مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۳/ شماره ٤/سال ۱۳۹۱/ص ٧٤-٦١

مطالعه تأثیر افزودن پودر دانه بزرک بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر نان

سیدهادی پیغمبردوست[*]، مریم جعفرزاده مقدم، صدیف آزادمرد دمیرچی و رویا آقاقلی‌زاده[**]

[*] نگارنده مسئول، نشانی: تبریز، بلوار ۲۹ بهمن، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و صنایع غذایی، تلفن: ۳۳۹۲۰۵۲ - ۰۴۱۱، پیام‌نگار: peighambardoust@tabrizu.ac.ir

[**] به‌ترتیب: دانشیار گروه علوم و صنایع‌غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و صنایع‌غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران؛ دانشیار گروه علوم و صنایع‌غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ و کارشناس‌ارشد پژوهشکده غلات ایران، تهران

تاریخ دریافت:۹۰/۵/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۲۶

چکیده

بزرک منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری امگا ۳، لیگنان‌ها، فیبر رژیمی و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی نظیر توکوفرول است و به دلیل اثر سودمند آن در پیشگیری از برخی بیماری‌ها به عنوان افزودنی سلامت‌بخش یا فراسودمند در غنی‌سازی موادغذایی به‌کار می‌رود. نان، ماده غذایی پرمصرف در سبد غذایی مردم ایران است و غنی‌سازی آن با آرد دانهٔ بزرک، فرصتی مناسب برای بهره‌مندی از مزایای تغذیه‌ای فوق‌الذکر را مهیا می‌کند. در این پژوهش، تأثیر افزودن پودر دانهٔ بزرک بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر، با استفاده از آزمون‌های فارینوگرافی و اکستنسوگرافی، بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن آرد بزرک به آرد نانوایی باعث افزایش توان آرد برای جذب آب، درجه سست شدن خمیر، و عدد کیفی فارینوگراف می‌شود. پایداری خمیر در برابر مخلوط کردن، با افزودن آرد بزرک به مقدار بیش از ۵ درصد، کاهش نشان می‌دهد. نتایج آزمون اکستنسوگرافی نشان می‌دهد که با بالا رفتن نسبت افزایش آرد بزرک، مقاومت بیشینه خمیر در برابر کشش افزایش ولی کشش‌پذیری خمیر و انرژی لازم برای کشش کاهش می‌یابد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که افزودن آرد دانهٔ بزرک به آرد گندم، با این‌که مزایای تغذیه‌ای به همراه دارد خواص رئولوژیکی خمیر را کاهش می‌دهد. این امر در تولید نان حجیم باید مد نظر قرار گیرد تا همراه با آرد بزرک از عوامل تقویت‌کننده شبکه گلوتن، مثل مواد بهبوددهنده آرد استفاده شود.

واژه‌های کلیدی

آرد گندم، بزرک، خمیر، رئولوژی

مقدمه

مطالعات رئولوژیکی یکی از روش‌های آسان برای اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت و بافت محصولات غذایی است. ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر، چگونگی تغییر شکل و جریان یافتن یا گسیختگی آن را تحت تنش به کار رفته توصیف می‌کنند و می‌توانند به عنوان ابزاری در انتخاب مواد خام اولیه مناسب استفاده شوند. خواص رئولوژیکی خمیر نان بیانگر چگونگی رفتار آن در شرایط مختلف فرآیند است و از نظر فرمولاسیون محصول، بهینه‌سازی، کنترل کیفیت، افزایش ظرفیت فرآیند، و قابلیت ماشین کردن خمیر آن دارای اهمیت است (Kulamarva, 2005).

دانه بزرک با نام علمی "*لینوم یوزیتاتیسیموم*" (*Linum usitatissimum*) گیاهی یک‌ساله از تیرهٔ کتان (لیناسه) و تنها گونه‌ای از این خانواده است که از لحاظ تجاری اهمیت فراوان دارد (Behrooznam, 2008). میانگین تولید سالانهٔ بزرک در جهان در ۱۰ سال گذشته ۲/۵ میلیون تن و مناطق اصلی تولید آن کانادا، چین، هند، آرژانتین، امریکا، انگلستان و برخی کشورهای اروپایی است

© 2015,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

(Przybylski, 2005). در کشور ما نیز بزرک در مناطق گرم و خشک از جمله، به طور نسبتاً زیاد در استان خوزستان و به طور پراکنده در شهرستان‌های اطراف اصفهان، نواحی کردستان و مناطقی در شمال کشور، مثل فومن که هوای مرطوب و بارندگی زیاد و به موقع دارد (شرایطی که برای کشت این گیاه فوق‌العاده مناسب است)، کشت می‌شود. اما به جهت پراکندگی کشت بزرک در ایران، آمار دقیقی در ارتباط با سطح زیر کشت این گیاه ارزشمند وجود ندارد (Behroozam, 2008). دانه بزرک سرشار از اسید چرب آلفا لینولنیک (امگا ۳) و درصد قابل توجهی از سایر اسیدهای چرب غیراشباع (امگا ۳ و امگا ۶) است، سهم اسید چرب امگا ۳ نسبت به امگا ۶ در دانهٔ بزرک بیشتر است (Simopoulos, 2002). این دانه حاوی ۳۵ تا ۴۰ درصد چربی است که ۵۰ درصد آن را اسید آلفا لینولنیک (پیش‌ساز ایکوزانوئیدها) تشکیل می‌دهد (Przybylski, 2005). از دیگر ترکیبات تغذیه‌ای با ارزش بزرک، لیگنان‌ها (ترکیبات فیتواستروژنیک)، فیبر انحلال‌ناپذیر و انحلال‌پذیر به نسبت ۳ به ۱، پروتئین‌های آلبومینی و گلوبولینی (۱۸ تا ۲۰ درصد)، موادمعدنی و ویتامین‌ها هستند. به‌علاوه دانهٔ بزرک غنی‌ترین منبع شناخته شدهٔ دی‌گلیکوزید سکوایزولاریسیریزینول - یکی از پیش‌سازهای اصلی لیگنان‌های پستانداران- است. قسمت عمدهٔ فیبر انحلال‌پذیر آن صمغ موسیلاژ مانندی شامل کربوهیدرات‌های پلیمری است و ترکیب مونوساکاریدی آن با توجه به شرایط استخراج متغیر خواهد بود. اسید گالاکتورونیک، گالاکتوز، گزیلوز، و رامنوز، مونوساکاریدهای اصلی آن و فوکوز، آرابینوز، و گلوکز، منوساکاریدهای جزئی آن را تشکیل می‌دهند. این ترکیب دارای ویژگی‌های تکنولوژیکی مفید از جمله ظرفیت جذب آب زیاد است (Strandas, 2008).

توکوفرول‌ها از دیگر ترکیبات موجود در دانهٔ بزرک هستند که به عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند و ترکیبات موجود در سلول‌های بدن را از آسیب اکسیداسیون محافظت می‌کنند. نتایج تحقیقات اثر آنتی‌اکسیدانی لیگنان‌های بزرک را نشان می‌دهد و مطالعات بیماری‌شناسی نیز تأثیرات مفید آن‌ها را در بیماری‌های قلبی- عروقی، سرطان سینه، یائسگی، پوکی استخوان، دیابت نوع ۱ و ۲، بیماری‌های کبدی و کلیوی تأیید کرده است (Westcott & Muir, 2003; Ridges *et al.*, 2001). اما در منابع علمی تذکر داده شده که در مصرف بزرک باید حد اعتدال رعایت شود. مصرف بیش از حد بزرک (به ویژه در حالت خام یا حرارت ندیده) یا چنانچه مصرف‌کننده سابقه حساسیت (آلرژی) داشته باشد، ممکن است تأثیرات نامطلوب در بدن انسان ایجاد کند (Choo *et al.*, 2007). بزرک حاوی گلیکوزیدهای سیانوژنیک است که در صورت مصرف دانه‌ها در حالت خام (به ویژه روزانه بیش از ۱۰ قاشق غذاخوری)، سطح سیانید دریافتی می‌تواند به حد سمی بودن برای بدن انسان برسد. این امر باعث تداخل در کارکرد هورمون‌های بدن می‌شود (Bloedon & Szapary, 2004). در بسیاری از مطالعات، که فواید بزرک گزارش شده است، مقدار مطلوب مصرف آن را بین ۵ الی ۱۰ گرم در روز تعیین کرده‌اند و مصرف بیش از این حد می‌تواند به بروز تأثیرات جانبی بیانجامد. از عمده‌ترین اثر جانبی و ناراحتی‌های گزارش شده می توان به نفخ، اسهال، واکنش‌های آلرژیک، آب ریزش چشم، خارش پوست، حساس شدن پوست، مشکلات تنفسی، احتمال رقیق شدن خون، بند نیامدن خون، مشاهدهٔ خون در مدفوع اشاره کرد (Singh *et al.*, 2011).

کوکا و آنیل (Koca & Anil, 2007) ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر حاصل از مخلوط آرد گندم و آرد دانهٔ بزرک (با اندازهٔ ذرات ۰/۵ میلی‌متر) را به نسبت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، و ۲۰ درصد وزنی آرد بررسی کردند. بررسی‌های فارینوگرافی نشان داد که با افزایش مقدار بزرک میزان

جذب آب، زمان توسعهٔ خمیر، و اندیس تحمل اختلاط خمیر بیشتر می‌شود و پایداری خمیر در جایگزینی با بیش از ۵ درصد بزرک کاهش می‌یابد. همچنین نتایج آزمون اکستنسوگرافی نشان می‌دهد که مقاومت به کشش خمیر تهیه شده با ۵ درصد بزرک بیشتر از سایر نمونه‌هاست و در بقیهٔ نمونه‌ها مقاومت به کشش مشابه خمیر شاهد است. با افزایش نسبت اختلاط بزرک، قابلیت کشش خمیر کاهش می‌یابد. مساحت زیر منحنی اکستنسوگرام (انرژی لازم برای کشش خمیر) در نمونه‌های تهیه شده با ۵ و ۱۰ درصد بزرک مشابه خمیر شاهد است اما در نمونه‌های تهیه شده با ۱۵ و۲۰ درصد بزرک کاهش می‌یابد.

هائو و همکاران (Hao *et al*., 2008) با بررسی اثر پودر و گرانول دانهٔ بزرک چربی گرفته شده، بر ویژگی‌های رئولوژیکی دینامیک خمیر آرد گندم نشان دادند که با افزایش غلظت پودر بزرک تا ۲۰ درصد، دمای ژلاتینه شدن خمیر و همچنین مودول‌های ویسکوالاستیک اندازه گیری شده در دمای ۲۵ درجه‌سلسیوس افزایش می‌یابد. با کاهش اندازهٔ ذرات پودر بزرک نیز مدول‌های ویسکوالاستیک خمیر افزایش می‌یابد.

منته و همکاران (Mente *et al*., 2008) تأثیر استفاده از آرد دانهٔ بزرک را بر کیفیت نان، میزان گاماتوکوفرول و اسیدهای چرب غیراشباع نان بررسی کردند. در این تحقیق آرد دانهٔ بزرک به میزان ۱۰، ۱۵، ۲۰، و ۲۵ درصد به آرد گندم اضافه شد. نتایج نشان داد که میزان اسیدلینولنیک در روغن استخراج شده از دانهٔ بزرک و نان‌های غنی شده با آرد بزرک تفاوتی ندرد. با افزایش مصرف بزرک، میزان اسیدلینولنیک و گاماتوکوفرول در نان افزایش می‌یابد. تفاوت عدد پراکسید در روغن استخراج شده از نان‌های غنی شده و نان شاهد معنی‌دار نیست.

در پژوهشی دیگر، تأثیر استفاده از دانهٔ بزرک بر فرمولاسیون و کیفیت نان از دیدگاه ترکیب اسیدهای چرب و طعم رانسید در حین نگهداری، میزان مواد فیبری و لیگنان‌ها در نمونه‌های نان بررسی شده است (Pohjaneimo *et al*., 2006). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزودن بزرک، مقدار اسیدچرب لینولنیک، فیبر، و لیگنان‌ها در محصول در مقایسه با نمونهٔ شاهد افزایش می‌یابد و قابلیت نگهداری رطوبت در نمونه‌های نان حاوی بزرک و نرمی بافت آن‌ها بیشتر از نمونهٔ شاهد است. همچنین معلوم شد که در خلال نگهداری نان به مدت ۶ روز در دمای اتاق، تغییری در طعم و بوی آن به وجود نمی‌آید و هیچ بوی تندشدگی در نمونه‌ها احساس نمی‌شود.

ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر آرد گندم، بر رفتار آن حین فرآیند و در نتیجه بر کیفیت قرص نان نهایی اثر می‌گذارد (Balestra, 2009). مطالعهٔ خواص رئولوژیکی خمیر نان تا حدود زیادی می تواند رفتار آرد و خمیر را به‌هنگام پخت پیشگویی و کیفیت پخت آرد را نیز تا اندازه‌ای تفسیر کند، مطالعه ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر همچنین یکی از سریع‌ترین و قابل استنادترین راه‌های اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت و بافت محصولات غذایی، از جمله آرد گندم، محسوب می‌شود. به همین دلیل در این مطالعه رفتار رئولوژیکی با دامنهٔ تغییر شکل بزرگ (آزمون‌های متداول فارینوگرافی و اکستنسوگرافی) به منظور بررسی نحوهٔ تأثیر افزودن درصدهای متفاوت آرد دانهٔ بزرک به آرد گندم مطالعه شد. تأثیر استفاده از آرد دانهٔ بزرک به عنوان منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری و دیگر ترکیبات جزئی سودمند بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی آرد از قبیل میزان جذب آب، مدت زمان بهینه مخلوط شدن خمیر(زمان توسعه)، میزان پایداری خمیر در برابر مخلوط شدن، و درجهٔ نرم شدن خمیر پس از ۱۲ دقیقه مخلوط کردن، و همچنین حداکثر مقاومت خمیر در برابر مخلوط کردن، قابلیت کشش، و انرژی کشش (سطح زیر منحنی) خمیرها در آزمون اکستنسوگرافی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد

آرد گندم با درجهٔ استخراج ۸۷ درصد از شرکت آرد اطهر مراغه تهیه شد. ویژگی‌های آرد مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. دانه‌های بزرک قهوه‌ای پس از خرید از بازار تبریز در شرایط خنک (در دمای زیر صفر درجه سلسیوس) در آسیاب آزمایشگاهی آسیاب و با الک با اندازه سوراخ‌های حداکثر ۰/۵ میلی‌متری الک شد. آرد آسیاب شدهٔ بزرک در ظروف سربسته تا زمان اختلاط با آرد و شروع آزمون‌های بعدی در فریزر نگهداری گردید.

روش‌ها

رطوبت، خاکستر، پروتئین کل، چربی، فیبرخام، عدد فالینگ، عدد زلنی و گلوتن مرطوب با روش‌های مصوب AACC به ترتیب با شماره‌های A 15- 44، 01 -08، 13-46، 10-30، 10-32، 81B-56، 11-54، و 12-38 اندازه‌گیری شد (Anon, 2005).

تهیه تیمارهای آزمایشی

آرد گندم با آرد دانهٔ بزرک آسیاب و الک شده به نسبت‌های ۵، ۱۰ ، ۱۵، و ۲۰ درصد وزنی به مدت ۵ دقیقه در مخلوط‌کن مخلوط شد. اندازهٔ ذرات آرد کنترل و آرد بزرک و مخلوط‌های تهیه شده با آرد بزرک با الک‌های دارای سوراخ‌های ۴۷۵، ۱۸۰، ۱۲۵ و ۱۰۶ میکرون تعیین شد. الک کردن طبق استاندارد ASAE با استفاده از ۱۰۰ گرم آرد و به مدت ۱۰ دقیقه صورت پذیرفت. اجزای باقیمانده "روی" هر الک و "زیر" الک ۱۰۶ میکرون به صورت جداگانه توزین شدند (Palacios-Fonseca *et al.*, 2009).

آزمون فارینوگرافی آرد کنترل و تیمارهای آزمایشی با روش AACC به شماره 21-54 و با استفاده از دستگاه فارینوگراف الکترونیکی ۳۰۰ گرمی (ساخت شرکت برابندر آلمان) و آزمون اکستنسوگراف با روش AACC به شماره 10-54 و با استفاده از دستگاه اکستنسوگراف الکترونیکی (ساخت شرکت برابندر آلمان) انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

از طرح کاملا تصادفی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام شد. مقایسهٔ دو به دوی میانگین‌ها برای معرفی بهترین نمونه با آزمون دانکن، در سطح احتمال ۹۵ درصد به کمک نرم‌افزار SPSS اجرا شد.

نتایج و بحث

اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی آرد گندم و بزرک

ویژگی‌های شیمیایی آرد گندم و بزرک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. میزان چربی و فیبر در آرد بزرک به طور قابل توجهی بیشتر از مقدار آن در آرد گندم است. لذا آرد بزرک منبع با ارزش فیبر رژیمی محسوب می‌شود. مقادیر به دست آمده مشابه نتایجی است که کوکا و آنیل (Koca & Anil, 2007) ارائه داده‌اند که بیانگر غنی شدن نان تهیه شده با بزرک از اسیدهای چرب ضروری، فیبر و آنتی‌اکسیدان‌های موجود در دانه بزرک است. عدد فالینگ آرد گندم مورد استفاده در این پژوهش نشانگر فعالیت پایین آلفا آمیلاز آن است و نتایج اندازه‌گیری میزان پروتئین و گلوتن نیز آن را از نظر کیفی در دسته آردهای متوسط قرار می‌دهد.

بررسی توزیع اندازهٔ ذرات آرد گندم و آردهای حاوی بزرک

نتایج بررسی توزیع اندازهٔ ذرات آرد گندم و نمونه‌های آرد گندم مخلوط با آرد بزرک در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق این جدول، در همهٔ تیمارها اکثر ذرات (۴۰ تا ۶۰ درصد) نتوانسته‌اند از الک ۱۲۵ میکرون عبور کنند یعنی درشت‌تر از این اندازه هستند. همچنین با افزایش درصد جایگزینی آرد با بزرک، درصد ذرات درشت‌تر از ۱۸۰ میکرون افزایش یافته است. با افزودن

آرد بزرک به آرد گندم قابلیت الک شدن و جمع‌آوری آرد در زیر الک ریز (۱۰۶ میکرون) کاهش یافته است. دلیل این امر درشت بودن ذرات بزرک آسیاب شده یا احتمالاً روغنی بودن ذرات بزرک است که باعث آگلومره شدن و به هم چسبیدن ذرات می‌شود که با افزایش درصد ذرات درشت (روی الک ۱۸۰ میکرون) به ازای افزایش درصد جایگزینی آرد بزرک قابل توجیه است.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی پودر دانهٔ بزرک و آرد گندم (میانگین سه تکرار)

ویژگی	پودر دانه بزرک	آرد گندم
رطوبت (درصد)	۵/۷ ± ۰/۰۱	۱۳/۴ ± ۰/۱
خاکستر* (درصد)	۳/۲ ± ۰/۰۱	۰/۹ ± ۰/۰۱
پروتئین* (درصد)**	۲۲/۲ ± ۰/۰۱	۱۱/۱ ± ۰/۳
چربی* (درصد)	۳۵/۰ ± ۰/۰۳	۱/۵ ± ۰/۰۶
فیبر خام* (درصد)	۲۰/۰ ± ۰/۰۴	۰/۸ ± ۰/۰۵
گلوتن مرطوب (درصد)	-	۲۷/۳ ± ۰/۵
عدد فالینگ (ثانیه)	-	۴۱۶ ± ۵
pH	۶/۱ ± ۰/۰۱	۶/۴ ± ۰/۰۲

*براساس ماده خشک

** فاکتور نیتروژن برای آرد گندم۵/۷ و برای پودر بزرک ۶/۲۵ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲ - نتایج اندازه‌گیری توزیع اندازهٔ ذرات آرد (برحسب درصد) در تیمارهای آزمایشی (میانگین سه تکرار)

درصد افزودن بزرک	روی الک ۴۷۵ میکرون	روی الک ۱۸۰ میکرون	روی الک ۱۲۵ میکرون	روی الک ۱۰۶ میکرون	زیر الک ۱۰۶ میکرون
۰	۲/۳±۰/۳ a	۲۰/۲±۳/۲ b	۳۷/۷ ±۱/۹ d	۱۱/۰±۰/۸ d	۲۹/۰±۲/۴a
۵	۰/۶±۰/۱ b	۱۴/۸± ۰/۲ c	۴۳/۴±۲/۰ c	۱۶/۰±۱/۹ c	۲۴/۹±۴/۰ b
۱۰	۰/۷± ۰/۱ b	۲۰/۰ ± ۱/۰ b	۴۱/۳ ±۱/۳ c	۲۵/۲±۰/۱ a	۱۲/۶ ±۰/۳ c
۱۵	۰/۷± ۰/۱ b	۲۲/۸± ۰/۱ ab	۵۳/۵ ± ۰/۵ b	۱۸/۰ ± ۰/۱ b	۴/۸ ±۰/۲ d
۲۰	۰/۹±۰/۱ b	۲۵/۳± ۰/۳ a	۶۱/۰ ± ۰/۱ a	۶/۹± ۰/۲ e	۵/۸ ±۰/۱ d

اعداد مشخص شده با حروف متفاوت در هر ستون، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تفاوت‌ها با احتمال ۹۵ درصد است.

نتایج آزمون فارینوگرافی

نتایج ارزیابی خواص رئولوژیکی خمیر با آزمون فارینوگرافی در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. در این آزمون شاخص‌های جذب آب آرد[1] (درصد)، زمان توسعه خمیر[2] (دقیقه)، زمان پایداری خمیر[3] (دقیقه)، درجهٔ سست شدن خمیر[4] بعد از ۱۲ دقیقه (واحد برابندر) و عدد کیفی فارینوگراف[5] (بدون واحد) بررسی شد. در شکل ۱، مقایسهٔ کلی منحنی‌های فارینوگرام تیمارهای

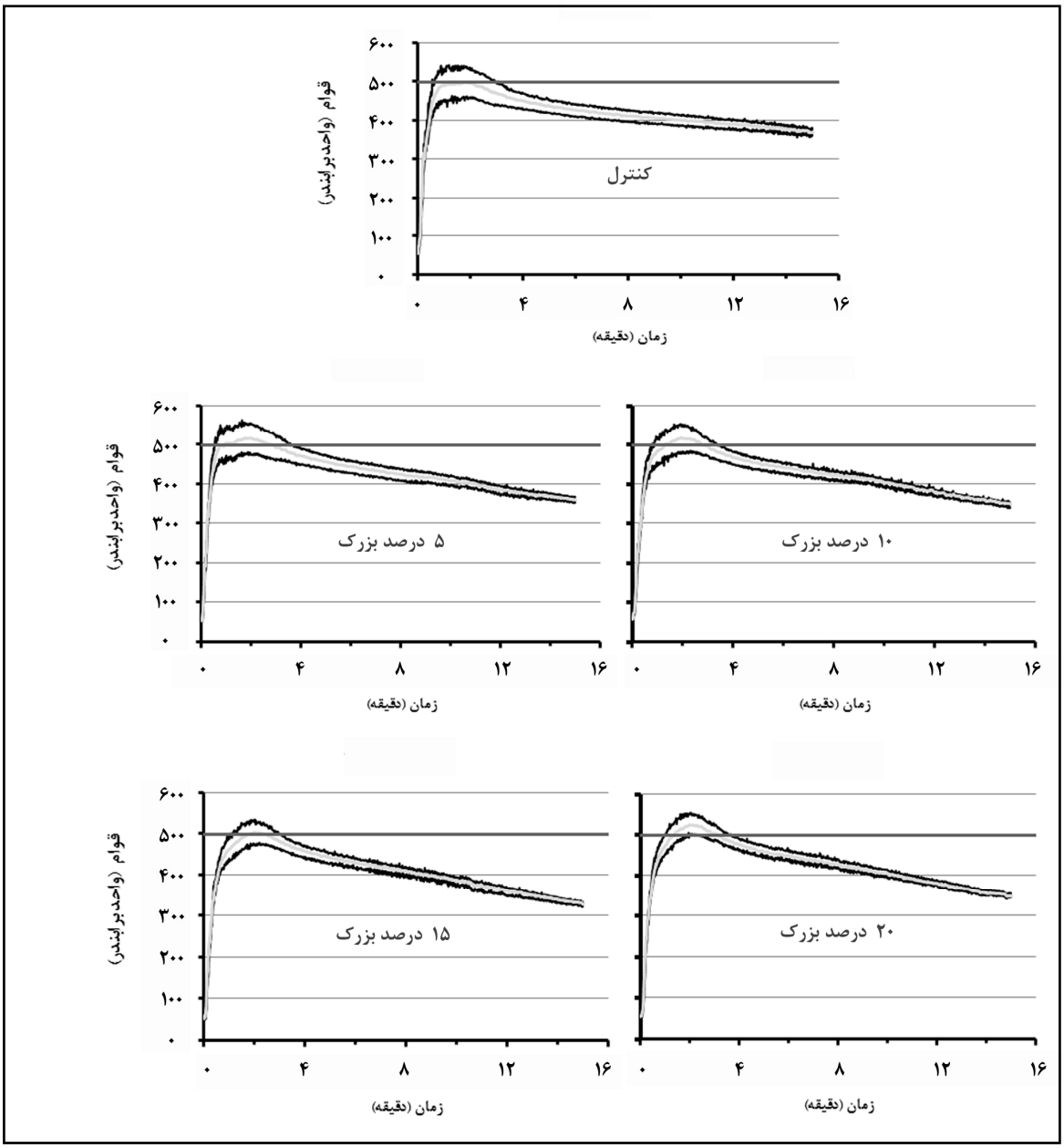
1- Water Absorption
2- Dough Development Time (DDT)
3- Dough Stability (DS)
4- Degree of Softening (DOS)
5- Farinograph Quality Number (FQN)

آزمایشی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، به جز تیمار ۵ درصد بزرک که رفتار مشابهی با نمونهٔ کنترل دارد، منحنی فارینوگرام بقیهٔ تیمارها دلالت بر ضعیف شدن رفتار رئولوژیکی خمیر مربوطه دارد، به طوری‌که میزان پایداری خمیر (زمانی که منحنی روی خط ۵۰۰ باقی مانده است) کم شده و عرض منحنی فارینوگرام نیز کاهش یافته است. جزئیات بیشتر داده‌های استخراج شده از منحنی‌های فارینوگرام در شکل ۲ دیده می‌شود. در شکل ۲- الف با افزایش درصد پودر بزرک در آرد گندم، میزان جذب آب آرد به طور معنی‌داری (با احتمال ۹۵ درصد) افزایش یافته است. این امر احتمالاً مربوط به بالا بودن مقدار فیبر انحلال‌پذیر بزرک است که به دلیل داشتن گروه‌های فعال شیمیایی، مثل هیدروکسیل‌ها، امکان واکنش با آب بیشتر را از طریق تشکیل پیوندهای هیدروژنی و برهم‌کنش‌های هیدروفیل فراهم می‌سازد. این نتیجه‌گیری با یافته‌های گومز و همکاران (Gomez *et al*., 2003) مطابقت دارد. ظرفیت جذب آب بالا در فیبر انحلال‌پذیر بزرک سبب افزایش جذب آب در خمیر می‌شود و این امر می‌تواند باعث حفظ تازگی محصول در دوره نگهداری شود و بیاتی محصول را به تأخیر اندازد (Garden, 1993).

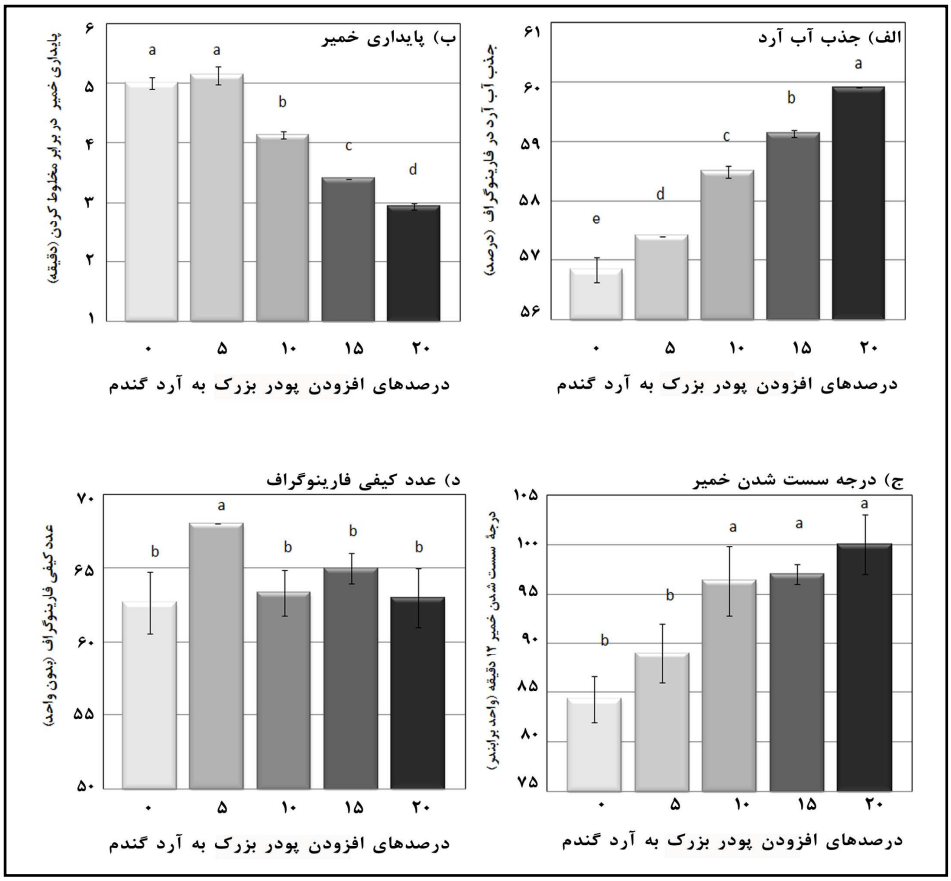
در شکل ۲- ب نشان داده شده که میزان پایداری خمیر حاصل از آردهای غنی شده با درصدهای مختلف بزرک، به جز تیمار ۵ درصد بزرک (که پایداری آن مشابه خمیر کنترل است)، با بالارفتن درصد افزایش بزرک، کاهش یافته است. علت این امر احتمالاً مربوط به تأثیر رقیق‌کنندگی آرد بزرک بر پروتئین‌های فعال در تشکیل شبکهٔ گلوتنی است (Garden, 1993). از طرف دیگر، آرد بزرک حاوی ترکیبات پلی‌ساکاریدی (فیبر انحلال‌ناپذیر) است که اثر تضعیف‌کنندگی بر قابلیت تشکیل شبکه و عملکرد گلوتن دارد. چنانچه آزمایش اندازه‌گیری مقدار گلوتن مرطوب تیمارها نیز نشان داد که با افزایش درصد افزودن آرد بزرک گلوتن قابل استخراج کاهش می‌یابد. همچنین این یافته‌ها با اندازه‌گیری عدد زلنی نیز تأیید شد که حاکی از کاهش معنی‌دار کیفیت پروتئین به ازای افزودن بزرک (در همه درصدهای مورد استفاده) بود.

در شکل ۲- ج، درجهٔ نرم شدن (۱۲ دقیقه پس از شکل‌گیری خمیر) در خمیر نمونه حاوی ۵ درصد بزرک مشابه خمیرکنترل است، اما در بقیه نمونه‌ها این ویژگی افزایش یافته است که نشان‌دهنده تضعیف و کاهش تحمل خمیر در برابر مخلوط کردن است. پیشتر نیز گفته شد که این امر به دلیل رقیق شدن پروتئین‌های تشکیل‌دهندهٔ گلوتن است که سبب ضعیف شدن خمیر می‌شود. این نتیجه، با یافته‌های گومز و همکاران (Gomez *et al*, 2003) منطبق است که گزارش داده‌اند دلیل تضعیف خواص رئولوژیکی خمیرهای تهیه شده با بزرک، رقیق شدن پروتئین گلوتن با فیبر و نیز واکنش بین مواد فیبری و گلوتن است که به نوبهٔ خود ویژگی‌های مخلوط شدن خمیر را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

عدد کیفی فارینوگراف (FQN) معیاری قراردادی است که شرکت برابندر معرفی کرده است. این مؤلفهٔ رئولوژیکی، برآیندی از مجموع شاخص‌های موجود در منحنی فارینوگرام و توصیف‌کنندهٔ کیفیت کلی آرد است (Ghamari *et al*., 2009). در شکل ۲- د، عدد کیفی فارینوگراف نمونه مخلوط ۵ درصد بزرک به طور معنی‌دار بالاتر از خمیر شاهد است. اعداد کیفی سایر نمونه‌ها تفاوت معنی‌دار با عدد کیفی خمیر کنترل ندارند. پارامترهایی مثل زمان پایداری و درجهٔ سست شدن خمیر نشان می‌دهند که با افزودن مقادیر بالای بزرک خواص رئولوژیکی خمیر تضعیف می‌شود، اما عدد کیفی فارینوگراف در یک مفهوم جامع‌تر - که برآیندی از مجموع شاخص‌های موجود در منحنی فارینوگرام محسوب می‌شود- نشان می‌دهد که افزودن آرد بزرک بر کیفیت کلی رئولوژیکی آرد (با احتمال ۹۵ درصد) اثر منفی ندارد.



شکل ۱- منحنی‌های فارینوگرام آرد کنترل (بدون افزودن بزرک) و آردهای غنی شده با درصدهای مختلف بزرک (میانگین سه بار اندازه‌گیری).



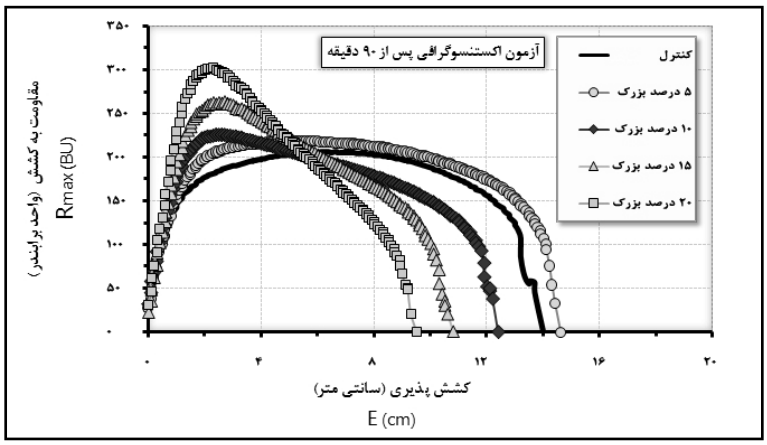
شکل ۲ – نتایج استخراج شده از منحنی‌های فارینوگرام تیمارهای آزمایشی: الف) درصد جذب آب آرد، ب) پایداری خمیر در برابر مخلوط کردن، ج) درجهٔ سست شدن خمیر، د) عدد کیفی فارینوگراف (میانگین سه تکرار). بازه‌های خطا در هر نمودار معرف انحراف استاندارد هستند. حروف لاتین متفاوت در ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها با احتمال ۹۵ درصد است.

نتایج آزمون اکستنسوگرافی

آزمون‌های رئولوژیکی با دامنهٔ تغییر شکل بزرگ، از جمله آزمون کشش یک‌طرفه با دستگاه اکستنسوگراف، اطلاعاتی دربارهٔ رفتار ویسکوالاستیک خمیر و قابلیت اتساع‌پذیری شبکهٔ گلوتنی ارائه می‌دهد. از روی منحنی اکستنسوگرام، رفتار الاستیک خمیر در قالب ویژگی "مقاومت به کشش (R_{max})"، و رفتار ویسکوز خمیر در قالب ویژگی "کشش‌پذیری (E)" و مجموع آن‌ها یا رفتار ویسکوالاستیک خمیر در قالب پارامتر "سطح زیر منحنی یا انرژی لازم برای کشش (E)" قابل بررسی است (Balestra, 2009). شکل ۳، مقایسهٔ کلی منحنی‌های اکستنسوگرام تیمارهای آزمایشی را به صورت نمودارهای روی هم در یک شکل واحد نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش درصد جایگزینی آرد بزرک با آرد گندم،جزء الاستیک منحنی (مقاومت به کشش) تقویت و جزء ویسکوز در منحنی (کشش‌پذیری) تضعیف می‌شود. جزئیات بیشتر داده‌های استخراج شده از منحنی‌های اکستنسوگرام در هر سه زمان ۴۵، ۹۰، و ۱۳۵ دقیقه با اعمال بازه‌های اطمینان در سطح احتمال آماری ۹۵ درصد در شکل ۴ آمده است. شکل ۴- الف نشان می‌دهد که در هر سه زمان تخمیر مورد استفاده در آزمون اکستنسوگرافی، با افزایش درصد بزرک، مقاومت به کشش افزایش معنی‌داری یافته است. در این‌جا کمترین مقاومت مربوط به تیمار شاهد و بیشترین مقاومت مربوط به تیمار ۲۰ درصد است. افزایش مقاومت به کشش، بیانگر سفت شدن گلوتن است. از آن‌جا که جزء گلوتنین گلوتن در

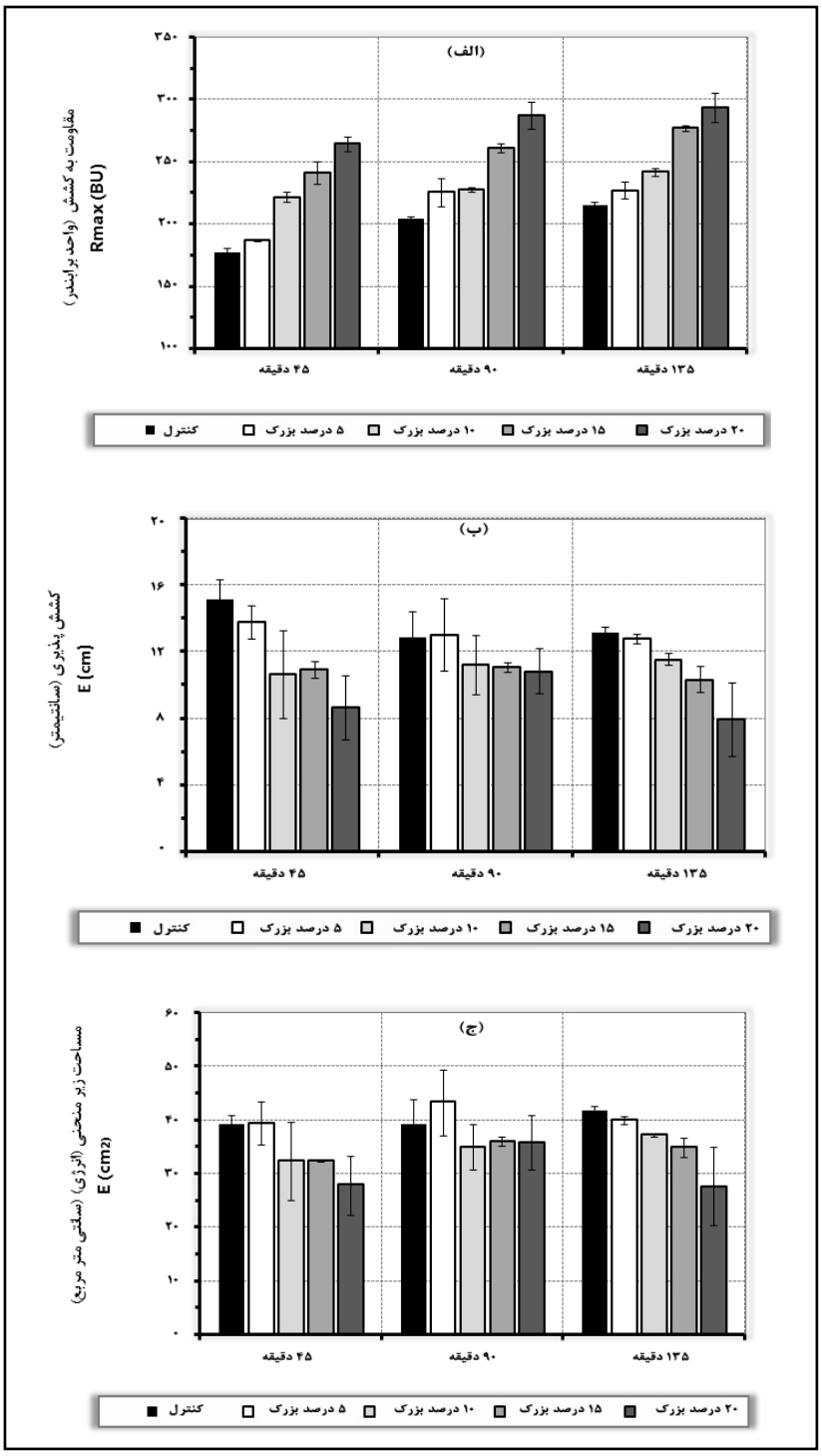
مقاومت به کشش خمیر نقش دارد، به‌نظر می‌رسد که با افزایش درصد جایگزینی بزرک در آرد گندم، پروتئین‌های مسئول خواص کشسانی خمیر (گلوتنین‌های پلیمری با وزن مولکولی بالا) احتمالا تقویت می‌شوند. در شکل ۴- ب مشاهده می‌شود که با افزایش درصد بزرک، قابلیت کشش خمیر کاهش یافته است که نشان‌دهندهٔ رفتار ویسکوز خمیر و مربوط به حضور گلیادین‌ها است. این امر نشان‌دهندهٔ تأثیر منفی پودر بزرک بر ویژگی کشش‌پذیری خمیر است. دلیل این موضوع احتمالا مربوط به درشت‌تر بودن اندازهٔ ذرات آرد بزرک نسبت به آرد گندم است که باعث پاره شدن زود هنگام گلوتن در حین کشش می‌شود. دلیل دیگر احتمالا مربوط به رقیق شدن پروتئین‌های گلیادین است که نسبت گلیادین به گلوتنین را تغییر می‌دهد و از این‌روست که خواص الاستیک که مربوط به حضور گلوتنین‌ها است تقویت، و خواص ویسکوز خمیر که مربوط به اثر گلیادین‌ها است تضعیف می‌شود.

منشأ این نوع تأثیرات متفاوت ممکن است مربوط به ترکیب شیمیایی آرد بزرک باشد. با توجه به این‌که در آزمون اکستنسوگرافی افزودن آرد بزرک تأثیری متفاوت بر اجزای الاستیک (R_{max}) و ویسکوز (E) خمیر داشت، لذا اندازه‌گیری سطح زیر منحنی اکستنسوگرام (معرف کار مکانیکی یا انرژی مورد نیاز برای کشش خمیر) می‌تواند توضیح بهتری برای رفتار رئولوژیکی خمیر در این آزمون ارائه دهد و اثر افزودن درصدهای مختلف آرد بزرک را تفسیر کند. انرژی خمیر[1] یا مساحت زیر منحنی اکستنسوگرام نشان‌دهنده انرژی مورد نیاز جهت کشش خمیر تا پاره شدن آن یا کار مکانیکی بر خمیر است. این مساحت، شاخص خوبی برای مشخص کردن قوت آرد نیز هست. در کاربردهای عملی، ارتفاع منحنی و مساحت زیر منحنی معیار قدرت آرد در نظر گرفته می‌شوند و بزرگ‌تر بودن آن‌ها بیانگر قدرت بالای خمیر است (Balestra, 2009). نتایج اندازه‌گیری سطح زیر منحنی (انرژی) برای تیمارهای آزمایشی در شکل ۴- ج آمده است: انرژی کشش خمیر برای تیمارهای ۵ و ۱۰ درصد بزرک مشابه انرژی خمیر شاهد است اما در تیمارهای ۱۵ و ۲۰ درصد بزرک، انرژی خمیر نسبت به انرژی خمیر شاهد کاهش یافت. این نتیجه مشابه یافته‌های کوکا و آنیل (Koca & Anil, 2007) است که نشان دادند با افزایش مقدار زیادتری بزرک به آرد گندم قدرت خمیر کاهش می‌یابد. نتایج فوق نشان می‌دهند که افزودن آرد بزرک به آرد گندم، کشش‌پذیری و استحکام خمیر را کاهش و مقاومت به کشش را افزایش می‌دهد و این اثر با افزایش درصد جایگزینی بزرک بارزتر می‌شود. این نتایج با یافته‌های گیلبرت (Gilbert, 2002) نیز مطابقت دارد که نشان داد آرد بزرک اثر خوبی بر شکل و ساختمان خمیر ندارد.



شکل ۳- منحنی‌های اکستنسوگرام (فقط زمان ۹۰ دقیقه) مربوط به آردهای غنی شده با درصدهای مختلف بزرک (میانگین سه تکرار).

1- Dough Energy



شکل ٤ – نتایج استخراج شده از منحنی‌های اکستنسوگرام تیمارهای آزمایشی: الف) حداکثر مقاومت خمیر به کشش (R_{max})، ب) کشش‌پذیری (E)، و ج) مساحت زیر منحنی اکستنسوگرام یا انرژی کشش خمیر (E).

ستون‌های هر شکل میانگین سه تکرار و بازه‌های خطا در هر نمودار معرف انحراف استاندارد هستند.

حروف لاتین متفاوت در ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها با احتمال ۹۵ درصد است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر افزودن آرد بزرک به آرد گندم بر خواص فارینوگرافی و اکستنسوگرافی خمیر بررسی شد. با توجه به نتایج آزمون فارینوگرافی، جذب آب، درجهٔ سست شدن خمیر، و عدد کیفی فارینوگراف افزایش ولی پایداری خمیر کاهش یافت.

از ویژگی‌های اکستنسوگرافی خمیر، مقاومت ماکزیمم خمیر (R_{max}) افزایش و میزان کشش‌پذیری خمیر و انرژی کشش آن کاهش یافت. ارزیابی‌های فیزیکی شیمیایی و آزمون‌های فارینوگرافی و اکستنسوگرافی خمیرهای تهیه شده با بزرک، خمیر دارای ۵ درصد بزرک را بهترین نمونه از نظر ویژگی‌های رئولوژیکی معرفی می‌کند؛ این ارزیابی‌ها همچنین نشان‌دهنده اثر ضعیف‌کنندگی آرد بزرک بر خمیر نان در مقادیر بیشتر از ۵ درصد آرد بزرک است، لذا جهت تولید نان فراسودمند حاوی اسیدهای چرب امگا ۳ و لیگنان‌ها و فیبر رژیمی که خصوصیات کیفی و حسی مطلوب آن را نیز حفظ کند، آرد گندم حاوی ۵ درصد بزرک پیشنهاد می‌شود. در صورت استفاده از مقادیر بالای آرد بزرک برای بهره‌مندی بیشتر از مزایای تغذیه‌ای آن لازم است به دلیل تأثیرات منفی بزرک بر خواص رئولوژیکی خمیر، از مواد و عوامل بهبوددهندهٔ کیفیت آرد نیز در فرمولاسیون محصول استفاده شود.

مراجع

Anon. 2005. Approved Methods. American Association of Cereal Chemists (AACC). Inc. Minnesota. USA.

Balestra, F. 2009. Empirical and fundamental mechanical tests in the evaluation of dough and bread rheological properties. Ph. D. Thesis. Alma Mater Studiorum University Di Bologna.

Behrooznam, N. 2008. Effect of flaxseed on quality of pan bread. M. Sc. Thesis. Science and Research Branch. Azad University of Tehran. Tehran. Iran. (in Farsi)

Bloedon, L. T. and Szapary, P. O. 2004. Flaxseed and cardiovascular risk. Nutr. Rev. 62(1): 18-27.

Choo, W. S., Birch, E. J. and Dufour, J. P. 2007. Physicochemical and stability characteristics of flaxseed oils during pan-heating. J. American Oil Chem. Soc. 84(8):735-740.

D' Appolonia, B. L. and Kunerth, W. H. 1984. The Farinograph Handbook. American Association of Cereal Chemists (AACC). Inc. Minnesota. USA.

Garden, J. A. 1993. Flaxseed gum extraction characterization and functionality. Ph. D. Thesis. North Dakota State University. USA.

Ghamari, M. Peigambardoust, S. H and Reshme-karim, K. 2009. Farinograph quality number in bread wheat quality. Food Sci. Technol. 6(2): 22-34. (in Farsi)

Gilbert, J. C. 2002. Evaluation of flax and rice bran on physical and chemical properties of bread for achieving health benefits. M. Sc. Thesis. Purdu University. West Lafayette.

Gomez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A. and Apesteguía, A. 2003. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. Eur. Food Res. Technol. 216(1): 51-56.

Hao, C., Mao, Z., Li, D. and Wang, L. 2008. Rheological properties of defatted flaxseed-wheat dough. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). Available at: http://www.asabe.org.

Koca, A. F. and Anil, M. 2007. Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. J. Sci. Food Agric. 87(6): 1172-1175.

Kulamarva, A. 2005. Rheological and thermal properties of sorghum dough. M. Sc. Thesis. Department of Bioresource Engineering. McGill University. Montreal. Canada.

Mentes, O., Bakkalbassi, E. and Ercan, R. 2008. Effect of the use of ground flaxseed on quality and chemical composition of bread. Food Sci. Technol. Int. 14(4): 299-306.

Palacios-Fonseca, A. J., Vazquez-Ramos, C. and Rodriguez-Garcia, M. E. 2009. Physicochemical characterizing of industrial and traditional nixtamalized corn flours. J. Food Eng. 93(1): 45-51.

Pohjanheimo, T. A., Hakala, M. A., Tahvonen, R. L., Salminen, S. J. and Kallio, H. P. 2006. Flaxseed in bread making: effects on sensory quality, aging, and composition of bakery products. J. Food Sci. 71(4): 343-348.

Przybylski, R. 2005. Flax Oil and High Linolenic Oils. In: Shahidi, F. (Ed.) Baileys Industrial Oil and Fat Products. John Wiley & Sons. Inc.

Rendon-Villalobos J. R., Bello-Perez, L. A., Agama-Acevedo, E., Islas-Hernandez, J. J., Osorio-Diaz, P. and Tovar, J. 2009. Composition and characteristics of oil extracted from flaxseed-added corn tortilla. J. Food Chem. 117(1): 83-87.

Ridges, L., Sunderland, R., Moerman, K., Meyer, B., Astheimer, L. and Howe, P. 2001. Cholesterol lowering benefits of soy and linseed enriched foods. Asia Pac. J. Clin. Nutr. 10(3): 204-211.

Simopoulos, A. P. 2002. Omega-3 fatty acids in wild Plants, nuts and seeds. Asia Pac. J. Clin. Nutr. 11(2): 163-173.

Singh, K. K., Mridula, D., Rehal, J. and Barnwal, P. 2011. Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 51(3): 210-222.

Strandas, C. 2008. The phenolic complex in flaxseed: Analysis, structural features and bioactivity. Ph. D. Thesis. Faculty of Natural Resources and Agricultural Science. Department of Food Science. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. Sweden.

Westcott, N. D. and Muir, A. D. 2003. Flaxseed lignan in disease prevention and health promotion. Phytochem. Rev. 2(3): 401-417.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.13/No.4/2013/P: 61-74

Rheological Properties of Wheat Flour Dough with Added Flaxseed Powder

S. H. Peighambardoust*, M. Jafarzadeh-Moghaddam, S. Azadmard-Damirchi and R. Aghagholizadeh

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Tel: 04113392052, E-Mail: peighambardoust@tabrizu.ac.ir
Received: 20 August 2011, Accepted: 5 May 2012

Flaxseed is rich in omega-3 essential fatty acids, lignans, dietary fiber and natural antioxidants such as tocopherols. Because of its functional effect in preventing disease, flaxseed is used as an ingredient to fortify food formulations. Bread is a major food product in Iran. Fortification of wheat flour with ground flaxseed makes use of the healthy benefits of flaxseed. This study investigated the rheological properties of dough prepared using flaxseed-supplemented flour. Flaxseed flour was used to replace 50, 10, 150 and 200 $g.kg^{-1}$ of the wheat flour. Farinograph results showed greater water absorption, longer development time, increased softening and a higher farinograph quality number for the flaxseed-supplemented flours over the control flour. Dough stability time for all blends decreased except for that with 5% flaxseed. Extensograph testing revealed a significant increase in maximum resistance of dough to extension and a substantial decrease in dough extensibility and extension energy. Despite the beneficial health effects of flaxseed in fortification of bread, the negative effects of high concentrations of flaxseed powder on dough quality and rheological properties must be considered and precautions taken to compensate for these adverse effects.

Keywords: Dough, Flaxseed, Rheology, Wheat flour