مدل سازی استخراج صمغ دانه بالنگو (*Lallemantia royleana*)

فخرالدین صالحی[1*] و مهدی کاشانی نژاد[2]

۱. دانشجوی دکتری دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۷، تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۱)

چکیده

استخراج هیدروکلوئیدها از دانه‌های بومی و استفاده از آنها در فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی، در چند سال اخیر اهمیت بسیاری یافته است. این فرآیند مستلزم انتقال جرم می‌باشد. لذا در این پژوهش اثر دمای استخراج (در سه سطح ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد)، pH (در سه سطح ۵، ۷ و ۹) و نسبت آب به دانه (در دو سطح ۲۰ به ۱ و ۳۰ به ۱) بر سینتیک انتقال جرم استخراج صمغ از دانه بالنگو (*Lallemantia royleana*) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش دمای محلول از ۲۰ به ۸۰ درجه سانتی گراد، مقدار صمغ استخراج شده ۳۴ درصد افزایش می‌یابد. در شرایط خنثی بیشترین مقدار صمغ استخراج می‌شود (۲۲/۶٪). در این پژوهش همچنین داده‌های تجربی با مدل ریاضی انتقال جرم برازش داده شد و ثابت‌های معادله به‌دست آمدند. ضریب انتقال جرم با افزایش نسبت آب به دانه از ۲۰:۱ به ۳۰:۱، در حدود ۳/۶ درصد افزایش می‌یابد. نتایج حاکی از قدرت بالای مدل استفاده شده در این پژوهش است، که علاوه بر دانه بالنگو، برای سایر دانه‌های حاوی صمغ نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال جرم، بالنگو، سینتیک، هیدروکلوئید.

* مسئول مکاتبات: FS1446@yahoo.com

۱- مقدمه

هیدروکلوئیدها (صمغ ها) به مجموعه‌ای از پلی ساکاریدها و پروتئین‌ها اطلاق می‌شود که در آب حل یا پخش می‌شوند و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند. امروزه مصرف هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی افزایش چشم گیری یافته است و به طور گسترده در صنایع مختلف با عملکردهایی نظیر تغلیظ کنندگی، حفظ و بهبود بافت محصولات غذایی، تشکیل ژل، تشکیل فیلم، تثبیت کف، امولسیون ها، تعلیق ذرات، ممانعت از تشکیل کریستال‌های یخ و شکر و همچنین آزاد سازی کنترل شده طعم‌ها به کار می‌روند. این ترکیبات اگر چه در غلظت کمتر از ۱٪ به کار می‌روند، اما قادرند اثر معنی داری بر خواص بافتی و ارگانولپتیکی مواد غذایی داشته باشند [۵-۱].

کاربرد و اهمیت هیدروکلوئیدها به خواص عملکردی آنها بستگی دارد. خصوصیات عملکردی هیدروکلوئیدها در مواد غذایی به ساختار ملکولی هیدروکلوئید، غلظت هیدروکلوئید، pH، دما و واکنش هیدروکلوئید با سایر ترکیبات ماده غذایی (نمک‌ها، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، پروتئین و...) وابسته می‌باشد. 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. موسیلاژهای دانه‌ای و پلی‌ساکاریدهای گیاهی به آسانی در دسترس می‌باشند و به دلایل طبیعی بودن، دارا بودن خواص درمانی و قیمت مناسب، اهمیت ویژه‌ای دارند [۱،۴،۶].

بهینه سازی شرایط استخراج صمغ دانه بزرک ایرانی (*Linum usitassimum*) به روش سطح پاسخ توسط ماهرانی و همکاران (۱۳۸۳) بررسی شده است. در این پژوهش درجه حرارت استخراج (°C ۱۰۰- ۴۵)، pH در محدوده ۷-۳ و نسبت آب به دانه در دامنه ۲۴-۴ به عنوان فاکتورهای موثر بر درصد بازده استخراج، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند. شرایط بهینه استخراج صمغ دانه بزرک ایرانی برابر با درجه حرارت °C ۹۰- ۸۵، pH برابر ۷-۶/۵ و نسبت آب به دانه برابر ۱۴ گزارش شده است [۳].

بهینه سازی شرایط استخراج صمغ از دانه شاهی و بررسی خواص عملکردی آن توسط گاراژیان و همکاران (۱۳۸۸) 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 °C ۳۵، pH معادل ۱۰، نسبت آب به دانه، ۱ به ۳۰ و زمان استخراج ۱۵ دقیقه گزارش شده است [۲].

دانه بالنگو (*Lallemantia royleana*)، به شکل بیضی به طول حدود ۳ میلی متر و قطر ۰/۷ میلی متر و به صورت کشیده می‌باشد که از گیاهی از تیره نعناعیان به‌دست می‌آید. این گیاه به طور وسیعی در آسیا و شمال اروپا رشد می‌کند. این دانه در هنگام قرار گرفتن در آب به راحتی متورم شده و مقدار زیادی موسیلاژ (صمغ محلول در آب) ایجاد می‌کند که در طب سنتی کاربرد گسترده‌ای دارد [۶،۷].

صمغ دانه بالنگو از جمله هیدروکلوئیدهای بومی ایران می‌باشد که می توان از آن در اکثر فرمولاسیون‌های غذایی از آنها استفاده نمود. بهینه یابی شرایط استخراج ترکیبات هیدروکلوئیدی دانه بالنگو شیرازی توسط محمد امینی و همکاران (۱۳۸۶) مورد بررسی قرار گرفته است. این محققان از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر به منظور بررسی تاثیر دما، نسبت آب به دانه، pH و غلظت NaCl بر راندمان، ویسکوزیته ظاهری، چرخش ویژه نوری و جذب صمغ استخراج شده از دانه بالنگو شیرازی و بهینه‌سازی عملیاتی فرآیند استخراج صمغ مذکور بهره گرفتند [۴].

بررسی مسائل مرتبط با انتقال جرم در پژوهش‌های مرتبط با صنایع غذایی و به‌دست آوردن ضرایب آن، در فرآیندهای حرارتی چون خشک کردن، برشته کردن، پخت و سرخ کردن دیده می‌شود، که هر کدام پیچیدگی‌های خاص خود را دارند [۸]. لازمه طراحی، تجزیه و تحلیل دینامیک فرآیند، بهینه‌سازی، تخمین شدت و کنترل صحیح و دقیق فرآیندهای انتقال جرم، آگاهی داشتن از پارامترهای انتقال جرم می‌باشد [۹،۸]. 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 بالنگو 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 به‌دست آید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- استخراج صمغ

دانــه بالنگو از بــازار گرگان خریداری و آلودگی‌هــای ثانویه آن حذف گردید. جهت اســتخراج صمغ از آب مقطــر در دماهای ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد، و pHهای ۵، ۷ و ۹ استفاده گردید. پس از بررسی منابع و انجام چند ســری آزمون بصورت ســعی و خطا، نســبت آب بــه دانه در دو ســطح ۲۰ بــه ۱ و ۳۰ به ۱ تعییــن گردید. به منظور بررسی سینتیک استخراج صمغ و ترسیم منحنی‌های مربوطه، مقدار اســتخراج صمغ در ۱۷زمان متوالی تعیین شــده، اندازه گیری شــد. برای هر نقطه مقدار مشــخصی از دانه در شــرایط تعیین شده از نظر دما، نســبت آب و pH قرارگرفته و ســپس صمغ آن توســط دستگاه اکســتراکتور (Panasonic, MJ-J176P, Japan) اســتخراج گردید. موســیلاژ در آون (Convection oven, Memmert Universal, Schwabach, Germany) با دمای ۶۰ درجه ســانتی گراد خشــک گردید و سپس مقدار صمغ خشک شده با استفاده از ترازو (Sartorius TE313S, Canada) با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین گردید.

۲-۲- مدل‌سازی فرآیند

مدل سینتیکی انتقال جرم، جهت مدل فرآیند استخراج صمغ از دانه بالنگو مورد استفاده قرار گرفت. در این روش فرض بر این است که تنها عاملی که باعث کنترل خروج صمغ از دانه می‌شود، انتقال جرم است. سرعت انتقال جرم به صورت زیر بیان می‌شود [۱۰]:

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

که در اینجا $\frac{dW_A}{dt}$، سرعت انتقال جرم صمغ از درون دانه (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 مورد نظر برای انتقال جرم (m^2) می‌باشد.

از آنجایی که استخراج صمغ در یک فرآیند بچ انجام شده و حجم در طی فرآیند ثابت بود، معادله (۱)، به صورت معادلات زیر بازنویسی می‌شود [۱۱]:

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

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

در این معادله، k.a، ضریب انتقال جرم حجمی می‌باشد. جهت حل معادله (۳) بوسیله انتگرال گیری، مقدار صمغ دانه بالنگو 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:

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

با آرایش مجدد معادله (۴)، بر اساس مقدار صمغ به ازاء وزن دانه مصرف شده (درصد استخراج)، معادله سینتیکی استفاده شده در این تحقیق، به صورت معادله (۵)، بیان می‌شود:

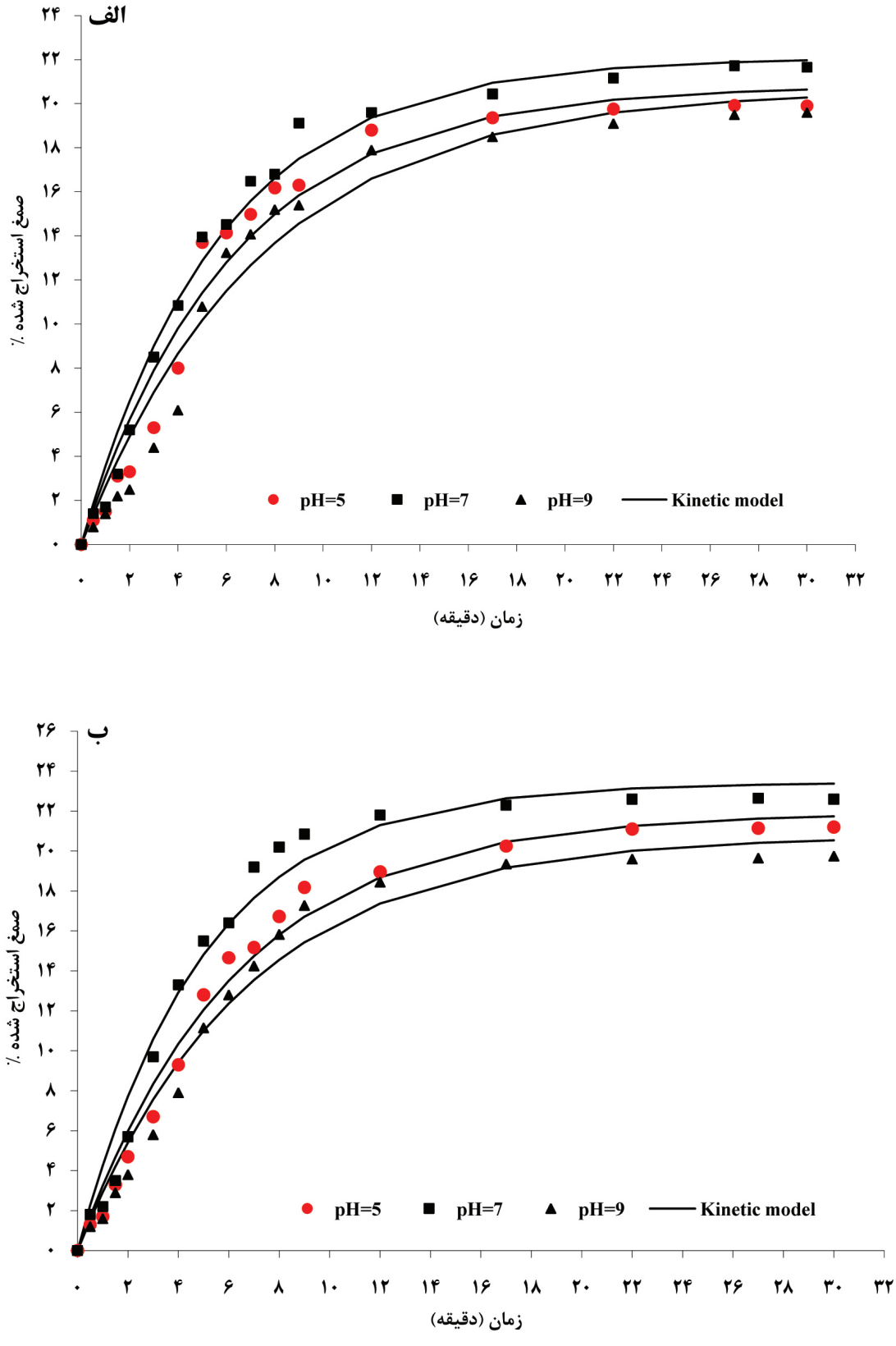
$$Y_A = Y_{Ai}\left[1 - \exp^{(-k.a.t)}\right] \qquad (۵)$$

در این معادله، Y_A و Y_{Ai}، به ترتیب درصد صمغ اســتخراج شده در طــی زمان t و در زمان تعــادل؛ و k.a ضریب انتقال جرم حجمی می‌باشد.

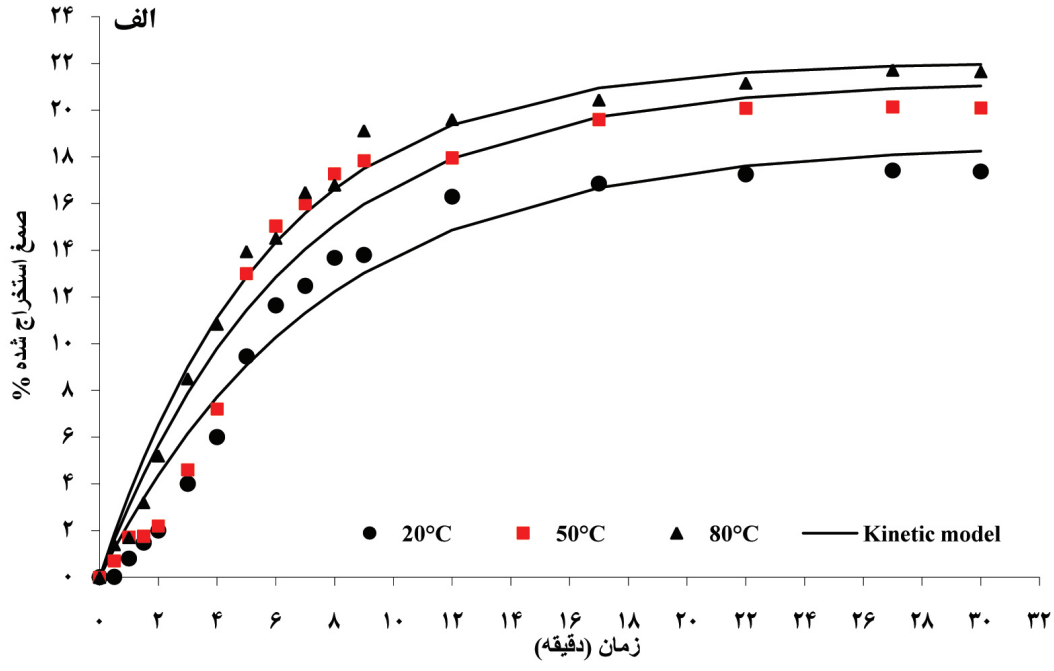
به منظور مدل کردن اســتخراج صمغ دانه بالنگو و تعیین مقادیر k.a و Y_A ؛ داده‌های تجربی اســتخراج صمغ (به‌دســت آمده در طی شرایط مختلف دمایی، pH و نسبت آب به دانه) با استفاده از نرم افزار Curve Expert ویرایش ۱/۳۴ (Microsoft Corporation)، برازش داده شدند.

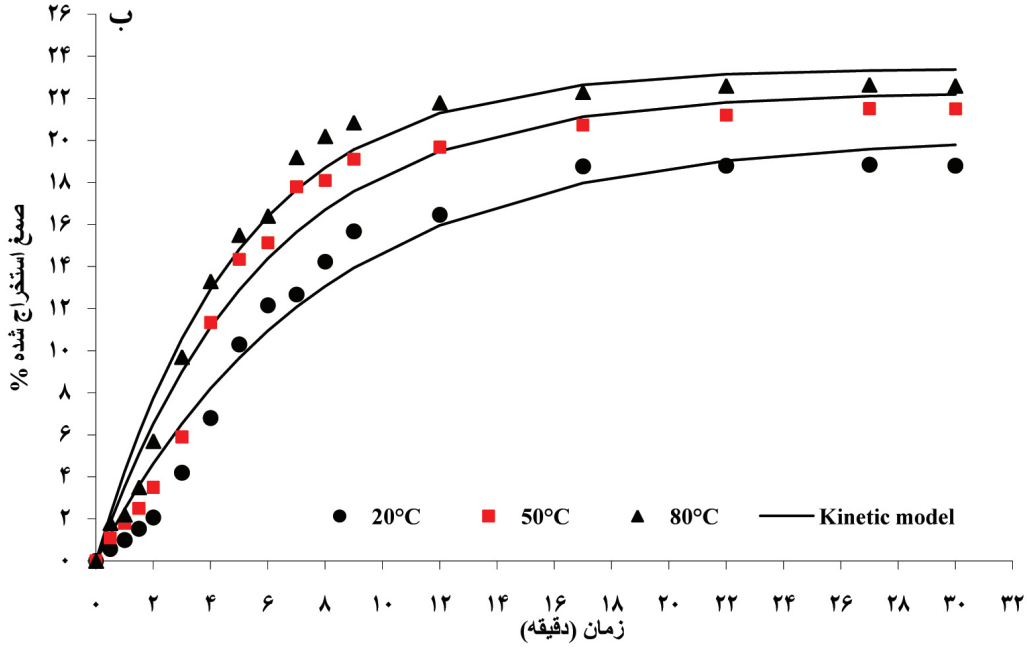
۳- نتایج و بحث

اثر pH بر ســرعت خروج صمغ از دانه بالنگو در دمای ۸۰ سانتی‌گراد و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ و ۳۰ به ۱ در شکل (۱) (الف و ب) به نمایش در آمده اســت. همانطور که مشــاهده می‌شــود، در ابتدای فرآیند شــدت انتقال جرم بالا می‌باشــد و بعد از حــدود ۱۶ دقیقه از



شکل (۱) اثر pH بر سرعت خروج صمغ از دانه بالنگو در دمای ۸۰ سانتی‌گراد. نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ (الف) و ۳۰ به ۱ (ب).



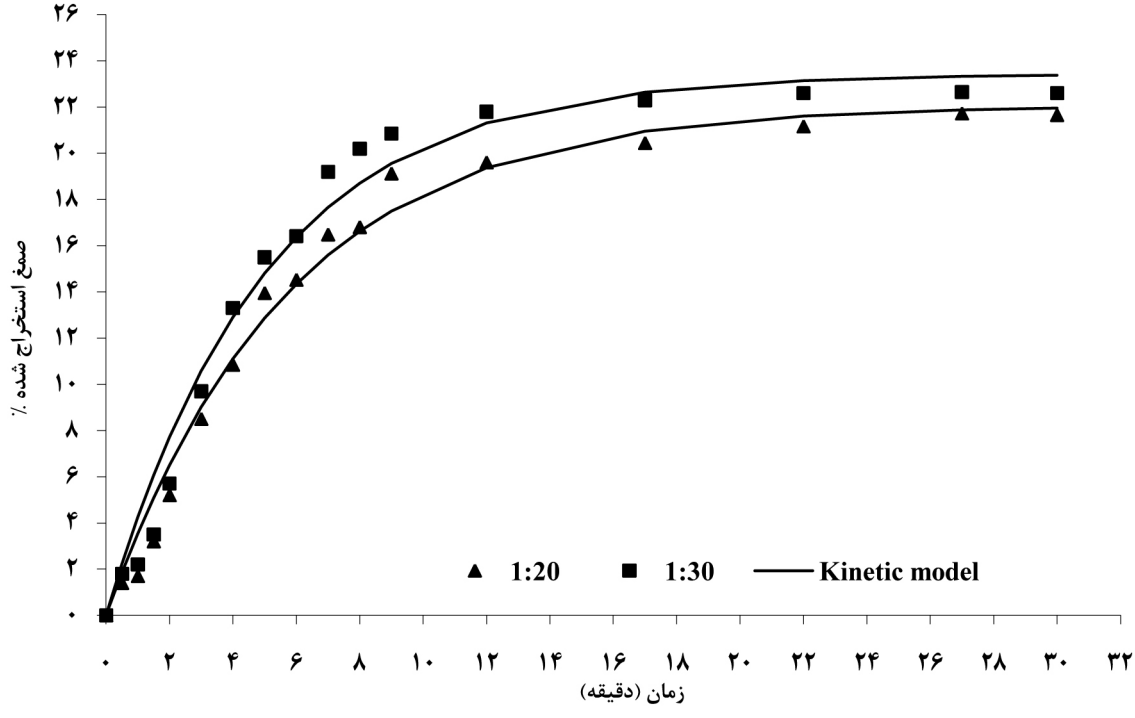


شکل (۲) اثر تغییر دما بر سینتیک استخراج صمغ از دانه بالنگو در pH برابر ۷ و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ (الف) و ۳۰ به ۱ (ب).

سرعت استخراج صمغ کاسته می‌شود. همچنین ملاحظه می‌شود که حداکثر مقدار اســتخراج صمغ در pH خنثی یعنی برابر ۷ می‌باشــد. در ســایر دماها نیز رفتار مشابهی مشاهده گردید که حاکی از اینست که در شــرایط خنثی از نظر pH صمغ به مقدار و ســرعت بیشــتری از دانه خارج می‌گردد. همچنین در این شــکل مشــاهده می‌شود که در شرایط اسیدی نسبت به شــرایط بازی مقدار صمغ استخراج شده بیش‌تر می‌باشد. نتایج گزارش شده توسط ماهرانی و همکاران (۱۳۸۳) نشان می‌دهد که درجه حرارت و pH دو فاکتور موثر بر بازده و کیفیت صمغ استخراجی می‌باشــند، درصورتی که فاکتور نسبت آب به دانه، دارای اثر کم‌تری می‌باشد [۳].

اثر دماهای مختلف بر سینتیک استخراج صمغ از دانه بالنگو در pH برابر ۷ و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ و۳۰ به ۱ در شکل (۲) (الف و ب) به نمایش در آمده اســت. همانطور که مشاهده می‌شود حداکثر مقدار استخراج صمغ در دمای برابر ۸۰ درجه سانتی گراد می‌باشد. در سایر شرایط اعمال شده در طی آزمایشات نیز رفتار مشابهی مشاهده گردید که حاکی از اینست که با افزایش دمای فرآیند استخراج، صمغ به مقدار و سرعت بیشتری از دانه خارج می‌گردد. با افزایش دما از ۲۰ به ۸۰ درجه سانتی گراد، در pH برابر ۷ و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱، مقدار صمغ استخراج شده ۳۴ درصد افزایش می‌یابد.

اثر نســبت‌های مختلف آب به دانه (۲۰ به ۱ و۳۰ به ۱) در هنگام استخراج صمغ از دانه بالنگو در pH برابر ۷ و دمای ۸۰°C در شکل(۳) به نمایش در آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت آب به دانه مقدار استخراج صمغ بیشتر می‌شود. مقدار صمغ استخراج شــده در شــرایط ۳۰ به ۱، بیشــتر از ۲۰ به ۱ می‌باشــد. درصورتی کــه مقدار آب از ۲۰ برابر کمتر شــود، در هنگام اســتخراج صمغ، در زمان‌های طولانی (بیشــتر از ۲۰ دقیقه)، دانه‌ها به یکدیگر چسبیده و هنگام عبور از اکستراکتور مشکل ایجاد می‌کنند. در نسبت‌های بیش‌تر از ۳۰ برابــر نیز مقدار صمغ خارج شــده تغییر زیادی نمی‌کند و فقط در هنگام خشــک کردن آن، باعث طولانی شدن زمان خشک کردن و افزایش هزینه‌ها می‌شــود. لذا نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱، از نظر مقدار صمغ استخراج شده و هزینه خشک کردن، برای استخراج صمغ بالنگو به صورت صنعتی نیز توصیه می‌شــود. بر اساس نتایج به دست آمده توسط محمد امینی و همکاران (۱۳۸۶)، دما و نسبت آب به دانه بر اســتخراج صمغ دانه بالنگو تاثیرگذار می‌باشند، در حالی که pH و



شکل (۳) اثر نسبت‌های مختلف آب به دانه در هنگام استخراج صمغ از دانه بالنگو در pH برابر ۷ و دمای ۸۰° C.

غلظت NaCl در حد بسیار ناچیزی آن را تحت تاثیر قرار دادند [۴].

جداول(۱)و(۲)، پارامترهای بدست آمده حاصل از برازش مقادیر تجربی با استفاده از معادله شماره ۵ را به نمایش گذاشته‌اند. در این جداول مقادیر ثابت معادله ۵، k.a و Y_{Ai} به همراه مقادیر مربوط به ضریب همبستگی (R) ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، مدل استفاده شده به خوبی قادر به پیشگویی سرعت انتقال جرم از دانه بالنگو می‌باشد. با استفاده از این جداول می‌توان مقدار صمغ استخراج شده از دانه را در طی زمان و شرایط عملیاتی مورد نظر (دما، نسبت آب به دانه و pH) بدست آورد. با افزایش مقدار عددی ضریب انتقال جرمی، شدت خروج صمغ از دانه افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار ضریب انتقال جرمی در شرایط خنثی، دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱ بدست آمد که برابر ۱۲/۰۱ بود. ضریب انتقال جرمی با افزایش دما به دلیل اثر دما بر استخراج صمغ، افزایش می‌یابد. با افزایش دما از ۲۰ به ۸۰ درجه سانتی گراد، ضریب انتقال جرمی از ۷/۱۴ به ۱۲/۰۱ افزایش یافت. همچنین با افزایش نسبت آب به دانه از ۲۰:۱ به ۳۰:۱، ضریب انتقال جرمی حدود ۳/۶ درصد افزایش می‌یابد.

جدول(۱) پارامترهای برازش شده برای فرآیند استخراج صمغ از دانه بالنگو، نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱.

pH	دما (°C)	(h^{-1}) k.a	(wt%) Y_{Ai}	R
۵	۲۰	۷/۴۶	۱۷/۷۳	۰/۹۷۵
۵	۵۰	۸/۵۴	۱۹/۵۴	۰/۹۷۴
۵	۸۰	۹/۵۵	۲۰/۸۱	۰/۹۸۳
۷	۲۰	۸/۰۵	۱۸/۵۸	۰/۹۸
۷	۵۰	۹/۲۸	۲۱/۲۵	۰/۹۷۰
۷	۸۰	۱۰/۴۹	۲۲/۰۸	۰/۹۹۳
۹	۲۰	۷/۳	۱۸/۳۱	۰/۹۷۶
۹	۵۰	۸/۶۷	۱۹/۵۷	۰/۹۷۵
۹	۸۰	۸/۱۶	۲۰/۶۳	۰/۹۸۱

جدول(۲) پارامترهای برازش شده برای فرآیند استخراج صمغ از دانه بالنگو، نسبت آب به دانه برابر ۳۰ به ۱.

pH	دما (°C)	(h^{-1}) k.a	(wt%) Y_{Ai}	R
۵	۲۰	۷/۲۷	۱۹/۳۵	۰/۹۸
۵	۵۰	۸/۵۳	۲۰/۹۶	۰/۹۹
۵	۸۰	۹/۵۸	۲۱/۹۲	۰/۹۹۲
۷	۲۰	۷/۸۱	۲۰/۱۹	۰/۹۸۲
۷	۵۰	۱۰/۳۴	۲۲/۳۲	۰/۹۸
۷	۸۰	۱۲/۰۱	۲۳/۴۳	۰/۹۹
۹	۲۰	۷/۱۴	۱۹/۵۷	۰/۹۸۱
۹	۵۰	۸/۵۸	۲۱/۰۶	۰/۹۹
۹	۸۰	۹/۰۶	۲۰/۷۶	۰/۹۸۸

۴- نتیجه‌گیری

در ایـــن پژوهـــش اثر دمای اســـتخراج، pH و نســـبت آب به دانه بر ســـینتیک انتقال جرم اســـتخراج صمغ از دانه بالنگو مورد بررســـی قرار گرفت. نتایج حاکی از اینست که با افزایش دمای آب در هنگام اســـتخراج، مقدار صمغ خارج شده افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار آب نســـبت به دانه، صمغ به مقدار و سرعت بیش‌تری از دانه خارج می‌شـــود. نسبت آب به دانه برابر ۳۰:۱ جهت استخراج صمغ، از نظر مقدار صمغ اســـتخراج شـــده و هزینه نهایی برای خشک کردن آن مناسب می‌باشد. در pH خنثی مقدار صمغ استخراج شده، حداکثر اســـت و همچنین مقدار صمغ استخراج شده در pH اسیدی بیشتر از pH بازی می‌باشد.

داده‌های تجربی به‌دســـت آمده با مدل ریاضی انتقال جرم برازش داده شـــد و ثابت‌هـــای معادله بدســـت آمدند. مقادیر بـــالای ضریب همبستگی، نشان دهنده این است که مدل پیشنهادی در این پژوهش به خوبی قادر به توصیف سینتیک انتقال جرم در هنگام استخراج صمغ از دانه بالنگو می‌باشد.

منابع

[۱] امیـــری عقدایی، س. س.؛ اعلمی، م.؛ خمیری، م.؛ رضایی، ر. (۱۳۸۹) تاثیر اســـتفاده از موســـیلاژ دانه ریحان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و رئولوژیک ماســـتی کم چـــرب. مجله الکترونیکی فـــرآوری و نگهداری مواد غذایی، جلد ۲، شماره ۴،ص ۱۷-۱.

[۲] گاراژیان، ح. (۱۳۸۸) بهینه ســـازی شـــرایط استخراج صمغ از دانه شاهی و بررسی خواص عملکردی آن، رساله دکتری دانشگاه فردوسی مشهد.

[۳] ماهرانی، ب.؛ برزگر، م.؛ ســـحری، م. ع.؛ دهقانی، ح. (۱۳۸۳) بهینه ســـازی شرایط استخراج صمغ دانه بزرک ایرانی به روش سطح پاسخ، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال هشتم، شماره چهارم، ص ۱۵۵-۱۴۵.

[۴] محمد امینی، ا. (۱۳۸۶) بهینه یابی شرایط استخراج ترکیبات هیدروکلوییدی دانه بالنگو شیرازی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد.

[۵] نیـــک نیـــا، س.؛ رضـــوی، س. م. ع.؛ کوچکی، آ.؛ نایـــب زاده، ک. (۱۳۸۹) تاثیر کاربرد دانه ریحان و دانه مرو بر ویژگی‌های حســـی و پایداری ســـس مایونز. مجله الکترونیکی فرآوری و نگهداری مواد غذایی، جلد۲، شـــماره۲، ص۷۹-۶۱.

[6] Mohammad Amini, A., Razavi, S.M.A. (2012). Dilute solution properties of Balangu (*Lallemantia royleana*) seed gum: Effect of temperature, salt, and sugar. *Int. J. Biol. Macromol.,* 51, 235– 243.

[7] Naghibi, F., Mosaddegh, M., Mohammadi Motamed, S., Gorbani, A. (2005). Labiatae family in folk medicine in Iran: from etnobotany to pharmacology. *Iranian J. of Phamaceutical Research*, 2, 63-79.

[8] Farinu, A., Baik, O.D. (2008). Convective mass transfer coefficients in finite element simulations of deep fat frying of sweetpotato. *J. Food Eng.*, 89(2), 187-194.

[9] YildIz, A., Koray Palazoglu, T.l. (2007). Determination of heat and mass transfer parameters during frying of potato slices. *J. Food Eng.*, 79(1), 11-17.

[10] 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. J. Eng. App. Sci.*, 3 (3), 6.

[11] Sulaiman, S., Abdul, Aziz, A.R., Aroua, M.K. (2013). Optimization and modeling of extraction of solid coconut waste oil. *J. Food Eng.*, 114, 228–234.