیشتر شده است. هنگام اتصال سطح سایشی متحرک بالا با دانه‌ها، سرعت دوران آن می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در زمان استخراج داشته باشد، زیرا دانه‌ها با دوران سطح سایشی به طرف خارج محفظه دستگاه هدایت می‌شوند. بدیهی است هرچه سرعت بالاتر باشد دانه‌ها سریع‌تر از دستگاه خارج می‌شوند و ممکن است بعضی از دانه‌ها به خوبی ساییده نشوند و از دستگاه خارج شوند.

شکل ۱- ب نشان می‌دهد با افزایش سرعت دوران و فاصله بین دو سطح سایشی، بازده استخراج به دلیل وجود فضای بیشتر بین دو سطح سایشی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این موضوع باعث می‌شود نیروی فشار عمودی چندانی ناشی از سطح سایشی بالا بر دانه‌ها وارد نشود، به همین علت فقط سطح نازکی از خارجی‌ترین لایه دانه ساییده و پوسته کمتری از دانه جدا شود.

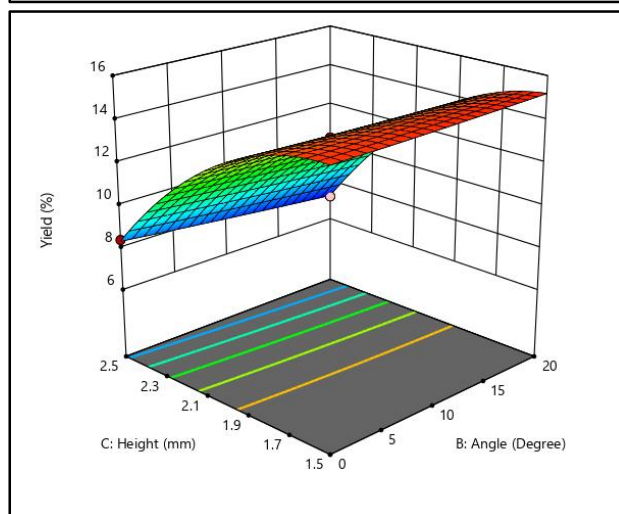
با کاهش فاصله دو سطح سایشی، میزان افزایش بازده کمتر می‌شود، زیرا با کاهش فاصله، تعداد دانه‌هایی که با سطح سایشی درگیر می‌شوند افزایش می‌یابد و در فاصله‌های کمتر از ۲ میلی‌متر، اکثر دانه‌ها با سطح سایشی اتصال برقرار می‌کنند. با کاهش فاصله، تا حد معینی می‌توان بازده را افزایش داد، اما اگر کاهش فاصله در حد بهینه نباشد می‌تواند بسیاری از دانه‌ها را پودر کند که به دنبال آن میزان ناخالصی در پودر نهایی افزایش می‌یابد.



الف



ب



ج

شکل ۱- شکل سطح پاسخ و کنتور بازده استخراج صمغ دانه مرو به روش خشک، الف- تأثیر سرعت دوران و زاویه بین دو سطح سایش، ب- تأثیر سرعت دوران و فاصله دو سطح سایشی، ج- تأثیر زاویه سایش و فاصله دو سطح سایشی

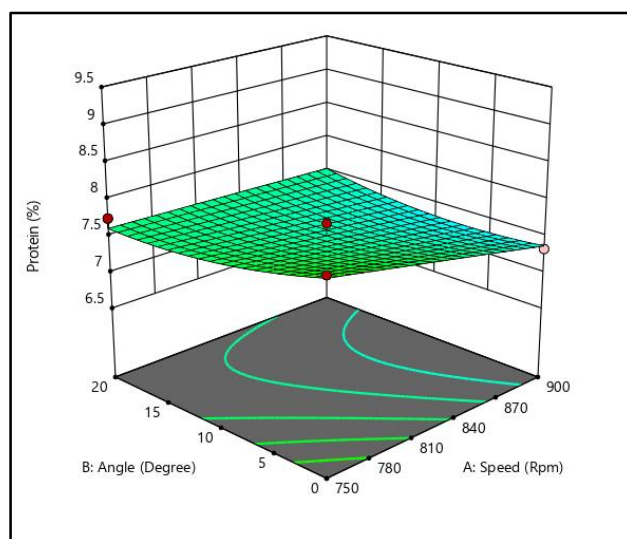


### اثر متغیرهای مستقل بر پروتئین

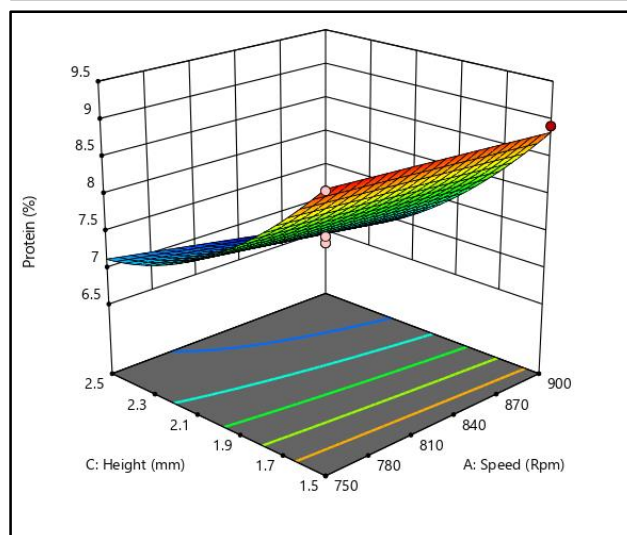
میزان پروتئین صمغ در شرایط مختلف استخراج خشک در دامنه ۶/۷۵ تا ۹/۰۱ درصد به دست آمد. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد اثرهای خطی سرعت دوران روتور، فاصله بین دو سطح سایشی و اثر درجه دوم فاصله بین دو سطح سایشی بر میزان پروتئین معنا دار ( $p < 0.05$ ) است. بیشترین تأثیر بر میزان پروتئین صمغ دانه مرو به ترتیب متعلق به اثر خطی فاصله بین دو سطح سایشی، سرعت دوران روتور و برهمکنش زاویه و سرعت است.

با توجه به شکل ۲-الف در فاصله ثابت با کاهش زاویه و سرعت دوران میزان پروتئین نمونه صمغ به دست آمده افزایش می‌یابد، زیرا با کاهش زاویه و سرعت دوران مدت زمان سایش دانه‌ها با افزایش می‌یابد و به دنبال آن میزان ورود ناخالصی‌های پروتئین دار بیشتر می‌شود. شکل ۲-ب نشان می‌دهد در زاویه ثابت با کاهش سرعت دوران و فاصله بین دو سطح سایشی، میزان پروتئین صمغ استخراج شده افزایش می‌یابد. با کاهش فاصله، سطح سایشی اتصال دانه‌ها به سطح بیشتر می‌شود و با کاهش سرعت دوران مدت زمان هدایت دانه‌ها به سمت خروجی نیز افزایش می‌یابد که هر دو عامل باعث بیشتر شدن شدت سایش می‌گردند. با کاهش فاصله از ۲/۵ به ۲ میلی‌متر، شیب افزایش میزان پروتئین ملایم است اما با کاهش فاصله از ۲ به ۱/۵ میلی‌متر شیب افزایش پروتئین به صورت لگاریتمی به شدت افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در شکل ۱-ب نیز مشاهده می‌شود با کاهش دو متغیر مستقل

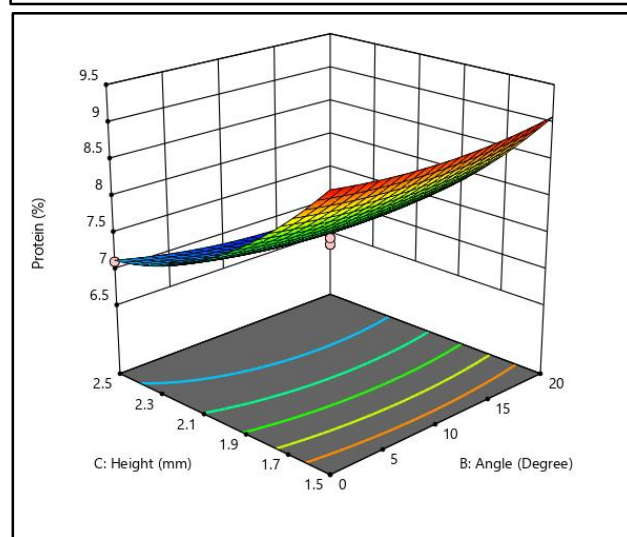
فاصله و زاویه سطح سایشی، میزان بازده افزایش می‌یابد، بنابراین، با بیشتر شدن شدت سایش توسط این دو متغیر احتمال ورود ناخالصی‌های دارای پروتئین به پودر بیشتر می‌شود و به دنبال آن بازده افزایش می‌یابد. شکل ۲-الف نشان می‌دهد در سرعت دوران ثابت، با افزایش فاصله و زاویه سطح سایشی، میزان پروتئین کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل بیشتر شدن فضای بین دو سطح سایشی و کاهش نیروی فشاری عمودی از طرف سطح سایشی (به دلیل بیشتر شدن فاصله) باشد. به دلیل افزایش زاویه و خروج سریع‌تر دانه‌ها از محفظه، شدت سایش کمتر می‌شود و سایش دانه‌ها بیشتر به صورت سطحی است که پیامد آن کاهش میزان ناخالصی‌های پروتئین‌دار، و همان‌گونه که در شکل ۱-ج نیز مشاهده شد، کاهش بازده است. با کاهش فاصله سطوح سایشی از ۲/۵ به ۱/۵ میلی‌متر، اثر زاویه سایش بر میزان پروتئین کمتر می‌شود و در فاصله ۱/۵ میلی‌متر تقریباً می‌توان گفت اثر زاویه (کاهش میزان پروتئین با افزایش زاویه) ناچیز خواهد بود. علت کاهش اثر زاویه سایش بر میزان پروتئین کم شدن فضا و درگیر شدن دانه‌ها با سطح سایشی بالایی است. کمترین میزان پروتئین صمغ در شرایط مختلف استخراج خشک ۶/۷۵ درصد به دست آمد که در روش استخراج با فراصوت توسط فرحناکی و همکاران (Farahnaki *et al.*, 2013) بین ۲/۰۷ تا ۳/۴۷ درصد و در شرایط بهینه روش استخراج با حلال توسط بستان و همکاران (Bostan *et al.*, 2010) ۲/۸۴ درصد گزارش شده است.



الف



ب.



ج

شکل ۲- شکل سطح پاسخ و کنتور مقدار پروتئین صمغ دانه مرو استخراج شده به روش خشک، الف- تأثیر سرعت دوران و زاویه سایش، ب- تأثیر سرعت دوران و فاصله دو سطح سایشی، ج- تأثیر زاویه و فاصله دو سطح سایشی

درصد) استخراج شده با روش حلال و نرخ برش ۴۶/۱۶ بر ثانیه، در دامنه ۱۹۸ تا ۳۵۵ میلی پاسکال ثانیه برای شرایط مختلف استخراج گزارش کردند. تفاوت دامنه ویسکوزیته ظاهری نمونه صمغ استخراج شده با روش خشک و روش مرطوب احتمالاً به دلیل اجرای مرحله خالص سازی با الکل در روش مرطوب است.

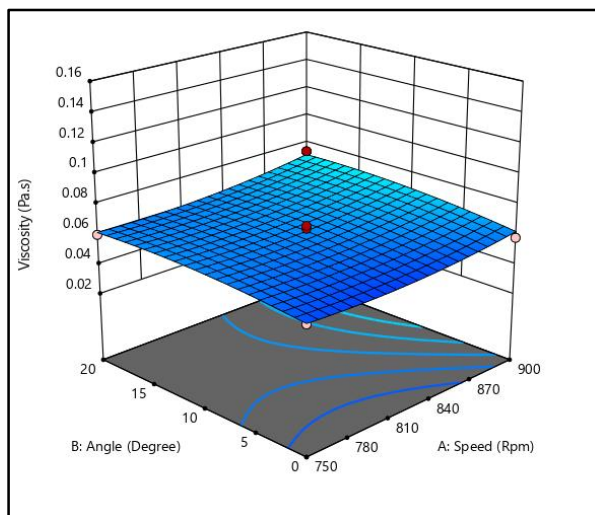
#### بهینه یابی و ارزیابی مدل

به منظور استخراج با روش خشک، بهینه یابی بر حسب دستیابی به بیشترین میزان بازده استخراج، ویسکوزیته ظاهری و کمترین مقدار پروتئین صورت پذیرفت. بر این اساس نرم افزار سرعت دوران ۹۰۰ متر بر دقیقه، زاویه محفظه سایش با افق ۶/۹ درجه و فاصله بین دو سطح سایشی ۲/۲ میلی متر را پیشنهاد کرد. مقادیر پاسخها در نقطه بهینه عبارت بودند از بازده استخراج ۱۰/۳۶ درصد، میزان پروتئین ۶/۸۱ درصد و ویسکوزیته ظاهری ۱۰۷ میلی پاسکال ثانیه پیش بینی شد. برای بررسی صحت نتایج پیش بینی شده و قابلیت مدل پیشنهادی، نتایج واقعی حاصل تحت شرایط بهینه با نتایج پیش بینی شده مقایسه گردید. نتایج به دست آمده در جدول ۴ نشان می دهد که اختلاف معنی داری ( $p < 0.05$ ) بین داده های پیش بینی شده توسط مدل و نتایج به دست آمده از آزمون های تجربی وجود ندارد ضمن اینکه دقت مدل در پیش بینی نتایج بالاست.

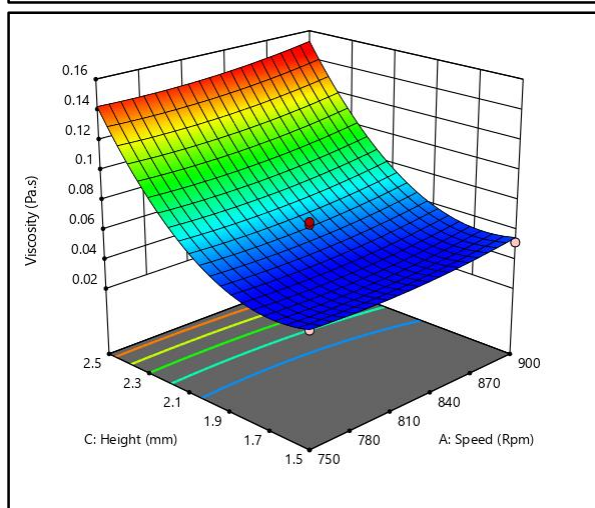
#### اثر متغیرهای مستقل بر ویسکوزیته ظاهری

با تغییر متغیرهای مستقل در روش استخراج خشک، میزان ویسکوزیته ظاهری نمونه ها در دامنه ۴۰ تا ۱۴۴ میلی پاسکال ثانیه نوسان دارد. نتایج آنالیز واریانس جدول ۳ نشان می دهد که فقط اثرهای خطی دو متغیر مستقل سرعت دوران و فاصله سطوح سایشی و همچنین اثر درجه دوم متغیر فاصله سطوح سایشی بر ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه مرو معنی دار ( $p < 0.05$ ) است. بیشترین تأثیر بر میزان ویسکوزیته ظاهری به ترتیب متعلق به فاصله سطوح سایشی، سرعت دوران و زاویه سطح سایشی است.

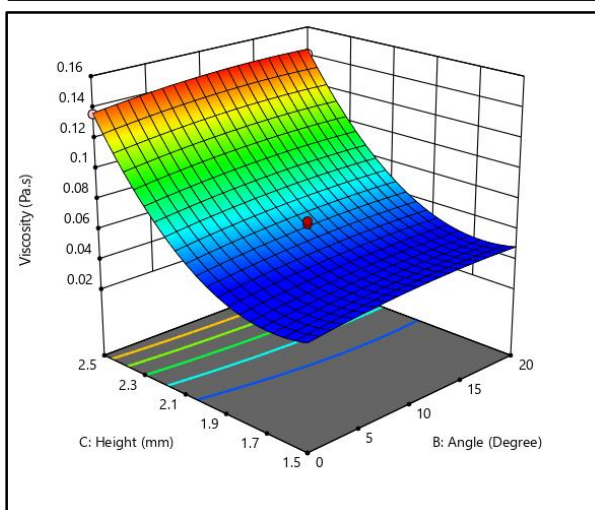
با توجه به شکل ۳-الف، در فاصله ثابت دو سطح سایش، با افزایش سرعت دوران و زاویه سایشی، ویسکوزیته ظاهری صمغ استخراج شده افزایش می یابد. در شکل ۳-ب نیز با افزایش فاصله دو سطح سایشی و سرعت دوران، ویسکوزیته ظاهری به شدت افزایش می یابد که می تواند بیانگر سایش سطحی لایه موسیلاژی دانه باشد. شکل ۳-ج رابطه بین فاصله و زاویه سایشی را نشان می دهد. با افزایش فاصله دو سطح از ۱/۵ تا ۱/۷۵ میلی متر، شیب افزایش ویسکوزیته تقریباً ثابت است اما از فاصله ۱/۷۵ تا ۲/۵ میلی متر شیب به شدت افزایش می یابد. عدم سایش عمقی دانه ها در فاصله سایشی بیشتر از ۱/۷۵ میلی متر و عدم ورود ناخالصی به درون صمغ است. بستان و همکاران (Bostan et al., 2010) ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه مرو (غلظت ۱



الف



ب



ج

شکل ۳- شکل سطح پاسخ و کنتور ویسکوزیته ظاهری محلول ۱ درصد صمغ دانه مرو استخراج شده به روش خشک در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و درجه برش ۴۶ (بر ثابته)، الف- تأثیر سرعت دوران و زاویه سایش، ب- تأثیر سرعت دوران و فاصله دو سطح سایشی، ج- تأثیر زاویه سایش و فاصله دو سطح سایشی

جدول ۴- مقادیر پیش بینی شده توسط مدل درجه دو و مقادیر تجربی پاسخ های فرایند استخراج صمغ دانه مرو به روش خشک

ویسکوزیته (میلی پاسکال ثانیه) Apparent viscosity (mPa.s)	پروتئین (درصد) Protein (%)	بازده (درصد) Yield (%)	پاسخ Response
۱۰۷ <sup>a</sup>	۶/۸۱ <sup>a</sup>	۱۰/۳۶ <sup>a</sup>	پیش بینی شده
۱۱۲ ± ۱۰/۶ <sup>a</sup>	۷/۰۲ ± ۰/۱۹ <sup>a</sup>	۱۰/۶۱ ± ۰/۲۶ <sup>a</sup>	تجربی

### نتیجه گیری

و ویسکوزیته ظاهری ۱۱۲ میلی پاسکال ثانیه به دست آمدند. با توجه به اینکه در روش خشک از حلال خاصی استفاده نمی شود، فرآیند استخراج دوست دار محیط زیست است و هزینه های عملیاتی نسبت به روش مرطوب، به دلیل حذف چندین مرحله از فرآیند (از جمله خشک کردن)، بسیار کمتر خواهد بود، ضمن اینکه این روش می تواند به راحتی به صورت مداوم اجرا شود. کل زمان استخراج در روش خشک چند دقیقه خواهد بود که در مقایسه با سایر روش ها که با مرحله خشک کردن بیش از چند ساعت به طول می انجامد بسیار کمتر است. به طور خلاصه، روش خشک روشی است دوست دار محیط زیست، اقتصادی و با محدودیت های اجرایی کمتر؛ این روش قابلیت جایگزینی مطلوبی با سایر روش های استخراج صمغ دانه های موسیلاژی دارد.

در فرآیند استخراج صمغ دانه مرو با روش خشک معلوم شد اثر فاصله دو صفحه سایش، زاویه سطح صفحه متحرک سایش با افق و سرعت سایش دورانی بر میزان بازده استخراج معنی دار هستند. در بررسی میزان پروتئین این نتیجه به دست آمد که متغیرهای مستقل یعنی فاصله سایش و سرعت سایش اثر معنی دار دارند و همچنین هر سه متغیر مستقل بر میزان ویسکوزیته ظاهری اثر معنی دار (p < 0.05) دارند. برای بهینه یابی شرایط استخراج بر اساس بیشترین بازده استخراج و ویسکوزیته ظاهری و کمترین میزان پروتئین، سرعت سایش ۹۰۰ متر بر دقیقه، زاویه سایش ۶/۹ درجه و فاصله دو سطح سایشی ۲/۲ میلی متر پیشنهاد شد که تحت این شرایط، بازده استخراج ۱۰/۶۱، درصد پروتئین ۷/۰۲

### تقدیر و تشکر

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (گرنه شماره ۹۶۰۱۵۵۴۰) و معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد (گرنه شماره ۴۷۹۶۲) بابت حمایت مالی و تجهیزاتی این پروژه تشکر و قدردانی می شود.

### تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده اند و منافی تجاری در این راستا وجود ندارد.

## مراجع

- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. Arlington: Association of Official Analytical Chemists.
- Blanco-Pascual N., Aleman A., Gomez-Guillen M. C., and Montero M. P. 2014. Enzyme-assisted extraction of  $\kappa$ /t-hybrid carrageenan from *Mastocarpus stellatus* for obtaining bioactive ingredients and their application for edible active film development. *Food and Function*. 5(2): 319–329.
- Bostan, A., Razavi, S. M. A. and Farhoosh, R. 2010. Optimization of hydrocolloid extraction from wild wage seed (*Salvia macrosiphon*) using response surface. *International Journal of Food Properties*. 13(6): 1380–1392.
- Chemat, F., Huma, Z. and Khan, M. K. 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction, *Ultrasonics Sonochemistry*. 18(4): 813–835.
- Cravotto, G., Boffa, L., Mantegna, S., Perego, P., Avogadro, M., and Cintas, P. 2008. Improved extraction of vegetable oils under high-intensity ultrasound and/or microwaves. *Ultrasonics Sonochemistry*. 15(5): 898-902.
- Esclapez, M. D., García-Pérez, J. V., Mulet, A., and Cárcel, J. A. 2011. Ultrasound-assisted extraction of natural products. *Food Engineering Reviews*. 3(2): 108–120.
- Farahnaky, A., Bakhshizadeh-Shirazi, S., Mesbahi, G., Majzoobi, M., Rezvani, E., and Schleining, G. 2013. Ultrasound-assisted isolation of mucilaginous hydrocolloids from *Salvia macrosiphon* seeds and studying their functional properties, *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 20, 182-190.
- Francavilla M., Pineda A., Lin C. S. K., Franchi M., Trotta P., Romero A. A., and Luque R. 2013. Natural porous agar materials from macroalgae. *Carbohydrate Polymers*, 92, 1555–1560.
- Glicksman, M. 1982. *Food Hydrocolloids*. FL: CRC Press Inc.
- Imeson, A. 2010. Food Stabilizers, Thickeners and Gelling Agents, Wiley-Blackwell, Oxford.
- Keisandokht, S., Haddad, N., Garipey, Y., and Orsat, V. 2018. Screening the microwave-assisted extraction of hydrocolloids from *Ocimum basilicum* L. seeds as a novel extraction technique compared with conventional heating-stirring extraction. *Food Hydrocolloids*. 74, 11-22.
- Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S. M. A., Kadkhodae, R., and Milani, J. 2010. Optimization of mucilage extraction from Qodume Shirazi seed (*Alyssum homolocarpum*) using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*. 33(5): 861-882.
- Latufa, Y., Laura, L., Pierre, G., Faiza, F., Archana, B., Olivier, M., Christian Lefebvre, D., Dhanjay, D., and Joël, C. 2017. Ultrasound-assisted extraction and structural characterization by NMR of alginates and carrageenans from seaweeds, *Carbohydrate Polymers*. 166, 55-63.
- Luque-Garcia, J. L., and Luque de Castro, M. D. 2003. Ultrasound: A powerful tool for leaching. *Trends in Analytical Chemistry*. 22(1): 41-47.
- Rafiqzaman S. M., Ahmed R., Lee J. M., Noh G., Jo G., and Kong I-S. 2016. Improved methods for isolation of carrageenan from *Hypnea musciformis* and its antioxidant activity. *Journal of Applied Phycology*. 28(2): 1265–1274.
- Razavi, S. M. A. 2019. Emerging Natural Hydrocolloids: Rheology and Functions. Chichester, England: John Wiley and Sons Ltd.
- Razavi, S. M. A., Cui, S.W., Guo, Q., and Ding, H. 2014. Some physicochemical properties of sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum. *Food Hydrocolloids*. 35, 453-462.

- Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., and Khanipour, E. 2009. Optimization study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.) using response surface methodology. *International Journal of Food Science and Technology*. 44(9): 1755-1762.
- Razavi, S. M. A., and Akbari, R. 2018. Biophysical Properties of Agricultural Products and Food. Mashhad, Iran: Ferdowsi University Publication.
- Sousa A. M. M., Morais S., Abreu M. H., Pereira R., Sousa-Pinto I., Cabrita E. J., Delerue-Matos C., and Goncalves M. P. 2012. Structural, physical, and chemical modifications induced by microwave heating on native agar-like galactans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60(19): 4977-4985.
- Varadarajam S. A., Ramli N., Ariff A., Said M., and Yasir S. M. 2009. Development of high yielding carrageenan extraction method from *Eucheuma cottonii* using cellulose and *Aspergillus niger*. In 'Prosiding Seminar Kimia Bersama UKM-ITB VIII, Bangi, Malaysia' 461-469.
- Vazquez-Delfin E., Robledo D., and Freile-Pelegrin Y. 2014. Microwave-assisted extraction of the carrageenan from *Hypnea musciformis* (*Cystocloniaceae, Rhodophyta*). *Journal of Applied Phycology*. 26(2): 901-907.
- Wang, L., and Weller, C. L. 2006. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and Technology*. 17(6): 300-312.
- Williams, P. A., and Phillips, G. O. 2008. Handbook of Hydrocolloids (Second edition). New York: CRC Press.
- Wu, Y., Cui, S. W., Tang, J., and Gu, X. 2007. Optimization of extraction process of crude polysaccharides from boat-fruited *sterculia* seeds by response surface methodology. *Food Chemistry*. 105(4): 1599-1605.
- Yusaf, T., and Al-Juboori, R. A. 2014. Alternative methods of microorganism disruption for agricultural applications. *Applied Energy*. 114, 909-923.
- Zhang, H. F., Yang, X. H., and Wang, Y. 2011. Microwave assisted extraction of secondary metabolites from plants: Current status and future directions. *Trends in Food Science and Technology*. 22(12): 672-688.
- Zhang, H. F., Yang, X. H., Zhao, L. D., and Wang, Y. 2009. Ultrasonic assisted extraction of epimedin C from fresh leaves of *Epimedium* and extraction mechanism. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 10(1): 54-60.

## Modelling and Optimization of Dry Extraction Conditions of Sage Seed Gum

A. R. Hosseini, S. M. A. Razavi\* and M. Taghizadeh

\* Corresponding Author: Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, P.O.Box: 91775-1163, Mashhad, Iran. Email: s.razavi@um.ac.ir

Received: 14 April 2020, Accepted: 25 December 2020

[http://doi: 10.22092/fooder.2020.342583.1266](http://doi:10.22092/fooder.2020.342583.1266)

### Abstract

In this research, sage seed gum was extracted using the dry method (friction-based) and the extraction conditions was optimized by the response surface method and using the box-Behnken design. Dry extraction method was used to achieve an economical, inexpensive, fast, eco-friendly (green technology), continuous, easy usage and automated method. The independent variables in this research were rotor speed (750, 825, 900 rpm), angle of friction (0, 10, 20 degree) and friction distance or height (1.5, 2, 2.5 mm). The effects of these variables on extraction yield, protein content and apparent viscosity (at a shear rate 46 1/s) were investigated. The results showed that quadratic polynomial models adequately explained the data variation and represented the actual relationship between independent variables and responses. The optimum conditions with maximum extraction yield and apparent viscosity and minimum protein content were achieved when the rotor speed, angle of friction and friction distance were 900 rpm, 6.9 degree, 2.2 mm, respectively. At the optimized conditions, the extraction yield, protein content and apparent viscosity were obtained 10.61%, 7.02%, and 112 mPa.s, respectively.

### Keywords

Apparent viscosity, Green technology, Friction, Seed mucilage