

بررسی اثر جایگزینی آرد سورگوم بر رفتار فارینوگرافی و ویسکوالاستیک خمیر آرد گندم

هادی باقری^۱ - محبت محبی^۲ - آرش کوچکی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۲۰

چکیده

در این تحقیق، اثر جایگزینی آرد سورگوم (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) با آرد گندم بر رفتار ویسکوالاستیک و فارینوگرافی خمیر مورد بررسی قرار گرفت. ثابت‌های مربوط به مدل پلگ-نورمند و درصد رهایی تنش (%SR) برای متغیرهای مورد نظر محاسبه شد و همبستگی بین خصوصیات فارینوگرافی و پارامترهای آزمون رهایی تنش مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش نسبت جایگزینی آرد سورگوم، باعث افزایش مقدار نیروی اولیه (F₀)، درصد رهایی تنش (%SR) و شاخص مقاومت به مخلوط شدن شد. این در حالی است که میزان جذب آب، ثبات خمیر و پارامترهای مدل پلگ-نورمند (K₁ و K₂) با افزایش سطح جایگزینی آرد سورگوم کاهش یافت. بررسی نتایج همبستگی نشان داد که بین پارامترهای جذب آب، ثبات خمیر و K₁ و K₂ همبستگی مثبت و بالایی وجود داشت. بین درصد رهایی تنش (%SR)، شاخص مقاومت به مخلوط شدن و نیروی اولیه (F₀) نیز همبستگی مثبتی برقرار بود. با افزایش سطح جایگزینی آرد سورگوم، رفتار رئولوژیکی خمیر مبین رفتار ویسکوالاستیک شبه مایع بود. برازش داده‌های تجربی با مدل پلگ نورمند نشان دهنده کارایی این مدل برای برازش داده برای کرنش‌های بالا (۲۰ درصد) می‌باشد (R²= ۰/۹۹).

واژه‌های کلیدی: آزمون رهایی تنش، خمیر گندم، رفتار ویسکوالاستیک، مدل پلگ-نورمند

مقدمه

داشتن اطلاعات درباره خصوصیات رئولوژیکی و ویسکوالاستیکی خمیر می‌تواند به منظور پیش‌بینی کاربرد آرد گندم در محصولات مختلف و همچنین کیفیت نهایی محصول مورد نظر مورد استفاده قرار گیرد. آزمون رهایی تنش یکی از مقبول‌ترین روش‌های تعیین رفتار رئولوژیکی و ویسکوالاستیکی خمیر می‌باشد، زیرا به سادگی و با استفاده از دستگاه‌های بافت سنج قابل سنجش و اندازه‌گیری است (Sandoval et al., 2009).

این آزمون به‌طور گسترده‌ای برای بررسی خواص ویسکوالاستیک مواد غذایی به کار می‌رود. در این آزمون نمونه تحت یک تغییر شکل سریع و از پیش تعیین شده قرار می‌گیرد، سپس مقادیر تنش به عنوان تابعی از زمان در یک تغییر شکل ثابت اندازه‌گیری می‌شود (Sahin et al., 2000; Yadav et al., 2006). اندازه و سرعت کاهش تنش پس از اعمال کرنش مورد نظر وابسته به ساختار ملکولی ماده غذایی و مقدار کرنش اعمال شده است. معمولاً مقدار تنش باقیمانده بعد از سپری شدن زمان آزمون در مواد

ویسکوالاستیک جامد عددی بزرگتر از صفر می‌باشد، در حالی که در مواد ویسکوالاستیک مایع مقدار تنش باقیمانده برابر صفر است.

Rao و همکاران (۲۰۰۰) به منظور بررسی خواص ویسکوالاستیکی خمیر نان گندم از آزمون رهایی تنش استفاده کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که خمیر تهیه شده از آرد قوی (دارای پروتئین بالاتر) نسبت به خمیر تهیه شده از آرد ضعیف دارای مدول رهایی بزرگتری است. این محققان بیان داشتند که هر چه قدر مدول رهایی بیشتر باشد، به همان نسبت خمیر از کیفیت مناسب تری برخوردار است.

Li و همکاران (۲۰۰۳) رفتار رهایی تنش خمیر و گلوتن و فراکسیون‌های پروتئین آرد مورد استفاده برای بیسکوئیت و نان را مورد مطالعه قرار دادند. این پژوهشگران عنوان کردند که براساس توزیع اندازه ملکولی در خمیر، دو فرایند رهایی تنش برای هر خمیر وجود دارد که در زمان‌های اولیه یک پیک بزرگ و زمان‌های بعدی یک پیک کوتاه دیده می‌شود. اما فراکسیون‌های گلوتن تنها یک فرایند رهایی را از خود به نمایش می‌گذارند. رفتار ویسکوالاستیک خمیر آرد گندم و چندین محصول تجاری مانند سوسیس، پنیر و ژله با استفاده از آزمون رهایی تنش توسط Singh و همکاران (۲۰۰۶) مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که مدل پلگ^۵ دارای

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشجویان گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* نویسنده مسئول: (Email: koocheki@um.ac.ir)

مواد و روش ها

مواد

آماده سازی نمونه ها

آرد گندم با درجه استخراج ۷۶ از کارخانه سپید طوس تهیه شد. به منظور تهیه آرد سورگوم، دانه های سورگوم از بازار محلی مشهد تهیه و با استفاده از دستگاه آسیاب آزمایشگاهی، آسیاب و با کمک الک ۰/۴ میلی متر آرد مورد نظر تهیه گردید. نمونه های خمیر به کمک یک قالب به شکل دایره ای با قطر ۲۸ میلی متر درآمده و پس از ۱۵۰ ثانیه تحت آزمون رهایی تنش قرار گرفتند.

روش ها

آزمون رهایی تنش

برای انجام آزمون رهایی تنش از دستگاه بافت سنج (Model: UK, QTS Brookfield) استفاده شد. برای اندازه گیری رهایی تنش، گلوله خمیر آماده شده روی صفحه آزمون دستگاه قرار گرفته و با پروب استوانه ای ۲۵ میلی متری آزمون اجرا شد. آزمایشات بدین صورت بود که هر نمونه خمیر با سرعت ثابت ۱۰ میلیمتر بر دقیقه توسط پروب دستگاه تحت فشار محوری قرار گرفت بعد از اینکه نمونه ها به تغییر شکل معین (کرنش ۲۰٪) رسیدند، دستگاه با ثابت نگه داشتن مقدار تغییر شکل ایجاد شده در نمونه، مقدار نیروی متناظر با آن (نیروی اعمال از سمت خمیر به پروب دستگاه) را به مدت ۱۰۰ ثانیه ثبت و منحنی نیرو بر حسب زمان رسم شد. در این آزمون اثر نسبت جایگزینی آرد سورگوم در پنج سطح و کرنش ثابت (۲۰٪) بر ویژگی های منحنی رهایی تنش، به عنوان مشخصه ای از ویژگی های ویسکوالاستیک خمیر مورد بررسی قرار گرفت.

مدلسازی رفتار رهایی تنش

برای بررسی ویژگی ویسکوالاستیک خمیر نان و محاسبه زمان رهایی تنش این محصول، سه مدل عمومی رهایی تنش به نام های مدل ماکسول تعمیم یافته، پلگ و ناسینوویچ مورد استفاده محققین قرار گرفته است (Guo et al., 1999; Bhattacharya et al., 2006; Campus et al., 2010). براساس نتایج انتشار یافته از میان این سه مدل مکانیکی، مدل ماکسول تعمیم یافته با بهترین شرایط خواص ویسکوالاستیک خمیر را پیش بینی نموده و برازش خوبی با داده های آزمایشگاهی نشان داده است (Vozary et al., 2007; Hassan et al., 2004). مدل ماکسول با وجود تمام مزایا، چند مشکل اساسی دارد. اولاً اینکه مدل ماکسول بزرگی و تاریخچه زمان اعمال کرنش را در نظر نمی گیرد، ثانیاً آنالیز ریاضی مدل ماکسول ساده نبوده و اغلب با خطا مواجه است. (Peleg et al., 1983). براساس مطالعات صورت گرفته توسط محققین مشخص شد که در کرنش های پائین (در دامنه ویسکوالاستیک خطی)، رفتار خمیر مواد غذایی را می توان به خوبی با

حساسیت پائینی در ارتباط با طبیعت ویسکوالاستیک مواد است و باید هنگام استفاده از این مدل دقت بیشتری به خرج داد. سه مدل عمومی به نام های مدل ماکسول تعمیم یافته، پلگ-نورمند^۱ و ناسینوویچ^۲ برای بررسی رفتار ویسکوالاستیکی ارقام مختلف خرما در طی مرحله رسیدن توسط Hassan و همکاران (۲۰۰۵) مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج کار این پژوهشگران نشان داد که هر سه مدل به کار رفته برای برازش داده ها از اعتبار بالایی برخوردار بودند، اما مدل ماکسول تعمیم یافته برازش داده ها را با دقت بالاتری انجام می داد. سورگوم به عنوان یک غله کلیدی در کشورهای در حال توسعه به خصوص در مناطق خشک و نیمه گرم سیری مطرح است (Duodu et al., 2003; Elkhalfi et al., 2007).

دانه سورگوم به لحاظ ارزش تغذیه ای معادل ارزن، ذرت، گندم و برنج است و از لحاظ خصوصیات فیزیکی مشابه آرد گندم می باشد (Awika et al., 2004). از این رو در تولید فراورده های نانوائی می توان از سورگوم به عنوان جایگزین آرد گندم استفاده نمود. Abdelghafor و همکاران (۲۰۱۱) اثر جایگزینی آرد سورگوم بر پخت، خصوصیات فیزیکی و ارگانولپتیکی نان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان سورگوم حجم نان و میزان چسبندگی خمیر به طور معنی داری کاهش یافت. با افزایش آرد سورگوم رنگ نمونه ها تیره تر گردید. خصوصیات فارینوگرافی خمیر حاوی آرد سورگوم نشان داد که با افزایش جایگزینی آرد سورگوم، میزان جذب آب، زمان توسعه خمیر و زمان پایداری خمیر کاهش یافت (Yousif et al., 2012). از آنجا که پروتئین ها نقش عمده ای در کیفیت نهایی نان دارند، جایگزینی آرد گندم با آرد سایر غلات یا حبوبات بر خصوصیات رئولوژی و ویسکوالاستیکی خمیر آرد جایگزین شده تاثیر گذاشته، در نتیجه بر کیفیت محصول نهایی اثر می گذارد (Sathe et al., 1981; Eliasson et al., 1990; Singh et al., 1990). علی رغم اهمیت بررسی رفتار ویسکوالاستیک خمیر، تاکنون تحقیقی در ارتباط با ویژگی های رئولوژیکی خمیر تهیه شده از مخلوط آرد گندم- سورگوم، انجام نشده است.

بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی اثر جایگزینی آرد سورگوم بر رفتار رئولوژیکی و ویسکوالاستیکی خمیر با استفاده از آزمون های فارینوگرافی و رهایی تنش و برازش داده های رهایی تنش با مدل پلگ-نورمند می باشد. از اهداف دیگر این مطالعه می توان به بررسی امکان به کارگیری نتایج حاصل از پارامتر های ویسکوالاستیکی به جای نتایج حاصل از داده های فارینوگرافی برای بررسی کیفیت خمیر مورد نظر اشاره کرد.

- 1- Generalized Maxwell model
- 2- Peleg-Normand
- 3- Nussinovitch

این مقاله میزان جذب آب، ثبات خمیر و شاخص مقاومت به مخلوط شدن بود.

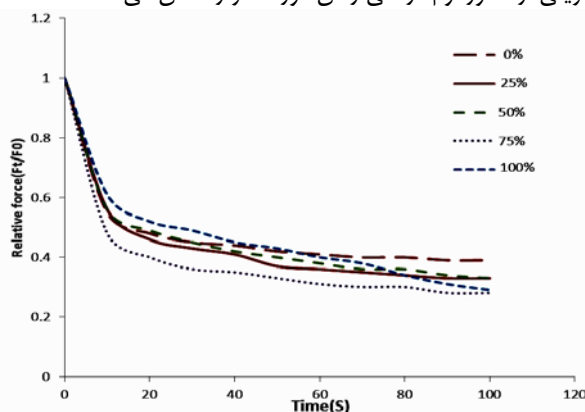
تجزیه و تحلیل داده ها

پس از به دست آوردن داده های تنش-زمان، مدل پلگ-نورمند (رابطه ۱) بر داده های حاصل از آزمایش برآزش و ثابت های مربوط به مدل استخراج شد. برآزش مدل بر روی داده های تجربی توسط نرم افزار آماری اکسل انجام گرفت. برای تعیین ثابت های مربوط به مدل رتولوژیکی پلگ-نورمند از روش آنالیز رگرسیون خطی استفاده شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت های اختلاط آرد گندم و آرد سورگوم (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) در سه تکرار بود. جهت آنالیز و مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن (سطح ۹۵ درصد) با استفاده از نرم افزار SPSS و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر جایگزینی آرد سورگوم بر مقدار نیروی نسبی

ویژگی های ویسکوالاستیک بسیاری از مواد غذایی را می توان با استفاده از آزمون رهایی تنش مورد مطالعه قرار داد. داده های حاصل از آزمون رهایی تنش خمیر، ابتدا با استفاده از مدل پلگ-نورمند برآزش داده شد و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شکل ۱ منحنی رهایی تنش در خمیر آرد گندم با نسبت های مختلف جایگزینی آرد سورگوم در طی زمان مورد نظر را نشان می دهد.



شکل ۱- منحنی رهایی تنش در خمیر با نسبت های مختلف

جایگزینی آرد سورگوم

در ۱۰ ثانیه ابتدای بعد از اعمال کرنش مقدار نیروی نسبی^۶ به طور سریع برای تمام نمونه ها کاهش یافت که این کاهش سریع نشان دهنده عکس العمل مواد برای حفظ کرنش اعمال شده است. برای بسیاری از مواد ویسکوالاستیک، پس از ایجاد یک کرنش ثابت، یک کاهش نیرو به منظور حفظ کرنش ایجاد شده ضروری و قابل

مدل های مکانیکی مانند فنر^۱ و ضربه گیر^۲ (ماکسول و مدل ماکسول تعمیم یافته) تخمین زد (Mohsenin et al., 1977). این در حالی است که در کرنش های بالا (در دامنه ویسکوالاستیک غیر خطی) مدل های دو پارامتری پلگ و نورمند برای تفسیر داده های رهایی تنش مناسب ترند و با دقت بالاتری می تواند داده های آزمایشگاهی را مورد برآزش قرار دهند (Peleg et al., 1983). از طرفی برآزش داده ها با مدل پلگ نورمند یک روش سریع و موثر برای ارزیابی داده های رهایی تنش محسوب می شود (Steffe., 1996). معادله (۱) مدل دوپارامتری پلگ و نورمند را نشان می دهد:

$$(F_0t)/(F_0-F(t))=K_1+K_2t \quad (1)$$

که F_0 نیروی اولیه (میلی گرم)، $F(t)$ نیروی لحظه ای در هر زمان (میلی گرم) و K_1 (ثانیه) و K_2 (بدون واحد) ثابت های معادله اند. مقدار K_1 و K_2 از روی شیب و عرض از مبدا نمودار نرمال شده نیرو و زمان با استفاده از رگرسیون خطی^۳ بدست می آید. نمودار نرمال شده نیرو و زمان عبارت است از مدل دوپارامتری پلگ و نورمند که به صورت نمودار نیرو و زمان درآمده است و اصولاً منظور از نیرو نرمال شده همان عبارت اول مدل پلگ-نورمند است.

نیروی نسبی^۴ نیز برای داده ای تجربی از طریق معادله (۲) مورد محاسبه قرار گرفت که F_0 نیروی اولیه (میلی گرم) و $F(t)$ نیروی لحظه ای در هر زمان (میلی گرم) می باشد.

$$RF=F(t)/F_0 \quad (2)$$

درصد رهایی تنش را می توان (%SR)^۵ با استفاده از معادله (۳) محاسبه نمود.

$$\%SR=(F_0-F_{t=20})/(F_0)*100 \quad (3)$$

که F_0 (نیروی اولیه لازم برای ایجاد کرنش ثابت مورد نظر در زمان صفر) و $F_{t=20}$ نیرو در ثانیه بیستم از شروع اعمال کرنش می باشد.

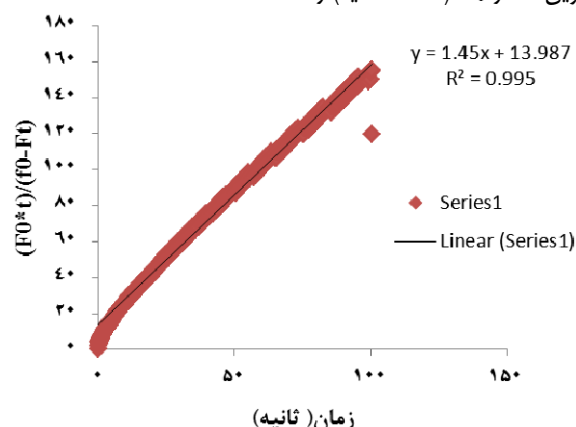
اندازه گیری خصوصیات فارینوگرافی

به منظور بررسی خصوصیات فارینوگرافی، از دستگاه فارینوگراف برابندر استفاده شد که به این منظور آرد گندم و آرد سورگوم با نسبت های مختلف به مخزن دستگاه اضافه شد. سپس مقدار آب مصرفی جهت رسیدن خمیر به قوام ۵۰۰ واحد برابندر (BU)، تحمل خمیر نسبت به اختلاط پس از ۵ دقیقه و پایداری خمیر طبق روش استاندارد AACC، ۲۰۱۰ شماره ۲۱/۰۱-۵۴ از روی منحنی های رسم شده توسط دستگاه محاسبه شد. پارامترهای اندازه گیری شده در

- 1- Spring
- 2- Dashpot
- 3- Linear regression
- 4- Relative force
- 5- Percentage stress relaxation

6 Relative force

کمترین مقدار K_1 (۵/۹۹ ثانیه) و نمونه حاوی ۱۰۰ آرد گندم (شاهد) بالاترین مقدار K_1 (۱۳/۹۳ ثانیه) را داشت.



شکل ۲- نمونه ای از داده های برازش داده شده با مدل پلگ-نورمند (نمونه فاقد آرد سورگوم)

معکوس مقدار K_1 در مدل پلگ-نورمند، نشان دهنده اندازه و نرخ کاهش نیروی اولیه^۲ است. از این رو افزایش مقدار K_1 باعث کاهش توانایی خمیر برای حفظ تنش ناشی از اعمال کرنش می شود. با افزایش سطح جایگزینی و کاهش مقدار K_1 ، خمیر توانایی کمتری برای حفظ تنش ناشی از اعمال کرنش از خود نشان داد. بنابراین، مقدار تنش باقیمانده در خمیر با افزایش درصد جایگزینی کمتر شد و خمیر رفتار ویسکوالاستیک متمایل به شبه مایع از خود به نمایش گذاشت.

جدول ۱- اثر نسبت های مختلف جایگزینی آرد سورگوم بر پارامترهای به دست آمده از برازش مدل پلگ-نورمند بر داده های آزمون رهایی تنش خمیر

سورگوم	F_0	K_1	K_2	R^2
صفر	1.0 ± 0.13^d	13.93 ± 1.4^a	$1/45 \pm 0.103^a$	۰/۹۹۸
۲۵	12 ± 0.11^d	10.22 ± 2.13^b	$1/40 \pm 0.13^b$	۰/۹۹۷
۵۰	16 ± 0.11^c	10.07 ± 0.4^b	$1/39 \pm 0.103^b$	۰/۹۹۶
۷۵	30 ± 0.12^b	6.74 ± 0.16^c	$1/35 \pm 0.1005^c$	۰/۹۹۸
۱۰۰	67 ± 0.12^a	5.99 ± 0.19^c	$1/34 \pm 0.103^c$	۰/۹۹۸

* اعداد دارای حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده معنی داری در سطح $P < 0.05$ می باشد

Wu و همکاران (۲۰۱۲) نیز به نتایج مشابهی در ارتباط با مقدار K_1 در اثر افزودن سیوس گندم دست یافتند. این محققان عنوان کردند که افزایش مقدار سیوس گندم باعث کاهش K_1 شد. با افزایش مقادیر آرد سورگوم، K_2 نیز کاهش یافت به طوری که بالاترین مقدار K_2 مربوط به نمونه حاوی صفر درصد سورگوم و پایین ترین مقدار K_2 مربوط به نمونه ۱۰۰ درصد آرد سورگوم بود. مقدار K_2 نشان دهنده درجه استحکام و به هم پیوستگی خمیر است (Wu et al.,

مشاهده است (Wu et al., 2012). مقدار نیروی باقیمانده نسبی^۱ برای خمیر در حین آزمون رهایی تنش با افزایش نسبت جایگزینی آرد سورگوم کاهش یافت که نشان دهنده رفتار ویسکوالاستیکی متمایل به شبه مایع در خمیرهای با درصد جایگزینی بالا است. این در حالی است که خمیر با سطح جایگزینی پائین تمایل کمتر به رفتار شبه مایع از خود به نمایش گذاشت. این امر احتمالاً به دلیل کاهش الاستیسیته ناشی از کاهش میزان پروتئین گلوتن بوده است.

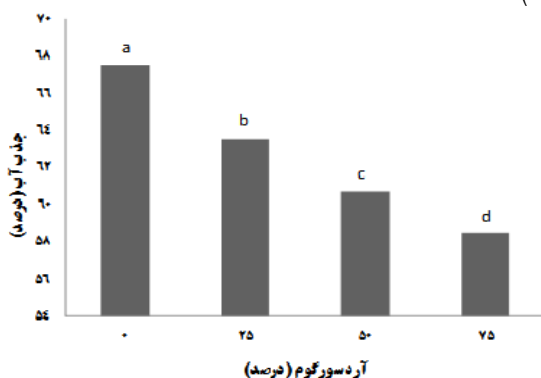
اثر جایگزینی آرد سورگوم بر مقدار نیروی اولیه

مقدار نیروی اولیه (F_0)، نیروی لازم برای ایجاد کرنش ثابت در زمان صفر) با افزایش درصد جایگزینی آرد سورگوم افزایش یافت به طوری که آرد حاوی ۱۰۰ درصد سورگوم، بالاترین مقدار F_0 و نمونه شاهد (۱۰۰ آرد گندم) کمترین F_0 برای اعمال کرنش ثابت را داشتند (جدول ۱). این امر به این معنی است که افزایش درصد جایگزینی آرد سورگوم باعث سفت شدن خمیر می شود. پروتئین گلوتن نقش عمده ای در ایجاد خواص ویسکوالاستیک در خمیر نان دارد و مهمترین عامل در ایجاد ویژگی کشش پذیری و خاصیت الاستیک خمیر می باشد (Zhu et al., 2001). بنابراین، افزایش سطح جایگزینی آرد سورگوم باعث ایجاد فاصله بین شبکه های گلوتن شده و خاصیت کشش پذیری را کاهش می دهد. این امر باعث سفت شدن خمیر و افزایش نیروی اولیه مورد نیاز برای ایجاد کرنش مورد نظر می گردد. نتایج تحقیق Duodu و همکاران (۲۰۰۳)، نشان داد که گرانول های نشاسته سورگوم به صورت پک های سفت و محکم هستند و به وسیله ماتریکسی از پروتئین ها احاطه شده اند. بنابراین افزایش جایگزینی آرد سورگوم باعث افزایش مقدار F_0 گردید. Wu و همکاران (۲۰۱۲) عنوان کردند که با افزایش سطح جایگزینی سیوس گندم، مقدار F_0 مورد نیاز برای ایجاد کرنش مورد نظر افزایش یافت. نامبردگان دلیل این امر را به دلیل کاهش میزان آب آزاد و سخت بودن ساختار ذاتی سیوس ذکر کردند.

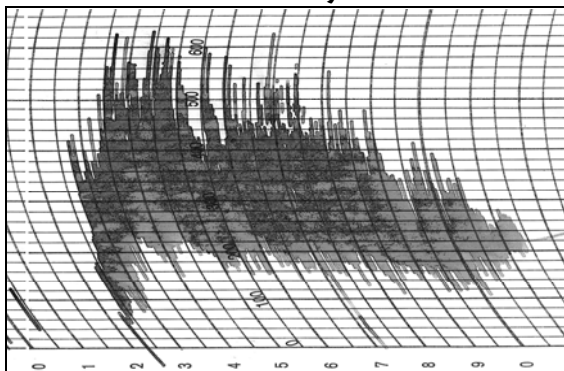
اثر جایگزینی آرد سورگوم بر پارامترهای مدل پلگ-نورمند

نتایج مدلسازی نشان داد که مدل پلگ-نورمند بخوبی قادر است ($R^2 > 0.999$) داده های تجربی رهایی خمیر آرد گندم دارای درصدهای مختلف آرد سورگوم را برازش کند (شکل ۲). پارامترهای مدل پلگ-نورمند (K_1 و K_2) حاصل از برازش مدل پلگ-نورمند بر داده های رهایی تنش خمیر نان با نسبت های مختلف از آرد سورگوم و گندم در جدول ۱ آورده شده است. مقدار K_1 با افزایش نسبت جایگزینی آرد سورگوم به طور معنی داری کاهش یافت ($P < 0.05$)، به طوری که نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد سورگوم

معنی داری باعث کاهش میزان جذب آب تا ۵۸ درصد برای نمونه حاوی ۷۵ درصد سورگوم شد (شکل ۳). مقدار جذب آب برای نمونه های حاوی ۱۰۰ درصد سورگوم در دستگاه برابندر قابل اندازه گیری نبود و هیچگاه نمودار به خط استاندارد یعنی ۵۰۰ برابندر نرسید (شکل ۴).



شکل ۳- اثر درصد های مختلف جایگزینی آرد سورگوم بر جذب آب آرد



شکل ۴- منحنی فارینوگرام مربوط به نمونه حاوی ۱۰۰ آرد سورگوم

Carson و Sun (۲۰۰۰)، Salim-ur-Rehman و همکاران (۲۰۰۶) و Elkhalfa و El-Tinay (۲۰۰۲) نیز نتایج مشابهی را در هنگام جایگزینی آرد سورگوم با آرد گندم بدست آوردند. این پژوهشگران عنوان کردند که میزان جذب آب تابعی از میزان مواد هیدروفیل، پروتئین های اصلی و کربوهیدرات در فرمولاسیون می باشد. پروتئین های گندم به عنوان ترکیباتی با خصوصیات هیدروفیل بالا (Damodaran., 2008) شناخته می شود، این در حالی است که سورگوم فاقد این نوع پروتئین ها یعنی گلوتن است (Belton et al., 2006). از طرفی علت کاهش میزان جذب آب با افزایش میزان جایگزینی آرد سورگوم ممکن است به علت طبیعت هیدروفوب پروتئین موجود در آن (کافیرین) باشد (Yousif et al., 2012). بنابراین، با افزایش مقادیر جایگزینی آرد سورگوم میزان جذب آب کاهش یافت.

(2012). این بدین معنی است که افزایش جایگزینی آرد سورگوم باعث کاهش به هم پیوستگی خمیر شد.

اثر جایگزینی آرد سورگوم بر درصد رهایی تنش

درصد رهایی تنش (%SR) یک پارامتر مناسب جهت شناخت خصوصیات ویسکوالاستیک مواد غذایی است و مستقیماً از روی داده های رهایی تنش بدست می آید (Singh et al., 2006). نتایج نشان داد که مقدار رهایی تنش خمیر در محدوده ۴۸-۶۱ درصد قرار داشت (جدول ۲).

جدول ۲- اثر نسبت های مختلف جایگزینی آرد سورگوم با آرد گندم

درصد آرد سورگوم	مقدار F در ثانیه بیستم	%SR
صفر	۴/۸±۰/۲	۵۲ ^c
۲۵	۵/۵±۰/۲	۵۴ ^b
۵۰	۷/۷±۰/۵	۵۵ ^b
۷۵	۱۱/۷±۰/۳	۶۱ ^a
۱۰۰	۳۴±۰/۸۴	۴۸ ^d

* اعداد دارای حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده معنی داری در سطح $P < 0.05$ می باشد

افزایش مقادیر جایگزینی آرد سورگوم باعث افزایش درصد رهایی تنش شد بطوری که در نمونه های حاوی مقادیر بالای سورگوم (به خصوص نمونه حاوی ۷۵ درصد آرد سورگوم)، کاهش مقدار تنش در ۲۰ ثانیه اول خیلی سریع بوده و مقدار تنش در ۲۰ ثانیه اول به سرعت کاهش یافت. بنابراین خمیر با درصد جایگزینی بالای آرد سورگوم (۷۵ درصد) در ۲۰ ثانیه اول از توانایی بالایی برای حفظ تنش برخوردار نیست و نرخ کاهش تنش در این زمان با افزایش درصد آرد سورگوم افزایش می یابد. نتایج نشان داد که درصد رهایی تنش نمونه های حاوی مقادیر بالای سورگوم به طوری معنی داری افزایش یافت و نمونه های حاوی ۷۵ آرد سورگوم رهایی تنش معادل ۶۱ درصد داشت. در نمونه های فاقد آرد سورگوم، این عدد برابر ۵۲ درصد بود. Wu و همکاران (۲۰۱۲) نتایج مشابهی برای جایگزینی سیوس گندم با آرد گندم بدست آوردند. یافته های این محققین نشان داد که افزودن ۳۰ درصد سیوس گندم به فرمولاسیون خمیر باعث افزایش درصد رهایی تنش از ۲۰ به ۳۵ درصد شد.

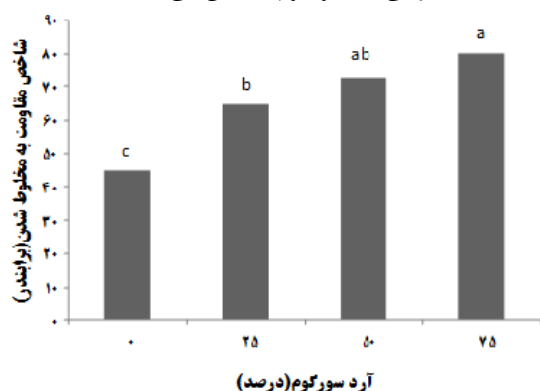
اثر جایگزینی آرد سورگوم بر خصوصیات فارینوگرافی جذب آب

نتایج نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی آرد سورگوم، میزان جذب آب به طور معنی داری کاهش یافت ($P < 0.05$) (شکل ۳). میزان جذب آب برای نمونه شاهد (حاوی ۱۰۰ آرد گندم) بالاترین مقدار (۶۷/۵٪) بود و افزایش سطح جاگزینی آرد سورگوم به طور

پایداری (ثبات) خمیر

ثبات خمیر برای نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم، بالاترین مقدار بود (شکل ۵). با افزایش درصد جایگزینی آرد سورگوم تا ۲۵ درصد، ثبات خمیر بطور معنی داری کاهش یافت ($P < 0/05$)، در حالی که در سطوح بالاتر جایگزینی، کاهش ثبات خمیر معنی دار نبود ($P > 0/05$). از آنجا که ثبات خمیر نشان دهنده قدرت آرد می باشد، با افزایش درصد جایگزینی آرد سورگوم از میزان قدرت آرد کاسته شد. علت کاهش پایداری خمیر به گفته برخی از محققین، کاهش میزان پروتئین گلوتن در اثر جایگزینی آرد سورگوم می باشد (Dendy *et al.*, 2001). نتایج تحقیقات El-Tinay و Elkhalfifa (۲۰۰۲) و Yousif و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که با افزایش جایگزینی آرد سورگوم، میزان ثبات خمیر کاهش یافت، در حالی که سلیم یور رحمان و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که افزایش سطح جایگزینی آرد سورگوم، باعث افزایش ثبات خمیر می شود.

جدول ۳ ضرایب همبستگی پیرسون بین پارامترهای آزمون رهایی تنش و خصوصیات فارینوگرافی در خمیر آرد گندم با نسبت های مختلف جایگزینی آرد سورگوم را نشان می دهد.

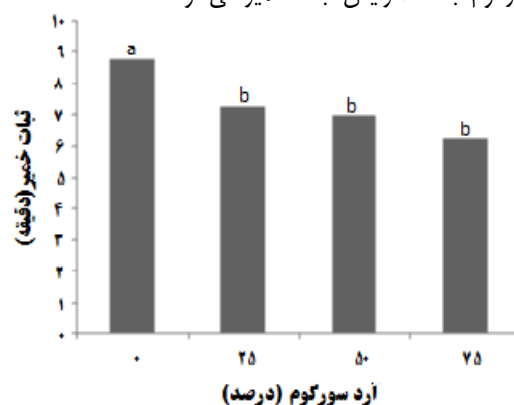


شکل ۶- تاثیر درصد های مختلف آرد سورگوم بر شاخص مقاومت به مخلوط شدن

نتایج نشان داد که بین جذب آب و پارامترهای مدل پلگ-نورمند (K_1 و K_2) همبستگی بالا و مثبتی وجود داشت ($P < 0/01$). این در حالی است که بین میزان جذب آب و درصد رهایی تنش (%SR) و همچنین نیروی اولیه (F_0) رابطه عکس برقرار بود، به طوری که هر چه میزان جذب آب کاهش یافت، به همان نسبت میزان رهایی تنش و مقدار نیروی اولیه افزایش پیدا کرد. علت وجود همبستگی مثبت بین میزان جذب آب و K_1 احتمالاً به وجود ترکیبات هیدروفیل ارتباط پیدا می کند. کاهش میزان ترکیبات هیدروفیل منجر به کاهش میزان جذب آب می شود و به علت کاهش ترکیبات هیدروفیل توانایی خمیر برای حفظ تنش ناشی از اعمال کرنش افزایش می یابد. از آنجا که معکوس K_1 نشان دهنده توانایی خمیر برای حفظ تنش می باشد، بنابراین مقدار K_1 نیز کاهش می یابد. دلیل همبستگی منفی بین جذب آب و درصد رهایی تنش احتمالاً به دلیل کاهش میزان پروتئین گلوتن و افزایش میزان نشاسته است که باعث کاهش میزان جذب می شوند و همین عوامل به علت کاهش الاستیسیته منجر به افزایش درصد رهایی تنش می گردد.

بین ثبات خمیر و پارامترهای K_1 و K_2 همبستگی مثبتی وجود داشت، درحالی که همبستگی منفی و بالایی بین ثبات خمیر با درصد رهایی تنش (%SR) و نیروی (F_0) مشاهده گردید. ارزیابی همبستگی مربوط به شاخص مقاومت به مخلوط شدن نشان داد که بین شاخص مقاومت به مخلوط شدن و نیروی اولیه (F_0) و درصد رهایی تنش همبستگی بالا و مثبتی برقرار است و بین این شاخص و پارامترهای مدل پلگ-نورمند یعنی K_1 و K_2 همبستگی منفی دیده شد.

نتایج wu و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که با افزایش درصد جذب آب، مقدار درصد رهایی تنش (%SR) کاهش می یابد. Hatcher و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که بین خصوصیات



شکل ۵- تاثیر درصد های مختلف آرد سورگوم بر ثبات خمیر

شاخص مقاومت به مخلوط کردن

همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، با افزایش جایگزینی آرد سورگوم، شاخص مقاومت به مخلوط کردن خمیر افزایش یافت، به طوری که بالاترین شاخص مقاومت خمیر (۸۰ برابندر) مربوط به نمونه های حاوی ۷۵ درصد آرد سورگوم و پایین ترین شاخص مربوط به نمونه حاوی صفر درصد آرد سورگوم است. بنابراین، جایگزینی آرد سورگوم باعث ضعیف شدن خمیر گردید. عدم وجود گلوتن در آرد سورگوم باعث می شود که با افزایش درصد جایگزینی آرد سورگوم، میزان گلوتن در فرمولاسیون کاهش یافته و مقاومت ویسکوالاستیکی خمیر کاهش یابد. درنتیجه، شاخص مقاومت به مخلوط کردن افزایش می یابد. Yousif و همکاران (۲۰۱۲)، El-Tinay و Elkhalfifa و Salim-ur-Rehman و همکاران (۲۰۰۶) نیز در پژوهش های خود نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

همبستگی بین پارامترهای آزمون رهایی تنش و خصوصیات فارینوگرافی

بافتی (مقاومت در برابر نیرو و حداکثر نیروی لازم برای برش) و پارامترهای آزمون رهایی تنش (K_1 و K_2) همبستگی مثبتی وجود دارد. بنابراین با توجه به نتایج همبستگی مدل پلگ-نورمند و همچنین با توجه به ساده بودن این مدل به نظر می‌رسد که استفاده از این مدل برای مطالعه رفتار رهایی تنش در کرنش‌های بالا مناسب باشد.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین پارامترهای آزمون رهایی تنش و خصوصیات فارینوگرافی خمیر

	F_0	K_1	K_2	%SR	WA	stability	MTI
F_0	1.000						
K_1	-0.8011**	1.000					
K_2	-0.7904**	0.9975**	1.000				
%SR	0.6341*	-0.8629**	-0.8795**	1.000			
WA	-0.8723**	0.9620**	0.9720**	-0.91**	1.000		
Stability	-0.7396*	0.9858**	0.9922**	-0.9027**	0.9597**	1.000	
MTI	0.8090**	-0.9747**	-0.9845**	0.8936**	-0.989**	-0.9883**	1.000

که با افزایش درصد جایگزینی آرد سورگوم، پارامترهای مانند درصد جذب آب، ثبات خمیر کاهش و شاخص مقاومت به مخلوط شدن افزایش یافت. این بدین معنی است که افزایش مقادیر سورگوم باعث ضعیف شدن خمیر شده است. خصوصیات فارینوگرافی و خصوصیات رهایی تنش خمیر به پروتئین گلوتن وابسته بودند و با تغییر میزان گلوتن، خصوصیات فارینوگرافی و رهایی تنش تغییر کرد از آنجا که این تغییرات رئولوژیکی تأثیر مستقیمی بر کیفیت نهایی نان دارند، بررسی و انتخاب روش‌های سریع و کاربردی می‌تواند به منظور کنترل کیفیت خمیر و در نتیجه محصول نهایی به کار گرفته شوند

نتیجه گیری

خصوصیات رئولوژیکی و ویسکوالاستیکی خمیر به عوامل مختلفی از جمله میزان پروتئین گلوتن، نسبت گلوتن به گلیادین و ... وابسته است. بنابراین، داشتن اطلاعات درباره این خصوصیات و انتخاب مدل برای فهم بهتر اثرات امری مهم به نظر می‌سد. نتایج نشان داد که جایگزینی بالای ۵۰ درصد آرد سورگوم با آرد گندم باعث کاهش الاستیسیته خمیر و سفت شدن خمیر گردید. خمیرهای تهیه شده با نسبت‌های جایگزینی بالای ۵۰ درصد از خود رفتار ویسکوالاستیک شبه مایع به نمایش گذاشتند. از طرفی مشخص شد

منابع

- AACC. 2010. Approved methods of the American Association of Cereal Chemist. Physical method 54-21.01. 11th ed. Vol. II. AACC methods. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minn.
- Abdelghafor, R. F., Mustafa, A. I., Ibrahim, A. M. H., and Krishnan, P. G. 2010. Quality of bread from composite flour of sorghum and hard white winter wheat. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 3(1), 9-15.
- Awika, J. M. and Rooney, L. W. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*. 65 (9), 1199-1221.
- Belton, P. S., Delgadillo, I., Halford, N. G., and Shewry, P. R. 2006. Kafirin structure and functionality. *Journal of Cereal Science*. 44(3), 272-286.
- Bhattacharya, S., Narasimha, H. V., and Bhattacharya, S. 2006. Rheology of corn dough with gum Arabic: stress relaxation and two-cycle compression testing and their relationship with sensory attributes. *Journal of Food Engineering*. 74(1), 89-95.
- Campus, M., Addis M. F., Cappuccinelli, R., Porcu, M. C., Pretti, L., Tedde, V., Secchi, N., Stara, G., and Roggio, T. 2010. Stress relaxation behavior and structural changes of muscle tissues from Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) following high pressure treatment. *Journal of Food Engineering*. 96, 192-198.
- Carson, L. C., and Sun S. X. (2000). Breads from white grain sorghum: Effects of SSL, DATEM, and xanthan gum on sorghum bread volume. *Appl. Eng. Agric*, 16, 431-436.
- Damodaran, S. 2008. Amino acids, peptides and proteins. *Fennema's Food chemistry*. 4, 219-296.
- Dendy, D., and Dobraszczyk, B. 2001. Cereals and cereal products. *Journal of Cereal Science*. 2, 22-29.

- Duodu, K. G., Taylor, J. R. N., Belton, P. S., and Hamaker, B. R. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal of Cereal Science*. 38(2), 117–131.
- Eliasson, A. C. 1990. Rheological Properties of Cereal Proteins in Dough Rheology and Baked Product Texture. *Van Nostrand*. 67–110.
- Elkhalifa, A. E. O., and El-Tinay, A. H. 2002. Effect of cysteine on bakery products from wheat–sorghum blends. *Food Chemistry*, 77(2). 133–137.
- Elkhalifa, A. E. O., Mohammed, A. M., Mustafa, M. A., and El Tinay, A. H. 2007. Use of guar gum and gum Arabic as bread improvers for the production of bakery products from sorghum flour. *Food Science and Technology Research*. 13(4), 327–331.
- Guo, Z., Castell-Perez, M. E., and Moreira, R. G. 1999. Characterization of masa and low-moisture corn tortilla using stress relaxation methods. *Journal of Texture Studies*. 30, 197–215.
- Hassan, B. H., Alhamdan, A. M., and Elansari, A. M. 2005. Stress relaxation of dates at khalal and rutab stages of maturity. *Journal of Food Engineering*. 66, 439–445.
- Hatcher, D. W., Bellido, G. G., Dexter, J. E., Anderson, M. J., and Fu, B. X. 2008. Investigation of uniaxial stress relaxation parameters to characterize the texture of yellow alkaline noodles made from durum and common wheats. *Journal of Texture Studies*. 39, 695–708.
- Janssen, A. M., Vanvliet, T., and Vereijken, J.M. 1996. Fundamental and empirical rheological behaviour of wheat flour doughs and comparison with bread making performance. *Journal of Cereal Science*. 23, 43–54.
- Li, W., Dobraszczyk, B. J., and Schofield, J. D. 2003. Stress relaxation behavior of wheat dough, gluten and gluten protein fractions. *Cereal chemistry*. 80, 333–338.
- Mohsenin, N. N., and Mittal, J. P. 1977. Use of rheological terms and correlation of compatible measurements in food texture research. *Journal of Texture Studies*. 8, 395–408.
- Peleg, M. 1980. Linearization of relaxation and creep curves of solid biological materials. *Journal of rheology*. 24, 451–463.
- Peleg, M., & Normand, M. D. 1983. Comparison of two methods for stress relaxation data presentation of solid foods. *Rheological Acta*. 22, 108–113.
- Rao, V. K., Mulvaney, S. J. & Dexter, J. E. 2000. Rheological characterisation of long and short-mixing flours based on stress relaxation. *Journal of Cereal Science*. 31, 159–171.
- Sahin, S., and Sumna, S. 2006. *Physical properties of foods*. Springer-Verlag, Berlin.
- Salim-ur-Rehman Ahmad, M., Bhatti, I., Shafique, R., Mueen-ud-Din, G., and Murtaza, M. 2006. Effect of pearling on physico-chemical, rheological characteristics and phytate content of wheat-sorghum flour. *Pakistan Journal of Botany*. 38(3), 711–719.
- Sandoval, E. R., Quintero, A. F and Cuvelier, G. 2009. Stress relaxation of reconstituted cassava dough. *LWT - Food Science and Technology*. 42, 202–206.
- Sathe, S. K., Ponte J. R., Rangnekar, P.D., Salunkhe, D.K. 1981. Effects of addition of great northern bean flour and protein concentrates on rheological properties of dough and baking quality of bread. *Cereal Chemistry*. 58, 97–100.
- Singh, H., Rockall, A., Martin, C. R., Chung, O. K., and Lookhart, G. L. 2006. The analysis of stress relaxation data of some viscoelastic foods using a texture analyzer. *Journal of Texture Studies*. 37(4), 383–392.
- Singh, P. N., & Ram, H. 1990. Effect of phosphorus and sulphur application on protein and amino acid contents in chickpea. *Indian Journal of Pulses Research*. 3, 36–39.
- Steffe, J. F. 1996. *Rheological methods in food process engineering*, (2nd ed.). East Lansing, MI: Freeman Press. 417–418.
- Vozary E and Meszaros P. 2007. Effect of mechanical stress on apple impedance parameters. *IFMBE Proceedings*. 17, 118–121.
- Walker, C., and Hazelton, J. 1996. Dough rheological tests. *Cereal Food World*. 41, 23–28.
- Wu, M. Y., Chang, Y. H., Shiaui, S. Y., and Chen, C. C. 2012. Rheology of Fiber-Enriched Steamed Bread: Stress Relaxation and Texture Profile Analysis. *Journal of Food and Drug Analysis*. 20(1), 133–142.
- Yadav, N., Roopa, B. S., and Bhattacharya, S. 2006. Viscoelasticity of a simulated polymer and comparison with chickpea flour doughs. *Journal of Food Process Engineering*. 29, 234–252.
- Yousif, A., Nhepera, D., and Johnson, S. 2012. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. *Food Chemistry*. 134, 880–887.
- Yousif, A., Nhepera, D., Johnson, S. 2012. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. *Food Chemistry*. 134, 880–887.
- Zhu, J., Huang, S., Khan, K. and O'Brien, L. 2001. Relationship of protein quantity, quality and dough properties with Chinese steamed bread quality. *Journal of Cereal Science*. 33, 205–212.



Viscoelastic behavior of wheat-sorghum composite flour dough using stress relaxation tests

H. Bagheri¹-M. Mohebbi²- A. Koocheki^{3*}

Received: 19-05-2013

Accepted: 10-06-2014

Abstract

The effect of wheat-sorghum flour ratio (0, 25, 50, 75 and 100%) on viscoelastic and farinographic behaviour of dough was investigated. Constants of Peleg - Normand model and the stress relaxation (% SR) was calculated for the variables and the correlation between farinograph characteristics and stress relaxation test parameters were evaluated. The results showed that with increasing the ratio of sorghum in flour, the amount of initial force (F_0), mixing tolerance index and the stress relaxation (% SR) increased. However, the rate of water absorption, dough stability and Peleg - Normand model parameters (K_1 and K_2) decreased with increasing substitution of sorghum flour. Survey results showed that the correlation between the parameters of water absorption, dough stability and K_1 and K_2 was a highly positive. The stress relaxation (% SR), mixing tolerance index and the initial force (F_0) had also positive correlations. With increasing substitution of sorghum flour, dough indicated the liquid-like viscoelastic behavior. Fitting the experimental data with the model showed the efficiency of Peleg - Normand model at high strain (10%).

Keywords: Stress relaxation test, Wheat dough, Viscoelastic behavior, Peleg-Normand model

1, 2 and 3- M.Sc Student and Associate Professors, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.

(* -Corresponding Author Email: koocheki@um.ac.ir)