مدل‌سازی سینتیک انتقال جرم استخراج صمغ از دانه مرو

فخرالدین صالحی[a]*، مهدی کاشانی نژاد[b]، حدیثه زند رجبی[c]

[a] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
[b] استاد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[c] دانشجوی کارشناسی دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۷/۶

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 قابل‌توجهی 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 استخراج‌شده 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 مدل‌سازی فیزیکی فرآیند استخراج صمغ با استفاده از مدل فیزیکی انجام پذیرفت و با نتایج تجربی مورد مقایسه قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: 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*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: F.salehi@basu.ac.ir

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، دسپرسیون ها، 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 افزایش‌یافته 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 گزارش‌شده است.

بهینه‌یابی شرایط استخراج ترکیبات هیدروکلوئیدی دانه بالنگو شیرازی توسط Mohammad Amini و Hadad Khodaparast (2007) مورد بررسی قرارگرفته 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[1] 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. ازلحاظ اندازه شبیه دانه شاه دانه و همرنگ با آن با ظاهری براق بوده و شکلی سه وجهی 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 چرخش پذیر جهت بهینه‌یابی شرایط استخراج هیدروکلوئیدهای دانه مرو توسط Bostan و همکاران (2010) استفاده شد. متغیرهای مستقل، دما (۸۵ -۲۵ °C)، نسبت آب به دانه (۱:۸۵–۱:۲۵) و pH (۹–۳) بودند. تأثیر همزمان این متغیرها بر راندمان، ویسکوزیته ظاهری و شاخص پایداری امولسیون عصاره هیدروکلوئیدی مستخرج موردبررسی قرارگرفته 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

[1] Wild Sage

طراحی، تجزیه وتحلیل 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 Palazoglu, 2007). بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی انتقال جرم استخراج صمغ از دانه‌های حاوی صمغ خوراکی انجام‌نشده 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 موردبررسی قرار گیرد و سپس مدل ریاضی توسعه‌یافته‌ای جهت مدل‌سازی فرآیند استخراج به کار گرفته شود و کارایی معادله استفاده‌شده موردبررسی قرارگرفته 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 دماهای۲۵، 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 به‌صورت سعی و خطا، نسبت آب به دانه در دو سطح ۳۰ به ۱ و ۴۰ به ۱ تعیین گردید. به‌منظور بررسی سینتیک استخراج صمغ و ترسیم منحنی‌های مربوطه، مقدار استخراج صمغ در ۲۲زمان متوالی تعیین‌شده، اندازه‌گیری شد. برای هر نقطه مقدار مشخصی از دانه در شرایط تعیین‌شده ازنظر دما، نسبت آب و pH قرارگرفته و سپس صمغ آن توسط دستگاه اکستراکتور استخراج می‌گردید. موسیلاژ در آون[1] با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و سپس مقدار صمغ خشک‌شده با استفاده از ترازو[2] با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین گردید.

- مدل‌سازی فرآیند

مدل سینتیکی انتقال جرم، جهت مدل‌سازی فرآیند استخراج صمغ از دانه مرو مورداستفاده قرار گرفت (Liauw *et al.*, 2008). در این روش فرض بر این است که تنها عاملی که باعث کنترل خروج صمغ از دانه می‌شود، انتقال جرم است. سرعت انتقال جرم به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{dW_A}{dt} = k.A(C_{Ai} - C_A) \qquad (۱)$$

در اینجا $\frac{dW_A}{dt}$، سرعت انتقال جرم صمغ از درون‌دانه (g/s)؛ C_A و C_{Ai}، به ترتیب غلظت صمغ در آب در زمان t (g/m^3) و در حالت تعادل (g/m^3)؛ k، ضریب انتقال جرم (ms^{-1})؛ A، مساحت سطح موردنظر برای انتقال جرم (m^2).

ازآنجایی‌که استخراج صمغ در یک فرآیند ناپیوسته انجام‌شده و حجم در طی فرآیند ثابت بود، معادله شماره ۱، به‌صورت معادلات زیر بازنویسی می‌شود (Sulaiman *et al.*, 2013):

$$\frac{dW_A}{dt} = k.\frac{A}{v}(w_{Ai} - w_A) \qquad (۲)$$

$$\frac{dW_A}{dt} = k.a.(w_{Ai} - w_A) \qquad (۳)$$

در این معادله، k.a، ضریب انتقال جرم حجمی می‌باشد. جهت حل معادله۳ به‌وسیله انتگرال‌گیری، 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 انتگرال‌گیری از معادله ۳، معادله ۴ حاصل می‌شود:

$$W_A = W_{Ai}\left[1 - \exp^{(-k.a.t)}\right] \qquad (۴)$$

با آرایش مجدد معادله ۴، بر اساس مقدار صمغ به ازا وزن دانه مصرف‌شده (درصد استخراج)، و استفاده از حرف K به‌جای k.a، معادله سینتیکی استفاده‌شده در این تحقیق به‌صورت معادله ۵، بیان می‌شود:

$$Y_A = Y_{Ai}\left[1 - \exp^{(-K.t)}\right] \qquad (۵)$$

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.

به‌منظور مدل کردن سینتیک استخراج صمغ از دانه مرو و تعیین مقادیر K و Y_A ؛ داده‌های تجربی استخراج صمغ

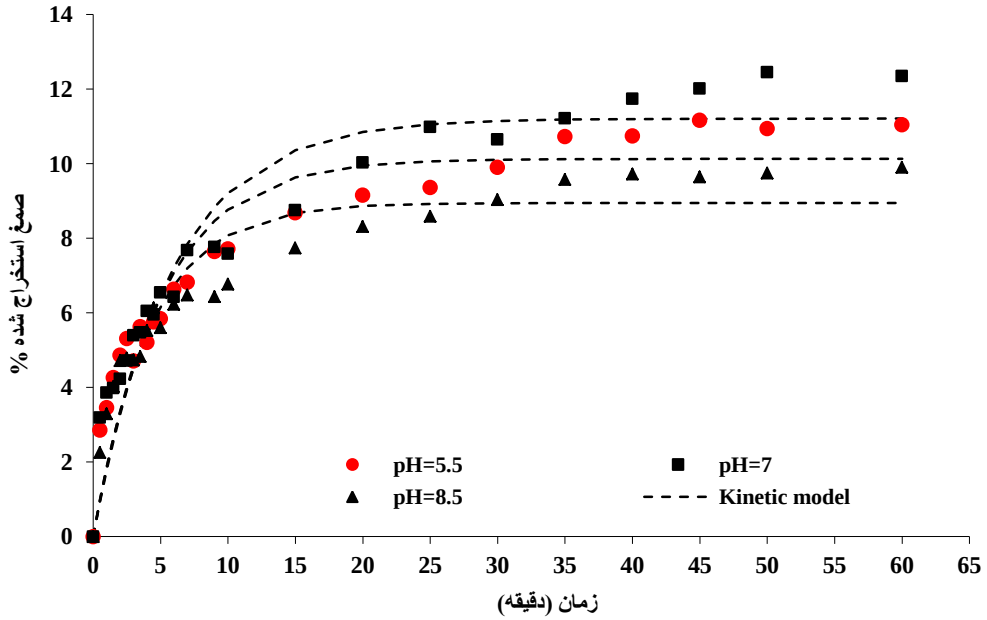
[1] Convection oven, Memmert Universal, Schwabach, Germany

[2] Sartorius TE313S, Canada

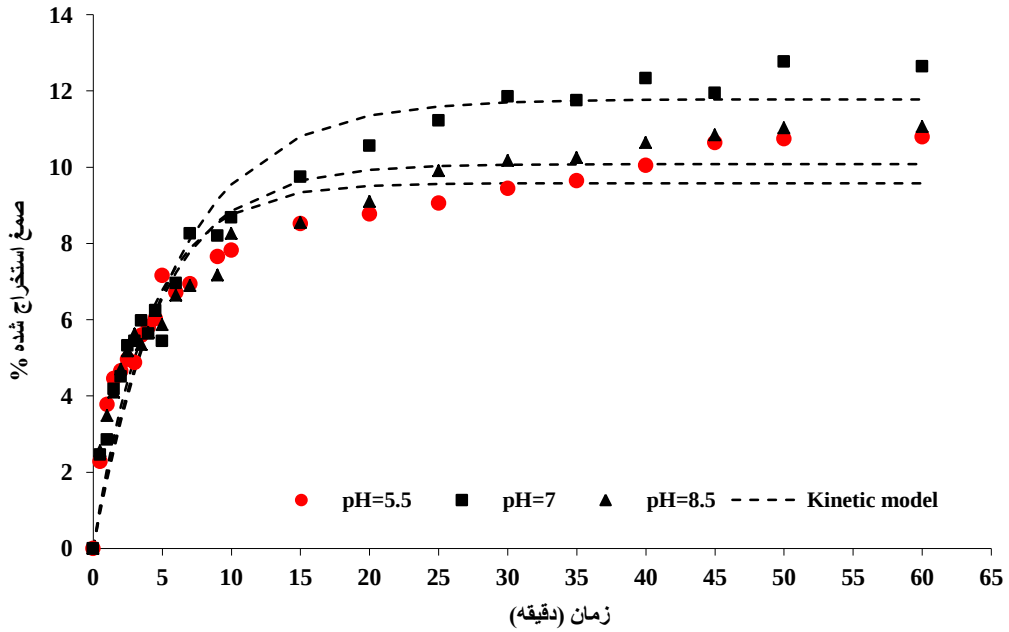
(به‌دست‌آمده در طی شرایط مختلف دمایی، pH و نسبت آب به دانه) با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert ویرایش ۱/۳۴، برازش داده شدند (Hyams, 1997).

یافته‌ها

اثر pH بر سرعت خروج صمغ از دانه مرو در دمای ۴۰ سانتی‌گراد و نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱ و ۴۰ به ۱ در شکل‌های ۱ و ۲ به نمایش درآمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ابتدای فرآیند شدت انتقال جرم بالا می‌باشد و بعد از حدود ۲۵ دقیقه از سرعت استخراج صمغ کاسته می‌شود و به حال پایا می‌رسد.



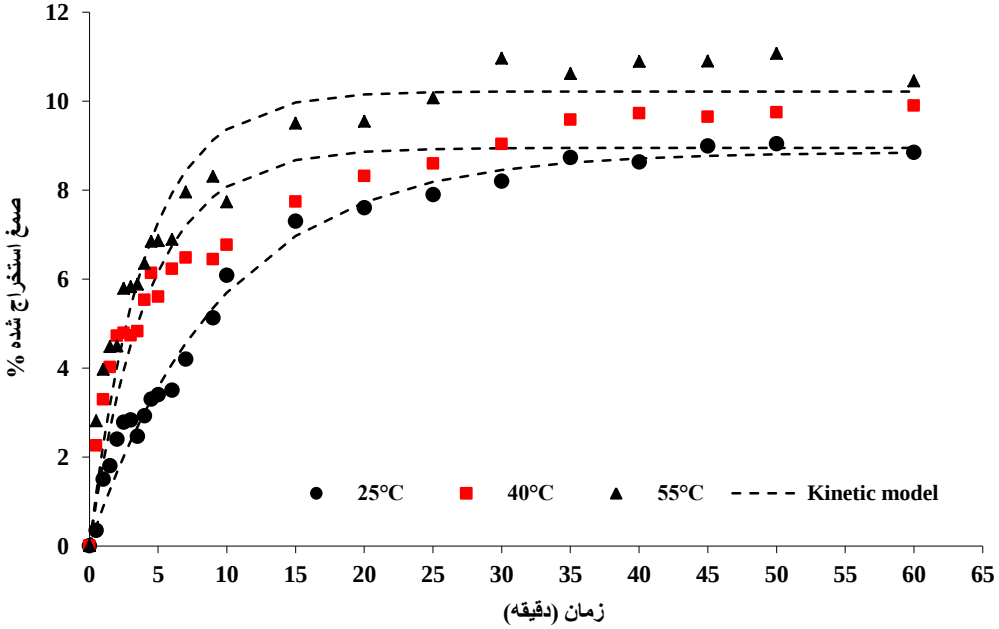
شکل ۱- اثر pH بر سرعت خروج صمغ از دانه مرو در دمای ۴۰ سانتی‌گراد و نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱ (نمادها، داده‌های تجربی و خط‌چین، نتایج مدل‌سازی فیزیکی)



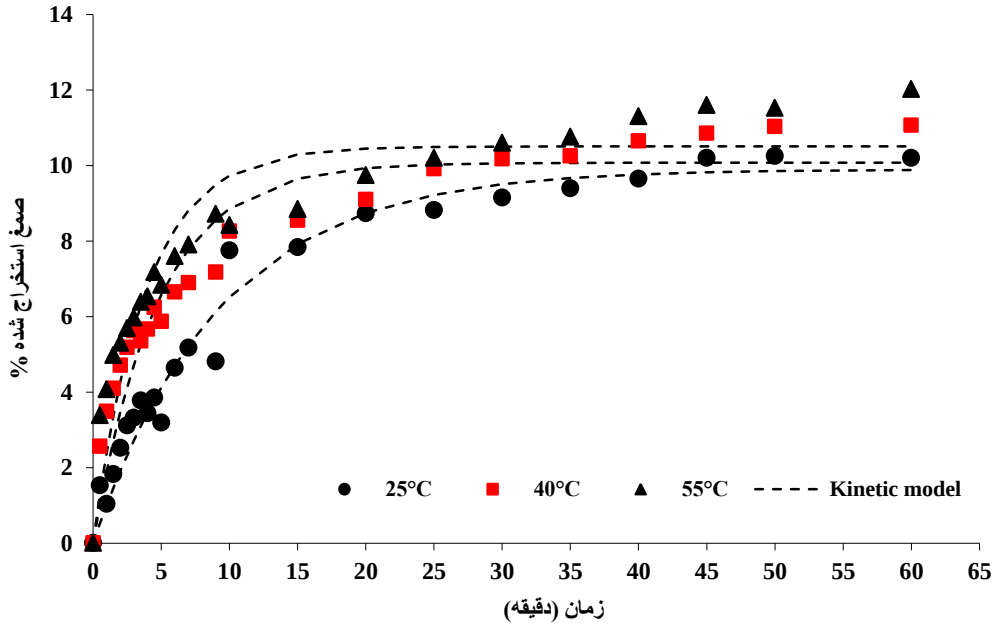
شکل ۲- اثر pH بر سرعت خروج صمغ از دانه مرو در دمای ۴۰ سانتی‌گراد و نسبت آب به دانه برابر ۴۰ به ۱ (نمادها، داده‌های تجربی و خط‌چین، نتایج مدل‌سازی فیزیکی)

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 استخراج‌شده افزایش می‌یابد و حداکثر مقدار استخراج صمغ در دمای برابر ۵۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

در شکل۴ نیز اثر تغییر دما بر مقدار صمغ استخراج‌شده 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 استخراج‌شده افزایش می‌یابد.



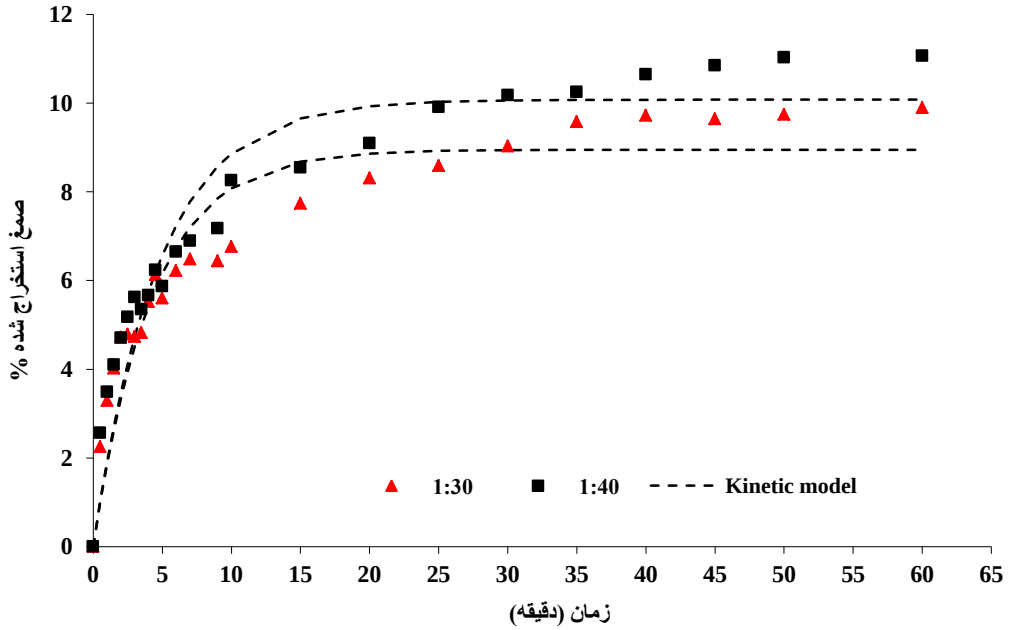
شکل ۳- اثر تغییر دما بر سینتیک خروج صمغ از دانه مرو در pH برابر ۸/۵ و نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱ (نمادها، داده‌های تجربی و خط‌چین، نتایج مدل‌سازی فیزیکی)



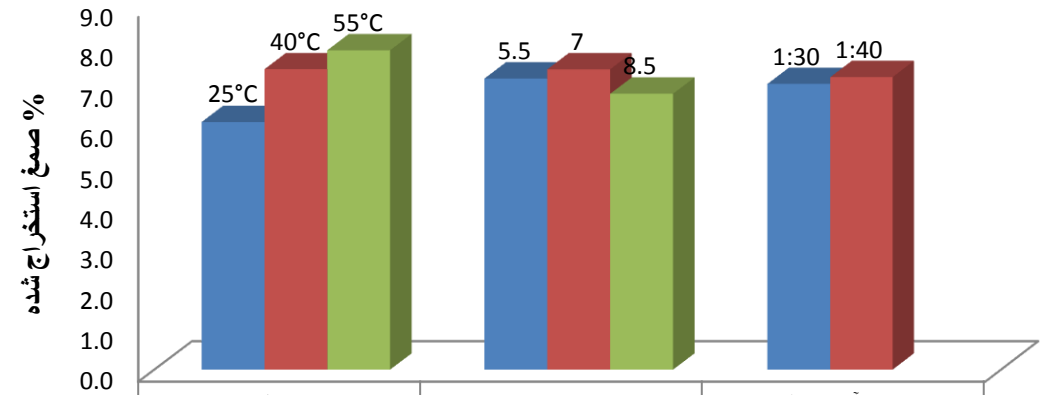
شکل ٤- اثر تغییر دما بر سینتیک خروج صمغ از دانه مرو در pH برابر ۸/۵ و نسبت آب به دانه برابر ٤٠ به ۱ (نمادها، داده‌های تجربی و خط‌چین، نتایج مدل‌سازی فیزیکی)

اثر نسبت‌های مختلف آب به دانه (۳۰ به ۱ و۴۰ 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)



	دما	pH	نسبت آب به دانه
Column1	6.110	7.182	7.048
Column2	7.410	7.409	7.216
Column3	7.877	6.807	

شکل ٦- اثر دما، pH و نسبت آب به دانه بر میزان خروج صمغ از دانه مرو

جداول۱ و ۲، پارامترهای به‌دست‌آمده 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) ارائه‌شده 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 ازنظر pH صمغ به مقدار و سرعت بیشتری از دانه مرو خارج می‌گردد. نتایج گزارش‌شده 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، درصورتی‌که فاکتور نسبت آب به دانه، دارای اثر کمتری 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 نشان‌داد که با افزایش دمای محلول از ۲۵ به ۵۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار صمغ استخراج‌شده ۲۸/۹ درصد افزایش می‌یابد. در سایر شرایط اعمال‌شده در طی آزمایش‌ها نیز رفتار مشابهی مشاهده گردید.

مقدار صمغ استخراج‌شده در شرایط ۴۰ به ۱، بیشتر از ۳۰ به ۱ می‌باشد. درصورتی‌که 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 خارج‌شده تغییر زیادی نمی‌کند و فقط در هنگام خشک‌کردن آن، باعث طولانی شدن زمان

جدول۱- پارامترهای برازش شده برای فرآیند استخراج صمغ از دانه مرو، نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱

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

جدول۲- پارامترهای برازش شده برای فرآیند استخراج صمغ از دانه مرو، نسبت آب به دانه برابر ۴۰ به ۱

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

خشک‌کردن و افزایش هزینه‌ها می‌شود. لذا نسبت آب به دانه برابر ۴۰ به ۱، ازنظر مقدار صمغ استخراج‌شده و هزینه خشک‌کردن، برای استخراج صمغ مرو به‌صورت 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، درحالی‌که pH و غلظت NaCl در حد بسیار ناچیزی آن را تحت تأثیر قراردادند.

بهینه‌سازی شرایط استخراج صمغ دانه بزرک ایرانی (*Linum usitassimum*) به روش سطح پاسخ توسط Maherani و همکاران (2005) بررسی‌شده است. در این پژوهش درجه حرارت استخراج (۱۰۰°C- ۴۵)، pH در محدوده ۷-۳ و نسبت آب به دانه در دامنه ۲۴-۴ به‌عنوان فاکتورهای مؤثر بر درصد بازده استخراج، موردمطالعه و بررسی قرارگرفته‌اند. شرایط بهینه استخراج صمغ دانه بزرک ایرانی برابر با درجه حرارت ۹۰°C- ۸۵، pH برابر ۷-۶/۵ و نسبت آب به دانه برابر ۱۴ گزارش‌شده است.

همان‌طور که در جداول۱و۲ ملاحظه می‌شود، مدل استفاده‌شده به‌خوبی قادر به پیشگویی سرعت انتقال جرم از دانه مرو می‌باشد. با استفاده از این جداول می‌توان مقدار صمغ استخراج‌شده از دانه را در طی زمان و شرایط عملیاتی موردنظر (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 انتفال 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 دانه های حاوی صمغ نیز توصیه شده است (صالحی و کاشانی نژاد، ۱۳۹۲).

نتیجه‌گیری

امروزه مصرف هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی افزایش چشم‌گیری یافته است. دانه مرو حاوی مقادیر زیادی هیدروکلوئید با خواص رئولوژیکی قابل‌توجه می‌باشد. از این صمغ می توان 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 کنترل‌شده 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 موردبررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از این است که با افزایش دمای آب تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار صمغ استخراج‌شده 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، ازنظر مقدار صمغ استخراج‌شده و هزینه نهایی برای خشک‌کردن آن مناسب می‌باشد. در pH خنثی مقدار صمغ استخراج‌شده، حداکثر می‌باشد.همچنین داده‌های تجربی به‌دست‌آمده 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 به‌خوبی 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، قابل‌محاسبه می‌باشد.

منابع

صالحی، ف. و کاشانی نژاد، م. (۱۳۹۲). مدل‌سازی 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. *ARPN 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 allemantia 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.