بررسی مدل‌های رئولوژیکی شیره‌خرما در دماهای متفاوت

نگین قنبری[1]، عباس معلمی اوره[2]

[12]دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، گروه مهندسی شیمی

moallemy@iaush.ac.ir

چکیده

شیره خرما یکی از محصولات جانبی خرما است که در مناطق گرمسیر ایران به شیوه سنتی تولید می‌شود. در این پژوهش از مدل‌های قانون توان[1]، هرشل بالکلی[2]، کاسون[3] و بینگهام[4] جهت بیان رفتار رئولوژیکی شیره خرما استفاده گردید به این منظور از ویسکومتر بروکفیلد در دماهای (۱۰،۵°C، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که شیره خرما از نوع سیالات غیرنیوتنی و دارای رفتار رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) می‌باشد همچنین مدل توان بهترین مدل جهت بیان رفتار شیره خرما مشخص گردید.

واژه های کلیدی: شیره خرما، مدل توان، هرشل بالکلی، مدل بینگهام، مدل کاسون

۱- مقدمه

بخش زیادی از خرمای تولیدی دارای کیفیت پایین و به صورت خرمای درجه دو و سه می‌باشد، که قابل عرضه به بازار نیست و اغلب جزء ضایعات خرما بشمار می‌رود و به مصارف خوراک دام می‌رسند. به دلیل ضایعات بالای خرما و توجه نکردن به فراورده‌های جانبی و نحوه ی فراوری خرما در کشور تحقیق درباره‌ی فراوری فراورده‌های جانبی خرما مثل شیره خرما ضروری به نظر می‌رسد. داده‌های رئولوژیک دقیق بدست آمده در محدوده وسیعی از دما و غلظت در هر شاخه‌ای از صنعت غذا برای تحقیقات مختلف و کاربردهای مهندسی مورد نیاز است ویسکوزیته مواد غذایی سیال ویژگی مهمی است که کاربردهای متعددی در فناوری های مربوط به غذا نظیر فرآیندهای مواد غذایی، طراحی تجهیزات فرآیند، کنترل تولید، فیلترها، میکسرها و درک ساختمان مواد غذایی دارد[۳].

۲- مواد و روش ها

۲-۱ تهیه شیره خرما

جهت تهیه شیره خرما، خرما را پس از هسته‌گیری و شست‌وشو با آب‌سرد در دیگ سرباز ریخته و به اندازه وزن خرما به آن آب اضافه شد. سپس تحت حرارت قرار داده تا به جوش آید. بعد از رد کردن از صافی به باقی‌مانده آن آب اضافه گردید. این عمل سه بار تکرار گردید. شیره گرفته شده را مجدد حرارت داده تا غلیظ شود. در این پژوهش نمونه در غلظت ۷۰ درجه بریکس تهیه گردید.

۲-۲ ارزیابی خصوصیات رئولوژیک

خصوصیات رئولوژیک شیره خرما با استفاده از دستگاه ویسکومتر بروکفیلد مدل RDVD_II در شرایط دمای (۱۰،۵°C، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵) در غلظت ۷۰ با سه تکرار اندازه‌گیری شد، با بدست‌آوردن داده‌های تنش برشی(τ) - سرعت برشی ($\dot{\gamma}$)، مدل‌های رئولوژیک

[1] Power-law
[2] Herschel-bulkley
[3] Casson
[4] bingham

توان (معادله۱)، هرشل بالکلی (معادله ۲)، بینگهام (معادله ۳)، کاسون (معادله ۴) ارزیابی شدند ، و بهترین مدل را جهت بیان رفتار رئولوژیکی مورد بررسی قرار دادیم. آنالیز واریانس و تعیین معنی‌دار بودن اختلاف‌ها، مقایسه میانگین‌ها و گروه‌بندی آنها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ درصد با استفاده از نرم افزار spss اجرا گردید.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (۱)$$

$$\tau = \tau_0 + K_h\dot{\gamma}^n \quad (۲)$$

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma} \quad (۳)$$

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_0} + K_c \quad (۴)$$

در معادلات فوق پارامترهای رئولوژیکی، τ تنش برشی، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی، K_c ،K_h ،K ضریب قوام[5]سیال ($N\ s^n\ m^{-2}$ or $pa.s^n$)، n شاخص رفتار جریان[6]، τ_0 تنش تسلیم ، لحاظ شده‌اند.

معادله قانون توان یکی از ساده‌ترین معادلاتی است که برای تطبیق نتایج آزمایشگاهی سیالات مختلف، قابل استفاده است پس از رسم منحنی تنش برشی در مقابل سرعت برشی توسط قانون توان، مقادیر ضریب قوام و شاخص رفتار هر نمونه بدست آمد (جدول ۱).

جدول۱مقایسه میانگین مقادیر ضریب قوام و شاخص رفتار جریان در دماهای مختلف مدل توان

دما	مدل توان		
(^oC)	n	k	r^2
۵	۰/۹۶۷±۰/۰۰۱^a	۲/۴۹۵±۰/۰۱۳^a	۱
۱۰	۰/۹۶۲±۰/۰۰۱^b	۱/۵۵۰±۰/۰۰۱^b	۱
۱۵	۰/۹۴۶±۰/۰۰۵^c	۱/۰۳۴±۰/۰۰۷^c	۱
۲۵	۰/۹۱۱±۰/۰۰۰^e	۰/۵۲۶±۰/۰۰۰^d	۰/۹۹۹
۳۵	۰/۹۴۱±۰/۰۰۲^d	۰/۲۶۱±۰/۰۰۲^e	۱
۴۵	۰/۹۴۷±۰/۰۰۸^c	۰/۱۵۶±۰/۰۰۵^f	۱
۵۵	۰/۹۳۹±۰/۰۰۴۳^d	۰/۰۹۲±۰/۰۰۱^g	۰/۹۹۹
۶۵	۰/۹۱۳±۰/۰۰۱^e	۰/۰۶۸±۰/۰۰۴^h	۰/۹۹۹

داده‌ها میانگین سه تکرار هستند، حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده‌ی وجود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵درصد می‌باشد.

بررسی شاخص رفتار جریان n در دامنه کوچکتر از یک است، بنابراین سیال از دسته سیالات غیر نیوتنی رقیق شونده با سرعت برشی است. با افزایش دما ضریب قوام کاهش می‌یابد که این امر تأیید دیگری بر رفتار غیر نیوتنی و سودوپلاستیک شیره خرما است. بنابراین می‌توان گفت که ضریب قوام با دما رابطه غیر مستقیم دارد. ضریب همبستگی(r^2)، ۰/۹۹ تا ۱/۰۰ از این منحنی استخراج گردید که نشان دهنده نتایج مناسب برای مدل توان می‌باشد. همین مدل در پژوهش بر روی شیره انگور انجام شده است و رفتار غلیظ شونده با برش (دایلاتنت) را از خود نشان داده است[۲]. همچنین رضوی و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی خواص مستقل از زمان روغن کنجد پرداختند و دریافتند که هر دو نمونه، رفتار غیر نیوتنی، سودوپلاستیک را از خود نشان می‌دهد[۴].

[5] Consistency coefficient
[6] Flow behavior index

رفتار پلاستیک را بیشتر توسط معادلهٔ هرشل بالکلی نشان می‌دهند و رابطه ای است که به طور رایج برای توصیف رفتار جریان سیالات غیر نیوتنی دارای تنش تسلیم استفاده می‌شود. پارامترهای مربوط به این مدل در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲ مقایسه میانگین مقادیر ضریب قوام و شاخص رفتار جریان در دما های مختلف مدل هرشل بالکلی

دما	هرشل بالکلی			
(^{O}C)	n	K	$\tilde{\imath}_0$	r^2
۵	۱/۰۰۸±۰/۰۰۸^{de}	۲/۱۱۱±۰/۰۰۰	۱/۷۱۹±۰/۰۳۸^{a}	۰/۹۹۹
۱۰	۱/۰۰۵±۰/۰۰۴^{ef}	۱/۲۸۹±۰/۰۰۰	۱/۴۵۸±۰/۰۲۳^{bc}	۰/۹۹۹
۱۵	۱/۰۰۴±۰/۰۰۱^{f}	۰/۸۰۴±۰/۰۰۰	۱/۴۲۱±۰/۰۴۵^{c}	۰/۹۹۹
۲۵	۰/۹۹۷±۰۰۰^{g}	۰/۳۴۶±۰/۰۰۰	۱/۴۷۳±۰/۰۰۰^{b}	۰/۹۹۹
۳۵	۱/۰۱۲±۰/۰۰۱^{c}	۰/۱۸۴±۰/۰۰۰	۰/۶۳۷±۰/۰۱۹^{d}	۰/۹۹۹
۴۵	۱/۰۱۱±۰/۰۰۵^{cd}	۰/۱۱۰±۰/۰۰۰	۰/۵۳۴±۰/۰۰۴^{e}	۰/۹۹۹
۵۵	۱/۰۱۸±۰/۰۰۲^{b}	۰/۰۶۲±۰/۰۰۰	۰/۱۸۵±۰/۰۰۵^{g}	۰/۹۹۹
۶۵	۱/۰۲۳±۰/۰۰۵^{a}	۰/۰۳۹±۰/۰۰۰	۰/۲۳۱±۰/۰۰۱^{f}	۰/۹۹۹

داده‌ها میانگین سه تکرار هستند، حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده‌ی وجود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵درصد می‌باشد.

با ترسیم اختلاف لگاریتم تنش برشی با تنش تسلیم، در برابر لگاریتم سرعت برشی، شاخص رفتار جریان (شیب خط) و ضریب قوام هرشل بالکلی (از عرض از مبدأ) بدست می‌آید. شاخص رفتار جریان n در دامنه ۰/۹۹۷ ـ۱/۰۲۳ به دست آمده که نشان دهنده رفتار نیوتنی دایلاتنت دارای تنش تسلیم است که رفتار سفت شونده با برش گفته می‌شود که به‌دست آمدن این رفتار به دلیل تقریبی است که برای $\tilde{\imath}_0$ در نظر گرفته شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که میزان ضریب قوام K با افزایش دما کاهش یافته است. مشابه همین مدل در پژوهشی بر روی آب انجیر انجام شده که بهترین مدل برای بازگو کردن نوع جریان آب انجیر کنستانتره شده اعلام شده است [۳].

با قرار دادن شاخص جریان برابر یک (n=1) معادلهٔ هرشل بالکلی به صورت معادلهٔ بینگهام در می‌آید در این مدل نمودارتنش برشی در برابر سرعت برشی به صورت خطی است مقادیرK و $\tilde{\imath}_0$ به‌دست می‌آید به طور خلاصه در جدول ۳ آورده شده است و مقدار K و $\tilde{\imath}_0$ با افزایش دما کاهش یافته است. ضریب همبستگی (r^2)، ۰/۹۹۹ از جدول استخراج شده است.

جدول۳ مقایسه میانگین مقادیر ضریب قوام و شاخص رفتار جریان در دماهای مختلف مدل بینگهام

دما	مدل بینگهام		
(^{O}C)	K	$\tilde{\imath}_0$	r^2
۵	۲/۱۶۷±۰/۰۰۱^{a}	۱/۷۱۹±۰/۰۳۸^{a}	۰/۹۹۹
۱۰	۱/۳۱۱±۰/۰۰۱^{b}	۱/۴۵۸±۰/۰۲۳^{bc}	۰/۹۹۹
۱۵	۰/۸۱۲±۰/۰۰۱^{c}	۱/۴۲۱±۰/۰۴۵^{c}	۰/۹۹۹
۲۵	۰/۳۴۲±۰/۰۰۰^{d}	۱/۴۷۳±۰/۰۰۰^{b}	۰/۹۹۹
۳۵	۰/۱۹۴±۰/۰۰۱^{e}	۰/۶۳۷±۰/۰۱۹^{d}	۰/۹۹۹
۴۵	۰/۱۱۶±۰/۰۰۱^{f}	۰/۵۳۴±۰/۰۰۴^{e}	۰/۹۹۹
۵۵	۰/۰۶۸±۰/۰۰۶^{g}	۰/۱۸۵±۰/۰۰۵^{g}	۰/۹۹۹
۶۵	۰/۰۴۳±۰/۰۰۰^{h}	۰/۲۳۱±۰/۰۰۱^{f}	۰/۹۹۹

داده‌ها میانگین سه تکرار هستند، حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده‌ی وجود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵درصد می‌باشد.

مدل دیگری که به صورت گسترده کاربرد دارد مدل کاسون است در این مدل برای به‌دست آوردن ضرایب مدل باید جذر تنش برشی در مقابل جذر سرعت برشی رسم شود. منحنی تنش برشی در مقابل سرعت برشی به صورت خطی در می‌آید که به نام مدل کاسون می‌نامند. با توجه به جدول ۴ مقادیر K_C، $\tilde{\tau}_0$، r^2 نشان داده‌شده است.

جدول۴ مقایسه میانگین مقادیر ضریب قوام و شاخص رفتار جریان در دماهای مختلف مدل کاسون

دما	مدل کاسون		
(^OC)	k_c	$\tilde{\tau}_0$	r^2
۵	۱/۲۰۴±۰۰۶^a	۰/۰۵۳±۰/۰۰۳^c	۱
۱۰	۱/۰۶۰±۰/۰۰۴^b	۰/۰۵۴±۰/۰۰۱^c	۰/۹۹۹
۱۵	۰/۹۳۷±۰/۰۰۹^c	۰/۰۷۴±۰/۰۰۵^b	۱
۲۵	۰/۷۴۷±۰/۰۰۰^d	۰/۱۳۰±۰/۰۰۰^a	۰/۹۹۹
۳۵	۰/۶۵۴±۰/۰۰۶^e	۰/۰۳۵±۰/۰۰۲^d	۰/۹۹۹
۴۵	۰/۵۷۷±۰/۰۰۳^f	۰/۰۲۷±۰/۰۰۷^e	۰/۹۹۹
۵۵	۰/۵۰۴±۰۰۶^g	۰/۰۱۰±۰/۰۰۱^g	۰/۹۹۹
۶۵	۰/۴۴۸±۰/۰۰۲^h	۰/۰۱۸±۰/۰۰۳^f	۰/۹۹۹

داده‌ها میانگین سه تکرار هستند، حروف کوچک متفاوت در هر ستون نشان دهنده‌ی وجود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵درصد می‌باشد.

مقدار K_C با افزایش دما کاهش می‌یابد. در دمای ۵ و ۱۰ ، $K_C>1$ که نشان دهنده رفتار دایلاتنت دارای تنش تسلیم است. ضریب همبستگی (r^2)، ۰/۹۹۹-۱ به دست آمده است. میزان $\tilde{\tau}_0$ با افزایش دما از روند خاصی پیروی نمی‌کند. مدل کاسون بهترین مدل برای تهیه رب گوجه به روش گرم توسط توکلی پور و حسین مردی(۱۳۸۸) شناخته شد [۱].

نتیجه گیری

در این پژوهش براساس نتایج حاصله از نمونه شیره خرما و مدل‌های ارتباطی بین تنش برشی و سرعت برشی، شاخص رفتار جریان نشان دهنده رفتار غیر نیوتنی رقیق شونده با سرعت برشی از نوع سودوپلاستیک ($n<1$) است. با افزایش دما ضریب قوام کاهش می‌یابد که این امر تأیید دیگری بر رفتار غیر نیوتنی و سودوپلاستیک شیره خرما است. شاخص رفتار جریان با افزایش دما از روند خاصی پیروی نمی‌کند. با بررسی مدل هرشل‌بالکلی نتایج نشان می‌دهد که رفتار سیال از نوع نیوتنی متمایل به رفتار دایلاتنت یا سفت شونده با برش دارد، و بدست-آمدن این رفتار به دلیل تقریبی است که برای τ_0 در نظر گرفته شده‌است. در بررسی از مدل کاسون به این نتیجه رسیدیم که مقدار K_C با افزایش دما کاهش یافته و در دماهای پایین رفتار دایلاتنت را از خود نشان می‌دهد. در مدل بینگهام مقدار K با افزایش دما کاهش پیدا می-کند، و میزان τ_0 دما کاهش یافته و با افزایش غلظت افزایش می‌یابد.

منابع

[۱] توکلی پور،ح.، حسین‌مردی،ع.۱۳۸۸. اثر فرآیند حرارتی بر خصوصیات رئولوژیکی رب گوجه فرنگی، فصلنامه‌ی علوم و فناوری غذایی، سال اول، شماره ۳، ص۱-۶.

[۲] توکلی‌پور،ح.، کلباسی اشتری، ا.۱۳۹۲. بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی شیره انگور، فصلنامه علوم صنایع غذایی، شماره۴۰، دوره۱۰، ص ۱۲۹-۱۳۷.

[۳] فروزنده، ف.، مفتون‌آزاد، ن.، فرحناکی، ع.، حسینی، س.۱۳۹۳. مطالعه تأثیر دما و غلظت هیدروکلوئید بر ویژگیهای رئولوژیک کنستانتره آب انجیر با استفاده از روش پاسخ سطحی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره۴۲، دوره۱۱، ص۹۵ -۱۰۵.

[4] Razavi, S.M.A., Najafi, M.B.H., Alaee, 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.