



تأثیر آرد ارزن دم روباهی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد گندم تصفیه و خواص رئولوژیکی خمیر

ژاله احمدی کبیر^۱، محمد حسین عزیزی^۲، حسین عباس تبارآهنگر^۳ و^{۴*} اعظم اعرابی^۵

۱- گروه علوم صنایع غذایی و فناوری، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۲- گروه علوم صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران.

۳- گروه شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۴- مرکز تحقیقات محیط زیست انسانی و توسعه پایدار، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۵- گروه علوم صنایع غذایی و فناوری، واحد شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
	تاریخ های مقاله :
	تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰
	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷
	کلمات کلیدی:
	آرد مخلوط، ارزن دم روباهی، رئولوژیکی، فیزیکوشیمیایی، کانسیستوآلئوگراف.
	DOI: 10.52547/fsct.19.124.359
	DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.21.8
	* مسئول مکاتبات: abbastabar@pmt.iaun.ac.ir

۱- مقدمه

ارزن دم روباهی^۱ (ستاریا ایتالیکا) ششمین محصول بذری در جهان است و به عنوان ارزن عمده معرفی شده است [۱]. بسیار سازگار با محیط و مقاوم به خشکی است که تقریباً در هر آب و هوایی رشد می‌کند. در شرایط خشک نسبت به سایر غلات بازدهی بیشتر و فصل رشد کوتاهی دارد [۲]. در کشورهای غربی، ارزن عمدتاً برای خوراک پرندگان یا به عنوان علوفه خشک کشت می‌شود، اما در کشورهای در حال توسعه هم برای تغذیه افراد کم درآمد و هم برای اهداف علوفه کشت می‌شود [۳]. هر ۱۰۰ گرم ارزن دم روباهی حاوی ۱۲/۳ گرم پروتئین، ۴/۳ گرم چربی، ۲/۴۲ گرم فیبر، ۳/۳ گرم مواد معدنی است [۴]. نسبت به برخی غلات مانند گندم و ذرت، محتوای پروتئین و چربی بیشتری دارد [۵]. ترکیب پروتئین ارزن دم روباهی نشان می‌دهد که غنی از لیزین است و می‌توان از آن به عنوان مکمل پروتئینی با غلات فراوان استفاده کرد [۶]. روغن به دست آمده از ارزن دم روباهی منبع غنی اسید لینولئیک و توکوفرول است [۷]. محتوای تیامین (۰/۶ میلی گرم) و ریبوفلاوین (۱/۶۵ میلی گرم) در ۱۰۰ گرم ارزن دم روباهی است که مقدار آن بیش‌تر از گندم و برنج است [۸]. همچنین منبع خوبی از فیبر غذایی (۱۴ گرم در ۱۰۰ گرم) است [۹]. دانه‌های ارزن دم روباهی را می‌توان در مواد غذایی مختلف برای افراد دیابتی استفاده کرد [۱]. همچنین مطالعه روی ارزن دم روباهی نشان داده است که سبوس آن دارای خواص آنتی‌اکسیدانی قوی است [۱۰]. اجزای فنلی، آنتی‌اکسیدان‌های اصلی موجود در ارزن هستند که توانایی خود را به عنوان عوامل کاهنده و گیرنده فلزات نشان می‌دهند [۱۱]. مطالعات اپیدمیولوژیک مختلف نشان داده است که افزایش مصرف ارزن دم روباهی در رژیم غذایی روزانه خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن مانند متابولیسم کلسترول و دیابت نوع ۲ را کاهش می‌دهد [۱۲]. علاوه بر این، به دلیل محتوای منیزیم به

عنوان یک غذای سالم برای قلب شناخته شده است [۱۳]. ارزن دم روباهی از سرطان جلوگیری می‌کند [۱۴] و می‌تواند به طور بالقوه برای تهیه انواع غذاهای با گلیسمی پایین مورد استفاده قرارگیرد [۱۵]. هدف از این مطالعه الف) بررسی خواص فیزیکوشیمیایی آرد گندم تصفیه جایگزین شده با نسبت‌های مختلف (۱۰ تا ۳۰٪) آرد ارزن دم روباهی، ب) مطالعه اثر آرد مخلوط بر خواص رئولوژیکی خمیر، و ج) ارزیابی ضرایب همبستگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد و ویژگی‌های آلئوکانسیتوگراف می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

آرد گندم تصفیه از شرکت آرد غنچه اهواز، دانه ارزن دم روباهی رقم باستان از سازمان جهاد کشاورزی اصفهان، مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش‌ها از شرکت مرک آلمان خریداری شد. به منظور حذف گرد و غبار و سایر مواد خارجی دانه‌های ارزن تمیز سپس دانه‌های کامل در آسیاب تیغه‌ای آسیاب شدند. آرد گندم تصفیه با ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ آرد ارزن دم روباهی جایگزین شدند. آرد گندم تصفیه به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. تمام نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در ظروف پلی‌استر متالیزه نگهداری شدند.

۲-۲- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

- اندازه ذرات: اندازه ذرات توسط الک لرزان مارک بدیع ساخت کشور ایران تعیین شد [۱۶].
- ترکیبات تقریبی: ترکیبات تقریبی نمونه‌های آرد شامل رطوبت، چربی، خاکستر، فیبر خام و محتوای پروتئین تعیین شد. ضریب تبدیل نیتروژن به پروتئین ۶/۲۵ در نظر گرفته شد. پروتئین، خاکستر، چربی و فیبر خام بر اساس ماده خشک گزارش شدند [۱۷].

1. *Setaria italica*

۲-۳- خواص رئولوژیکی خمیر

خواص رئولوژیکی خمیر توسط دستگاه آلوئوکانیسیستوگراف چاپین فرانسه تعیین شد. برای ارزیابی رئولوژی خمیر، حداکثر فشار^۵، ظرفیت جذب آب^۶، جذب آب^۷، زمان رسیدن به حداکثر فشار^۸ در ۲۵۰ ثانیه و ۴۵۰ ثانیه پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط کانسیستوگراف بودند [۲۰]. علاوه بر این، کشش خمیر، مقاومت کشش خمیر و انرژی مورد نیاز برای انبساط خمیر توسط آلوئوگراف ارزیابی شدند [۲۱].

۲-۴- تحلیل آماری

در این مطالعه برای بررسی صفات آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. توزیع نرمال داده‌های این آزمایش ابتدا با استفاده از نرم افزار اس پی اس نسخه ۱۷ بررسی شد. سپس تجزیه و تحلیل واریانس^{۱۱} برای شناسایی تفاوت معنی‌دار بودن در بین داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری ساس^{۱۱} نسخه ۸ انجام شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل تفاوت معنی‌دار^{۱۲} در سطح احتمال ۵٪ انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آرد

- اندازه ذرات: اندازه ذرات مطابق با جدول ۱ به دست آمد. مشاهده شد که با افزایش آرد ارزن دم روباهی اندازه ذرات درشت‌تر بود، با توجه به اینکه دانه‌های ارزن به طور کامل و با آسیاب تیغه‌ای آرد شده است، این نتیجه قابل پیش‌بینی بود.

- رنگ: برای اندازه‌گیری تفاوت رنگ نمونه‌ها از دستگاه هانتر لب مدل تی ای اس ۱۱۳۵ استفاده شد. شاخص L^* برای روشنی-تاریکی، شاخص a^* برای قرمزی-سبزی و شاخص b^* برای زردی-آبی توصیف شدند [۱۸].

- فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز: فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز با استفاده از دستگاه فالینگ نامبر مدل اس پی تی^۱، ایران اندازه‌گیری شد [۱۹].

- محتوای گلوتن: محتوای گلوتن مرطوب و خشک بر حسب گرم درصد با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری گلوتن جی ام سی^۳ چین تعیین شد [۱۹].

- محتوای نشاسته آسیب‌دیده: نشاسته آسیب دیده نمونه‌های آرد با استفاده از دستگاه چاپین اس دی متیک^۴ فرانسه اندازه‌گیری و با روش آمپرومتریک تعیین شد [۱۹]. در این روش نشاسته آسیب دیده از طریق محاسبه شدت جریان رسوب حاصل از باند شدن نشاسته آسیب دیده و ید آزاد حاصل از جریان الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. ابتدا محلول ۳ گرم اسید بوریک و یدید پتاسیم، ۱ قطره تیوسولفات سدیم و ۱۲۰ میلی لیتر آب مقطر آماده و درون دستگاه قرار گرفت. زمانی که دمای محلول به ۳۵ درجه سانتی-گراد رسید ۱ گرم نمونه آرد در دستگاه گذاشته شد. یک الکتروود در محلول جریان الکتریسیته ایجاد می‌کند که موجب تولید ید آزاد می‌گردد و الکتروود دوم میزان جریان الکتریکی تولید شده را اندازه‌گیری می‌کند. در مدت زمان آزمایش، ید آزاد با نشاسته آسیب‌دیده باند شده و دستگاه شدت جریان رسوب را اندازه‌گیری می‌کند. میزان ید جذب شده نشان‌دهنده میزان نشاسته آسیب‌دیده می‌باشد.

= میزان نشاسته آسیب دیده

(شدت جریان رسوب/میزان جریان الکتریکی)-۱

5. PrMax
6. HYD2200
7. WA
8. TprMax
9. spss
10. ANOVA
11. sas
12. lsd

1. TES 135A
2. SPT
3. JMC
4. SDMatic, Chopin

Table 1 Particle size distribution of flour samples (weight %).

Flour	Sieve No.				
	475	180	125	106	Below106
RWF	0 ^b	5.05 ^c	24 ^b	16.7 ^b	54.25 ^a
FMF	0.11 ^a	23.8 ^a	66.6 ^a	8.49 ^c	1 ^c
FMF10%	0 ^b	6.5 ^c	25.19 ^b	14.4 ^b	53.91 ^a
FMF20%	0 ^b	8.85 ^{bc}	25 ^b	15.5 ^b	50.65 ^a
FMF30%	0 ^b	11 ^b	27.68 ^b	35.12 ^a	26.2 ^b

Values with the same letters in the same column are not significantly different ($p>0.05$).

پروتئین آرد ارزن دم روباهی را به ترتیب ۳/۱۰، ۳/۰۶، ۴/۲۵ و ۱۰/۲۹٪ اندازه گیری شده است [۲۳]. در یک مطالعه افزایش سطح آرد ارزن پروسو به آرد گندم به طور قابل توجهی باعث افزایش محتوای چربی و خاکستر شد [۲۴]. همچنین، محتوای چربی و پروتئین دو نوع آرد ارزن مرواریدی به طور قابل توجهی بالاتر از آرد تصفیه بود [۲۵].

- ترکیبات تقریبی: ترکیبات تقریبی نمونه‌های آرد در جدول ۲ نشان داده شده است. محتوای فیبر، چربی، خاکستر و پروتئین آرد ارزن دم روباهی بالاتر از آرد گندم تصفیه بود. همچنین محتوای فیبر، چربی، خاکستر و پروتئین با افزایش مقدار آرد ارزن دم روباهی در آرد مخلوط به طور معنی داری افزایش یافت. محتوای فیبر، چربی و پروتئین آرد ارزن دم روباهی به ترتیب ۴/۳ و ۱۲/۳٪ گزارش شده است [۲۲]. محتوای فیبر، چربی، خاکستر و

Table 2 Particle size distribution of flour samples (weight %).

Flour	moisture	protein	fat	ash	Crud fiber
RWF	13.00±0.05 ^a	11.03±0.07 ^c	1.77±0.03 ^c	0.63±0.00 ^c	0.37±0.01 ^c
FMF	7.22±0.03 ^c	13.45±0.17 ^a	4.25±0.03 ^a	2.77±0.00 ^a	5.46±0.05 ^a
FMF10%	12.52±0.06 ^b	11.35±0.05 ^d	2.65±0.04 ^d	0.85±0.00 ^d	0.85±0.03 ^d
FMF20%	11.53±0.04 ^c	11.96±0.08 ^c	2.94±0.04 ^c	1.01±0.00 ^c	1.38±0.04 ^c
FMF30%	10.86±0.06 ^d	12.65±0.05 ^b	3.38±0.05 ^b	1.32±0.00 ^b	1.86±0.05 ^b

Values with the same letters in the same column are not significantly different ($p>0.05$).

۲۰٪ مشاهده نشد. مقدار a^* با افزایش مقدار آرد ارزن دم روباهی در آرد مخلوط به طور قابل توجهی افزایش یافت. تفاوت معنی داری بین مقدار b^* بین نمونه‌های آرد مشاهده نشد. مقدار b^* آرد ارزن دم روباهی کمی بیش تر از آرد گندم تصفیه بود. گزارش شده است که رنگ زرد آرد ارزن دم روباهی به دلیل کاروتنوئیدها، عمدتاً ترانس لوتئین و ترانس زاکسانتین موجود در آن است [۲۶]. سیتق و هوتان برای آرد ارزن دم روباهی ارزش L^* برابر ۳۸، ۶۱/۱، a^* برابر ۳/۹۱ و b^* برابر ۱۶/۲۰ را به دست آوردند که مشابه نتایج این مطالعه می‌باشد [۲۷].

- رنگ: مقادیر رنگ نمونه‌های آرد در جدول ۳ ارائه شده است. آرد ارزن دم روباهی و آرد مخلوط به طور قابل توجهی ارزش L^* کمتری نسبت به آرد گندم تصفیه نشان دادند. آرد مخلوط ۱۰ و ۲۰٪ تفاوت معنی داری نداشتند و روشن تر از آرد مخلوط ۳۰٪ بودند. از آنجایی که ذرات گندم تصفیه کوچک تر از سایر نمونه‌های آرد هستند (جدول ۱)، رنگ روشن تر است. ذرات آرد بزرگ تر سایه ایجاد می‌کند و نور را می‌شکند بنابراین تیره تر به نظر می‌رسد. نتایج نشان داد که مقدار a^* آرد ارزن دم روباهی بالاترین میزان را دارد که ممکن است به دلیل محتوای خاکستر بالا باشد. تفاوت معنی داری بین مقدار a^* بین آرد مخلوط ۱۰ و

Table 3 color values of flour samples.

Flour	L^*	a^*	b^*
RWF	88.09±0.67 ^a	0.86±0.03 ^d	12.52±0.65 ^a
FMF	79.14±1.00 ^d	3.08±0.21 ^a	12.84±0.12 ^a
FMF10%	86.22±0.48 ^b	1.30±0.04 ^c	12.10±0.11 ^a
FMF20%	85.78±0.81 ^b	1.47±0.08 ^c	12.17±0.14 ^a
FMF30%	84.39±0.68 ^c	1.93±0.12 ^b	12.42±0.06 ^a

Values with the same letters in the same column are not significantly different ($p>0.05$).

همچنین کاهش آرد گندم تصفیه در نمونه‌های آرد مخلوط، گلوتن مرطوب را ۲ تا ۵٪ کاهش داد. مطالعات نشان می‌دهد که کاهش نسبت گندم در آرد مخلوط (آرد گندم سیاه و آرد ارزن پرپوس) محتوای گلوتن مرطوب را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد [۳۳]. همچنین افزایش مقدار آرد ارزن کودو و برنیارد جایگزین آرد گندم کامل همراه با آرد سویای بدون چربی، میزان گلوتن تر و خشک را کاهش داد [۳۰]. پروتئین‌های اصلی ارزن دم روباهی پرولامین‌ها هستند [۶] در صورتی که پروتئین‌های گندم (گلیادین‌ها و گلوتنین‌ها) قادر به تولید گلوتن ویسکوالاستیک هستند [۳۳]. بنابراین، پروتئین‌های ارزن دم روباهی قادر به تولید گلوتن نیستند و ارزن فاقد گلوتن است [۶].

- **محتوای نشاسته آسیب‌دیده:** محتوای نشاسته آسیب‌دیده آرد بر تولید نان تأثیر می‌گذارد. نشاسته آسیب‌دیده در مقایسه با نشاسته بومی آب بیشتری جذب می‌کند. همچنین آلفا و بتا آمیلازها قند بیشتری در فرآیند پخت تولید می‌کنند. از سوی دیگر، آسیب بیش از حد نشاسته باعث افزایش چسبندگی در خمیر و برخی مشکلات دیگر مانند رنگ نامطلوب می‌شود [۳۴]. جدول ۴ نشان می‌دهد که محتوای نشاسته آسیب‌دیده آرد گندم تصفیه بیش‌تر از آرد ارزن دم روباهی است. بنابراین، کاهش محتوای نشاسته آسیب‌دیده با افزایش آرد ارزن دم روباهی انتظار می‌رفت. همانطور که در جدول ۱ مشاهده شد، اندازه ذرات آرد گندم تصفیه کوچک‌تر از آرد ارزن دم روباهی و آردهای مخلوط بود. محتوای نشاسته آسیب‌دیده با کوچک‌تر شدن ذرات آرد افزایش یافت [۳۵]. نتایج نشان می‌دهد که آرد ارزن دم روباهی می‌تواند به عنوان یک افزودنی تقویت‌کننده برای اختلاط با آرد گندم تصفیه که دارای نشاسته آسیب‌دیده زیادی است استفاده شود.

Table 4 Falling number, Gluten content and Damaged starch content of flour samples.

Flour	Falling Number (s)	Wet Gluten (%)	Dry Gluten (%)	Damaged starch (%)
RWF	422.50±2.50 ^a	25.25±0.25 ^a	0.89±0.01 ^a	6.08±0.02 ^a
FMF	260.50±6.50 ^e	0.00±0.00 ^e	0.00±0.00 ^e	4.19±0.05 ^e
FMF10%	372.50±3.50 ^b	23.15±0.15 ^b	0.86±0.01 ^b	5.88±0.02 ^b
FMF20%	346.00±4.00 ^c	22.55±0.05 ^c	0.80±0.01 ^c	5.75±0.01 ^c
FMF30%	330.50±0.50 ^d	21.40±0.10 ^d	0.77±0.02 ^d	5.04±0.02 ^d

Values with the same letters in the same column are not significantly different ($p>0.05$).

جذب آب و جذب آب خمیر مخلوط شد (شکل ۱-۱). با افزایش مقدار آرد ارزن دم روباهی در آرد مخلوط، ظرفیت جذب آب از ۵۴/۲ به ۴۹/۵٪، حداکثر فشار از ۲۸۷۶ میلی بار به ۱۸۱۹ میلی بار و جذب آب از ۵۶/۷ به ۵۲٪ کاهش یافت.

- **فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز:** برای اطمینان از فرآیند پخت مناسب، مقدار مشخصی آلفا آمیلاز مورد نیاز است. فعالیت مناسب آلفا آمیلاز منجر به نانی با بافت نرم و حجم بالا می‌شود (فالینگ نامبر = ۲۵۰ ثانیه). وقتی فعالیت زیاد باشد نانی با حجم کم و چسبناک به دست می‌آید. همچنین نان با خرده‌های خشک و حجم کم حاصل فعالیت کم آلفا آمیلاز است. عدد فالینگ رابطه معکوس با فعالیت آلفا آمیلاز دارد [۲۸]. همه نمونه‌ها از نظر عدد فالینگ به‌طور معنی‌داری متفاوت بودند (جدول ۴). در واقع، با افزایش مقدار آرد ارزن دم روباهی، این عدد کاهش یافت. بنابراین، با افزایش مقدار آرد ارزن دم روباهی در آرد مخلوط، آلفا آمیلاز افزایش یافت. در تحقیقی عدد فالینگ برای ۴ واریته ارزن انگشتی ۲۴۲ ثانیه به دست آمد [۲۹] که مشابه با نتیجه این تحقیق می‌باشد. افزودن آرد کودو و ارزن برنیارد به مخلوط سویا و آرد گندم کامل باعث کاهش عدد فالینگ شد [۳۰]. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با ریزتر شدن ذرات آرد عدد فالینگ افزایش یافته و آرد ارزن دم روباهی کامل که سبوس آن گرفته نشده دارای عدد فالینگ کم‌تر از آرد گندم تصفیه با ذرات ریزتر است. کیزوناس و همکاران گزارش کردند که برداشتن سبوس تأثیر در کم شدن فعالیت آلفا آمیلاز دانه گندم نرم دارد [۳۱].

- **محتوای گلوتن:** محتوای گلوتن مرطوب به خواص پخت آرد گندم کمک می‌کند. محتوای گلوتن مرطوب در واقع میزان گلوتن متورم گندم را نشان می‌دهد. کیفیت خمیر و خواص رئولوژیکی خمیر عمدتاً به پروتئین گندم به‌ویژه گلوتن و کیفیت گلوتن بستگی دارد که بر پخت تأثیر می‌گذارد [۳۲]. جدول ۴ نشان می‌دهد که افزودن آرد ارزن دم روباهی به آرد گندم تصفیه به‌طور قابل توجهی باعث کاهش محتوای گلوتن مرطوب و خشک شد.

۳-۲- خواص رئولوژیکی خمیر

خواص رئولوژیکی خمیرها در شکل ۱ نشان داده شده است. افزایش آرد ارزن دم روباهی باعث کاهش حداکثر فشار، ظرفیت

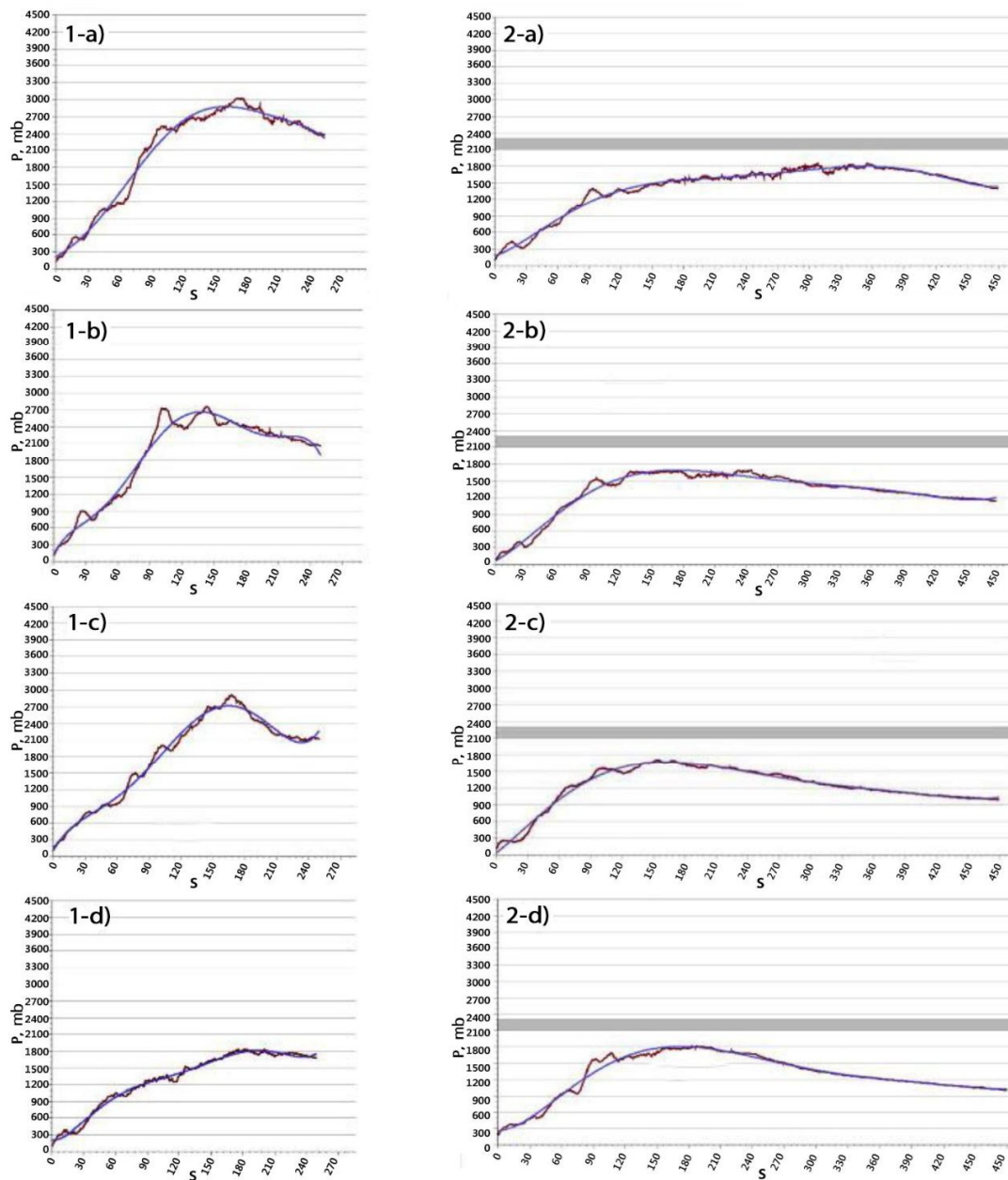


Fig 1 Consistograph results for constant hydration (1), adapted hydration (2) and alveograph): a) RWF, b) FMF10%, c) FMF20%, d) FMF30%.

RWF= refined wheat flour, FMF= foxtail millet flour.

نشاسته آسیب دیده بود، بنابراین کمترین جذب آب را در بین نمونه‌ها نشان داد. با افزایش نسبت آرد ارزن دم روباهی در مخلوط، افت فشار در ۲۵۰ ثانیه و ۴۵۰ ثانیه بیشتر و تحمل خمیر نمونه‌ها کاهش یافت (شکل ۱-۲). کولپ و پونته اشاره کردند که تحمل خمیر به دست آمده توسط فارینوگراف، با مقدار

کاهش جذب آب را می‌توان به میزان کم‌تر گلوتن و محتوای لیپید بالاتر نمونه‌های خمیر مخلوط نسبت داد [۲۴]. کاهش محتوای نشاسته آسیب دیده در آرد مخلوط نیز می‌تواند باعث کاهش جذب آب شود. آرد مخلوط ۳۰٪ دارای کمترین محتوای

آرد مخلوط ۳۰٪ افزایش تا ۴۳ میلی‌متر نشان داد و تغییر معنی‌داری بین آرد گندم تصفیه و آردهای مخلوط ۱۰ و ۲۰٪ دیده نشد. نسبت مقاومت به کشش خمیر به کشش خمیر از ۲/۸۲ در آرد گندم تصفیه به ۱/۵۱ در آرد مخلوط ۳۰٪ کاهش یافت. انرژی مورد نیاز برای انبساط خمیر از ۱۷۰/۲۰ (۱۰^{-۴} ژول) در آرد گندم تصفیه به ۹۷/۴۰ (۱۰^{-۴} ژول) در آرد مخلوط ۳۰٪ کاهش یافت (جدول ۶). تغییرات در خواص آلوئوگراف به دلیل محتوای فیبر بالاتر، محتوای گلوتن کم‌تر و برهمکنش گلوتن و فیبر بود [۳۸].

گلوتن در ارتباط است و با افزایش مقدار آرد چاودار در آرد مخلوط، همچنان که محتوای گلوتن کم شد تحمل خمیر هم کاهش یافت [۳۶]. نتایج مشابهی با افزایش نسبت آرد ارزن انگشتی در مخلوط به دست آمد [۳۷]. همانطور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود مقاومت به کشش خمیر، که پیش‌بینی‌کننده توانایی خمیر در نگهداری گاز است، از ۱۰۷ میلی‌متر در آرد گندم تصفیه به ۶۵ میلی‌متر در آرد مخلوط ۳۰٪ کاهش یافت. کشش خمیر از ۳۸ میلی‌متر در آرد گندم تصفیه به ۳۲ میلی‌متر در آرد مخلوط ۲۰٪ با اختلاف معنی‌داری کاهش یافت، ولی در

Table 6 The quantity of the alveograph analysis of flour samples.

Flour	P (mm)	L(mm)	W (10 ⁻⁴ j)	P/L
RWF	107±8.28 ^a	38±1.35 ^b	170.20±17.09 ^a	2.82±0.80 ^a
FMF10%	90±4.30 ^b	38±1.04 ^b	142.40±21.89 ^{ab}	2.37±0.31 ^a
FMF20%	85±9.18 ^b	32±1.33 ^b	113.00±13.78 ^{bc}	2.66±0.83 ^a
FMF30%	65±1.30 ^c	43±1.23 ^a	97.40±37.17 ^{bc}	1.51±0.80 ^b

Values with the same letters in the same column are not significantly different ($p>0.05$).

مقاومت به کشش خمیر ($P<0.001$) و انرژی مورد نیاز برای انبساط خمیر ($P<0.05$) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. ثابت شده است که گرانول‌های نشاسته آسیب‌دیده آب بیش‌تری را از کل گرانول‌های نشاسته جذب می‌کند [۳۵]. عدد فالینگ همبستگی مثبت و معنی‌داری با مقاومت به کشش خمیر ($P<0.001$)، انرژی مورد نیاز برای انبساط خمیر ($P<0.01$) و جذب آب ($P<0.05$) داشت. این نتایج با گزارش حاصل از میرونوسا و کندینا موافق است [۳۹]. کاهش یافتن مقاومت به کشش خمیر با پایین بودن عدد فالینگ می‌تواند نتیجه حضور دکسترین‌های با وزن مولکولی پائین تولیدشده از هیدرولیز نشاسته گندم آسیب‌دیده باشد [۴۰].

۳-۳- ضرایب همبستگی بین خواص فیزیکوشیمیایی آرد و ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر

ضرایب همبستگی بین خواص فیزیکوشیمیایی و ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر در جدول ۷ نشان داده شده است. در میان خواص فیزیکوشیمیایی آرد، محتوای گلوتن مرطوب همبستگی مثبت و معنی‌داری با مقاومت به کشش خمیر ($P<0.001$)، انرژی مورد نیاز برای انبساط خمیر و جذب آب ($P<0.05$) نشان داد. مشخص است که آرد با کیفیت بالای گلوتن برای ساخت نان مناسب است [۳۹]. محتوای نشاسته آسیب‌دیده با جذب آب،

Table 7 Correlation coefficients between of wheat flour analytical characteristics and Alveograph parameters.

	WG	DS	FN	P/L	P	L	W	WA
WG	1							
DS	0.91 ^{***}	1						
FN	0.88 ^{***}	0.92 ^{***}	1					
P/L	0.33	0.28	0.25	1				
P	0.94 ^{***}	0.74 ^{***}	0.76 ^{***}	0.57 ^{**}	1			
L	0.04	-0.27	-0.19	-0.44 [*]	0.19	1		
W	0.54 [*]	0.52 [*]	0.61 ^{**}	-0.0006	0.68 ^{***}	0.21	1	
WA	0.94 [*]	0.99 ^{***}	0.91 [*]	-0.23	0.74	-0.12	0.73	1

^{*}, ^{**} and ^{***} = not Significant at $P>0.05$ and $P>0.01$ and $P>0.001$, respectively.

WG=Wet Gluten, DS= Damaged Starch, WA= Water Absorption, FN=Falling Number, P= Tenacity or Resistance to Extension, L= Dough Extensibility, W= Deformation Energy, P/L= Curve Configuration Ratio

demand scenario for alternative sustainable protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101 (3): 831–842.

- [6] Mohamed, T.K., Zhu, K., Issoufou, A., Fatmata, & T., Zhou, H. (2009). Functionality, in vitro digestibility and physicochemical properties of two varieties of defatted foxtail millet protein concentrates. *International Journal of Molecular Sciences*. 10(12), 5224-5238.
- [7] Liang, S., Yang, G. and Ma, Y. (2010). Chemical characteristics and fatty acid profile of foxtail millet bran oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87(1): 63-67.
- [8] Kumar, A., Tomer, V., Kaur, A., Kumar, V. and Gupta, K. (2018). Millets: a solution to agrarian and nutritional challenges. *Agriculture and Food Security*, 7(1): 31.
- [9] Ballolli, U., Malagi, U., Yenagi, N., Orsat, V. and Garipey, Y. (2014). Development and quality evaluation of foxtail millet (*Setaria italica* (L.)) incorporated breads. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 27(1): 52-55.
- [10] Amadou, I., Amza, T., Shi, Y. H. & Le. G. W. (2011). Chemical analysis and antioxidant properties of foxtail millet bran extracts. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 33 (5), 509-515.
- [11] Chandrasekara, A. & Shahidi, F. (2010). Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* 58, 6706–6714.
- [12] Choi, Y. Y., Osada, K., Ito, Y., Nagasawa, T., Choi, M. R., & Nishizawa, N. (2005). Effects of dietary protein of Korean foxtail millet on plasma adiponectin, HDLcholesterol, and insulin levels in genetically type 2 diabetic mice. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 69, 31–37.
- [13] Ambati, K. & Sucharitha, K. V. (2019). Millets- review on nutritional profiles and health benefits. *International Journal of Recent Scientific Research*. 07(1). 33943-33948.
- [14] Zhang, L.Z. & Liu, R.H. (2015). Phenolic and carotenoid profiles and antiproliferative activity of foxtail millet. *Food Chemistry*. 174, 495-501.
- [15] Sharma, N. & niranjan, K. (2018). Foxtail millet: Properties, processing, health benefits, and uses. *Food Reviews International*. 34 (4).

۴- نتیجه گیری

اثر افزودن آرد ارزن دم روباهی بر برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی آرد گندم تصفیه مورد بررسی قرار گرفت. افزایش آرد ارزن دم روباهی باعث بیش‌تر شدن فیبر خام در آرد مخلوط شد. نتیجه حاصل از محتوای نشاسته آسیب‌دیده نشان داد که آرد ارزن دم روباهی می‌تواند به عنوان یک بهبود دهنده خواص رئولوژیکی آرد گندم تصفیه با محتوای نشاسته آسیب‌دیده استفاده شود. باتوجه به نتایج آلونوگراف، افزایش آرد ارزن دم روباهی بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر تأثیر دارد. آردهای مخلوط ۱۰ و ۲۰٪ خواص نزدیک‌تری به آرد گندم تصفیه نشان دادند. از این رو، مخلوط‌های حاوی حداکثر ۲۰٪ آرد ارزن دم روباهی برای تهیه نان توصیه می‌شود.

۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان از شرکت هرند آرد برای انجام برخی آزمایش‌ها و سیمین نان برای تهیه نمونه‌های آرد تشکر می‌کنند.

۶- منابع

- [1] Saleh, A.S.M., Zhang, Q., Chen, J. & Shen, Q. (2013). Millet grains: Nutritional quality, processing, and potential health benefits. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 12 (3), 281–295. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12012>.
- [2] Devi, P.B. Vijayabharathi, R., Sathyabama, S., Malleshi, N.G. & Priyadarisini, V. B. (2014) Health benefits of finger millet (*Eleusine coracana* L.) polyphenols and dietary fiber: a review. *J Food Sci Technol*. 51(6). 1021-1040. doi:10. 1007/s13197-011-0584-9.
- [3] Baker, R. D. (2003). Millet Production. Available on <http://Lubbock.tamu.edu/othercrops/docs/nmsummilprod.htm>. (Accessed 20 February, 2010).
- [4] Banerjee, P. and Maitra, S. (2020). The role of small millets as functional food to combat malnutrition in developing countries. *Indian Journal of Natural Sciences*, 10(60): 20412-20417.
- [5] Sachdev, N., Goomer, S. and Singh, L.R. Foxtail millet: A potential crop to meet future

- of cooking methods on carotenoid content. *J. Cereal Sci.* 61. 86–93.
- [27] Singh, A. & Hathan, B. (2014). Comparative Characterization of Foxtail Millet, Physico-Chemical Approach for its Suitability to Celiacs. *Journal of Food Processing & Technology*. 5(11).
- [28] Kumar, D., Sudha Devi, G., Joseph Raju, P. & Dayakar Rao, B. (2018). Development and standardization for preparation of doughnut using millets (Jowar, Pearl, Ragi, Little, Kodo, Barnyard, Proso and Foxtail). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(1). 990-999.
- [29] Dasa, F. & Binh, L. N. (2019). A Comparative study on rheological, functional and color properties of improved millet varieties and injera. *Journal of Agricultural Science and Food Research*. 10 (3).267.
- [30] Vijayakumar, P. & Mohankumar, B. (2009). Formulation and characterization of Millet flour blend incorporated composite flour. *International Journal of Agriculture Sciences*. 1(2). 46-54.
- [31] Kiszonas, A., Engle, D., Pierantoni, L. & Morris, C. (2018). Relationships between Falling Number, α -amylase activity, milling, cookie, and sponge cake quality of soft white wheat. *Cereal chemistry*. 95(3). 373-385.
- [32] Murugesan, R. (2014). Use of millets for partial wheat replacement in bakery products. A Thesis Submitted to McGill University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- [33] Gavurnikova, S., Havrlentova., M., Mendel, L., Cicova, I., Bielikova, M. & Kraic, J. (2011). Parameters of wheat flour, dough, and bread fortified by buckwheat and millet flours. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*. 57(4), 144–153.
- [34] Mc Allister, J., Le Brun, O., K Walker, C. & Algeldeh, J. (2008). Starch damage content determination: Amperometric method vs enzymatic method Conference: Proceedings of the 58th Australian Cereal Chemistry Conference, At Surfers Paradise, Queensland.
- [35] Ali, R., Shkeel Khan, M., Sayeed, S.A., Ahmed, R., Gufran Saeed, S.M. & Mobin, L. (2014). Relationship of damaged starch with some physicochemical parameters in 329-363. doi.org/10.1080/87559129.2017.1290103.
- [16] Wheat flour – Specifications and test methods INSO. (2018). Iranian National Standardization Organization. 6th.103.
- [17] AOAC. (2002). Official methods of analysis (16th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- [18] Pathak, D., Majumdar, J., Raychaudhuri, U. and Chakraborty, R. (2016). Characterization of physicochemical properties in whole wheat bread after incorporation of ripe mango peel. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10: 554-561.
- [19] AACC. (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. (11th Ed). St. Paul, MN.
- [20] Callejo, M. J. Bujeda, C., Rodríguez, G. & Chaya, C. (2009). Alveoconsistograph evaluation of rheological properties of rye doughs. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 7(3), 638-644. DOI: 10.5424/sjar/2009073-448.
- [21] Indrani D, Saimanohar R, Rajiv J, Rao JV (2007) Alveograph as a tool to assess the quality characteristics of wheat flour for parotta making. *Food Engineering* 78,1202–1206.
- [22] Muthamilarasan, M., Dhaka, A., Yadav, R. & Prasad, M. (2016). Exploration of millet models for developing nutrient rich graminaceous crops. *Plant Sci*. 242, 89–97.
- [23] Verma, S., Srivastava, S. & Tiwari, N. (2014). Comparative study on nutritional and sensory quality of barnyard and foxtail millet food products with traditional rice products. *J Food Sci Technol*. 52(8) 5147–5155.
- [24] Aprodu, L. & Banu, L. (2014). Rheological, thermo-mechanical, and baking properties of wheat-millet flour blends. *Food Science and Technology International*. 21(5).342-353. DOI: 10.1177/1082013214536175.
- [25] Suma, F., Urooj, A., M. R, A. & Rajiv, J. (2014). Sensory, physical and nutritional qualities of cookies prepared from pearl millet (*Pennisetum Typhoideum*). *Food Processing & Technology*. 5(10).
- [26] Shen, R., Yang, S., Zhao, G., Shen, Q. & Diao, X. (2015). Identification of carotenoids in foxtail millet (*Setaria italica*) and the effects

- and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221-226.
- [39] Mironeasa, S. & Condina, G.G. (2013). Alveograph dough rheological parameters related to wheat flour analytical characteristics using Principal Component Analysis. *Advances in Environment Technologies, Agriculture, Food and Animal Science*. 241-246.
- [40] Codina, G.G., Gutt, S., Gutt, G. & Mironeasa S. (2011). Alveograph as a rheological tool to predict the quality characteristics of wheat flour. *International DAAAM Symposium*. 1027-1028.
- assessment of wheat flour quality. *Pak. J. Bot.*, 46(6), 2217-2225.
- [36] Kulp, k. & Ponte, J.G. (2000). *Handbook of cereal science and technology*. Ed. Marcel Dekker, NY.
- [37] Thorat, P.P and Ramachandran, P. (2016). Effect of finger millet flour on rheological properties of wheat dough for the preparation of bread. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*. 5(4): 74-81.
- [38] Wang, J., Rosell, C.M., & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibers on wheat dough performance



Effect of foxtail millet flour on physicochemical properties of refined wheat flour and dough rheological behavior

Ahmadi Kabir, J. ¹, Azizi, M. H. ², Abbastabar Ahangar, H. ^{3,4*}, Aarabi, A. ⁵

1. Food science and Technology Department, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
2. Food Science and Technology Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran Iran.
3. Chemistry Department, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
4. Human Environment and Sustainable Development Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
5. Food Science and Technology Department, Shahreza Branch, Islamic Azad University, Shahreza, Iran.

ABSTRACT

Foxtail millet contains amounts of nutrients such as starch, protein, vitamins and minerals. The aim of this study was to investigate the physicochemical properties of refined wheat flour (RWF) replaced by different ratios of foxtail millet flour (FMF) from 10% to 30%. The composite flour samples were analyzed for proximate composition, color, falling number, wet and dry gluten content, damaged starch content and alveo-consistograph characteristics. Correlation coefficients between flour analytical parameters and alveo-consistograph characteristics were obtained. Crude fiber, fat, protein and ash content increased not significantly ($p>0.05$) with increasing the amount of FMF. No significant difference ($p>0.05$) of b^* value was observed between the flour samples. Adding the FMF, not significantly reduced ($p>0.05$) falling number, damaged starch content, wet and dry gluten content. Consistograph test indicated that addition of the FMF decreased water absorption capacity, maximum pressure and tolerance, however, drops in pressure at 250s and 450s became greater. Alveograph test revealed that with adding FMF, dough resistance to extension and dough strength decreased but an increase in dough extensibility obtained at FMF30%. The results of rheological properties by alveograph indicated the rate of the FMF influenced the rheological behavior.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/01/10
Accepted 2022/04/16

Keywords:

alveo-consistograph,
Composite flour,
Foxtail millet,
Physicochemical,
Rheological.

DOI: 10.52547/fsct.19.124.359

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.21.8

*Corresponding Author E-Mail:
abbastabar@pmt.iaun.ac.ir