

بررسی ویژگی‌های فیزیکومکانیکی دانه انجره (*Urtica pilulifera*) و بهینه‌یابی شرایط استخراج صمغ حاصل از آن به روش سطح پاسخ

زهرا زمانی^۱، سیدمحمدعلی رضوی^{۲*}، محمدصادق امیری^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسنده مسئول (s.razavi@um.ac.ir)
۳- استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش، خصوصیات هندسی، ثقلی و اصطکاکی دانه انجره مورد ارزیابی قرار گرفت. طول، عرض و ضخامت دانه‌ها به ترتیب ۲/۴۹، ۱/۹۸ و ۰/۷۸ میلی‌متر و میانگین‌های حسابی و هندسی قطر، ضریب کرویت و سطح دانه‌ها به ترتیب ۱/۷۵، ۱/۲۹ میلی‌متر، ۰/۵۲ و ۵/۳۱ میلی‌مترمربع به دست آمد. دانسیته واقعی، دانسیته توده و درصد تخلخل دانه‌ها به ترتیب ۱۱۶۸/۱۲، ۴۵۷/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب و ۶۰/۸۶ درصد و متوسط ضرایب اصطکاک استاتیکی بر سطوح تخته سه لایه، شیشه، لاستیک، فایبرگلاس و آهن گالوانیزه به ترتیب ۰/۲۸، ۰/۲۱، ۰/۳۴، ۰/۲۲ و ۰/۲۷ بود. در ادامه با استفاده از روش سطح پاسخ، شرایط بهینه استخراج موسیلاژ دانه انجره به عنوان منبع جدید هیدروکلوئیدی با هدف دستیابی به حداکثر میانگین سطح دانه‌ها بعد از اعمال تیمارها نسبت به میانگین سطح دانه‌های اولیه، راندمان استخراج و ویسکوزیته تعیین شد. برای این منظور تأثیر سه متغیر مستقل شامل دمای خیساندن (۶۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد)، زمان خیساندن (۴-۰/۵ ساعت) و نسبت آب به دانه (۱:۲۰ تا ۱:۶۰) توسط طرح آماری مرکب مرکزی صاف بررسی شد. راندمان استخراج و ویسکوزیته به طور معنی‌دار ($P < 0/05$) تحت تأثیر تمامی متغیرهای مستقل قرار گرفتند، در حالی که تأثیر دما بر نسبت سطح دانه‌ها معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). براساس روش بهینه‌سازی عددی، شرایط بهینه استخراج صمغ دانه انجره به صورت دمای خیساندن ۵۹ درجه سانتی‌گراد، زمان خیساندن ۳/۴ ساعت (۲۰۴ دقیقه) و نسبت آب به دانه ۱:۴۰ تعیین گردید. در شرایط بهینه، مقادیر نسبت سطح دانه‌ها، راندمان استخراج و ویسکوزیته به ترتیب ۲/۳۹، ۹/۷۰ درصد و ۶/۲۵ میلی‌پاسکال/ثانیه به دست آمد. نتایج این تحقیق ارزش کاربردی برای طراحی تجهیزات پس از برداشت، فراوری دانه‌های انجره و همچنین استخراج موسیلاژ از دانه‌ها دارد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۸

واژه‌های کلیدی

بهینه‌یابی استخراج
خواص مکانیکی
دانه انجره
موسیلاژ
ویسکوزیته

مقدمه

عملکردی^۱ در فرمولاسیون‌های غذایی توانایی
قوام‌دهندگی، پایدارکنندگی، تشکیل ژل، کنترل
ریزساختار، بافت، عطر و طعم و زمان نگهداری را دارند

هیدروکلوئیدها (یا صمغ‌ها)، بیوپلیمرهایی با وزن مولکولی
بالا و آب‌دوست هستند که به عنوان افزودنی‌های

^۱ Functional ingredients

بعضی از هیدروکلوئیدهای موجود فراهم نمود. از آنجایی که آگاهی بسیار خوبی از موارد کاربرد دارویی این دانه ایجاد شده است، بدیهی است مواد غذایی فرموله شده با صمغ دانه انجره هم به خوبی توسط مصرف کنندگان مورد پذیرش قرار می گیرند. همچنین خواص فیزیکی و مکانیکی دانه‌ها در طراحی فرایندهای پس از برداشت اهمیت ویژه‌ای دارند؛ به عنوان مثال تعیین ابعاد و شکل دانه‌ها در انتخاب مش مناسب الک در فرایندهای جداسازی، تعیین سطح و حجم دانه‌ها در محاسبه‌های مربوط به خشک کردن، زاویه ریپوز و ضرایب اصطکاک دانه‌ها روی سطوح مختلف در طراحی سیلوها، مخازن نگهداری و تجهیزات انتقال از قبیل تسمه نقاله‌ها به کار می‌روند. مطالعه‌های فراوانی جهت تعیین خواص فیزیکی-مکانیکی دانه‌های موسیلاژی از قبیل دانه‌های بالنگو^۳ و شاهی^۴ (محمدی مقدم، رضوی و نیک نیا، ۱۳۸۷)، دانه بارهنگ^۵ (Razavi, Mohammadi, 2008) و دانه مرو^۶ (Moghaddam, & Mohammad Amini, 2008) و دانه ریحان^۷ (Razavi, Bostan, & Rahbari, 2010a) و دانه ریحان^۷ (Razavi, Bostan, & Rezaie, 2010b) انجام شده است. بررسی منابع بیانگر فقدان اطلاعات علمی و شناخت کامل از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دانه انجره است. همچنین تاکنون هیچ‌گونه تحقیقی روی بهینه‌یابی شرایط استخراج صمغ از دانه انجره صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دانه انجره و یافتن مناسب‌ترین شرایط برای استخراج صمغ این دانه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

دانه انجره از یک مغازه عطاری در شهر رشت استان گیلان خریداری شد. دانه‌ها ابتدا تمیز و مواد خارجی آن به صورت دستی حذف شدند و سپس بسته‌بندی و درون یخچال نگهداری گردید.

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی دانه انجره

ابعاد و جرم ۱۰۰ دانه

ابتدا ۱۰۰ دانه انجره به طور تصادفی انتخاب و ابعاد آنها شامل طول (L)، عرض (W) و ضخامت (T) توسط کولیس

(Dickinson, 2003). به دلیل اهمیت هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی، جستجو برای شناسایی هیدروکلوئیدهای طبیعی جدید با ویژگی‌های عملکردی ارزشمند، همچنان ادامه دارد، زیرا می‌توانند جایگزین بالقوه‌ای برای برخی از هیدروکلوئیدهای تجاری باشند (Razavi, Taheri, & Quinchia, 2011). برخی از گیاهان رویش یافته در مناطق مختلف ایران، دارای پلی‌ساکاریدهای ارزشمندی می‌باشند که می‌توانند به عنوان منابع جدید هیدروکلوئیدی مورد استفاده قرار گیرند (رضوی، بستان، نیک‌نیا و رزمخواه، ۱۳۹۰).

گزنه^۱ تویی (رومی) گیاهی است یکساله یا دوساله، از میوه‌های بالغ این گیاه دانه‌های آن به دست می‌آید که به اسم دانه‌های سیاه‌گزنه (انجره) معروف هستند. این دانه‌ها به طول تقریباً ۳ میلی‌متر و به شکل تخم‌مرغ براق به رنگ تیره و تقریباً شبیه دانه‌های کتان می‌باشند. دانه‌های انجره هنگامی که در آب قرار می‌گیرند، آب را جذب کرده و یک لایه موسیلاژی ایجاد می‌کنند (Baytop, 1999). گزنه به عنوان یک گیاه دارویی و مکمل غذایی از تاریخچه مطالعه‌های طولانی برخوردار است. فواید متعددی از این گیاه برای سلامتی انسان گزارش شده است (Yiiksel et al., 2009). اهمیت غذایی گزنه به عنوان یک گیاه خوراکی به دلیل وجود اسیدهای چرب امگا-۳^۲ در آن می‌باشد که در تنظیم متابولیسم بدن انسان نقش مهمی را برعهده دارند (Guil-Guerrero, Reboloso-Fuentes, & Isasa, 2003). گزنه همچنین به عنوان کاهنده کلسترول خون نیز مورد مصرف قرار می‌گیرد (Kaban, Aksu, & Kaya, 2008). بخش اعظم صمغ‌های مورد استفاده در صنایع غذایی ایران از خارج از کشور وارد می‌شود و هزینه بالایی را در زمینه واردات بر تولیدکنندگان تحمیل می‌کند. بنابراین می‌توان با بررسی و شناسایی خصوصیات یک هیدروکلوئید جدید با منشأ بومی تا حدودی از خروج ارز از کشور جلوگیری کرد. همچنین می‌توان با در دست داشتن اطلاعات در زمینه رفتار صمغ در شرایط مختلف، کاربرد آن را در انواع محصولات غذایی مشخص کرد. ایمنی و سلامت صمغ‌های گیاهی و همچنین سادگی فرایند تولید از جمله دلایل مهمی می‌باشند که شناسایی هرچه بیشتر هیدروکلوئیدهای بومی را حائز اهمیت کرده‌اند. از این رو، برای عصاره هیدروکلوئیدی دانه انجره می‌توان یک بازار مناسب جهت جایگزینی برای

³ Balangu seed (*Lallemantia royleana*)

⁴ Cress seed (*Lepidium Sativum*)

⁵ Barhang (*Plantago major* L.)

⁶ Sage seed (*Salvia macrosiphon*)

⁷ Basil seed (*Ocimum basilicum* L.)

¹ *Urtica pilulifera* L.

² Omega3-fatty acid

ضریب اصطکاک استاتیکی

از سطح شیبدار با شیب قابل تنظیم برای تعیین ضرایب اصطکاک استاتیکی استفاده شد. سطوح مختلفی از جنس ورق گالوانیزه، تخته سه‌لایه، شیشه، فایبرگلاس و لاستیک روی سطح شیبدار تعبیه شد و ضرایب اصطکاک استاتیکی براساس زاویه سرخوردن (α) و با استفاده از رابطه (۸) محاسبه گردید (Razavi & Fathi, 2009).

رابطه (۸)

$$\mu_s = \tan \alpha$$

زاویه‌های ریپوز تخلیه و پرکردن

زاویه ریپوز تخلیه با استفاده از یک جعبه چوبی به ابعاد $10 \times 10 \times 10$ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. این جعبه دارای درب کشویی در یکی از وجوه جانبی است. ابتدا جعبه با دانه پر شده و سپس درب کشویی به سرعت به طرف بالا کشیده می‌شود و دانه‌ها به بیرون جعبه تخلیه می‌شوند تا یک کپه درون جعبه تشکیل شود. زاویه ریپوز از طریق اندازه‌گیری ارتفاع و فاصله افقی در دو نقطه مشخص کپه و با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد.

رابطه (۹)

$$\theta_e = \tan^{-1} \left(\frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} \right)$$

در رابطه (۹)، h_1 و h_2 ارتفاع در دو نقطه مشخص و x_1 و x_2 فاصله افقی بین این دو نقطه است.

زاویه ریپوز پرکردن (θ_f) با استفاده از یک قیف پلاستیکی که در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری سطح قرار گرفته بود، اندازه‌گیری شد؛ به این ترتیب که دانه‌ها به آرامی از قیف به بیرون تخلیه می‌شوند و تشکیل یک کپه می‌دهند. ارتفاع در مرکز کپه (H) و قطر قاعده کپه (D) اندازه‌گیری و در رابطه (۱۰) قرار گرفت.

رابطه (۱۰)

$$\theta_f = \tan^{-1} \left(\frac{2H}{D} \right)$$

بهینه‌یابی شرایط استخراج صمغ دانه انجره

برای استخراج صمغ از دانه انجره سه متغیر مستقل دما، زمان و نسبت آب به دانه به ترتیب هر کدام در محدوده ۶۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد، ۴-۰/۵ ساعت و نسبت آب به دانه ۱:۲۰ تا ۱:۶۰ اعمال شدند. این شرایط در آزمون‌های اولیه با اندازه‌گیری نسبت افزایش سطح دانه‌ها به تغییرات نسبت آب به دانه، دما و زمان با استفاده از تصویربرداری مساحت دانه‌ها، به وسیله میکروسکوپ دینو (مدل AM313T،

دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. میانگین حسابی قطر، میانگین هندسی قطر و ضریب کرویت با استفاده از رابطه (۱)، (۲) و (۳) و همچنین مساحت سطح با استفاده از رابطه (۴) تعیین شد. به منظور تعیین جرم ۱۰۰ دانه، ۱۰۰ دانه به طور تصادفی انتخاب و با ترازوی دیجیتال ۰/۰۰۰۱ توزین شد (Razavi & Fathi, 2009).

رابطه (۱)

$$D_a = (L + W + T)/3$$

رابطه (۲)

$$D_g = (L * W * T)^{1/3}$$

رابطه (۳)

$$\phi = \frac{LWT^{1/3}}{L}$$

رابطه (۴)

$$S = \pi D_g^2$$

دانسیته حقیقی، دانسیته توده و درصد تخلخل

حجم واقعی دانه‌ها به روش پیکنومتری، با استفاده از حلال تولوئن اندازه‌گیری شد. سپس دانسیته واقعی (ρ_t) با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید که در این رابطه m : جرم دانه‌ها (کیلوگرم) و V_t : حجم مایع جابجاشده (مترمکعب) یا همان حجم واقعی دانه‌هاست (Razavi & Fathi, 2009).

رابطه (۵)

$$\rho_t = \frac{m}{V_t}$$

برای اندازه‌گیری دانسیته توده (ρ_b) دانه‌ها از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری و با سرعت یکنواخت درون ظرفی با حجم مشخص پر شدند، سپس این ظرف توزین شده و دانسیته توده از رابطه (۶) محاسبه گردید، که در این رابطه m : جرم دانه‌ها (کیلوگرم) و V_b : حجم ظرف برحسب (مترمکعب) می‌باشد (Razavi & Fathi, 2009).

رابطه (۶)

$$\rho_b = \frac{m}{V_b}$$

درصد تخلخل دانه‌ها با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد که در آن ρ_t دانسیته واقعی و ρ_b دانسیته توده بود (Mohsenin, 1978).

رابطه (۷)

$$\varepsilon = \left[\frac{(\rho_t - \rho_b)}{\rho_t} \right] \times 100$$

در رابطه (۱۱)، S_2 : میانگین مساحت دانه‌ها بعد از اعمال تیمارها و S_1 : میانگین مساحت اولیه دانه‌ها می‌باشد.

تعیین درصد راندمان استخراج

راندمان صمغ استخراجی در شرایط مختلف، از طریق توزین صمغ خشک‌شده و محاسبه درصد آن براساس وزن اولیه دانه‌ها طبق رابطه (۱۲) تعیین شد (Razavi et al., 2009b).

رابطه (۱۲)

$$100 \times \frac{\text{وزن صمغ استخراج شده}}{\text{وزن اولیه دانه‌ها}} = \text{راندمان استخراج}$$

اندازه‌گیری ویسکوزیته

ویسکوزیته با استفاده از ویسکومتر لوله موئینه کالیبره‌شده آبلود^۱ (کانن آبلود، سمی میکروویسکومتر، شماره ۱۵۰، ساخت آمریکا) تعیین شد. این نوع ویسکومتر اصلاح‌شده ویسکومتر اوستوالد^۲ می‌باشد. برای اندازه‌گیری ویسکوزیته محلول، کافی است زمان عبور نمونه‌ها از میان دو خط نشانه ویسکومتر ثبت گردد. برای این منظور، محلول ۱ درصد از هر نمونه پودر صمغ در آب دیونیزه تهیه گردید و همچنین به‌منظور جلوگیری از آلودگی‌های میکروبی ۰/۰۲ درصد سدیم آزید به محلول‌ها اضافه گردید، محلول حاصل به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق با کمک همزن مغناطیسی (PIT300، ساخت ایران) هم‌زده شد، سپس به مدت ۲۴ ساعت روی رولر در دمای اتاق قرار گرفت و برای تکمیل جذب آب یک شب در یخچال نگهداری شد، نمونه‌های هیدراته صمغ توسط سمپلر وارد ویسکومتر شده سپس چندین بار نمونه را توسط پوار در لوله ویسکومتر بالا و پایین آورده تا رقیق‌سازی و هم‌گن‌شدن به‌طور کامل انجام شود و به آن ۱۰ دقیقه اجازه هم‌دماشدن درون حمام آبی ویسکومتر برای رسیدن به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد داده شد. ویسکوزیته دینامیک (η) نمونه از رابطه (۱۳) به‌دست می‌آید (رضوی و اکبری، ۱۳۹۱):

رابطه (۱۳)

$$\eta = K\rho t$$

در رابطه (۱۳)، K : ثابت ویسکومتر (برابر ۰/۰۴)، ρ : دانسیته نمونه و t : زمان عبور نمونه از دو خط نشانه

،Taiwan Dino-Lite Plus microscope، Electronics ساخت تایوان) و پردازش تصاویر به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار ImageJ نسخه ۱.۴.۳.۶۷ تعیین گردید. قبل از اضافه‌کردن دانه‌ها، آب تا دمای موردنظر حرارت‌داده شد. برای ثابت نگه‌داشتن دما طی زمان استخراج، ظرف آب و دانه درون بن‌ماری با دمای ثابت و معین قرار گرفت. پس از طی زمان لازم جداسازی موسیلاژ از دانه‌های متورم با عبور دانه‌ها از یک اکستراکتور مجهز به صفحه چرخنده (اکستراکتور آزمایشگاهی، شرکت پارس‌خزر، ساخت ایران) صورت گرفت. محلول به‌دست‌آمده پس از عبور از قیف بوختر متصل به پمپ خلأ به‌منظور حذف ذرات اضافی صاف شد و سپس جهت حذف رطوبت، در آن (فن‌آزما، ساخت ایران) با جریان هوا در دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. صمغ استخراجی بعد از خشک‌کردن آسیاب گردید و تا زمان آزمون جهت جلوگیری از جذب رطوبت محیط، درون پلاستیک بر پایه پلی‌اتیلن در جای خشک و خنک نگهداری گردید.

اندازه‌گیری نسبت سطح دانه‌ها به روش پردازش تصویر

سطح دانه‌ها قبل و بعد از اعمال فرایند خیساندن در شرایط مختلف موردبررسی قرار گرفت. پس از تصویربرداری، عکس‌های حاصله به‌وسیله نرم‌افزار ImageJ پردازش شدند، بدین‌منظور یک مربع کاغذی تیره‌رنگ با مساحت مشخص (۱ سانتی‌مترمربع) تصویربرداری شد و به‌عنوان مرجع درصد محاسبه مساحت قرار گرفت. سپس به‌منظور محاسبه مساحت دانه‌ها قبل و بعد از اعمال فرایند خیساندن، ابتدا تصاویر رنگی به ۸ بیتی تبدیل شد و سپس از منوی Image Adjust گزینه انتخاب شد و بعد از آن مساحت موردنظر دانه را به رنگ مخالف با پس‌زمینه درآورده‌ایم و در آخر با استفاده از گزینه Analyze particles مساحت دانه موردنظر به‌صورت درصد گزارش شد، با نسبت‌گرفتن بین درصد مساحت دانه موردنظر و مساحت مربع اندازه‌گیری‌شده (مرجع)، مساحت دانه‌ها به‌دست آمد. با اندازه‌گیری میانگین مساحت دانه‌های اولیه بدون اعمال تیمارها و بعد از اعمال تیمارها، نسبت سطح دانه‌ها با استفاده از رابطه (۱۱) به‌دست آمد.

رابطه (۱۱)

$$SR = \frac{S_2}{S_1}$$

¹ Ubbelohde

² Ostwald

جدول (۱) اجرا گردید. شکل کلی رابطه چندجمله‌ای درجه دوم مورد استفاده برای مدل‌سازی پاسخ‌ها به‌عنوان تابعی از متغیرهای مستقل به‌صورت رابطه (۱۴) است:

رابطه (۱۴)

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^K \beta_j X_j + \sum_{j=1}^K \beta_{jj} X_j^2 + \sum \sum_{i<j=2}^K \beta_{ij} X_i X_j + e_i$$

در رابطه (۱۴)، Y : پاسخ، X_i و X_j : متغیرهای مستقل، β_0 : ضریب عرض از مبدأ مدل، β_i ، β_{ij} و β_{jj} : به‌ترتیب ضرایب خطی، متقابل و درجه دوم مدل و e_i : خطای مدل هستند. برای ارزیابی کیفیت برازش مدل چندجمله‌ای از ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین اصلاح‌شده (R^2_{adj})، عدم برازش ($Lack\ of\ fit$) و ضریب تغییرات (CV^T) استفاده شد. جهت تعیین نقطه بهینه، روش عددی مورد استفاده قرار گرفت، به‌طوری‌که همه پاسخ‌ها حداکثر (بیشینه) باشند.

ویسکومتر است. این آزمون برای هر نمونه در سه تکرار انجام گردید.

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش برای بررسی اثر متغیرهای مستقل زمان خیساندن (A)، دمای خیساندن (B) و نسبت آب به دانه (C) بر متغیرهای پاسخ شامل نسبت سطح دانه‌ها، راندمان استخراج و ویسکوزیته از روش سطح پاسخ (RSM^1) و طرح مرکب مرکزی صاف ($FCCD^2$) استفاده شد. نتایج با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert نسخه ۱۰.۰.۷.۰ جهت برازش بر داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. طرح آزمایش شامل سه فاکتور دما، زمان و نسبت آب به دانه به‌ترتیب هرکدام در محدوده ۶۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد، ۴-۰/۵ ساعت و نسبت آب به دانه ۱:۲۰ تا ۱:۶۰ گرم بر گرم بود. ۲۰ نقطه آزمایش شامل ۶ نقطه مرکزی برای ارزیابی تکرارپذیری روش مطابق

جدول ۱- طرح مرکب مرکزی صاف برای متغیرهای مستقل استخراج صمغ دانه انجره

ترتیب استاندارد	ترتیب اجرا	زمان (ساعت)	دما (درجه سانتی‌گراد)	نسبت آب به دانه (گرم بر گرم)
۱	۱۹	۲/۲۵	۴۲/۵۰	۱:۴۰
۲	۹	۰/۵۰	۴۲/۵۰	۱:۴۰
۳	۱۵	۲/۲۵	۴۲/۵۰	۱:۴۰
۴	۳	۰/۵۰	۶۰/۰۰	۱:۲۰
۵	۱۴	۲/۲۵	۴۲/۵۰	۱:۶۰
۶	۱۷	۲/۲۵	۴۲/۵۰	۱:۴۰
۷	۲	۴/۰۰	۲۵/۰۰	۱:۲۰
۸	۱	۰/۵۰	۲۵/۰۰	۱:۲۰
۹	۲۰	۲/۲۵	۴۲/۵۰	۱:۴۰
۱۰	۱۱	۲/۲۵	۲۵/۰۰	۱:۴۰
۱۱	۱۶	۲/۲۵	۴۲/۵۰	۱:۴۰
۱۲	۱۰	۴/۰۰	۴۲/۵۰	۱:۴۰
۱۳	۸	۴/۰۰	۶۰/۰۰	۱:۶۰
۱۴	۴	۴/۰۰	۶۰/۰۰	۱:۲۰
۱۵	۱۳	۲/۲۵	۴۲/۵۰	۱:۲۰
۱۶	۱۸	۲/۲۵	۴۲/۵۰	۱:۴۰
۱۷	۶	۴/۰۰	۲۵/۰۰	۱:۶۰
۱۸	۵	۰/۵۰	۲۵/۰۰	۱:۶۰
۱۹	۷	۰/۵۰	۶۰/۰۰	۱:۶۰
۲۰	۱۲	۲/۲۵	۶۰/۰۰	۱:۴۰

³ Coefficient of variation

¹ Response surface methodology

² Face central composite design

نتایج و بحث

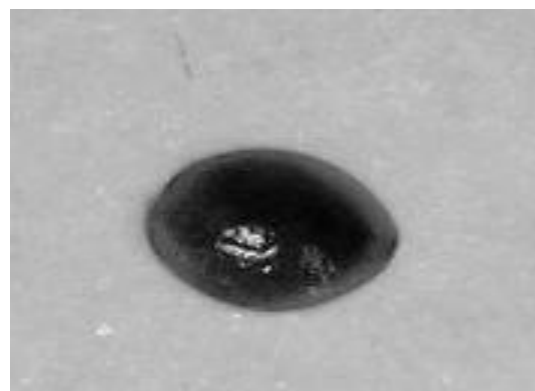
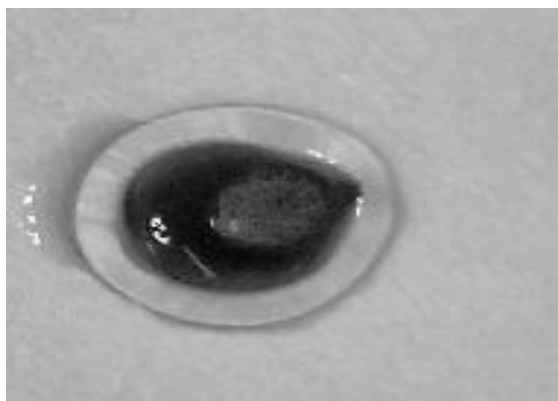
خصوصیات فیزیکی مکانیکی دانه انجره

نتایج اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دانه انجره در **جدول (۲)** گزارش شده است، همچنین تصویر

دانه انجره قبل و بعد از خیساندن در **شکل (۱)** نمایش داده شده است. طول، عرض و ضخامت دانه‌ها به ترتیب در دامنه ۲/۱۳ تا ۲/۷۸، ۱/۵۲ تا ۲/۴ و ۰/۵۹ تا ۰/۹۰ میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دانه انجره

ویژگی	تعداد تکرار	میانگین	انحراف معیار
طول (میلی‌متر)	۵۰	۲/۴۸۸۸	۰/۱۵۳۷
عرض (میلی‌متر)	۵۰	۱/۹۸۴۲	۰/۱۴۳۹
ضخامت (میلی‌متر)	۵۰	۰/۷۸۲۸	۰/۰۶۳۱
میانگین حسابی قطر (میلی‌متر)	۵۰	۱/۷۵۱۹	۰/۰۸۲۴
میانگین هندسی قطر (میلی‌متر)	۵۰	۱/۲۸۹۴	۰/۱۶۸۹
ضریب کرویت	۵۰	۰/۵۱۷۰	۰/۰۴۹۴
سطح (میلی‌متر مربع)	۵۰	۵/۳۱۱۴	۱/۳۶۹۰
جرم ۱۰۰ دانه (گرم)	۳	۲/۱۸۲۶	۰/۰۳۷۷
دانسیته حقیقی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳	۱۱۶۸/۱۲۰۰	۱۲/۵۱۲۲
دانسیته نوده (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳	۴۵۷/۱۸۶۰	۴/۱۶۷۷
تخلخل (درصد)	۳	۶۰/۸۵۹۱	۰/۴۶۹۶
ضریب اصطکاک استاتیکی تخته سه لایه	۳	۰/۲۷۷۳	۰/۰۰۹۳
ضریب اصطکاک استاتیکی لاستیک	۳	۰/۳۴۴۴	۰/۰۱۹۵
ضریب اصطکاک استاتیکی شیشه	۳	۰/۲۱۳۷	۰/۰۰۲۱
ضریب اصطکاک استاتیکی فایبرگلاس	۳	۰/۲۲۴۷	۰/۰۰۵۲
ضریب اصطکاک استاتیکی ورق گالوانیزه	۳	۰/۲۷۴۲	۰/۰۱۰۸
زاویه ریپوز تخلیه (درجه)	۳	۱۸/۴۴۶۶	۲/۴۵۱۱
زاویه ریپوز پر کردن (درجه)	۳	۱۹/۵۱۵۶	۰/۹۱۹۵



شکل ۱- تصویر دانه انجره (سمت راست) و دانه انجره خیسانده شده در آب (سمت چپ) (بزرگ‌نمایی = ۲۰۰×)

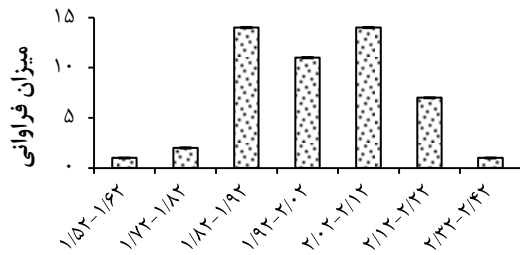
همچنین باتوجه به شکل (۲) بیشترین میزان فراوانی داده‌های طول، عرض و ضخامت دانه‌ها به ترتیب در دامنه ۲/۶۳ تا ۲/۷۳، ۲/۰۲ تا ۲/۱۲ و ۰/۷۹ تا ۰/۸۹ میلی‌متر بود و همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود طول، عرض و ضخامت میانگین دانه انجره به ترتیب $۰/۷۸ \pm ۰/۰۷$ میلی‌متر به دست آمد که میانگین طول و ضخامت آن در مقایسه با دانه مرو (Razavi et al., 2010a)، ریحان (Razavi et al., 2010b)، شاهی (محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷) و بالنگو (Razavi et al., 2008) کوچک‌تر ولی میانگین عرض آن از دانه شاهی و ریحان بزرگ‌تر و از دانه مرو کوچک‌تر می‌باشد. میانگین حسابی قطر در دامنه ۱/۴۹ تا ۱/۸۹ و هندسی قطر در دامنه ۰/۸۹ تا ۱/۶۰ میلی‌متر بود. براساس شکل (۲) بیشترین میزان فراوانی داده‌های هندسی قطر در دامنه ۱/۲۹ تا ۱/۳۹ میلی‌متر به دست آمد، که از مقادیر مشابه در مورد دانه مرو و ریحان (Razavi et al., 2010a,b) کمتر بود، در حالی که از میانگین هندسی قطر دانه بالنگو بیشتر می‌باشد. سطح دانه‌ها در دامنه ۲/۵۲ تا ۸/۱۱ میلی‌متر مربع اندازه‌گیری شد که میانگین مقادیر آن از دانه‌های مرو، ریحان (Razavi et al., 2010a,b) و شاهی (محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷) کوچک‌تر و از دانه بالنگو بزرگ‌تر بود. ضریب کرویت دانه انجره در دامنه ۰/۴۰ تا ۰/۶۱ بود، همچنین باتوجه به شکل (۲) بیشترین میزان فراوانی داده‌های ضریب کرویت در دامنه ۰/۴۹ تا ۰/۵۴ به دست آمد، در حالی که میانگین آن ($۰/۵۲ \pm ۰/۰۵$) کوچک‌تر از همین مقدار برای دانه‌های مرو، ریحان و شاهی (Razavi et al., 2010a,b)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷) بود. جرم ۱۰۰ دانه بین ۲/۱۵ تا ۲/۲۲ گرم و میانگین آن $۲/۱۸ \pm ۰/۰۴$ گرم به دست آمد که از مقادیر مشابه در مورد دانه ریحان و شاهی بیشتر ولی از دانه مرو و بالنگو کمتر بود (Razavi et al., 2010a,b)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷).

دانسیتة حقیقی، دانسیته توده و تخلخل به ترتیب در دامنه ۱۱۵۴/۵۴ تا ۱۱۷۹/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب،

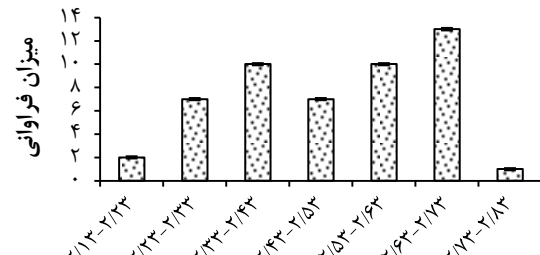
۴۵۲/۸۸ تا ۴۶۱/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ۶۰/۳۷ تا ۶۱/۳۱ درصد بودند که در مقایسه با میانگین دانسیته حقیقی دانه‌های مرو، ریحان، شاهی و بارهنگ (Razavi et al., 2009a; Zahedi, & Mahdavian Mehr, 2009a) بزرگ‌تر بود و از دانه بالنگو کمتر بود و نیز میانگین دانسیته توده از دانه‌های مرو، شاهی، بالنگو و بارهنگ کمتر ولی از دانه ریحان بزرگ‌تر بود (Razavi et al., 2008; 2010a)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین درصد تخلخل دانه انجره بزرگ‌تر از دانه‌های مرو، شاهی، بالنگو و بارهنگ و کوچک‌تر از دانه ریحان بود (Razavi et al., 2008; 2009a; 2010a)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷). همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود بیشترین میانگین ضریب اصطکاک استاتیکی مربوط به لاستیک ($۰/۳۴ \pm ۰/۰۲$) و بعد از آن تخته سه‌لایه ($۰/۲۸ \pm ۰/۰۱$) بود که مشخص می‌کند این سطوح برای انتقال مناسب نیستند. ضریب اصطکاک ورق گالوانیزه با تخته سه‌لایه تفاوت چندانی نداشت ولی شیشه کمترین ضریب اصطکاک استاتیکی در بین ۵ سطح را دارا بود ($۰/۲۱ \pm ۰/۰۰$). ضریب اصطکاک استاتیکی آهن گالوانیزه در مورد دانه مرو تقریباً مشابه دانه انجره بود (Razavi et al., 2010a). همچنین ضریب اصطکاک استاتیکی ۵ سطح مورد بررسی در مورد دانه انجره کمتر از دانه‌های مرو، ریحان، شاهی، بالنگو و بارهنگ بود (Razavi et al., 2010a; 2010b; 2009a; 2010a; 2010b)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷). ضریب اصطکاک محصولات کشاورزی عمدتاً به خصوصیات ماده غذایی شامل مقدار رطوبت، ویژگی‌های سطحی ماده غذایی و سطحی که روی آن حرکت می‌کند و سرعت لغزش بستگی دارد (رضوی و اکبری، ۱۳۹۱). زاویه ریپوز تخلیه در دامنه ۱۶/۱۶ تا ۲۱/۰۴ درجه سانتی‌گراد قرار داشت که میانگین آن از مقادیر مشابه برای دانه مرو، ریحان و شاهی بزرگ‌تر و از همین مقادیر برای دانه بارهنگ و بالنگو کوچک‌تر بود (Razavi et al., 2008; 2010a; 2010b; 2009a)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷). زاویه ریپوز پرکردن نیز در دامنه ۱۸/۸۱ تا ۲۰/۵۶ درجه سانتی‌گراد قرار داشت، که میانگین آن از مقادیر مشابه برای دانه مرو و شاهی کوچک‌تر و از دانه ریحان، بارهنگ و بالنگو بزرگ‌تر بود.

همچنین باتوجه به شکل (۲) بیشترین میزان فراوانی داده‌های طول، عرض و ضخامت دانه‌ها به ترتیب در دامنه ۲/۶۳ تا ۲/۷۳، ۲/۰۲ تا ۲/۱۲ و ۰/۷۹ تا ۰/۸۹ میلی‌متر بود و همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود طول، عرض و ضخامت میانگین دانه انجره به ترتیب $۰/۷۸ \pm ۰/۰۷$ میلی‌متر به دست آمد که میانگین طول و ضخامت آن در مقایسه با دانه مرو (Razavi et al., 2010a)، ریحان (Razavi et al., 2010b)، شاهی (محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷) و بالنگو (Razavi et al., 2008) کوچک‌تر ولی میانگین عرض آن از دانه شاهی و ریحان بزرگ‌تر و از دانه مرو کوچک‌تر می‌باشد. میانگین حسابی قطر در دامنه ۱/۴۹ تا ۱/۸۹ و هندسی قطر در دامنه ۰/۸۹ تا ۱/۶۰ میلی‌متر بود. براساس شکل (۲) بیشترین میزان فراوانی داده‌های هندسی قطر در دامنه ۱/۲۹ تا ۱/۳۹ میلی‌متر به دست آمد، که از مقادیر مشابه در مورد دانه مرو و ریحان (Razavi et al., 2010a,b) کمتر بود، در حالی که از میانگین هندسی قطر دانه بالنگو بیشتر می‌باشد. سطح دانه‌ها در دامنه ۲/۵۲ تا ۸/۱۱ میلی‌متر مربع اندازه‌گیری شد که میانگین مقادیر آن از دانه‌های مرو، ریحان (Razavi et al., 2010a,b) و شاهی (محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷) کوچک‌تر و از دانه بالنگو بزرگ‌تر بود. ضریب کرویت دانه انجره در دامنه ۰/۴۰ تا ۰/۶۱ بود، همچنین باتوجه به شکل (۲) بیشترین میزان فراوانی داده‌های ضریب کرویت در دامنه ۰/۴۹ تا ۰/۵۴ به دست آمد، در حالی که میانگین آن ($۰/۵۲ \pm ۰/۰۵$) کوچک‌تر از همین مقدار برای دانه‌های مرو، ریحان و شاهی (Razavi et al., 2010a,b)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷) بود. جرم ۱۰۰ دانه بین ۲/۱۵ تا ۲/۲۲ گرم و میانگین آن $۲/۱۸ \pm ۰/۰۴$ گرم به دست آمد که از مقادیر مشابه در مورد دانه ریحان و شاهی بیشتر ولی از دانه مرو و بالنگو کمتر بود (Razavi et al., 2010a,b)؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۸۷).

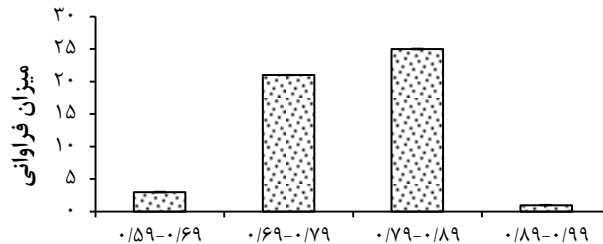
دانسیتة حقیقی، دانسیته توده و تخلخل به ترتیب در دامنه ۱۱۵۴/۵۴ تا ۱۱۷۹/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب،



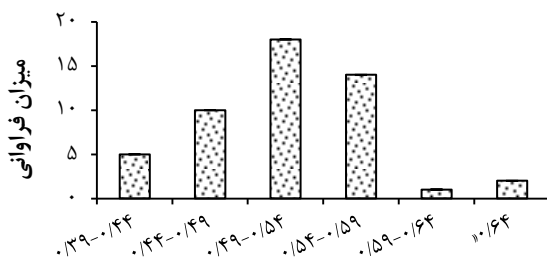
عرض (میلی‌متر)



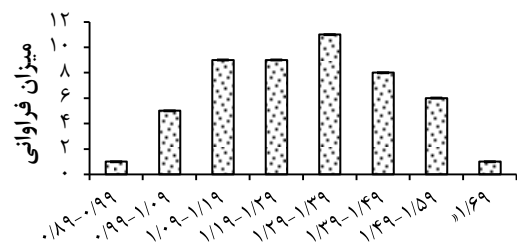
طول (میلی‌متر)



ضخامت (میلی‌متر)



ضریب کروییت



میانگین هندسی قطر (میلی‌متر)

شکل ۲- نمودارهای میزان فراوانی داده‌های طول، عرض، ضخامت، میانگین هندسی قطر و ضریب کروییت دانه انجره

شده است. ضریب تبیین مدل‌ها برای نسبت سطح دانه‌ها، راندمان و ویسکوزیته به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۹۷ و ۰/۹۷ به دست آمد که نشانگر برازش قابل قبول مدل‌ها بر داده‌های آزمایشی است.

ضریب تبیین بیش از ۸۰ درصد قابل قبول محسوب می‌شود (Myers, Montgomery, & Anderson-Cook, 2016). افزودن متغیرهای مستقل در یک مدل، صرف‌نظر از معنی‌داری آماری آنها، سبب افزایش ضریب تبیین می‌شود. بنابراین بالابودن ضریب تبیین یک مدل لزوماً به معنی کفایت برازش مدل نیست. ضریب تبیین اصلاح‌شده در واقع اصلاح ضریب تبیین برای تعداد متغیرهای مستقل مدل نسبت به تعداد نقاط داده می‌باشد. در این پژوهش به استثنای نسبت سطح دانه‌ها (۰/۷۷)، برای تمام پاسخ‌ها

برازش مدل

مدل سطح پاسخ چندجمله‌ای درجه دوم بر هریک از متغیرهای پاسخ برازش داده شد. نتایج تجزیه واریانس و ضرایب رگرسیون مدل چندجمله‌ای درجه دوم برای متغیرهای پاسخ استخراج صمغ دانه انجره در جدول (۳) آورده شده است. نتایج آنالیز واریانس در جدول (۳) نشان داد که مناسب‌ترین مدل برای تفسیر رفتار هر سه متغیر پاسخ و پیش‌بینی داده‌های آزمایشی مدل درجه دوم بود. تجزیه و رگرسیون برای برازش مدل و ارزیابی معنی‌داری آماری عبارات مدل مورد استفاده قرار گرفت. ضرایب رگرسیون مدل‌های چندجمله‌ای درجه دوم برای متغیرهای پاسخ همراه با ضرایب تبیین (R^2)، ضرایب تبیین اصلاح‌شده (R^2_{adj}) و ضریب تغییرات (CV) در جدول‌های (۴)، (۵) و (۶) ارائه

ضریب تبیین اصلاح‌شده بیش از ۸۰ درصد بود که حاکی از عدم وجود عبارت‌های فاقد معنی‌داری آماری در مدل‌هاست (Myers *et al.*, 2016). ضریب تغییرات (CV)، یک مدل عبارت از نسبت جذر مجموع مربعات خطا به میانگین متغیر وابسته یا پاسخ و بیانگر میزان پراکنش داده‌هاست. مقدار کم ضریب تغییرات، کمتر از ۱۰ درصد، نشانگر برازش بهتر مدل و کوچک‌بودن مقادیر باقی‌مانده نسبت به مقادیر پیش‌بینی‌شده و نزدیکی مقادیر پیش‌بینی‌شده به مقادیر واقعی است. مقادیر بالای ضریب تغییرات نشان می‌دهد که تغییرات در مقادیر میانگین به قدری بالاست که نمی‌توان یک مدل سطح پاسخ مناسب بر داده‌ها برازش نمود (Razavi

در پژوهش حاضر تمامی ضرایب تغییرات کمتر از ۱۰ درصد بودند که بیانگر دقت و اعتبار آزمایش‌هاست. معنی‌دارشدن آماری آزمون عدم برازش نشانگر ضعف مدل در توصیف رابطه تابعی بین متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ است. آزمون عدم برازش شاخص ضعف مدل توصیف‌کننده فضای داده‌های آزمایشی است که در آن، نقاط مشمول برازش نمی‌شوند یا تغییرات در مدل را نمی‌توان خطای تصادفی محسوب کرد (Myers *et al.*, 2016). در این پژوهش آزمون عدم برازش برای تمام متغیرهای پاسخ از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$)، که بیانگر صحت مدل در پیش‌بینی پاسخ‌هاست.

جدول ۳- آنالیز واریانس مدل‌های برازش‌یافته بر متغیرهای پاسخ استخراج صمغ دانه انجره

منابع	درجه آزادی	نسبت سطح		راندمان (درصد)		ویسکوزیته (میلی پاسکال/ثانیه)		مقادیر P	مقادیر F	مقادیر P
		مجموع مربعات	مقادیر F	مجموع مربعات	مقادیر F	مجموع مربعات	مقادیر F			
میانگین	۱	۱۱۰/۸۶		۹۰۴/۱۸		۲۳۶/۷۴				
خطی	۳	۷/۵۰	۰/۴۸	۴۱/۸۱	۳/۶۱	۱۹/۰۶	۰/۳۶۵	۴/۴۷	۰/۱۸۴	
اثر متقابل	۳	۳/۴۶	۰/۱۵	۴/۰۵	۰/۳۰	۱۶/۱۳	۰/۸۲۱۸	۱۰/۵۵	۰/۰۰۰۹	
درجه دوم	۳	۳/۲۴	۰/۰۹۵	۵۴/۸۲	۶۳/۰۶	۵/۴۴	<۰/۰۰۰۱	۱۵/۳۶	۰/۰۰۰۴	
درجه سوم	۴	۰/۴۱	۰/۰۲۱	۰/۷۶	۰/۵۳	۰/۹۰	۰/۷۱۹۳	۴/۷۶	۰/۰۴۵۲	
باقی‌مانده	۶	۰/۰۷۶		۲/۱۴		۰/۲۸				
کل	۲۰	۱۱۱/۶۸		۱۰۰۷/۷۶		۲۷۸/۵۶				

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس و ضرایب رگرسیون مدل چندجمله‌ای درجه دوم برای متغیر پاسخ نسبت سطح دانه انجره

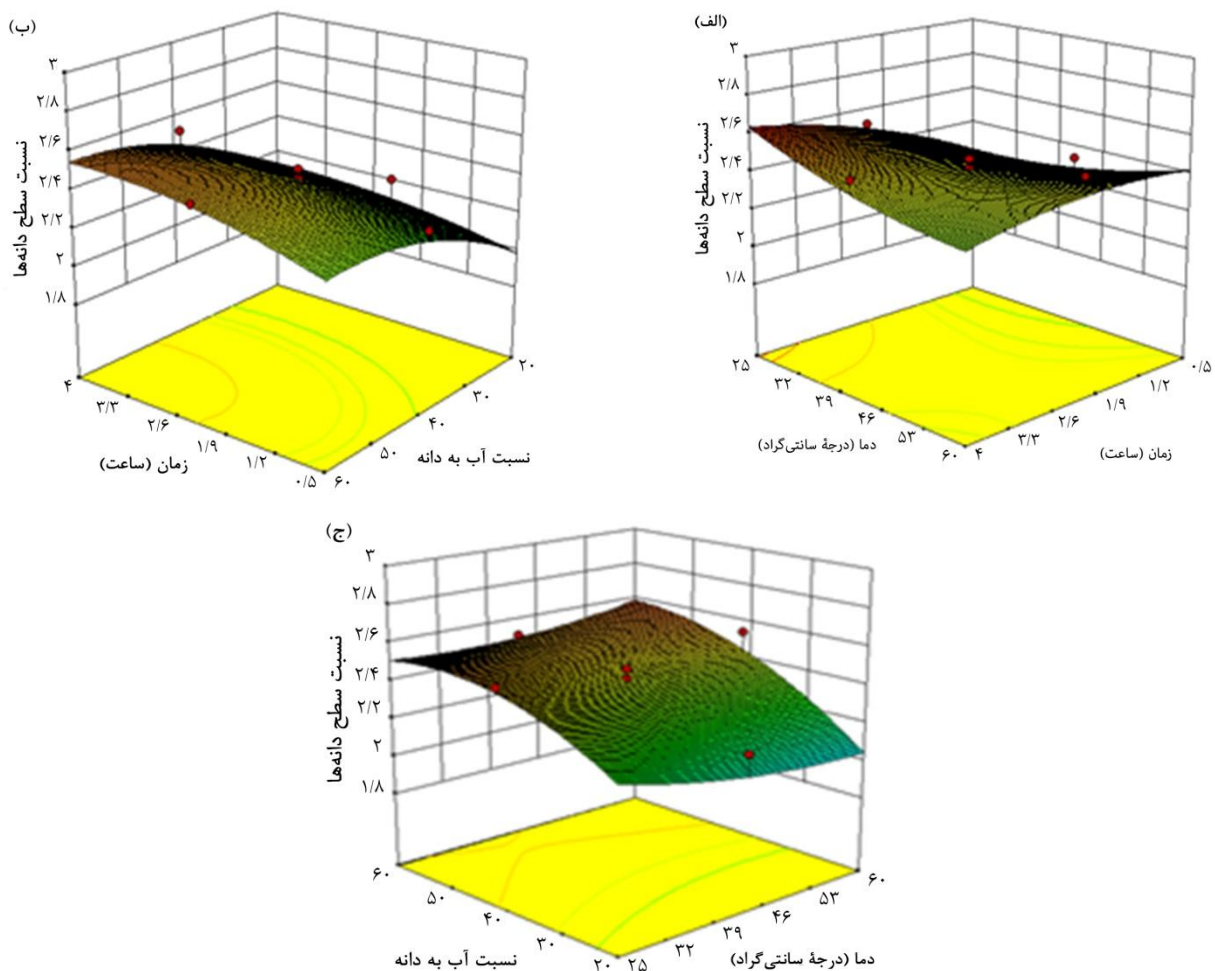
منابع	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	مقادیر F	مقادیر P
مدل	۹		۰/۷۳	۸/۳۸	۰/۰۰۱۳
خطی	۱	۰/۷۹	۰/۰۶۳	۶/۴۶	۰/۰۲۹۳
A	۱	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۷۹۵	۰/۸۲	۰/۳۸۷۱
B	۱	۰/۲۰	۰/۴۱	۴۲/۶۳	<۰/۰۰۰۱
C	۱	-۰/۰۵۸	۰/۰۰۹۲۳	۰/۹۵	۰/۳۵۲۶
درجه دوم	۱	۰/۴۹	۰/۰۰۶۶۱	۰/۶۸	۰/۴۲۸۵
A ²	۱	-۰/۱۲	۰/۰۴۲	۴/۳۱	۰/۰۶۴۵
B ²	۱				
C ²	۱				
اثر متقابل	۱۰				
AB	۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۱۱/۴۱	۰/۰۰۷۰
AC	۱	۰/۰۲۷	۰/۰۰۵۸۴	۰/۶۰	۰/۴۵۶۲
BC	۱	۰/۰۶۸	۰/۰۳۶	۳/۷۵	۰/۰۸۱۴
باقی‌مانده	۵		۰/۰۹۷		
عدم برازش	۵		۰/۰۵۵	۱/۳۳	۰/۳۸۱۸
خطای خالص	۵		۰/۰۴۲		
کل	۱۹		۰/۸۳		
ضریب تبیین		۰/۸۸۲۹			
ضریب تبیین اصلاح‌شده		۰/۷۷۷۵			
ضریب تغییرات		۴/۱۹			

نسبت سطح دانه‌ها

مدل چندجمله‌ای درجه دوم نسبت سطح نشان‌دهنده بسیار معنی‌داری اثر خطی نسبت آب به دانه ($P < 0.01$) و معنی‌داری اثر خطی زمان استخراج بود ($P < 0.05$)، درحالی‌که اثر خطی دمای استخراج تأثیر معنی‌داری بر نسبت سطح نداشت ($P > 0.05$) (جدول ۵). مطالعه اثرات متقابل نیز بیانگر معنی‌داری اثر متقابل دما و زمان استخراج بر نسبت سطح بود. هیچ‌کدام از اثرات درجه دوم تأثیر معنی‌داری بر نسبت سطح نداشت ($P > 0.05$). از بین متغیرهای مستقل، نسبت آب به دانه بیشترین و دمای استخراج کمترین تأثیر را بر نسبت سطح دانه‌ها داشته است.

رابطه بین نسبت سطح دانه‌ها با متغیرهای مستقل به‌صورت دوبه‌دو و در نقطه مرکزی متغیر سوم در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۳-الف) دیده می‌شود به‌طور کلی با افزایش زمان خیساندن از ۳۰ دقیقه به ۴

ساعت و کاهش دمای خیساندن از ۶۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نسبت آب به دانه ۱:۴۰، نسبت سطح دانه‌ها از ۱/۸۵ درصد به ۲/۶۴ درصد افزایش یافت. با افزایش زمان خیساندن، دانه‌ها بیشتر در معرض آب قرار می‌گیرند و با نفوذ بیشتر آب به درون دانه‌ها، تورم دانه‌ها بیشتر شده و نسبت سطح دانه‌ها افزایش می‌یابد. در دماهای بالاتر چسبندگی موسیلاژ دانه‌ها کاهش پیدا می‌کند و موسیلاژ اطراف دانه‌ها کنده‌شده و وارد آب می‌شود و در نتیجه نسبت سطح دانه‌ها کاهش می‌یابد. چنانچه در شکل‌های (۳-ب) و (۳-ج) مشاهده می‌شود، در نقطه مرکزی متغیرهای زمان و دمای خیساندن، با افزایش نسبت آب به دانه از ۱:۲۰ تا ۱:۶۰، نسبت سطح دانه‌ها افزایش می‌یابد. می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که با افزایش مقدار آب به دانه شرایط لازم برای اسمز آب به درون دانه بیشتر می‌شود و دانه‌ها بیشتر متورم می‌شوند.



شکل ۳- نمودارهای سطح پاسخ متغیرهای استخراج صمغ دانه انجروه بر نسبت سطح دانه‌ها

راندمان استخراج

براساس مدل راندمان استخراج (جدول ۵)، اثرات خطی زمان خیساندن و دمای خیساندن بسیار معنی‌دار ($P < 0.01$) و اثر خطی نسبت آب به دانه نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار ($P < 0.05$) بود. از میان اثرات درجه دوم فقط اثر نسبت آب به دانه بسیار معنی‌دار

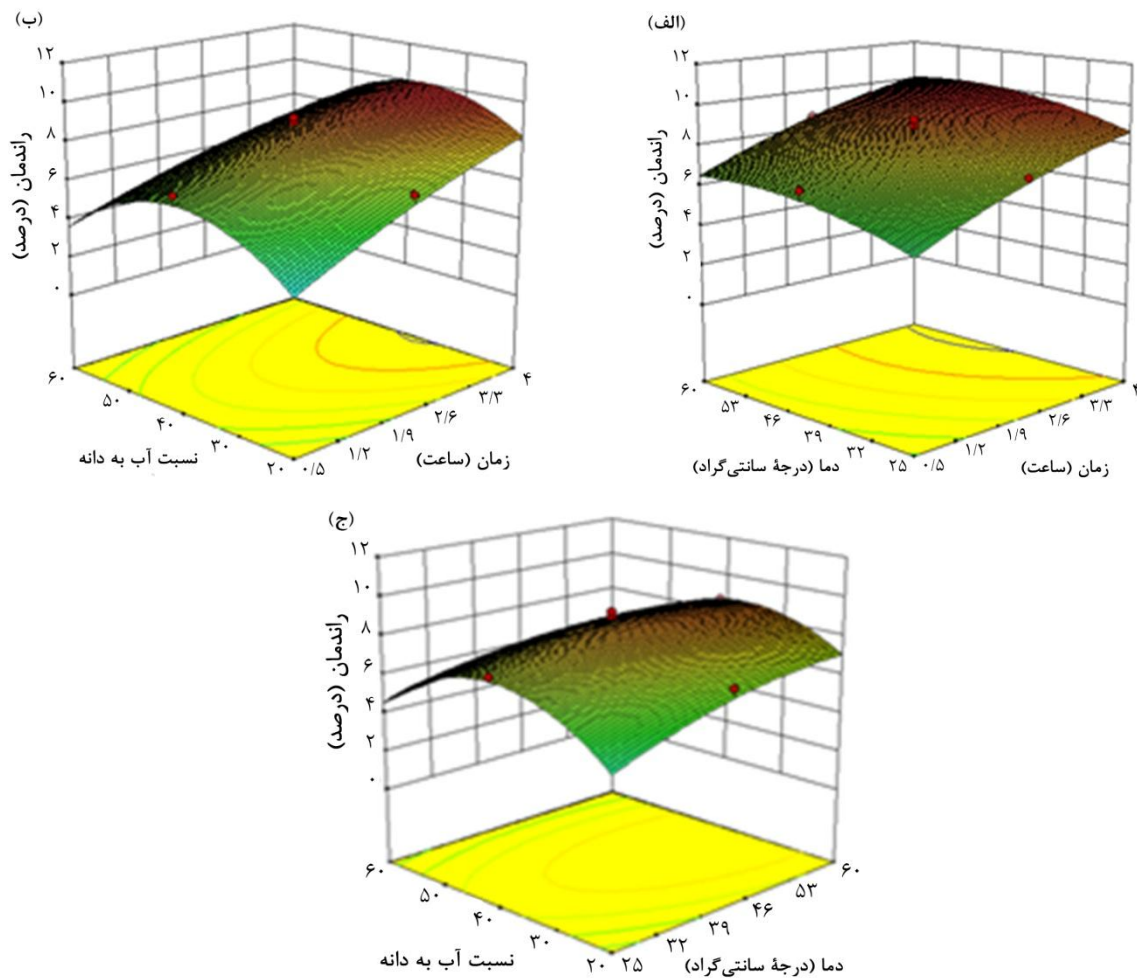
($P < 0.01$) به دست آمد. مطالعه اثرات متقابل نیز نشان‌دهنده معنی‌داری اثر متقابل زمان خیساندن و نسبت آب به دانه و همچنین دمای خیساندن و نسبت آب به دانه بود. باتوجه به مجموع مربعات می‌توان دریافت که زمان خیساندن بیشترین و نسبت آب به دانه کمترین تأثیر را بر راندمان استخراج داشته است.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس و ضرایب رگرسیون مدل چندجمله‌ای درجه دوم برای متغیر پاسخ راندمان استخراج صمغ دانه انجره

مقادیر P	مقادیر F	مجموع مربعات	ضریب	درجه آزادی	منابع
<0.0001	۳۸/۶۱	۱۰۰/۶۹		۹	مدل خطی
<0.0001	۱۱۶/۵۵	۳۳/۷۸	۱/۸۴	۱	A
0.0013	۱۹/۳۴	۵/۶۰	0/۷۵	۱	B
0.0159	۸/۳۹	۲/۴۳	-0/۴۹	۱	C
					درجه دوم
0.2660	۱/۳۹	0/۴۰	-0/۳۸	۱	A ²
0.0881	۳/۵۷	۱/۰۴	-0/۶۱	۱	B ²
<0.0001	۶۶/۴۱	۱۹/۲۵	-۲/۶۵	۱	C ²
					اثر متقابل
0.7878	0/076	0/022	-0/053	۱	AB
0.0382	۵/۶۹	۱/۶۵	-0/۴۵	۱	AC
0.0168	۸/۲۲	۲/۳۸	-0/۵۵	۱	BC
		۲/۹۰		۱۰	باقی مانده
0.8376	0/39	0/81		۵	عدم برازش
		۲/۰۸		۵	خطای خالص
		۱۰۳/۵۹		۱۹	کل
			0/9720		ضریب تبیین
			0/9468		ضریب تبیین اصلاح شده
			۸/۰۱		ضریب تغییرات

رابطه بین راندمان استخراج با متغیرهای مستقل به صورت دوجه دو و در نقطه مرکزی متغیر سوم در شکل (۴) نشان داده شده است. در شکل (۴-الف) دیده می‌شود با افزایش زمان خیساندن از ۳۰ دقیقه به ۴ ساعت و دمای خیساندن از ۲۵ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد در نسبت آب به دانه ۱:۴۰، راندمان استخراج از ۱/۶۱ درصد به ۹/۷۰ درصد افزایش یافت. با افزایش زمان خیساندن دانه‌ها بیشتر در معرض آب قرار می‌گیرند و با نفوذ بیشتر آب به درون دانه‌ها، انحلال صمغ و انتشار آن به درون آب شدت می‌گیرد (Ye & Jiang, 2011). در دماهای بالاتر ویسکوزیته صمغ متصل به دانه‌ها و چسبندگی دانه‌ها کاهش می‌یابد که در نتیجه

استخراج صمغ آسان‌تر می‌گردد (Koocheki, Taherian, Razavi, & Bostan, 2009a). از سوی دیگر Jouki, Mortazavi, Yazdi و Koocheki (۲۰۱۴) نشان دادند که در دماهای بالاتر توانایی حلال برای انحلال ترکیبات افزایش و ویسکوزیته حلال کاهش می‌یابد که در نتیجه نفوذ حلال به درون دانه‌ها تسهیل می‌گردد. به علاوه تأثیر معنی‌دار زمان و دمای خیساندن بر راندمان را می‌توان به افزایش سرعت انتقال جرم پلی‌ساکاریدهای محلول تحت زمان خیساندن طولانی و دمای بالا نسبت داد (Wu, Cui, Tang, & Gu, 2007).



شکل ۴- نمودارهای سطح پاسخ متغیرهای استخراج صمغ دانه انجره برای راندمان

می‌شود. تأثیر منفی نسبت‌های بیشتر آب به دانه بر راندمان استخراج توسط Singthong و همکاران (۲۰۰۹) در مورد صمغ برگ یانانگ^۱ و همچنین Karazhiyan و همکاران (۲۰۱۱) در مورد صمغ دانه شاهی گزارش شده است. به نظر می‌رسد با افزایش بیشتر نسبت آب به دانه، تأثیر رقت سبب معکوس شدن فرایند اسمز آب و انتشار صمغ می‌گردد که در نتیجه کاهش راندمان استخراج را در پی خواهد داشت (قبادی، وریدی، وریدی و کوچکی، ۱۳۹۷).

راندمان استخراج صمغ دانه شاهی، قدمه شهری، قدمه شیرازی و مرو در شرایط بهینه استخراج آنها به ترتیب ۸، ۱۲، ۱۵ و ۱۰ درصد به دست آمده است و نتایج آنالیز آماری نشان داده است که اثر نوع دانه بر راندمان استخراج صمغ معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (Razavi et al., 2010a). همچنین مقادیر گزارش شده راندمان در تحقیق‌های انتشار یافته برای صمغ دانه کتان ۷/۹۰ درصد (Cui,)

در تحقیق‌های متعدد مشخص شده است که افزایش زمان و دمای خیساندن تا حد معین منجر به افزایش راندمان استخراج ترکیبات پلی‌ساکاریدی می‌گردد، هرچند الگوی این تأثیر بسته به نوع گیاه و ترکیب پلی‌ساکاریدی متفاوت است (Karazhiyan, Razavi, & Phillips, 2011; Koocheki et al., 2009a; Singthong, Ningsanond, & Cui, 2009).

چنانچه در شکل‌های (۴-ب) و (۴-ج) دیده می‌شود، در نقطه مرکزی متغیرهای زمان و دمای خیساندن، با افزایش نسبت آب به دانه تا حدود ۱:۴۰ گرم بر گرم، ابتدا راندمان استخراج افزایش و سپس کاهش یافت. افزایش راندمان استخراج با افزایش نسبت آب به دانه تا ۱:۴۰ گرم بر گرم را می‌توان به وجود حلال بیشتر نسبت داد که نیروی محرکه برای انتقال جرم صمغ از دانه‌ها را تشدید می‌نماید (Bendahou, Dufresne, Kaddami, & Habibi, 2007). به عبارت دیگر با افزایش مقدار آب به دانه شرایط لازم برای اسمز آب به درون دانه و انتشار صمغ به بیرون تسهیل

¹ Yanang (*Tiliacora triandra*) leaves

ظاهری به نتایج مشابهی دست‌یافتند. همان‌طور که در شکل‌های (۵-ب) و (۵-ج) دیده می‌شود با افزایش زمان خیساندن تا ۴ ساعت ویسکوزیته افزایش می‌یابد. افزایش ویسکوزیته در زمان‌های بالای خیساندن را می‌توان همگام با افزایش راندمان استخراج تحت این شرایط دانست. Koocheki و همکاران (۲۰۰۹ب) دریافتند که با افزایش زمان خیساندن، ویسکوزیته ظاهری به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. براساس یافته‌های Garcia-Ochoa و Casas (۱۹۹۲) این اثر ناشی از تضعیف برهمکنش‌های بین‌مولکولی با گذشت زمان و افزایش دمای خیساندن است. اثر نسبت آب به دانه بر ویسکوزیته تا نسبت ۱:۴۰ افزایشی و پس از آن کاهش ارزیابی شد (شکل‌های ۵-ب و ۵-ج). این پدیده با تأثیر نسبت آب به دانه بر راندمان استخراج هماهنگ بود. یافته‌های مشابه در زمینه همسان‌بودن تأثیر نسبت آب به دانه بر راندمان و ویسکوزیته ظاهری در پژوهش‌های Koocheki و همکاران (۲۰۰۹ب)، Wu و همکاران (۲۰۰۷) و Singthong و همکاران (۲۰۰۹) گزارش شده است. بیشترین مقدار ویسکوزیته برای صمغ استخراج‌شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۴ ساعت و نسبت آب به دانه ۱:۲۰ در غلظت ۱ درصد معادل ۷/۹۳ میلی‌پاسکال/ثانیه و در شرایط بهینه استخراج معادل ۶/۲۵ میلی‌پاسکال/ثانیه برآورد گردید. میزان ویسکوزیته ظاهری صمغ دانه شاهی در تنش برشی ۳۰۰ بر ثانیه و غلظت ۲ درصد، قدومه‌شهری در تنش برشی ۴۶/۱۶ بر ثانیه و غلظت ۱ درصد، قدومه‌شیرازی در تنش برشی ۳۰۰ بر ثانیه و غلظت ۳ درصد و همچنین مرو در تنش برشی ۱۲۲ بر ثانیه و غلظت ۱ درصد، در شرایط بهینه استخراج آنها به‌ترتیب ۲۰۰، ۴۶۳/۰۷، ۸۵۵/۹۰ و ۳۱۶ میلی‌پاسکال/ثانیه به‌دست‌آمده است. همچنین مقادیر گزارش‌شده ویسکوزیته ظاهری در تحقیق‌های انتشاریافته برای صمغ دانه ریحان در سرعت برشی ۹۸/۹۰ بر ثانیه و غلظت ۱ درصد معادل ۵۸۱/۳۷ میلی‌پاسکال/ثانیه (Razavi et al., 2010b)، صمغ دانه شنبلیله در سرعت برشی ۴۶/۱۶ بر ثانیه و غلظت ۰/۳۰ درصد معادل ۲۹/۰۶ میلی‌پاسکال/ثانیه (قبادی و همکاران، ۱۳۹۷)، صمغ دانه به در سرعت برشی ۴۶/۱۶ بر ثانیه و غلظت ۱ درصد معادل ۱۴۷۳/۹۶ میلی‌پاسکال/ثانیه (Jouki et al., 2014) می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مقادیر ویسکوزیته به‌دست‌آمده در این تحقیق پایین‌تر از ویسکوزیته سایر دانه‌های بومی موسیلاژی مورد‌مقایسه بوده است.

(Mazza, Oomah, & Biliaderis, 1994)، صمغ دانه شنبلیله ۲۲ درصد (Brummer, Cui, & Wang, 2003)، صمغ اپونتیا^۱ ۱۹/۴۰ درصد (Sepúlveda, Sáenz, Aliaga, & Aceituno, 2007) و صمغ دانه دوریان^۲ ۱/۲۰ درصد (Amin, Ahmad, Yin, Yahya, & Ibrahim, 2007) می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مقادیر راندمان به‌دست‌آمده در این تحقیق بالاتر از صمغ دانه‌های شاهی، کتان و دوریان بوده است.

ویسکوزیته

براساس نتایج آنالیز واریانس ارائه‌شده در جدول (۶) می‌توان دریافت که ویسکوزیته به شکل بسیار معنی‌داری متأثر از اثرات خطی، درجه دوم و برهمکنش تمامی متغیرهای مستقل می‌باشد ($P < 0.01$). با توجه به مجموع مربعات، دمای خیساندن و همچنین به‌ترتیب برهمکنش زمان-دما و زمان-نسبت آب به دانه بیشترین تأثیر را بر ویسکوزیته صمغ استحصالی دارند. رابطه بین ویسکوزیته ظاهری با متغیرهای مستقل استخراج به‌صورت دوجه‌دو در نقطه مرکزی متغیر سوم در شکل (۵) نشان داده شده است. شکل (۵-الف) نشان می‌دهد که با افزایش دمای خیساندن تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد ویسکوزیته ظاهری نیز افزایش می‌یابد. این افزایش ویسکوزیته در دماهای پایین‌تر خیساندن با شیب بیشتری رخ داده است. تضعیف برهمکنش بین ماکرومولکول‌ها در دمای بالا (Garcia-Ochoa & Casas, 1992) و نیز تغییرات غیرقابل‌برگشت در کنفورماسیون^۳ (Estévez et al., 2004) سبب کاهش نرخ افزایش ویسکوزیته در دماهای بالاتر خیساندن می‌شود. این پدیده در پژوهش‌های مختلف مورد تأیید قرار گرفته است (Karazhiyan et al., 2011; Koocheki et al., 2010; Koocheki, Mortazavi, Shahidi, Razavi, & Taherian, 2009b). باین‌وجود پدیده افزایش ویسکوزیته در اثر افزایش دمای خیساندن در این پژوهش را می‌توان با تأثیر افزایش دما بر راندمان استخراج صمغ هماهنگ دانست. دمای بالای خیساندن منجر به راندمان بیشتر می‌شود که می‌تواند عامل ویسکوزیته بالا محسوب گردد. که با نتایج قبادی و همکاران (۱۳۹۷) در استخراج صمغ از دانه شنبلیله و همچنین Singthong و همکاران (۲۰۰۹) در استخراج صمغ برگ گیاه یانانگ در مورد اثر دمای استخراج بر ویسکوزیته

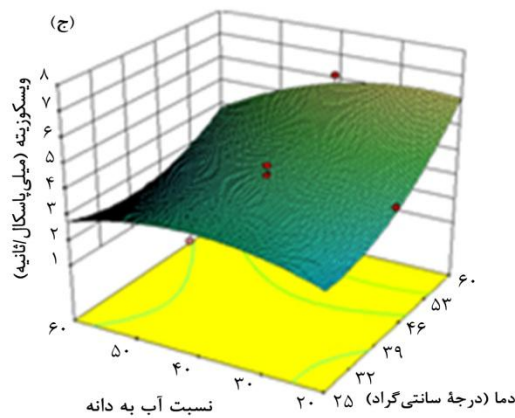
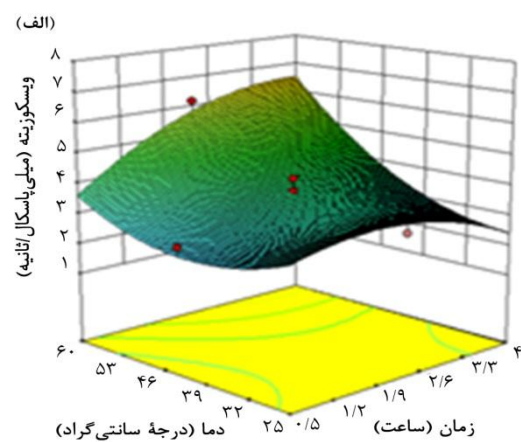
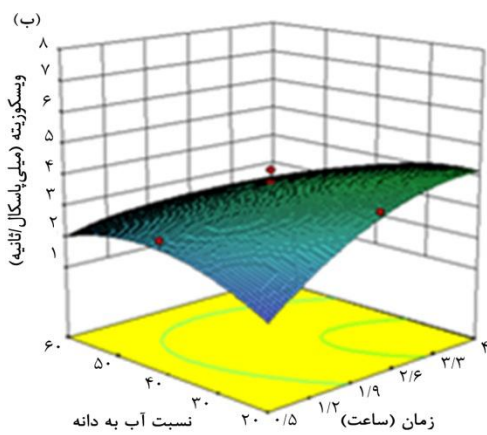
¹ Opuntia

² Durian (*Durio zibethinus*) seed gum

³ conformation

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس و ضرایب رگرسیون مدل چندجمله‌ای درجه دوم برای متغیر پاسخ ویسکوزیته دانه انجره

منابع	درجه آزادی	ضریب	مجموع مربعات	مقادیر F	مقادیر P
مدل	۹		۴۰/۶۳	۳۸/۲۲	<۰/۰۰۰۱
خطی					
A	۱	۰/۵۴	۲/۹۵	۲۴/۹۴	۰/۰۰۰۵
B	۱	۱/۱۵	۱۳/۱۶	۱۱۱/۴۱	<۰/۰۰۰۱
C	۱	-۰/۵۴	۲/۹۵	۲۴/۹۹	۰/۰۰۰۵
درجه دوم					
A ²	۱	-۰/۷۵	۱/۵۴	۱۳/۰۴	۰/۰۰۴۸
B ²	۱	۰/۹۱	۲/۲۶	۱۹/۱۷	۰/۰۰۱۴
C ²	۱	-۰/۸۲	۱/۸۶	۱۵/۷۷	۰/۰۰۲۶
اثر متقابل					
AB	۱	۰/۹۱	۶/۶۳	۵۶/۱۱	<۰/۰۰۰۱
AC	۱	-۰/۹۰	۶/۵۳	۵۵/۲۸	<۰/۰۰۰۱
BC	۱	-۰/۶۱	۲/۹۷	۲۵/۱۶	۰/۰۰۰۵
باقی مانده	۱۰		۱/۱۸		
عدم برازش	۵		۰/۹۰	۳/۲۲	۰/۱۱۲۶
خطای خالص	۵		۰/۲۸		
کل	۱۹		۴۱/۸۲		
ضریب تبیین		۰/۹۷			
ضریب تبیین اصلاح شده		۰/۹۵			
ضریب تغییرات		۹/۹۹			



شکل ۵- نمودارهای سطح پاسخ تأثیر متغیرهای استخراج صمغ دانه انجره بر ویسکوزیته

بهینه‌یابی

شرایط بهینه استخراج صمغ دانه انجره برای دستیابی به حداکثر نسبت سطح، راندمان و ویسکوزیته تعیین گردید. بهینه‌یابی عددی با حل ماتریکس معکوس معادله رگرسیون چندجمله‌ای به کمک نرم‌افزار Design Expert انجام شد. شرایط بهینه استخراج در **جدول (۷)** ارائه شده است. شرایط استخراج صمغ دانه انجره مطابق با دمای خیساندن ۵۹ درجه سانتی‌گراد، نسبت آب به دانه ۱:۴۰، طی مدت زمان خیساندن ۳/۴ ساعت (معادل ۲۰۴ دقیقه)، نسبت سطح، راندمان و ویسکوزیته بهینه صمغ استخراج شده را حاصل نمود که دارای درجه مقبولیت^۱ ۸۰ درصد بوده و منجر به نسبت سطح ۲/۳۹، راندمان ۹/۷۰ درصد صمغ با ویسکوزیته ۶/۲۵ میلی‌پاسکال/ثانیه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد گردید.

در منابع شرایط بهینه استخراج متفاوتی برای موسیلاژها گزارش شده است. برای مثال شرایط بهینه استخراج صمغ دانه شنبلیله، دمای ۶۰/۷۱ درجه سانتی‌گراد، زمان ۳/۳۳ ساعت (۲۰۰ دقیقه) و نسبت آب به دانه ۴۴/۶۰ میلی‌لیتر بر گرم بود که در این شرایط بهینه، راندمان استخراج ۲۱/۱۸ درصد، ویسکوزیته ظاهری ۲۹/۰۶ میلی‌پاسکال/ثانیه و مقدار پروتئین ۴/۱۹ درصد بود (قبادی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین شرایط بهینه استخراج صمغ دانه قدومه شیرازی دمای ۳۶/۳۰ درجه سانتی‌گراد، pH معادل ۴ و نسبت آب به دانه ۱:۴۰ بود، که در این شرایط راندمان استخراج ۲۸۷/۳۰ گرم بر کیلوگرم، ویسکوزیته ظاهری ۸۵۵/۹۰ میلی‌پاسکال/ثانیه و مقدار پروتئین ۱/۲۷ درصد گزارش شد (Koocheki et al., 2010). شرایط بهینه استخراج صمغ دانه مرو دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، نسبت آب به دانه ۱:۵۱ و pH معادل ۵/۵۰ بود، تحت این شرایط راندمان استخراج ۹/۹۷ درصد و ویسکوزیته ظاهری ۳۱۶ میلی‌پاسکال/ثانیه به دست آمد (Bostan, Razavi, & Farhoosh, 2010).

شرایط بهینه استخراج دانه ریحان نیز دمای ۶۸/۷۱ درجه سانتی‌گراد، pH معادل ۸/۰۹ و نسبت آب به دانه ۱:۶۶ بود، که تحت چنین شرایطی راندمان استخراج ۲۰/۴۹ درصد، ویسکوزیته ظاهری ۵۸۱/۳۷ میلی‌پاسکال/ثانیه و مقدار پروتئین ۲/۱۷ درصد گزارش شده است (Razavi et al., 2009b).

جدول ۷- پیش‌بینی نقاط بهینه برای استخراج صمغ دانه انجره حاصل از روش سطح پاسخ

فاکتور	کمترین	بهینه	بیشترین
دما	۲۵	۵۹	۶۰
زمان	۰/۵۰	۳/۴۰	۴
نسبت آب به دانه	۱:۲۰	۱:۴۰	۱:۶۰

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، هدف شناخت خصوصیات فیزیکومکانیکی دانه انجره و بهینه‌یابی شرایط استخراج صمغ حاصل از آن بود. در بخش اول، خصوصیات فیزیکومکانیکی رایج اندازه‌گیری گردید. متوسط طول، عرض و ضخامت دانه‌ها به ترتیب ۲/۴۹، ۱/۹۸ و ۰/۷۸ میلی‌متر و میانگین‌های حسابی قطر و هندسی قطر، ضریب کرویت و سطح به ترتیب ۱/۷۵، ۱/۲۹ میلی‌متر، ۰/۵۲ و ۵/۳۱ میلی‌مترمربع به دست آمد. میانگین دانسیته واقعی، دانسیته توده و درصد تخلخل به ترتیب ۱۱۶۸/۱۲، ۴۵۷/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب و ۶۰/۸۶ درصد و متوسط ضرایب اصطکاک استاتیکی در سطوح تخته سه‌لایه، شیشه، لاستیک، فایبرگلاس و آهن گالوانیزه به ترتیب ۰/۲۸، ۰/۲۱، ۰/۳۴، ۰/۲۲ و ۰/۲۷ بود. همچنین میانگین زاویه ریپوز تخلیه و زاویه ریپوز پرکردن به ترتیب ۱۸/۴۴ و ۱۹/۵۱ درجه به دست آمد. در بخش دوم براساس نتایج حاصل از روش سطح پاسخ، شرایط بهینه برای استخراج صمغ دانه انجره دمای خیساندن ۵۹ درجه سانتی‌گراد، نسبت آب به دانه ۱:۴۰، طی مدت زمان خیساندن ۳/۴ ساعت (معادل ۲۰۴ دقیقه)، به دست آمد. صمغ استخراج شده تحت این شرایط دارای حداکثر نسبت سطح یعنی ۲/۳۹، راندمان ۹/۷۰ درصد و ویسکوزیته ۶/۲۵ میلی‌پاسکال/ثانیه بود. موسیلاژ دانه انجره می‌تواند به‌عنوان یک منبع جدید و بومی هیدروکلوئیدی مورد استفاده قرار گیرد، البته هنوز نیازمند پژوهش‌های بیشتری در مورد خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و عملکردی این موسیلاژ خواهد بود که در ادامه این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

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 می‌شود.

^۱ -Desirability

منابع

- رضوی، س. م. ع.، و اکبری، ر. (۱۳۹۱). خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی: دانشگاه فردوسی مشهد.
- رضوی، س. م. ع.، بستان، آ.، نیک‌نیا، س.، و رزمخواه، س. (۱۳۹۰). بررسی خواص عملکردی عصاره خام هیدروکلئیدی برخی دانه های بومی ایران. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳(۳)، ۳۷۹-۳۸۹.
- قبادی، ا.، وریدی، م.، وریدی، م. ج.، و کوچکی، آ. (۱۳۹۷). صمغ دانه شنبلله: بهینه سازی استخراج و ارزیابی ویژگی های ضد اکسایشی. فناوری‌های نوین غذایی، ۵(۳)، ۴۴۷-۴۶۸. doi:<https://doi.org/10.22104/jift.2017.2173.1499>
- محمدی مقدم، ت.، رضوی، س. م.، و نیک نیا، س. (۱۳۸۷، شهریور). بررسی خواص فیزیکی دانه های بالنگو و شاهی. ارائه شده در پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، انجمن مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، https://www.civilica.com/Paper-NCAMEM05-NCAMEM05_244.html.
- Amin, A. M., Ahmad, A. S., Yin, Y. Y., Yahya, N., & Ibrahim, N. (2007). Extraction, purification and characterization of durian (*Durio zibethinus*) seed gum. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 273-279. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.04.004>
- Baytop, T. (1999). *Türkiye'de bitkiler ile tedavi: geçmişte ve bugün*: Nobel Tıp Kitabevleri.
- Bendahou, A., Dufresne, A., Kaddami, H., & Habibi, Y. (2007). Isolation and structural characterization of hemicelluloses from palm of Phoenix dactylifera L. *Carbohydrate Polymers*, 68(3), 601-608. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.10.016>
- Bostan, A., Razavi, S. M. A., & Farhoosh, R. (2010). Optimization of hydrocolloid extraction from wild sage seed (*Salvia macrosiphon*) using response surface. *International Journal of Food Properties*, 13(6), 1380-1392. doi:<https://doi.org/10.1080/10942910903079242>
- Brummer, Y., Cui, W., & Wang, Q. (2003). Extraction, purification and physicochemical characterization of fenugreek gum. *Food Hydrocolloids*, 17(3), 229-236. doi:[https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(02\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(02)00054-1)
- Cui, W., Mazza, G., Oomah, B., & Biliaderis, C. (1994). Optimization of an aqueous extraction process for flaxseed gum by response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 27(4), 363-369. doi:<https://doi.org/10.1006/ftsl.1994.1074>
- Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17(1), 25-39. doi:[https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00120-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00120-5)
- Estévez, A. M., Saenz, C., Hurtado, M. L., Escobar, B., Espinoza, S., & Suárez, C. (2004). Extraction methods and some physical properties of mesquite (*Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz) seed gum. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(12), 1487-1492. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.1795>
- Garcia-Ochoa, F., & Casas, J. (1992). Viscosity of locust bean (*Ceratonia siliqua*) gum solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 59(1), 97-100. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740590114>
- Ghobadi, E., Varidi, M., Varidi, M., & Koocheki, A. (2018). Fenugreek seed gum: extraction optimization and evaluation of antioxidant properties. *Innovative Food Technologies*, 5(3), 447-468. doi:<https://doi.org/10.22104/JIFT.2017.2173.1499> (in Persian)
- Guil-Guerrero, J., Rebolloso-Fuentes, M., & Isasa, M. T. (2003). Fatty acids and carotenoids from Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 16(2), 111-119. doi:[https://doi.org/10.1016/S0889-1575\(02\)00172-2](https://doi.org/10.1016/S0889-1575(02)00172-2)
- Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., & Koocheki, A. (2014). Optimization of extraction, antioxidant activity and functional properties of quince seed mucilage by RSM. *International journal of biological macromolecules*, 66, 113-124. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.02.026>
- Kaban, G., Aksu, M., & Kaya, M. (2008). Effect of urtica dioica L. on the growth of staphylococcus aureus in traditional dry fermented sausage ("sucuk"). *Journal of Muscle Foods*, 19(4), 399-409. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2008.00125.x>
- Karazhiyan, H., Razavi, S. M. A., & Phillips, G. O. (2011). Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (*Lepidium sativum*) using response surface methodology. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 915-920. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.08.022>
- Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S. M. A., Kadkhodae, R., & Milani, J. M. (2010). Optimization of mucilage extraction from Qodume shirazi seed (*Alyssum homolocarum*) using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*, 33(5), 861-882. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2008.00312.x>

- Koocheki, A., Mortazavi, S. A., Shahidi, F., Razavi, S. M. A., & Taherian, A. (2009b). Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. *Journal of food engineering*, 91(3), 490-496. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.028>
- Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S. M. A., & Bostan, A. (2009a). Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2369-2379. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.06.014>
- Mohammadi Moghaddam, T., Razavi, S. M. A., & Niknia, S. (2008, September). *Physical properties of Balangu and Cress seeds*. Paper presented at the Fifth National Congress on Agricultural Machinery and Mechanization, Iranian Association of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, https://www.civilica.com/Paper-NCAMEM05-NCAMEM05_244.html (in Persian)
- Mohsenin, N. (1978). Physical proprieties of plant and animal materials. *New York*.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*: John Wiley & Sons.
- Razavi, S. M. A., Bostan, A., Niknia, S., & Razmkhah, S. (2011). Functional properties of hydrocolloid extracted from selected domestic Iranian seeds. *Journal of Food Research*, 21(3), 379-389. (in Persian)
- Razavi, S. M. A., Mohammadi Moghaddam, T., & Mohammad Amini, A. (2008). Physical-mechanical properties and chemical composition of Balangu (*Lallemantia royleana* (Benth. in Walla.)) seed. *International Journal of Food Engineering*, 4(5). doi:<https://doi.org/10.2202/1556-3758.1354>
- Razavi, S. M. A., Zahedi, I., & Mahdavian Mehr, H. (2009a). Some engineering properties of *Plantago major* L.(Barhang) seed. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, 5(2), 88-96.
- Razavi, S. M. A., Bostan, A., & Rahbari, R. (2010a). Computer image analysis and physico-mechanical properties of wild sage seed (*Salvia macrosiphon*). *International Journal of Food Properties*, 13(2), 308-316. doi:<https://doi.org/10.1080/10942910802398453>
- Razavi, S. M. A., Bostan, A., & Rezaie, M. (2010b). Image processing and physico-mechanical properties of basil seed (*Ocimum basilicum*). *Journal of Food Process Engineering*, 33(1), 51-64. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2008.00259.x>
- Razavi, S. M. A., & Fathi, M. (2009). Moisture-dependent physical properties of grape (*Vitis vinifera* L.) seed. *Philippine Agricultural Scientist*, 92(2), 201-212.
- Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., & Khanipour, E. (2009b). Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.). *International journal of food Science & Technology*, 44(9), 1755-1762. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01993.x>
- Razavi, S. M. A., Taheri, H., & Quinchia, L. A. (2011). Steady shear flow properties of wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum as a function of concentration and temperature. *Food Hydrocolloids*, 25(3), 451-458. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.07.017>
- Razavi, S. M. A., & Akbari, R. (2012). *Biophysical properties of agricultural and food materials*: Published by Ferdowsi University of Mashhad, Iran (in Persian)
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of arid environments*, 68(4), 534-545. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>
- Singthong, J., Ningsanond, S., & Cui, S. W. (2009). Extraction and physicochemical characterisation of polysaccharide gum from Yanang (*Tiliacora triandra*) leaves. *Food Chemistry*, 114(4), 1301-1307. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.008>
- Wu, Y., Cui, S. W., Tang, J., & 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.066>
- Ye, C.-L., & Jiang, C.-J. (2011). Optimization of extraction process of crude polysaccharides from *Plantago asiatica* L. by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 495-502. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.014>
- Yiiksel, K., İlkey, O., Ufuk, K., Berrin, O., Sinem, A., Murat, K., & Senay, K. (2009). Fatty acid profile and antimicrobial effect of theseed oils of *Urtica dioica* and *U. PILULIFERA* *Turk J Pharm Sci*, 6(1), 21-30.

The Determination of Physicomechanical Properties of Nettle Seed (*Urtica pilulifera*) and Optimization of Its Mucilage Extraction Conditions using Response Surface Methodology

Zahra Zamani¹, Seyed Mohammad Ali Razavi^{2*}, Mohammad Sadegh Amiri³

1- MSc. Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Corresponding author (s.razavi@um.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract

In this study, some geometrical, gravimetric and frictional properties of nettle seed were evaluated for the first time. The length, width and thickness of seeds were 2.49, 1.98 and 0.78 mm, and the average arithmetic diameter, average geometric diameter, sphericity and surface area of nettle seeds were, respectively, 1.75, 1.29 mm, 0.52 and 5.31 mm². The true density, bulk density and porosity of nettle seeds were 1168.12, 457.19 kg/m³ and 60.86%, respectively, and the static friction coefficient on the plywood surface, glass, rubber, fiberglass and galvanized iron were 0.28, 0.21, 0.34, 0.22 and 0.27, respectively. Then, using the response surface method, the optimal conditions for extracting nettle mucilage as a new source of hydrocolloids were determined by achieving maximum seed surface ratio, extraction yield, and viscosity. Face central composite design analysis of the effect of three independent variables, including soaking temperature (25-60 °C), soaking time (0.5-4 h) and water to seed ratio (1:20-1:60), was studied. The ANOVA results showed that the quadratic polynomial model was the best model for interpreting the behavior of the three responses. Statistical analysis of the data showed that extraction yield and viscosity were significantly affected by all independent variables ($P < 0.05$), while the effect of temperature on seeds surface ratio was not significant ($P > 0.05$). Based on the numerical optimization method, optimized conditions for extraction of nettle seed gum were determined in terms of soaking temperature of 59 °C, soaking time of 3.4h (204 min) and water to seed ratio of 1:40. Under the optimum conditions, the seeds surface ratio, extraction yield and viscosity values were obtained as 2.39, 9.70% and 6.25 mPa/s, respectively. The results of this study are of practical value for designing post-harvesting and processing equipments for nettle seeds as well as extracting mucilage from the seeds.

Keywords: Extraction optimization, Mechanical properties, Mucilage, Nettle seed, Viscosity