

بررسی خواص رئولوژیکی شیر خرمای وارینه کلوته

مهدی جلالی^۱، اکرم شریفی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۲- گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۰۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۱۴

چکیده

خرمای وارینه کلوته از ارقام مهم و رایج در استان کرمان می باشد. این رقم خرما به رنگ قهوه‌ای متمایل به سیاه و رنگ خاکی آن زرد است. شیر خرمای مایع رقیق یا غلیظی است که در نتیجه پرس کردن خرما و یا حل کردن آن در آب و یا در نتیجه انتشار از خرما استخراج می گردد. در این تحقیق جهت بررسی خواص رئولوژیکی شیر خرمای وارینه کلوته از ویسکومتر تک استوانه ای و مدل قانون توان و هرشل بالکلی براساس روش میچکا در سه دمای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد و بریکس های ۲۶، ۳۶ و ۴۶ درجه استفاده گردید. بررسی ها نشان داد که رفتار رئولوژیکی این شیر از نوع سیال غیرنیوتنی و رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) پیروی می کند. با استفاده از رابطه ی آرنیوس اثر دما بر ضریب پایداری محاسبه و مقادیری بین kJ/mol ۱۱۷۹۷/۵۶-۲۲۶۸۸/۴۴ حاصل گردید.

واژه های کلیدی: شیر خرمای وارینه کلوته، خواص رئولوژیکی، انرژی فعال سازی

۱- مقدمه

میوه خرما از نظر گیاه شناسی یک سته است که از یک بذر با آندوکارپ الیافی و مزوکارپ گوشتی و پریکارپ (پوسته میوه) تشکیل شده است. به طور کلی خرما محصول نقاط حاره است، اگر چه در نقاط نیمه گرمسیری نیز کشت شده است. رشد خرما در نقاطی میسر است که دارای زمستان معتدل و تابستان گرم و خشک برای رسیدن میوه باشد (۲۱). سهم ایران از تولید جهانی محصول از ۱۳/۴ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۱۴/۱ درصد در سال ۲۰۱۲ و جایگاه تولید از مقام سوم به دوم جهان و پس از کشور مصر ارتقاء یافته است (۱۳). خرما در کاهش چربی و تامین پروتئین، رفع سینه درد، تنظیم فشار خون، تقویت نیروی جنسی، تشکیل سلول های عصبی و گلبول های قرمز خون موثر می باشد. خرما ی واریته کلوته^۱ از ارقام مهم و رایج در استان کرمان می باشد. این رقم خرما به رنگ قهوه ای متمایل به سیاه و رنگ خارک^۲ آن زرد است. خرما ی کلوته بیشتر در شهرهای جیرفت و کهنوج از استان کرمان به عمل می آید (۲). شیره خرما مایع رقیق یا غلیظی است که در نتیجه پرس کردن خرما و یا حل کردن آن در آب و یا در نتیجه ی انتشار از خرما خارج می گردد. این مایع محتوی کلیه ی مواد محلول موجود در خرما می باشد. در واقع این محصول دارای بریکسی بالاتر از ۵۰ است. استخراج شیره خرما و تغلیظ آن همراه با حذف رنگ، عطر و طعم نامناسب با روشهای فیزیکی و شیمیایی جهت تبدیل مایع غلیظ شده که شباهت زیادی به عسل دارد، انجام می گیرد. بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی سالانه حدود ۵۰۰ هزار تن بر ضایعات خرما در سطح کشور افزوده می گردد. تولید شیره خرما یکی از روش های جدید در صنایع تبدیلی جهت تبدیل خرماهای ضایعاتی به فرآورده های با ارزش افزوده بالاتر به منظور تامین نیازهای داخلی و نیز صادرات بخشی از این فرآورده ها در راه تحصیل ارز و همچنین در راستای کاهش واردات فرآورده های مشابه می باشد (۴).

شیره خرما یا به طور مستقیم و یا به صورت ترکیب در فرمولاسیون بعضی از مواد غذایی نظیر بعضی از محصولات نانوایی، نوشیدنی ها، شیرینی ها و یا ترکیبی از خمیر کنجد و شربت خرما به کار می رود (۱۰، ۱۲، ۲۵، ۲۶) و در فرمولاسیون، مواد غذایی مایع و نیمه جامد، گستره ی وسیعی از محصولات غذایی را با رفتارهای رئولوژیکی گوناگون تحت پوشش قرار می دهد (۳). پژوهش های زیادی در راستای کاربرد محصولات مختلف از خرما صورت گرفته است: با توجه به ویژگی های عملکردی و تغذیه ای جوانه هسته خرما، این محصول نقش مفیدی در افزایش ارزش تغذیه ای، خواص حسی، کیفیت و ماندگاری و بهبود خصوصیات رئولوژیکی نان دارد (۱۸). خمیر خرما رفتار غیر نیوتنی رقیق شونده با برش^۳ از خود نشان می دهد. ارتباط بین ویسکوزیته و سرعت برشی در این محصول غیر خطی است (۳). در دیگر پژوهش ها مشخصات رئولوژیکی-دینامیک خمیر خرما ارزیابی و ویسکوالاسیسته خمیر تأیید شد (۵، ۲۴). مطالعات زیادی در زمینه ی استفاده از شیره خرما به عنوان شیرین کننده و طعم دهنده در فرآورده های لبنی به انجام رسیده است (۲۰). در مطالعه ای که توسط احمد^۴ و همکاران (۲۰۰۶) انجام گرفت برخی از مهم ترین ویژگی های فیزیکوشیمیایی خمیر خرما ی تجاری تهیه شده از سه رقم خرما (خلاص، بومان و لولا) مورد بررسی گرفتند. نتایج حاکی از تفاوت معنی داری در ماده جامد کل، قند، فعالیت آبی و دمای انتقال شیشه ای بین ارقام خرما نبود (۶). هشیم^۵ (۲۰۰۵)، از خمیر و شیره خرما در فرمولاسیون ماست استفاده کرد و نتیجه گرفت که افزودن ۱۵ درصد خمیر خرما و ۵ درصد شیره خرما باعث بهبود کیفیت حسی و بافتی محصول نهایی می شود (۱۶). شیره خرما بهتر است در فراوری مواد غذایی استفاده شود چون نگهداری طولانی مدت این فرآورده با بریکس بالا با مشکل شکرک زدن همراه است و در بریکس پایین نیز مشکل فساد میکروبی خواهد داشت (۹). در پژوهش دیگری، شیره خرما

³Psuedoplastic⁴Ahmad⁵Hashim¹Kaluteh²Khalal

۵ ساعت در دمای مورد نظر، توسط آب سرد تا دمای محیط سرد شد (۱۹). برای تعیین خواص رئولوژیکی شیر مورد نظر علاوه بر دمای محیط به مدت ۲۴ ساعت داخل یخچال (دمای حدود ۴ درجه سانتی گراد) نگهداری شد.

۲-۲-۲- تعیین خواص فیزیکوشیمیایی شیر خرمای

برخی خواص فیزیکوشیمیایی شیر خرمای شامل رطوبت، خاکستر، قند (کل، احیاء کننده و ساکاروز)، پروتئین، ماده خشک، اسیدیته و pH تعیین گردید. برای اندازه گیری ویژگی های مورد نظر از روش های استاندارد (AOAC) استفاده شد (۸). ارزیابی شاخص pH در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد صورت گرفت.

۲-۲-۳- تعیین خواص رئولوژیکی شیر خرمای

خواص رئولوژیکی بر روی شیر خرمای وارسته کلوته بر اساس بریکس تعیین شده ۴۶ درجه، با استفاده از دستگاه ویسکومتر (Brookfield, RVDV-III, Made in U.S.A) انجام گردید. آزمون ها پس از آماده سازی نمونه ها در سه سطح دمایی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد و در سه سطح بریکس ۴۶، ۳۶ و ۲۶ درجه انجام گرفت. این ویسکومتر دارای اسپیندل های^۱ ۰۱ تا ۰۷ می باشد به طوری که در ویسکوزیته ظاهری بیشتر به این دلیل گشتاور^۲ بیشتری که مورد نیاز است از اسپیندلی با قطر دیسک کمتر استفاده می شود و در ویسکوزیته ظاهری پایین تر اسپیندلی با قطر دیسک بیشتر مناسب تر است. برای صحت بیشتر در اندازه گیری ویسکوزیته نمونه ها از اسپیندل های ۰۴، ۰۳ و ۰۲ در ماهای مختلف استفاده گردید. ویسکوزیته و گشتاور در دو بازه مختلف بررسی گردید. در حالت اول با بریکس اولیه و تغییر دما با اسپیندل ۰۴ پس از گذشت مدت زمان نسبتا کوتاه (حدود سی ثانیه) در دامنه rpm ۱۵۰ - ۱۰ و در بازه دوم با کاهش بریکس و استفاده از اسپیندل های ۰۳ و ۰۲ دامنه rpm ۱۷۰ - ۱۰۰ در پانزده نقطه اندازه گیری شدند (۱).

به ماست منجمد اضافه شد و سبب افزایش ویسکوزیته و کاهش سیالیت محصول تولیدی شد (۲۲). بررسی بر روی دو نمونه شیر خرمای وارسته (Shamia) با دو بریکس ۱۵ و ۴۵ نشان داد که نمونه ها دارای رفتار غیرنیوتنی از نوع سودوپلاستیک می باشند (۱۱). در تحقیقی دیگر از شیر خرمای کنسانتره شده برای افزایش خصوصیات تغذیه ای نوشیدنی های لبنی استفاده شد. این نوع شیر ی کنسانتره شده از سه وارسته مختلف خرمای بدست آمد. با بررسی خواص رئولوژی مشخص شد این شیر ی ترکیبی دارای رفتار غیرنیوتنی از نوع سودوپلاستیک است (۷). در این تحقیق خواص رئولوژیکی شیر خرمای وارسته کلوته تعیین خواهد شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

تحقیق حاضر بر روی خرمای وارسته کلوته انجام شد. خرمای به صورت یک جا از بازار مشهد تهیه و تا شروع آزمایش ها در سردخانه ی بالای صفر نگهداری شد.

۲-۲- روش ها

۲-۲-۱- استخراج شیر خرمای

به منظور استخراج حداکثر عصاره قندی از خرمای، ابتدا مقدار مورد نظر خرمای را از سردخانه بیرون آورده و سپس در دمای حدود ۲۰ درجه سانتیگراد در محیط قرار داده شد تا به دمای آزمایشگاه برسد. دلیل این امر، این بود که بافت خرمای داخل سردخانه سفت شده و هنگام همزدن با همزن دستی فرآیند همگن کردن و در نتیجه نفوذ به خوبی انجام نمی شد. سپس به منظور افزایش سطح تماس آب با خرمای و تسریع فرآیند انتشار، خرماها با دست به قطعات کوچکتری تبدیل شده و با ۵۰۰ گرم آب مقطر (ابتدا آب مقطر داخل بن ماری (Water Bath, type w 350 B) به دمای آزمایش رسانیده می شد) با نسبت ۱:۴ مخلوط شد. برای افزایش استخراج مخلوط حاصل شده از همزن دستی با دور پایین به مدت ۲ دقیقه استفاده گردید. بشر حاوی نمونه به داخل بن ماری با دمای ۷۷ درجه سانتیگراد منتقل و پس از مدت زمان

¹Spindle

²Torque

تحلیل رگرسیون پارامترهای رئولوژیکی شاخص رفتار جریان (n) و ضریب پایداری (k) به دست می آیند (۱).

$$\sigma = k\dot{\gamma}^n \quad (۷)$$

جدول ۱ - ضریب تبدیل تنش برشی (k σ)

شماره اسپیندل	k σ
۱	۰/۰۳۵
۲	۰/۱۱۹
۳	۰/۲۷۹
۴	۰/۵۳۹
۵	۱/۰۵
۶	۲/۳۵
۷	۸/۴۰

۲-۲-۵- بررسی مدل هرشل بالکلی

برای بررسی دقیق تر رئولوژی شیره ی خرما می توان از مدل هرشل بالکلی استفاده نمود:

$$\dot{\gamma}k = \sigma_0 + \sigma \quad (۸)$$

با گرفتن (Ln) از دو طرف معادله خواهیم داشت:

$$\dot{\gamma}Ln(\sigma - \sigma_0) = Ln K + n Ln \quad (۹)$$

که σ_0 تنش تسلیم هرشل بالکلی (Pa)، K شاخص قوام ($Pa \cdot s^n$) و n شاخص رفتار جریان می باشند (۳).

۲-۲-۶- اثر دما بر ضریب پایداری

یکی دیگر از پارامترهایی که قابل بررسی خواهد بود مقایسه ی تغییرات ویسکوزیته نمونه ها با یکدیگر نسبت به دما می باشد. در این قسمت به منظور بررسی رابطه ویسکوزیته با دما از مدل آرنیوس^۲ استفاده شد.

$$K = K_0 \exp(E_a / RT) \quad (۱۰)$$

که در آن K ضریب پایداری، K_0 ثابت آرنیوس بر حسب $Pa \cdot s^n$ ، انرژی اکتیواسیون بر حسب KJ/mol ، T درجه حرارت بر حسب K و R ثابت جهانی گازها $KJ/mol \cdot K$ است. $۸/۳۱۴ \times ۱۰$ پارامترهای به دست آمده از این معادله

۲-۲-۴- محاسبه پارامترهای رئولوژیکی شیره خرما

با توجه به این که تنها ویسکومتر در دسترس ویسکومتر تک استوانه ای بود بنابراین از مدل قانون توان و مدل هرشل بالکلی براساس روش میچکا^۱ استفاده گردید.

با استفاده از رابطه زیر مقدار n یا شاخص رفتار جریان محاسبه می گردد:

$$M = K N^n \quad (۱)$$

که در آن M، درصد گشتاور یا درصد گشتاور بیشینه ثبت شده در طول زمان آزمون اندازه گیری ویسکوزیته در یک سرعت ثابت، N دور اسپیندل ویسکومتر بر حسب دور در دقیقه (rpm)، n شاخص رفتار جریان (بدون بعد) و K یک ثابت است که با گرفتن (Ln) از طرفین رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$Ln M = Ln K + n Ln N \quad (۲)$$

در ادامه تنش برشی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\sigma = K_\sigma \cdot C \cdot M \quad (۳)$$

که در آن σ تنش برشی (Pa)، K_σ ضریب تبدیل تنش برشی است که تابعی از نمره اسپیندل است (جدول ۱) و C یک ثابت بدون بعد است که به ظرفیت گشتاور کل دستگاه بستگی دارد که از رابطه زیر به دست می آید:

$$C = M/7187 \quad (۴)$$

آهنگ برشی میانگین از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\dot{\gamma} = K \times N \quad (۵)$$

که در آن $\dot{\gamma}$ آهنگ برشی میانگین (s^{-1}) و K ضریب تبدیل آهنگ برشی است که به مقدار عددی شاخص رفتار جریان وابسته است:

$$= 0.263 (1/n)^{0.771} \dot{\gamma} \quad (۶)$$

روند روش میچکا به این ترتیب است که ابتدا شاخص رفتار جریان (n) از معادله ۲ با رگرسیون خطی به دست می آید و سپس تنش برشی و آهنگ برشی میانگین توسط روابط ۳ و ۵ محاسبه می شوند. از رابطه سیال پاورلا (۷) توسط

^۲Arrhenius model

^۱Mitchka method

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی های فیزیکوشیمیایی شیر خرمای وارسته کلوته

برخی از خواص فیزیکوشیمیایی شیر خرمای در جدول ۲ ارائه شده است.

انرژی فعال سازی و ثابت آرنیوس است. برای این منظور لگاریتم ضریب پایداری نسبت به عکس مقادیر دماهای مربوطه جهت این دو پارامتر استفاده شد. در این حالت عرض از مبدا برابر $\ln K_0T$ و شیب منحنی ها E_a/R خواهد بود (۱). برای ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار Microsoft Excel 2007 استفاده گردید.

جدول ۲- برخی از خواص فیزیکوشیمیایی شیر خرمای

مقدار	خواص فیزیکوشیمیایی
۲۳/۷۶	رطوبت (%)
۱/۸۴	خاکستر (%)
۷۴/۷۶	قند کل (%)
۲/۳۱۱	پروتئین (%)
۶۸/۱۵	قند احیاء کننده (%)
۳/۰۳	ساکاروز (%)
۴/۲۸	pH
۷۲/۱	ماده خشک (%)
۱/۰۵	اسیدیته (میلی گرم / در ۱۰۰ گرم)

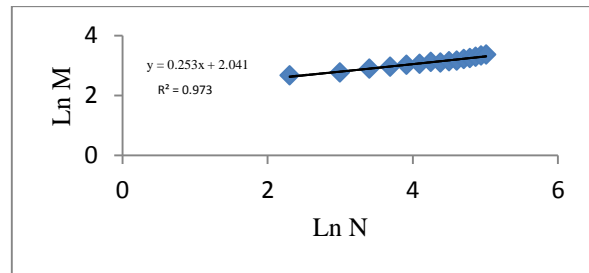
۳-۲- آزمون های رئولوژیکی

با ترسیم (\ln) گشتاور بر حسب دور اسپیندل شکل (۱) و در ادامه نمودار سرعت برشی بر حسب تنش برشی شکل (۲) با ثابت نگهداشتن دما (۲۰ درجه سانتی گراد) با افزایش بریکس مقادیر ضریب پایداری (K) و شاخص جریان رفتار (n) کاهش می یابند. با لحاظ کردن بریکس مشخص (۴۶ درجه) مقادیر ضریب پایداری (K) و شاخص جریان رفتار (n) نیز حالت نزولی دارند. نتایج حاصل در سه دمای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد و بریکس ۴۶ نشان داد که هر سه نمودار رفتار غیر نیوتنی از نوع قانون توان (رفتار رقیق شونده با برش) دارند که با نتایجی که آل همدان^۱ (۲۰۰۲)، بر روی نوشیدنی حاصل از شیر خرمای استخراج شده خرمای غلیظ شده انجام داد، منطبق بود. نتایج این محقق نشان داد، بین دمای ۶۵ - ۵ درجه سانتی گراد شیر خرمای از قانون پاورلا

پیروی می کند. با تغلیظ شیر مقدار ضریب قوام کاهش ولی با افزایش دما سیر صعودی این شاخص مشاهده گردید (۷). حبیبی نجفی و همکاران (۲۰۰۶)، در ترکیب شیر خرمای و خمیر کنجداز بریکس ۶۵-۶۰ درجه با نسبت های مختلفشان دادند این مخلوط دارای رفتار سیال قانون توان است. شاخص پایداری (K) برای همه ی نمونه ها بیشتر از یک و در محدوده ی (۸/۲ - ۴/۱۱ Pa.S) و شاخص رفتار جریان (n) کمتر از یک در دامنه ی ۰/۷ - ۰/۳۴ حاصل گردید (۱۵).

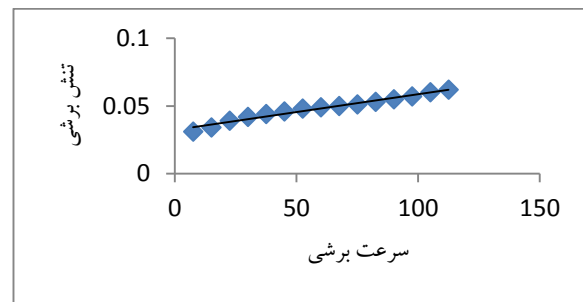
¹Alhamdan

گراد و بریکس های ۲۶، ۳۶ و ۴۶ در مدل پاورلا بررسی شده است (جدول ۳). مقادیر به دست آمده در واقع نشان می دهند که با افزایش دما در بریکس ثابت، مقدار ضریب پایداری (K) کاهش، شاخص جریان رفتار (n) افزایش و ضریب همبستگی (R^2) به دو حالت افزایش و کاهش نسبی وجود دارد که در حالت اول با بریکس پایین مقدار (R^2) کاهش و با افزایش بریکس، (R^2) زیاد می گردد. تاثیر تعیین مقدار (R^2) در شرایطی که گشتاور تغییر می کند را می توان در نتایج تحقیقات قبلی نیز مشاهده کرد، یوسف و همکاران (۲۰۱۳)، در بررسی خواص رئولوژیکی مخلوط پالپ خرما واریته های (Shamia) و (Sewi) در بستنی با بریکس های ۴۵ و ۷۳ در یافتند ضریب پایداری، ویسکوزیته ظاهری پلاستیکی، تنش و ویسکوزیته در ۱۰rpm، شاخص رفتار جریان کاهش می یابد و رفتار های غیرنیوتنی سودوپلاستیک حاصل می شود (۲۸). اضافه کردن مجدد آب، اسید سیتریک و سدیم متا بی سولفیت همراه با کاهش میزان قند تغییراتی را در خواص رئولوژیکی پالپ خرما واریته ی (Shamia) خشک شده با بریکس ۴۵ درجه به وجود می آورد (۱۱).



شکل ۱- رابطه لگاریتم سرعت چرخشی (rpm) و

لگاریتم گشتاور برای شیر خرمای ۴۶ درجه دمای ۲۰ درجه سانتی گراد



شکل ۲- رابطه سرعت برشی (S-1) و تنش برشی (Pa)

برای شیر خرمای ۴۶ درجه دمای ۲۰ درجه سانتی گراد

در ادامه، ضریب پایداری، شاخص رفتار جریان و ضریب تبیین برای شیر خرمای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی

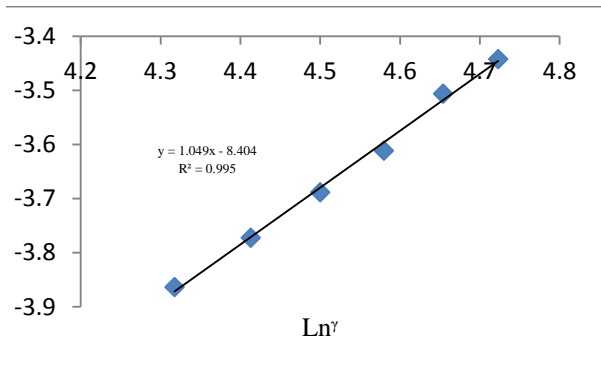
جدول ۳- ضریب پایداری، شاخص رفتار جریان و ضریب همبستگی برای شیر خرمای (مدل پاورلا)

مدل	بریکس	دما			دما			دما		
		۲۰	۴۰	۶۰	۲۰	۴۰	۶۰	۲۰	۴۰	۶۰
		K(Pa.S ⁿ)	n	R ²	K(Pa.S ⁿ)	n	R ²	K(Pa.S ⁿ)	n	R ²
پاورلا	۲۶	۳۰/۲۹	۱/۲۴۰	۰/۹۹۸	۲۴/۲۸	۰/۸۷	۰/۹۹۵	۱۸/۵۴	۰/۵۳	۰/۹۹۰
	۳۶	۱/۳۹۳	۰/۵۸۷	۰/۹۹۶	۰/۹۹۳	۰/۲۴۰	۰/۹۹۴	۰/۶۵۴	۰/۲۷	۰/۹۹۲
	۴۶	۷/۶۹۸	۰/۲۵۳	۰/۹۷۳	۶/۵۰۷	۰/۲۳۹	۰/۹۷۹	۳/۷۲۱	۰/۱۷	۰/۹۹۴

استفاده گردد. در ادامه برای بررسی دقیق تر، معادله هرشل بالکلی با قانون توان در شیر خرمای مقایسه شده است. با افزایش درجه برش ویسکوزیته ظاهری سیالات سودوپلاستیک کاهش می یابد. در واقع در یک دمای ثابت با کاهش بریکس سیال مورد نظر حالت سودوپلاستیک پیدا

در بعضی سیالات رابطه تنش و سرعت برشی در یک مختصات لگاریتمی به صورت خطی بوده که این معادله به دست آمده را قانون توان گویند. همه سیالات از قانون توان پیروی نکرده و بهتر است، در مورد سیالاتی که رفتار پلاستیک از خود نشان می دهند از معادله هرشل بالکلی

۲۰ درجه سانتی گراد و بریکس ۴۶ و مطالعه ی مدل هرشل بالکلی مشخص شد با افزایش دما، مقدار (R^2) روند نزولی دارد (شکل ۳).



شکل ۳ - مدل هرشل بالکلی برای شیر خرمای (در بریکس ۴۶ در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد)

مقادیر جدول (۴) نشان می دهند، با افزایش دما و بریکس به طور هم زمان، پارامترهای ضریب پایداری و شاخص رفتار جریان روند نزولی محسوسی دارند. در بررسی ضریب تبیین (R^2) حالت منظمی مشاهده نمی گردد و محدوده ی دمایی ۲۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد با افزایش بریکس مقدار (R^2) افزایش می یابد. نتایج نشان می دهد با افزایش دما و بریکس به صورت هم زمان، مقادیر (n) به دست آمده از آزمایش های انجام شده بر شیر خرمای وارسته ی کلوته برحسب مدل هرشل بالکلی کاهش دارد. در واقع (n) در بازه ی ۶/۳۶۳ - ۱/۰۳۴ قرار دارد. مقدار (n) بدست آمده در مدل هرشل بالکلی شبیه مدل پاورلا می باشد و با افزایش دما و بریکس کاهش می یابد.

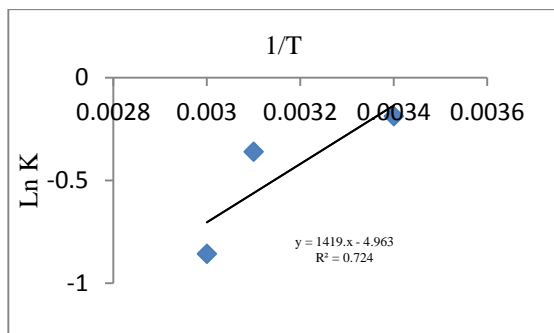
می کند که البته با بررسی نمودار و جدول مشخص شد که این رفتار به شیر خرمای نزدیک تر می باشد. برای کنترل چهار عامل اصلی در رابطه قانون توان دما به میزان ۲۰ درجه سانتیگراد و بریکس نیز ۱۰ درجه افزایش یافتند. ضریب قوام با تنش برشی و ویسکوزیته ظاهری رابطه مستقیم داشته و به دنبال کاهش دما و رقیق شدن شیر خرمای این شاخص نیز کاهش یافت که البته در تمامی بریکس های بررسی شده مشاهده می گردد. نتایج نشان می دهد با افزایش دما و بریکس به صورت هم زمان مقادیر (n) به دست آمده از آزمایش های انجام شده بر شیر خرمای وارسته ی کلوته، کاهش نشان داد. در واقع (n) در بازه ی ۱/۲۴۰ - ۰/۱۷ قرار دارد که در بررسی انجام شده توسط موسوی نسب و همکاران (۲۰۰۹)، که بر روی تولید دکستران از عصاره ی خرما و ساکاروز به عنوان منبع کربن به صورت ترکیبی، انجام شد نتایج مدل پاورلا با شاخص رفتار جریان (n) بین ۰/۹۳ - ۰/۴۹ حاصل گردید. حتی ویسکوزیته ظاهری نیز در غلظت های مشخص از مدل قانون توان تبعیت می کند (۲۳). گبسی او همکاران (۲۰۱۳)، شاخص جریان کمتر از یک و رفتار رقیق شونده با برش در سرعت های برشی، غلظت و دماهای مختلف براساس مدل پاورلا را برای شیر خرمای گزارش کردند (۱۴). البته استثناء هم وجود دارد که توسط شریعتی و همکاران (۲۰۱۴) در شفاف سازی عصاره ی خرما مشخص گردید، در تمام نمونه ها رفتار از نوع غلیظ شونده با برش بود (۲۷). با کاهش مقدار بریکس شیر خرمای در سرعت برشی (S^{-1}) ۲۵ - ۹۷۹، شاخص جریان رفتار (n) ۰/۹۸ - ۰/۵۷ و ضریب پایداری (K)، $5720/32 (Pa.S^n)$ - ۶/۴۹ بر طبق الگوی رفتار سودوپلاستیک مشاهده گردید (۱۷).

۳-۲-۱- مقایسه مدل های پاورلا و هرشل بالکلی

با توجه به مدل هرشل بالکلی و با مقایسه با مدل پاورلا، می توان به خواص رئولوژیکی شیر خرمای وارسته کلوته بیشتر پی برد. با توجه به ضریب تبیین (R^2) در شرایط دمایی

جدول ۴ - ضریب پایداری، شاخص رفتار جریان و ضریب تبیین برای شیره خرما (مدل هرشل بالکلی)

مدل	بریکس (درجه)	دما (درجه سانتی گراد)								
		۲۰			۴۰			۶۰		
		K(Pa.S ⁿ)	n	R ²	K(Pa.S ⁿ)	n	R ²	K(Pa.S ⁿ)	n	R ²
هرشل بالکلی	۲۶	۷/۸*۱۰ ^۹	۶/۳۶۳	۰/۷۶۶	۶/۵*۱۰ ^۹	۵/۷۲۱	۰/۶۶۵	۴/۴*۱۰ ^۹	۴/۶۳۱	۰/۵۷۰
	۳۶	۳/۶*۱۰ ^۹	۵/۱۱۸	۰/۹۲۱	۳/۸*۱۰ ^۹	۴/۱۲۰	۰/۹۱	۲/۶*۱۰ ^۹	۳/۲۳۳	۰/۸۷۰
	۴۶	۵۲۶۵/۸۶۱	۱/۱۱۵	۰/۹۹۵	۸۴۴۲/۲۱۵	۱/۰۵۵	۰/۹۲۶	۱۵۷۵۶/۳۷	۱/۰۳۴	۰/۸۹۰



شکل ۴- رابطه ضریب پایداری (Pa.sⁿ) با دما (1/T) برای شیره ی خرما در بریکس ۴۶ و دماهای (۲۰، ۴۰ و ۶۰)

۴- نتیجه گیری

خرمای واریته کلوته از ارقام مهم و رایج در استان کرمان می باشد. این رقم خرما به رنگ قهوه‌ای متمایل به سیاه و رنگ خارک آن زرد است. بهینه سازی استخراج شیره خرما و تغلیظ آن همراه با حذف رنگ، عطر و طعم نامناسب با روش های فیزیکی و شیمیایی و بررسی خصوصیات رئولوژیکی آن، جهت تبدیل خرماهای ضایعاتی به فرآورده های با ارزش افزوده بالاتر به منظور تامین نیازهای داخلی و نیز صادرات بخشی از این فرآورده ها در راه تحصیل ارز و همچنین در راستای کاهش واردات فرآورده های مشابه حائز اهمیت می باشد. در این تحقیق خواص رئولوژیکی شیره خرمای واریته کلوته با مدل های قانون توان و هرشل بالکلی براساس روش میچکا در سه دمای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد و بریکس های ۲۶، ۳۶ و ۴۶ درجه انجام شد. نتایج نشان داد که رفتار رئولوژیکی این شیره از سیال

۳-۲-۲- اثر دما بر ضریب پایداری (تعیین پارامترهای رابطه آرنیوس)

شکل (۴) رابطه ضریب پایداری با دما را با استفاده از مدل آرنیوس نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود بین لگاریتم ضریب پایداری و عکس دما رابطه ی خطی وجود دارد. شیب خطوط معرف انرژی اکتیواسیون می باشد. انرژی اکتیواسیون حساسیت ویسکوزیته به تغییرات دما را نشان می دهد. در صورتی که مقدار ثابت (K_{0T}) برای هر نمونه شیره ی خرما مشخص باشد مقادیر (K) در دماهای مختلف با استفاده از مدل آرنیوس قابل پیش بینی است. با استفاده از رگرسیون خطی (شکل ۴) ضریب پیش نمائی (K_{0T}) و انرژی فعال سازی (E_a) محاسبه شد. سه پارامتر ضریب پیش نمائی، انرژی فعال سازی و ضریب تبیین (R²) با هم رابطه ی مستقیم داشتند و با افزایش بریکس افزایش نشان دادند. با استفاده از رابطه ی آرنیوس اثر دما بر ضریب پایداری محاسبه و مقادیری بین (۲۲۶۸۸/۴۴ - ۱۱۷۹۷/۵۶) حاصل گردید که در مطالعه انجام شده توسط حبیبی نجفی و همکاران (۲۰۰۶) که بر روی ترکیب شیره ی خرما و خمیر کنجد انجام شده بود، انرژی فعال سازی بین (۲۹۴۷۸ - ۲۲۳۶۶) حاصل گردید (۱۵). در بررسی انجام شده بر نوشیدنی تهیه شده از شیره خرما توسط آل همدان (۲۰۰۲) محدوده ی انرژی فعال سازی بر اساس مدل آرنیوس در سرعت برشی (s⁻¹) ۱۰۰، بین (۱۰۰۰ - ۱۰۰۰۰) (۷) حاصل شد.

Innovative food science and technology, 6: 442 – 452.

11. El-sayed, A. Youssef, K.M. Shatta, A.A. and El-samahy, S.K. 2014. Physico-chemical, rheological and sensory properties of date (Phoenix dactylifera Var. Shamia) sheets. Journal agricultural and veterinary sciences, 70(1):59 – 69.

12. El-sharnouby, G.A. Al-eid, S.M. and Al – otaibi, M.M. 2009. Utilization of enzymes in the production of liquid sugar from dates. African journal of biochemistry research, 3: 041 – 047.

13. FAO. 2012. Available at: <http://www.Fao.org>.

14. Gabsi, K. Trigui, M. Barrington, S. NouredineHelal, A. and Taherian, A.L. 2013. Evaluation of rheological properties of date syrup. Journal of food engineering, 117: 162 – 172.

15. HabibiNajafi, M.B. and Alaei, Z. 2006. Rheological properties of date syrup/sesame paste blend. World journal of dairy and food sciences, 1(1): 01 – 05.

16. Hashim, I.B. 2005. Characteristics and acceptance of yogurt containing date palm products. Food science and nutrition department , faculty of agricultural science , United Arab Emirates , Al Ain , UAE , 842 – 849 .

17. Hassan, B.H. 1992. Viscometric behavior of single strength and concentrated date-water extracts. Journal of king saud university, 4(1): 3 – 13.

18. Hussein, A.S. Alhadrami, G.A. and Khalil, Y.H. 1998. The use of dates and date pits in broiler starter and finisher diets. Bioresource technology, 66(3): 219 – 223.

19. Jalali, M. Jahed, E. Haddad Khodaparast, M.H. Limbo, S. and MousaviKhaneghah, A. 2014. Evolution of bentonite and gelatin effects on clarification of variety of date fruit Kaluteh juice with response surface methodology. International food research journal, 21(5): 1893 – 1899.

20. Karaca, O. Guven, M. and Yasar, K. 2008. The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers. International journal of dairy technology, 62: 93 – 99.

21. Lund, E.D. Smoot, J.M. and Hall, N.T. 1983. Dietary fiber content of eleven tropical fruits and vegetables. Journal of agricultural and food chemistry, 31(5).

غیرنیوتنی و رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) پیروی می کند.

۵- منابع

۱. توکلی پور، ح. و کلباسی اشتری، ا. ۱۳۹۲. بررسی ویژگی های رئولوژیکی شیر انگور. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، دوره ۱۰، شماره ۴، ۱۳۷ – ۱۲۹.

۲. جلالی، م. عطای صالحی، ا. و حداد خداپرست، م.ح. ۱۳۹۱. بررسی عوامل موثر بر فرآیند استخراج شیر از خرمای واریته کلوته و بهینه یابی آن با استفاده از متدولوژی سطح پاسخ. نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی، جلد ۸، شماره ۳، ۳۳۷ – ۳۲۸.

۳. کاراژیان، ح. و رضوی، م.ع. ۱۳۸۸. بررسی خصوصیات جریان پذیری خمیر خرما. علوم و فناوری غذایی، سال ۱، شماره ۲، ۴۰ – ۳۳.

4. Abbès, F. Bouaziz, M.A. Blecker, C. Masmoudi, M. Attia, H. and Besbes, S. 2011. Date syrup: Effect of hydrolytic enzymes (pectinase/cellulase) on physicochemical characteristics. Sensory and functional properties, 44:1827 – 1834.

5. Ahmed, J. and Ramaswamy, H.S. 2005. Effect of temperature on dynamic rheology and color degradation kinetics of date paste. Food and bioproducts processing, 83(3): 198 – 202.

6. Ahmad, J. and Ramaswamy, H.S. 2006. Physico-chemical properties of commercial date pastes (Phoenix dactylifera). Journal of food engineering, 76: 348 – 352.

7. Alhamdan, A.M. 2002. Rheological properties of a newly nutritious dairy drink from milk and date extract concentrate (Dibbs). International journal of food properties, 5(1): 113 – 126.

8. AOAC. 2000. Official methods of analysis (17th Ed.). Washington,DC: Association of Official Analytical Chemists [Methods 37.1.12,44.1.05, 2.4.03, 37.1.51, 37.1.34].

9. Barreveld, W. H. 1993. Date palm products.FAO food and agriculture organization of the United Nation, Rome, Italy, 350P.

10. Berardini, N. Knodler, M. Schieber, A. and Carle, S. 2005. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics.

22. Milani, E. and Koochaki, A. 2010. The effects of date syrup and guar gum on physical, rheological and sensory properties of low fat frozen yoghurt dessert. *International journal of dairy technology*, 2: 251 – 258.
23. MoosaviNasab, M. Alahdad, Z. and Nazemi, SH. 2009. Characterization of the Dextran produced by *Leuconostocmesenteroides* from date fruit extract. *Iran agricultural research*, 28(1): 79 – 88.
24. Mrabet, A. Rejili, M. Lachiheb, B. Toivonen, P. Chaira, N. and Ferchichi, A. 2008. Microbiological and chemical characterization of organic and conventional date pastes (*Phoenix dactylifera* L.) from Tunisia. *Annals of microbiology*, 58(3): 453 – 459.
25. Razavi, S.M.A. HabibiNajafi, M.B. and Alae, Z. 2007. The time independent rheological properties of low fat sesame paste/date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature. *Food hydrocolloids*, 21: 198 – 202.
26. Roukas, T. and Kotzekidou, P. 1997. Pretreatment of date syrup to increase citric acid production. *Enzyme and microbial technology*, 21: 273 – 276.
27. Shariati, M.A. Mazandarani, Z. Darjani, Z. RaiesiArdali, F. and Nilchian, Z. 2014. Bleaching of echiumamoenumfisch and c.a.mey by gel anionic, macroprus absorbing and macroprus anion resin for production of a drink by using date syrup. *Indian journal of research in pharmacy and biotechnology*, 2(1): 1065 – 1070.
28. Youssef, K.M. El-hady, A. El-sayed, A. Moussa, A. Tamer, E. and El-samahy, S.K. 2013. Rheological behavior and some quality parameters of date ice cream. *Journal of agricultural and veterinary sciences*, 6(2): 149 – 160.

