بررسی ویژگیهای رئولوژیکی شیره انگور

حمید توکلی پور[۱*]، احمد کلباسی اشتری[۲]

۱- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، خراسان رضوی.
۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، پردیس کشاورزی دانشگاه تهران، کرج.
(تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۱۶)

چکیده

شیره انگور یکی از محصولات جانبی انگور است که در مناطق تاک خیز ایران به شیوه سنتی تولید می شود. در این پژوهش برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی شیره انگور مانند گرانش ویژه، pH، قندکل، خاکستر و پارامترهای رئولوژیکی شیره انگور با استفاده از یک ویسکومتر چرخان در سه دمای (۲۵، ۴۵ و ۶۵^{o}C) و سه بریکس ۳۵، ۵۰ و ۷۶ اندازه گیری شد. محاسبات ریاضی یافته ها بر اساس روش میچکا نشان داد که شیره انگور از نوع سیال غیر نیوتنی و غلیظ شونده با برش (دایلاتانت) است. همچنین با استفاده از معادله آرنیوس تابعیت ضریب پایداری شیره انگور با دما تعیین و انرژی فعال‌سازی بین ۱۵/۱۹۷ تا ۳۴/۰۷ kJ/mol محاسبه شد. در نهایت با استفاده از رابطه نمایی، ضریب پایداری با بریکس برازش گردید.

کلید واژگان: شیره انگور، مدل استوالد دی وال، روش میچکا، خواص رئولوژیکی، انرژی فعال سازی.

* مسئول مکاتبات: h.tavakolipour@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

انگور یکی از محصولات مهم باغی در دنیا محسوب می‌شود. تولید انگور در ایران حدود سه میلیون تن است که از این نظر مقام هفتم را در جهان دارد [۱]. استان خراسان رضوی از تولید کنندگان عمده انگور در کشور به شمار می آید و حدود ۵ تا ۲۰٪ انگورهای تولیدی در ایران برای تهیه شیره انگور مورد استفاده قرار می گیرد [۲].

یکی از روش‌های نگهداری انگور کاهش فعالیت آبی آن توسط تبدیل به کنسانتره انگور است که بوسیله تبخیر کننده ها یا تغلیظ مقدماتی با اسمز معکوس و سپس تبخیر در اواپراتورهای تک بدنه ای یا چند بدنه ای انجام می گیرد. تغلیظ آب میوه علاوه برکاهش فعالیت آبی و کند کردن رشد میکروارگانیزم‌ها باعث کاهش هزینه‌های حمل و نقل و انبارمانی نیز می‌شود و مدت ماندگاری فراورده را افزایش می دهد.در کنار تولید کنسانتره انگور که به شیوه کاملا صنعتی و پیوسته انجام می گیرد از دیرباز در ایران تولید شیره انگور (دوشاب) به شیوه سنتی متداول بوده است. مردم این مرز و بوم با تکیه بر میراث گذشتگان و با افزودن تجربه های نو و استفاده از خاک همان منطقه، از ماده اولیه فساد پذیر و فصلی انگور فراورده ای انرژی بخش ،توام با خواص دارویی مختلف و با مدت ماندگاری طولانی پدید می آوردند. شاید مهمترین ایرادهایی که می توان به شیوه سنتی تولید شیره انگور گرفت نارسایی های بهداشتی در حین تولید و بسته بندی و تغییرات قابل توجه کیفیت محصول در هر بهر تولید است. بنابراین تغییر شیوه سنتی به نیمه صنعتی با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی (به ویژه اسیدیته) انگورهای هر منطقه و آنالیز شیمیایی خاک مورد استفاده برای طراحی سیستم جای بحث و بررسی دارد.

برای تولید دوشاب، انگورهای واریته سیاه و عسکری یا واریته های مناسب دیگر باعیار و کیفیت قندی مطلوب شستشو شده و سپس در داخل کیسه هایی قرار داده شده و در حوضچه مخصوصی لگد می شود تا آب انگور از آنها بیرون رفته و در حوضچه جمع آوری شود. در همین قسمت خاک مخصوص رنگبری و تصفیه یا "خاک شیره" را به آب انگور اضافه می‌کنند. این خاک که خاصیت قلیایی دارد و به رنگ‌های قهوه‌ای، سبز و قرمز بوده و معمولا" در ارتفاعات و تپه های هر روستا تهیه می‌شود و تهیه آن هزینه زیادی در بر ندارد.

آخرین مرحله‌ی تولید شیره، جوشاندن و تغلیظ آب انگور است که درجهار دیگ‌مسی انجام می شود. دیگ اول "گل جوش" نامیده‌می‌شود و آب انگور خام تولیدی در حوضچه پس از ته‌نشین‌شدن خاک به درون دیگ "گل‌جوش" هدایت و در اثر حرارت حاصل از سوختن چوب یا سوختهای فسیلی می‌جوشد. پس از جوشیدن و سرد شدن، آب انگور به دیگ دوم یا "دیگ شیره" منتقل شده و دوباره حرارت داده می‌شود تا به جوش آید. در واقع باجوشاندن مجدد آب انگور در دودیگ جداگانه موجب صاف‌شدن بیشتر و جداسازی مواد نامناسب آب انگور همراه با خاک را فراهم می‌کند و بعد از جوشیدن آب انگور در دیگ شیره صبر می‌کنند تا محصول سرد شود. در این مرحله به دلیل کف آلود شدن محصول دراثر جوشاندن، آب انگور تولیدی در دیگ شیره را به دو نیم کرده، نیمی به درون دیگ سوم و نیمی به درون دیگ چهارم هدایت می‌نمایند . برای جلوگیری از سرریزشدن شیره مقدار کمی گردو (بدلیل داشتن چربی) بعنوان ماده ضد کف اضافه می‌کنند تا از کف کردن و سرریزشدن شیره (در نتیجه حرارت دادن) جلوگیری کند. اگر مقدار گردو زیاد باشد سطح شیره در دیگ پایین رفته وباعث حرارت دیدن بش از حد و سوخته‌شدن شیره تولیدی می‌شود. این فرایند در بهر ها ی متعدد و تا پایان فصل برداشت انگور تکرار می شود. در خاتمه فصل تولید شیره معمولاً حوضچه ها ودیگهای مسی را با خاک نرم پر می‌کنند که تا سال آینده دچار آسیب و فرسودگی نشود. احتشامی معین آبادی و همکاران (۱۳۸۴) بر روی شیره انگور تولیدی منطقه خراسان مطالعاتی را انجام داده و دریافتند که در حین فرایند تولید مقداری خاک وارد شیره می شود.آنها استفاده از بنتونیت را برای شفاف سازی پیشنهاد و شرایط بهینه فرایند را گزارش کردند [۳].

بصیری (۱۳۸۵) تاثیر میزان خاک و رقم انگور را بر روی صفات کیفی شیره انگور نهایی در منطقه خراسان بررسی نمود و دریافت که مصرف خاک تا ۳٪ سبب بهبود رنگ محصول نهایی می شود [۴].

پونتس و همکاران (۲۰۰۴) مطالعاتی را بر روی آب انگور و کنسانتره انگور حاصل از انگورهای منطقه مندوزای آرژانتین انجام دادند .بررسیها بر روی آب انگور شفاف و کنسانتره انگور در دامنه بریکس ۲۲/۹-۷۰/۶ و در دامنه دمایی ۲۰ تا $80^{o}C$ انجام گرفت. از جمله نتایج پژوهش مذکور ، رفتار

Archive of SID

www.SID.ir

نیوتنی آب انگور طبیعی، بیان تاثیر دما بر ویسکوزیته با رابطه آرنیوس و افزایش انرژی فعالسازی با غلظت مواد جامد کنسانتره انگور از ۱۶,۳ تا kJ/mol ۵۲ بود [۵].

کایا و بلی باگلی (۲۰۰۲) ویژگیهای رئولوژیک پکمز[1] با بریکس اصلی ۸۲,۱ را همراه با پکمزهای تولیدی در بریکس های (۷۲,۹,۶۶,۸,۵۷,۲,۵۲,۱) و در پنج دمای (۱۰,۲۰,۳۰,۴۰,۵۰°C) توسط رئومتر نوسانی (SAOS)[2] مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که پکمزهای غلیظ رفتار غیر نیوتنی و نمونه های رقیق رفتار نیوتنی داشتند. همچنین آنها اثر مواد جامد محلول در ویسکوزیته را با معادله نمایی نشان دادند [۶].

ارسلان و همکاران (۲۰۰۴) خواص رئولوژیکی خمیر کنجد[3] و پکمز با درصد کنجد ۲۰-۳۲٪ را در دامنه دمایی ۶۵°C-۳۵ با ویسکومتر چرخشی اندازه گیری نمودند. رفتار شیره غیر نیوتنی از نوع شبه پلاستیک بود و با استفاده از مدل قانون توان مقدار n (شاخص رفتار جریان) و K (ضریب پایداری) را بترتیب بین ۰/۸۵-۰/۷ و $mPas^n$ ۲۵۴۷-۲۸۲ به دست آمد. هرچند هر دو پارامتر تاثیر معنی داری با دما داشتند لیکن اثر دما بر روی n (شاخص رفتار جریان) از رابطه آرنیوس پیروی نمی کرد. انرژی فعال سازی (اکتیواسیون) در دامنه kJ/mol ۲۸/۵۹۲-۱۳/۳۷۶ به دست آمد و با زیاد شدن غلظت افزایش یافت. تاثیر غلظت فقط بر روی ضریب پایداری با معادله نمایی توصیف گردید [۷].

آلپ اسلان و هایتا (۲۰۰۲) به تعیین خصوصیات رئولوژیکی و حسی مخلوط پکمز و کنجد پرداخته و دریافتند که مخلوطهایی با بریکس‌های مختلف (۲، ۴ و ۶ ٪) و دما (۷۰°C، ۶۵، ۶۰، ۵۰، ۴۰ و ۳۰) از جمله سیالات شبه پلاستیک و از گروه سیالات استوالد دی وال[4] (قانون توان[5]) هستند [۸].

براوو و همکاران (۱۹۹۱) خصوصیات رئولوژیکی بعضی از نمونه‌های پکمز ترکیه را در دماهای ۳۰°C، ۲۰، ۱۵، ۱۰ و ۵ و با استفاده از ویسکومتر چرخان مطالعه کردند. آنها نشان دادند که همه نمونه‌های پکمزصرف نظر از دما دارای رفتار غیرنیوتنی بوده و رفتار رئولوژیک آنها از مدل استوالد دی وال تبعیت می کند [۹].

علی رغم انجام پژوهشهایی در زمینه آنالیز شیره انگور و بهبود فرایند تولید آن [۴و۳]، مقاله‌ای درباره رفتار رئولوژیکی و خواص رئولوژیکی شیره انگور تولیدی ایران به دست نیامد و این در حالی است که تحقیقات زیادی در مورد رئولوژی پکمز ترکیه صورت گرفته است [۹-۶]. ولی شاید این نخستین بار باشد که تاثیر خاک شیره بر روی رفتار رئولوژیکی شیره انگور مورد بررسی قرار گرفته است کاری که در مورد پکمز یا محصولات مشابه انجام نگرفته است.

از آنجا که تعیین خواص بیوفیزیکی شیره انگور نقش موثری در انجام مطلوب فرایندهای انتقال، نگهداری گرمایش و سرمایش و همچنین شناخت شاخص‌های بهینه کنترل کیفیت و آنالیز حسی دارد لذا هدف از اجرای این تحقیق تعیین خصوصیات فیزیکو شیمیایی (جرم حجمی، بریکس، خاکستر، قند، pH، ماده خشک، و اسیدیته) و خواص رئولوژیکی مانند اندازه‌گیری تنش برشی و سرعت برشی در بریکس و دماهای مختلف و نیز وضریب پایداری و شاخص رفتار جریان و محاسبه انرژی فعال سازی شیره انگور بود.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد

شیره انگور تولیدی منطقه ششتمد واقع در جنوب شهرستان سبزوار که در یکی از کارگاههای سنتی در پاییز ۱۳۸۸ خورشیدی تولید شده بود. بریکس شیره انگور ۷۶ و خاک شیره نیز از همان منطقه تهیه گردید.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱-آماده سازی نمونه

پس از تهیه نمونه اولیه، به دلیل اینکه وجود کریستال‌ها و حبابهای هوا که می‌تواند بر ویسکوزیته‌ی شیره تأثیر بگذارند، تمام نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم جابجایی اجباری (Memmert، ساخت آلمان) با دمای ۵۵°C حرارت داده شدند تا کاملا یکنواخت شود. پس از حرارت دادن و جهت حذف کامل حباب‌های هوا نمونه‌های محصول در ظروف شیشه‌ای با حجم ۵۰۰ سانتی متر مکعب به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۰°C در داخل انکوباتور یخچال دار

1. Pekmez
2.Small Amplitude oscillating system
3.Tahin
4.Ostwald de Walle
5.Power law

Archive of SID

www.SID.ir

نگهداری شد. جهت تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه از دستگاه ویسکومتر دورانی آنتون پار (مدل DV-3P، ساخت اتریش-آلمان) و برای تعیین بریکس نمونه‌ها از دستگاه رفراکتومتر دستی (ساخت چین) استفاده گردید.

۲-۲-۲- خواص فیزیکوشیمیایی شیره انگور

برخی خواص فیزیکوشیمیایی شیره انگور شامل گرانش ویژه، خاکستر، قند، pH، ماده خشک و اسیدیته تعیین گردید[۱۰]. برای تعیین گرانش ویژه از روش پیکنومتری استفاده شد.بطوریکه در ابتدا وزن پیکنومتر خالی سپس وزن پیکنومتر با آب مقطر و سرانجام وزن پیکنومتر با ماده غذایی اندازه گیری شد و گرانش ویژه توسط رابطه (۱) بدست آمد.

(۱)

$$SG = \frac{W_f - W_0}{W_w - W_0}$$

که در آن SG گرانش ویژه (بدون بعد)، W_0 وزن پیکنومترخالی (گرم)، W_w وزن پیکنومتر با آب مقطر (گرم) و W_f وزن پیکنومتر با ماده غذایی (گرم) است. برای اندازه‌گیری خاکستر، قندهای احیا، pH (توسط pH متر مدل Labor Technik)، ماده خشک و اسیدیته نیز از روش‌های متداول استفاده گردید [۱۰].

۲-۲-۳- تعیین خواص رئولوژیکی شیره انگور

در این تحقیق از ویسکومتر دورانی آنتون پار (DV-3P) جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته نمونه‌ها استفاده شد. آزمون‌های رئولوژیکی پس از آماده سازی نمونه‌ها در سه سطح دمایی ۲۵،۴۵ و ۶۵ درجه سانتیگراد و در سه سطح بریکس ۳۵، ۵۰ و ۷۶ توسط ویسکومتر دورانی تک استوانه ای انجام گرفت. این ویسکومتر دارای اسپیندل‌های R1 تا R7 می‌باشد به طوریکه در ویسکوزیته ظاهری بیشتر به این دلیل که گشتاور بیشتری مورد نیاز است بهتر است از اسپیندلی با قطر دیسک کمتر استفاده شود و در ویسکوزیته ظاهری پایینتر اسپیندلی با قطر دیسک بیشتر مناسبتر است. توجه به اینکه با افزایش دما ویسکوزیته شیره انگور کاهش می‌یابد، برای صحت بیشتر در اندازه‌گیری ویسکوزیته نمونه‌ها از اسپیندل‌های R2 تا R5 در دماهای مختلف استفاده گردید. ویسکوزیته و گشتاور هر نمونه پس از گذشت مدت زمان نسبتا" کوتاه (یک دقیقه) در دورهای مختلف در دامنه ۲۰۰-۱۰۰ rpm در ۱۱ نقطه اندازه گیری و جهت برازش داده‌ها از نرم افزار Excel 2003 استفاده شد.

۲-۲-۴- تعیین خواص رئولوژیکی مخلوط خاک شیره و آب

برای اطمینان بیشتر از یافته های رئولوژیکی، سیستم مدل آب- خاک شیره نیز انتخاب گردید.به ای ترتیب که خاک شیره از منطقه ششتمد جمع آوری و ضمن پرسشهای میدانی از کارگاههای تولید شیره انگور، مشخص شد که برای تولید شیره به طور میانگین از نسبت ۳ کیلوگرم خاک به ازای ۱۰۰ کیلوگرم آب انگور استفاده می شود. برای همین محلول ۳٪ از خاک شیره تهیه و تحت آزمونهای رئولوژیکی در یک ویسکومتر دورانی آنتون پار در همان دامنه آهنگ برشی قرار گرفت.

محاسبه پارامترهای رئولوژیکی شیره انگور با روش میچکا

با استفاده از روش میچکا خواص رئولوژیکی شیره انگور به ترتیب زیر محاسبه شدند. نخست با استفاده از رابطه زیر مقدار n یا شاخص رفتار جریان محاسبه می گردد،

(۲)

$$M = K'N^n$$

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

(۳)

$$\ln M = \ln K' + n \ln N$$

خاطر نشان می شود که در روابط فوق می توان به جای گشتاور (M) از درصد گشتاور که از ویسکومتر خوانده می شود با دقت خوبی استفاده کرد. تنش برشی متوسط از رابطه زیر محاسبه می شود :

(۴)

$$\sigma_a = K_\sigma \times C \times (\%M)$$

که در آن $a\sigma$ تنش برشی متوسط (Pa)، $K\sigma$ 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 قابل محاسبه است:

Archive of SID

www.SID.ir

(۵

$$C=\frac{M_{max}(dyn.cm)}{7187}$$

آهنگ برشی میانگین از رابطه زیر به دست می آید:

(۶

$$\dot{\gamma}_a=K_{\dot{\gamma}}\times N$$

که در آن $\dot{\gamma}_a$ آهنگ برشی میانگین و $K_{\dot{\gamma}}$ ضریب تبدیل آهنگ برشی است که به مقدار عددی شاخص رفتار جریان وابسته است :

(۷

$$K_{\dot{\gamma}}=0.263(\frac{1}{n})^{0.771}$$

روند روش میچکا به این ترتیب است که ابتدا شاخص رفتار جریان (n) از معادله ۳ با رگرسیون خطی بدست می آید و سپس تنش برشی متوسط و آهنگ برشی میانگین توسط روابط ۴ و ۶ محاسبه می شوند. از رابطه سیال پاورلا ($\sigma_a=K\dot{\gamma}_a^n$) توسط تحلیل رگرسیون پارامترهای رئولوژیکی شاخص رفتار جریان (n) و ضریب پایداری (K) بدست می آیند به طوریکه n محاسبه شده در این مرحله باید با مقداری که قبلا بدست آمده است یکسان باشد [۱۱].

جدول ۱ ضریب تبدیل تنش برشی ($K\sigma$)

شماره اسپیندل	K_σ, Pa
۱	۰/۰۳۵
۲	۰/۱۱۹
۳	۰/۲۷۹
۴	۰/۵۳۹
۵	۱/۰۵
۶	۲/۳۵
۷	۸/۴۰

۲-۲-۴-۱- محاسبه پارامترهای رئولوژیکی مخلوط خاک شیره – آب با استفاده از مدل استوالد-دی وال

در این روش نیز فرض می شود که سیستم مدل خاک شیره- آب از رابطه قانون توان $\sigma=K_s\dot{\gamma}^{n_s}$ پیروی می کند که K_s ضریب پایداری سیستم مدل و n_s شاخص رفتار جریان سیستم مدل است.سپس ویسکوزیته ظاهری (η) از رابطه فوق به دست می آید. در ادامه روند محاسبات ارائه شده است.

(۸

$$\eta=\frac{\sigma}{\dot{\gamma}}=\frac{K_s\dot{\gamma}^{n_s}}{\dot{\gamma}}=K_s\dot{\gamma}^{n_s-1}$$

آهنگ برشی برای یک سیال قانون توان و در یک ویسکومتر دورانی [۱۱].

(۹

$$\dot{\gamma}=\frac{2\omega}{n_s}=\frac{4\pi N}{n_s}$$

با گرفتن لگاریتم طبیعی از طرفین رابطه (۸) خواهیم داشت:

(۱۰

$$\ln\eta=\ln K_s-(n_s-1)\ln n_s+(n_s-1)\ln(4\pi N)$$

با استفاده از رگرسیون خطی و نمادهای زیر پارامترهای رئولوژیکی برای سیستم مدل محاسبه می شوند.

(۱۱

$$Y=\ln\eta, X=\ln(4\pi N)$$
$$A=\ln K_s-(n_s-1)\ln n_s, B=n_s-1$$
$$Y=A+BX$$

که در این روابط N سرعت چرخش اسپیندل بر حسب دور در ثانیه است.

اثر دما بر ضریب پایداری شیره‌ی انگور

با توجه به شرایط دمایی متفاوت در حین انبارمانی و نگهداری شیره انگور، بررسی تغییرات ویسکوزیته ظاهری و یا ضریب پایداری شیره انگور بر حسب دما حائز اهمیت است.به این منظور از رابطه آرنیوس استفاده می شود:

(۱۲

$$K=K_{0T}\ \exp(\frac{E_a}{RT})$$

که در آن K_{oT} ثابت آرنیوس برحسب $Pa.s^n$، E_a انرژی اکتیواسیون برحسب (kJ/mol)، T درجه حرارت برحسب K و R ثابت جهانی گازها $8.314\times10^{-3}\ \frac{kJ}{mol.K}$ است.

اثر غلظت بر ضریب پایداری شیره ی انگور

یکی دیگر از پارامترهایی که در این قسمت قابل بررسی خواهد بود مقایسهٔ تغییرات ویسکوزیته نمونه‌ها با یکدیگر نسبت به غلظت می‌باشد.در این قسمت به منظور بررسی رابطه ویسکوزیته با غلظت از تابع نمائی به شکل زیر استفاده گردید

Archive of SID

www.SID.ir

(۱۳

$$K=K_{0C}\ \exp(BC)$$

که در آن K_{0C} ثابت پیش نمایی، C غلظت یا بریکس ماده غذایی و B یک ضریب با واحد عکس غلظت است.

۳- نتایج و بحث

برخی خواص فیزیکوشیمیائی شیره انگوردر جدول ۲ ارائه شده است که با نتایج ارائه شده توسط سایر محققین همخوانی دارد [۱۲و۱۳].

برای مثال، باتو (۲۰۰۵) پی اچ پکمز را ۴,۹ و سیمسک و همکاران (۲۰۰۴) میانگین قند کل پکمز را ۶۴,۱۳٪ اعلام کردند [۱۳و ۱۴].

جدول ۲ برخی خواص فیزیکوشیمیایی شیره انگور در دمای ۲۵ ^{o}C و بریکس ۷۶

ویژگی	مقدار میانگین
وزن مخصوص (بدون بعد)	۱/۳۸۹
خاکستر (٪)	۱/۸۰۳
قند کل (g/100g)	۶۲/۶۸
ماده خشک (g/100g)	۷۷ /۴۷۷
pH	۴/۷۵۵
اسیدیته (٪ اسید تارتاریک)	۰/۴۴۰

۳-۱- آزمون های رئولوژیکی

۳-۱-۱- روش میچکا

نتایج حاصل از آزمایش در سه دمای ۴۵،۲۵ و ۶۵ درجه سانتیگراد و بریکس ۳۵ نشان داد که هر سه نمودار رفتار غیر نیوتنی از نوع قانون توان (غلیظ شونده با برش یا دایلاتانت) هستند و با افزایش دما در سرعت برشی ثابت،تنش برشی کاهش می یابد. داده های تجربی بدست آمده با استفاده از مدل قانون توان توسط نرم افزار اکسل(۲۰۰۳) برازش شدند و با استفاده از ضریب تبیین R^2 بهترین بریکس سازگار با دما تعیین شد. همانطور که از شکل ۱ مشاهده می شود با ترسیم لگاریتم گشتاور بر حسب لگاریتم دور اسپیندل (معادله ۸) و از شیب خط حاصل شاخص رفتار جریان و با استفاده از روابط ۱۰،۹ و ۱۱ به ترتیب تنش برشی و سرعت برشی محاسبه گردید که از رسم رئوگرام حاصل که در شکل ۲ ارائه شده است، رفتار غلیظ شونده با برش این شیره انگور قابل مشاهده است.

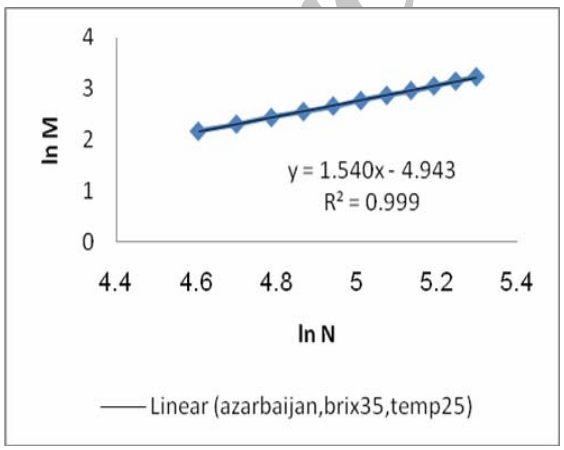
با استفاده از رابطه قانون توان (استوالد دی وال) :

$$\sigma_a = K\dot{\gamma}_a^n$$

و گرفتن لگاریتم از طرفین رابطه فوق خواهیم داشت :

$$\log\sigma_a = \log K + n\log\dot{\gamma}_a$$

با ترسیم لگاریتم تنش برشی بر حسب لگاریتم آهنگ برشی و از روی عرض از مبدا منحنی حاصل، ضریب پایداری (قوام) و شاخص رفتار جریان به دست می آید که این مقدار باید با مقدار قبلی که از شکل ۱ به دست آمده بود یکسان باشد. بهر حال مقادیر حاصل در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود سیال شیره انگور در تمامی غلطت ها یک سیال قانون توان از نوع غلیظ شونده با برش (دایلاتانت) است که با نتایج به دست آمده برای پکمز متفاوت است [۷-۹]. برای مثال ذر مورد مخلوط تاهین و پکمز، شاخص رفتار جریان (n) در دامنه ۰/۸۵-۰/۷ به دست آمد [۷]. با افزایش بریکس، ضریب پایداری شیره انگور افزایش ولی با افزایش دما، کاهش می یابد که قابل انتظار است. تغییرات شاخص رفتار جریان با افزایش دما از روند خاصی پیروی نمی‌کرد.



شکل ۱ رابطه لگاریتم سرعت چرخشی (*rpm*) و لگاریتم گشتاور شیره انگور(بریکس ۳۵ و دمای ۲۵ ^{o}C)

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۱-۲- خواص رئولوژیکی مخلوط خاک شیره و آب

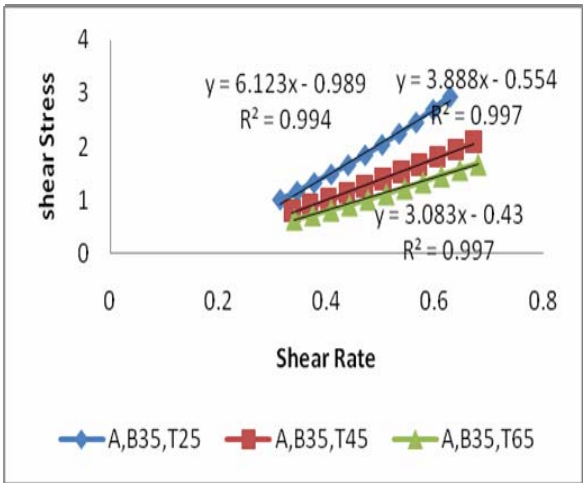
همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود، شاخص رفتار جریان در دامنه دما و بریکس مورد بحث بزرگتر از یک است، بنابراین سیال از دسته سیالات غیرنیوتنی قانون توان از نوع غلیظ شونده با برش (دایلاتانت) میباشد.چون ما مرجع دیگری برای تایید این دستاورد نداشتیم و از طرفی در حین فرایند تولید شیره انگور مقداری خاک با مش ریز وارد محصول نهایی می شود [۳]. نشت خاک به شیره می‌تواند در خواص رئولوژیکی محصول تاثیر بگذارد که برای اثبات آن از سیستم مدل خاک شیره- آب استفاده گردید. با استفاده از محاسبات ارائه شده در بخش مواد و روشها و رسم نمودار Y بر حسب X (رابطه ۱۶)، ضریب زاویه (B) و عرض از مبدا (A) به ترتیب زیر محاسبه و از روی آن خواص رئولوژیکی خاک شیره-آب یا شاخص رفتار جریان (n_s) و ضریب پایداری (K_s) به دست می آیند:

$$A=n_s-1=0.251 \Rightarrow n_s=1.251$$

$$B=\ln K_s-(n_s-1)\ln n_s=-5.200 \Rightarrow K_s=e^{-5.144}=5.834\times10^{-3}\ Pa.s^n$$

$$R^2=0.9371$$

همانطور که مشاهده می شود رفتار رئولوژیکی محلول خاک شیره- آب از سیال قانون توان، غلیظ شونده با برش تبعیت می کند و همین رفتار به علاوه بر هم کنشهای خاک-کربوهیدرات در شیره انگور موجب دایلاتانت شدن محصول نهایی می شود.



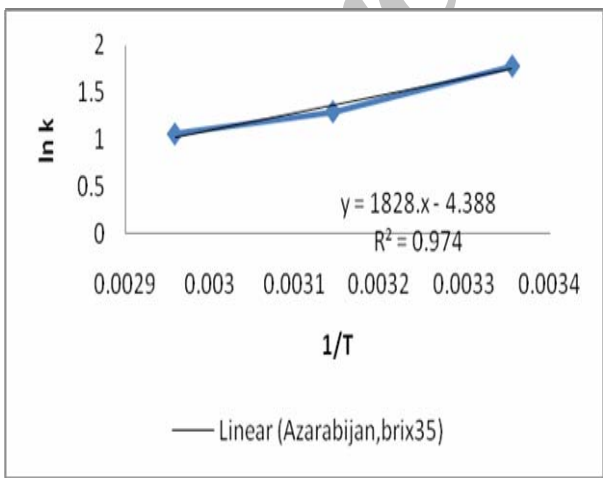
شکل ۲ رابطه سرعت برشی و تنش برشی شیره انگور در دمای °C ۲۵ و بریکس های مختلف

جدول ۳ ضریب پایداری و شاخص رفتار شیره انگور در دماها و غلظت‌های مختلف

بریکس	دما (°C)								
	۶۵			۴۵			۲۵		
	K	n	R^2	K	n	R^2	K	n	R^2
۳۵	۵۹۲۹۸	۱/۵۴	۰/۹۹۹	۳۶۵۰۹	۱/۴۱۳	۰/۹۹۹	۲/۸۸۰۶	۱/۳۹۲	۰/۹۹۹
۵۰	۹۶۸۹۰	۱/۶۵۵	۰/۹۹۸	۵۶۴۰۶	۱/۴۹۲	۰/۹۹۹	۴۳۵۷۹	۱/۴۲۴	۰/۹۹۹
۷۶	۳۹۲۶۱۰۱	۱/۱۲۱	۰/۹۹۹	۲۵۲۵۴۳	۱/۱۳۳	۰/۹۹۸	۲۰۳۶۷۸	۱/۴۳۳	۱

۳-۱-۳- اثر دما بر ضریب پایداری شیره انگور

برای تعیین تابعیت ضریب پایداری با درجه حرارت از مدل آرنیوس (معادله ۱۲) استفاده گردید و با استفاده از رگرسیون خطی (شکل ۳) ضریب پیش نمایی (K_{0T}) و انرژی فعال سازی (E_a) محاسبه می‌شود که مقادیر آنها در غلظت های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود با با افزایش غلظت شیره انگور، انرژی فعال سازی افزایش می یابد که مطابق با انتظار است. انرژی فعال سازی محاسبه شده از این پژوهش با داده های ارسلان و همکاران (۲۰۰۴) برای مخلوط پکمز و کنجد که در دامنه ۱۳/۳۷۶ تا ۲۸/۵۹۲ kJ/mol گزارش کرده بودند همخوانی دارد.



شکل ۳ لگاریتم ضریب پایداری بر حسب 1/T

Archive of SID

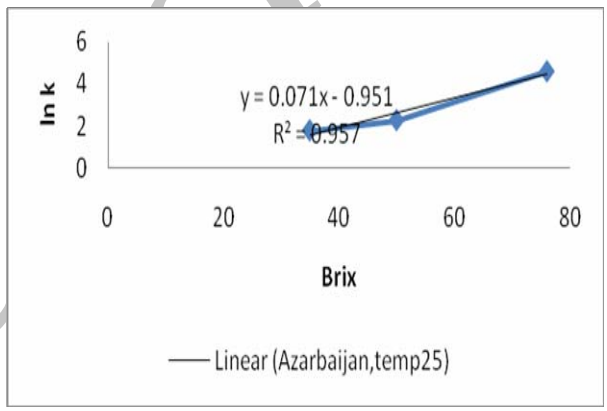
www.SID.ir

جدول ۴ انرژی فعال‌سازی و ضریب پیش نمایی شیره انگور

	بریکس ۷۶	بریکس ۵۰	بریکس۳۵
$E_a(\frac{kJ}{mol})$	۳۴/۰۷۰۷۷	۱۶/۸۲۷۵۴	۱۵/۱۹۷۹۹
$K_{0T}(Pa.s^n)$	۰/۰۰۰۰۹۱۴	۰/۰۱۰۴۸۳	۰/۰۱۲۴۲۶

۳-۱-۴- اثر غلظت بر ضریب پایداری شیره انگور

برای تعیین وابستگی ضریب پایداری با غلظت (بریکس) شیره انگور از معادله نمایی (رابطه ۱۸) استفاده گردید. با گرفتن لگاریتم از طرفین رابطه فوق و استفاده از رگرسیون خطی (شکل ۴) پارامترهای مدل B و K_{0C} محاسبه و در جدول ۵ ارائه شده است. استفاده از مدل نمایی برای برازش ضریب پایداری مخلوط پکمز و تاهین توسط سایر محققین نیز برازش خوبی نشان داده است [۷].



شکل ۴ ضریب پایداری بر حسب غلظت با مدل نمایی

جدول ۵ پارامترهای مدل نمائی در دماهای مختلف

	۲۵ °C	۴۵ °C	۶۵ °C
B	۰/۰۷۱	۰/۰۴۸	۰/۰۴۹
K_{0C}	۰/۳۸۶۳۵۴	۰/۶۰۱۰۹۶	۰/۴۵۷۹۴۸

۴- نتیجه گیری

شیره انگور مورد بررسی در این پژوهش جزو سیالات غیرنیوتنی قانون توان از نوع غلیظ شونده با برش (دایلاتانت) بود و اثر دما بر ویسکوزیته توسط رابطه آرنیوس نشان داده شد که با افزایش دما ویسکوزیته نمونه های شیره انگور کاهش می یابد. انرژی فعال سازی برای نمونه مذکور از ۱۵ تا kJ/mol ۳۵ است و با افزایش بریکس انرژی فعال سازی افزایش می یابد.

۵- منابع

[1] Dehghanian, S. ; Mortazavi, A. ; Nasiri, M. and Ghorbany,M.2001. Allocation of efficient factors in production of grapes with emphasis on sustainable agriculture in the Khorasan province. Agriculture Science and Technology, 15(2):143-153.
[2] Mohamadi, M. et al.2008.Industrial grape molasses production. Azerbaijan's applied research and education center, 18pp (In Persian).
[3] Ehteshami et al. 2005. Modified method for production of grape juice concentrate. Journal of food science and technology research, 1: 11-17(In Persian).
[4] Bassiri, S.2006.Survey of soil, plankit consumption and variety on grape molasses quality. Journal of food science and technology, 20:173-181.
[5] Puntes, E.M. et al.2004.Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice. Journal of Food Engineering.
[6] Kaya, A. and Belibagli, K.B.2002. Rheology of solid Gaziantep pekmez. Journal of Food Engineering, 54:221-226.
[7] Arslan, E., Yener, M.E. and Esin, A. 2004. Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends. Journal of Food Engineering, 69:167–172.
[8] Alpaslan, M. and Hayta, M. 2002.Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses) / tahin (sesame paste blends. Journal of Food Engineering, 54:89–93.
[9] Yogurtcu, H. and Kamıs, F. 2005. Determination of rheological properties of some pekmez samples in Turkey. Journal of Food Engineering, 54 :89–96.
[10] AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th Edition. Association of Official Analytical Chemists Inc. Arlington, VA.
[11] Steffe,J. 1996.Rheological methods in food process engineering. Freeman Press, New York, USA.
[12] Golafshani, S and Tavakolipour, H. 2008. Modeling of adsorption process in grape molasses production. MSc thesis of Food Science and Technology, IAUS (In Persian).
[13] Batu,A.2005.Production of liquid and white solid pekmez in Turkey. Journal of Food Quality, 28 : 417-427.
[14] Simsek, A., Artik, N. and Baspinar, E.2004. Detection of raisin concentrate (Pekmez) adulteration by regression analysis method. Journal of Food Composition and Analysis 17 : 155–163.

Archive of SID

www.SID.ir

Determination of rheological properties of grape molasses

Tavakolipour, H.[1] *, Kalbasi Ashtari, A. [2]

1. Department of Food Engineering, Sabzevar Branch ,Islamic Azad University, Sabzevar, Iran (IAUS).
2. Department of Food Science and Engineering, College of Biosystem Engineering University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: 89/11/6 Accepted: 92/3/16)

Grape molasses is one of the famous by products of grape that more produced by traditional methods. In this research, some physicochemical properties of grape molasses such as SG, pH, total sugar, ash and rheological properties by using of a single cylinder rotary viscometer at three temperatures (25, 45 and 65^{o}C) and three concentrations of 35, 50 and 76 were measured. Mathematical calculations in basis of Mitchka method shown that it is non-Newtonian and have dilatant behavior. Arrhenius model used for temperature dependence of consistency coefficient and activation energy calculated in range of 15.197 to 34.070 kJ/mol. Finally, by using of exponential relationship concentration dependence of consistency coefficient was evaluated.

Keywords: Grape molasses, Oswald de wale model, Mitchka method, Rheological properties, Activation energy.

Archive of SID

* Corresponding Author E-Mail Address: h.tavakolipour@gmail.com

www.SID.ir