

مطالعه تاثیر دما و غلظت هیدروکلوئید بر ویژگیهای رئولوژیک کنسانتره آب انجیر با استفاده از روش پاسخ سطحی

فاطمه فروزنده^۱، ندا مفتون آزاد^{۲*}، عسکر فرحناکی^۳، سید ابراهیم حسینی^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ایران

۲- استادیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس

۳- دانشیار بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۴- استادیار بخش علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۳)

چکیده

ویژگیهای رئولوژیک کنسانتره آب انجیر با مدل‌های توصیف کننده به منظور درک بهتر در فرایندهای تبخیر و روند عمل‌آوری مورد مطالعه قرار گرفت. ویژگیهای جریان برای کنسانتره با محتوای ماده جامد محلول (بریکس) 65° حاوی غلظتهای مختلف پکتین از ۰/۲ تا ۰/۸ درصد و محدوده دمایی ۵ تا 65° درجه سانتیگراد با استفاده از روش پاسخ سطح تعیین شد. ویسکومتر چرخشی برای تعیین رفتار جریان بکار برده شد. نمونه‌ها در معرض سرعت برشی برنامه ریزی شده افزاینده از ۰ تا 100 s^{-1} در ۱۰ دقیقه قرار داده شدند. نوع جریان همه این ترکیبات به نحو رضایت بخشی با مدل هرشل - بالکلی^۱ شرح داده شد و ضریب قوام (m)، شاخص رفتار جریان (n)، تنش آستانه (τ_0)، و ویسکوزیته ظاهری (η) اندازه گیری شد. همه پارامترها به تغییرات دما و غلظت پکتین حساس بودند.

کلید واژگان: رئولوژی، کنسانتره آب انجیر، هرشل - بالکلی، غلظت پکتین.

* مسئول مکاتبات: neda.maftoonazad@farsagres.ir

۱- مقدمه

انجیر یکی از میوه‌هایی است که از قدیم الایام کشت می‌شده و به شکل خشک برای مصرف طولانی مدت قابل استفاده است. انجیر به علت اینکه دارای مقادیر زیادی از کربوهیدراتها می‌باشد، اهمیت بالایی در تغذیه دارد. این میوه حاوی اسیدهای امینه ضروری، ویتامین‌های C, A, B_2, B_1 و مواد معدنی می‌باشد. ایران حدود ۱۰٪ کل تولید جهانی را به خود اختصاص داده است که ۹۰٪ آن به شکل خشک است. بنابراین انجیر خشک ارزش اقتصادی زیادی برای کشاورزی ایران دارد [۱]. رقم سبز مهمترین رقم انجیر تولید شده در ایران است که برای تولید انجیر خشک بکار می‌رود. مشکلات زیادی در ارتباط با توانا بالای تولید این محصول برای کشاورزان ایجاد می‌شود. یک راه حل تولید محصولات با ارزش افزوده از این محصول است. کنسانتره آب انجیر محصولی است که به مقدار زیاد در صنایع نانوائی به عنوان ماده ایجاد کننده رنگ، شیرین کننده جانشین قند و به عنوان پرکننده در آب‌نباتهای سفت می‌تواند بکار رود. در تولید ماست و بستنی می‌تواند به جای شربت‌های ایجاد کننده طعم میوه استفاده شود و در درمان بعضی از بیماریها بکار رود. کنسانتره با حذف قسمتی از آب محصول بدون تغییر در ترکیب مواد جامد نظیر قندها، مواد معدنی و ویتامین‌ها بدست می‌آید [۲].

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 و اسکوزیته مواد غذایی سیال ویژگی مهمی است که کاربردهای متعددی در فناوری های مربوط به غذا نظیر فرآوردهای مواد غذایی، طراحی تجهیزات فرآیند، کنترل تولید، فیلترها، میکسرها و درک ساختمان مواد غذایی دارد [۳]. دانش ویژگیهای رئولوژیک بر تعیین نوع اواپراتور، تغذیه یا سرعت انتقال حرارت مؤثر است [۴]. و اسکوزیته می‌تواند فاکتور مهمی در تغلیظ آب میوه- جات بویژه کنسانتره های غلیظ باشد چرا که در و اسکوزیته های بالا راندمان فرآیند کاهش می‌یابد.

برای شرح ویژگیهای رئولوژیک اندازه‌گیری شده باید از مدل‌های مناسب استفاده کرد. به علاوه بایستی تکنیک مناسبی استفاده شود که بتواند محدوده وسیعی از سرعت برشی، دما و غلظت هیدروکلوئید در محلولها را پوشش دهد [۵]. رفتار رئولوژیک آب میوه‌ها عمدتاً تحت تاثیر خصوصیات کمی و

کیفی محصول و نیز نوع فرآوردهای مورد استفاده قرار دارد. معادلات مختلفی برای توصیف جریان غذاهای مایع استفاده شده است. ساده‌ترین نوع رفتار، رفتار نیوتنی است که با رابطه خطی بین تنش برشی و سرعت برش بیان می‌شود [۶]. اما بیشتر غذاهای مایع این رفتار ساده را ندارند و به مدل‌های پیچیده‌تری برای توصیف ویژگیهایشان نیاز است [۷ و ۸]. ویژگیهای رئولوژیک آب میوه‌جات با مقدار مواد جامد محلول (بریکس) و ذرات معلق تغییر می‌کند. غلظت پکتین و قند نیز دو عامل مؤثر در تغییرات ویسکوزیته‌اند [۹]. هیدروکلوئیدها از جمله پکتین به عنوان قوام دهنده برای ایجاد ویژگیهای بافتی مناسب بکار می‌روند. این مواد در طیف وسیعی از محصولات غذایی بر پایه میوه (سس، مربا، کنسانتره و غیره) یا بر پایه شیر (پودینگ، ماست و غیره) استفاده می‌شوند. آب میوه‌ها همچنین در حین عمل‌آوری، انبارکردن، حمل و نقل، فروش و مصرف در معرض دماهای مختلف قرار می‌گیرند. بنابراین ویسکوزیته باید به عنوان تابعی از دما و غلظت مطالعه شود.

روش پاسخ سطح (RSM) یک تکنیک مدلسازی تجربی است که برای تعیین شرایط اپتیمم متغیرهای فرآیند بکار می‌رود [۱۰]. این تکنیک زمانی استفاده می‌شود که فرآیند مورد مطالعه به اندازه کافی گویا نیست و یا آنقدر پیچیده است که نمی‌توان با استفاده از تئوری‌های موجود مدل‌ها را بدست آورد. این روش رابطه بین گروهی از فاکتورهای آزمایشی تحت کنترل و نتایج مشاهده‌شده از یک یا چند متغیر مورد آزمایش را ارزیابی می‌کند [۱۱].

از آنجاکه اطلاعات لازم در مورد خصوصیات رئولوژیک آب انجیر و کنسانتره آن وجود ندارد، موضوع این تحقیق بر مبنای ارزیابی رفتار جریان کنسانتره آب انجیر تحت تاثیر ترکیبات مختلف غلظت پکتین و دما با استفاده از روش پاسخ سطح قرار گرفت و اثر دما و غلظت بر پارامترهای مدل نمایی (n و m)، تنش آستانه و ویسکوزیته ظاهری این کنسانتره‌ها مطالعه شد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- تهیه کنسانتره

میوه انجیر خشک از رقم سبز (استهبان، فارس، ایران) تهیه شد. میوه‌ها در آب سرد شسته شده و در آب با دمای ۷۵

پر شدند و به منظور تنظیم شدن دما به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم نگهداری شدند. آزمایشات در دو تکرار انجام شد. از یک نرم افزار کنترل کننده برای برش نمونه‌ها در سرعت خطی از S^{-1} ۰-۶۰ در ۶ دقیقه استفاده شد. داده‌های تنش برشی (τ) - سرعت برشی ($\dot{\gamma}$) به صورت رئوگرام جمع آوری شد. با استفاده از رویه سطح پاسخ اثرات اصلی و متقابل متغیرهای مورد بررسی (درصد وزنی پکتین و دمای آزمایش) بر خصوصیات رئولوژیک شربت انجیر (بریکس ۶۵) مطالعه شد. طرح آزمایشی مورد استفاده طرح مرکزی مرکب چرخش پذیر با دو متغیر مستقل در ۵ سطح بود (جدول ۲). این مطالعه به منظور تعیین رفتار جریان شربت انجیر تحت تاثیر غلظت پکتین افزوده شده و مطالعه اثر دما انجام شد.

۲-۴- آنالیز داده‌ها

منحنی های جریان یا رئوگرام ها توسط مدل های رئولوژیک بینگهام^۳ (معادله ۱)، پاورلا^۴ (معادله ۲ و ۳)، هرشل- بالکلی (معادله ۴) ارزیابی شدند. اثر دما و غلظت پکتین بر ضریب قوام (m) و شاخص رفتار جریان (n) با استفاده از آنالیزهای رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت.

$$\tau = \tau_0 + m \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

$$\tau = m \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

یا

$$\eta_a = \tau / \dot{\gamma} = m \dot{\gamma}^{n-1} \quad (3)$$

$$\tau - \tau_0 = m \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

در این معادلات τ تنش برشی (Pa)، τ_0 تنش آستانه، $\dot{\gamma}$ سرعت برش (s^{-1})، m ضریب قوام ($Pa.s^n$)، n شاخص رفتار جریان (دیمناسیون)، η_a ویسکوزیته ظاهری ($Pa.s$) می باشد [۱۳].

۲-۵- طرح آزمایشی

روش سطح پاسخ برای بررسی اثرات اصلی متغیرهای فرایند بر ویژگیهای رئولوژیک شربت انجیر انتخاب شد. طرح آزمایشی مورد استفاده طرح مرکزی مرکب چرخش پذیر (CCRD) با دو متغیر مستقل در ۵ سطح بود (جدول ۲).

درجه (حدود ۳ ساعت و ۳۰ دقیقه) خیسانده شدند. پس از رسیدن به بریکس، عصاره با استفاده از صافی پارچه‌ای با مش ۱۰۰ فیلتر شد و در اواپراتور چرخان تحت خلا تا بریکس ۶۵ در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد تغلیظ شد. برای بهبود خواص ارگانولپتیک کنسانتره، غلظتهای مختلفی از پکتین تجاری با درجه متوکسیل کم (کپنهاگن پکتین، کپنهاگ، دانمارک)^۲ در محدوده ۰/۲ تا ۰/۸ درصد وزنی- وزنی اضافه شد و ویژگی‌های رئولوژیک در دماهای مختلف بر اساس طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر ارزیابی شد.

۲-۲- ویژگیهای فیزیکوشیمیایی کنسانتره آب

انجیر

چربی، سدیم، پتاسیم، قند کل، قند احیا، مقدار ماده جامد (بریکس)، فیبر، پروتئین و کلسیم براساس روشهای AOAC (۱۹۹۷) اندازه گیری شد. اندازه گیری هر پارامتر حداقل ۳ بار انجام گرفت. مقادیر اندازه گیری شده در جدول ۱ ارائه شده است [۱۲].

جدول ۱ خصوصیات فیزیکوشیمیایی کنسانتره آب انجیر

pH	۴
ماده جامد محلول	۶۵ °Brix
ماده خشک	۷۴ %
چربی کل	۰
سدیم	۱۵ mg/۱۰۰g
پتاسیم	۶۹ mg/۱۰۰g
کربوهیدرات کل	۶۶ %
فیبر	۰/۹%
قندهای احیا	۵۹%
پروتئین	۱/۳ %
کلسیم	۲۳ mg/۱۰۰g
آهن	۰/۸ mg/۱۰۰g

۲-۳- ارزیابی خصوصیات رئولوژیک

خصوصیات رئولوژیک کنسانتره آب انجیر با استفاده از یک ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (DV-II+Pro، بروکفیلد، آمریکا) مجهز به ژئومتری مخروط و صفحه (CP51) مطالعه گردید. نمونه‌های محلول در فنجانک‌های استوانه‌ای ویسکومتر

3. Bingham
4. power law

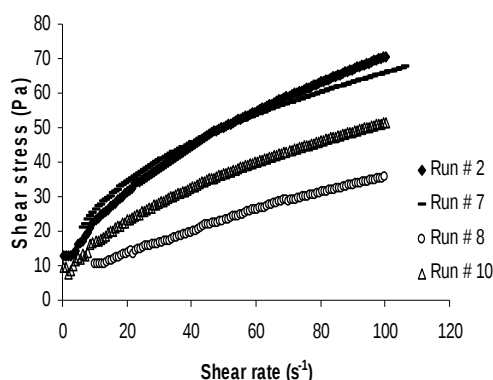
2. Copenhagen pectin, Copenhagen, Denmark

انحراف استاندارد (SE) و ضریب تبیین (R^2) انتخاب شد. برازش داده ها با روش تکرارشونده غیرخطی سیگما پلوت^۶ انجام شد. گرافهای سطحی با استفاده از نرم افزار سیگما پلوت به منظور نشان دادن اثرات اصلی و متقابل متغیرهای مستقل ترسیم گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگیهای رفتار جریان

داده های تنش برشی- سرعت برش غلظتهای متفاوت با مدل های رئولوژیک مختلف آزموده شد. منحنی جریان همه نمونه ها رفتار برشی رقیق شونده ($n < 1$) با تنش آستانه در همه دماها نشان داد (جدول ۳ و شکل ۱).



شکل ۱ رئوگرام کنسانتره آب انجیر در دما و غلظتهای متفاوت پکتین جدول ۴ انحراف استاندارد و ضرایب تبیین هر سه مدل بکار رفته را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود مدل هرشل بالکلی انحراف استاندارد کمتر و R^2 بیشتری را برای همه نمونه ها در مقایسه با دیگر مدلها داشت، که بیانگر برازش بهتر در مقایسه با سایر مدل ها می باشد. در نمونه شماره ۸ (65°C) مدل بینگهام نیز برازش خوبی با داده های رئولوژیک نشان داد. کمترین مقدار شاخص رفتار جریان مربوط به نمونه های حاوی ۰/۵٪ پکتین در 5°C بود (نمونه شماره ۷)، اما بیشترین مقدار یعنی ۰/۹۷۱ مربوط به ۰/۵٪ پکتین در 65°C مربوط بود. مولر و ویلون،^۷ گزارش داده اند که رفتار غیرنیوتنی زمانی اهمیت می یابد که شاخص رفتار جریان کمتر از ۰/۶ باشد [۱۶].

جدول ۲ مقادیر و متغیرها برای طرح چرخشی مرکب چرخش پذیر استفاده شده در آزمایشات رئولوژی شربت انجیر

مقادیر متغیرهای کدگذاری شده						
متغیرها	نشانه ها	-۲	-۱	۰	۱	۲
دما ($^\circ\text{C}$)	X_1	۵	۲۰	۳۵	۵۰	۶۰
غلظت پکتین٪	X_2	۰/۲	۰/۳۵	۰/۵	۰/۶۵	۰/۸۰

دما (X_1) و غلظت پکتین (X_2) به عنوان دو متغیر یا فاکتور مستقل برای بهینه کردن مقادیر تنش آستانه (Y_1)، ضریب پایداری (Y_2)، شاخص رفتار جریان (Y_3) و ویسکوزیته ظاهری (Y_4) انتخاب شدند. طرح کامل شامل ۱۲ آزمایش با ۴ تکرار در نقطه مرکزی بصورت چرخش پذیر بود (جدول ۳) [۱۴]. رابطه بین متغیرهای کدگذاری شده و متغیرهای آزمایشی بصورت زیر بیان گردید:

از یک مدل رگرسیون چندجمله ای درجه ۲ برای نشان دادن متغیرهای پیش بینی شده Y استفاده شده است (معادله ۵). مدل پیشنهادی برای هر پاسخ Y بصورت زیر است:

$$Y = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ii} X_i^2 + \sum b_{ij} X_i X_j \quad (5)$$

در این معادله b_0 ثابت و b_i و b_{ii} ضرایب رگرسیون مدل و X_i و X_j متغیرهای مستقل در مقادیر کدگذاری شده هستند. آنالیز رگرسیون، آنالیز واریانس (ANOVA) داده ها با استفاده از دستورکار RSREG نرم افزار آماری SAS^۵ به منظور برازش معادلات چند جمله ای درجه ۲ با متغیرهای وابسته استفاده شد. سطوح پاسخ با معادلات چندجمله ای درجه ۲ برازش داده شده حاصل از آنالیز RSREG بدست آمد. آزمون های عدم برازش نیز بر روی مدل های برازش داده شده انجام شد. ضرایب روابط خطی، درجه ۲ و اثرات متقابل هر مدل نیز محاسبه شد. ملاک حذف متغیرها از معادله کامل رگرسیون براساس مقادیر R^2 و انحراف استاندارد (SE)، F-test معنی دار و مقادیر P مشتق شده از آن بود [۱۵].

به منظور مقایسه کمی کنسانتره ها، سه مدل جریان رئولوژیک (بینگهام، پاورلاو، هرشل-بالکلی) براساس تنش برشی- سرعت برشی آزموده شد (جدول ۴) و بهترین برازش با توجه به

6. Sigma Plot
7. Muller and Villon

5. Institute, Inc. Version 5, Cary, NC, 1990

جدول ۳ طرح مرکزی مرکب چرخش‌پذیر و نتایج

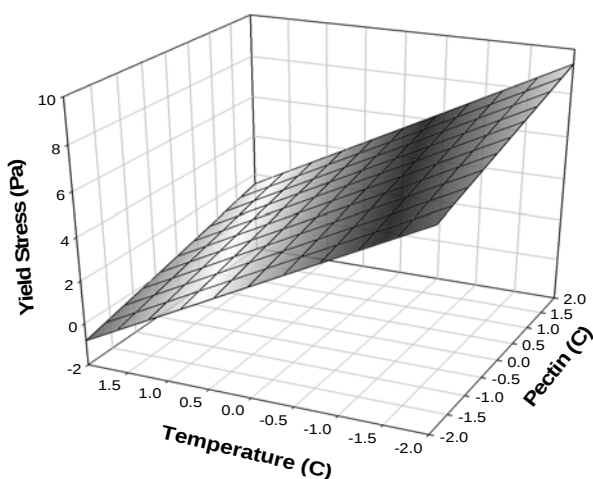
متغیرهای وابسته							متغیرهای مستقل		
مدل هرشل-بالکلی				مدل نمایی			مدل بینگهام		
τ_0	m	n	τ_0	m	n	τ_0	X_1	X_2	ردیف
۵/۵۴	۵/۱۰	۰/۵۵۳	۰/۵۰۲	۷/۲۱	۰/۷۲۸	۱۶/۴	-۱	-۱	۱
۷/۳۵	۵/۷۱	۰/۴۸۹	۰/۴۹۰	۷/۳۲	۰/۷۱۰	۱۵/۳۴	۱	-۱	۲
۱/۱۲	۱/۹۴	۰/۶۰۸	۰/۵۵۷	۲/۴۹	۰/۳۳۸	۵/۵۵	-۱	۱	۳
۲/۶۵	۳/۴۷	۰/۶۴۳	۰/۵۸۱	۲/۲۵	۰/۳۴۷	۴/۹۲	۱	-۱	۴
۲/۹۴	۲/۹۷	۰/۶۰۱	۰/۵۰۸	۴/۵۰۵	۰/۴۷۹	۹/۶۰	۰	-۲	۵
۴/۷۵	۶/۲۰	۰/۴۸۸	۰/۴۹۹	۵/۰۳	۰/۵۱۰	۱۰/۶۳	۰	۲	۶
۸/۱۹	۱۲/۱	۰/۳۷۲	۰/۴۰۶	۱۰/۱	۰/۵۹۷	۲۰/۱۸	-۲	۰	۷
۱/۲۳	۰/۹۷۱	۰/۹۷۱	۰/۶۱۷	۲/۰۸	۰/۳۲۳	۶/۸۵	۲	۰	۸
۳/۸۴	۰/۵۶۹	۰/۵۶۹	۰/۴۹۷	۵/۰۲	۰/۵۱۵	۱۰/۷۱	۰	۰	۹
۳/۹۶	۰/۵۷۹	۰/۵۷۹	۰/۴۸۸	۵/۳۹	۰/۵۱۷	۱۱/۲۷	۰	۰	۱۰
۳/۷۸	۰/۵۷۷	۰/۵۷۷	۰/۴۹۹	۵/۵۴۲۵	۰/۵۶۵	۱۱/۶۹	۰	۰	۱۱
۳/۸۴	۰/۵۴۹	۰/۵۴۹	۰/۴۸۵	۵/۴۱	۰/۵۲۱	۱۱/۴۴	۰	۰	۱۲

جدول ۴ برازش مدل‌های جریان مختلف بر اساس انحراف استاندارد (SD) و ضریب تبیین (R^2)

متغیرهای مستقل						متغیرهای وابسته					
مدل هرشل-بالکلی			مدل پاورلاو			مدل بینگهام					
SD	R^2	SD	R^2	SD	R^2	SD	R^2	SD	X_1	X_2	ردیف
۰/۹۹۸	۰/۴۱۶	۰/۹۹۸	۰/۷۴۷	۰/۹۷۹	۱/۶۲	۰/۹۹۸	۰/۷۴۷	۰/۹۷۹	-۱	-۱	۱
۰/۹۹۷	۰/۶۹۳	۰/۹۹۲	۱/۱۶	۰/۹۷۷	۱/۸۵	۰/۹۹۷	۰/۶۹۳	۰/۹۹۲	۱	-۱	۲
۰/۹۷۸	۰/۹۰۷	۰/۹۷۷	۰/۹۱۴	۰/۹۵۴	۱/۳۰	۰/۹۷۸	۰/۹۰۷	۰/۹۵۴	-۱	۱	۳
۰/۹۷۸	۰/۹۲۹	۰/۹۷۵	۰/۹۸۵	۰/۹۳۵	۱/۶۰	۰/۹۷۸	۰/۹۲۹	۰/۹۳۵	۱	-۱	۴
۰/۹۹۶	۰/۵۵۱	۰/۹۹۲	۰/۶۷۳	۰/۹۷۱	۱/۴۶	۰/۹۹۶	۰/۵۵۱	۰/۹۷۱	-۲	۱	۵
۰/۹۹۶	۰/۶۱۶	۰/۹۹۳	۰/۷۷۲	۰/۹۷۰	۱/۵۴	۰/۹۹۶	۰/۶۱۶	۰/۹۷۰	۲	-۲	۶
۰/۹۹۹	۰/۱۶۷	۰/۹۹۹	۰/۱۹۳	۰/۹۶۷	۱/۶۰	۰/۹۹۹	۰/۱۶۷	۰/۹۶۷	۰	-۲	۷
۰/۹۹۸	۰/۲۸۸	۰/۹۹۲	۰/۵۴۱	۰/۹۹۷	۰/۳۲۳	۰/۹۹۸	۰/۲۸۸	۰/۹۹۲	۲	۰	۸
۰/۹۹۷	۰/۴۹۷	۰/۹۹۷	۰/۵۵۵	۰/۹۶۵	۱/۷۱	۰/۹۹۷	۰/۴۹۷	۰/۹۶۵	۰	۰	۹
۰/۹۹۷	۰/۵۴۳	۰/۹۹۳	۰/۷۸۱	۰/۹۷۴	۱/۴۹	۰/۹۹۷	۰/۵۴۳	۰/۹۷۴	۰	۰	۱۰
۰/۹۹۶	۰/۶۱۷	۰/۹۹۵	۰/۷۳۰	۰/۹۶۷	۱/۷۸	۰/۹۹۶	۰/۶۱۷	۰/۹۶۷	۰	۰	۱۱
۰/۹۹۷	۰/۵۶۷	۰/۹۹۵	۰/۷۵۴	۰/۹۷۸	۱/۶۵	۰/۹۹۷	۰/۵۶۷	۰/۹۷۸	۰	۰	۱۲

۳-۳- اثر دما و غلظت پکتین بر τ_0

مدل ارائه شده برای تنش آستانه نشان داد که غلظت (X_1) و دما (X_2) اثرات بسیار مهمی بر این پارامتر داشته است، در این حال تاثیر دما بیشتر از غلظت بوده است. ضرایب منفی X_2 نشان دهنده اثر خطی این پارامتر در کاهش تنش آستانه بود ولی X_1 سبب افزایش آن شد (جدول ۶). شکل ۲ ارتباط مقادیر مستقل را با مدل های پیش بینی کننده برای تنش آستانه نشان می دهد. این ارتباط در واقع نمودارهای هندسی رفتار τ_0 در طرح آزمایشی می باشد. با افزایش دما کاهش فاحشی در مقدار تنش آستانه مشاهده شد اما تاثیر پکتین ناچیز بود.



شکل ۲ اثر دما و غلظت پکتین بر تنش آستانه شربت انجیر

۴-۳- اثر دما و غلظت بر m

معادله ۷ مدل مربوط را نشان می دهد. نتیجه حاصل از این معادله و جدول ۵ بیانگر آن بود که غلظت پکتین اثر معنی داری بر ضریب قوام (m) داشت ($P < 0.05$) اما تاثیر دما بسیار بیشتر بود ($P < 0.01$). شکل ۳ تایید کننده این نتایج می باشد. ضرایب منفی X_2 و ضرایب درجه ۲ نشان دهنده کاهش m بود در حالیکه اثر خطی X_1 سبب افزایش m شد. شکل ۳ ارتباط بین متغیرهای مستقل و ضرایب درجه ۲ دما را در مدل های پیش بینی کننده برای m نشان می دهد. مقدار m با افزایش دما کاهش یافت اما غلظت پکتین سبب افزایش m شد. این مشاهدات با نتایج گزارش شده توسط کرومل و سرکار (۱۹۷۵) و راثو و همکاران (۱۹۸۱) و چین و همکاران (۲۰۰۹)

بنابراین سهم رفتار غیرنیوتنی در اکثر نمونه ها در مدل هرشل بالکلی و همه نمونه ها در مدل پاورلا دارای اهمیت است.

۳-۲- مدلهای رگرسیون پارامترهای رئولوژیک (n و m, τ_0)

دما نقش مهمی را در ویژگیهای رئولوژیک مواد غذایی بازی می کند. اثر دما بر ویژگیهای رئولوژیک در یک تنش برشی ثابت با معادله آرنیوس بیان می شود [۱۷ و ۱۸]؛ درحالیکه اثر غلظت بر ویسکوزیته ظاهری هم با مدل نمایی و هم با مدل پاورلا بیان می شود [۱۸]. عملاً بهتر است که اثرات دما و غلظت پکتین بر خصوصیات جریان با استفاده از یک مدل مرکب شرح داده شود. برخی از محققان اثر ترکیبی دما و غلظت را بر پارامترهای رئولوژیک مطالعه نموده اند [۱۹ و ۱۳]. در این مطالعه، ارتباط τ_0 ، m و n با دما و غلظت با استفاده از آنالیز رگرسیون چند متغیره بدست آمد. اثرات متغیرهای آزمایش مانند ضریب خطی، درجه ۲ و اثر متقابل بر متغیرهای پاسخ با آنالیز واریانس بدست آمد. معنی داری عدم بارزش، مقدار R^2 و مقدار F برای تعیین میزان برازش مدل استفاده شد. مدلهای پیش بینی کننده برای τ_0 (تنش آستانه)، m (ضریب قوام) و n (شاخص رفتار جریان) در شربت انجیر برازش خوبی را نشان داد چون عدم برازش معنی داری نداشتند و مقادیر R^2 و F رضایت بخشی داشتند. در جدول ۵ مشاهده می شود که ضرایب خطی و درجه ۲ برای ضریب قوام معنی دار بودند ($P < 0.05$)، اما در مورد شاخص رفتار جریان و تنش آستانه فقط ضرایب خطی معنی دار بودند. معادله های برازش یافته (۶ و ۷ و ۸ و ۹) برای تعیین مقادیر τ_0 ، m ، n و η بصورت زیر می باشند (P غلظت پکتین و T دما را نشان می دهد):

$$\tau_0 = 4/26 + 0/580 * P - 1/96 * T$$

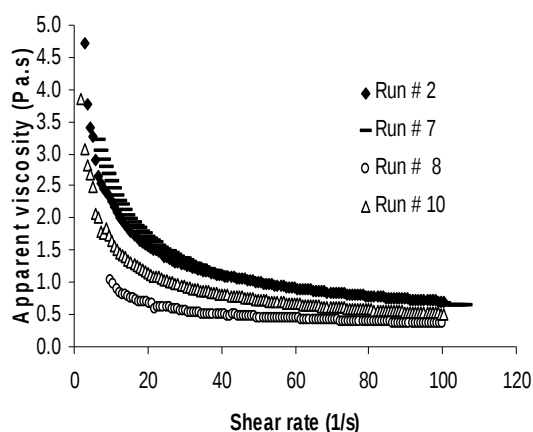
$$m = 3/87 + 0/717 * P - 2/25 * T + 0/635 * T^2$$

$$n = 0/583 - 0/217 * P + 0/117 * T$$

$$\eta = 0/703 + 0/0543 * P - 0/310 * T + 0/077 * T^2$$

۳-۶- اثر سرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری

شکل ۵ اثر سرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری جدول ۵ ویسکوزیته ظاهری نمونه های مختلف در 5×10^{-1} را نشان می-دهد. همانطور که مشاهده می شود ویسکوزیته همه نمونه ها با افزایش سرعت برشی کاهش می یابد. افزایش در سرعت برش از ۰ تا ۶۰ موجب کاهش ویسکوزیته ظاهری نمونه های مختلف در محدوده دما و غلظت پکتین استفاده شده بود. همچنین مشاهده شد که کمترین مقدار مربوط به نمونه شماره ۸ و بیشترین مقدار مربوط به نمونه شماره ۷ بود.



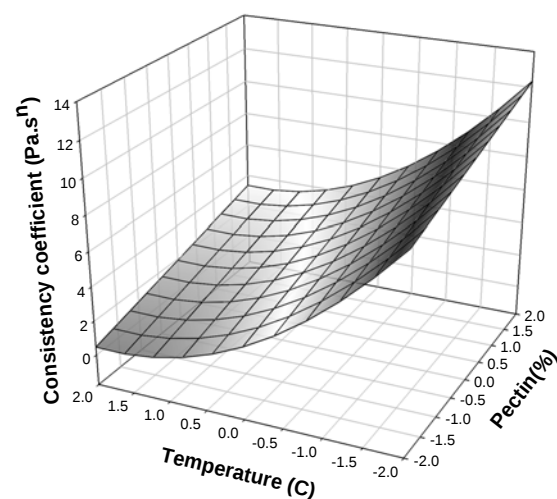
شکل ۵ تاثیر سرعت برش بر ویسکوزیته ظاهری کنسانتره آب انجیر در دما و غلظتهای انتخابی

بیشترین اختلاف بین ویسکوزیته ظاهری مربوط به نمونه هایی بود که در بالاترین و پایین ترین دما آزموده شده بودند. اختلاف بین مقادیر ویسکوزیته ظاهری کنسانتره ها مربوط به نمونه ۷ با کمترین دما (بیشترین ویسکوزیته) و نمونه ۸ بیشترین دما (کمترین ویسکوزیته) بود. این نتایج با نتایج بدست آمده توسط واندرسین و همکاران (۲۰۰۹) و مارکوت و همکاران (۲۰۰۱ ب) مطابق بود [۱۳ و ۸].

۳-۶- اثر دما و غلظت پکتین بر n

معادله ۹ و جدول ۵ نشان داد که غلظت پکتین ($P < 0.05$) و دما ($P < 0.01$) هر کدام به تنهایی و اثر درجه ۲ دما ($P < 0.01$) بر ویسکوزیته ظاهری مؤثرند. ضریب منفی نشان داد که متغیرهای وابسته با افزایش این فاکتور کاهش یافته است. شکل ۶ نمودار سطحی را که بیانگر ارتباط متغیرهای مستقل با مدل های پیش بینی کننده است نشان می دهد. ویسکوزیته کنسانتره با افزایش مقدار پکتین افزایش یافت.

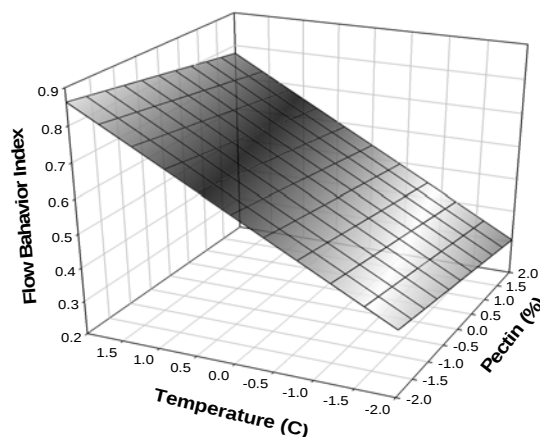
در مورد هیدروکلوئیدها، آب میوه ها و کنسانتره مطابقت داشت [۲۰-۲۲].



شکل ۳ اثر دما و غلظت پکتین بر ضریب قوام شربت انجیر

۳-۵- تاثیر دما و غلظت پکتین بر n

معادله ۸ نشان می دهد که شاخص رفتار جریان (n) تنها به اثرات خطی غلظت پکتین ($P < 0.05$) و دما ($P < 0.01$) بستگی داشت. نمونه های مختلف کنسانتره آب انجیر دارای رفتار نازک شونده با برش از خود نشان دادند ($0.489 < n < 0.971$). بنابراین می توان نتیجه گرفت دماهای بالاتر سبب نزدیک شدن مقادیر n به ۱ و رفتن به سمت رفتار نیوتنی می شوند. شکل ۴ بطور واضح نشان می دهد که اثر دما بر مقدار n بسیار بیشتر از اثر غلظت پکتین بود.

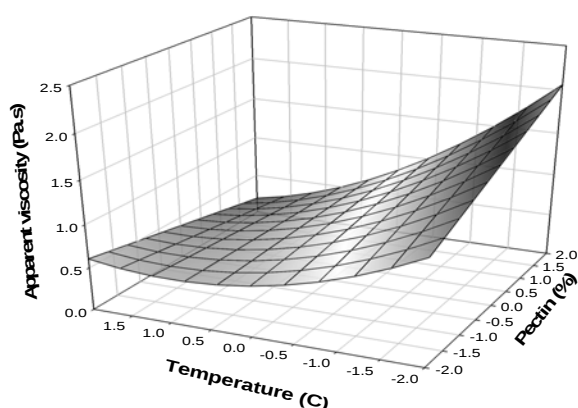


شکل ۴ اثر دما و غلظت پکتین بر شاخص رفتار جریان شربت انجیر

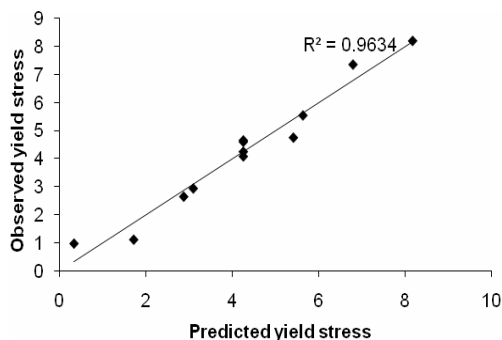
۳-۷- مقایسه داده های رئولوژیک پیش بینی

شده با مقادیر آزمایشی

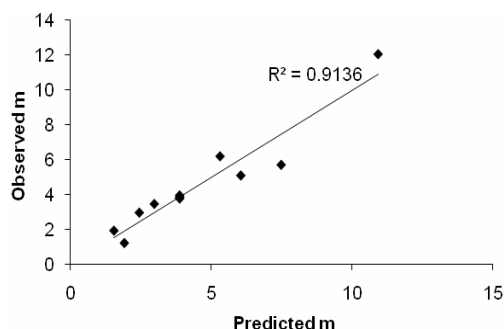
داده های آزمایشی بدست آمده برای n , m , τ_0 و η و مقادیر پیش بینی شده در معادلات ۶ تا ۹ در شکل ۷ نشان داده شده است. ضرایب رگرسیون، R^2 ، به ترتیب ۰/۹۳۶، ۰/۹۱۴، ۰/۷۷۴ و ۰/۹۵۴ بودند. اگر چه پارامتر n ضریب تبیین بالایی نداشت ولی آنالیزهای آماری عدم برازش معنی داری را برای معادله آن نشان ندادند. اشکال بدست آمده تناسب خوبی را بین مقادیر آزمایشی و مقادیر پیش بینی شده با این مدل ها نشان می دهد.



شکل ۶ اثر دما و غلظت پکتین بر ویسکوزیته ظاهری آب انجیر (الف)



(ب)



جدول ۵ ضرایب رگرسیون و آنالیز واریانس مدل های

رگرسیون برای پارامترهای رئولوژیک

ضریب	τ_0	m	n
b_0	۴/۳۵***	۳/۶۲***	۰/۵۶۴***
خطی			
b_1	۰/۵۸۰***	۰/۷۱۷**	-۰/۰۲۱۷**
b_2	-۱/۹۶***	-۲/۲۲***	۰/۱۱۷***
اثر متقابل			
b_{12}	-۰/۰۷	۰/۲۳۰	۰/۰۲۴۷
درجه ۲			
b_{11}	-۰/۱۳۷	۰/۱۸۲۵	-۰/۰۰۶۳۸
b_{22}	-۰/۰۴۷۶	۰/۷۲۱***	۰/۰۲۵۷
تغییرات (R^2)	۰/۹۷۵	۰/۹۲۷	۰/۹۳۵
مقدار F	۴۷/۸	۱۵/۱	۸/۳۳۱
احتمال F	۹/۳۹	۰/۰۰۲۳۸	۰/۰۱۱۳
	E=۰.۵		
خطاها	N.S.	N.S.	N.S.

*** بسیار معنی دار ($P < 0.01$)

** معنی دار ($P < 0.05$)

دما بطور معکوس بر ویسکوزیته ظاهری کنسانتره آب انجیر تاثیر داشت. تحقیقات مختلف کاهش معنی داری را در ویسکوزیته ظاهری در طول فرآیند حرارتی گزارش کرده اند [۲۴-۲۲].

جدول ۶ ویسکوزیته ظاهری نمونه های مختلف در سرعت

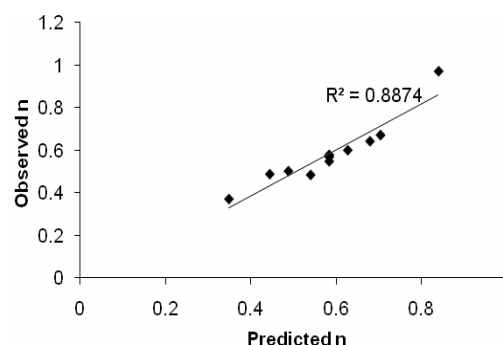
برش $50 S^{-1}$

نمونه ها	ویسکوزیته ظاهری (Pa.s)
۱	۱/۰۰۳
۲	۰/۳۵۰
۳	۰/۴۴۱
۴	۰/۴۷۲
۵	۰/۶۶۲
۶	۰/۷۹۹
۷	۱/۵۷۰
۸	۰/۴۳۲
۹	۰/۶۹۵
۱۰	۰/۶۷۱
۱۱	۰/۶۵۴
۱۲	۰/۶۳۶

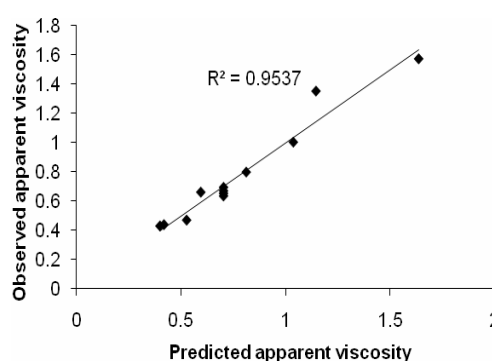
۵- منابع

- [1] Azarakhsh, h. Study of Different methods of Figs harvesting and processing. Ministry of Agriculture. Agriculture Organization of Fars.
- [2] Toribo, J. L., & Lozano, J. E. 1986. Heat induced browning of clarified apple juice at high temperatures. *J. Food Sci.* 51: 172-175, 179.
- [3] Magerramov, M. A., Abdulagatov, A. I., Azizov, N. D. and Abdulagatov, I. M. 2007. Effect of temperature, concentration, and pressure on the viscosity of pomegranate and pear juice concentrates. *J. Food Eng.* 80, 476-489.
- [4] Saravacos, G. D. 1970. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *J. Food Sci.* 35: 122-125.
- [5] Marcotte, M., A. R. Taherian, M. Trigui, and H.S. Ramaswamy. 2001a. Evaluation of rheological properties of selected salt enriched food hydrocolloids. *J. Food Eng.* 48, 157-167.
- [6] Nindo, C.I. and Tang, J. 2007. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. *LWT-Food Sci. Technol.* 40(2), 292-299.
- [7] Tabilo-Munizaga, G., Barbosa-Xanovas, G. V. 2005. Rheology for the food industry. *J. Food Eng.* 67: 147-156.
- [8] Vandresen, S., Quaadri, M. G. N., Desouza, A. R. and Hotza, D. 2009. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juice. *J. Food Eng.* 92: 269-274.
- [9] Rouse, A. H., Albrigo, L. G., Huggart, R. L., and Moore, E. L. 1974. Viscometric measurements and pectic content of frozen concentrated orange juices for citrus future. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 293-296.
- [10] Myers, R. H., and Montgomery, D. C. 1995. *Response Surface Methodology*, Ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [11] Box, G. E. P., Hunter, W. G. and Hunter, J. S. 1978. *Statistics for Experimenters*; Ed.; John Wiley and Sons, Inc.: New York.
- [12] Association Of Official Analytical Chemists-AOAC. 1997. *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Arlington, Virginia, USA.
- [13] Marcotte, M., Taherian, A. R. and Ramaswamy, H. S. 2001b. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Res. Int.* 34, 695-703.

(ج)



(د)



شکل ۷ مقایسه داده های رئولوژیک پیش بینی شده با مقادیر آزمایشی: الف) تنش آستانه؛ ب) ضریب قوام؛ ج) شاخص رفتار جریان؛ د) ویسکوزیته ظاهری

۴- نتایج

روش پاسخ سطحی برای بهینه سازی رفتار رئولوژیک نمونه های کنسانتره آب انجیر بسیار موثر بود. اشکال سه بعدی نیز به خوبی اثرات دما و غلظت پکتین را بر پارامترهای رئولوژیک نشان دادند. مدل‌های با برازش خوب برای شاخص رفتار جریان، تنش آستانه و ویسکوزیته ظاهری مورد استفاده قرار گرفت. هر دو متغیر مستقل به طور معنی داری بر رئولوژی کنسانتره آب انجیر مؤثر بودند. رفتار جریان مرکب بخوبی با مدل هرشل-بالکلی توصیف شد و کنسانتره های آب انجیر رفتار یک سیال سودوپلاستیک^۸ با تنش آستانه (غیرنیوتنی با ویژگیهای رقیق شونده) را نشان داد.

⁸ pseudoplastic

- [20] Chin, N. L., Chan, S. M., Yusof, Y. A., Chuah, T. G. and Talib, R. A. 2009. Modelling of rheological behavior of pummelo juice concentrates using master-curve. *J. Food Eng.* 93, 134-140.
- [21] Krumel, K. L. and Sarkar, N. 1975. Flow properties of gums useful to the food industry. *Food Technol.* 4, 36-44.
- [22] Rao, M. A., Walter, R. H. and Cooley, H. J. 1981. Effect of heat treatment on the flow properties of aqueous guar gum and carboxy methyl cellulose (CMC) solutions. *J. Food Sci.* 46: 496-498.
- [23] Autio, K., Myllmaki, O., and Malkki, Y. 1987. Flow properties of solutions of oat β -glucans. *J. Food Sci.* 52, 1364-1366.
- [24] Elfak, A. M., Pass, G., PHILLIPS, G. O. and Morley, R.G. 1977. The viscosity of dilute solutions of guar gum and locust bean gum with or without added sugars. *J. Sci. Food Agric.* 28, 895-899.
- [14] Draper, N. R. 1982. Center points in second order response surface designs. *Technometrics*, 24, 127-133.
- [15] Ahmed, J. and Ramaswamy, H.S. 2004. Response surface methodology in rheological characterization of papaya puree. *Int. J. Food Properties* 7, 45-58.
- [16] Muller, F. L. and P. Villon. 1994. On the behavior of non-Newtonian liquids in collinear ohmic heaters. In *Proceeding of the 10th international heat transfer conference*. Freezing, melting, internal forces convection and heat exchangers (Vol. 4, pp. 285-290). Brighton, UK.
- [17] Rao, M. A. and Anantheswaran, R.C. 1982. Rheology of fluids in food processing. *Food Technol.* 36: 116-126.
- [18] Speers, R. A. and Tung, M. A. 1986. Concentration and temperature dependence of flow behavior of xanthan gum dispersions. *J. Food Sci.* 51: 96-98, 103.
- [19] Dail, R. V. and Sreffe, J. F. 1990. Rheological characterization of crosslinked waxy maize starch solutions under low acid aseptic processing conditions using tube viscometry techniques. *J. Food Sci.* 50, 1660-1665.

Study the effect of temperature and hydrocolloid concentration on rheological characteristics of fig juice concentrates using response surface methodology

Forozandeh, N. ¹, Maftoon Azad, N. ^{2*}, Farahnaki, A. ³, Hosseini, S. A. ⁴

1. Graduated student of Food Science and Technology Dept., Azad University, Tehran

2. Corresponding Author: Research Assistant Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Fars
Research Center of Agriculture and Natural Resources

3. Associated Prof. Food Science and Technology Dept., College of Agriculture, Shiraz

4. Assistant Prof., Azad University, Tehran

(Received: 89/12/23 Accepted: 90/8/3)

Rheological behavior of fig juice concentrates was studied with the objective of defining suitable models for use in evaporation and other processing procedures. The flow properties were determined for juice concentrate with solid content of 70° Brix containing different concentrations of pectin from 0.2 to 0.8% over the temperature range of 5 to 65°C using response surface methodology. A rotational viscometer was used to characterize the flow behavior of concentrates. Samples were subjected to a programmed shear rate increasing from 0-100 s⁻¹ in 10 min. The flow of all combinations was adequately described by Herschel Bulkely model and the consistency coefficient (m), the flow behavior index (n), yield stress (τ_0) and apparent viscosity (η) were obtained. m and τ_0 increased with pectin concentration and decreased with temperature, while pectin concentration and temperature had opposite effects on n and (η). All parameters were sensitive to changes in temperature and pectin concentration.

Key Words: Rheology, fig juice concentrate, Herschel Bulkely, Pectin concentration

* Corresponding Author E-Mail Address: neda.maftoonazad@farsagres.ir