

# مدل سازی سینتیک انتقال جرم استخراج صمغ از دانه مرو

فخرالدین صالحی<sup>a\*</sup>، مهدی کاشانی نژاد<sup>b</sup>، حدیثه زند رجبی<sup>c</sup>

<sup>a</sup>استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

<sup>b</sup>استاد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>c</sup>دانشجوی کارشناسی دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۷/۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۱

## چکیده

**مقدمه:** استخراج صمغ از دانه‌های گیاهی اخیراً اهمیت بسیاری یافته است. دانه مرو به مقدار زیاد در مناطق مختلف ایران کشت می‌شود. صمغ این دانه دارای خصوصیات عملکردی قابل توجهی می‌باشد که با انواع هیدروکلوئیدهای غذایی تجاری قابل مقایسه است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش اثر دمای استخراج صمغ در سه سطح ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد، pH محلول آبی در سه سطح ۵/۵، ۷ و ۸/۵ و نسبت آب به دانه در دو سطح ۳۰ به ۱ و ۴۰ به ۱ بر سینتیک انتقال جرم استخراج صمغ از دانه مرو مورد بررسی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که با افزایش دمای محلول از ۲۵ به ۵۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار صمغ استخراج شده ۲۸/۹ درصد افزایش می‌یابد (pH=۷ و نسبت آب به دانه ۳۰ به ۱). در شرایط خنثی بیشترین مقدار صمغ استخراج می‌شود و با افزایش نسبت آب به دانه (۴۰ به ۱)، سرعت استخراج صمغ از دانه افزایش می‌یابد. سپس مدل سازی فیزیکی فرآیند استخراج صمغ با استفاده از مدل فیزیکی انجام پذیرفت و با نتایج تجربی مورد مقایسه قرار گرفت.

**نتیجه گیری:** داده‌های تجربی با مدل ریاضی انتقال جرم برازش داده شد و ثابت‌های معادله به دست آمدند. نتایج حاکی از قدرت بالای مدل استفاده شده در این پژوهش است، که علاوه بر دانه مرو، برای سایر دانه‌های حاوی صمغ نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** انتقال جرم، سینتیک، صمغ، مرو، هیدروکلوئید

## مقدمه

هیدروکلوئیدها یکی از مهم‌ترین افزودنی‌هایی هستند که به علت قابلیت بالا در حفظ و کنترل مهاجرت آب و رشد کریستال‌های یخ، در محصولات غذایی کاربرد گسترده‌ای دارند. امروزه مصرف هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی افزایش چشم‌گیری یافته است و به‌طور گسترده در صنایع مختلف با عملکردهایی نظیر تغلیظ کنندگی، حفظ و بهبود بافت محصولات غذایی، تشکیل ژل، تشکیل فیلم، تثبیت کف، امولسیون‌ها، دسپرسیون‌ها، ممانعت از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر و همچنین آزادسازی کنترل‌شده طعم‌ها به کار می‌روند. این ترکیبات اگرچه در غلظت کمتر از ۱٪ به کار می‌روند، اما قادرند اثر معنی‌داری بر خواص بافتی و ارگانولپتیکی مواد غذایی داشته باشند (NikNia et al., 2010; Karazhiyan et al., 2011).

کاربرد و اهمیت هیدروکلوئیدها به خواص عملکردی آن‌ها بستگی دارد. خصوصیات عملکردی هیدروکلوئیدها در مواد غذایی به ساختار موکولی هیدروکلوئید، غلظت هیدروکلوئید، pH، دما و واکنش هیدروکلوئید با سایر ترکیبات ماده غذایی (نمک‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، پروتئین و...) وابسته می‌باشد (Farahnaky et al., 2013). اخیراً تقاضا برای هیدروکلوئیدها با خواص عملکردی ویژه افزایش یافته است، بنابراین یافتن منابع جدید صمغ‌ها با خواص مناسب جهت استفاده در صنعت اهمیت ویژه‌ای دارد (Razavi et al., 2009). موسیلاژهای دانه‌ای و پلی ساکاریدهای گیاهی به‌آسانی در دسترس می‌باشند و به دلایل طبیعی بودن، دارا بودن خواص درمانی و قیمت مناسب، اهمیت ویژه‌ای دارند (Mohammad Amini & Hadad Khodaparast, 2007; NikNia et al., 2010).

بهینه‌سازی شرایط استخراج صمغ از دانه شاهی و بررسی خواص عملکردی آن توسط Karazhiyan و همکاران (2011) مورد بررسی قرار گرفته است. متغیرهای مستقل این پژوهش دمای استخراج، pH، نسبت آب به دانه و زمان استخراج بودند. شرایط بهینه برای استخراج صمغ دانه شاهی دمای ۳۵ °C، pH معادل ۱۰، نسبت آب به دانه، ۱ به ۳۰ و زمان استخراج ۱۵ دقیقه گزارش شده است. بهینه‌یابی شرایط استخراج ترکیبات هیدروکلوئیدی

دانه بالنگو شیرازی توسط Mohammad Amini و Hadad Khodaparast (2007) مورد بررسی قرار گرفته است. این محققان از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر به‌منظور بررسی تأثیر دما، نسبت آب به دانه، pH و غلظت NaCl بر راندمان، ویسکوزیته ظاهری، چرخش ویژه نوری و جذب صمغ استخراج‌شده از دانه بالنگو شیرازی و بهینه‌سازی عملیاتی فرآیند استخراج صمغ مذکور بهره گرفتند. دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد، نسبت آب به دانه ۵۷:۱، pH = ۸/۵ و غلظت ۰/۰۵ مولار NaCl سبب حصول مقدار بیشینه از شاخص‌ها گردید.

دانه مرو<sup>۱</sup> با نام علمی *Salvia macrosiphon* گیاهی از تیره نعناعیان می‌باشد که یکی از گیاهان بومی ایران است و به‌عنوان یک گیاه دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از لحاظ اندازه شبیه دانه شاه دانه و هم‌رنگ با آن با ظاهری براق بوده و شکلی سه‌وجهی با یک وجه بزرگ‌تر دارد. این دانه دارای رگه‌هایی به رنگ قهوه‌ای است که از قسمت پایین منشعب شده و سرتاسر دانه را فراگرفته‌اند. مرو گیاهی پایا، دارای برگ‌ها و کاسبرگ‌های بزرگ و غشایی با پنج دانه نوک‌تیز است. دانه مرو در هنگام قرار گرفتن در آب به‌راحتی متورم شده و مقدار زیادی موسیلاژ (صمغ محلول در آب) ایجاد می‌کند که در برطرف کردن خارش‌های گلو و سرفه در فرمول چهارتخمه استفاده سنتی دارد (Farahnaky et al., 2013; Amin, 2008).

طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر جهت بهینه‌یابی شرایط استخراج هیدروکلوئیدهای دانه مرو توسط Bostan و همکاران (2010) استفاده شد. متغیرهای مستقل، دما (۸۵-۲۵ °C)، نسبت آب به دانه (۱:۲۵-۱:۸۵) و pH (۹-۳) بودند. تأثیر هم‌زمان این متغیرها بر راندمان، ویسکوزیته ظاهری و شاخص پایداری امولسیون عصاره هیدروکلوئیدی مستخرج مورد بررسی قرار گرفته است. محلول صمغ دانه مرو در کلیه غلظت‌ها و دماها رفتار شل شونده با برش داشت.

بررسی مسائل مرتبط با انتقال جرم در پژوهش‌های مرتبط با صنایع غذایی و به دست آوردن ضرایب آن، در فرآیندهای حرارتی چون خشک‌کردن، برشته کردن، پخت و سرخ کردن دیده می‌شود، که هرکدام پیچیدگی‌های خاص خود را دارند (Farinu & Baik, 2008). لازمه

<sup>1</sup> Wild Sage

جرم است. سرعت انتقال جرم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{dW}{dt} = k.A(C_{Ai} - C_A) \quad (1)$$

در اینجا  $\frac{dW}{dt}$ ، سرعت انتقال جرم صمغ از درون دانه  $C_A$  و  $C_{Ai}$ ؛ (g/s) به ترتیب غلظت صمغ در آب در زمان  $t$  (g/m<sup>3</sup>) و در حالت تعادل (g/m<sup>3</sup>)؛  $k$  ضریب انتقال جرم (ms<sup>-1</sup>)؛  $A$ ، مساحت سطح مورد نظر برای انتقال جرم (m<sup>2</sup>)، از آنجایی که استخراج صمغ در یک فرآیند ناپیوسته انجام شده و حجم در طی فرآیند ثابت بود، معادله شماره ۱، به صورت معادلات زیر بازنویسی می‌شود (Sulaiman *et al.*, 2013):

$$\frac{dW}{dt} = k \cdot \frac{A}{v} (w_{Ai} - w_A) \quad (2)$$

$$\frac{dW}{dt} = k.a.(w_{Ai} - w_A) \quad (3)$$

در این معادله،  $k.a$ ، ضریب انتقال جرم حجمی می‌باشد. جهت حل معادله ۳ به وسیله انتگرال گیری، مقدار صمغ دانه مرو در محلول آبی ( $W_A$ ) در هنگام شروع فرآیند، صفر در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این شرط و انتگرال گیری از معادله ۳، معادله ۴ حاصل می‌شود:

$$W_A = W_{Ai} \left[ 1 - \exp(-k.a.t) \right] \quad (4)$$

با آرایش مجدد معادله ۴، بر اساس مقدار صمغ به ازای وزن دانه مصرف شده (درصد استخراج)، و استفاده از حرف  $K$  به جای  $k.a$ ، معادله سینتیکی استفاده شده در این تحقیق به صورت معادله ۵، بیان می‌شود:

$$Y_A = Y_{Ai} \left[ 1 - \exp(-K.t) \right] \quad (5)$$

در این معادله،  $Y_A$  و  $Y_{Ai}$ ، به ترتیب مقدار صمغ در محلول آبی در طی زمان  $t$  و در زمان تعادل؛ و  $K$  ضریب انتقال جرم حجمی می‌باشد. به منظور مدل کردن سینتیک استخراج صمغ از دانه مرو و تعیین مقادیر  $K$  و  $Y_A$ ؛ داده‌های تجربی استخراج صمغ

طراحی، تجزیه و تحلیل دینامیک فرآیند، بهینه‌سازی، تخمین شدت و کنترل صحیح و دقیق فرآیندهای انتقال جرم، آگاهی داشتن از پارامترهای انتقال جرم می‌باشد (Farinu & Baik, 2008; Yildiz & Korag, 2007). بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی انتقال جرم استخراج صمغ از دانه‌های حاوی صمغ خوراکی انجام نشده است. لذا در این پژوهش ابتدا سعی بر این بوده است که اثر دماهای مختلف، pH و نسبت‌های مختلف آب به دانه مرو در زمان‌های مختلف، بر سینتیک استخراج صمغ مورد بررسی قرار گیرد و سپس مدل ریاضی توسعه یافته‌ای جهت مدل‌سازی فرآیند استخراج به کار گرفته شود و کارایی معادله استفاده شده مورد بررسی قرار گرفته و ضرایب ثابت مربوط به معادله انتقال جرم به دست آید.

## مواد و روش‌ها

### - استخراج صمغ

دانه مرو از بازار شیراز خریداری و آلودگی‌های ثانویه آن حذف گردید. جهت استخراج صمغ از آب مقطر در دماهای ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد، و pH های ۵/۵، ۷ و ۸/۵ استفاده گردید. پس از بررسی منابع و انجام چند سری آزمون به صورت سعی و خطا، نسبت آب به دانه در دو سطح ۳۰ به ۱ و ۴۰ به ۱ تعیین گردید. به منظور بررسی سینتیک استخراج صمغ و ترسیم منحنی‌های مربوطه، مقدار استخراج صمغ در ۲۲ زمان متوالی تعیین شده، اندازه‌گیری شد. برای هر نقطه مقدار مشخصی از دانه در شرایط تعیین شده از نظر دما، نسبت آب و pH قرار گرفته و سپس صمغ آن توسط دستگاه اکستراکتور استخراج می‌گردید. موسیلاژ در آون<sup>۱</sup> با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و سپس مقدار صمغ خشک شده با استفاده از ترازو<sup>۲</sup> با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین گردید.

### - مدل‌سازی فرآیند

مدل سینتیکی انتقال جرم، جهت مدل‌سازی فرآیند استخراج صمغ از دانه مرو مورد استفاده قرار گرفت (Liau *et al.*, 2008). در این روش فرض بر این است که تنها عاملی که باعث کنترل خروج صمغ از دانه می‌شود، انتقال

<sup>1</sup> Convection oven, Memmert Universal, Schwabach, Germany

<sup>2</sup> Sartorius TE313S, Canada

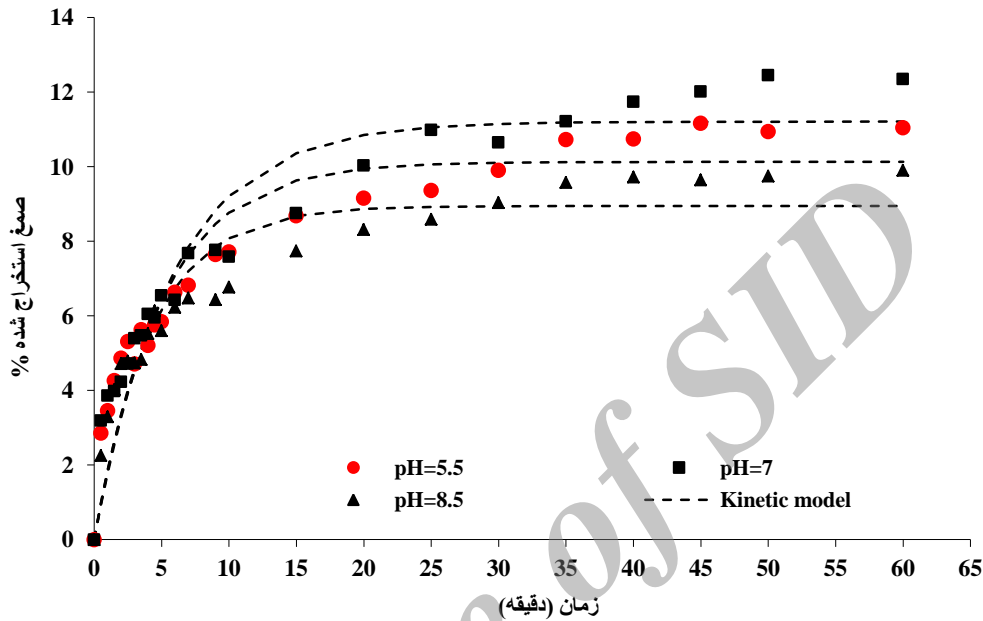
مدل سازی سینتیک انتقال جرم استخراج صمغ از دانه مرو

سانتی گراد و نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱ و ۴۰ به ۱ در شکل های ۱ و ۲ به نمایش درآمده است. همان طور که مشاهده می شود، در ابتدای فرآیند شدت انتقال جرم بالا می باشد و بعد از حدود ۲۵ دقیقه از سرعت استخراج صمغ کاسته می شود و به حال پایا می رسد.

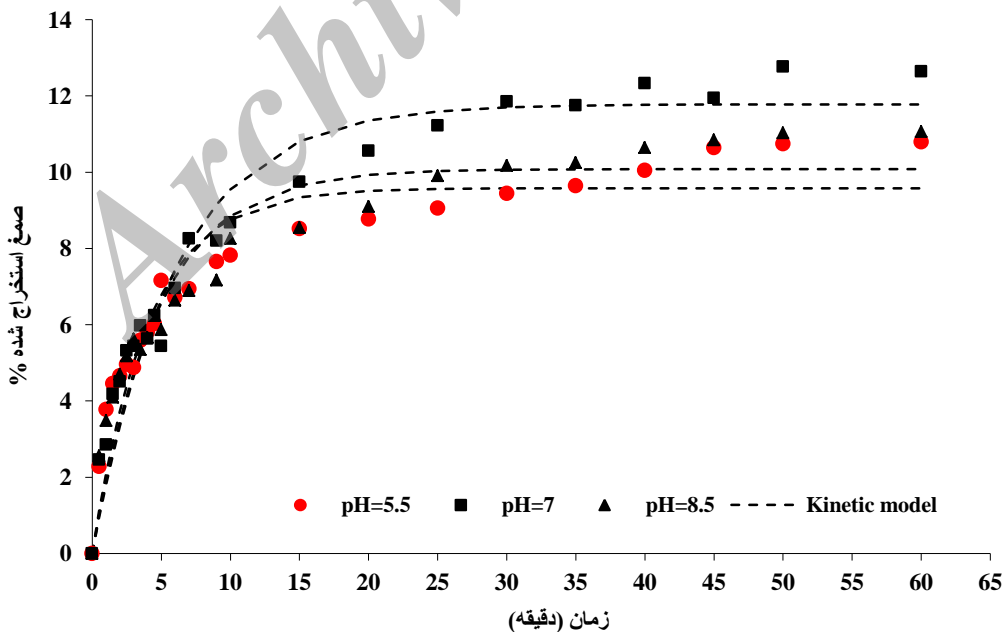
(به دست آمده در طی شرایط مختلف دمایی، pH و نسبت آب به دانه) با استفاده از نرم افزار Curve Expert ویرایش (Hyams, 1997) برآزش داده شدند.

## یافته ها

اثر pH بر سرعت خروج صمغ از دانه مرو در دمای ۴۰



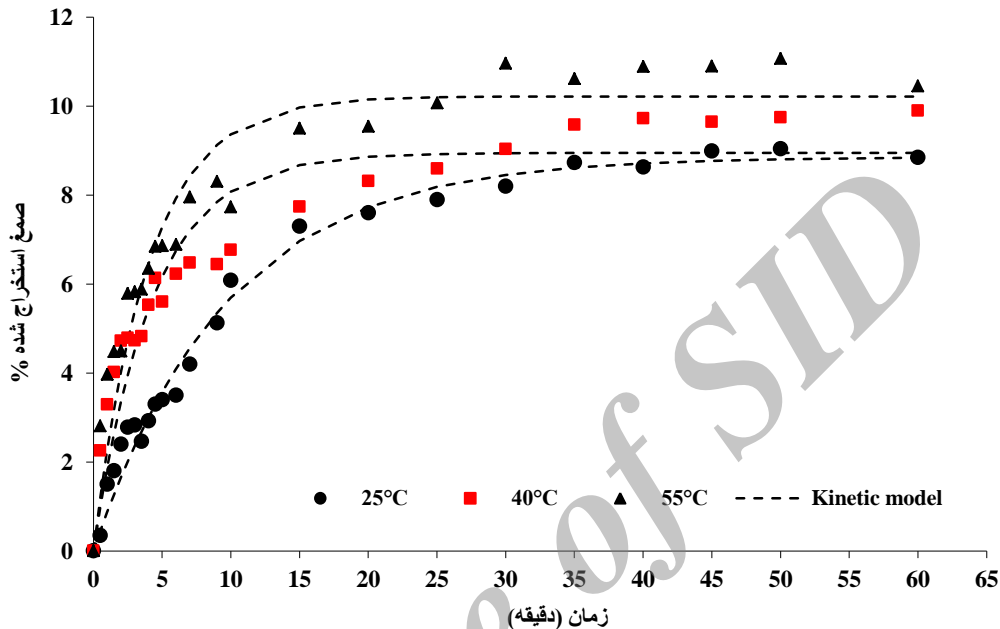
شکل ۱- اثر pH بر سرعت خروج صمغ از دانه مرو در دمای ۴۰ سانتی گراد و نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱ (نمادها، داده های تجربی و خط چین، نتایج مدل سازی فیزیکی)



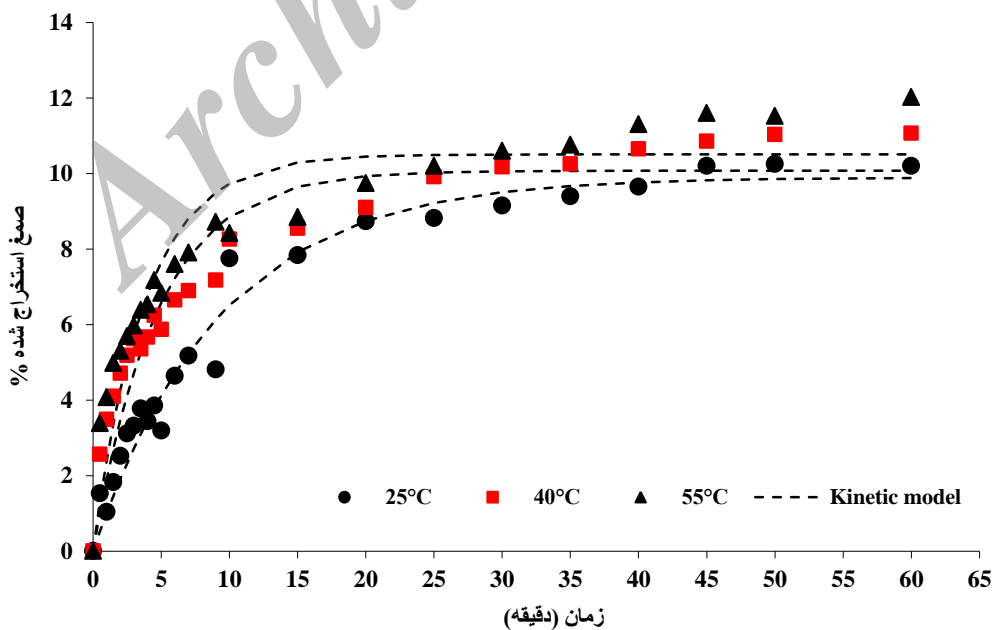
شکل ۲- اثر pH بر سرعت خروج صمغ از دانه مرو در دمای ۴۰ سانتی گراد و نسبت آب به دانه برابر ۴۰ به ۱ (نمادها، داده های تجربی و خط چین، نتایج مدل سازی فیزیکی)

در شکل ۴ نیز اثر تغییر دما بر مقدار صمغ استخراج شده از دانه مرو در pH برابر ۸/۵ و نسبت آب به دانه برابر ۴۰ به ۱ به نمایش درآمده است. در این شکل نیز مشاهده می‌گردد با افزایش دما تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد مقدار صمغ استخراج شده افزایش می‌یابد.

اثر دماهای مختلف بر سینتیک استخراج صمغ از دانه مرو در pH برابر ۸/۵ و نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱ در شکل ۳ به نمایش درآمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دما از ۲۵ به ۵۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار صمغ استخراج شده افزایش می‌یابد و حداکثر مقدار استخراج صمغ در دمای برابر ۵۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۳- اثر تغییر دما بر سینتیک خروج صمغ از دانه مرو در pH برابر ۸/۵ و نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱ (نمادها، داده‌های تجربی و خط‌چین، نتایج مدل‌سازی فیزیکی)

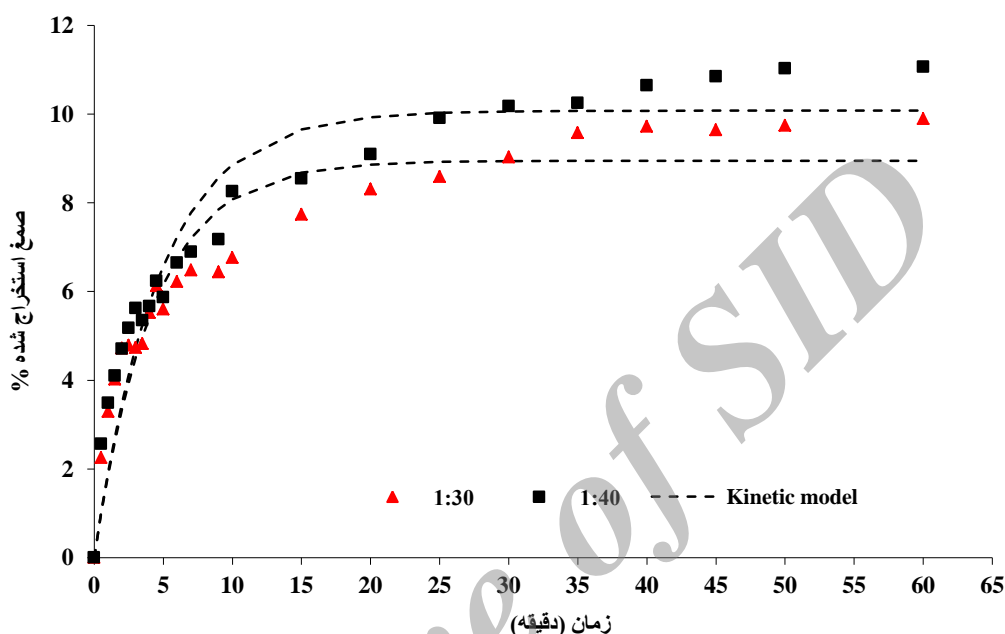


شکل ۴- اثر تغییر دما بر سینتیک خروج صمغ از دانه مرو در pH برابر ۸/۵ و نسبت آب به دانه برابر ۴۰ به ۱ (نمادها، داده‌های تجربی و خط‌چین، نتایج مدل‌سازی فیزیکی)

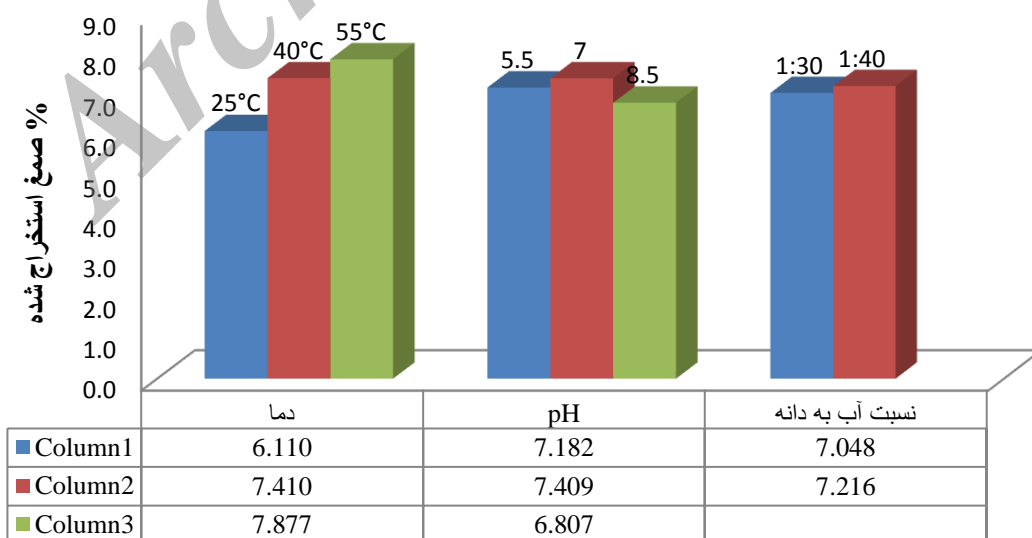
## مدل سازی سینتیک انتقال جرم استخراج صمغ از دانه مرو

اثر نسبت‌های مختلف آب به دانه (۳۰ به ۱ و ۴۰ به ۱) در هنگام استخراج صمغ از دانه مرو در pH برابر ۸/۵ و دمای ۴۰°C در شکل ۵ به نمایش درآمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت آب به دانه مقدار استخراج صمغ بیشتر می‌شود. اثر دماهای مختلف، pH و نسبت آب به دانه بر

سینتیک استخراج صمغ از دانه مرو در شکل ۶ به نمایش درآمده است. این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش دمای آب و نسبت آن، در pH خنثی حداکثر استخراج صمغ از دانه مرو را می‌توان داشت. با افزایش نسبت آب به دانه از ۱:۳۰ به ۱:۴۰، مقدار صمغ استخراج‌شده ۲/۳۸ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۵- اثر نسبت‌های مختلف آب به دانه در هنگام استخراج صمغ از دانه مرو در pH برابر ۸/۵ و دمای ۴۰°C (نمادها، داده‌های تجربی و خط‌چین، نتایج مدل‌سازی فیزیکی)



شکل ۶- اثر دما، pH و نسبت آب به دانه بر میزان خروج صمغ از دانه مرو

می‌باشد.

اثر دما بر خصوصیات رئولوژیکی و بافتی صمغ دانه مرو توسط محققان بررسی شده است. این صمغ گیاهی تا دمای ۶۰ درجه سلسیوس را تحمل می‌کند (Salehi & Kashaninejad, 2015). نتایج نشان داد که با افزایش دمای محلول از ۲۵ به ۵۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار صمغ استخراج شده ۲۸/۹ درصد افزایش می‌یابد. در سایر شرایط اعمال شده در طی آزمایش‌ها نیز رفتار مشابهی مشاهده گردید.

مقدار صمغ استخراج شده در شرایط ۴۰ به ۱، بیشتر از ۳۰ به ۱ می‌باشد. در صورتی که مقدار آب از ۳۰ برابر کمتر شود، در هنگام استخراج صمغ، در زمان‌های طولانی (بیشتر از ۲۰ دقیقه)، دانه‌ها به یکدیگر چسبیده و هنگام عبور از اکستراکتور مشکل ایجاد می‌کنند. در نسبت‌های بیشتر از ۴۰ برابر نیز مقدار صمغ خارج شده تغییر زیادی نمی‌کند و فقط در هنگام خشک کردن آن، باعث طولانی شدن زمان

جدول ۱ و ۲، پارامترهای به دست آمده حاصل از برازش مقادیر تجربی با استفاده از معادله شماره ۵ را به نمایش گذاشته‌اند. در این جداول مقادیر ثابت معادله ۵،  $K$  و  $Y_{Ai}$  به همراه مقادیر مربوط به ضریب همبستگی ( $R$ ) ارائه شده است.

## بحث

حداکثر مقدار استخراج صمغ دانه مرو در pH خنثی یعنی برابر ۷ می‌باشد. در سایر دماها نیز رفتار مشابهی مشاهده گردید که حاکی از این است که در شرایط خنثی از نظر pH صمغ به مقدار و سرعت بیشتری از دانه مرو خارج می‌گردد. نتایج گزارش شده توسط Maherani و همکاران (2005) در هنگام استخراج صمغ از دانه بزرک ایرانی حاکی از این است که درجه حرارت و pH دو فاکتور مؤثر بر بازده و کیفیت صمغ استخراجی می‌باشند، در صورتی که فاکتور نسبت آب به دانه، دارای اثر کمتری

جدول ۱- پارامترهای برازش شده برای فرآیند استخراج صمغ از دانه مرو، نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱

R	(wt%) $Y_{Ai}$	(h <sup>-1</sup> ) K	دما (°C)	pH
۰/۹۹	۱۲/۴۱	۵/۴۲	۲۵	۵/۵
۰/۹۵	۱۰/۱۳	۱۲/۰۵	۴۰	۵/۵
۰/۹۴	۹/۸۸	۱۶/۸۷	۵۵	۵/۵
۰/۹۹	۹/۱۳	۱۱/۱۱	۲۵	۷
۰/۹۶	۱۱/۲۱	۱۰/۳۵	۴۰	۷
۰/۹۴	۱۰/۵۱	۱۴/۰۶	۵۵	۷
۰/۹۹	۸/۸۶	۶/۱۸	۲۵	۸/۵
۰/۹۵	۸/۹۵	۱۳/۹۹	۴۰	۸/۵
۰/۹۷	۱۰/۲۲	۱۴/۹۳	۵۵	۸/۵

جدول ۲- پارامترهای برازش شده برای فرآیند استخراج صمغ از دانه مرو، نسبت آب به دانه برابر ۴۰ به ۱

R	(wt%) $Y_{Ai}$	(h <sup>-1</sup> ) K	دما (°C)	pH
۰/۹۹	۱۱/۱۱	۵/۰۳	۲۵	۵/۵
۰/۹۶	۹/۵۸	۱۴/۷۸	۴۰	۵/۵
۰/۹۴	۱۰/۵۷	۱۴/۲۹	۵۵	۵/۵
۰/۹۹	۱۲/۵۶	۴/۷۰	۲۵	۷
۰/۹۸	۱۱/۷۸	۹/۹۹	۴۰	۷
۰/۹۶	۱۰/۳۹	۱۴/۶۰	۵۵	۷
۰/۹۹	۹/۹۰	۶/۴۵	۲۵	۸/۵
۰/۹۶	۱۰/۰۸	۱۲/۶۷	۴۰	۸/۵
۰/۹۵	۱۰/۵۱	۱۵/۶۴	۵۵	۸/۵

۱۰۱

خشک کردن و افزایش هزینه‌ها می‌شود. لذا نسبت آب به دانه برابر ۴۰ به ۱، از نظر مقدار صمغ استخراج شده و هزینه خشک کردن، برای استخراج صمغ مرو به صورت صنعتی نیز توصیه می‌شود. Mohammad Amini و همکاران (2007) گزارش کردند که دما و نسبت آب به دانه بر استخراج صمغ دانه بالنگو (*Lallemantia royleana*) تأثیرگذار می‌باشند، در حالی که pH و غلظت NaCl در حد بسیار ناچیزی آن را تحت تأثیر قرار دادند.

بهینه‌سازی شرایط استخراج صمغ دانه بزرک ایرانی (*Linum usitatissimum*) به روش سطح پاسخ توسط Maherani و همکاران (2005) بررسی شده است. در این پژوهش درجه حرارت استخراج ( $100^{\circ}\text{C} - 45$ )، pH در محدوده ۳-۷ و نسبت آب به دانه در دامنه ۲۴-۴ به عنوان فاکتورهای مؤثر بر درصد بازده استخراج، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. شرایط بهینه استخراج صمغ دانه بزرک ایرانی برابر با درجه حرارت  $90^{\circ}\text{C} - 85$  pH برابر ۶/۵-۷ و نسبت آب به دانه برابر ۱۴ گزارش شده است.

همان‌طور که در جدول ۲۱ ملاحظه می‌شود، مدل استفاده شده به خوبی قادر به پیشگویی سرعت انتقال جرم از دانه مرو می‌باشد. با استفاده از این جدول می‌توان مقدار صمغ استخراج شده از دانه را در طی زمان و شرایط عملیاتی مورد نظر (دما، نسبت آب به دانه و pH) به دست آورد. از این مدل جهت بررسی سرعت انتقال جرم از دانه بالنگو (*Lallemantia royleana*) نیز استفاده شده است. ضریب انتقال جرم با افزایش نسبت آب به دانه از ۲۰:۱ به ۳۰:۱، در حدود ۳/۶ درصد افزایش یافت. نتایج حاکی از قدرت بالای مدل استفاده شده بوده که علاوه بر دانه بالنگو، برای سایر دانه‌های حاوی صمغ نیز توصیه شده است (صالحی و کاشانی نژاد، ۱۳۹۲).

### نتیجه گیری

امروزه مصرف هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی افزایش چشم‌گیری یافته است. دانه مرو حاوی مقادیر زیادی هیدروکلوئید با خواص رئولوژیکی قابل توجه می‌باشد. از این صمغ می‌توان جهت حفظ و بهبود بافت محصولات غذایی، تشکیل ژل، تشکیل فیلم، تثبیت کف، امولسیون‌ها، دسپرسیون‌ها، ممانعت از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر و همچنین آزادسازی کنترل شده طعم‌ها استفاده نمود. در این

پژوهش اثر دمای استخراج در سه سطح ۲۵، ۴۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد، pH در سه سطح ۵/۵، ۷ و ۸/۵ و نسبت آب به دانه برابر ۳۰:۱ و ۴۰:۱ بر سینتیک انتقال جرم استخراج صمغ از دانه مرو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از این است که با افزایش دمای آب تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار صمغ استخراج شده از دانه مرو افزایش می‌یابد. با افزایش نسبت آب به دانه، صمغ به مقدار و سرعت بیشتری از دانه خارج می‌شود. نسبت آب به دانه برابر ۴۰:۱ جهت استخراج صمغ، از نظر مقدار صمغ استخراج شده و هزینه نهایی برای خشک کردن آن مناسب می‌باشد. در pH خنثی مقدار صمغ استخراج شده، حداکثر می‌باشد. همچنین داده‌های تجربی به دست آمده با مدل ریاضی انتقال جرم برازش داده شد و ثابت‌های معادله به دست آمدند. مقادیر بالای ضریب همبستگی، نشان‌دهنده این است که مدل پیشنهادی در این پژوهش به خوبی قادر به توصیف سینتیک انتقال جرم در هنگام استخراج صمغ از دانه مرو می‌باشد. همچنین مقادیر تعادلی خروج صمغ بدون نیاز به ادامه فرآیند تا زمان‌های طولانی، قابل محاسبه می‌باشد.

### منابع

- صالحی، ف. و کاشانی نژاد، م. (۱۳۹۲). مدل سازی استخراج صمغ دانه بالنگو (*Lallemantia royleana*). مجله علوم و فناوری‌های نوین غذایی، سال اول، شماره ۱، ۲۰-۱۳.
- Amin, G. (2008). The Most Common Herbal Traditional Drugs in Iran. *Tehran University of Medical Sciences*, Tehran, 260.
- Bostan, A., Razavi, S. M. A. & Farhoosh, R., (2010). Optimization of hydrocolloid extraction from wild wage seed (*Salvia macrosiphon*) using response surface. *International Journal of Food Properties*, 13 (6), 1380-1392.
- Farahnaky, A., Shanesazzadeh, E., Mesbahi, Gh. & Majzoobi, M. (2013). Effect of various salts and pH condition on rheological properties of *Salvia macrosiphon* hydrocolloid solutions. *Journal of Food Engineering*, 116, 782-788.
- Farinu, A. & Baik, O. D. (2008). Convective mass transfer coefficients in finite element simulations of deep fat frying of



sweetpotato. *Journal of Food Engineering*, 89(2), 187-194.

Hyams, D. (1997). Curve Expert Version 1.34, a comprehensive curve fitting system for windows. Microsoft Corporation, <http://www.ebicom.net/~dhyams/cvxpt.htm>.

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, 915-920.

Liauw, M. Y., Natan, F. A., Widiyanti, P., Ikasari, D., Indraswati, N. & Oetaredjo, F. E. (2008). Extraction of neem oil (*Azadirachta indica* A. Juss) using n-hexane and ethanol: studies of oil quality, kinetic and thermodynamic. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (No. 3), 6.

Maherani, B., Barzegar, M., Sahari, M. A. & Dehghan, H. (2005). Optimization of Extraction Conditions of an Iranian Flaxseed Gum Using the Response Surface Method. *JWSS - Isfahan University of Technology*, 8 (4), 145-156

Mohammad Amini, A. & Hadad Khodaparast, M. H. (2007). Modeling and optimization of mucilage extraction from *Allemania royleana*: a response surface-

genetic algorithm approach. *EFFoST/EHEDG Joint Conference*, Lisbon Portugal.

NikNia, S., Razavi, S. M. A., Koocheki, A. & NayebZadeh, K. (2010). The influence some food hydrocolloids on the sensory properties and stability of mayonnaise, *Electronic Journal of Food Processing and Preservation (EJFPP)*, 2 (2), 61-79.

Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H. & Khanipour, E. (2009). Optimization study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L) using Response Surface Methodology. *International Journal of Food Science and Technology*, 44 (9), 1755-1762.

Salehi, F. & Kashaninejad, M. (2015). Effect of drying methods on rheological and textural properties, and color changes of wild sage seed gum. *Journal of Food Science and Technology*. DOI: 10.1007/s13197-015-1849-5.

Sulaiman, S., Abdul, A. R. & Aroua, M. K. (2013). Optimization and modeling of extraction of solid coconut waste oil. *Journal of Food Engineering*, 114, 228-234.

Yildiz, A. & Koray Palazoglu, T. L. (2007). Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 11-17.