DOI: http://dx.doi.org/ 10.22104/JIFT.2019.3224.1777

فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، دوره ۶، شماره ۴، صفحه ۵۳۲-۵۲۱، تابستان ۱۳۹۸

*مقاله پژوهشی*

# بررسی تأثیر شرایط پیش تیمار اکستروژن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی مخلوط آرد بدون گلوتن برنج و ذرت

**مسعود یقبانی[۱]، آرش کوچکی[۲*]، مهدی کریمی[۳]، سید علی مرتضوی[۲]، الناز میلانی[۴]**

**۱. دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد**

**۲. استاد،گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد**

**۳. دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران**

**۴. استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، سازمان جهاددانشگاهی خراسان رضوی**

**(تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۲۸، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۱۰/۰۳، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۸)**

## چکیده

آرد برنج و ذرت جایگزین مناسبی برای توسعه محصولات بدون گلوتن هستند و اصلاح برخی خصوصیات آن‌ها با فرایندهای مختلف می‌تواند در جهت بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن مؤثر باشد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر فرایند اکستروژن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد بدون گلوتن مخلوط برنج و ذرت به نسبت ۱:۱ انجام شد. بدین منظور تیمارهای اکستروژن با متغیرهای دمای اکستروژن ۱۱۰، ۱۴۵ و ۱۸۰ °C و میزان رطوبت ۱۲، ۱۵ و ۱۸ ٪ روی مخلوط آرد بدون گلوتن ذرت و برنج اعمال گردید و ویژگی‌های شاخص جذب آب و حلالیت، نشاسته صدمه دیده، مؤلفه‌های رنگی، دانسیته توده و خصوصیات حرارتی توسط آزمون کالریمتری روبشی تفاضلی یا DSC بررسی شد. نتایج نشان داد که اعمال فرایند اکستروژن سبب تغییرات معنی‌داری ($P<0/05$) در ویژگی‌های مورد بررسی شده است، به‌طوری که شاخص جذب آب، حلالیت و نشاسته صدمه دیده از ۱/۸۸ g/g ، ۴/۵ ٪ و ۸ UCD در نمونه شاهد به ۷/۱- ۴/۴ g/g و ۲۸/۵ – ۱۱/۴ ٪ و ۲۰/۲-۲۸/۸ UCD در نمونه‌های مورد تیمار افزایش پیدا کرد درحالی‌که دانسیته توده و میزان روشنایی آرد به‌ترتیب به حداقل ۰/۴۸ و ۷۵/۶۵ کاهش یافتند. بررسی خصوصیات حرارتی حاکی از آن بود که دماهای ژلاتیناسیون شامل دمای شروع یا $T_o$، دمای پیک یا $T_p$ و دمای خاتمه یا $T_c$ به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند ولی آنتالپی ژلاتیناسیون یا $\Delta E$ از j/g ۷/۹۳ در نمونه شاهد به دامنه ۵/۴۱- j/g ۱/۰۸ در نمونه‌های مورد تیمار کاهش پیدا نمود. در نهایت با توجه به تغییرات رخ داده در نمونه‌های آرد طی فرایند اکستروژن، می‌توان نتیجه گرفت که این فرایند پیش تیمار مناسبی برای تولید آردهایی با خصوصیات عملکردی متفاوت می‌تواند باشد و در تهیه محصولات مختلف بدون گلوتن مفید واقع گردد.

**واژه‌های کلیدی: آرد بدون گلوتن، برنج، ذرت، فرایند اکستروژن، خصوصیات فیزیکوشیمیایی.**

* نویسنده مسئول: koocheki@um.ac.ir

## ۱. مقدمه

فراورده‌های بدون گلوتن مورد نیاز مبرم بیماران سلیاکی است که بایستی یک رژیم غذایی بدون گلوتن را در طول زندگی خود رعایت کنند. لذا امروزه تهیه و تولید چنین فراورده‌هایی مورد توجه قرار گرفته که منجر به انجام تحقیقات وسیعی با محوریت بهبود کیفیت آن‌ها شده است. بهبود یا اصلاح خصوصیات آردهای بدون گلوتن می‌تواند یکی از راه‌های افزایش کیفیت فراورده‌های بدون گلوتن باشد. از جمله راه‌های تغییر و اصلاح خصوصیات آردها، تیمارهای فیزیکی و شیمیایی می‌باشند که در این میان تیمارهای فیزیکی مزایای بهتری نسبت به تیمارهای شیمیایی در تغییر ویژگی‌های عملکردی نشاسته دارند که برچسب سبز آن‌ها را حفظ می‌کند[۱]. یکی از روش‌های فیزیکی اصلاح خصوصیات عملکردی آردهای غلات، تیمارهای حرارتی از جمله عملیات اکستروژن می‌باشد. پخت اکستروژن یک فرایند دمای بالا- زمان کوتاه است که نمونه مورد تیمار در معرض دما و نیروی برشی بالا در سطوح پایینی از رطوبت قرار می‌گیرند [۲]. این تیمار باعث پری‌ژلاتینه شدن نشاسته، واسرشتی پروتئین، فعال شدن یا غیرفعال شدن آنزیم و واکنش‌های مایلارد می‌گردد که میزان آن‌ها بستگی به شدت تیمار اکستروژن دارد. این تغییرات در ترکیبات آرد منجر به اصلاح رفتار رئولوژیکی آرد می‌شود [۳،۴]. خصوصیات نشاسته به عواملی مانند دما، میزان رطوبت اولیه و سرعت مارپیچ در طی فرایند اکستروژن بستگی دارد [۵]. با افزایش شدت عمل تیمار، امکان شکستن زنجیره آمیلوپکتین وجود دارد. تیمار اکستروژن نه تنها برای آردهای بدون گلوتن کاربرد دارد، بلکه برای آرد گندم نیز به منظور اصلاح فیزیکی خصوصیات آن استفاده شده است. آردهای اکسترود شده گندم به خاطر داشتن ظرفیت جذب آب بالاتر، فرصتی برای افزایش بازده نان در صنایع پخت می‌باشند. نتایج تحقیقات در این زمینه نشان داد که ایجاد خصوصیات مناسب در خمیر و نان، با استفاده از خمیر حاوی ۵ درصد آرد گندم اکسترود شده امکان‌پذیر است [۶]. مارتینز و همکاران با بیان این‌که نشاسته‌های اکسترود شده گندم، زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین با وزن ملکولی کمتری نسبت به نمونه‌های خشک شده با خشک‌کن غلطکی داشتند، نشان دادند که این تاثیر به واسطه نیروی برشی بوده و قابلیت غلیظ‌کنندگی در دمای پایین را کاهش می‌دهد [۷]. اکستروژن سبب سطوح بالایی از صدمات مکانیکی در نشاسته نسبت به روش‌های سنتی پخت می‌شود [۸]. بنابراین آردهای اکسترود شده گندم ممکن است جایگزینی مناسبی برای نشاسته پری‌ژلاتینه و هیدروکلوئیدها به منظور افزایش بازده نان در صنایع پخت باشند. از این‌رو نیاز به اطلاق عنوان " افزودنی" به این آردها نیست [۹].

اکستروژن همچنین تغییرات تغذیه‌ای مهمی مانند افزایش میزان فیبر محلول و کاهش اکسیداسیون چربی، عوامل ضدتغذیه‌ای و بار میکروبی در آردها به‌وجود می‌آورد [۱،۲]. به‌علاوه این عملیات می‌تواند میزان نشاسته مقاوم را در آرد برنج افزایش دهد که بستگی به شدت تیمار دارد [۳، ۱۰].فرایند پختی که در اکستروژن رخ می‌دهد سبب ژلاتینه شدن و تجزیه نشاسته و همچنین تغییر در میزان وابستگی‌های مولکولی بین ترکیبات می‌شود. به‌طور مثال کمپلکس آمیلوز- لیپید که می‌تواند قابلیت هضم نشاسته به‌صورت in vitro یا در لوله آزمایشگاهی را تحت تاثیر قرار دهد [۷]. از آن‌جا که اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه فرایند اکسترود کردن آردها بر روی یک نوع آرد خالص صورت گرفته و در مورد اکسترود کردن آردهای ترکیبی بدون گلوتن جهت استفاده در تهیه محصولات بدون گلوتن گزارشات چندانی وجود ندارد، لذا این تحقیق با هدف اعمال تیمار اکستروژن بر مخلوط آرد بدون گلوتن برنج و ذرت و بررسی تغییرات ایجاد شده در خصوصیات آنها، انجام گردید.

## ۲. مواد و روش‌ها

آرد تجاری برنج با ۸/۱۱٪ پروتئین، ۲۳ /۰٪ خاکستر، ۰/۸٪ چربی، ۹۰/۸٪ نشاسته بر مبنای وزن خشک و ذرت با ۶/۹٪ پروتئین، ۰/۴۹٪ خاکستر، ۶/۴٪ چربی و ۸۶/۱٪ نشاسته بر مبنای وزن خشک، از بازار تهیه شد. رطوبت اولیه آردهای برنج و ذرت به‌ترتیب ۹/۵ و ۹/۹٪ بود. هر دو آرد در سردخانه بالای صفر و دمای ۴ °C-۳ نگه‌داری شدند.

### ۱.۲. تیمار اکستروژن

در این پژوهش از اکسترودر دو مارپیچه با چرخش هم جهت مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین استفاده شد. مخلوط ۱:۱ آرد برنج و ذرت در معرض تیمارهای مختلف اکستروژن شامل دمای فرایند در سه سطح ۱۱۰، ۱۴۵ و ۱۸۰°C و رطوبت در سطوح ۱۲ ، ۱۵ و ۱۸٪ قرار گرفت. مخلوط آرد

بدون تیمار به عنوان نمونه شاهد یا آرد کنترل در نظر گرفته شد. محصول اکسترود شده ابتدا به‌طور دستی توسط هاون تا حدودی خرد و سپس توسط آسیاب غلطکی آسیاب شد و با مش ۲۰۰ μ الک گردید. سپس آردها در ظروف پلاستیکی دردار ذخیره و تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای اتاق نگه‌داری شدند[۳].

## ۲.۲. تعیین خصوصیات آرد

### ۱.۲.۲. خصوصیات آب‌گیری

شاخص‌های جذب آب (WAI) و حلالیت (WSI) آرد مورد بررسی قرار گرفت. شاخص جذب آب به‌صورت مقدار آبی تعریف می‌شود که پس از سانتریفوژ کردن در آرد باقی می‌ماند. بدین منظور ۳g از نمونه با ml ۱۸ آب مقطر در فالکون ۳۰ میلی‌لیتری ریخته و به مدت s ۳۰ مخلوط گردید. سپس فالکون‌ها به مدت نیم ساعت در درجه حرارت اتاق نگه‌داری شدند و بعد از این زمان، به مدت ۳۰min با دور rpm ۵۰۰۰ در سانتریفوژ بدون یخچال قرار گرفتند. پس از خارج کردن مایع رویی، وزن فالکون و محتویات آن توسط ترازوی مدل TI 3.3 ساخت شرکت Sartorius کشور آلمان اندازه‌گیری شد. ظرفیت جذب آب، به‌صورت مقدار آب جذب شده توسط یک گرم نمونه بیان می‌شود. برای اندازه‌گیری حلالیت، سوپرناتانت حاصل از سانتریفوژ دورن پلیت شیشه‌ای ریخته شد. سپس در دمای°C ۱۰۵ خشک شده و نتیجه برحسب درصد نسبت به وزن اولیه بیان گردید. با استفاده از رابطه‌های ۱ و۲ شاخص جذب آب و حلالیت محاسبه شدند. اندازه‌گیری‌ها در ۳ تکرار انجام شد [۳، ۱۱].

$$\text{جذب شاخص آب} \left(\frac{g}{g}\right) = \frac{\text{وزن رسوب مرطوب}}{\text{وزن خشک نمونه}} \qquad (۱)$$

$$\text{شاخص حلالیت} (\%) = \frac{\text{وزن مواد خشک در سوپرناتانت}}{\text{وزن خشک نمونه}} \times 100 \qquad (۲)$$

### ۲.۲.۲. نشاسته صدمه دیده

میزان نشاسته صدمه دیده طبق روش AACC 76-33.01 (AACC, 2010) با استفاده از دستگاه SDmatic ساخت شرکت شوپن کشور فرانسه تعیین گردید. اساس کار این دستگاه اندازه گیری نشاسته آسیب دیده از طریق محاسبه شدت جریان رسوب حاصل از اتصال نشاسته آسیب‌دیده و ید آزاد حاصل از جریان الکتریکی می‌باشد که برحسب UCD بیان می‌گردد. آزمون با ۳ تکرار برای هر نمونه انجام شد [۱۲].

### ۳.۲.۲. خصوصیات حرارتی

آنالیزها توسط دستگاه DSC با استفاده از پن‌های آلومینیومی انجام شد. دستگاه با ایندیوم کالیبره و یک پن خالی به‌عنوان مرجع استفاده شد. میزان mg ۳ آرد دورن پن ریخته و μl ۱۰ آب مقطر با کمک یک میکرو سرنگ اضافه شد. نمونه‌ها درب-بندی شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قبل از حرارت دادن در دستگاه، به حال خود گذاشته شدند. شرایط اسکن کالریمتری به‌شرح ذیل تنظیم شد.

نمونه‌ها در °C ۳۰ به مدت min ۲ نگه‌داشته شدند و سپس از ۳۰ تا °C ۱۰۰ با افزایش °C/min ۵ حرارت دیدند. دمای شروع ($T_o$) ، دمای پیک ($T_p$) ، دمای خاتمه ($T_c$) ، دامنه دمای ژلاتینه شدن ($T_c$ -$T_o$) و آنتالپی ژلاتینه شدن نشاسته ($\Delta H_g$) تعیین شدند. تمام نمونه‌ها با دو بار تکرار آزمایش شدند [۷].

### ۴.۲.۲. رنگ‌سنجی

رنگ آردها با استفاده از دستگاه هانترلب مدل ColorFlex EZ ساخت کشور امریکا اندازه‌گیری شد. نتایج به‌صورت شاخص‌های رنگ *L ، *a و *b بیان شدند. شاخص *L معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر یعنی سیاه خالص تا ۱۰۰ به معنی سفید خالص متغیر است. شاخص *a میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (به معنی سبز خالص تا ۱۲۰+ به معنی قرمز خالص متغیر می‌باشد. همچنین شاخص *b که دامنه آن نیز از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ ( زرد خالص) متغیر می‌باشد، میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد [۳،۱۳].

### ۵.۲.۲. دانسیته توده

اندازه‌گیری دانسیته توده در مورد نمونه‌های شاهد و اکسترود شده انجام شد. این ویژگی که نسبت وزن به حجم بر اساس واحد $g/cm^3$ می‌باشد، از طریق توزین مقدار مشخصی از آرد که درون استوانه مدرج به آرامی ریخته شده بود و اندازه‌گیری حجم اشغال شده توسط آن محاسبه گردید [۳،۱۱].

## ۳.۲. تجزیه و تحلیل آماری

نتایج حاصله بر پایه آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با استفاده از برنامه نرم افزاری Msatat-C نسخه ۴/۱ مورد

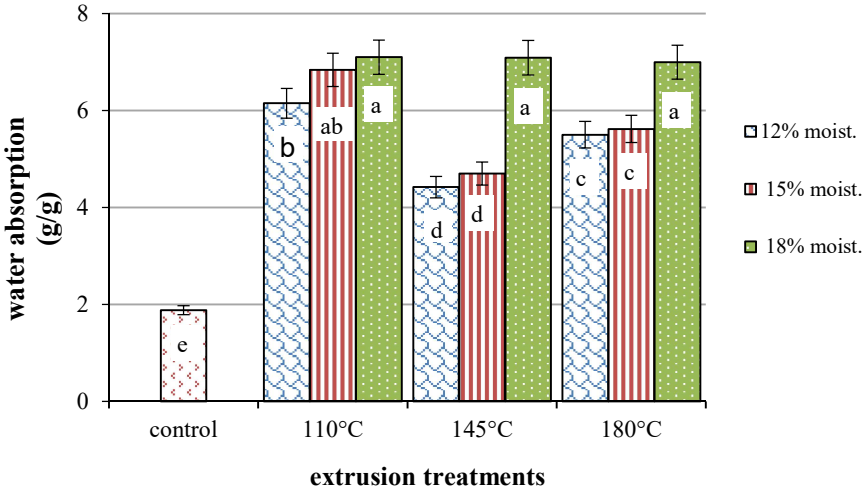
تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام و برای ترسیم نمودارها از نرم افزار اکسل استفاده شد. تعداد تیمارها شامل دو متغیر هر کدام در سه سطح و سه تکرار (۳×۳×۲) به همراه نمونه شاهد در سه تکرار بودند.

## ۳. نتایج و بحث

### ۱.۳. خصوصیات آب‌گیری آرد

تیمار اکستروژن تفاوت معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) در خصوصیات آبگیری آرد شامل شاخص‌های جذب آب و حلالیت ایجاد نمود. همان‌طور که از شکل ۱ پیدا است، میزان جذب آب نمونه شاهد ۱/۸۸ بود و میزان جذب آب نمونه‌های تیمار شده بین ۴/۴ تا ۷/۱ تعیین شد. تیمار اکستروژن سبب رشد چشم‌گیر جذب آب آرد شده است به‌طوری‌که جذب آب در نمونه شاهد از ۱/۸۸ به حدود ۷ در نمونه‌های حاوی ۱۸ درصد رطوبت رسیده است که به معنی رشد ۳/۷ برابری می‌باشد. این خصوصیت در کمترین حد خود، رشد ۲/۳ برابری در تیمار ۱۴۵°C و رطوبت ۱۲٪ داشته و به ۴/۴ رسیده است. جذب آب آرد در هر سه تیمار دمایی اکستروژن، با افزایش رطوبت روند صعودی داشته است لیکن در دمای ۱۴۵ °C و ۱۸۰ °C بین رطوبت‌های ۱۲ و ۱۵ ٪ با رطوبت ۱۸٪ تفاوت بیشتری دیده می‌شود که معنی‌دار می‌باشد.

شاخص جذب آب، میزان آب جذب شده توسط نشاسته را نشان می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان شاخصی از ژلاتینه شدن مورد استفاده قرارگیرد و به قابل دسترس بودن گروه‌های آبدوست بستگی دارد. پاردهی و همکاران در تحقیقات خود با افزایش رطوبت طی شرایط اکستروژن، شاهد افزایش در شاخص جذب آب نمونه‌ها بودند. این محققان بیان کردند که میزان رطوبت نمونه به‌عنوان پلاستی‌سایزر در طی پخت اکستروژن عمل می‌کند که تخریب گرانول‌های نشاسته را کاهش می‌دهد و باعث افزایش ظرفیت جذب آب می‌گرد. هرچند در رطوبت‌های پایین، افزایش دمای اکستروژن سبب کاهش ظرفیت جذب آب می‌شود که احتمالا به‌واسطه افزایش تجزیه و شکسته شدن نشاسته می‌باشد [۳، ۱۱]. علاوه بر این، پختی که در طی اکستروژن رخ می‌دهد منجر به ژلاتینه شدن نشاسته می‌گردد که جذب آب و تورم بالاتری دارد. هاگِنیمانا و همکاران نیز در مورد ظرفیت جذب آب نمونه‌های خود نتیجه مشابهی گرفتند [۳]. کَمیر و همکاران مطرح کردند که شکسته شدن گرانول‌های نشاسته منجر به‌ترتیب ملکولی مجدد با گروه‌های هیدروکسیل به‌طور ضعیفی می‌شود که تمایل به اتصال با مولکول‌های آب دارد [۲]. مارتینز و همکاران نیز بیان داشتند ظرفیت جذب آب خمیر اساسا به ترکیبات آرد بستگی داشته و با افزایش میزان پروتئین، پنتوزان و نشاسته صدمه دیده، افزایش می‌یابد [۶]. افزایش شاخص جذب




**شکل (۱)** تاثیر تیمارهای مختلف اکستروژن بر شاخص جذب آب

**Fig. 1** Effect of different extrusion treatments on water absorption index

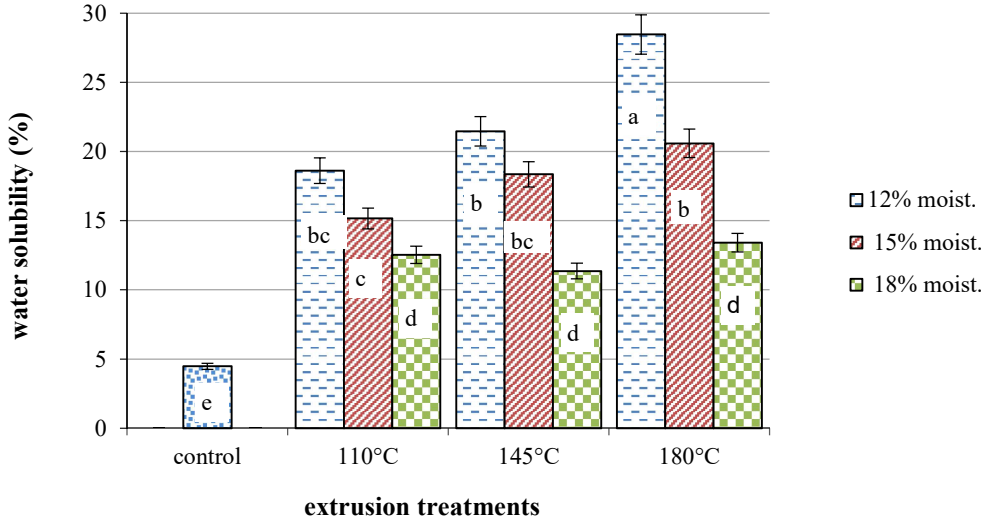
آب همچنین می‌تواند به‌واسطه عدم پوشش گروه‌های آبدوست در مواد اکسترود شده حاوی نشاسته و پروتئین از طریق باز شدن و سست شدن زنجیره‌های بیوپلیمر و دسترسی بیشتر و نفوذ راحت‌تر ساختار ماده توسط مولکول‌های آب باشد [۱۴].

شاخص حلالیت نیز برای نمونه‌های مورد تیمار در دامنه ۱۱/۴ تا ۲۸/۵ ٪ بود درحالی‌که نمونه شاهد شاخص حلالیتی برابر ۴/۵٪ داشت. همان‌طور که از شکل (۲) پیداست، شاخص حلالیت، با افزایش دمای اکستروژن افزایش یافته است اما با افزایش رطوبت، کاهش یافت. بیشترین شاخص حلالیت مربوط به رطوبت ۱۲ ٪ و دمای ۱۸۰°C بود که با سایر نمونه‌های دارای رطوبت یکسان تفاوت معنی‌داری داشت اما کمترین میزان حلالیت در نمونه‌های با ۱۵ ٪ رطوبت مربوط به هر سه دمای مورد استفاده به‌دست آمد که البته اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.

شاخص حلالیت اغلب به‌عنوان معیاری از تجزیه ساختار مولکولی اجزاء تشکیل دهنده یک ماده شناخته می‌شود. این شاخص میزان ترکیبات محلول رها شده از نشاسته بعد از اکستروژن را مشخص می‌سازد. همچنین می‌تواند میزان تبدیل نشاسته در طی اکستروژن را تعیین نماید که به میزان پلی‌ساکاریدهای محلول آزاد شده از گرانول نشاسته مربوط است[۱۵]. پاردهی و همکاران در تحقیقات خود شاخص حلالیت نمونه‌های تحت تیمار اکستروژن را بین ۵/۴ تا ۱۴/۳ ٪ گزارش کردند و بیان داشتند در رطوبت‌های بالاتر، شاخص حلالیت کمتر بود درحالی‌که با افزایش دما، این شاخص نیز افزایش یافت که از این نظر با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد. آن‌ها علت این پدیده را تجزیه کمتر نشاسته طی اکستروژن در رطوبت‌های بالاتر دانستند که منجر به حلالیت پایین‌تر می‌گردد[۱۱]. از طرفی افزایش دما می‌تواند به افزایش درجه ژلاتینه شدن نشاسته و متعاقبا افزایش شاخص حلالیت شود[۱۶]. گزارش شده است که شاخص حلالیت به دکسترینه شدن مولکول‌های محلول نسبت داده می‌شود[۳].

### ۲.۳. نشاسته صدمه دیده

فرایند اکستروژن باعث ایجاد تفاوت معنی‌داری در میزان نشاسته صدمه دیده بین نمونه‌های تیمار و شاهد گردید. این فرایند سبب افزایش تصاعدی میزان نشاسته صدمه دیده با بالا رفتن دمای تیمار اکستروژن شد به‌طوری‌که از میزان ۸ UCD در نمونه شاهد به مقادیر بالای ۲۸ UCD در دمای ۱۸۰°C رسید. ضمن اینکه در کمترین میزان خود به ۲۰/۲ UCD در تیمار با حداقل شدت اکستروژن یعنی دمای ۱۰۰°C و رطوبت ۱۲٪ رسید. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد در دماهای ۱۱۰ و ۱۴۵°C، بین رطوبت‌های مختلف تفاوت‌ها به‌طور معمول معنی‌دار بود لیکن در دمای ۱۸۰°C میزان نشاسته صدمه‌دیده




**شکل (۲)** تاثیر تیمارهای مختلف اکستروژن بر شاخص حلالیت در آب

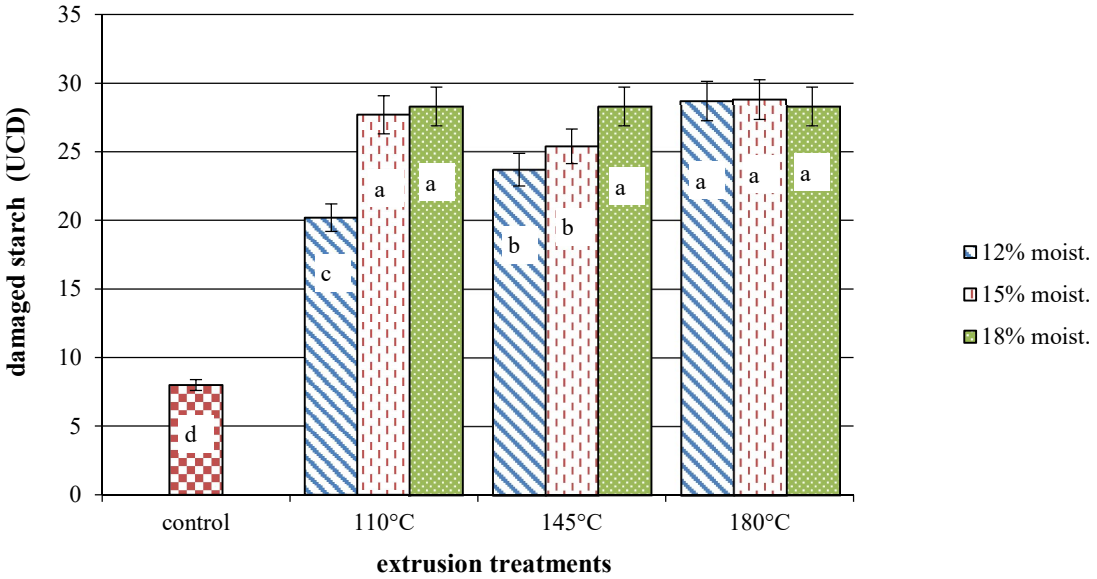
**Fig. 2** Effect of different extrusion treatments on water solubility index

در سه سطح رطوبتی، در حداکثر خود بودند و تفاوت چندانی با هم نداشتند که نشان دهنده تاثیر قابل توجه دمای اکستروژن بر این ویژگی نسبت به رطوبت آرد ورودی می‌باشد. در دماهای ۱۱۰ و ۱۴۵°C با افزایش رطوبت آرد، روند افزایشی در میزان نشاسته صدمه دیده مشاهد شد و نشان داد که سطوح بالاتر رطوبت در افزایش میزان نشاسته صدمه دیده تاثیر بیشتری دارند. این افزایش در میزان نشاسته صدمه دیده همگام با افزایش شدت شرایط اکستروژن، به صدمات ایجاد شده توسط نیروی برشی و حرارت در طی اکستروژن نسبت داده می‌شود[۲]. نشاسته صدمه دیده و پروتئین دناتوره شده که هر دو در طی فرایند اکستروژن ایجاد می‌شوند، به‌ترتیب می‌توانند منبعی از قندهای قابل تخمیر برای مخمر و نگه‌دارنده آب باشند که موجب نرمی مغز نان می‌شود[۱۳].

مارتینز و همکاران گزارش کردند که نشاسته صدمه ندیده تا ۳۰ درصد وزن خود می‌تواند آب در دمای ۳۰ درجه سلسیوس جذب کند درحالی‌که نشاسته صدمه دیده هم وزن خودش می‌تواند آب جذب نماید، لذا این ویژگی در محصولاتی که جذب آب بیشتر مد نظر است، مطلوب خواهد بود. این محققین اشاره داشتند با افزایش شدت فرایند اکستروژن، میزان نشاسته صدمه دیده افزایش یافت به‌طوری‌که تاثیر خود را در افزایش میزان آب‌گیری خمیر نشان داد [۱۷]. نشاسته صدمه دیده علاوه بر افزایش ظرفیت جذب آب، از آن‌جا که به هیدرولیز آنزیمی حساس‌تر می‌شود، لذا فرایند تخمیر را نیز ارتقاء می‌بخشد. البته میزان مناسب نشاسته صدمه دیده در ترکیب فراورده‌های آردی به یک اندازه نبوده و به‌عنوان مثال در محصولاتی نظیر بیسکوئیت و کوکی نسبت به نان، میزان کمتری از آن مطلوب خواهد بود به‌طوری‌که میزان نشاسته صدمه دیده در انواع نان‌های حجیم حداکثر تا ۲۴ UCD و برای انواع نیمه حجیم تا ۲۰ UCD و برای کوکی‌ها و بیسکوئیت تا ۱۶ UCD مناسب گزارش شده است[۱۸].

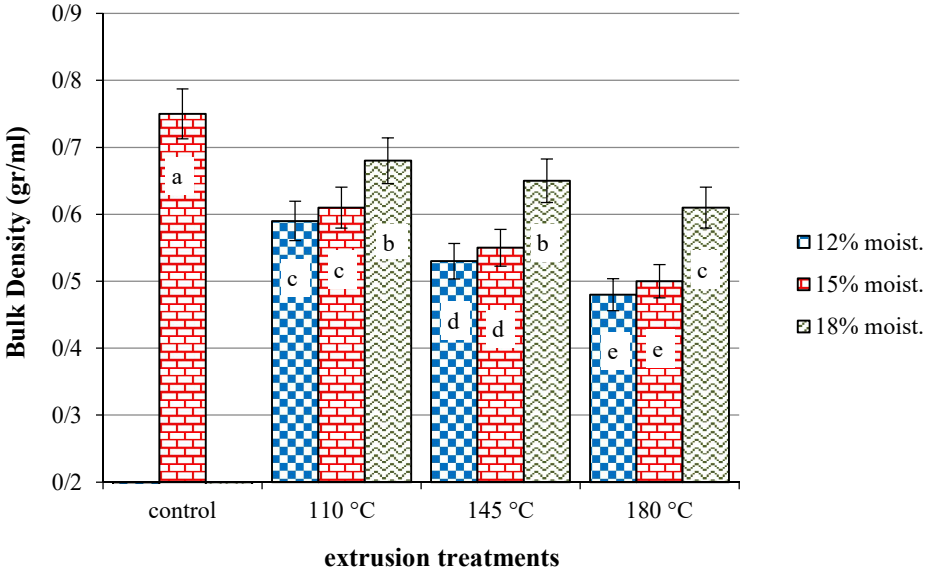
### ۳.۳. دانسیته توده

دانسیته توده شاخصی در مورد تغییرات ساختاری یک ماده در طی فرایند اکستروژن می‌باشد. مطابق شکل (۴) فرایند اکستروژن منجر به کاهش معنی‌دار این ویژگی در مورد نمونه‌های اکسترود شده گردید. میزان BD در نمونه‌های اکسترود شده بین ۰/۴۸ تا ۰/۶۸ $gr/cm^3$ و برای نمونه شاهد ۰/۷۵ $gr/cm^3$ بود. کمترین میزان BD مربوط به کمترین رطوبت در بالاترین دما یعنی رطوبت ۱۲٪ و دمای ۱۸۰°C بود در حالی‌که بیشترین مقدار آن در تیمار بالاترین رطوبت و کمترین دما یعنی تیمار رطوبت ۱۵٪ و دمای ۱۱۰°C به‌دست آمد. در بین نمونه‌های تیمار مقادیر BD هنگامی‌که دمای اکستروژن افزایش یافت، رو به کاهش گذاشت




**شکل (۳)** تاثیر تیمارهای مختلف اکستروژن بر میزان نشاسته صدمه دیده

**Fig. 3** Effect of different extrusion treatments on damaged starch content




**شکل (۴)** تاثیر تیمارهای مختلف اکستروژن بر میزان دانسیته توده

**Fig. 4** Effect of different extrusion treatments on bulk density

در حالی‌که با افزایش رطوبت، روند افزایشی داشت. وابستگی دانستیه به رطوبت آرد ورودی به‌دلیل تاثیر آب بر الاستیسیته مواد بر پایه نشاسته می‌باشد. افزایش رطوبت در تیمار اکستروژن، سبب تغییر ساختار مولکولی آمیلوپکتین شده که کاهش الاستیسیته مواد داخل اکسترودر را به‌دنبال داشته و در نتیجه کاهش قابلیت منبسط شوندگی و افزایش دانسیته محصول اکسترود شده را سبب می‌گردد [۱۶]. در تحقیقات به‌عمل آمده گزارش شده کاهش BD در برنج اکسترود شده با افزایش دمای دای و سرعت مارپیچ، احتمالا به‌واسطه ژلاتینه شدن نشاسته است. هنگامی‌که ژلاتینه شدن مواد نشاسته‌ای افزایش می‌یابد، حجم محصول نیز افزایش یافته که BD پایینی را در نمونه سبب می‌شود[۳]. جعفری و همکاران نیز در بررسی تاثیر اکستروژن بر آرد سورگوم نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و کمترین BD را در نمونه تیمار شده با بالاترین دما و کمترین میزان رطوبت گزارش کردند[۱۹].

### ۴.۳. خصوصیات حرارتی

خصوصیات حرارتی خمیر تحت عنوان دمای ژلاتینه شدن و تغییرات آنتالپی، برای فهم پدیده ای که در طی فرایند پخت روی می‌دهد؛ حائز اهمیت هستند. این خصوصیات به منبع نشاسته، میزان رطوبت و نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین بستگی دارد[۲۰]. آزمون DSC جریان حرارتی مرتبط با تغییر آرایش نشاسته را در اندازه‌گیری کمّی ژلاتینه شدن نمایان می‌سازد[۲۱]. تاثیر تیمار اکستروژن بر خصوصیات حرارتی آرد در جدول ۱ آمده است. در دامنه حرارتی مورد آزمایش یعنی ۳۰ تا ۱۰۰°C ، ترموگرام آردها یک پیک اندوترمیک مرتبط با ژلاتینه شدن نشاسته نشان دادند. تیمار اکستروژن دماهای ژلاتینه شدن آردها را به‌طور معنی‌داری تغییر داد و هنگامی‌که آردها تحت شرایط تیمار اکستروژن قرار گرفتند، دماهای ژلاتینه شدن به مقادیر بالاتر تغییر پیدا کرد به‌طوری‌که دماهای شروع ($T_o$)، پیک ($T_p$) و خاتمه (Tc) ژلاتینه شدن به‌ترتیب از ۶۳/۵ ، ۶۹/۲ و ۷۸/۹ °C در نمونه شاهد به ۷۹/۱-۷۱/۵، ۸۵/۴-۷۶/۶ و ۹۱/۵-۸۲/۸ °C برای نمونه‌های مورد تیمار افزایش پیدا کرد. از طرفی افزایش میزان رطوبت خوراک در یک دمای ثابت منجر به افزایش دماهای ژلاتینه شدن گردید که این روند در هر سه گروه دمایی مشهود است. اما با در نظر گرفتن نمونه‌هایی با رطوبت یکسان، افزایش دمای دای منجر به کاهش دماهای ژلاتینه شدن گردید. دمای بالاتر ژلاتینه شدن مشخص نمود که انرژی بیشتری برای شروع ژلاتینه شدن نشاسته نیاز است و بیانگر آن است اکستروژن، قسمت بیرونی و آمورف گرانول را تحت تاثیر قرار داده که تا مرکز گرانول پیشرفت می‌نماید[۷]. با مقایسه کردن آردهای اکسترودی، آنتالپی ژلاتینه شدن (ΔH) در تیمار ۱۸۰°C و رطوبت ۱۸٪ به کمترین میزان کاهش یافت. با وجود این، تیمار ملایم اکستروژن یعنی دمای ۱۱۰°C و رطوبت ۱۲٪ در مقایسه با آرد شاهد که ۷/۹۳ J/g بود،

به‌طور معنی‌داری آنتالپی بالاتری داشت و به J/g ۵/۴۱ رسید. با توجه به این‌که تیمار مذکور، میزان رطوبت کمتری داشته که برای کامل شدن ژلاتینه شدن کافی نبوده، آنتالپی بالاتر این نمونه می‌تواند به جهت‌یابی مجدد ساختار ناحیه آمورف یا بی‌شکل برای همانند شدن با ناحیه کریستالی نسبت داده شود[۷]. به‌طور کلی فرایند اکستروژن، ساختار نیمه بلورین گرانول نشاسته را تغییر داده و دمایی را که در آن گرانول شروع به متورم شدن می‌نماید، تحت تاثیر قرار می‌دهد[۲].

لازم به ذکر است که ترموگرام‌های DSC به‌طور معمول دو مرحله تغییر اندوترمیک را نشان می‌دهند. اولین اِندوترم با دمای پایین‌تر به ژلاتینه شدن نشاسته مربوط می‌گردد، درحالی‌که دومین پیک ترموگرام که در دمای بالای ۱۱۰ درجه سلسیوس رخ می‌دهد، به ذوب شدن کمپلکس آمیلوز- لیپید مربوط می‌شود[۲۲]. سابانیس و تزیا گزارش کردند طبق نتایج DSC، دماهای ژلاتینه شدن مخلوط نشاسته ذرت و آرد برنج پایین‌تر از مقادیر گزارش شده برای خمیرهای حاوی ساکارز، نمک و روغن هستند که به‌دلیل افزایش دماهای ژلاتینه شدن در حضور نمک و قندها می‌باشد[۲۳].

دمای بالای ژلاتینه شدن، پایداری و مقاومت بالاتر بلورها در گرانول‌های نشاسته را نشان می‌دهد که بدان معنی است برای متورم شدن گرانول‌ها به گرمای بیشتری نیاز می‌باشد. همچنین مقادیر کم آنتالپی می‌تواند نشان دهنده میزان بالایی از نشاسته صدمه دیده باشد[۲۴].

### ۵.۳. رنگ‌سنجی

نتایج داده‌های مربوط به رنگ‌سنجی طی شرایط اکستروژن در مقایسه با شاهد در جدول (۲) ملاحظه می‌گردد. نتایج حاکی از آن بود که میزان رطوبت خوراک و درجه حرارت دای، تاثیر معنی‌داری بر پارامترهای رنگی آردهای اکسترود شده دارند. با افزایش دمای اکستروژن و میزان رطوبت، میزان روشنایی یا L* آردها نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت در حالی‌که برعکس مولفه‌های a* و b* افزایش نشان دادند. میزان L* در آرد شاهد ۸۷/۳ بود در حالی‌که این مقدار برای نمونه‌های مورد تیمار، در دامنه ۷۵/۶۵ تا ۷۷/۶۶ متغیر است. کمترین میزان روشنایی در تیمار ۱۸۰°C با رطوبت ۱۲٪ ملاحظه شد و بیشترین میزان روشنایی نیز به نمونه حاصل از تیمار ۱۱۰°C با رطوبت ۱۸٪

**جدول (۱)** تاثیر تیمار اکستروژن بر خصوصیات حرارتی آردهای شاهد و اکسترود شده.

**Table 1** effect of extrusion treatments on thermal properties of control and extruded flours.

| $\Delta H$(j/g) | $T_c$ (°C) | $T_p$ (°C) | $T_o$ (°C) | شاهد (control) | |
|---|---|---|---|---|---|
| 7.93 ± 0.12 [a] | 78.9 ± 0.1 [f] | 69.2 ± 0.12 [g] | 63.5 ± 0.08 [g] | تیمارهای اکستروژن extrusion treatments | |
| | | | | رطوبت moist. | دما temp. |
| 5.41 ± 0.16 [b] | 84.5 ± 0.17 [d] | 79.3 ± 0.09 [e] | 75.0 ± 0.06 [cd] | % 12 | 110 °C |
| 4.27 ± 0.21 [c] | 87.4 ± 0.06 [c] | 82.1 ± 0.10 [c] | 77.4 ± 0.14 [bc] | % 15 | |
| 3.50 ± 0.09 [d] | 91.5 ± 0.51 [a] | 85.4 ± 0.05 [a] | 79.1 ± 0.05 [a] | % 18 | |
| | | | | | |
| 4.62 ± 0.13 [c] | 83.2 ± 0.13 [e] | 76.6 ± 0.07 [f] | 73.3 ± 0.02 [e] | % 12 | 145 °C |
| 3.21 ± 0.08 [d] | 89.1 ± 0.09 [b] | 80.4 ± 0.04 [d] | 77.8 ± 0.06 [b] | % 15 | |
| 2.75 ± 0.25 [e] | 90.7 ± 0.22 [a] | 84.2 ± 0.06 [b] | 78.8 ± 0.09 [a] | % 18 | |
| | | | | | |
| 3.02 ± 0.19 [d] | 82.8 ± 0.02 [e] | 77.1 ± 0.09 [f] | 71.5 ± 0.04 [f] | % 12 | 180 °C |
| 2.86 ± 0.16 [ed] | 85.1 ± 0.09 [d] | 79.6 ± 0.05 [ed] | 75.9 ± 0.09 [c] | % 15 | |
| 1.08 ± 0.06 [f] | 89.6 ± 0.15 [b] | 83.8 ± 0.11 [b] | 77.9 ± 0.08 [b] | % 18 | |

**جدول (۲)** تاثیر شرایط اکستروژن بر مولفه‌های رنگی آردهای شاهد و اکسترود شده.

**Table 2** Effect of extrusion condition on color parameter of control and extruded flours.

| L* | a* | b* | تیمارهای اکستروژن extrusion treatments | |
|---|---|---|---|---|
| | | | دما temp. | رطوبت moist. |
| 87.30 ± 0.02 [a] | - 0.75 ± 0.44 [e] | 24.21 ± 0.1 [e] | شاهد (control) | |
| 76.66 ± 0.02 [c] | 2.82 ± 0.01 [b] | 29.07 ± 0.02 [d] | 110 °C | % 12 |
| 76.93 ± 0.01 [c] | 2.61 ± 0.02 [bc] | 29.67 ± 0.03 [b] | | % 15 |
| 77.66 ± 0.05 [b] | 1.62 ± 0.01 [d] | 30.53 ± 0.09 [a] | | % 18 |
| | | | | |
| 75.94 ± 0.05 [d] | 3.06 ± 0.03 [b] | 29.57 ± 0.08 [c] | 145 °C | % 12 |
| 76.35 ± 0.09 [c] | 3.08 ± 0.03 [b] | 30.12 ± 0.17 [b] | | % 15 |
| 76.46 ± 0.02 [c] | 2.54 ± 0.01 [c] | 30.65 ± 0.03 [a] | | % 18 |
| | | | | |
| 75.65 ± 0.01 [d] | 3.62 ± 0.01 [a] | 29.82 ± 0.06 [c] | 180 °C | % 12 |
| 76.13 ± 0.03 [c] | 3.68 ± 0.02 [a] | 30.56 ± 0.04 [a] | | % 15 |
| 76.34 ± 0.02 [c] | 2.94 ± 0.01 [b] | 30.87 ± 0.07 [a] | | % 18 |

تعلق گرفت. در بین نمونه‌های اکسترود شده با افزایش درجه حرارت، کاهش اندکی در میزان روشنایی ملاحظه گردید که به معنی کمی تیره رنگ شدن می‌باشد در حالی‌که مولفه‌های*a و *b افزایش یافتند. همچنین در هر تیمار دمایی اکستروژن با افزایش میزان رطوبت، میزان *L نیز افزایش داشت. علت این پدیده به کاهش مدت زمانی که توده دورن اکسترودر می‌ماند، نسبت داده می‌شود چرا که مدت زمان لازم برای تیره شدن غیرآنزیمی را کوتاه‌تر می‌نماید[۲۵]. بنابراین آردهای اکسترود شده روشنایی کمتر و قرمزی و زردی بیشتری در مقایسه با نمونه شاهد داشتند.

تغییرات رنگ آرد در طی اعمال فرایند اکستروژن اطلاعات مفیدی در ارتباط با میزان قهوه‌ای شدن و واکنش مایلارد و تجزیه رنگدانه‌ها می‌دهد[۱۹]. کَمیر و همکاران بیان داشتند فرایند اکستروژن می‌تواند منجر به انجام واکنش‌های مایلارد و کاهش اکسیداسیون لیپیدها شده که منجر به تشکیل ملانوئیدین‌ها و رنگدانه‌هایی می‌شود و در نهایت تغییر رنگ آردها را به‌دنبال دارد[۲]. در بررسی تاثیر اکستروژن بر ویژگی‌های آرد برنج ، مارتینز و همکاران گزارش کردند که مولفه *L با افزایش شدت شرایط اکستروژن، کاهش یافت لیکن مولفه‌های*a و*b افزایش پیدا کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد[۷]. هاگِنیمانا و همکاران گزارش کردند کاهش روشنایی آرد برنج اکسترود شده، به‌واسطه تاثیرات رقابتی ترکیبات آرد در رطوبت پایین آرد می‌باشد[۳]. شارما و همکاران نیز بیان داشتند در رطوبت‌های بالاتر آرد ورودی طی اکستروژن، اسید آمینه لیزین که فعال‌ترین آمینواسید می‌باشد، کمتر در دسترس می‌باشد که در نتیجه واکنش قهوه‌ای شدن کاهش یافته و *L افزایش پیدا می‌کند[۲۶]. به‌طور کلی رنگ آرد اکسترود شده به‌واسطه تغییر رنگ احتمالی در فراورده‌ای که به‌کار برده می‌شود، اهمیت پیدا می‌کند.

## ۴. نتیجه‌گیری

فرایند اکستروژن آرد، می‌تواند رفتار آن را اصلاح نموده و خصوصیات هیدراتاسیون، ویژگی‌های حرارتی، پارامترهای رنگی را تحت تاثیر قرار دهد. با افزایش خصوصیات آبگیری شامل شاخص جذب آب و حلالیت، در اصل توانایی هیدراتاسیون افزایش یافته که می‌تواند منجر به ویسکوزیته بالاتر در محلولِ سرد گردد و این موضوع در برخی کاربردهای غذایی جالب توجه است. اعمال شرایط اکستروژن با کاهش دانسیته توده در نمونه همراه بود ولی سبب افزایش قابل توجه میزان نشاسته صدمه دیده گردید. خصوصیات حرارتی (دما و آنتالپی ژلاتینه شدن) آرد طی فرایند اکستروژن تغییر یافت به‌طوری‌که با اعمال فرایند

اکستروژن، دماهای شروع، پیک و خاتمه ژلاتینه شدن افزایش یافت و آنتالپی ژلاتینه شدن کاهش پیدا کرد. بنابراین، با توجه به تغییراتی که طی فرایند اکستروژن در نمونه‌های آرد رخ می‌دهد، این عملیات می‌تواند گزینه‌ای برای تولید آردهایی با خصوصیات عملکردی متفاوت باشد که در تهیه نان بدون گلوتن ممکن است مفید واقع گردد. لذا مطالعات بیشتری برای آزمایش این آردها در فرایند تولید نان بدون گلوتن بایستی انجام گردد.

## منابع


[1] Jacobs, H., Delcour, J. (1998). Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. *J. Agric. Food Chem*., 46, 2895-2905.

[2] Camire, M.E., Camire, A., Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during the extrusion. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.,* 29(1), 35-57.

[3] Hagenimana, A., Ding, X., Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *J. Cereal Sci.*, 43, 38-46.

[4] Martínez, M.M., Rosell, C.M., Gómez, M. (2014b). Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions. *J. Food Eng.*, 143, 74-79.

[5] Wen, L., Rodis, P., Wasserman, B. (1990). Starch fragmentation and protein insolubilization during twin−screw extrusion of corn meal. *Cereal Chem.*, 67, 268-275.

[6] Martínez, M.M., Oliete, B. Gómez, M. (2013). Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality. *J. Cereal Sci*., 57, 424-429.

[7] Martínez, M.M., Calvino, A., Rosell, C.M., Gomez, M. (2014a). Effect of different extrusion treatments and particle size distribution on the physicochemical properties of rice flour. *Food Bioproc. Tech*., 7, 2657–2665.

[8] Wolf, B. (2010). Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci*., 15, 50-54.

[9] Sloan, E. (2011). Food expo highlights clean labels & functional foods. *Food Tech*., 65, 48-51.

[10] Alsaffar, A. (2011). Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products - A review. *Int. J. Food Sci. Technol*., 46, 455-462.

[11] Pardhi, S.D. Singh, B., Gulzar Ahmad Nayik, G.A., Dar. B.N. (2019). Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology. *J. Saudi Soc. Agric. Sci*., 18(1), 7-16.

[12] AACC. American Association of Cereal Chemists International (2010). Approved methods of analysis Method (11th ed.). St. Paul, MN, USA: AACCI International.

[13] Ortolan, F., Brites, L.T., Montenegro, F.M., Schmiele, M., Steel, C.J., Clerici, M.T., Almeida, E.L. Chang, Y.K. (2015). Effect of extruded wheat flour and pre-gelatinized cassava starch on process and quality parameters of French-type bread elaborated from frozen dough. *Food Res. Int.,* 76, 3, 402-409.

[14] Marzec, A. Lewicki, P.P. (2006). Antiplasticization of cereal-based products by water. Part I: extruded flat bread. *J. Food Eng.,* 73(1), 1-8.

[15] Kirby, A.R., Ollett, A.L., Parker, R. Smith, A.C. (1998). An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion-cooking of maize grits. *J. Food Eng*., 8, 247-272.

[16] Ding, Q. B., Ainsworth, P., Tucker, G. Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *J. Food Eng*., 66, 283-289.

[17] Martinez, M.M., Oliete, B., Roman, L., Gomez, M. (2014c). Influence of the addition of extruded flours on rice bread quality. *J. Food Qual*., 37, 83-94.

[18] Schober, T. (2009). Manufacture of gluten-free specialty breads and confectionery products. In Gluten-Free Food Science and Technology (E. Gallagher, ed.) pp. 130-180, Wiley-Blackwell, Dublin, Ireland.

[19] Jafari, M., Koocheki, A. Milani, E. (2017). Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates. *J. Cereal Sci*., 75, 324-331.

[20] Li, J.Y., Yeh, A.I., Fan, K.L. (2007). Gelation characteristics and morphology of corn starch/soy protein concentrate composites during heating. *J. Food Eng*., 78, 1240-1247.

[21] Fessas, D. Schiraldi, A. (2000). Starch gelatinization kinetics in bread dough. DSC investigations on ‘simulated’ baking processes. *J. Therm. Anal. Calorim*., 61, 411-423.

[22] Hoover, R. Vasanthan, T. (1994). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume and tuber starches. *Carbohydr. Res*., 252, 33-53.

[23] Sabanis, D. Tzia, C. (2011). Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. *Food Sci. Technol. Int*., 17(4), 279-291.

[24] Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G. Lindhauer, M. (2011). Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch.

*LWT - Food Sci. Technol.,* 44, 681-686.
[25] Lazou, A., Krokida, M. (2011). Thermal characterization of corn lentil extruded snacks. *Food Chem.*, 127, 1625-1633.
[26] Sharma, S., Singh, N., Singh, B. (2015). Effect of extrusion on morphology, structural, functional properties and in vitro digestibility of corn, field pea and kidney bean starches. *Starch-Starke*, 67, 721-728.

*Research Article*

# Effect of Extrusion Pre-treatment Conditions on Physico-Chemical Properties of Gluten-Free Flour Blend of Rice and Corn

**Masoud Yaghbani[1], Arash Koocheki [2*], Mehdi Karimi [3], Seyed Ali Mortazavi [2], Elnaz Milani [4]**

1. Ph.D student , Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran
3. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi, AREEO, Mashhad, Iran
4. Assistant Professor, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.

## Abstract

Rice and corn flours are appropriate alternatives for developing gluten free products and modification of some of their properties by different processes could be effective for improvement of gluten-free products quality. This study was conducted to study the effect of extrusion process on physic-chemical properties of free-gluten blend flour of rice and corn (1:1 ratio). For this purpose, extrusion treatments with variables of die temperature (110, 145 and 180 °C) and feed moisture (12, 15 and 18 %) were applied and features of water absorption and solubility index, damaged starch, color parameters, bulk density and thermal properties by DSC were investigated. The results showed that applying the extrusion process lead to significant changes in all measured features so that the water absorption, solubility index and damaged starch were increased from 1.88 g/g, 4.5% and 8 UCD in control sample to 4.4-7.1 g/g, 11.4-28.5% and 20.2-28.8 UCD in treated samples respectively, whereas bulk density and lightness were reduced. Study of thermal properties showed that gelatinization temperatures including onset ($T_o$), peak ($T_p$) and conclusion ($T_c$) temperatures were raised significantly but gelatinization enthalpy ($\Delta E$) was decreased. Finally due to occurred changes in flour samples during extrusion process, it could be concluded that this process can be suitable pretreatment for production of flours with different functional properties that may be useful for preparation of various gluten-free products.

**Keywords: Free-gluten flour, Rice, Corn, Extrusion process, Physic-chemical properties.**

[*] Corresponding author: koocheki@um.ac.ir