



مدل سازی تأثیر دما بر ویسکوزیته عسل

*لاله مهریار^۱، محسن اسمعیلی^۲ و علی حسن زاده^۳

^۱دانشجو دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه،
^۲دانشیار گروه شیمی، دانشگاه ارومیه
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱

چکیده

در این پژوهش ویسکوزیته شش نمونه عسل آذربایجان با منشأ گل‌های مختلف و تأثیر دما بر آن مورد مطالعه قرار گرفت. مدل سازی تأثیر دما بر ویسکوزیته با استفاده از مدل آرنیوس (Arrhenius)، VTF (Vogel-Taumman-Fulcher) و توان (power law) در سه سطح دمایی (۱۹، ۲۴ و ۲۸ درجه سانتی‌گراد) انجام شد. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های ضریب تبیین (R^2)، ارزش P (P value)، مربع خی (χ^2 ، Chi square) و ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) صورت گرفت. در مقادیر کمتر سرعت برشی مورد مطالعه ($0.63-0.04 \text{ s}^{-1}$)، تمامی نمونه‌ها تقریباً رفتاری غیر نیوتنی از خود نشان دادند. از بین سه مدل به کار برده شده، نمونه‌ها تطابق خوبی را با مدل‌های آرنیوس و VTF داشتند.

واژه‌های کلیدی: عسل، غیر نیوتنی، آرنیوس، VTF ، power law

مقدمه

عسل یک ماده شیرین طبیعی می‌باشد که توسط زنبور عسل از شهد گیاهان، ترشحات بخش‌های زنده و یا عسلک به دست می‌آید [۸]. اهمیت این ماده غذایی تا اندازه‌ای می‌باشد که جایگاه ویژه‌ای را طی سالیان متمادی به خود اختصاص داده است. عسل سیالی ویسکوز و آروماتیک می‌باشد. دانش خصوصیات فیزیکوشیمیایی عسل در فرآوری، حمل و نقل و نگهداری آن سودمند است [۲۲].

*مسئول مکاتبه: laleh.mehryar@gmail.com

خصوصیات رئولوژیکی عسل به تعدادی از فاکتورها شامل ترکیب شیمیایی و دما بستگی داشته و ویسکوزیته آن تابعی از محتوای آب، دما و ترکیب شیمیایی می‌باشد [۱۲،۷]. اغلب انواع عسل از خود رفتار نیوتنی نشان می‌دهند [۲۴،۲۲،۱۱،۱۲،۱۴]، درحالی که تعدادی نیز رفتار غیر نیوتنی دارند. به‌عنوان مثال عسل‌های هیدر^۱، مانوکا^۲ و باکویت^۳ دارای رفتار تیکسوتروپیک^۴ بوده و در برخی از عسل‌های آکالیپتوس^۵ رفتار غالب، دایلاتانسی^۶ می‌باشد [۲۱،۱۲،۷،۱۰]. مدل‌های آرنیوس، VTF و توان برای مدل‌سازی وابستگی دمایی ویسکوزیته مفید می‌باشند [۲۲،۱۴].

به‌منظور شناخت خصوصیات رئولوژیکی عسل به‌ویژه ویسکوزیته آن و حفظ یا بهبود کیفیت آن مطالعه زیر انجام گرفت و وابستگی دمایی ویسکوزیته نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها: شش نمونه عسل از مناطق استان آذربایجان غربی با همکاری سازمان جهادکشاورزی استان با تضمین منشأ گیاهی و طبیعی آن تهیه گردید. نمونه‌ها از شهرستان‌های ارومیه، تکاب، اشنویه و نقده بودند. آماده‌سازی نمونه‌ها براساس روش ارائه شده در AOAC به شماره ۹۲۰،۱۸۰ انجام گرفت [۵].

محتوای رطوبتی: محتوای رطوبتی نمونه‌ها براساس روش رفاکتومتری مطابق با دستور کار AOAC (شماره ۹۶۹،۳۸) [۵] با استفاده از یک رفاکتومتر آبه به مدل NAR-3T ساخت شرکت آتاگو ژاپن^۷ صورت گرفت. تمامی اندازه‌گیری‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد سپس در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه گردیدند.

دماگذار شیشه‌ای (T_g): دماگذار شیشه‌ای نمونه‌ها با استفاده از یک گرماسنج اسکن تفاقی (DSC)^۸ (مدل متلر تولدو e ۸۲۳ ساخت امریکا^۹) انجام گرفت. اسکن‌های حرارتی در محدوده دمایی ۱۰۰- تا ۱۴۰+ درجه سانتی‌گراد با سرعت حرارت‌دهی ۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به‌منظور دستیابی به رفتار حرارتی کامل عسل‌های طبیعی از درجه حرارت‌های پایین تا بالا انجام پذیرفت.

- 1- Heather
- 2- Manuka
- 3- Buckwheat
- 4- Thixotropic behavior
- 5- Eucalyptus
- 6- Dilatancy
- 7- NAR-3T model Atago (Japan) Abbe Refractometer
- 8- Differential Scanning Calorimeter (DSC)
- 9- Mettler Toledo, 823e USA

آزمون‌های رئولوژیکی: ویسکوزیته دینامیک با استفاده از یک ویسکومتر بروکفیلد قابل برنامه‌ریزی (مدل DV-II+Pro, No. M/03-165-b0707) انجام شد. سرعت برشی مربوطه با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (معادله ۱):

$$\dot{\gamma} = \frac{2\omega R_c^2 \cdot R_s^2}{r^2 (R_c^2 - R_s^2)} \quad R_s < r < R_c \quad (1)$$

که $\dot{\gamma}$: سرعت برشی (s^{-1})، ω : سرعت زاویه‌ای ($rads^{-1}$)، R_c : شعاع ظرف (m)، R_s : شعاع میله (اسپیندل) و r : شعاع می باشد که در آن سرعت برشی محاسبه شده است. به منظور برازش داده‌های ویسکوزیته، معادله قانون توان مورد استفاده قرار گرفت (معادله ۲):

$$\sigma = \mu \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

که σ : تنش برشی (Pa)، μ : ویسکوزیته ($Pa \cdot s^n$)، $\dot{\gamma}$: سرعت برشی (s^{-1}) و n : شاخص رفتار جریان می باشد.

به منظور مطالعه تأثیر دما بر ویسکوزیته برشی، معادلات VTF ، توان و آرنیوس (معادله‌های ۳، ۴ و ۵) به کار گرفته شدند:

$$\mu = A \cdot \exp\left[\frac{B}{(T - T_g)}\right] \quad (3)$$

که μ : ویسکوزیته (Pa.s) در دما T (کلوین)، A : یک ثابت بر حسب Pa.s، B : یک عدد ثابت و T_g : دما گذار شیشه‌ای می باشد.

$$\mu = A(T - T_g)^B \quad (4)$$

که μ : ویسکوزیته (Pa.s) در دما T (کلوین)، A و B : اعداد ثابت و T_g : دما گذار شیشه‌ای می باشد.

$$\mu = A \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T}\right) \quad (5)$$

که μ : ویسکوزیته (Pa.s) در دما T (کلوین)، A : عدد ثابت بر حسب Pa.s، E_a : انرژی فعال‌سازی (kJ/mol) و R : ثابت گاز (۰/۰۰۸۳۱۴ kJ/mol K) می باشد.

برازش داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار استیستیکا رلیس^{۱۷} انجام شد.

آنالیز آماری: بسته‌های آماری استاندارد نرم‌افزار استیستیکا رلیس ۷ و اکسل ۲۰۰۳ به منظور انجام آنالیزهای مربوطه به کار گرفته شد. معادله پارامترهای آماری مورد استفاده در ارزیابی مدل در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱- معادله پارامترهای آماری مورد استفاده در ارزیابی مدل.

نام شاخص	معادله	مرجع
ارزش P	$p(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{ M_{exp,i} - M_{cal,i} }{M_{exp,i}}$	[۱۸]
مربع خی	$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{exp,i} - M_{cal,i})^2}{N - Z}$	[۱۸]
ریشه میانگین مربعات خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum [(M_{exp} - M_{cal})]^2}{N}}$	[۱۸]

M_{exp} : مقدار تجربی، M_{cal} : مقدار محاسبه شده توسط مدل، n : تعداد مشاهدات، Z : تعداد فاکتورهای ثابت.

نتایج و بحث

محتوای رطوبتی: ضریب شکست در ۲۰ درجه سانتی‌گراد از ۱/۴۹۷۰ تا ۱/۵۰۱۸ متغیر بوده و محتوای آب مربوطه در دامنه ۱۳/۹۷ تا ۱۵/۸۷ درصد تغییر کرد، که بیشترین مقدار مربوط به عسل نمونه ۶ و کم‌ترین مقدار مربوط به نمونه ۵ می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲- محتوا رطوبتی عسل‌ها.

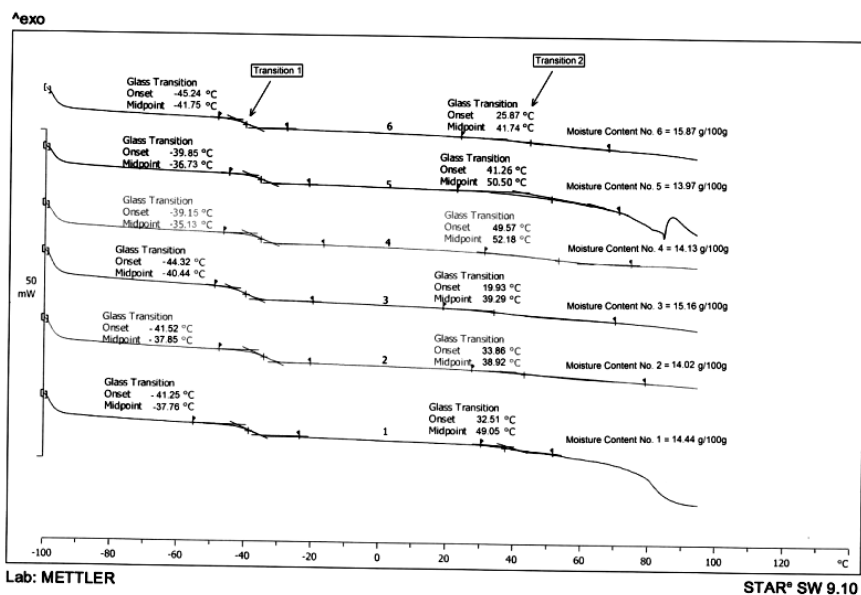
ویژگی	مقدار استاندارد*	شماره نمونه					
		۱	۲	۳	۴	۵	۶
محتوای آب (g/100g)	حد اکثر ۲۰	۱۴/۴۴±۱/۲۴	۱۴/۰۲±۱/۳۰	۱۵/۱۶±۱/۱۵	۱۴/۱۳±۱/۲۲	۱۳/۹۷±۱/۱۲	۱۵/۸۷±۱/۳۳

* مقادیر گزارش شده توسط استاندارد ملی ایران (استاندارد شماره ۹۲).

نتایج به صورت مقادیر میانگین ± انحراف استاندارد بیان شده‌اند.

رفتار حرارتی **DSC** منحنی‌های **DSC** نمونه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. عموماً، دما گذار شیشه‌ای با افزایش محتوای آب، به دلیل اثر پلاستیک‌کنندگی آب، به دماهای پایین‌تر تنزل می‌یابد. این تأثیر مربوط به توانایی مولکول‌های آب در سست و ضعیف کردن پیوندهای هیدروژنی، دوقطبی-دوقطبی و برهم‌کنش‌های بین و درون مولکولی می‌باشد [۱۵،۲]. دما گذار شیشه‌ای نمونه‌های عسل در محدوده (-۴۵/۲۴) تا (-۳۹/۱۵) درجه سانتی‌گراد برای محتوای آب ۱۳/۹۷-۱۵/۸۷ g/۱۰۰g قرار دارند. این مقادیر مشابه یافته‌های سایر محققان می‌باشد؛ به‌عنوان مثال: (-۳۰/۵۰) تا (-۴۸/۴۶) درجه سانتی‌گراد [۲]، (-۳۴/۶) تا (-۴۷/۲) درجه سانتی‌گراد برای عسل‌های با محتوای آب ۱۳/۰-۱۸/۹ درصد [۱۴]، (-۴۰) تا (-۴۶) درجه سانتی‌گراد برای عسل‌های با محتوای آب ۱۵/۸-۱۸/۰ درصد [۲۲] و (-۳۷/۵) تا (-۴۲/۵) درجه سانتی‌گراد برای عسل‌های با محتوای آب ۱۷/۵ درصد [۹]. معادله زیر رابطه بین دما گذار شیشه‌ای را با محتوای آب نشان می‌دهد:

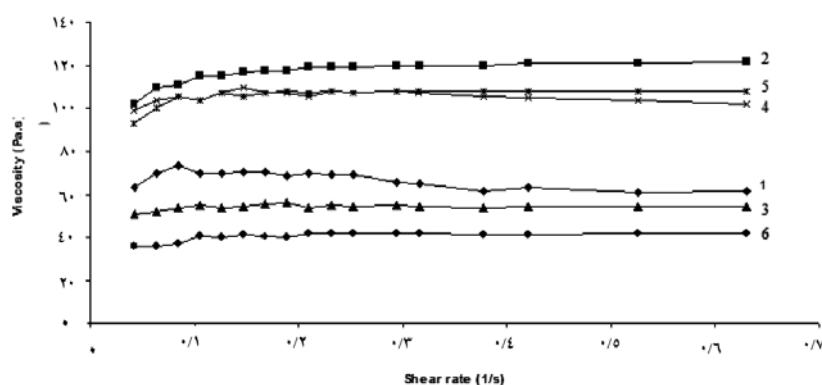
$$T_g = -43.513 \ln(MC_{wb}^I) + 74.716, \quad R^2 = 0.85$$



شکل ۱- اسکن حرارتی **DSC** برای ۶ نمونه عسل در طی حرارت دادن.

1- MC_{wb} = محتوا رطوبتی بر پایه مرطوب

رفتار رئولوژیکی (ویسکوزیته): شکل ۲ منحنی‌های جریان برشی ثابت را برای نمونه‌های عسل نشان می‌دهد. مقادیر پارامترهای معادله قانون توان برای نمونه‌های عسل در $18/7$ درجه سانتی‌گراد در جدول ۳ آورده شده‌اند. با در نظر گرفتن مقادیر شاخص‌های رفتار جریان (n) در دامنه سرعت برشی $0/63-0/04 \text{ s}^{-1}$ ، تمامی نمونه‌های عسل در مقادیر کمتر سرعت برشی از خود رفتار غیر نیوتنی نشان دادند. با افزایش سرعت برشی اندیس رفتار جریان سیال به یک نزدیک شد. نمونه‌های شماره ۱، ۳ و ۴ شبیه سیالات سودوپلاستیک ($0 < n < 1$) و نمونه‌های شماره ۲، ۵ و ۶ بیشتر شبیه یک سیال دایلاتانت ($n > 1$) رفتار کردند [۲۰]. از آنجایی که تمامی مقادیر n بیشتر از $0/8$ و p کمتر از 10 درصد می‌باشند بنابراین مدل به‌کار رفته قابل توجیه است. در بیشتر مقالات منتشر شده، که رئولوژی عسل در سرعت‌های برشی بالا بررسی شده است، عسل را به‌عنوان یک سیال نیوتنی گزارش کرده‌اند [۱۴، ۱۲، ۱۱، ۲، ۱، ۱۷، ۱۹، ۲۴-۲۲]. در نظر گرفتن این نکته که تأثیر سرعت برشی بر رفتار رئولوژیکی در مقادیر سرعت‌های برشی پایین ظاهر می‌گردد، بسیار دارای اهمیت می‌باشد [۱۰، ۱۴]. اختلافات بین نمونه‌ها را می‌توان به تنوع طبیعی در ترکیب نسبت داد چرا که نمونه‌ها از مناطق مختلف جغرافیایی جمع‌آوری شده‌اند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، ویسکوزیته با افزایش محتوای آب و دما به میزان قابل توجهی کاهش یافتن. یک رابطه معکوس قابل توجهی بین ویسکوزیته ظاهری و محتوای آب وجود داشتن که با تابع نمایی $\eta = 1084902e^{-0.65728.Xw}$ ($R^2 = 0/84$, $P < 0/05$) توصیف گردید. چنین وابستگی موجود بین محتوای آب و ویسکوزیته، مورد توجه سایر محققان نیز قرار گرفته است [۴، ۱۹، ۱۱، ۱۰، ۲۲، ۲۵].



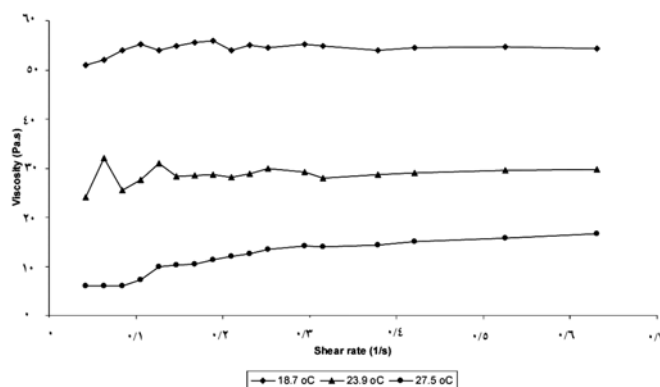
شکل ۲- تغییرات ویسکوزیته در برابر سرعت برشی در $18/7$ درجه سانتی‌گراد.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای معادله قانون توان برای نمونه‌های عسل در ۱۸/۷ درجه سانتی‌گراد.

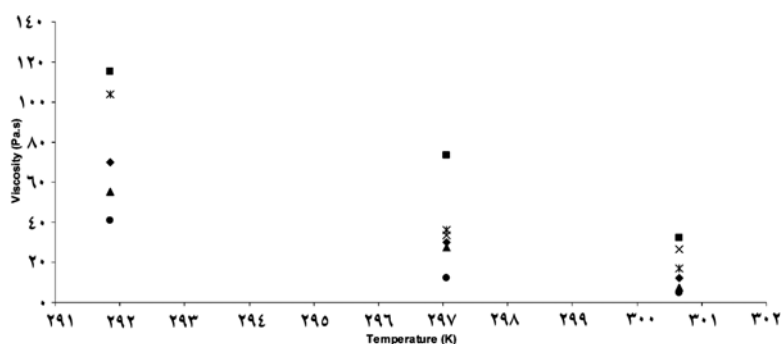
نمونه	ضریب قوام ($Pa.s^n$) (۱۸/۷ درجه سانتی‌گراد)	شاخص رفتار جریان (n)	r	$P \%$
۱	۵۸/۰۹	۰/۹۰۲	۰/۹۹	۳/۵۵
۲	۱۲۳/۷۹	۱/۰۳۰	۰/۹۹	۱/۳۷
۳	۵۴/۴۰	۰/۹۹۶	۰/۹۹	۱/۵۷
۴	۱۰۱/۵۲	۰/۹۶۶	۰/۹۹	۲/۶۴
۵	۱۰۸/۸۱	۱/۰۱۰	۰/۹۹	۱/۵۵
۶	۴۲/۰۹	۱/۰۱۴	۰/۹۹	۲/۸۹

اثرات دما بر ویسکوزیته عسل در شکل‌های ۳ و ۵ نشان داده شده است، همان‌طور که انتظار می‌رفت ویسکوزیته با افزایش دما به مقدار قابل‌توجهی کاهش یافت. عسل یک سیال نیوتنی می‌باشد و ویسکوزیته آن بسیار حساس به دما است [۲۲، ۱۷، ۱۱، ۱۶]. با توجه به شکل ۴ بیشترین اختلاف در مقادیر ویسکوزیته نمونه‌ها در دمای ۱۸/۷ درجه سانتی‌گراد یا ۲۹۱/۸۵ درجه کلوین مشاهده می‌گردد در حالی که در دماهای بالاتر این اختلاف کم‌رنگ‌تر می‌شود. این مشاهدات در کارهای علمی سایر پژوهشگران نیز به وضوح دیده شده است [۲۴، ۲۲، ۶، ۱۲، ۱۶]. وابستگی دمایی ویسکوزیته با استفاده از روابط آرنیوس، VTF و توان توصیف شده‌اند و مقادیر پارامترهای روابط به‌کار برده شده در جدول ۴ آورده شده است. ضریب تبیین (R^2) تمامی نمونه‌ها بیشتر از ۰/۹۴ می‌باشد. مشاهده وابستگی دمایی ویسکوزیته با استفاده از معادله آرنیوس توسط تعدادی از محققان نیز مطالعه شده است [۲۴، ۱۷، ۱۲، ۱۴، ۳، ۶]. معادله‌های VTF و توان نیز در کارهای علمی گزارش شده است [۲۲، ۱۷]. اشکال مربوط به معادلات ذکر شده در شکل ۵ آورده شده‌اند. انرژی فعال‌سازی (E_a) برای جریان با استفاده از شیب رابطه خطی $\ln(\mu)$ در برابر $(1/T)$ تخمین زده شد و در جدول ۴ نشان داده شده‌اند و در محدوده ۱۰۱/۷۲ تا ۱۲۰/۶۹ kJmol^{-1} تغییر می‌کند. انرژی فعال‌سازی بازتابی از حساسیت ویسکوزیته به تغییرات دمایی می‌باشد؛ انرژی‌های فعال‌سازی بالاتر به معنای حساسیت به‌نسبت بیشتر ویسکوزیته به تغییرات دمایی می‌باشد [۱۴]. اگرچه به‌نظر می‌رسد که معادله آرنیوس به‌طور مناسبی وابستگی دمایی ویسکوزیته عسل را توصیف می‌کند، اما با استفاده از این معادله مقادیر به‌نسبت بزرگی برای انرژی فعال‌سازی به‌دست خواهد آمد که این مورد بیش‌تر برای واکنش‌های شیمیایی مطرح می‌باشد [۱۴]. آزمون‌های مشابهی بر روی سایر عسل‌ها نیز انجام شده و نتایج E_a به این قرار است: $۹۲/۳۴-۱۰۵/۲۵ \text{ kJmol}^{-1}$ [۱۲]، $۷۰/۸-۹۶/۳ \text{ kJmol}^{-1}$ [۲۴]، $۵۰/۳-۸۲/۸ \text{ kJmol}^{-1}$ [۱۷]، $۶۶/۳۱۵-۱۲۴/۴۹۳ \text{ kJmol}^{-1}$ [۱۶]، $۹۹/۶-۱۰۶/۰ \text{ kJmol}^{-1}$ [۲۲]، $۶۹/۱-۹۳/۷۵$ [۱۴].

برای مدل VTF مقادیر ثابت B در محدوده $۷۰۷/۴۷-۵۵۷/۴۹$ قرار دارند. مقادیر به دست آمده برای این ثابت توسط رگندو و همکارانش [۱۷] $۱۵۳۵-۱۱۹۰$ ، و توسط سپید و همکارانش [۲۲] $۴/۵-۱۲/۹$ می‌باشند. وجود چنین اختلاف بزرگی بین مقادیر حاصل از پژوهش‌های این دو گروه محقق مربوط به استفاده از T_g در کار علمی سپید و همکارانش [۲۲] و استفاده از یک دمای ثابت دیگر به جای T_g در گروه دیگر می‌باشد. مقادیر A به دست آمده از این مطالعه برای مدل توان، تا حدودی مشابه مقادیر گزارش شده توسط رگندو و همکارانش [۱۷] می‌باشند و همچنین بزرگ‌تر از مقادیر گزارش شده توسط سپید و همکارانش است. نتایج بررسی سه مدل مورد استفاده در مطالعه وابستگی دمایی ویسکوزیته بیانگر آن است که برای نمونه‌های شماره ۲، ۱ و ۳ مدل آرنیوس و برای نمونه‌های شماره ۴، ۵ و ۶ مدل VTF رفتار وابستگی دمایی را با داشتن ارزش p $RMSE$ و χ^2 کمتر به نحو بهتری توصیف می‌کنند.



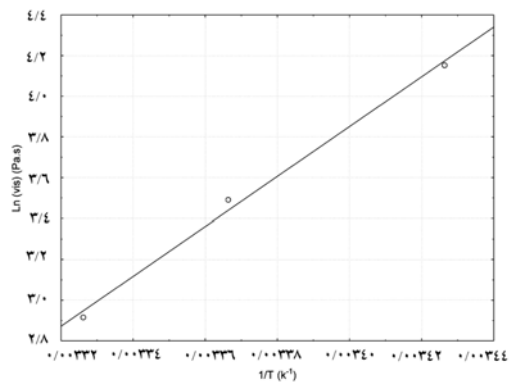
شکل ۳- تأثیر دما بر ویسکوزیته یک نمونه نوعی از عسل (نمونه ۳).



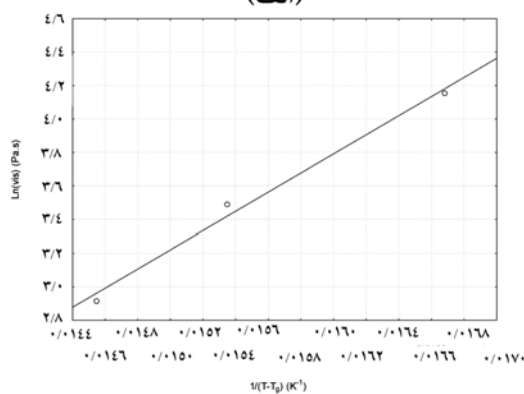
شکل ۴- داده‌های ویسکوزیته نمونه‌های عسل در برابر دما.

جدول ۴- مقادیر پارامترهای مدل‌های به‌کار برده شده در وابستگی دمایی ویسکوزیته.

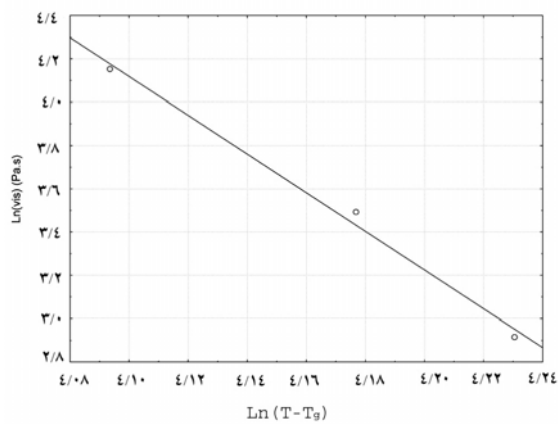
شماره نمونه	آرینوس									
	توان (Power law)					VTF				
χ^2	RMSE	P%	R ²	B	$A \times 10^{-18}$	χ^2	RMSE	P%	R ²	E_a (kJ mol ⁻¹)
۱	۱/۱۵۰۷۵	۴/۰۶	۰/۹۹	-۸/۵۴	۰/۰۹	۰/۰۷۸۳	۰/۱۱۰۵۱۰	۱۴/۱	۰/۹۹	۱۰۱/۷۲
۲	۷/۳۴۵۳	۱۰/۹۴	۰/۹۷	-۸/۰۱	۰/۰۲	۰/۴۲۱۲	۶/۱۸۴۹	۱/۸	۰/۹۵	۱۰۲/۷۶
۳	۱/۸۵۵۳۹	۷/۷۸	۰/۹۹	-۹/۰۲	۰/۶۲	۰/۳۳۵۹	۶/۸۷۶۹	۷/۵	۰/۹۷	۱۰۶/۹۳
۴	۱۳/۳۶۰۹	۲/۱۱۰۷	۰/۹۷	۶/۴۹	۰/۵۵	۰/۶۵۵۰	۶/۴۳۱۶	۸/۰	۰/۹۵	۱۰۵/۵۸
۵	۷۸/۱۳۱/۸	۳۰/۹۰	۰/۹۷	۰/۱۰۶	۰/۷۳	۰/۵۵۰۰	۳۵/۱۰	۳/۰	۰/۹۵	۱۲۰/۶۹
۶	۱۵۳۵/۱	۲۰۰۳۰۷	۰/۹۷	-۸/۰۱	۰/۳۳	۰/۵۵۰۰	۱۳۳۳/۰	۷/۱	۰/۹۵	۱۱۱/۰۷



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵- داده‌های ویسکوزیته تجربی و برازش رگرسیون خطی محاسبه شده با (الف) معادله آرنیوس، (ب) *VTF* و (ج) توان برای نمونه شماره (۱).

نتیجه گیری

تمامی نمونه‌های عسل در مقادیر کمتر سرعت برشی مورد مطالعه ($0.04-0.63 \text{ s}^{-1}$) از خود رفتار غیر نیوتنی نشان دادند. با افزایش سرعت برشی، اندیس رفتار جریان سیال به یک نزدیک می‌شد. وابستگی دمایی ویسکوزیته با استفاده از ۳ مدل آرنیوس، VTF و توان مورد ارزیابی قرار گرفت. دو مدل آرنیوس و VTF برازش خوبی را با داده‌ها نشان دادند. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در فرآوری، بهبود کیفیت و نگهداری عسل مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

در خاتمه بر خود لازم می‌دانیم از مساعدت و همکاری مسئولان محترم آزمایشگاه‌های گروه علوم و صنایع غذایی و مرکز تحقیقات نانوفناوری دانشگاه اورمییه نهایت سپاس و قدردانی را به عمل آوریم.

منابع

1. Abu-Jdayil, B., Ghzawi, A.Al.M., Al-Malah, K.I.M., and Zaitoun, S. 2002. Heat effect on rheology of light-and dark-colored honey. *Journal of Food Engineering*, 51, 33-38.
2. Ahmed, J., Prabhu, S.T., Raghavan, G.S.V., and Ngadi, M. 2007. Physico-chemical, rheological, calorimetric and dielectric behavior of selected Indian honey. *Journal of Food Engineering*, 79, 1207-1213.
3. Al-Malah, K.I.M., Abu-Jdayil, B., Zaitoun, S., and Ghzawi, A-M. 2001. Application of WLF and Arrhenius kinetics to rheology of selected dark-colored honey. *Journal of Food Process Engineering*, 24, 341-357.
4. Anupama, D., Bhat, K.K., and Sapna, V.K. 2003. Sensory and physico-chemical properties of commercial samples of honey. *Food Research International*, 36, 183-191.
5. AOAC. 1995. Official methods of analysis. In K. Helrich (Ed.) (16th ed.). Arlington, VA, USA: Association of official Analytical Chemists, Inc.
6. Bhandari, B., D'Arcy, B., and Chow, S. 1999. Rheology of selected Australian honeys. *Journal of Food Engineering*, 41, 65-68.
7. Bogdanov, S. 2009. Book of Honey. Bee Product Science, www.bee-hexagon.net.
8. Codex Alimentarius. Revised codex standard for honey. (No. CODEX STAN 12-1981, Rev.1 1987, Rev.2 2001).

9. Cordella, C., Antinelli, J.F., Aurieres, C., Faucon, J.P., Cabrol-Bass, D., and Sbirrazzuoli, N. 2002. Use of differential scanning calorimetry (DSC) as a new technique for detection of adulteration in honeys. 1. Study of adulteration effect on honey thermal behavior. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 50, 203-208.
10. Gómez-Díaz, D., Navaza, J.M., and Quintáns-Riveiro, L.C. 2006. Rheological behaviour of Galician honeys. *European Food Research and Technology*, 222, 439-442.
11. Junzheng, P., and Changying, J. 1998. General Rheological Model for Natural Honeys in China. *Journal of Food Engineering*, 36, 165-168.
12. Juszczak, L., and Fortuna, T. 2006. Rheology of selected Polish honeys. *Journal of Food Engineering*, 75, 43-49.
13. Kaur Bath, P., and Singh, N. 1999. A comparison between *Helianthus annuus* and *Eucalyptus lanceolatus* honey. *Food Chemistry*, 67, 389-397.
14. Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., Bacandritsos, N., and Sabatini, A.G. 2004. Composition, thermal and rheological behavior of selected Greek honeys. *Journal of Food Engineering*, 64, 9-21.
15. Matveev, Y.I., Grinberg, V.Y., and Tolstoguzov, V.B. 2000. The plasticizing effect of water on proteins, polysaccharides and their mixtures. Glassy state of biopolymers, food and seeds. *Food Hydrocolloids*, 14, 425-437.
16. Mossel, B., Bhandari, B., D'Arcy, B., and Caffin, N. 2000. Use of an Arrhenius model to predict rheological behaviour in some Australian honeys. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 33, 545-552.
17. Recondo, M.P., Elizalde, B.E., and Buera, M.P. 2006. Modeling temperature dependence of honey viscosity and of related supersaturated model carbohydrate systems. *Journal of Food Engineering*, 77, 126-134.
18. San Martín, M.B., Mate, J.I., Fernández, T., and Virseda, P. 2001. Modeling adsorption equilibrium moisture characteristics of rough rice. *Drying technology*, 19 (3 and 4), 681-690.
19. Saxena, S., Gautam, S., and Sharma, A. 2010. Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. *Food Chemistry*, 118, 391-397.
20. Singh, R.P., and Heldman, D.R. 2009. Introduction to Food Engineering, 4th edition. Academic Press, Inc. 160p.
21. Smanalieva, J., and Senge, B. 2009. Analytical and rheological investigations into selected unifloral German honey. *European Food Research and Technology*, 229, 107-113.
22. Sopade, P.A., Halley, P., Bhandari, B., D'Arcy, B., Doebler, C., and Caffin, N. 2002. Application of the Williams-Landel-Ferry model to the viscosity-temperature relationship of Australian honeys. *Journal of Food Engineering*, 56, 67-75.

23. Venir, E., Spaziani, M., and Maltini, E. 2010. Crystallization in “Tarassaco” Italian honey studied by DSC. *Journal of Food Chemistry*, 122, 410-415.
24. Yanniotis, S., Skaltsi, S., and Karaburnioti, S. 2006. Effect of moisture content on the viscosity of honey at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 72, 372-377.
25. Zaitoun, S., Ghzawi, A.M., Al-Malah, K.I.M., and Abu-Jdayil, B. 2001. Rheological properties of selected light colored Jordanian honey. *International Journal of Food Properties*, 4, 139-148.



Modeling the effect of temperature on honey viscosity

*L. Mehryar¹, M. Esmacili² and A. Hassanzadeh³

¹Ph.D. Student, Dept. of Food Science and Technology, Urmia University,
²Assistant Prof., Dept. of Food Sciences and Technology, Urmia University,
³Associate Prof., Dept. of Chemistry, Urmia University

Received: 2011-04; Accepted: 2012-01

Abstract

The effect of temperature on viscosity of six Azerbaijan honey samples with various floral sources was investigated. Modeling the effect of temperature on viscosity was performed with Arrhenius, Vogel-Taumman-Fulcher (*VTF*) and power law models at three temperature levels (19, 24 and 28 °C). Evaluation of the models was done by coefficient of determination (R^2), P value and root mean square error (*RMSE*). At smaller amounts of studied shear rate ($0.04-0.63 \text{ s}^{-1}$) all of the samples showed nearly non-Newtonian behavior. Among three applied models, samples were well fitted with Arrhenius and *VTF* models.

Keywords: Honey; Non-Newtonian; Arrhenius; *VTF*; Power law

*Corresponding Author; Email: laleh.mehryar@gmail.com