



### بهینه یابی شرایط استخراج صمغ ریشه سریش به روش سطح پاسخ و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه بهینه

مهدی صلاحی<sup>۱</sup>، سید محمد علی رضوی<sup>۲\*</sup>، محمد صادق امیری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۳- استادیار، گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

| اطلاعات مقاله                                   | چکیده   |
|---|---|
| تاریخ های مقاله :                               | صمغ های استخراج شده از منابع مختلف دارای خصوصیات عملکردی و رئولوژیکی متفاوتی نسبت به یکدیگر بوده که شرایط استخراج تأثیر بسزایی بر این خواص دارد. از این رو مطالعه روش استخراج منابع جدید صمغ ها و بهینه یابی آن، با توجه به رفتارهای متفاوت صمغ ها نسبت به یکدیگر، بیش از پیش اهمیت پیدا کرده است. در این پژوهش، بهینه یابی شرایط استخراج گلوکومانان ریشه سریش به عنوان یک منبع جدید هیدروکلوئیدی مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، اثر دما (۸۰-۳۰ درجه سانتی گراد)، نسبت آب به ماده جامد (۱۰۰-۵۰) و زمان (۴-۱ ساعت) بر راندمان استخراج، ویسکوزیته ظاهری و حلالیت با روش سطح پاسخ مدلسازی و بهینه یابی شد. نتایج نشان داد مدل درجه دو بهترین مدل برای توصیف داده ها می باشد. دمای ۷۹ درجه سانتی گراد، نسبت آب به ماده جامد ۹۸/۳ به ۱ و زمان ۳ ساعت و ۱۲ دقیقه بهینه شرایط استخراج به دست آمد. تحت این شرایط، مقدار ویسکوزیته ظاهری ۲۵۰ میلی پاسکال ثانیه، حلالیت ۵۳/۹۹ درصد و راندمان استخراج ۷۲/۴۳ درصد محاسبه شد. نتایج آنالیز ترکیبات شیمیایی نشان داد که نمونه بهینه بر مبنای وزن خشک دارای کربوهیدرات ۸۶/۵۲ درصد، ۶/۲۲ درصد پروتئین، ۶/۱۳ درصد رطوبت و ۴/۱۷ درصد املاح بودند. نتایج آنالیز متوساکاریدها نیز نشان داد صمغ ریشه سریش با نسبت گلوکز به مانوز ۱/۱ به ۱ از خانواده گلوکومانان ها است. |
| تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۵<br>تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۲۵ |   |
| کلمات کلیدی:                                    | استخراج،<br>بهینه یابی،<br>روش سطح پاسخ،<br>ریشه سریش،<br>هیدروکلوئید   |
| DOI: 10.52547/fsct.18.112.153                   |   |
| * مسئول مکاتبات:<br>s.razavi@um.ac.ir           |   |

## ۱- مقدمه

صمغ‌ها از اجزای مؤثر در فرمولاسیون مواد غذایی محسوب می‌شوند که در دهه‌های گذشته نقش اساسی را در صنعت غذا ایفا کرده‌اند. از جمله نقش صمغ‌ها می‌توان به قوام دهنده‌گی، پایدارکننده‌گی، ژل دهنده‌گی، امولسیون کننده‌گی، کف‌کننده‌گی، جلوگیری از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر در مواد غذایی منجمد و ... اشاره کرد [۱]. هیدروکلوئیدها یا صمغ‌ها، از مولکول‌هایی با وزن مولکولی بالا و بلند زنجیر تشکیل شده‌اند، معمولاً با خواص کلوئیدی که دارند، در سیستم‌های آبی و در غلظت‌های کم، دیسپرسیون‌های ویسکوز و یا ژل تشکیل می‌دهند [۲]. امروزه با توجه به خطرات موجود در منابع حیوانی مثل شیوع جنون گاوی، وجود خطرات آلودگی در تأمین هیدروکلوئیدها از منابع سنتزی و میکروارگانیزم‌ها، اهمیت شناسایی و معرفی منابع جدید گیاهی بسیار بیشتر شده است [۳]. در این پژوهش، سریش به‌عنوان منبع جدید هیدروکلوئیدی از گروه مانوگلیکان‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. مانوگلیکان‌ها از اجزای رایج دیواره سلولی گیاهان، زیرشاخه‌ای از پلی‌ساکاریدها هستند؛ و خود به دو دسته گالاکتومانان‌ها<sup>۱</sup> و گلوکومانان‌ها<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. گلوکومانان‌ها شامل قندهای مانوز و گلوکز هستند که از منابع گیاهی مختلف استخراج شده؛ و وجه تمایز آن‌ها نسبت وزن مولکولی گلوکز به مانوز بوده و از سال‌ها پیش توسط انسان‌ها در حوزه‌ی تغذیه و بهداشت استفاده می‌شده است [۴]. یافته‌های علمی نشان می‌دهد که صمغ کنجاک از منابع مهم گلوکومانان‌ها می‌باشد که حاوی ۸۵٪ گلوکومانان می‌باشد. یکی از منابع جدید گلوکومانان‌ها در دنیا ریشه گیاه سریش<sup>۳</sup> است. سریش با نام علمی *Eremurus luteus* از گیاهان ریزوم دار بهار گل متعلق به خانواده آسفودلاسه<sup>۴</sup> است. این جنس شامل ۴۵ گونه در آسیا بوده و در ایران نیز ۷ گونه و ۴ زیرگونه آن شناسایی شده است. پراکنده‌گی جغرافیایی آن به‌طور عمده شامل

کشورهای ترکیه، فلسطین، لبنان، سوریه، عراق، پاکستان، افغانستان، ایران و قفقاز می‌باشد. در ایران نیز در مناطقی مانند خراسان، مریوان، دماوند، خمین، دشت کرج و کرمانشاه قابل رویش می‌باشد [۶ و ۵]. گیاه سریش دارای ریشه‌های کلفت، گوشتی و بلند می‌باشد. فصل گلدهی آن‌ها با توجه به گونه مورد نظر از اول فروردین شروع شده و تا اواخر اردیبهشت ادامه دارد. بلافاصله بعد از گلدهی، تبدیل به میوه می‌شود. فصل برداشت ریشه از اواخر خرداد شروع شده و تا دو ماه ادامه پیدا می‌کند [۷]. گیاه سریش از جمله گیاهانی است که سال‌های متعددی در صنعت و طب سنتی استفاده شده است. از دانه‌های این گیاه، روغنی گرفته می‌شود که در طب سنتی برای درمان تصلب شریان‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. از برگ‌های این گیاه به‌عنوان سبزی خوردنی و از ریشه‌های این گیاه که به‌صورت غدد پنجه‌ای است به‌عنوان چسب استفاده می‌شود [۵].

روش آبی همواره به‌عنوان متداول‌ترین روش استخراج صمغ‌ها مورد استفاده بوده است [۸-۱۰]. با توجه به تأثیر گزار بودن فرآیند استخراج بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی صمغ‌ها نیاز است که فاکتورهای مؤثر در حین استخراج (دمای استخراج، زمان استخراج، نسبت آب به ماده جامد، سرعت همزدن و ...) شناسایی شده و با اعمال این تیمارها به نقطه بهینه تولید صمغ دست یافت. پژوهش‌های متعددی درباره بهینه‌یابی استخراج صمغ‌های بومی ایران به روش سطح پاسخ<sup>۵</sup> انتشار یافته است؛ برای مثال؛ بهینه یابی استخراج صمغ دانه شاهی [۱۱]. صمغ قدومه شهری [۱۲]، صمغ دانه ریحان [۱۳]، صمغ دانه مرو [۱۴]، موسیلاژ دانه خاکشیر [۱۵]، گالاکتومانان سوبابل [۱۶] و ژلاتین پوست گربه ماهی [۱۷] از جمله این پژوهش‌ها می‌باشند. گالالی خوانی و همکاران (۲۰۱۴) در بهینه یابی شرایط استخراج موسیلاژ از دانه خاکشیر دریافتند که دمای ۹۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲/۹ ساعت با نسبت آب به ماده جامد ۴۴/۲ در pH برابر ۷/۵، نقطه بهینه استخراج می‌باشد [۱۵]. میتال و همکاران (۲۰۱۶) بهینه یابی استخراج گالاکتومانان سوبابل (راسته

1. Galactoglucomannans (GGM)
2. Glucomannans
3. *Eremurus*
4. Asphodelaceae

5. Response surface Methodology

آب مقطر داخل بشر بر روی همزن مغناطیسی به دمای موردنظر رسیده شده و به آرامی پودر ریشه سریش اضافه شد. بعد از سپری شدن زمان استخراج تعیین شده، مواد جامد نمونه‌ها توسط سانتریفیوژ با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه جدا شد و شیرابه حاصل در داخل آون دارای جریان هوا در دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد خشک شده و توسط آسیاب گلوله‌ای<sup>۶</sup> پودر شد و بعد از الک کردن با مش ۷۰ درون ظروف مخصوص ریخته شد و برای انجام آزمون‌های بعدی داخل در محیط سرد و خشک نگهداری گردید.

### ۲-۳- اندازه‌گیری راندمان استخراج

راندمان استخراج در دو تکرار با توزین پودر سریش و پودر صمغ استخراج شده و براساس معادله ذیل تعیین شد [۱۳].

$$\text{راندمان} = \frac{b}{a} \times 100$$

که  $a$  برابر وزن پودر ریشه سریش قبل از استخراج صمغ و  $b$  مقدار وزن پودر صمغ استخراج شده است.

### ۲-۴- اندازه‌گیری ویسکوزیته

برای تعیین خواص رئولوژیکی نمونه‌ها، محلول ۱/۵ صمغ ریشه سریش درصد تهیه شد و برای جذب کامل آب به مدت ۱۲ ساعت بر روی مخلوط کن غلطکی و ۱۲ ساعت داخل یخچال قرار داده شد. سپس رفتار جریان (تنش برشی-درجه برشی) نمونه‌ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی بوهلین در دامنه درجه برش ۱۴ تا ۶۰۰ بر ثانیه و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها در درجه برش ۵۰ بر ثانیه با استفاده از نرم افزار دستگاه تعیین شد [۱۸].

### ۲-۵- تعیین حلالیت

۲۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون (۰/۵ درصد وزنی/وزنی) صمغ تهیه و به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به صورت مداوم هم زده شد. در ادامه به مدت ۱۵ دقیقه و با دور  $g$  ۸۰۰ سانتریفیوژ شد سپس مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از محلول بالایی جمع‌آوری و داخل پلیت ریخته شد و در آون با دمای ۱۰۰ درجه

باقلاسانان) را انجام دادند. آنها اثر افزودن NaOH و MCA، اثر دما و زمان را بر روی راندمان استخراج و حلالیت مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج با افزایش pH از ۱/۲ به ۱۰ درصد حلالیت نیز افزایش پیدا کرد [۱۶]. محمودانی و همکاران (۲۰۱۴) بهینه یابی استخراج ژلاتین پوست نوع گربه ماهی را بررسی کردند. آنها اثرات دمای استخراج (۸۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان (۴-۲ ساعت) را به عنوان متغیرهای مستقل تحقیق بر ویسکوزیته ظاهری و راندمان استخراج به عنوان متغیرهای پاسخ را مطالعه کردند. در این تحقیق، شرایط بهینه استخراج ۶۳/۷ درجه سانتی‌گراد با ۲/۴۱ ساعت گزارش شد [۱۷]. بررسی منابع علمی نشان می‌دهد تاکنون بهینه یابی استخراج صمغ ریشه سریش انجام نشده است. بنابراین در این پژوهش، برای دستیابی به حداکثر راندمان استخراج، حلالیت و ویسکوزیته، عمل بهینه‌یابی با روش سطح پاسخ به‌عنوان تابعی از شرایط استخراج (نسبت آب به ماده جامد، دما و زمان) انجام شده است. سپس برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه بهینه شامل میزان رطوبت، کربوهیدرات کل، پروتئین، خاکستر، آنالیز منوساکاریدها تعیین شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها

ریشه گیاه سریش از بازار مشهد خریداری شد. ریشه خریداری شده بعد از حذف ناخالصی‌های فیزیکی (همانند سنگ ریزه‌ها، ریشه مابقی گیاهان و خاشاک)، توسط آسیاب خرد شده و از الک با مش ۷۰ برای یکسان‌سازی اندازه ذرات گذرانده شد و در شیشه‌های مخصوص تا روز آزمایش در دمای محیط نگهداری شد.

### ۲-۲- استخراج آبی صمغ ریشه سریش:

برای استخراج صمغ ریشه سریش؛ متغیرهای دمای استخراج (۸۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان استخراج (۴-۱ ساعت) و نسبت آب به ماده جامد (۱/۱۰۰-۱/۵۰ وزنی/وزنی) مورد بررسی قرار گرفت. ناخالصی‌های شیمیایی مانند: رنگ، چربی و قندهای ساده توسط اتانول ۸۵ درصد در دمای جوش حذف شد. در مرحله بعد

6. Ball mill

### ۲-۶-۳- اندازه گیری pH

محلول ۰/۵ درصد صمغ ریشه سریش با استفاده از همزن مغناطیسی تهیه شد و pH آن توسط pH متر در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در دو تکرار اندازه گیری شد.

### ۲-۷- طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، برای مدلسازی و بهینه یابی اثر متغیرهای مستقل استخراج شامل دما (۸۰-۳۰ درجه سانتی گراد)، زمان (۴-۱ ساعت) و نسبت آب به ماده جامد (۱۰۰-۵۰ وزنی/وزنی) بر متغیرهای پاسخ شامل ویسکوزیته ظاهری، راندمان استخراج و حلالیت از روش سطح پاسخ<sup>۸</sup> (RSM) و طرح مرکب مرکزی<sup>۹</sup> (CCD) استفاده شد و نتایج با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت (۱۰) تجزیه و تحلیل گردید. در این طرح آزمایشی مطابق جدول (۱) سه متغیر مستقل؛ دما، زمان و نسبت آب به ماده جامد به صورت سه نقطه حداکثر، میانی و حداقل تعریف شدند. شایان ذکر است در این پژوهش، مقادیر حداقل و حداکثر هر فاکتور براساس بررسی منابع و با انجام آزمون های مقدماتی تعیین شدند.

**Table 1** Independent variables and their levels used in the response surface design of Serish roots gum extraction

| Independent variables | Unite | Coded factor level |     |     |
|-----------------------|-------|--------------------|-----|-----|
|                       |       | -1                 | 0   | +1  |
| Time (A)              | h     | 1                  | 2.5 | 4   |
| Temperature (B)       | °C    | 30                 | 55  | 80  |
| Water: solid (C)      | g/g   | 50                 | 75  | 100 |

همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود؛ توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت و در قالب طرح مرکب مرکزی ۲۰ نقطه آزمایشی پیشنهاد شده است که ۶ نقطه مرکزی جهت نشان دادن تکرار پذیری وجود دارد. شایان ذکر است که هر آزمون<sup>۱۰</sup> براساس پیشنهاد نرم افزار و بصورت تصادفی انجام شد.

سانتی گراد طی ۳ ساعت خشک شد. در نهایت میزان حلالیت از رابطه زیر محاسبه شد [۱۹].

$$\% \text{ حلالیت} = \frac{\text{وزن موسیلاژ خشک شده}}{\text{وزن موسیلاژ مورد استفاده در تهیه سوسپانسیون}} \times 100$$

وزن موسیلاژ مورد استفاده در تهیه سوسپانسیون

### ۲-۶- تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه

#### بهینه

#### ۲-۶-۱- مقدار رطوبت، خاکستر، پروتئین و کربوهیدرات

#### کل

مقدار خاکستر، رطوبت و پروتئین بر مبنای روش های استاندارد AOAC اندازه گیری شد. کربوهیدرات کل با استفاده از روش فنل سولفوریک اسید اندازه گیری شد [۸].

#### ۲-۶-۲- آنالیز منو ساکاریدها

آنالیز قندی صمغ ریشه سریش بعد از خالص سازی به روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا و در فشار بالا<sup>۷</sup> انجام شد. مرحله خالص سازی با ته نشینی توسط اتانول ۹۶ درصد انجام شد و بعد از جدا کردن رشته های سفید پلی ساکاریدی؛ در آب دیونیزه حل شده و در آون با جریان هوا در دمای ۳۶ درجه سانتی گراد خشک شد. برای آنالیز قندها، ۱۰ میلی گرم از پودر صمغ خشک شده با افزودن ۲ میلی لیتر اسیدسولفوریک یک مولار به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد هیدرولیز شد. برای حذف اسید نمونه ها به مدت ۴ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد تحت یک اوپراتور چرخان قرار داده شد. در مرحله بعد ۱ میلی لیتر آب دیونیزه به نمونه ها اضافه شده و به وسیله حمام اولتراسوند گاز حذف شد. نمونه حاصل به یک دستگاه HPLC فشار بالا با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و دبی گاز نیتروژن ۲ لیتر در دقیقه تزریق شد. فاز متحرک شامل مخلوط ۷۵ به ۲۵ استونیتریل-آب در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود. قندهای استاندارد مورد استفاده شامل گلوکز، گالاکتوز، مانوز، فروکتوز، فوکوز، گالاکتورونیک اسید بودند.

8. Response Surface Methodology  
9. Central composite design  
10. Run

7. High pressure HPLC

**Table 2** Central composite design applied for the independent variables in Serish roots gum extraction

| Standard order | Standard run | Temperature (°C) | Time (h) | Water: solid (g/g) |
|----------------|--------------|------------------|----------|--------------------|
| 1              | 4            | 80               | 2.5      | 75                 |
| 2              | 11           | 30               | 4        | 50                 |
| 3              | 14           | 80               | 1        | 50                 |
| 4              | 15           | 30               | 4        | 100                |
| 5              | 9            | 30               | 1        | 50                 |
| 6              | 20           | 30               | 1        | 100                |
| 7              | 7            | 80               | 4        | 100                |
| 8              | 8            | 55               | 2.5      | 50                 |
| 9              | 16           | 55               | 2.5      | 75                 |
| 10             | 2            | 55               | 4        | 75                 |
| 11             | 18           | 55               | 2.5      | 75                 |
| 12             | 13           | 55               | 2.5      | 75                 |
| 13             | 1            | 55               | 2.5      | 75                 |
| 14             | 10           | 55               | 1        | 75                 |
| 15             | 19           | 55               | 2.5      | 75                 |
| 16             | 17           | 55               | 2.5      | 75                 |
| 17             | 5            | 80               | 1        | 100                |
| 18             | 3            | 30               | 2.5      | 75                 |
| 19             | 6            | 80               | 4        | 50                 |
| 20             | 12           | 55               | 2.5      | 100                |

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- آنالیز واریانس و برازش مدل

نتایج آنالیز واریانس مدل‌های برازش یافته در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود براساس مقدار P مدل درجه دوم برای هر سه متغیر پاسخ در سطح آماری ۰.۰۵٪ معنی دار شده است اگرچه مدل خطی برای توصیف پاسخ‌های راندمان و حلالیت نیز مناسب بوده است. در جدول (۴) نتایج آنالیز واریانس و ضرایب رگرسیون مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای پاسخ‌ها و پیش‌بینی نتایج آزمایشگاهی براساس شاخص‌های مختلف مثل مقدار P، مقدار F، ضریب تبیین ( $R^2$ )، ضریب تبیین اصلاح شده ( $R^2_{adjusted}$ )، عدم برازش<sup>۱۱</sup> و ضریب تغییرات (C.V.)<sup>۱۲</sup> آورده شده است. ملاحظه می‌شود ضریب تبیین مدل درجه دوم برای پاسخ ویسکوزیته، راندمان و حلالیت به ترتیب ۹۵/۳۲، ۹۷/۹۱ و ۹۲/۲۵ به دست آمد که نشانگر برازش مورد اعتماد داده‌های

11. Lack of fit  
12. Coefficient of variation

آزمایشی بر روی مدل انتخاب شده است. بطور معمول ضریب تبیین بالای ۸۰ مورد قبول است [۲۰]، ولی مقدار بالای ضریب تبیین به تنهایی نمی‌تواند دلیل بر مناسب بودن مدل باشد بنابراین از ضریب تبیین اصلاح شده نیز استفاده می‌شود. ضریب تبیین اصلاح شده به ترتیب برای ویسکوزیته، راندمان استخراج و حلالیت ۹۰/۴۴، ۹۵/۶۸ و ۸۵/۲۷ به دست آمد. ضریب تغییرات در تمامی مدل‌ها کمتر از ۱۰ به دست آمد. ضریب تغییرات (CV) یک مدل عبارت از نسبت جذر مجموع مربعات خطا به میانگین متغیر وابسته یا پاسخ و بیانگر میزان پراکنش داده هاست. مقدار کم ضریب تغییرات، بخصوص کمتر از ۱۰ درصد، نشانگر برازش بهتر مدل و کوچک بودن مقادیر باقی مانده نسبت به مقادیر مدل و نزدیکی مقادیر به دست آمده نسبت به مقادیر مدل برازش یافته است. مقادیر بالای ضریب تغییرات نشان می‌دهد که تغییرات در مقادیر میانگین به قدری بالاست که نمی‌توان به نتایج برازش مدل اعتماد کرد. فاکتور عدم برازش شاخص دیگری است که معنی دار نبودن آن در سطح آماری ۰.۰۵٪ نشان دهنده مناسب بودن مدل درجه دوم برای هر سه پاسخ بوده است (جدول ۴).

**Table 1** Analysis of variance for the fitted models to the response variables of Serish roots gum extraction

| Source           | Viscosity(mPas) |               |             |         |         | Extraction yield(%) |               |             |         |         | Solubility |               |             |         |         |
|------------------|-----------------|---------------|-------------|---------|---------|---------------------|---------------|-------------|---------|---------|------------|---------------|-------------|---------|---------|
|                  | DF              | Sum of square | Mean Square | F-Value | p-value | DF                  | Sum of square | Mean Square | F-Value | p-value | DF         | Sum of square | Mean Square | F-Value | p-value |
| mean             | 1               | 0.4           | 0.4         | -       | -       | 1                   | 83867         | 8386        | -       | -       | 1          | 44622         | 44622       | -       | -       |
| <b>Linear</b>    | 2               | 0.0093        | 0.0031      | 0.52    | 0.6765  | 3                   | 72.82         | 24.37       | 21.42   | <0.0001 | 3          | 148.38        | 49.46       | 12.46   | 0.0002  |
| <b>2FI</b>       | 3               | 0.022         | 0.0072      | 1.29    | 0.3268  | 3                   | 10.68         | 3.56        | 7.55    | 0.0051  | 3          | 15.26         | 5.09        | 1.37    | 0.2952  |
| <b>Quadratic</b> | 3               | 0.058         | 0.019       | 35.24   | <0.0001 | 3                   | 3.38          | 1.13        | 5       | 0.0305  | 3          | 31.81         | 10.6        | 6.45    | 0.0105  |
| <b>Cubic</b>     | 3               | 0.003         | 0.001       | 3.78    | 0.093   | 3                   | 0.6           | 0.2         | 0.83    | 0.5319  | 4          | 6.13          | 1.53        | 0.89    | 0.5225  |
| Residual         | 5               | 0.0013        | 0.0002      | -       | -       | 5                   | 12            | 0.24        | -       | -       | 6          | 10.3          | 1.72        | -       | -       |
| Total            | 18              | 0.49          | 0.027       | -       | -       | 18                  | 83956         | 4664        | -       | -       | 20         | 44834         | 2241        | -       | -       |

**Table 2** ANOVA and regression coefficients of the second-order polynomial model for the response variables of Serish roots gum extraction

| Source             | Viscosity(mPas) |               |             |         |         | Extraction yield(%) |               |             |         |         | Solubility |               |             |         |         |
|--------------------|-----------------|---------------|-------------|---------|---------|---------------------|---------------|-------------|---------|---------|------------|---------------|-------------|---------|---------|
|                    | DF              | Sum of square | Mean Square | F-Value | p-value | DF                  | Sum of square | Mean Square | F-Value | p-value | DF         | Sum of square | Mean Square | F-Value | p-value |
| Model              | 9               | 0.089         | 0.0098      | 18.09   | 0.0002  | 9                   | 86.88         | 9.65        | 42.83   | <0.0001 | 9          |               |             |         |         |
| <b>Linear</b>      |                 |               |             |         |         |                     |               |             |         |         |            |               |             |         |         |
| A                  | 1               | 0.0091        | 0.0091      | 16.72   | 0.0035  | 1                   | 35.01         | 35.01       | 155.23  | <0.0001 | 1          | 3.82          | 3.82        | 2.33    | 0.1582  |
| B                  | 1               | 0.0013        | 0.0013      | 2.53    | 0.1506  | 1                   | 0.4           | 0.4         | 1.76    | 0.2209  | 1          | 235.87        | 235.87      | 82.7    | <0.0001 |
| C                  | 1               | 0.00046       | 0.00046     | 0.86    | 0.3818  | 1                   | 37.59         | 37.59       | 166.8   | <0.0001 | 1          | 8.69          | 8.69        | 5.29    | 0.0443  |
| <b>Interaction</b> |                 |               |             |         |         |                     |               |             |         |         |            |               |             |         |         |
| AB                 | 1               | 0.031         | 0.031       | 56.58   | <0.0001 | 1                   | 0.0025        | 0.0025      | 0.011   | 0.9183  | 1          | 8.51          | 8.51        | 5.18    | 0.046   |
| AC                 | 1               | 0.023         | 0.023       | 41.7    | 0.0002  | 1                   | 5.08          | 5.08        | 22.52   | 0.0015  | 1          | 0.87          | 0.87        | 0.53    | 0.4832  |
| BC                 | 1               | 0.025         | 0.025       | 45.76   | 0.0001  | 1                   | 6.87          | 6.87        | 30.49   | 0.0006  | 1          | 5.88          | 5.88        | 3.58    | 0.0877  |
| <b>Quadratic</b>   |                 |               |             |         |         |                     |               |             |         |         |            |               |             |         |         |
| A <sup>2</sup>     | 1               | 0.03          | 0.03        | 55.26   | <0.0001 | 1                   | 0.28          | 0.28        | 1.24    | 0.2983  | 1          | 21.24         | 21.24       | 12.93   | 0.0049  |
| B <sup>2</sup>     | 1               | 0.0068        | 0.0068      | 12.58   | 0.0075  | 1                   | 2.25          | 2.25        | 9.98    | 0.0134  | 1          | 19.62         | 19.62       | 11.94   | 0.0062  |
| C <sup>2</sup>     | 1               | 0.042         | 0.042       | 21.76   | <0.0001 | 1                   | 2.69          | 2.69        | 11.94   | 0.0086  | 1          | 1.38          | 1.38        | 0.84    | 0.3802  |
| Residual           | 8               | 0.0043        | 0.00054     | -       | -       | 8                   | 1.8           | 0.23        | -       | -       | 10         | 1.64          | 1.64        | -       | -       |
| Lack of fit        | 3               | 0.003         | 0.0013      | 3.78    | 0.093   | 3                   | 0.6           | 0.2         | 0.83    | 0.5319  | 5          | 13.47         | 2.69        | 4.56    | 0.0608  |
| Pure error         | 5               | 0.0013        | 0.00026     | -       | -       | 5                   | 1.2           | 0.24        | -       | -       | 5          | 2.96          | 0.59        | -       | -       |
| Total              | 17              | 0.093         | -           | -       | -       | 17                  | 88.68         | -           | -       | -       | 19         | 211.88        | -           | -       | -       |
| R <sup>2</sup>     |                 |               | 0.95        |         |         |                     |               | 0.97        |         |         |            |               | 0.92        |         |         |
| Adjusted R-Squared |                 |               | 0.98        |         |         |                     |               | 0.95        |         |         |            |               | 0.85        |         |         |
| CV.%               |                 |               | 98          |         |         |                     |               | 0.7         |         |         |            |               | 2.71        |         |         |

### ۳-۲- راندمان استخراج

معنی دار ( $p < 0.05$ ) بود. مدل پیشگویی راندمان استخراج بعنوان

تابعی از متغیرهای مستقل بصورت معادله (۱) بدست آمده است:

$$Y = 68.11 + 2.3A + 0.27B + A^2 1.19BC - 0.36$$

تغییرات راندمان استخراج در برابر زمان، دما و نسبت آب به ماده

جامد در شکل (۱) آورده شده است. همان طور که مشاهده می-

نتایج حاصل آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم راندمان استخراج

نشان داد که اثرات خطی زمان و نسبت آب به ماده جامد بسیار

معنی دار ( $p < 0.01$ ) بود (جدول ۴). در مورد اثرات متقابل نیز

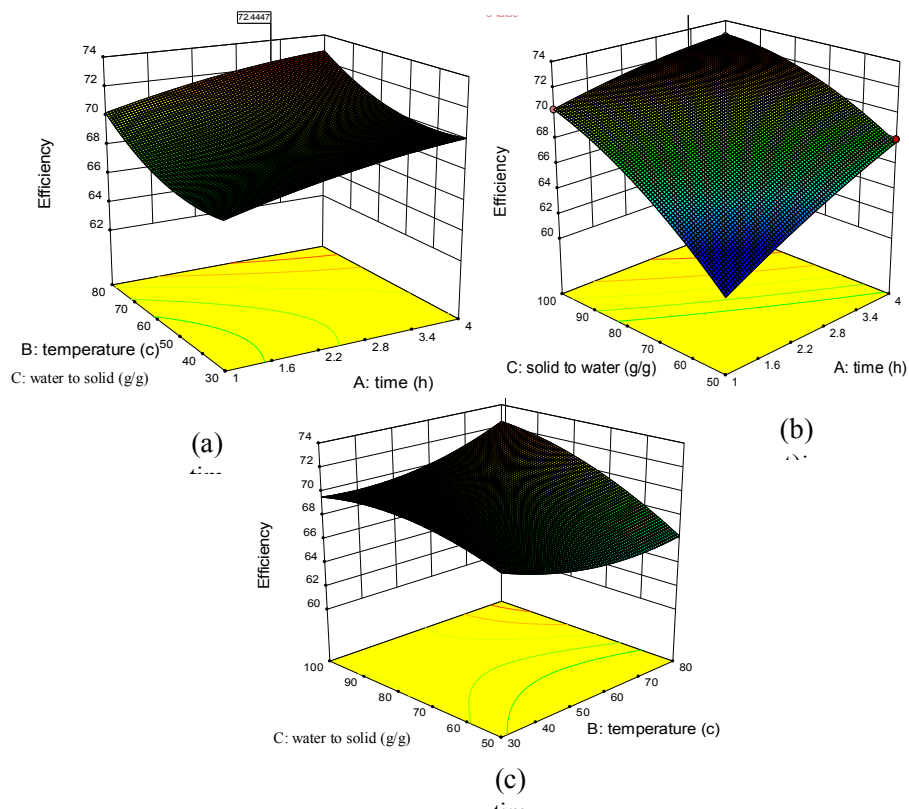
اثر متقابل دما - نسبت آب به ماده جامد و متقابل زمان - نسبت

آب به ماده جامد بسیار معنی دار ( $p < 0.01$ ) می باشد. اثرات درجه

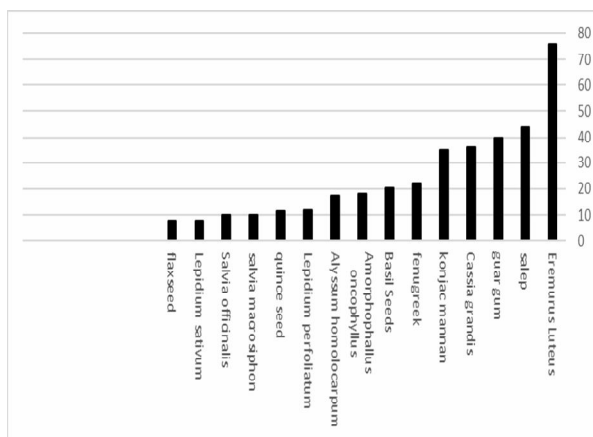
دو نسبت آب به ماده جامد بسیار معنی دار ( $p < 0.01$ ) و دما

جامد و دما نشان داده شده است. با توجه به نمودار در دمای بیشینه ۸۰ درجه سانتی گراد، با افزایش نسبت آب به ماده جامد، راندمان استخراج افزایش یافته است، درحالی که در دماهای پایین، افزایش نسبت آب به ماده جامد تاثیر معنی داری بر راندمان استخراج نداشته است. دلیل آن می‌تواند چسبندگی صمغ ریشه سریش باشد که در دماهای پایین با وجود اینکه آب بیشتری اضافه می‌شود چسبندگی بالا مانع از افزایش راندمان استخراج می‌شود. برونو و همکاران (۲۰۱۵)، بهینه یابی استخراج موسیلاژ دانه چیا را انجام دادند و کاربرد آن در بستنی را بررسی کردند [۲۵]. آنها گزارش دادند که اثر دما (۳۰-۸۰ درجه سانتی گراد) و زمان (۲-۴ ساعت) بر راندمان استخراج معنی دار بوده و با افزایش هر دو پارامتر راندمان استخراج افزایش پیدا می‌کند [۲۵]. دهقان و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه بهینه یابی استخراج صمغ دانه به با کمک فراصوت به روش سطح پاسخ دریافتند با افزایش دما راندمان استخراج افزایش و ویسکوزیته ظاهری کاهش پیدا می‌کند [۲۶]. در تحقیق دیگری توسط یانگ و همکاران (۲۰۱۹) مشخص شد با افزایش زمان و دمای استخراج، راندمان استخراج پکتین از تغاله سیب زمینی به طور معنی داری افزایش پیدا می‌کند [۲۷]. زمانی و همکاران (۲۰۲۰) بهینه یابی استخراج دانه انجره با استفاده از روش سطح پاسخ را انجام دادند و نتیجه گرفتند با افزایش دما راندمان استخراج افزایش پیدا می‌کند [۲۸]. در تحقیق حاضر با توجه به شکل (۱) می‌توان دریافت تغییرات دمایی در نسبت آب به ماده جامد بالا (۱:۱۰۰ وزنی/وزنی) تأثیر زیادی بر راندمان استخراج داشته است. همچنین در نمودارهای سطح پاسخ مشخص است که با افزایش زمان استخراج نیز راندمان افزایش یافته است. دلیل آن احتمالاً داشتن فرصت کافی حلال برای حل شدن هیدروکلوئیدها بوده است، البته ورود ناخالصی های بیشتر در بازه زمانی طولانی نیز می‌تواند دلیل افزایش راندمان استخراج باشد.

شود در این تحقیق دامنه راندمان استخراج هیدروکلوئید از ریشه سریش ۶۳/۱۶ تا ۷۲/۶۶ درصد بوده است. شکل (a-۱) نشان می‌دهد با افزایش نسبت آب به ماده جامد، راندمان استخراج افزایش پیدا کرده است. کوچکی و همکاران (۲۰۰۹) نیز نتیجه مشابهی را برای راندمان استخراج صمغ دانه قدومه شیرازی گزارش کردند. دلیل احتمالی افزایش راندمان، کاهش چسبندگی موسیلاژ در حضور آب بیشتر و در نتیجه استخراج راحت‌تر عنوان شد [۱۸]. کارژیان و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند افزایش نسبت آب به دانه شاهی تا نسبت ۱ به ۴۵ باعث افزایش راندمان استخراج شد. آنها دلیل افزایش را در دسترس بودن حلال به مقدار لازم و افزایش نیروی مورد نیاز جهت انتقال جرم مشخصی از پلی‌ساکارید عنوان کردند. ولی با افزایش بیشتر نسبت آب به دانه تا ۱ به ۶۰، راندمان استخراج روند کاهشی را در پی داشت [۱۱]. در شکل (a-۱)، اثرات زمان استخراج و نسبت آب به ماده جامد بر راندمان استخراج مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت آب به ماده جامد در تمامی زمان‌ها، راندمان استخراج افزایش پیدا کرده است، البته این افزایش در زمان ۱ ساعت بیشتر است. دلیل آن می‌تواند این باشد که در زمان‌های کم برای استخراج هیدروکلوئید به آب بیشتری نیاز است تا سریعتر عمل نفوذ و استخراج انجام شود ولی با افزایش زمان به ۴ ساعت، مقدار آب تأثیر زیادی بر راندمان ندارد چون زمان کافی برای نفوذ آب و استخراج هیدروکلوئید وجود دارد. در شکل (b-۱)، اثرات دما و زمان بر راندمان استخراج نشان داده شده است. افزایش دما از ۳۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد و افزایش زمان از ۱ تا ۴ ساعت باعث افزایش راندمان استخراج شده است. دلیل آن می‌تواند کاهش ویسکوزیته هیدروکلوئید در دمای بالا و افزایش حلالیت آن باشد [۱۸]. از طرفی استخراج در دماهای بالا باعث افزایش سرعت انتقال جرم هیدروکلوئید در آب می‌شود. محققان نتایج مشابهی را در این زمینه گزارش کردند [۲۴-۲۱ و ۱۸]. در شکل (c-۱)، اثرات متقابل نسبت آب به ماده



**Fig 1** Response surfaces plotted for the effect of independent variables of Serish roots gum extraction on the Extraction yield (%): a) time-water to solid ratio, b) time-temperature, c) temperature-water to solid ratio



**Fig 2** Comparison of gum extraction yield from different plant sources

### ۳-۳- ویکوزیته ظاهری

با بررسی جدول آنالیز واریانس (جدول شماره ۴) مشاهده می شود که اثر شرایط استخراج و دما بر ویکوزیته ظاهری معنی دار ( $p < 0.05$ ) و اثر زمان و اثرات متقابل هر سه فاکتور بسیار معنی

مطالعات مشابه در خصوص راندمان استخراج گلوکومانان ها و گالاتومانان ها از منابع گیاهی در شکل (۲) نشان داده شده است. مشاهده می شود که راندمان استخراج موسیلاژ بذر کتان ۷/۹ درصد [۲۳]، دانه شاهی ۶/۴۶ درصد [۱۱]، دانه مرو ۱۰/۱ درصد [۱۴]، دانه به ۱۱/۵۸ درصد [۲۹]، دانه ریحان ۲۰ درصد [۱۳]، آرد کنجاک ۳۵ درصد [۳۰]، دانه قدومه شیرازی ۱۷ درصد [۱۸]، دانه شنبلله ۲۲ درصد [۳۱]، ریشه ثعلب ۴۴ درصد [۳۲]، گل سنا ۳۶ درصد [۳۳]، و پورنگ ۱۸ درصد [۳۴] گزارش شده است. مقایسه راندمان استخراج بسیار بالای گلوکومانان ریشه سریش با راندمان استخراج سایر منابع صمغ ها نشان می دهد که ریشه سریش منبع بسیار ارزشمندی برای استخراج صمغ در مقیاس تجاری است.



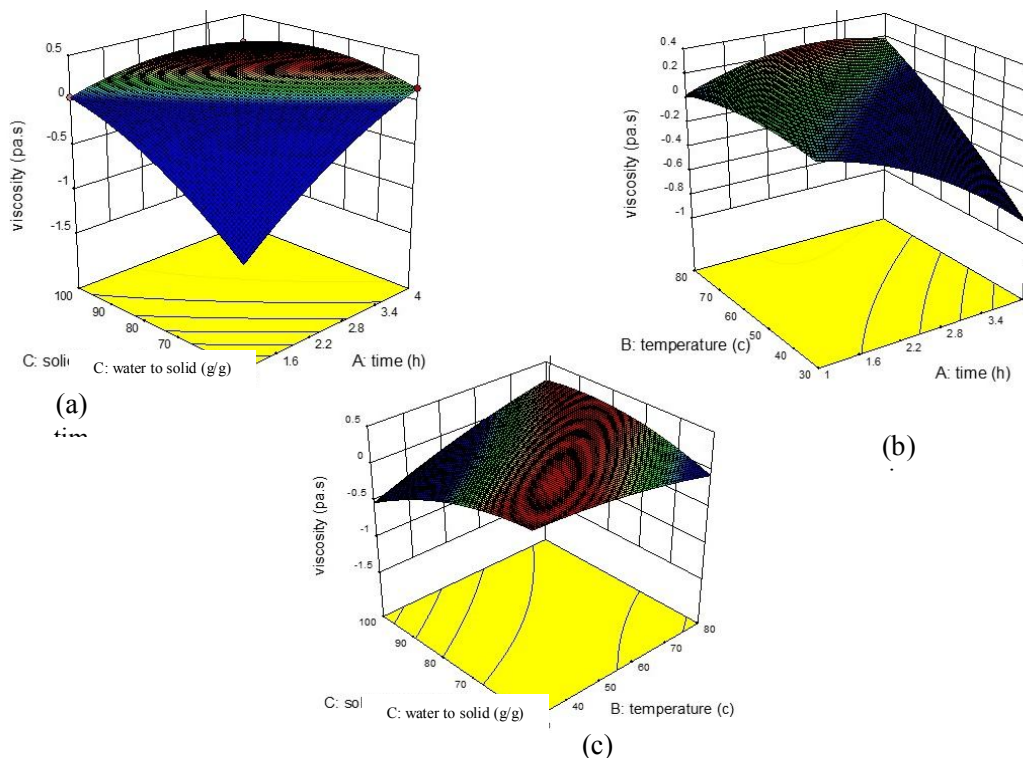
برابر  $250-31 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  می باشد. شکل (۳-ا) نشان می دهد با افزایش نسبت آب به ماده جامد از ۱:۵۰ به ۱:۱۰۰، ویسکوزیته ظاهری افزایش یافته است. دلیل این موضوع می تواند خروج بیشتر مواد صمغی از ریشه سریش در غلظت های پایین باشد. البته با افزایش نسبت آب به ماده جامد و دما، کاهش ویسکوزیته محلول استخراج حین سانتریفیوژ کردن را شاهد بودیم که باعث حذف راحت تر ناخالصی های معلق جامد از داخل شیرابه شده و در نهایت احتمالاً خلوص و ویسکوزیته بیشتر صمغ استخراجی را به دنبال داشته است.

دار بوده است ( $p < 0.01$ )، ولی نسبت آب به ماده جامد به تنهایی اثر معنی داری نداشت ( $p > 0.05$ ). مدل پیشگویی ویسکوزیته ظاهری صمغ ریشه سریش بعنوان تابعی از متغیرهای مستقل بصورت معادله (۲) بدست آمده است:

$$Y = 0.27AB - B^2 + 0.068 - 0.17C^2 + \quad (2)$$

$$Y = 0.23 + 0.58A - A^2 - 0.20AC + 0.21BC - 0.14 \\ 0.035B + 0.0013C$$

تغییرات ویسکوزیته ظاهری، در مقابل متغیرهای دما، زمان و نسبت آب به جامد در شکل (۳) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود دامنه تغییرات ویسکوزیته ظاهری محلول  $1/5$  صمغ ریشه سریش در دمای  $25^\circ\text{C}$  و درجه برش  $50 \text{ s}^{-1}$



**Fig 3** Response surface plotted for the effect of independent variables of Serish roots gum extraction on the apparent viscosity: a) time-water to solid ratio, b) time-temperature, c) temperature-water to solid ratio

های غیر پلی ساکاریدی به همراه صمغ در حین استخراج گزارش شد [۱۴]. در شکل (۳-ب)، اثر متقابل دما (۳۰-۸۰ درجه سانتی-گراد) و زمان (۱-۴ ساعت) نشان داده شده است. نکته جالبی که وجود دارد افزایش زمان در دماهای پایین (۳۰ درجه سانتی-گراد) باعث کاهش ویسکوزیته شده است در حالی که در دماهای بالاتر

همان طور که در شکل (۳-ا) مشخص است با افزایش زمان در نسبت آب به ماده جامد پایین، افزایش بیشتری را در ویسکوزیته شاهد هستیم. در یک تحقیق دیگر نتیجه عکس مشاهده شد، بطوری که با افزایش نسبت آب به دانه، ویسکوزیته ظاهری محلول صمغ دانه مرو کاهش یافت که دلیل آن ورود ناخالصی

## ۳-۴- حلالیت

با ملاحظه نتایج آنالیز رگرسیون مدل درجه دوم حلالیت در جدول (۴) می‌توان دریافت که اثر دما بر حلالیت بسیار معنی‌دار ( $p < 0.01$ ) و اثر نسبت آب به ماده جامد معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بود، ولی زمان استخراج تأثیر معنی‌دار بر حلالیت نداشت ( $p > 0.05$ ). همچنین اثرات متقابل زمان - دما، اثر متقابل دما - نسبت آب به ماده جامد و اثرات درجه دوم زمان و دما معنی‌دار بودند ( $p < 0.05$ )، ولی اثر درجه دوم نسبت آب به ماده جامد بی‌معنی شد. بطور کلی اثر متغیرها بر روی حلالیت نشان داد که به ترتیب دما بیشترین اثر و زمان کمترین اثر را داشت. مدل پیشگویی حلالیت صمغ ریشه سریش در آب بعنوان تابعی از متغیرهای مستقل بصورت معادله (۳) بدست آمده است:

$$Y = 46.93 + 0.62A + 0.33AC - 0.86BC - 2.783.69B + 0.93C + 1.03AB - B^2 + 2.67C^2 + 0.71 \quad (3)$$

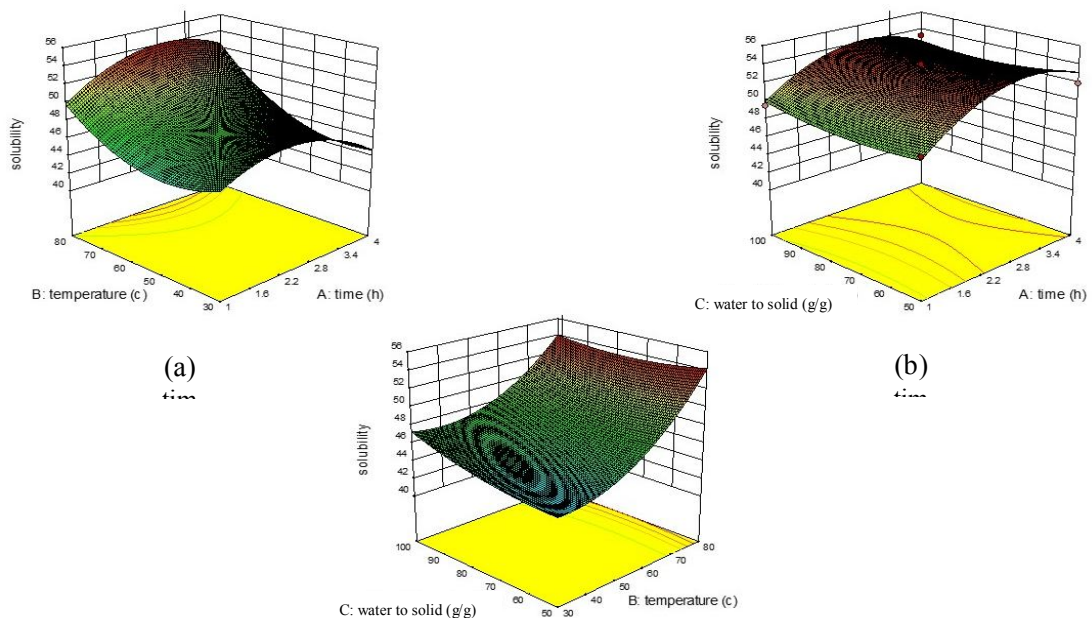
برخی از هیدروکلئیدها برای اینکه حداکثر خواص عملکردی خود را نشان دهند، باید به طور کامل در آب حل شوند. اندازه ذرات پودر صمغ یکی از عوامل مهمی است که بر حلالیت تأثیرگذار است. قاعده کلی این است که ذرات بزرگ‌تر (اندازه مش بزرگتر به‌عنوان مثال از مش ۴۰ تا ۸۰) مدت زمان بیشتری نیاز دارند تا حل شوند زیرا آب مدت زمان بیشتری نیاز دارد تا به عمق ذرات نفوذ کند. یک ذره با مش ریزتر، مثل آن‌هایی که از غربال با مش ۱۲۰، ۱۵۰ یا ۲۰۰ عبور می‌کنند، زمان کمتری برای نفوذ آب نیاز دارند و کاملاً محلول می‌شود. بعضی از هیدروکلئیدها برای حل شدن نیاز به گرما دارند. در این مورد باید دانست که دقیقاً چه درجه حرارتی مورد نیاز است. بر اساس اجزاء و عناصر تشکیل دهنده صمغ‌ها (به‌ویژه یون‌ها)، اختلاف قابل توجهی در دمای مورد نیاز برای حلالیت وجود دارد. لذا برای دستیابی به خواص عملکردی مناسب باید دماهای مختلف بررسی شود. به‌عنوان مثال صمغ لوبیای افاقیا برای حل شدن به گرمای حدود  $90^{\circ}\text{C}$  نیاز دارد. این در حالی است که بعضی دیگر از هیدروکلئیدها ممکن است وقتی در معرض اسید یا گرما قرار می‌گیرند، تجزیه شوند و یا حلالیت آنها کاهش یابد.

همان‌طور که در شکل (۴-ا) نشان داده شده است، با افزایش زمان استخراج از ۱ ساعت به حدود ۲/۸ ساعت درصد، حلالیت

(۸۰ درجه سانتی‌گراد) با افزایش زمان ویسکوزیته افزایش پیدا کرده است. دلیل آن مربوط به مرحله سانتریفیوژ است. در هر دو دمای پایین و بالا با افزایش زمان استخراج میزان ورود ناخالصی‌ها (مواد غیرپلی‌ساکاریدی) افزایش پیدا می‌کند. در مرحله سانتریفیوژ وقتی دما بالا است حذف ناخالصی‌ها راحت‌تر اتفاق می‌افتد در حالی که در دماهای پایین به علت ویسکوزیته بالا حذف ناخالصی‌ها با استفاده از سانتریفیوژ به طور کامل انجام نمی‌شود. در شکل (۳-ب)، اثرات نسبت آب به ماده جامد و دما آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دماهای پایین با افزایش نسبت آب به ماده جامد از ۵۰ به ۱۰۰، مقدار ویسکوزیته کاهش پیدا کرده است. در حالی که در دماهای بالا با افزایش این نسبت مقدار ویسکوزیته روند صعودی داشته است. می‌توان گفت زمانی که نسبت آب به ماده جامد افزایش پیدا می‌کند باعث افزایش ورود ناخالصی‌ها به محلول می‌شود و احتمالاً ورود ناخالصی باعث کاهش ویسکوزیته می‌شود. بالاترین ویسکوزیته ظاهری محلول‌های ۱/۵ درصد صمغ ریشه سریش در دمای ۷۹ درجه سانتی‌گراد، زمان ۳ ساعت و ۲۴ دقیقه و نسبت آب به ماده جامد ۹۸ به ۱ برابر ۲۵۰ میلی‌پاسکال ثانیه به دست آمد. علیزاده بهبهانی و همکاران (۲۰۱۷)، بهینه‌یابی استخراج صمغ دانه بارهنگ پرداختند و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ حاصل را بررسی کردند. آنها در این تحقیق، راندمان استخراج ۱۵ درصد، پایداری کف ۸۸/۴ درصد، حلالیت ۹۷/۶ درصد و ویسکوزیته ذاتی ۱۴/۴ دسی لیتر بر گرم را گزارش کردند [۳۵]. در مطالعه‌ای رضوی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی خواص عملکردی عصاره خام چهار هیدروکلئید بومی ایران پرداختند، طبق نتایج این تحقیق، ویسکوزیته ظاهری محلول ۰.۲٪ صمغ دانه‌های شاهی، قدومه شهری، قدومه شیرازی، دانه مرو و صمغ تجاری لوبیای افاقیا در درجه برش ۴۶/۱۶ (یک بر ثانیه) و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برابر؛ ۲۱/۸۲، ۹۲/۷۷، ۱۰/۹۱، ۱۲۳/۶۱ و ۲۱۶/۵۶ میلی‌پاسکال ثانیه بود [۳۶]. فرهوش و ریاضی (۲۰۰۷) درصدی از این اختلاف را به یکنواخت بودن ذرات نمونه‌های تجاری و حلالیت بهتر و جذب بالای آب مرتبط دانستند [۳۷]. آنها ویسکوزیته ظاهری ثعلب پنجه‌ای در آهنگ برشی  $S^{-1} = 50$  و غلظت ۰.۲٪ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۱۳۱/۳ میلی‌پاسکال ثانیه گزارش کردند.

است، اگرچه در دماهای بالا، افزایش نسبت آب به ماده جامد تأثیری بر حلالیت نداشته است که دلیل آن احتمالاً می‌تواند کاهش ویسکوزیته در دماهای بالا باشد. کاهش ویسکوزیته، در دسترس بودن آب برای حلالیت صمغ را فراهم آورده و نسبت آب به ماده جامد در این حالت تأثیر چندانی بر حلالیت ندارد. زمان استخراج تأثیر دوگانه بر حلالیت داشته است، بطوری که افزایش زمان استخراج تا حدود ۲/۵ ساعت موجب افزایش حلالیت شد ولی زمان‌های بیشتر تأثیر منفی بر روی حلالیت داشتند.

افزایش پیدا کرده است ولی با ادامه روند و رسیدن به زمان‌های بالای ۳/۵ ساعت، از مقدار حلالیت نمونه‌ها کاسته شده است. در مورد اثر دما، در تمامی زمان‌ها با افزایش دما، درصد حلالیت صمغ افزایش پیدا می‌کند. در شکل (۴-ب) که اثرات زمان و نسبت آب به ماده جامد به صورت متقابل نشان داده شده است با افزایش زمان استخراج تا حدود ۲/۸ ساعت در نسبت‌های مختلف آب به ماده جامد، افزایش حلالیت را شاهد هستیم. دامنه حلالیت صمغ ریشه سریش در این تحقیق برابر ۴۱ تا ۵۴ درصد بدست آمد. با افزایش دمای استخراج و همچنین نسبت آب به ماده جامد، حلالیت صمغ ریشه سریش در آب افزایش یافته



**Fig 4** Response surfaces plotted for the effect of independent variables of Serish roots gum extraction on the solubility: a) time-temperature, b) time-water to solid ratio, c) temperature-water to solid ratio

افزار مینی‌تب (آزمون  $t$ )، اختلاف معنی‌داری بین نتایج واقعی به‌دست‌آمده و نتایج پیش‌بینی شده توسط طرح سطح پاسخ وجود ندارد. بر این اساس می‌توان ادعا کرد مدل‌های انتخابی (معادلات ۱-۳) توانسته‌اند شرایط بهینه استخراج صمغ ریشه سریش را به خوبی پیش‌بینی کنند. با توجه به آنالیز داده‌ها بهترین شرایط استخراج صمغ ریشه سریش در دمای ۷۹ درجه سانتی‌گراد، زمان ۳ ساعت و ۱۲ دقیقه و نسبت آب به ماده جامد ۹۸ به ۱ به دست آمد. تحت این شرایط بهینه استخراج، ویسکوزیته ظاهری ۲۵۲ میلی‌پاسکال ثانیه، راندمان استخراج ۷۲/۴۲ درصد و حلالیت ۵۴ درصد تعیین شد.

### ۳-۵- بهینه‌یابی و اعتبارسنجی

شرایط بهینه استخراج برای دستیابی به حداکثر ویسکوزیته ظاهری، راندمان استخراج و حلالیت در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج پیش‌بینی‌شده با روش سطح پاسخ، بررسی بر روی نقاط پیشنهادی با درجه مطلوب  $13/99/2$  درصد انجام شد. جدول شماره ۵ نتایج کلی را با توجه به اطلاعات پیش‌بینی شده و اطلاعات به‌دست‌آمده نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در نرم

#### 13. Desirability

**Table 5** Minimum and maximum responses obtained based on the response surface optimization of extraction conditions of Serish roots gum

| Test title             | minimum | maximum | the predicted value | The actual amount obtained |      |       |
|------------------------|---------|---------|---------------------|----------------------------|------|-------|
|                        |         |         |                     | t-1                        | t-2  | t-3   |
| 1 Viscosity (mPa.s)    | 31.2    | 250.9   | 250.99              | 251                        | 250  | 250.8 |
| 2 Extraction yield (%) | 63.2    | 72.5    | 72.41               | 72                         | 71.8 | 73    |
| 3 solubility           | 41.1    | 54      | 54                  | 54.52                      | 54.6 | 53.7  |

مقایسه ترکیبات شیمیایی صمغ ریشه سریش با سایر صمغ ها نشان می دهد که مقدار کربوهیدرات کل و پروتئین بیشتر از سایر منابع استخراج گلوکومانان بوده و خاکستر آن کمتر از صمغ کنجاک و دانه ریحان و بیشتر از صمغ ثعلب می باشد. خاکستر آن در مقایسه با صمغ های تجاری، عربی و زانتان بیشتر بوده و از صمغ گوار و دانه کتان کمتر است [۳۹ و ۳۸ و ۱۳].

### ۳-۶- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه بهینه

آنالیز ترکیبات شیمیایی صمغ ریشه سریش بر مبنای وزن خشک نشان داد که جزء اصلی آن کربوهیدرات با مقدار میانگین  $۸۶ \pm ۰/۳۵$  درصد می باشد. سایر اجزای شیمیایی شامل پروتئین،  $۶/۲۲ \pm ۰/۰۷$  درصد پروتئین،  $۶/۱۳ \pm ۰/۱۵$  درصد رطوبت و  $۴/۱۷ \pm ۰/۰۶$  درصد خاکستر (املاح) بودند. با توجه به جدول ۶،

**Table 6** Comparison of chemical compositions of Serish roots gum with other glucomannan sources

| Gum         | Total carbohydrates | Protein         | Ash             | References |
|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------|
| Serish      | $86 \pm 0.35$       | $6.22 \pm 0.07$ | $4.17 \pm 0.06$ | -          |
| Basil seeds | $74.19 \pm 0.61$    | $2.01 \pm 0.11$ | $5.89 \pm 0.14$ | [13]       |
| konjac      | 82.6                | 2.2             | 5.2             | [39]       |
| Salep       | 16-55               | 3.09            | 2.04            | [37]       |

یعنی میزان گلوکز به مانوز افزایش یابد، میزان حلالیت و جذب آب صمغ افزایش می یابد [۴۰].  
 pH محلول  $۰/۵$  درصد صمغ ریشه سریش  $۶/۴$  اندازه گیری شد که نشان دهنده طبیعت اسیدی نزدیک به خنثی این صمغ است. در مقایسه با نتایج pH سایر صمغ ها، این مقدار برای صمغ دانه ریحان، کنجاک، لوبیای لوکاست، گوار و زانتان به ترتیب  $۷/۷۸$ ،  $۵/۱۱$ ،  $۵/۲$ ،  $۴/۵$  و  $۵/۱$  گزارش شده است [۴۱-۴۳].

آنالیز ترکیبات قندی (منوسارکاریدها) صمغ ریشه سریش (جدول ۷) نشان داد که گلوکز و مانوز به ترتیب با  $۵۰$  و  $۴۵$  درصد، عمده ترین قندهای تشکیل دهنده ساختار پلی ساکاریدی صمغ ریشه سریش می باشند، نتیجه ای که بخوبی تایید می کند که صمغ ریشه سریش از خانواده گلوگومانان ها می باشد. نسبت گلوکز به مانوز در این صمغ  $۱/۱$  به  $۱$  است. این نسبت در صمغ دانه ریحان  $۳/۳$  به  $۱$  [۱۳]، و در کنجاک مانان  $۱/۶$  به  $۱$  گزارش شده است [۱]. گزارش شده است هرچقدر این نسبت بزرگتر باشد

**Table 7** Monosaccharide composition of Serum root gum (based on dry weight)

| Monosaccharide    | (mg/g) Amount     | Percent          |
|-------------------|-------------------|------------------|
| Glucose           | $417.28 \pm 7.11$ | $50.42 \pm 0.86$ |
| mannose           | $378.83 \pm 4.38$ | $45.8 \pm 0.53$  |
| Fucose            | $17.19 \pm 1.98$  | $2.07 \pm 0.24$  |
| Galactose         | $8.085 \pm 0.41$  | $0.96 \pm 0.05$  |
| Galacturonic Acid | $6.06 \pm 0.56$   | $0.75 \pm 0.08$  |
| Total             | 827.44            | 100              |

- A.A., "Study OF Ecological Requirements of Foxtail Lilly (*Eremurus Spectabilis* M.B.) In Khorassan," Iran. J. Range Desert Res., vol. 12, p. 153 To 165, 2005.
- [6] M. J. Hanieh Hadizadeh<sup>1</sup>, Alireza Babaei\*, Leila Samiei<sup>2</sup>, "Evaluation and Comparison of Morphological Traits of Several *Eremurus* Species Native to Iran with Ornamental Approach," pp. 1-4, 2016.
- [7] C. Pursh, "COMMON CAMAS," 1991.
- [8] E. G. Shakhmatov, P. V Toukach, S. P. Kuznetsov, and E. N. Makarova, "Structural characteristics of water-soluble polysaccharides from *Heracleum sosnowskiyi* Manden," Carbohydr. Polym., vol. 102, pp. 521-528, 2014.
- [9] G. Cui et al., "Ac ce p te d cr t," Carbohydr. Polym., 2014.
- [10] J. Xie et al., "Advances on Bioactive Polysaccharides from Medicinal Plants Advances on Bioactive Polysaccharides from Medicinal Plants," vol. 8398, 2016.
- [11] H. Karazhiyan, S. M. A. Razavi, and G. O. Phillips, "Food Hydrocolloids Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (*Lepidium sativum*) using response surface methodology," Food Hydrocoll., vol. 25, no. 5, pp. 915-920, 2011.
- [12] A. Koocheki, S. A. Mortazavi, F. Shahidi, S. M. A. Razavi, and A. R. Taherian, "Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent," J. Food Eng., vol. 91, no. 3, pp. 490-496, 2009.
- [13] S. M. A. Razavi, S. A. Mortazavi, L. Matia-Merino, S. H. Hosseini-Parvar, A. Motamedzadegan, and E. Khanipour, "Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.)," Int. J. Food Sci. Technol., vol. 44, no. 9, pp. 1755-1762, 2009.
- [14] P. Taylor, A. Bostan, S. M. A. Razavi, and R. Farhoosh, "International Journal of Food Properties Optimization of Hydrocolloid Extraction From Wild Sage Seed (*Salvia macrosiphon*) Using Response Surface," no. November 2014, pp. 37-41, 2010.
- [15] M. Golalikhani, F. Khodaiyan, and A. Khosravi, "Response surface optimization of mucilage aqueous extraction from flixweed (*Descurainia sophia*) seeds," Int. J. Biol.

## ۴- نتیجه گیری

نتایج مدل سازی به روش RSM نشان داد متغیرهای مستقل بر روی ویسکوزیته، حلالیت و راندمان استخراج موثر است، اگرچه بیشترین اثر را زمان و نسبت آب به ماده جامد داشتند. بر طبق نتایج بهینه سازی عددی، شرایط بهینه استخراج صمغ ریشه سریش در دمای ۷۹ درجه سانتی گراد، زمان ۳ ساعت و ۱۲ دقیقه و نسبت آب به ماده جامد ۹۸ به ۱ تعیین شد که تحت این شرایط بهینه استخراج، مقادیر ویسکوزیته (۲۵۰ mPa.s)، راندمان استخراج ۷۲ درصد و حلالیت ۵۴ درصد بدست آمد. مدل قانون توانی می تواند رفتار جریان نمونه های صمغ ریشه سریش را به خوبی توصیف کند. براساس نتایج این تحقیق خواص رئولوژیکی و عملکردی مناسبی از صمغ ریشه سریش مشاهده شد که مستلزم مطالعه بیشتری برای تعیین کاربرد این صمغ در فرمولاسیون های غذایی است.

## ۵- تقدیر و تشکر

از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور بابت حمایت مالی و تجهیزاتی این پروژه تشکر و قدردانی می شود.

## ۶- منابع

- [1] G. O. P. A. W. Phillips, Handbook of hydrocolloids. 2000.
- [2] A. C. Hoefler, About the Eagan Press Handbook Series The Hydrocolloids. American Association of Cereal Chemists, 2004.
- [3] G. O. Phillips and P. A. Williams, Handbook of hydrocolloids, 2nd ed. North America: Published by Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Granta Park, Great Abington, Cambridge CB21 6AH, UK, 2009.
- [4] H. L. Chen, H. C. Cheng, Y. J. Liu, S. Y. Liu, and W. T. Wu, "Konjac acts as a natural laxative by increasing stool bulk and improving colonic ecology in healthy adults," Nutrition, vol. 22, no. 11-12, pp. 1112-1119, 2006.
- [5] T. H. Dashti M., Zarif Ketabi H., Paryab

- [26] A. D. Sekachaei, A. S. Mahoonak, M. Ghorbani, M. Kashaninejad, and Y. Maghsoudlou, "Optimization of ultrasound-assisted extraction of quince seed gum through response surface methodology," vol. 19, pp. 323–333, 2017.
- [27] J. Yang, T. Mu, and M. Ma, "Optimization of ultrasound-microwave assisted acid extraction of pectin from potato pulp by response surface methodology and its characterization," *Food Chem.*, vol. 289, no. March, pp. 351–359, 2019.
- [28] Z. Zamani, S. M. A. Razavi, and M. S. Amir, "The determination of physicomechanical properties of Nettle seed (*Urtica pilulifera*) and optimization of its mucilage extraction conditions using response surface methodology," *JRIFST*, pp. 143–160, 2020.
- [29] M. Jouki, S. A. Mortazavi, F. T. Yazdi, and A. Koocheki, "International Journal of Biological Macromolecules Optimization of extraction, antioxidant activity and functional properties of quince seed mucilage by RSM," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 66, pp. 113–124, 2014.
- [30] O. Tatirat and S. Charoenrein, "LWT - Food Science and Technology Physicochemical properties of konjac glucomannan extracted from konjac flour by a simple centrifugation process," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 44, no. 10, pp. 2059–2063, 2011.
- [31] Y. Brummer, W. Cui, and Q. Wang, "Extraction, purification and physicochemical characterization of fenugreek gum," vol. 17, pp. 229–236, 2003.
- [32] A. Kurt and T. Kahyaoglu, "Purification of glucomannan from salep: Part 1. Detailed rheological characteristics," *Carbohydr. Polym.*, vol. 168, pp. 138–146, 2017.
- [33] P. B. S. Albuquerque et al., "Characterization and rheological study of the galactomannan extracted from seeds of *Cassia grandis*," *Carbohydr. Polym.*, vol. 104, pp. 127–134, 2014.
- [34] E. Harmayani, V. Aprilia, and Y. Marsono, "Characterization of glucomannan from *Amorphophallus oncophyllus* and its prebiotic activity in vivo," *Carbohydr. Polym.*, vol. 112, pp. 475–479, 2014.
- [35] B. A. Behbahani, F. T. Yazdi, F. Shahidi, *Macromol.*, vol. 70, pp. 444–449, 2014.
- [16] N. Mittal, P. Mattu, and G. Kaur, "Extraction and derivatization of *Leucaena leucocephala* (Lam.) galactomannan: Optimization and characterization," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 92, pp. 831–841, 2016.
- [17] F. Mahmoodani, V. S. Ardekani, S. M. Y. See Siau Fern, and A. S. Babji, "Optimization of extraction and physicochemical properties of gelatin from *Pangasius Catfish* (*Pangasius sutchi*) skin," vol. 43, no. 7, pp. 995–1002, 2014.
- [18] A. Koocheki, A. R. Taherian, S. M. A. Razavi, and A. Bostan, "Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds," *Food Hydrocoll.*, vol. 23, no. 8, pp. 2369–2379, 2009.
- [19] P. A. Williams, "Gums and Stabilisers for the Food Industry 12 Edited by RS \* C."
- [20] J. Wang, Y. Ma, L. Ouyang, and Y. Tu, "A new Bayesian approach to multi-response surface optimization integrating loss function with posterior probability," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 249, no. 1, pp. 231–237, 2016.
- [21] S. N. and S. R. S M A Razavi, A Bostan, "Functional properties of hydrocolloid extracted from selected domestic Iranian seeds," p. 11.
- [22] Y. Wu, S. W. Cui, J. Tang, and X. Gu, "Food Chemistry Optimization of extraction process of crude polysaccharides from boat-fruited *sterculia* seeds by response surface methodology," vol. 105, pp. 1599–1605, 2007.
- [23] W. Cui and N. A. M. Eskin, "Chemical and physical properties of yellow mustard (*Sinapis alba* L.) mucilage," vol. 46, pp. 169–176, 1993.
- [24] D. Luo, "Optimization of total polysaccharide extraction from *Dioscorea nipponica* Makino using response surface methodology and uniform design," *Carbohydr. Polym.*, vol. 90, no. 1, pp. 284–288, 2012.
- [25] B. E. Campos, T. D. Ruivo, R. Mônica, S. Scapim, S. Madrona, and R. D. C. Bergamasco, "Optimization of the mucilage extraction process from chia seeds and application in ice cream as a stabilizer and emulsifier," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 15, 2015.

- [40] Y. V. Anjaneyalu and D. C. Gowda, "Structural studies of an acidic polysaccharide from *Ocimum basilicum* seeds," *Carbohydr. Res.*, vol. 75, no. C, pp. 251–256, 1979.
- [41] S. M. A. Razavi, S. A. Mortazavi, L. Matiamerino, S. H. Hosseini-parvar, and A. Motamedzadegan, "Original article Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.)," pp. 1755–1762, 2009.
- [42] X. Huang, Y. Kakuda, and W. Cui, "Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity," vol. 15, 2001.
- [43] E. I. Yaseen, T. J. Herald, F. M. Aramouni, and S. Alavi, "Rheological properties of selected gum solutions," vol. 38, pp. 111–119, 2005.
- M. A. Hesarinejad, S. A. Mortazavi, and M. Mohebbi, "Plantago major Seed Mucilage: Optimization of extraction and some physicochemical and rheological aspects," *Carbohydr. Polym.*, 2016.
- [36] S. M. A. Razavi, A. Bostan, S. Niknia, and S. Razmkhah, "Functional properties of hydrocolloid extracted from selected domestic Iranian seeds," *Food Res.*, pp. 380–389, 2011.
- [37] R. Farhoosh and A. Riazi, "A compositional study on two current types of salep in Iran and their rheological properties as a function of concentration and temperature," *Food Hydrocoll.*, vol. 21, no. 4, pp. 660–666, 2007.
- [38] W. Cui and G. Mazza, "Physicochemical characteristics of flaxseed gum," vol. 29, no. 1985, 1996.
- [39] S. Takigami, *Konjac mannan*. Japan: Woodhead Publishing Limited, 2009.





## Optimization of hydrocolloid extraction from serish root (*eremurus luteus*) using response surface method and examining physicochemical characterization of the optimized sample

Sali, M. <sup>1</sup>, Razavi, S. M. A. <sup>2\*</sup>, Amiri, M. S. <sup>3</sup>

1. MSc Student, Department of Food Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Food Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

**Article History:**

Received 13 April 2020  
Accepted 15 November 2020

**Keywords:**

*Eremurus luteus* Root,  
Extraction; Hydrocolloid,  
Optimization,  
Response Surface Method

**DOI:** 10.52547/fsct.18.112.153

\*Corresponding Author E-Mail:  
s.razavi@um.ac.ir

The gums extracted from different sources have different functional and rheological properties compared to each other, and the extraction conditions have significant effects on these properties. Therefore, the study on the method of extraction and optimization of new sources of gums, due to different gum behaviors towards each other, has become more important. In this study, the optimization of extraction conditions for glucomannan of *Eremurus luteus* powder (Serish) as a new source of hydrocolloid has been studied. For this purpose, the effect of temperature (30-80°C), water-to-solid ratio (50-100%) and time (1-4 hours) on the extraction yield, apparent viscosity, and solubility were optimized using the response surface methodology. The results showed that the quadratic model is the best model to describe the data. The optimized conditions were temperature of 79°C, water to solids ratio of 98.3 to 1 and extraction time of 3 hours and 12 minutes. Under these conditions, the apparent viscosity of 250 mPa.s, solubility of 53.99% and extraction yield of 72.43% were obtained. The results of chemical composition analysis showed that the optimal sample based on dry weight had 86.25% carbohydrates, 6.22% (protein), 6.13% (moisture) and 4.17% (ash). The results of monosaccharide analysis showed that in *Eremurus* root gum, the ratio of glucose to mannose was 1.1 to 1 and belonged to the glucomannan family.