

بررسی رفتار رئولوژیکی وابسته به زمان کره بنه (*Pistacia atlantica*)

سعید امیری نسب سرابی^{۱*} و محمد حسین حداد خداپرست^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۱۵

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

^۲ استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

* مسئول مکاتبه: Email:saeed.sarabii@gmail.com

چکیده

کره بنه محصولی خمیری شکل است که مواد اصلی تشکیل دهنده آن مغز بنه بو داده و شکر می‌باشد. به دلیل ویژگی‌های تغذیه‌ای مناسب، این محصول از مطلوبیت ویژه‌ای برخوردار است. در این بین، آگاهی از خصوصیات رئولوژیکی این فرآورده می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در اختیار تولید کنندگان قرار دهد و موجبات تولید بهینه آن را فراهم نماید. در این پژوهش، خواص رئولوژیکی وابسته به زمان فرآورده کره بنه توسط سه مدل ولتمن، کاهش استرس بدون تنش تسلیم و کاهش استرس با تنش تسلیم ارزیابی شد. به این منظور، برای بررسی ارتباط میان تنش برشی و زمان اعمال نیرو در یک سرعت ثابت، نمونه‌های کره بنه در دماهای ۲۵°C و ۴۵°C و در مقدار ثابتی از سرعت برشی (S^{-1})¹ (۱۵۰)، به مدت ۱۰ دقیقه تحت آزمون قرار گرفتند. سپس داده‌های مربوط به نمودار تنش برشی در برابر زمان توسط سه مدل ذکر شده ارزیابی شد. برای انتخاب مناسب‌ترین مدل از پارامترهای آماری R^2 ، RMSE، E% استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز آماری حاکی از آن بود که تمامی نمونه‌ها به خوبی از مدل ولتمن تبعیت می‌کنند و همگی سیالاتی وابسته به زمان و دارای رفتار تیکسوتروپیک می‌باشند.

واژگان کلیدی: کره بنه، رفتار رئولوژیکی، تیکسوتروپیک، وابسته به زمان، مدل ولتمن

مقدمه

که با کاهش میزان لیپوپروتئین‌های با دانسیته پایین (LDL)^۲ و عدم تأثیر عکس روی لیپوپروتئین‌های با دانسیته بالا (HDL)^۳، احتمال خطر بیماری‌های قلبی و عروقی را کاهش می‌دهند. به جز اسیدهای چرب غیراشباع، حضور فیتواسترول‌ها و ترکیبات دیگری نظیر

تحقیقات نشان می‌دهد که مغزها با توجه به چربی بالایی که دارا هستند، منبعی غنی از انرژی هستند. بیش از ۷۵ درصد کل اسیدهای چرب مغزها را اسیدهای چرب غیر-اشباع تشکیل می‌دهند. در این بین اسیدهای چرب تک غیر اشباعی (MUFA)^۱، اسیدهای چرب غالب هستند

^۱- Low density lipoprotein

^۲- High density lipoprotein

^۱- Mono Unsaturated Fatty Acids

گونه‌های بنه (به خصوص موتیکا) منابع غنی از ترکیبات پلی فنلی هستند. پلی فنل‌ها از یک سو دارای فعالیت آنتی اکسیدانی قابل توجهی بوده و از سوی دیگر دارای فعالیت بیولوژیکی در موجودات زنده هستند و در جلوگیری از بیماری‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اضافی که نسبت به ظرفیت آنتی اکسیدانی بدن انسان برتری دارند، مؤثر هستند (صداقت و توکلی، ۲۰۱۱).

خواص رئولوژیک از مهمترین ویژگی‌های مواد غذایی محسوب می‌شوند. این ویژگی‌ها از یکسو بر پذیرش مصرف کنندگان تأثیر مستقیم دارند و از سوی دیگر، اطلاعات به دست آمده از آزمون‌های رئولوژیک در موارد گوناگون مانند طراحی دستگاه‌ها و تجهیزات مانند پمپ‌ها، لوله‌ها و مخلوط کن‌ها، تنظیم شاخص‌های فرایند مثل دما و زمان حرارت‌دهی، کشف تقلبات و کنترل کیفیت، در تعیین ماندگاری محصول و ... نقش ویژه‌ای ایفا می‌کنند. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی رفتار رئولوژیکی وابسته به زمان کره بنه (*Pistacia atlantica*) به منظور کمک به تولیدکنندگان محصول و تولید بهینه آن انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

دانه بنه از درختان بنه وارپته موتیکا (*Pistacia atlantica* var *mutica*)، در مهرماه ۱۳۹۱ از شهرستان جیرفت در استان کرمان، جمع‌آوری گردید. کلیه مواد شیمیایی مورد نیاز نیز از کمپانی مرک آلمان تهیه شد.

تهیه خمیره

برای تهیه خمیره بنه، ابتدا مغز بنه (وارپته موتیکا) بو داده شد و سپس با استفاده از یک آسیاب سنگی آزمایشگاهی آسیاب گردید، به نحوی که یک خمیره غلیظ روغنی ایجاد شد. بو دادن در حدی صورت گرفت که رنگ سبز بنه حفظ گردد. برای تعیین زمان مناسب بو-دهی، نمونه‌های صد گرمی مغز بنه در زمان ثابت ۱۵

آنتی اکسیدان‌ها (مثل توکوفرول‌ها) و اسکوالن در مغز-ها نیز در این رابطه مؤثر است (کامیل و همکاران، ۲۰۱۱).

یکی از این موارد اهمیت وجود آنتی اکسیدان‌ها در مواد غذایی، تأمین سلامتی توسط آن‌ها به دلیل توانایی آنها در حذف رادیکال‌های آزاد بوجود آمده است. آنتی اکسیدان‌ها مواد حیاتی هستند که توانایی محافظت بدن در برابر آسیب‌های ایجاد شونده بواسطه‌ی رادیکال‌های آزاد در نتیجه‌ی اکسیداسیون را دارند. به بیان دیگر رژیم‌های غنی از آنتی اکسیدان‌های گیاهی، سلامت انسان را از دیدگاه سرطان‌زایی و بیماری‌های کرونری قلب کمتر به خطر می‌اندازد. از این رو، بایستی شناسایی منابع بومی روغنی در ایران که از فعالیت آنتی اکسیدانی مطلوبی برخوردار هستند مورد توجه قرار گیرد. بنه (پسته وحشی) از جمله این منابع بومی و ارزشمند در کشور محسوب می‌گردد که بررسی‌های علمی، حکایت از فعالیت آنتی اکسیدانی بسیار بالای روغن آن دارد (شریف و همکاران، ۲۰۰۹).

بنه یا پسته وحشی درختی است که در کتب قدیم از آن به نام «حب» یاد شده است؛ این درخت از خانواده آناکاردیاسه بوده و در زبان انگلیسی «تربانتین ایرانی» نامیده می‌شود. علاوه بر کاهش چربی‌های خون، نشاط آور، تقویت کننده کبد و طحال و مهیج نیروی جنسی است. این گیاه دردهای داخلی را تسکین می‌دهد و رطوبت‌های ریه را خارج می‌کند. سنگ مثانه را خرد می‌کند و در دستگاه گوارش اثر ضد انگل دارد و نفخ را کاهش می‌دهد (میلانی و همکاران، ۱۳۸۶). عمده روغن-های این گیاه را روغن‌های غیر اشباع تشکیل می‌دهند، روغن و عصاره بخش‌های مختلف این گیاه برای سلامتی و بیماری‌های قلبی عروقی مفید است. همچنین، استفاده از بنه در طب سنتی به خاطر خواص ضد باکتریایی، ضد ویروسی، ضد اسهال و عفونت‌های دهانی مرسوم می‌باشد (بنهامو و همکاران، ۲۰۰۸).

اندازه‌گیری خواص رئولوژیکی وابسته به زمان خصوصیات رئولوژیک این تحقیق با استفاده از دستگاه رئومتر برنامه پذیربروکفیلد^۴ مدل LV-DV III، ساخت شرکت بروکفیلد آمریکا اندازه‌گیری شد. به منظور تنظیم دما در دماهای مورد نظر از بن ماری بروکفیلد مجهز به سیرکولاتور (Brookfield TC 502) استفاده شد.

به منظور بررسی خصوصیات رئولوژیکی فرآورده کره بنه، ابتدا آزمایشات اولیه‌ای در دمای محیط به کمک دستگاه رئومتر انجام شد. به این صورت که نمونه‌ها تحت دامنه مشخصی از سرعت برشی قرار گرفت تا حدود رفتار سیال برای انجام آزمون‌های بعدی مشخص گردد. بر اساس مشاهدات، همراه با افزایش سرعت برشی، شیب منحنی تغییر می‌کند که نشان دهنده وابستگی رفتار رئولوژیکی سیال به درجه برش و در حقیقت غیر نیوتنی بودن آن می‌باشد. از این رو اثر درجه برش بر رفتار رئولوژیکی سیال کره بنه مورد مطالعه قرار گرفت.

برای بررسی رفتار وابسته به زمان نمونه‌های کره بنه، برای بررسی ارتباط میان تنش برشی و زمان اعمال نیرو در یک سرعت ثابت، نمونه‌های کره بنه در دماهای ۲۵°C و ۴۵°C و در مقدار ثابتی از سرعت برشی (S^{-1}) (۱۵۰)، به مدت ۱۰ دقیقه تحت آزمون قرار گرفتند. علت انتخاب درجه برش S^{-1} ۱۵۰ این بود که؛ در تحقیقات صورت گرفته بر روی کره پسته توسط تقی زاده و همکاران مشخص گردیده بود که بیشترین خاصیت سودوپلاستیسته در این حد از سرعت برشی مشاهده می‌شود (تقی زاده و همکاران، ۲۰۱۰).

لازم به ذکر است، قبل از انجام هر آزمون، نمونه مورد آزمایش به مدت ۲۵ دقیقه برای رسیدن به دمای یکنواخت در استوانه داخلی دستگاه قرار داده شد.

دقیقه در ۷ دمای انتخابی یعنی ۹۰°C، ۱۰۰°C، ۱۱۰°C، ۱۲۰°C، ۱۳۰°C، ۱۴۰°C، ۱۵۰°C درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بهترین دما توسط ۱۵ نفر ارزیاب نیمه آموزش دیده انتخاب گردید.

تهیه کره

در این مرحله مغز بنه بو داده شده همراه با شکر و نمک (۰/۲ درصد) آسیاب گردید. خمیره شیرین حاصل، کره بنه نام دارد. امولسیون کننده و آنتی اکسیدان نیز در این مرحله به کره بنه اضافه شدند. بدین منظور آنتی اکسیدان ترشیری بوتیل هیدروکینون (TBHQ) بر اساس حد مجاز تعیین شده در استاندارد شماره ۵۶۹۱، از محصولات مجاز مصرف در صنایع غذایی، در تولید محصول مورد استفاده قرار گرفت و از آنجایی که محققین افزودن منوگلیسرید را به عنوان امولسیون کننده کننده برای پایداری بیشتر روغن پسته در مدت زمان نگهداری مفید دانسته‌اند، منوگلیسرید به عنوان امولسیون کننده استفاده شد. سپس برای تعیین درصد شکر مورد استفاده در فرمول کره بنه، مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد شکر در فرمول کره بنه استفاده شد و افراد ارزیاب‌ها بهترین تیمار را انتخاب کردند.

نام‌گذاری نمونه‌ها

برای سهولت در مقایسه و تحلیل نتایج حاصل از بررسی هر یک از نمونه‌های کره بنه، ۹ نمونه مورد آزمون به شرح زیر (جدول شماره ۱) نام‌گذاری شدند.

جدول ۱- نام گذاری نمونه‌ها

تیمار	درصد امولسیون کننده در کره بنه	درصد آنتی اکسیدان در کره بنه
کره بنه نوع اول (K1)	۱ درصد امولسیون کننده لسیتین	۰/۰۲ درصد آنتی اکسیدان TBHQ
کره بنه نوع اول (K2)	۲ درصد امولسیون کننده لسیتین	۰/۰۱ درصد آنتی اکسیدان TBHQ
کره بنه نوع اول (K3)	۱ درصد امولسیون کننده لسیتین	۰/۰۰ درصد آنتی اکسیدان TBHQ
کره بنه نوع اول (K4)	۰/۰۰ درصد امولسیون کننده لسیتین	۰/۰۱ درصد آنتی اکسیدان TBHQ
کره بنه نوع اول (K5)	۱ درصد امولسیون کننده لسیتین	۰/۰۱ درصد آنتی اکسیدان TBHQ
کره بنه نوع اول (K6)	۲ درصد امولسیون کننده لسیتین	۰/۰۲ درصد آنتی اکسیدان TBHQ
کره بنه نوع اول (K7)	۲ درصد امولسیون کننده لسیتین	۰/۰۰ درصد آنتی اکسیدان TBHQ
کره بنه نوع اول (K8)	۰/۰۰ درصد امولسیون کننده لسیتین	۰/۰۲ درصد آنتی اکسیدان TBHQ
کره بنه نوع اول (K9)	۰/۰۰ درصد امولسیون کننده لسیتین	۰/۰۰ درصد آنتی اکسیدان TBHQ

^۴ - Brookfield engineering, Middleton, USA

$$\tau = \tau_e + (\tau_0 - \tau_e)e^{-kt}$$

فرمول

که در آن τ_e تنش برشی تعادلی می باشد.

پارامترهای ارزیابی اعتبار مدل‌های رئولوژیکی

برای انتخاب بهترین و مناسب‌ترین مدل که بتواند رفتار مستقل از زمان نمونه‌های کره بنه را در تمامی دماها و سطوح امولسیون کننده و آنتی اکسیدان، به خوبی پیش بینی و توصیف نماید، از سه پارامتر آماری مهم و رایج استفاده گردید که عبارت بودند از:

الف) ضریب تبیین (R^2)

ضریب فوق هر چه بالاتر باشد، نشان دهنده‌ی همبستگی بیشتر میان مقادیر پیش بینی شده توسط مدل و مقادیر عددی حاصل از آزمایش می‌باشد.

ب) RMSE^{۱۰}

که به صورت زیر بدست می آید:

(فرمول ۳-۱۵)

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{\text{experimental}} - x_{\text{predictive}})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

که در آن n تعداد نقاط آزمایشی، x_{exp} مقادیر به دست آمده از آزمایش و x_{pred} مقادیر بدست آمده از مدل مورد نظر می باشند. عدد به دست آمده از این رابطه را باید بر میانگین داده های مشاهده شده در هر تیمار تقسیم نمود تا مقادیر نهایی RMSE حاصل گردد.

گفته می شود مقدار مناسب این پارامتر برای یک مدل کمتر از ۰/۱ می باشد. بدیهی است که هر چه این عدد به سمت صفر نزدیک تر باشد، نشان دهنده قابلیت بیشتر مدل مربوطه در پردازش داده های آزمایشی می باشد. RMSE پارامتر بسیار مناسبی است تا انحراف مقادیر به دست آمده از آزمایش تجربی را از مقادیر محاسبه شده توسط مدل ریاضی مربوطه نشان دهد.

مدل‌سازی خواص رئولوژیکی وابسته به زمان

به منظور مدل‌سازی رفتار وابسته به زمان کره بنه از سه مدل رئولوژیکی زیر استفاده گردید:

الف) مدل ولتمن^۵

این مدل در سال ۱۹۴۳ برای تعیین رفتار تیکسوتروپیک و آنتی تیکسوتروپیک مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفت:

$$\tau = A + B \ln(t) \quad (\text{فرمول ۳-۱۱})$$

τ تنش برشی (پاسکال)، t زمان اعمال برش و پارامترهای A (میزان تنش در زمان $t=1$) و B ، ثابت های معادله‌اند. با رسم منحنی τ در برابر $\log t$ ، خطی راست به دست می‌آید. شایان ذکر است که در مواد تیکسوتروپیک B مقداری منفی دارد و در مواد رئوپکتیک مثبت است.

ب) مدل سینتیکی ساختاری درجه اول بدون تنش تسلیم^۶

از این مدل برای بررسی رفتار وابسته به زمان سیالات غذایی در حالت بدون تنش تسلیم استفاده می‌شود. رابطه‌ی ریاضی آن به صورت زیر است:

$$\tau = \tau_0 e^{-kt} \quad (\text{فرمول ۳-۱۲})$$

که در آن t ، مدت زمان اعمال نیروی برشی، τ_0 مقدار اولیه ی تنش برشی، و k ، ثابت سرعت گسیختگی ساختاری^۷ می‌باشند.

ج) مدل سینتیکی ساختاری درجه اول با تنش تسلیم^۸

از این مدل برای بررسی رفتار وابسته به زمان سیالات غذایی در حالت دارای تنش تسلیم استفاده می‌شود. رابطه‌ی ریاضی آن به صورت زیر است:

^۵- Weltman model

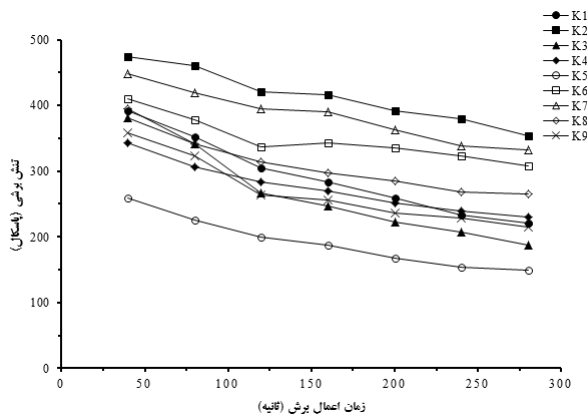
^۶- First-order stress decay, with a zero equilibrium value

^۷- Breakdown rate constant

^۸- First-order stress decay, with a non-zero equilibrium stress value

^۹- Determination coefficient

^{۱۰}- Root Mean Square Error



شکل ۲- نمودار زمان اعمال برش - تنش برشی در دمای ۴۵ °C

با بررسی شکل شماره ۱ و ۲ می‌توان دریافت که در تمامی نمونه‌ها، همراه با گذشت زمان میزان تنش برشی کاهش یافته است. در حقیقت نمونه‌ها رفتاری تیکسوتروپیک از خود نشان داده‌اند. همچنین با مقایسه این نمودارها در دو دمای ۲۵°C و ۴۵°C، به نظر می‌رسد که روند کاهش تنش در دمای ۴۵°C کاهش یافته است. این نکته مؤید این مطلب است که با افزایش دما تأثیرپذیری رفتار سیال از تنش برشی کاهش یافته است. با توجه به نتایج حاصل از این دو رئوگرام، جهت بررسی بیشتر خواص وابسته به زمان کره بنه از مدل‌های رئولوژیکی وابسته به زمان استفاده گردید.

ب) رئوگرام رفتار جریان

یادآوری می‌شود که جهت بررسی رفتار وابسته به زمان کره بنه، سه مدل رئولوژیکی وابسته به زمان انتخاب گردید و پس از پردازش داده‌های به دست آمده از دستگاه که در نتیجه اعمال سرعت برشی ثابت در مدت زمان معین ۵ دقیقه بود، سه مدل مذکور به کمک پارامترهای آماری مشخص با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. مقادیر پارامترهای آماری اندازه‌گیری شده برای هر یک از مدل‌های مورد بررسی، در جدول ۴-۱۸ آورده شده است.

ج) MRDM^{۱۱} یا %E

که به صورت زیر محاسبه می‌شود:
(فرمول ۳-۱۶)

$$\% E = \frac{100}{n} \times \sum \left| \frac{x_{exp} - x_{pred}}{x_{exp}} \right|$$

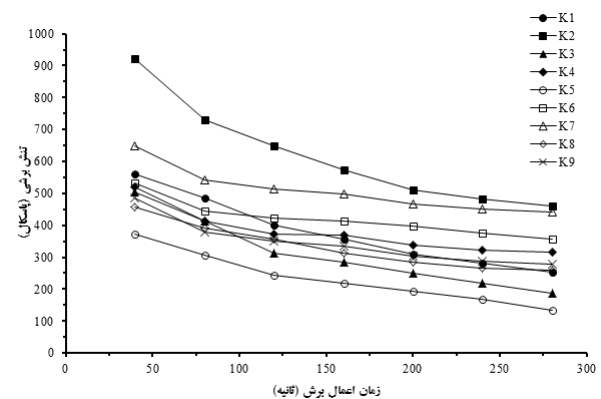
دامنه‌ی مناسب برای %E بین صفر تا پنج است و هر چه کمتر باشد، نشان می‌دهد که مقادیر پیشگویی شده توسط مدل مذکور انحراف کمتری از مقادیر واقعی دارد.

نتایج و بحث

بررسی رفتار وابسته به زمان

الف) رئوگرام رفتار جریان

برای بررسی رفتار وابسته به زمان نمونه‌های کره بنه، نمودار تنش برشی در برابر زمان اعمال برش در سرعت برشی ثابت ۱۵۰ s⁻¹ در دو دمای ۲۵°C و ۴۵°C ترسیم گردید (نمودارهای ۴-۱۳ و ۴-۱۴).



شکل ۱- نمودار زمان اعمال برش - تنش برشی در دمای ۲۵ °C

^{۱۱}- The percentage of Mean Relative Deviation Modulus

کره بنه نوع اول (K1)

در دمای 25°C ، مدل ولتمن، تنها مدلی است که توانایی پردازش داده‌ها را داشته است. و مقادیر پارامترهای R^2 و $E\%$ در آن، در محدوده مطلوب قرار دارند. مدل‌های کاهش استرس بدون تنش تسلیم و کاهش استرس با تنش تسلیم در این دما فاقد کارایی بودند. بررسی پارامترهای آماری در دمای 45°C نشان می‌دهد، مدل ولتمن مناسب‌ترین مدل برای پردازش داده‌ها می‌باشد. از طرفی پایین بودن میزان R^2 در مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم، این مدل را از شمول مدل‌های توانمند خارج می‌کند. همچنین میزان $E\%$ و $RMSE$ در مدل کاهش استرس با تنش تسلیم، خارج از محدوده مطلوب قرار دارند. لذا این مدل نیز توانایی پردازش داده‌ها را ندارد.

کره بنه نوع دوم (K2)

در این نمونه و در دمای 25°C ، با اینکه هر سه مدل توانسته‌اند توانایی خود را در پردازش داده‌ها نشان دهند، اما در این بین مدل کاهش استرس با تنش تسلیم در مقایسه با دو مدل دیگر مناسب‌ترین نتایج را از نظر پارامترهای اندازه‌گیری شده در بر داشته است. در دمای 45°C ، تنها مدل کارآمد، مدل ولتمن بوده است و سایر مدل‌ها نتوانسته‌اند داده‌های مربوط را پردازش کنند.

کره بنه نوع سوم (K3)

در این نوع از کره بنه و در دمای 25°C ، مدل‌های کاهش استرس بدون تنش تسلیم و کاهش استرس با تنش تسلیم توانایی پردازش داده‌ها را ندارند. و مدل ولتمن با دارا بودن مقادیر قابل قبول از R^2 و $E\%$ تنها مدلی است که توانمندی لازم را دارد. البته میزان $RMSE$ در مدل ولتمن بالاتر از حد مناسب قرار دارد.

در دمای 45°C ، مقادیر $RMSE$ و $E\%$ در مدل ولتمن بسیار مناسب بوده‌اند، لذا این مدل، بهترین مدل در پردازش داده‌ها می‌باشد. مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم به لحاظ پایین بودن مقدار R^2 توانمندی لازم

را ندارد. و در مدل کاهش استرس با تنش تسلیم، مقادیر $RMSE$ و $E\%$ خارج از محدوده مطلوب قرار دارند.

کره بنه نوع چهارم (K4)

بررسی پارامترهای آماری اندازه‌گیری شده در دمای 25°C نشان می‌دهد، مدل ولتمن به دلیل مقادیر مناسب آیت‌های اندازه‌گیری شده در این دما، بهترین مدل برای این نوع کره بنه می‌باشد. از میان دو مدل دیگر، در مدل کاهش استرس، با تنش تسلیم، مقدار $E\%$ در مقایسه با مدل ولتمن از میزان بیشتری برخوردار بود، لذا کارایی مدل ولتمن را نداشت. همچنین در مدل کاهش استرس، بدون تنش تسلیم هیچ کدام از پارامترهای آماری در دامنه مطلوب قرار ندارند. در دمای 45°C ، مدل کاهش استرس با تنش تسلیم، توانایی پردازش داده‌ها را نداشت. از میان دو مدل ولتمن و کاهش استرس بدون تنش تسلیم، مدل ولتمن به دلیل مطلوب بودن مقادیر دو پارامتر $RMSE$ و $E\%$ مناسب تشخیص داده شد.

کره بنه نوع پنجم (K5)

در این نمونه و در دمای 25°C ، تنها مدلی که قابلیت پردازش داده‌ها را آن هم با مقادیر قابل قبولی از R^2 و $E\%$ داشته است، مدل ولتمن بوده است. هر چند که میزان $RMSE$ در این مدل بالاتر از حد مناسب خود قرار گرفته است.

همچنین در دمای 45°C ، مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم به خاطر پایین بودن R^2 و مدل کاهش استرس با تنش تسلیم به دلیل خارج بودن $RMSE$ و $E\%$ از دامنه مطلوب خود، عملاً توانایی پردازش داده‌ها را نداشته‌اند؛ اما مقادیر پارامترهای مربوطه در مدل ولتمن همگی در بهترین مقدار خود قرار دارند. میزان بسیار پایین $RMSE$ و $E\%$ در این مدل حائز توجه است.

کره بنه نوع ششم (K6)

در دمای 25°C ، مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم به خاطر پایین بودن R^2 نمی‌تواند گزینه مناسبی باشد. از میان دو مدل ولتمن و کاهش استرس با تنش تسلیم، هر

کاهش استرس با تنش تسلیم، توانایی در پردازش داده‌ها را نداشت.

کره بنه نوع نهم (K9)

مقایسه پارامترهای آماری اندازه‌گیری شده برای مدل‌های سه گانه در کره بنه نوع نهم و در دمای 25°C ، نشان می‌دهد، هر سه پارامتر R^2 ، RMSE و %E در مدل ولتمن از مقادیر قابل قبولی برخوردار هستند. در حالی که در مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم هیچ یک از پارامترهای آماری در دامنه مناسبی قرار ندارند. همچنین در مدل کاهش استرس با تنش تسلیم مقدار %E در مقایسه با مدل ولتمن بالاتر می‌باشد که نشان برتری مدل ولتمن در پردازش داده‌ها نسبت به مدل مذکور است.

در دمای 45°C ، مدل کاهش استرس با تنش تسلیم فاقد هر گونه توانایی در پردازش داده‌ها بوده است. از میان دو مدل ولتمن و کاهش استرس بدون تنش تسلیم، اگرچه میزان R^2 در مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم نسبت به ولتمن بالاتر است، اما با دقت در مقادیر سایر پارامترهای محاسبه شده، مشاهده می‌گردد که در مدل ولتمن دو پارامتر RMSE و %E در دامنه مطلوب‌تری قرار دارند. بنابراین در این تیمار نیز مدل ولتمن به عنوان مناسب‌ترین مدل ارزیابی می‌گردد.

نتیجه‌گیری

برای بررسی رفتار وابسته به زمان کره بنه، منحنی‌های تنش برشی - زمان برای نمونه‌های مختلف در دو دمای 25°C و 45°C ترسیم شد. جهت توصیف داده‌های حاصل از سه مدل ولتمن، سینتیکی ساختاری درجه اول بدون تنش تسلیم و سینتیکی ساختاری درجه اول با تنش تسلیم استفاده شد. آنالیز آماری داده‌های مربوطه نشان داد که مدل ولتمن بهترین مدل برای توصیف رفتار وابسته به زمان کره بنه می‌باشد.

چند که مقادیر هر سه پارامتر خیلی به هم نزدیک هستند، اما به لحاظ اهمیت بیشتر R^2 و RMSE که در مدل ولتمن مناسب تراند، به نظر می‌رسد این مدل گزینه مناسب‌تری باشد.

در دمای 45°C ، هر سه پارامتر آماری R^2 ، RMSE و %E در مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم خارج از محدوده مطلوب قرار داشتند. در خصوص دو مدل دیگر، باید عنوان نمود به جز %E، در سایر موارد مدل کاهش استرس با تنش تسلیم نتایج مناسب‌تری را در بر داشته است.

کره بنه نوع هفتم (K7)

در دمای 25°C ، تنها مدلی که قابلیت پردازش داده‌ها را داشته است، مدل ولتمن بوده است و دو مدل دیگر فاقد کارایی بوده‌اند.

همچنین در دمای 45°C ، هر سه مدل توانایی مناسبی در پردازش داده‌ها داشته‌اند، هر چند میزان R^2 در مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم کمی پایین است. از میان دو مدل ولتمن و کاهش استرس با تنش تسلیم، دومی در تمامی پارامترهای مورد بررسی، کارایی بیشتری را در پردازش داده‌ها از خود نشان می‌دهد.

کره بنه نوع هشتم (K8)

در دمای 25°C ، مدل ولتمن به دلیل مقادیر مناسب پارامترهای مورد اندازه‌گیری به عنوان مدل مناسب تشخیص داده شد. تمامی پارامترهای آماری در مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم، خارج از دامنه مطلوب قرار دارند، لذا این مدل فاقد کارایی لازم می‌باشد. و مدل کاهش استرس با تنش تسلیم به دلیل بالا بودن مقدار %E، بعد از مدل ولتمن قرار می‌گیرد.

همچنین در دمای 45°C ، بالاترین میزان R^2 متعلق به مدل کاهش استرس بدون تنش تسلیم می‌باشد. ولی مدل ولتمن به دلیل مناسب بودن دو پارامتر دیگر، بازهم به عنوان مناسب‌ترین مدل تشخیص داده شد. در ضمن مدل

جدول ۲- مقادیر پارامترهای آماری اندازه‌گیری شده در سه مدل وابسته به زمان

۴۵ درجه سانتی گراد			۲۵ درجه سانتی گراد			نام مدل		نوع نمونه
%E	RMSE	R2	%E	RMSE	R2			
۰/۳۰۱	۰/۰۰۴۰۲۱	۰/۹۹۸	۱/۳۲۰	۰/۰۱۳۴۳۱	۰/۹۹۶	ولتمن		کره بنه نوع اول (K1)
۲/۴۰۰	۰/۰۳۱۷۲	۰/۸۵۳	-	-	-	کاهش استرس، بدون تنش تسلیم		
۲۳/۲۴۱	۰/۲۳۴۸۱۱	۰/۹۸۰	-	-	-	کاهش استرس، با تنش تسلیم		کره بنه نوع دوم (K2)
۰/۷۲۱	۰/۰۰۸۸۱۲	۰/۹۹۷	۸/۵۲۱	۰/۰۹۴۷۰۱	۰/۹۴۱	ولتمن		
-	-	-	۲/۴۳۲	۰/۰۳۰۱۲۱	۰/۹۶۴	کاهش استرس، بدون تنش تسلیم		کره بنه نوع سوم (K3)
-	-	-	۱/۳۴۹	۰/۰۱۸۲۸۱	۰/۹۷۹	کاهش استرس، با تنش تسلیم		
۰/۳۳۲	۰/۰۰۴۱۰۴	۰/۹۹۸	۱/۵۱۰	۰/۰۱۵۶۳۷	۰/۹۹۴	ولتمن		کره بنه نوع چهارم (K4)
۲/۴۵۰	۰/۳۲۳۳	۰/۸۶۲	-	-	-	کاهش استرس، بدون تنش تسلیم		
۲۲/۷۵۸	۰/۲۳۰۰۰۲	۰/۹۸۹	-	-	-	کاهش استرس، با تنش تسلیم		کره بنه نوع پنجم (K5)
۰/۸۴۰	۰/۰۱۲۱۳۹	۰/۹۴۰	۰/۵۴۱	۰/۰۴۹۶۵۴	۰/۹۶۹	ولتمن		
۳/۱۶۸	۰/۰۳۳۱۶۷	۰/۹۵۱	۷/۳۸۹	۰/۲۲۶۶۲	۰/۸۲۸	کاهش استرس، بدون تنش تسلیم		کره بنه نوع ششم (K6)
-	-	غ.ق.ق	۴/۹۶۹	۰/۵۱۷۰۹	۰/۹۶۴	کاهش استرس، با تنش تسلیم		
۰/۳۶۲	۰/۰۰۴۱۸۶	۰/۹۹۷	۱/۶۸۰	۰/۱۷۸۴۳	۰/۹۹۲	ولتمن		کره بنه نوع هفتم (K7)
۲/۵۰۰	۰/۰۳۲۹۳	۰/۸۷۱	-	-	-	کاهش استرس، بدون تنش تسلیم		
۲۲/۲۷۵	۰/۲۲۵۱۹۳	۰/۹۸۸	-	-	-	کاهش استرس، با تنش تسلیم		کره بنه نوع هشتم (K8)
۱/۸۱۰	۵/۵۳۶	۰/۹۷۵	۱/۱۴۷	۰/۰۱۲۳۲۸	۰/۹۸۷	ولتمن		
۵/۷۶۳	۲۳/۴۳۰	۰/۸۷۵	۴/۰۵۴	۰/۰۵۳۴۶۲	۰/۸۳۹	کاهش استرس، بدون تنش تسلیم		کره بنه نوع نهم (K9)
۲/۴۳۸	۸/۷۴۹	۰/۹۷۹	۱/۰۲۳	۰/۰۱۳۴۴	۰/۹۸۵	کاهش استرس، با تنش تسلیم		
۰/۶۹۸	۰/۰۰۹۴۸۵	۰/۹۸۶	۱/۶۵۰	۰/۰۱۷۱۷۱	۰/۹۹۳	ولتمن		کره بنه نوع دهم (K10)
۲/۲۴۱	۰/۰۲۶۸۴۱	۰/۹۳۳	-	-	-	کاهش استرس، بدون تنش تسلیم		
۰/۷۸۱	۰/۰۰۷۶۵۰	۰/۹۸۹	-	-	-	کاهش استرس، با تنش تسلیم		کره بنه نوع یازدهم (K11)
۰/۸۵۷	۰/۰۱۲۸۴۳	۰/۹۳۵	۳/۶۶۲	۰/۰۵۰۱۵۷	۰/۹۶۷	ولتمن		
۳/۱۲۵	۰/۰۳۳۶۴۸	۰/۹۴۶	۷/۲۷۴	۰/۰۱۰۸۷۷	۰/۸۳۳	کاهش استرس، بدون تنش تسلیم		کره بنه نوع دوازدهم (K12)
-	-	غ.ق.ق	۴/۹۹۶	۰/۰۵۱۲۸۸	۰/۹۶۰	کاهش استرس، با تنش تسلیم		
۰/۰۸۲۳	۰/۰۱۱۴۳۶	۰/۹۴۵	۳/۴۲۱	۰/۰۴۹۱۵۱	۰/۹۷۱	ولتمن		کره بنه نوع سیزدهم (K13)
۳/۲۱۱	۰/۰۳۲۶۸۶	۰/۹۵۶	۷/۵۰۳	۰/۱۱۷۸۵	۰/۸۲۳	کاهش استرس، بدون تنش تسلیم		
-	-	-	۴/۹۴۳	۰/۰۵۲۱۳۰	۰/۹۶۸	کاهش استرس، با تنش تسلیم		

منابع مورد استفاده

- امیری نسب سرابی س، ۱۳۹۲، تهیه فرمولاسیون و ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی کره پسته وحشی (کره بنه)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- میلانی ا، حداد خداپرست م ح، بقایی ه و بلوریان ش، ۱۳۸۶، بررسی کاربرد روغن پسته وحشی (بنه) در صنایع غذایی و دارویی، هفدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، ارومیه.
- Benhammou N, Bekkara F A and Panovska T K, 2008. Antioxidant and Antimicrobial activities of the *Pistacia lenticus* and *Pistacia atlantica* extracts. *African Journal Pharm Pharmacol* 2:8-22.
- Camile Z, Branco G F, Alamed J and Decker E A, 2011. Correlation between sensory and chemical markers in the evaluation of Brazil nut oxidative shelf-life. *European Food Research Technolgy* 233:109-116.
- Guillaume P C, Carreau P J and Moan M, 2001. Rheological properties of peanut butter. *Journal of Rheological* 40:86-96.
- Razavi S M A, Taghizadeh M and Shaker Ardekani A, 2010. Modeling the Time-Dependent Rheological Properties of Pistachio Butter. *International Journal Nuts Related Science* 1:38-45.
- Sedaghat N, and Tavakoli J, 2011. The evaluation of the quality properties of *pistacia atlantica varmutica* (bene) nuts under different storage conditions and packagings. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 7:17-26.
- Sedaghat N, and Tavakoli J, 2011. The evaluation of the quality properties of *pistacia atlantica varmutica* (bene) nuts under different storage conditions and packagings. *Iran Food Science Technology Research Journal* 7:17-26.
- Shakerardakani A, Shahedi M and Kabir G, 2009. Optimizing formulation of pistachio butter production. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 47:49-60.
- Sharif A, Farhoosh R, Haddad Khodaparast M H and TavassoliKafrani M H, 2009. Antioxidant activity of bene hull oil compared with sesame and rice bran oils during the frying process of sunflower. *Journal of Food Lipids* 16:394-406.

Study on time-dependent rheological behavior of bene butter (*Pistacia atlantica*)

S Amirinasab Sarabi¹ and M H Haddad Khodaparast²

Received: November 09, 2013 Accepted: August 06, 2014

¹MSc Graduated Student, Department of Food Science and Technology, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

²Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

*Corresponding author: Email: saeed.sarabii@gmail.com

Abstract

Bene butter is a paste form product that contains mainly milled, roasted bene kernel with sugar. This product has suitable nutritional properties and knowing about its rheological characteristics can be useful for producers. In this investigation, time-dependent flow properties of bene butter were determined using three different models such as Weltman, first-order shear stress decay with zero equilibrium stress value and first-order shear stress decay with a non-zero equilibrium stress value. For this reason, for evaluating the correlation between shear stress and time of shearing in a constant rate (150 s^{-1}), samples at two different temperatures (25°C and 45°C) were evaluated for 10 min. Shear stress vs. time of shearing data were then assessed using the three models. R^2 , RMSE and %E were applied to choose the best model and among these models the Weltman model was the best fitted to experimental data. It was found that pistachio butter exhibits a thixotropic behavior and its apparent viscosity decreases with increasing the time of shearing.

Keywords: Bene butter, Rheological behavior, Thixotropic, Time-dependent, Weltman model