(مقاله پژوهشی)

تأثیرآرد ذرت پیش‌ژلاتینه شده با مایکروویو بر ویژگی‌های بافتی و حسی نان قالبی بدون گلوتن

مهدی جلالی[۱]، زهرا شیخ الاسلامی[۲*]، امیر حسین الهامی راد[۱]، محمد حسین حداد خداپرست[۳]، مهدی کریمی[۲]

۱-گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران.

۲-بخش تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۳-گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۹/۱۷ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۰۱/۱۷

چکیده

بیماران سلیاکی نیازمند رژیم غذایی بدون گلوتن به صورت مادام‌العمر هستند. از این رو هدف از انجام این تحقیق، بررسی ویژگی‌های نان قالبی تولید شده از دو نوع آرد ذرت معمولی و آرد ذرت پیش‌ژلاتینه شده با مایکروویو، بود. بدین منظور از یک طرح آماری کاملاً تصادفی استفاده شد ($P<۰/۰۵$). بررسی تغییرات خصوصیات آرد معمولی و پیش‌ژلاتینه شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد ساختار آرد ذرت معمولی منسجم، در حالی که ساختار گرانول‌های آرد ذرت پیش‌ژلاتینه شده به دلیل فرآیند حرارتی مایکروویو تخریب و از گستردگی و تورم بیشتری برخوردار بود. براساس نتایج به دست آمده مشخص گردید نمونه حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه شده دارای بیشترین میزان تخلخل (۱۶/۵ درصد) و کمترین سفتی بافت در بازه زمانی۲ (۹/۷ نیوتن) و ۷۲ ساعت پس از پخت (۱۷/۲ نیوتن) بود. همچنین استفاده از آرد ذرت پیش‌ژلاتینه شده سبب افزایش مؤلفه رنگی L^* گردید در حالی که، در میزان دو مؤلفه رنگی a^* و b^* تغییر معنی‌داری حاصل نشد. در نهایت با بررسی نتایج حاصله از آزمون حسی، نمونه حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه شده توانست در مقایسه با آرد ذرت معمولی، امتیاز بیشتری را از جانب ارزیابان حسی کسب نماید.

واژه‌های کلیدی: آرد پیش‌ژلاتینه شده، ذرت، مایکروویو.

*مسئول مکاتبات: shivasheikholeslami@yahoo.com

۱- مقدمه

بیماری‌های گوارشی در بین جوامع انسانی به خصوص در کشورهای در حال توسعه از اهمیت فراوانی برخوردار هستند. یکی از این بیماری‌ها، سیلیاک می‌باشد و با این که شیوع کمتری نسبت به دیگر بیمارهای گوارشی دارد ولی کم اهمیت‌تر از آن‌ها نیست. مصرف پروتئین گلوتن توسط این بیماران سبب تحریک یک پاسخ تهاجمی می‌شود که، منجر به تخریب ساختمان کرکی روده کوچک شده و در ادامه ایجاد غشای مخاطی صاف، التهاب و تورم روده کوچک را باعث می‌گردد که، با علایمی نظیر جذب ناقص مواد ضروری از قبیل آهن، کلسیم و ویتامین‌های محلول در چربی، سوءهاضمه شدید، کاهش وزن یا چاق شدن، اسهال، کم‌خونی، خستگی، ادرار کم‌رنگ و شدید، نفخ شکم و بیماری‌های استخوانی همراه است. برای درمان سیلیاک رعایت رژیم فاقد گلوتن برای تمام عمر، توصیه می‌شود. معمولاً در صورت تشخیص صحیح و رعایت دقیق رژیم غذایی در ۷۰٪ بیماران بهبود بالینی در عرض دو هفته و تقریباً در همه آن‌ها بعد از شش هفته به وجود می‌آید (۳۰). کیفیت آرد محصولات صنایع پخت به کیفیت و کمیت پروتئین‌های گلوتن موجود در آن بستگی داشته و ۸۵-۸۰ درصد کل پروتئین گندم را تشکیل می‌دهد. به‌طور کل ماتریکس پروتئینی گلوتن در محصولات صنایع پخت عامل اصلی خواص مهم خمیر نظیر کشش‌پذیری، قابلیت اتساع، تحمل در حین اختلاط و توانایی نگهداری گاز می‌باشد. در واقع از گلوتن تحت عنوان پروتئین ساختمانی جهت تولید نان، کیک، کلوچه و بیسکوئیت یاد می‌شود و فقدان آن در محصولات بدون گلوتن سبب تولید فرآورده‌ای با بافت شکننده، رنگ ضعیف، حجم و تخلخل کم می‌شود (۱۵). از میان مواد فاقد گلوتن به عنوان جایگزین شونده گندم که از نظر ساختار نشاسته‌ای هم به یکدیگر نزدیک‌تر هستند، می‌توان به ذرت اشاره نمود. ذرت با نام علمی (Zea mays) از خانواده غلات (Poaceae) و یکی از چهار غله عمده جهان بوده و بعد از گندم و برنج تولید آن در دنیا مقام سوم را داراست. ذرت از نظر مرفولوژی، دمای ژلاتینه شدن، مقدار آمیلوز و خصوصیات پخت شباهت بیشتری نسبت به گندم دارد که می‌تواند یک شاخص اصلی در انتخاب آن در محصولات فاقد گلوتن باشد (۴۰). این دانه شامل حدوداً ۷۲٪ نشاسته، ۴٪ چربی، ۷.۳٪ درصد فیبر و ۱۵٪ پروتئین می‌باشد. مجموع وزن خشک نشاسته کربوهیدرات و هسته تشکیل دهنده اصلی حدود ۷۲٪ است. قندها بین ۱ تا ۳ درصد، که ساکارز به عنوان جزء اصلی و مالتوز، گلوکز، فروکتوز و رافینوز با مقادیر کمتر وجود دارند (۲۴). به‌طور معمول نشاسته ذرت حاوی ۲۵ درصد آمیلوز و ۷۵ درصد آمیلوپکتین است که حضور این نشاسته در فرمولاسیون محصولات بدون گلوتن سبب بهبود حجم، ایجاد چسبندگی در اجزای خمیر، کاهش خردشدگی بافت و فروپاشی آن و در نهایت ایجاد ساختمانی منسجم در محصول نهایی می‌گردد (۱۵). همان طور که اشاره شد، محصولات غله‌ای به خصوص نان فاقد گلوتن دارای نواقص بافتی بوده، بنابراین استفاده از موادی که تقلید کننده برخی از خواص گلوتن در آرد گندم هستند مانند آنزیم‌ها، هیدروکلوئیدها، انواع پروتئین‌ها، مواد نشاسته‌ای و یا استفاده از فناوری‌های نوین که می‌توانند منجر به ایجاد یک شبکه سلولی قوی جهت نگهداری گاز دی‌اکسیدکربن حاصله، بهبود پیوستگی خمیر از طریق تحریک و افزایش کشش بین گرانول‌های نشاسته و احتمالاً پیوند با آن‌ها و از این رو کاهش تحرک آن‌ها شوند را توصیه نمود (۱۵). با وجود کاربرد انواع افزودنی‌ها به عنوان جایگزین گلوتن گزارش شده است محصولات بدون گلوتن یا حاوی آردهای ضعیف، دارای بافت سفت یا خشک هستند و مدت زمان نگهداری آن‌ها کوتاه بوده و زود بیات می‌شوند. همچنین این محصولات کم عطر و مزه، دارای پوسته‌ای کم رنگ و چروکیده هستند و از نظر مصرف کننده قابل قبول نیستند (۳۶). راهکارهای مختلفی برای کاهش بیاتی و بهبود بافت این دسته از محصولات توصیه شده که یکی از آن‌ها استفاده از آرد و نشاسته پیش‌ژلاتینه است. یکی از انواع نشاسته‌های تغییریافته (اصلاح شده)، نشاسته پیش‌ژلاتینه است که برای تولید آن ابتدا نشاسته طبیعی، ژلاتینه شده و سپس به صورت پودر خشک در می‌آید. از جمله تفاوت‌های مهمی که نشاسته‌های تغییریافته به روش حرارتی با نشاسته‌های اصلاح شده به

روش‌های شیمیایی دارند آن است که در نوع پیش‌ژلاتینه، با انتخاب شرایط عمل از جمله دما، زمان، مقدار آب، مقدار نشاسته قابل کنترل است. این نوع نشاسته دارای ویسکوزیته بالاتر، بو و رنگ مطلوب و شفافیت بالاتری است. ویژگی خاص عمل پیش‌ژلاتینه در این است که باعث افزایش جذب آب خمیر و رطوبت محصول نهایی می‌شوند (۱۲). یکی از روش‌های حرارتی برای تولید نشاسته‌های تغییریافته استفاده از امواج مایکروویو است. مایکروویو در اصل امواج با طول موج کوتاه و تعداد نوسانات بسیار بالا می‌باشد. برد چنین امواجی کوتاه در حد چند متر بوده، ولی میزان نفوذ آن‌ها نسبتاً بالا است. امواج مایکروویو با طول موج‌هایی بین ۱-۰/۰۰۱ متر و فرکانسی حدود ۳۰۰۰۰۰-۳۰۰ مگاهرتز بخشی ازطیف الکترومغناطیس هستند. تمام دستگاه‌های مایکروویو در ۲۴۵۰ مگا هرتز عمل کرده و حرارت داخل ماده غذایی تولید می‌گردد. مکانیسم سیستم مایکروویو را می‌توان با گرم شدن در اثر چرخش دو قطبی و البته وجود مولکول‌های قطبی توضیح داد. در واقع همزمان با جذب امواج توسط ماده غذایی، مولکول‌های قطبی (به ویژه آب) با میدان هم جهت می‌شوند. وقتی میدان متناوب به کار برده شود با معکوس شدن قطبیت میدان، مولکول‌های قطبی، مجدداً خودشان را در راستای میدان تغییر یافته قرار می‌دهند. قرار گرفتن مولکول‌ها به اندازه ۲۴۵۰×۱۰^{۶} بار در ثانیه در راستای میدان باعث ایجاد اصطکاک و در نتیجه تولید حرارت می‌شود (۱۱ و ۲۶). پس از جذب انرژی مایکروویو و تبدیل آن به انرژی حرارتی، حرارت توسط فرآیندهای جابجائی و هدایتی به تمام قسمت‌های ماده غذایی منتقل می‌شود. یکی از مزیت‌های اصلی قرار دادن مواد غذایی در میدان مایکروویو سرعت بالای انتقال گرمایش بوده که تا حدود زیادی می‌تواند در کاهش اتلاف انرژی و زمان فرایند موثر باشد (۱۴). به طور سنتی تیمارهای حرارتی- رطوبتی نشاسته از جمله استفاده از آون‌های با جریان همرفتی، جوشاندن و پخت با فشار بالا که همگی توانسته‌اند تا حدود زیادی بر قابلیت هضم و دسترسی نشاسته در ماده غذایی موثر واقع شوند. با این وجود تمایل روز افزونی به استفاده از کاربردهای مایکروویو در فرایند مواد غذایی وجود دارد، زیرا انرژی مایکروویو به دلیل عملکرد یکسان در کل حجم ماده مورد نظر، عمق نفوذ بیشتر و جذب انتخابی[1] موثرتر از سایر روش‌های حرارت دهی سنتی می‌باشد (۲۵ و ۳۵). همچنین تحقیقات نسبتاً گسترده‌ای در زمینه اصلاح نشاسته‌های مختلف با روش فرایند حرارتی-رطوبتی با استفاده از مایکروویو و بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مولکول‌های حاصل صورت گرفته است (۲۵). نقی پور و همکاران (۱۳۹۴) با مطالعه در زمینه کیفیت نان ترکیبی (گندم-سورگوم) و به کار بردن نشاسته پیش‌ژلاتینه شده (تحت تأثیر حرارت) در فرمولاسیون نان، اعلام کردند پوسته محصول نهایی با سرعت بیشتری الاستیک می‌شود که در نتیجه آن قابلیت حفظ رطوبت در نان افزایش می‌یابد. این محققان ارتباط مستقیمی بین میزان رطوبت و فعالیت آبی نان گزارش نمودند و اذعان داشتند نمونه‌ای که دارای بیشترین میزان رطوبت بود، از بیشترین میزان فعالیت آبی نیز برخوردار بود (۹). در بررسی صورت گرفته، با افزودن نشاسته اصلاح شده ذرت (پیش‌ژلاتینه) در سطوح ۳، ۵، ۷ و ۱۰ درصد به صورت جایگزین آرد گندم، پارامترهایی نظیر رطوبت، خاکستر، خاکستر نامحلول، گلوتن مرطوب و خشک، پروتئین، چربی، عدد زلنی و pH، کاهش یافتند ولی مقدار فیبر تغییری نکرد. نتایج آزمون فارینوگراف نیز مشخص نمود که میزان جذب آب و درجه سست شدن افزایش، زمان گسترش، پایداری و عدد کیفیت روندی نزولی داشتند. نتایج آزمون حسی نشان داد که کیفیت نان‌های تیمار شده قابل پذیرش بوده و سبب تعویق بیاتی شدند (۳). این تحقیق با هدف بررسی تاثیر آرد ذرت پیش‌ژلاتینه شده با مایکروویو بر خصوصیات کیفی و حسی نان قالبی بدون گلوتن انجام شد و میزان رطوبت، تخلخل، بافت، مؤلفه‌های رنگی پوسته و خواص حسی نان تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

1- Selective Microwave Absorption

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

آرد ذرت (با مشخصات ۹/۳ درصد رطوبت، ۹/۴ درصد پروتئین، ۳/۳ درصد چربی و ۲/۶ درصد خاکستر) از کارخانه گل‌ها (تهران-ایران) خریداری شد. بدین منظور، آرد مورد نیاز برای انجام آزمایشات به صورت یک جا تهیه و در سردخانه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. صمغ گوار (شرکت رودیا، فرانسه)، مخمر مورد استفاده (ساکارومایسس سرویزیه[1]) که به شکل پودر مخمر خشک فعال و به صورت بسته‌بندی وکیوم بود از شرکت خمیرمایه رضوی (مشهد، ایران)، پودر لسیتین از شرکت طوس ارژن (مشهد، ایران)، پودر سفیده تخم مرغ از شرکت گل پودر گلستان (گرگان، ایران)، شکر، نمک و روغن نباتی مایع از یک فروشگاه عرضه‌کننده مواد اولیه قنادی و سایر مواد شیمیایی از شرکت (مرک، آلمان) خریداری و مصرف گردید.

۲-۲- تهیه آرد ذرت پیش‌ژلاتینه با مایکروویو

به منظور تهیه آرد ذرت پیش‌ژلاتینه، ابتدا ۱۲ گرم آرد در ۲۰ میلی‌لیتر آب درون ظرف شیشه‌ای درب‌دار ریخته و سپس در حمام آب گرم (مدل W350b، شرکت فاطر الکترونیک، ایران) با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه همزده شد. در ادامه مخلوط حاصله در مدت زمان ۵ دقیقه درون مایکروویو خانگی (مدلMC-789Y شرکت LG، کره جنوبی) با توان ۳۶۰ وات و فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز قرار داده شد تا خشک شود. در نهایت نمونه تولیدی آسیاب و الک (مش ۳۰) شد تا پودرهای کاملاً یکنواختی به دست آمد (۲۵).

۲-۳- تهیه تصاویر از ریزساختار آرد ذرت (معمولی و پیش‌ژلاتینه) با میکروسکوپ الکترونی

برای بررسی ساختار کیفی آرد ذرت اصلاح شده پیش‌ژلاتینه به روش مایکروویو، از میکروسکوپ الکترونی روبشی[2] استفاده گردید. ابتدا برای قرارگیری در میکروسکوپ الکترونی روبشی، نمونه‌های آرد باید عاری از رطوبت بوده، بدین منظور به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا کاملاً خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک آون شده تحت خلاء و تحت بخارات طلا توسط دستگاه لایه نشان طلا (مدل K450X، شرکت EMITECH، انگلستان) قرار داده شدند. برای ثبت تصاویر از میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل MIRA3، شرکت TESCAN، جمهوری چک) با ولتاژ kv ۱۰ و با سطوح بزرگنمائی ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ استفاده گردید (۱۶).

۲-٤- تهیه خمیر و تولید نان

برای تهیه خمیر نان بر پایه ۱۰۰ گرم آرد ذرت از فرمولی شامل؛ آرد (۱۰۰ گرم)، آب (۱۰۰ گرم یا برابر با وزن آرد ذرت)، نمک (۱/۵ گرم)، شکر (۱ گرم)، پودر سفیده تخم مرغ (۰/۵گرم) و پودر لسیتین (۰/۷۵گرم)، مخمر ساکارومایسس سروزیه (۲ گرم) و صمغ گوار (۰/۷ درصد) استفاده شد (۲۲). تهیه خمیر در این مطالعه به روش مستقیم و نان تولیدی از نوع قالبی بود. در ادامه برای پخت نان حجیم نحوه کار به این ترتیب است که، مواد در مخزن هم‌زن (مدل Spiral، تایلند) به مدت ۱۵ دقیقه مخلوط شده، سپس خمیر به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به منظور تخمیر اولیه قرار گرفته و در مرحله بعد خمیر به قطعات ۸۰ گرمی تقسیم و داخل قالب چرب شده مخصوص به مدت ۱۰ دقیقه به خمیر استراحت داده شد (مرحله تخمیر میانی)، سپس قالب‌ها به مدت ۶۰ دقیقه در انکوباتور با درجه حرارت ۴۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد به منظور مرحله تخمیر نهایی قرار گرفت. در نهایت در فر گردان آزمایشگاهی دقیق (مدل Zuccihelliforni، ایتالیا) با درجه حرارت ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۳ دقیقه عملیات پخت انجام گردید. پس از سرد شدن، هر یک از نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی به منظور ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی، بسته‌بندی و در دمای محیط نگهداری شدند (۳۶).

1- Saccharomyces Cerevisiae
2-Scanning Electron Microscope

۲-۵- آزمون ارزیابی رطوبت

به منظور تعیین رطوبت نان از استاندارد AACC به شماره ۱۶– ۴۴ استفاده شد. برای این منظور نمونه‌های مورد نظر در فاصله زمانی ۲ و ۷۲ ساعت پس از پخت، در آون (مدل OF-O2G، شرکت Jeto Tech، کره جنوبی) با حرارت ۱۰۵–۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (۱۰).

۲-۶- آزمون ارزیابی تخلخل

به منظورارزیابی میزان تخلخل مغز نان در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از مغز نان تهیه گردید و به وسیله اسکنر (مدل G3010، شرکت HPscanjet، آمریکا) با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویربرداری گردید و تصاویر تهیه شده در اختیار نرم‌افزار Image J[1] (ساخت مؤسسه ملی بهداشت[2]، آمریکا) قرار گرفت. با فعال کردن قسمت ۸ بیت[3]، تصاویر سطح خاکستری[4] ایجاد شد. جهت تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی[5]، قسمت دودویی نرم‌افزار فعال گردید. این تصاویر، مجموعه‌ای از نقاط روشن و تاریک است. که محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به عنوان شاخصی از میزان تخلخل نمونه‌ها برآورد می‌شود. بدیهی است که هر چقدر این نسبت بیشتر باشد بدین معناست که میزان حفرات موجود در بافت نان (میزان تخلخل) بیشتر است. در عمل با فعال کردن قسمت آنالیز نرم‌افزار، این نسبت محاسبه و درصد تخلخل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (۱۸).

۲-۷- آزمون ارزیابی بافت

ارزیابی بافت نان در فاصله زمانی ۲ و ۷۲ ساعت پس از پخت، با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (QTS مدل UK، شرکت CNS Farnell، انگلستان) انجام گرفت. حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب استوانه‌ای با انتهای صاف (۲ سانتی‌متر قطر در ۲/۳ سانتی‌متر ارتفاع) با سرعت ۶۰ میلی‌متر در دقیقه از مرکز نان، بعنوان شاخص سفتی[6] محاسبه گردید. شایان ذکر است که به منظور دستیابی دقیق به میزان سفتی بافت داخلی نان، قله‌ی نان با یک چاقوی اره‌ای جدا گردید. نقطه شروع[7] و نقطه هدف[8] به ترتیب ۰/۰۵ نیوتن و ۲۵ میلی‌متر بود. در واقع میزان سفتی با توجه به منحنی نیرو-تغییر شکل به دست آمد. به این صورت که سفتی برابر با حداکثر مقدار نیرو در منحنی نیرو-تغییر شکل بود و بر اساس نیوتن (N) بیان شد (۳۲).

۲-۸- آزمون ارزیابی مؤلفه‌های رنگی پوسته

آنالیز رنگ پوسته نان در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، از طریق تعیین سه شاخص L^*، a^* و b^* صورت گرفت. شاخص L^* معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. شاخص a^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص b^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰ + (زرد خالص) متغیر می‌باشد. جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها ابتدا برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی‌متر از نان تهیه گردید و به وسیله اسکنر (مدل G3010، شرکت HPscanjet، آمریکا) با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویربرداری شد. سپس تصاویر در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن فضای LAB در بخش Plugins، شاخص‌های فوق محاسبه شد (۳۹).

۲-۹- آزمون ارزیابی ویژگی های حسی

برای انجام آزمایش حسی ۱۰ داور انتخاب و از طریق آزمون مثلثی مطابق با روش گاسولا[9] و روش امتیازدهی هدونیک ۵ نقطه‌ای نمونه‌ها ارزیابی شدند. خصوصیاتی از جمله سطح بالایی، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن، بو و مزه و فرم و شکل ارزیابی شدند (۱۷).

1-Image Processing and Analysis in Java
2- National Institutes of Health
3- Bit
4- Gray level Images
5-Binary Images

6-Hardness
7-Trigger Point
8-Target Value
9-Gacula

ویژگی‌های بررسی شده به یک اندازه مؤثر نیستند. بنابراین پس از بررسی منابع به هریک از ویژگی‌ها به ترتیب ضریب رتبه‌ای ۲، ۲، ۲، ۳، ۳ و ۴ داده شد. در نهایت با داشتن این معلومات، امتیاز کلی (عدد کیفیت نان) با استفاده از رابطه ذیل محاسبه گردید. ارزیابی صفات از بسیار بد (۱) تا بسیار خوب (۵) بود. با داشتن این معلومات، پذیرش‌کلی (عدد کیفیت نان) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

رابطه ۱-

$$Q = \frac{\sum(P \times G)}{\sum P}$$

Q= پذیرش‌کلی (عدد کیفیت نان)، P= ضریب رتبه صفات و G= ضریب ارزیابی صفات.

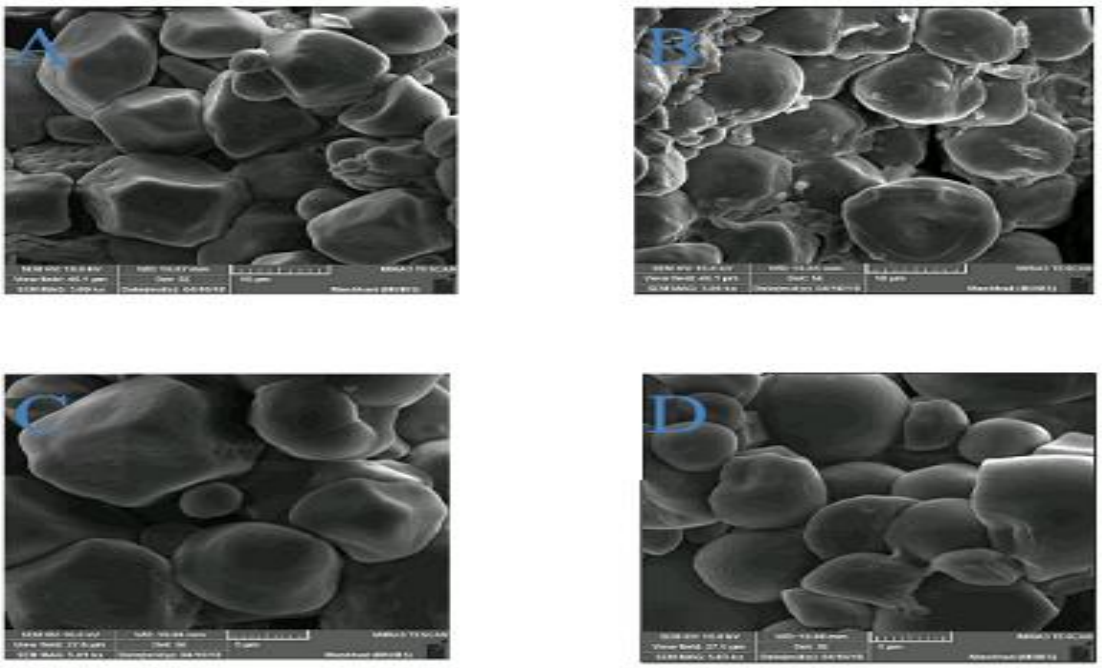
۲-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری

تحلیل آماری داده‌ها در قالب یک طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از نرم افزار Mstat-c نسخه ۱/۴۲ در سطح معنی‌داری ۵ درصد صورت گرفت و جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید. برای آزمون حسی تعداد تکرار ۱۰ در نظر گرفته شد که همان تعداد داوران بود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تصاویر آرد ذرت معمولی و پیش‌ژلاتینه با میکروسکوپ الکترونی

تصاویر موجود در شکل (۱) حاصل استفاده از میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ بوده که به ترتیب آرد ذرت معمولی (A و C) و و آرد ذرت پیش‌ژلاتینه با مایکروویو (B و D) را نشان می‌دهد. همان طور که تصاویر نشان می‌دهد ساختار گرانولی آرد ذرت معمولی (حرارت ندیده) منسجم و از سطح یکنواخت‌تری برخوردار بود. در حالی که ساختار گرانول‌های آرد ذرت پیش‌ژلاتینه به دلیل حرارت ناشی از مایکروویو تخریب شده و از گستردگی ساختاری و تورم بیشتری برخوردار بودند و سطح غیریکنواخت از روی تصویر کاملاً مشخص است. در فرآیند استفاده از مایکروویو، مقدار نسبتاً زیاد حرارت داخلی به صورت قابل توجهی فشار داخلی ایجاد می‌کند، که ممکن است باعث پف کردن و افزایش حجم شود. از آن‌جایی که مکانیسم گرمایشی مایکروویو با جابجایی متفاوت است، فشار داخلی تولید شده درون محصولات متخلخل در طول حرارت‌دهی مایکروویو به صورت غیرقابل مقایسه‌ای بالاتر از مقدار بدست آمده در طول حرارت‌دهی به صورت جابجایی است (۱۳). در این راستا مجذوبی و فرحناکی (۲۰۰۸) نتایج مشابهی گزارش نمودند و بیان کردند نشاسته‌هایی که تحت تأثیر فرایندهای حرارتی (اتوکلاو یا ماکروفر) قرار گیرند، ساختار گرانولی آن‌ها تخریب شده و به موجب آن مولکول‌های نشاسته در محیط به راحتی با آب برهم‌کنش نشان دادند (۲۵). جذب آب آرد جانشین شده با نشاسته ذرت تیمار شده به روش حرارتی- رطوبتی بیشتر از نشاسته عادی ذرت گزارش گردید، چون تیمار حرارتی- رطوبتی منافذ زیادی را روی سطح گرانول نشاسته ذرت تیمار شده با این روش ایجاد می‌کند، به طوری که آب افزوده شده به سهولت در نشاسته نفوذ کرده و جذب آب بیشتری نسبت به نشاسته عادی ذرت حاصل می‌گردد

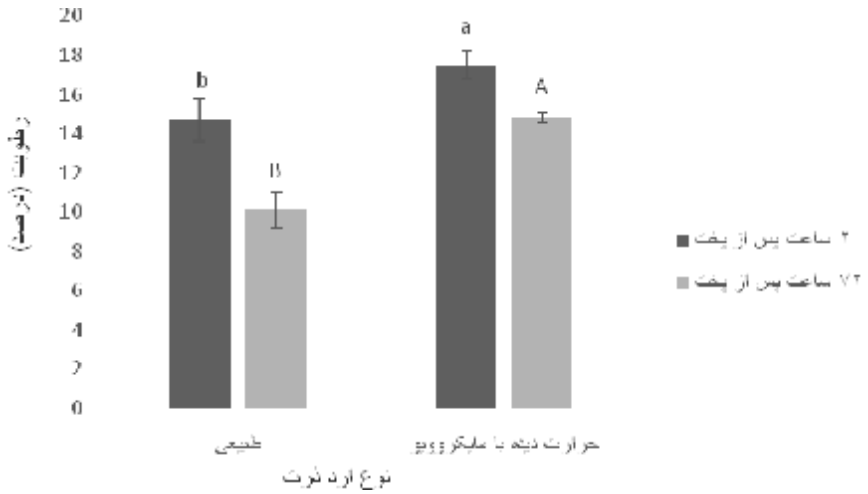


شکل ۱- تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی از آرد ذرت با بزرگنمایی ۳۰۰۰ (A)، آرد ذرت پیش‌ژلاتینه با مایکروویو با بزرگنمایی ۳۰۰۰ (B)، آرد ذرت با بزرگنمایی ۵۰۰۰ (C) و آرد ذرت پیش‌ژلاتینه با مایکروویو با بزرگنمایی ۵۰۰۰ (D).

۳-۲- بررسی رطوبت نان تولیدی

شکل(۲) نتایج اثر نوع آرد ذرت (طبیعی و حرارت دیده در مایکروویو)، را بر میزان رطوبت نان قالبی در بازه زمانی ۲ و ۷۲ ساعت پس از پخت نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج مشخص نمود، میزان رطوبت نمونه‌های حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه شده با مایکروویو به طور معنی‌داری در سطح آماری پنج درصد بیش از نمونه‌های حاوی آرد ذرت معمولی بود ($P<۰/۰۵$). به احتمال زیاد بیشتر بودن میزان رطوبت نمونه‌های حاوی آرد ذرت ژلاتینه شده نسبت به نمونه‌های حاوی آرد ذرت به دلیل افزایش جذب آب است که این افزایش جذب آب می‌تواند ناشی از اتصالات بین مولکول‌های آب و زنجیره‌های نشاسته‌ای باشد (۴۲). در بررسی‌های دیگری نیز مشخص شد در نشاسته‌های طبیعی آب در دمای محیط قابلیت نفوذ کامل در گرانول‌ها را نداشته که علت این امر افزایش ویسکوزیته به علت ایجاد تورم در اثر نفوذ آب و خروج پلیمرهای کوچک مانند آمیلوز از زنجیره‌های نشاسته است. اما در حالت پیش‌ژلاتینه شده، حرارت کمک به ایجاد رشته‌های آزاد نشاسته و ساختاری کریستالی کرده که این خود می‌تواند در ساخت اتصالات هیدروژنی و جذب مولکول آب کمک نماید (۵). در راستای اثر مثبت فرآیندهای حرارتی بخصوص کاربرد امواج مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصولات خمیری بر پایه آرد و نشاسته غلات مطالعات چندی صورت گرفته است که نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌کند. مجذوبی و فلسفی۱۳۹۴) به مطالعه تأثیر امواج مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته‌های ذرت و یولاف پرداختند. این محققان گزارش کردند حرارت‌دهی نشاسته در مایکروویو باعث تخریب ساختار مولکول‌های درشت نشاسته شد و به موجب آن قدرت جذب آب و حلالیت نمونه‌ها افزایش و ویسکوزیته آب سرد کاهش یافت (۷). رادی[1] و همکاران (۲۰۰۸) با تحقیق در زمینه بررسی تأثیر امواج مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته گندم نتایج مشابهی را گزارش کردند و بیان نمودند امواج مایکروویو سبب ویسکوزیته ذاتی نشاسته و تخریب ساختار کریستالی گرانول‌ها شد که به موجب آن جذب آب افزایش یافت (۳۳).

1- Radi



شکل ۲- اثر آرد ذرت معمولی و پیش‌ژلاتینه شده با مایکروویو بر میزان رطوبت نان

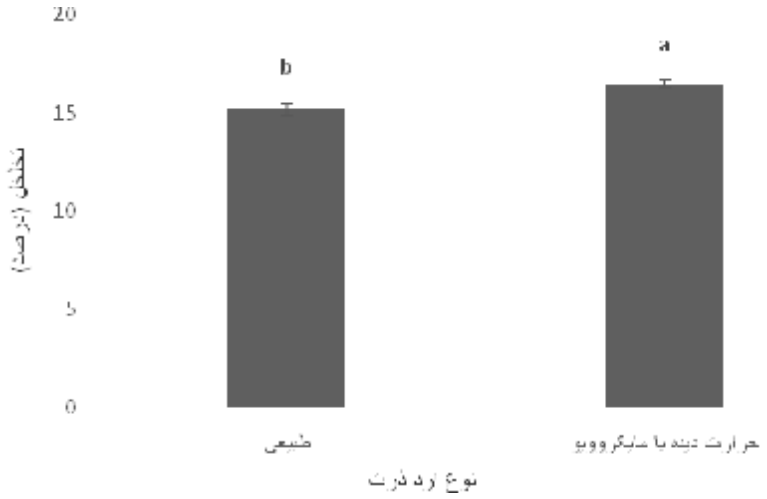
*حروف مشابه در هر بازه زمانی (۲ و ۷۲ ساعت پس از پخت) از نظر آماری در سطح $P<۰/۰۵$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

۳-۳- بررسی تخلخل نان تولیدی

شکل(۳) نتایج تخلخل نمونه‌های نان تولیدی را نشان می‌دهد. براساس نتایج، اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین نمونه‌ها مشاهده گردید که، بیانگر میزان تخلخل بیشتر در نان حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه در مایکروویو بود ($P<۰/۰۵$). در این حالت محصول تولیدی از تعداد سلول گازی مناسب (از طریق حفظ آن در خمیر و طی فرایند پخت) و پخش یکنواخت این سلول‌ها در نان بدون گلوتن برخوردار بوده است. حتی می‌توان نتیجه گرفت که با پیش‌ژلاتینه کردن آرد یا نشاسته موجود در فرمولاسیون نان بدون گلوتن می‌توان از میزان صمغ مصرفی کاست که به احتمال زیاد علت این امر افزایش ویسکوزیته خمیر در صورت استفاده از آرد پیش‌ژلاتینه شده است. یکی دیگر از پارامترهای مهم مغز محصولات نانوایی، تخلخل است که به طور کلی اشاره به ساختار منافذ در مغز این دسته از مواد غذایی دارد و یکی از عوامل تأثرگذار در خواص کیفی مغز محصولات صنایع پخت محسوب می‌شود. به طور کل میزان تخلخل در ارتباط مستقیم با تعداد حفرات و سلول‌های گازی و مهم‌تر از آن توزیع یکنواخت آن‌ها در بافت محصول می‌باشد (۴۴). محققین با بررسی تصاویر مغز نان به وسیله نرم‌افزار Image J نشان دادند که با افزایش زمان نگهداری و توسعه تغییرات فیزیکوشیمیایی در بافت نان، میزان تخلخل آن کاهش پیدا می‌کند. با این حال، ساختار فشرده نان‌های مسطح و نیمه حجیم به دلیل وجود هوای کمتر منجر به تغییرات محسوسی در اندازه حفرات یا میزان تخلخل نشده ولی در نان‌های حجیم، با افزایش زمان نگهداری، رطوبت از مغز به سطح، منتقل گردیده و باعث تغییر در ساختمان شبکه پروتئینی می‌شود. این تغییرات با کاهش استحکام و کاهش حجم نیز همراه بوده و منجر به کاهش اندازه حفرات یا میزان تخلخل نان می‌گردد (۴). ولاچوس[1] و کاراپانتسیوس[2] (۲۰۰۰) بیان کردند که اعمال حرارت به آرد فاقد گلوتن، باعث به وجود آمدن بافتی متخلخل و آماده جذب آب می‌باشد. کاهش ویسکوزیته ذاتی، نشان‌دهنده شکسته شدن جزئی ساختار مولکولی نشاسته بوده که در اثر حرارت رخ می‌دهد. که این امر در مورد آرد پیش‌ژلاتینه نیز صادق است و به شدت فرآیند نیز بستگی دارد. یعنی هر چه دمای بالاتری اعمال گردد شکسته شدن نشاسته و کاهش ویسکوزیته ذاتی نیز بیشتر می‌گردد (۴۳). افزایش حلالیت آرد پیش‌ژلاتینه می‌تواند مربوط به

1-Vlachos
2- Karapantsios

شکسته شدن جزئی مولکول‌ها و در نتیجه کوچک‌تر شدن اندازه آن‌ها، از بین رفتن ساختار کریستالی و باز شدن ساختار فشرده گرانولی و در نتیجه افزایش قابلیت تحرک مولکول‌ها با جذب آب و همچنین ایجاد ساختار فیزیکی متخلخل این نوع آرد باشد (۱۲ و ۳۷). زیوبرو[1] و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه اثر نشاسته‌های اصلاح شده در تولید نان بدون گلوتن به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان کردند استفاده از نشاسته اصلاح شده نسبت به نشاسته معمولی در فرمولاسیون محصولات بدون گلوتن توانست از طریق کاهش اندازه و افزایش سلول‌های گازی و توزیع یکنواخت آن‌ها در بافت محصول سبب افزایش میزان تخلخل گردد (۴۴). میازاکی[2] و موریتا[3] (۲۰۰۵) تأثیر افزودن ۲۰ درصد نشاسته ذرت تیمار شده به روش حرارتی- رطوبتی و نشاسته عادی ذرت به آرد گندم و کیفیت نان حاصله را بررسی کردند. نتایج نشان داد جذب آب آرد جانشین شده با نشاسته ذرت تیمار شده به روش حرارتی- رطوبتی بیشتر از نشاسته عادی ذرت بود، زیرا تیمار حرارتی-رطوبتی منافذ زیادی را روی سطح گرانول‌های نشاسته ذرت تیمار شده با حرارت-رطوبت ایجاد می‌کند. افزودن ۵ درصد آب بیشتر از جذب آب بهینه فارینوگراف، سبب افزایش تخلخل و نرمی مغز بافت نان‌های نشاسته ذرت تیمار شده با حرارت-رطوبت شد(۲۹)



شکل ۳- اثر آرد ذرت معمولی و پیش‌ژلاتینه شده با مایکروویو بر میزان تخلخل نان

حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P<۰/۰۵$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

1-Ziobro

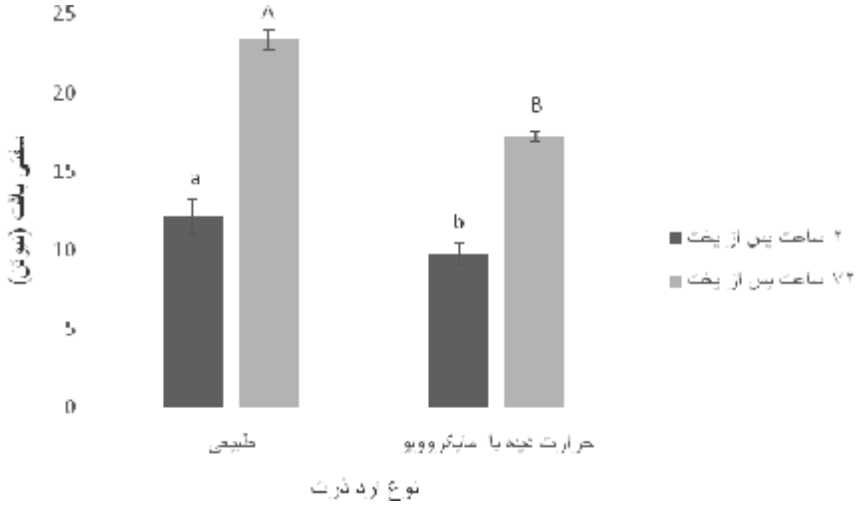
2-Miyazaki
3- Morita

۳-٤- بررسی بافت نان تولیدی

نتایج میزان سفتی بافت در بازه زمانی ۲ و ۷۲ ساعت پس از پخت در شکل (۴) نشان داده شده است. براساس نتایج در بازه زمانی۲ و۷۲ ساعت پس از پخت نمونه حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه دارای کمترین میزان سفتی بافت، به ترتیب (۹/۷ نیوتن) و (۱۷/۲ نیوتن) را در بین نمونه‌های تولیدی داشتند که نسبت به نان‌های تولیدی حاوی آرد ذرت معمولی اختلاف معنی‌داری را از خود نشان دادند ($P<۰/۰۵$). لازم به ذکر است که میزان سفتی تمام نمونه‌های تولیدی طی ۷۲ ساعت نگهداری افزایش یافتند. به نظر می‌رسد علت برتری آرد ذرت ژلاتینه شده با مایکروویو نسبت به آرد ذرت معمولی این باشد که به دلیل اعمال حرارت بر آرد ذرت و تهیه آرد ذرت ژلاتینه شده گستردگی ساختار مولکولی نشاسته موجود در آرد افزایش یافته که این امر منجر به نفوذ بیشتر آب به داخل شبکه نشاسته شده و برهم‌کنش‌های نشاسته با آب را بهبود می‌بخشد. با افزایش برهم‌کنش نشاسته با آب و حفظ رطوبت در محصول می‌توان انتظار داشت که محصولی با بافت نرم تولید نمود(۳۸). همچنین میزان سفتی بافت محصولات صنایع پخت در بازه زمانی بلافاصله پس از پخت به عواملی نظیر حفظ رطوبت محصول در طی فرآیند پخت و برخی از خصوصیات تکنولوژیکی آن نظیر حجم و تخلخل بستگی دارد. حفظ رطوبت از سفت شدن و حتی شکننده شدن نمونه تولیدی پس از پخت جلوگیری می‌کند و بافت محصول نرم‌تر می‌شود. از سوی دیگر افزایش حجم و تخلخل به دلیل حضور تعداد بیشتر حباب‌های هوا در نمونه و پخش یکنواخت آن‌ها، دو فاکتور اثرگذار بر میزان نرمی بافت و کاهش فشردگی می‌باشند (۲۳ و ۳۴). از این رو این انتظار وجود داشت نمونه‌های حاوی آرد ذرت حرارت دیده در مایکروویو با بیشترین رطوبت، حجم و تخلخل از سفتی کمتری برخوردار باشند. پالاو[1] و سیتارامان[2] (۲۰۰۷) با مقایسه نشاسته ذرت طبیعی و حرارت دیده در مایکروویو بیان کردند نفوذ مؤثر حرارت حاصل از مایکروویو در نشاسته و رسیدن آن به دماهای بالاتر درون مایکروویو منجر به شکسته شدن برخی از اتصالات بین مولکولی به ویژه اتصالات هیدروژنی و همچنین تخریب بیشتر مولکول‌ها می‌شود و مولکول‌های با وزن مولکولی پائین‌تر می‌کند که جذب آب توسط آن‌ها راحت‌تر صورت می‌پذیرد. از طرفی حرارت دهی آرد ذرت در مایکروویو با ایجاد حرکات لرزشی مولکول‌های آب نیز می‌تواند باعث نفوذ بیشتر آب به داخل رشته‌های نشاسته گردد و مزید بر علت شود. تخریب ساختار گرانولی نشاسته و برهم‌کنش با آب باعث افزایش ویسکوزیته شده که این خود در ژلاتینه شدن بهتر و کامل‌تر نمونه در فر پخت اثرگذار است و به طبع محصول تولیدی از ویژگی‌های بافتی و ظاهری مطلوب‌تری برخوردار خواهد بود(۳۱). همچنین محققین دیگری جهت غنی‌سازی نان از آرد نخود هیدراته شده تحت تأثیر حرارت (تیمار حرارتی-رطوبتی) و غیرهیدراته استفاده نمودند که جهت جبران فقدان گلوتن موجود در آرد نخود از هیدروکلوئیدهای هیدروکسی پروپیل سلولز، آگار و گوار استفاده شد. نتایج به وضوح نشان داد حضور آرد ذرت هیدراته و صمغ گوار در کاهش سفتی بافت نان مؤثر بودند (۲۷). در بررسی دیگری خصوصیات رئولوژیکی و فیزیکی نشاسته ذرت پیش‌ژلاتینه و طبیعی مقایسه و محققان اذعان داشتند در نشاسته پیش‌ژلاتینه شده با تیمار حرارتی- رطوبتی نسبت به نشاسته اصلاح شده به روش شیمیایی و نشاسته طبیعی، افزایش ویسکوزیته سریع‌تر ایجاد شد. بدین معنی که همانند اسفنج عمل کرده و آب را سریعاً جذب نمود. افزایش جذب آب خمیر و رطوبت محصول نهایی از عوامل مؤثر در کاهش سفتی بافت محصولات نانوایی است که نشاسته حرارت دیده در مایکروویو در افزایش این دو پارامتر (جذب آب خمیر و رطوبت محصول نهایی) موفق عمل نموده و موجبات کاهش سفتی بافت را مهیا نموده است (۱۲). همچنین مجذوبی و همکاران (۱۳۹۲) تأثیر افزودن نشاسته گندم اصلاح شده با فرایند حرارتی- رطوبتی را بر ویژگی‌های خمیر و نان حجیم بررسی کردند. بدین منظور نشاسته با رطوبت ۲۵ درصد در ظروف درب بسته شیشه‌ای در سه زمان ۱۴، ۱۶ و ۱۸ ساعت

1- Palav
2- Seetharaman

درون انکوباتور با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده و پس از آسیاب نمودن در فرمولاسیون نان استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد افزودن ۳۰ درصد نشاسته اصلاح شده به فرمولاسیون اولیه، سبب افزایش نرمی بافت نان گردید. همچنین این پژوهشگران گزارش کردند افزایش زمان حرارت‌دهی نشاسته سبب حصول نمونه‌ای با بافت سفت‌تر شد و زمان پیشنهادی آن‌ها ۱۴ ساعت بود (۶). از میان تغییراتی که در طی نگهداری نان روی می‌دهد، سفت شدن بافت مغز نان به طور گسترده‌ای برای ارزیابی بیاتی استفاده می‌شود. بیاتی به عوامل متعددی مانند رتروگراداسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، کاهش میزان رطوبت و یا توزیع رطوبت بین ناحیه آمورف و کریستالی نسبت داده می‌شود. سفتی، مقاومت مغز نان به تغییر شکل است و قسمتی از ویژگی‌های بافتی می‌باشد، که عموماً به منظور ارزیابی بیاتی نان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۰). مطالعات زیادی نشان دادند که ترکیبات آبدوست قابلیت برهمکنش با آب را داشته و سبب کاهش انتشار و پایداری حضور آن در سیستم نان در طی فرآیند پخت می‌شوند و همین امر در افزایش میزان رطوبت محصول نهایی طی فرآیند پخت و پس از آن مؤثر بوده و از افزایش میزان سفتی بافت طی دوره نگهداری ممانعت می‌کنند (۲۸). یکی از مواد آبدوستی که قابلیت برهم‌کنش نیز دارد نشاسته پیش‌ژلاتینه بوده که می‌تواند با استفاده در خمیر در ابتدای فرآیند پخت، آنزیماتیکی تجزیه شده، و در ادامه آب آزاد شده را برای ادامه ژلاتینه شدن مورد استفاده قرار دهد. آب موجود در خمیر و بافت داخلی نان در اثر افزودن نشاسته تورم یافته، تنظیم می‌گردد، در نتیجه بافت داخلی محصولات پخت حاوی نشاسته پیش‌ژلاتینه مرطوب و به موجب آن بیاتی به تأخیر می‌افتد (۳).



شکل ٤- اثر آرد ذرت معمولی و پیش‌ژلاتینه شده با مایکروویو بر میزان سفتی بافت نان

حروف مشابه در هر بازه زمانی (۲ و ۷۲ ساعت پس از پخت) از نظر آماری در سطح $P<۰/۰۵$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

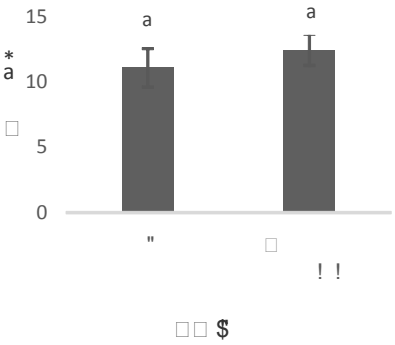
۳-۵- بررسی مؤلفه‌های رنگی پوسته نان تولیدی

نتایج مؤلفه‌های رنگی پوسته ($L^*a^*b^*$) در شکل(۵) نشان داده شده است. نتایج این بخش نشان داد استفاده از آرد ذرت پیش‌ژلاتینه در فرمولاسیون نان بدون گلوتن سبب افزایش مؤلفه رنگی L^* گردید در حالی که، در میزان دو مؤلفه رنگی a^* و b^* تغییر معنی‌داری حاصل نشد ($P<۰/۰۵$).

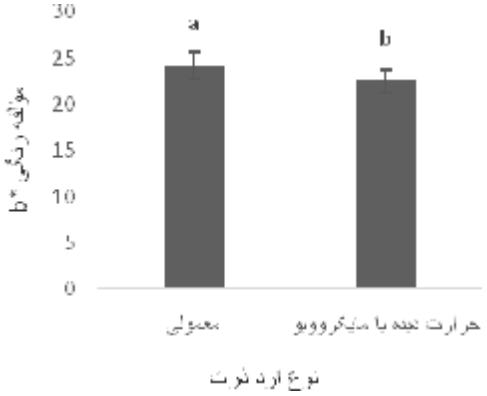
همچنین لازم به ذکر است به جز حفظ رطوبت، ویژگی‌های بافتی نظیر حجم، تخلخل و میزان سفتی بافت می‌تواند بر سطح محصول نهایی اثر گذاشته و هرچه تعداد حفرات گازی کمتر (نمونه‌های دارای حجم کمتر)، اندازه حفرات بزرگتر و پخش آن‌ها غیریکنواخت‌تر (نمونه‌های دارای تخلخل کمتر) و سفتی بافت بیشتر باشد، به دلیل فشردگی

بیش از حد سطح نمونه و وجود حفرات بزرگ در سطح، انعکاس نور از سطح پوسته کمتر صورت می‌گیرد و درخشندگی نمونه یا همان مؤلفه رنگی L^* کاهش می‌یابد. حصول چنین نتیجه‌ای چندان دور از انتظار نبود زیرا نمونه‌های حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه با حفظ رطوبت در حین فرآیند پخت و ممانعت از مهاجرت سریع آن از بافت درونی به پوسته در ایجاد سطحی هموار و یکنواخت مؤثر بوده‌اند. یافته های پژوهشگران نشان داد که ترکیباتی که قابلیت حفظ بیشتر رطوبت در محصول نهایی در حین فرآیند پخت را داشتند با ممانعت از چروکیدگی پوسته و تغییرات سطح آن در افزایش میزان مؤلفه L^* دخیل بودند. همچنین ذکر این نکته ضروری است که در بسیاری از موارد به ویژه محصولات صنایع پخت مشاهده شده است که مؤلفه L^* (روشنایی)، با مؤلفه b^* (زردی) رابطه مستقیم و با مؤلفه رنگی a^* (قرمزی) رابطه عکس داشته است. از سوی دیگر بیان شد که مؤلفه رنگی a^* که میزان قرمزی و تیرگی محصول نهایی را نشان می‌دهد، می‌تواند تحت تاثیر افزایش فشردگی و سختی بافت به دلیل افزایش تجمع رنگدانه‌های تولید شده در بافت افزایش یابد (۳۶). در تحقیقی صورت گرفته کاربرد نشاسته اصلاح شده در مقایسه با نشاسته ذرت با محتوای آمیلوز بالا در فرمولاسیون نان بدون گلوتن بررسی گردید. نتایج به وضوح نشان داد استفاده از نشاسته اصلاح شده با تیمار حرارتی-رطوبتی باعث کاهش سفتی مغز نان، اندازه و تعداد سلول‌های گازی و در نهایت افزایش حجم در مقایسه با نمونه حاوی نشاسته ذرت با محتوای آمیلوز بالا گردید که همین امر در بهبود رنگ و شفافیت نمونه‌های تولیدی و ویژگی‌های حسی اثر مثبت داشت (۴۴). در این راستا دهقان و همکاران (۱۳۸۸) به مطالعه تولید نشاسته پیش‌ژلاتینه گندم و ذرت به وسیله ذرت خشک کن غلتکی پرداختند و خصوصیات ظاهری نمونه‌های تولیدی را با نشاسته گندم و ذرت طبیعی مقایسه نمودند. این محققان گزارش کردند کاربرد نشاسته پیش‌ژلاتینه در مقایسه با نشاسته طبیعی باعث افزایش مؤلفه رنگی L^* محصول شد. در حقیقت در این پژوهش به این نکته اشاره گردید پودر نشاسته پیش‌ژلاتینه که تا حدودی سفید رنگ است، جایگزین نشاسته طبیعی شد و همین امر میزان مؤلفه رنگی L^* را افزایش داد. همچنین این محققان اذعان داشتند که کاربرد نشاسته پیش‌ژلاتینه در محصول هدف باعث کاهش مؤلفه رنگی b^* محصول شد و نمونه‌های تولیدی با رنگ کرم متمایل به سفید تولید گردید. علت این امر را می‌توان به کاهش رنگدانه‌های موجود در آرد (به خصوص آرد ذرت) در نتیجه حرارت دادن نسبت داد (۲). مهربان (۱۳۹۲) نیز با کاربرد آرد ذرت در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن، افزایش میزان مؤلفه رنگی b^* را مشاهده کرد که علت آن را رنگدانه‌های زرد موجود در آرد ذرت به کار رفته دانست (۸). البته در این مطالعه با اعمال فرآیند مایکروویو بر آرد ذرت روند نزولی مقدار رنگدانه‌های زرد رنگ موجود در آرد ذرت رخ داده که در نتیجه آن میزان مؤلفه رنگی b^* نمونه‌های تولیدی از این نوع آرد کاهش یافته است.

(الف)



(ب)



(ج)

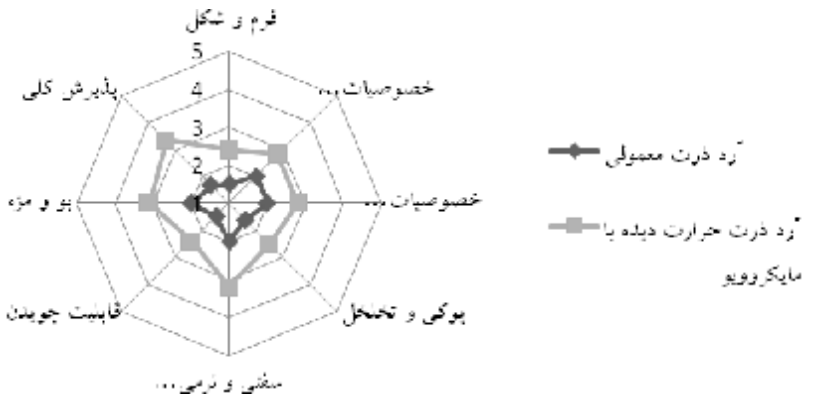
شکل ۵- اثر آرد ذرت معمولی و پیش‌ژلاتینه شده با مایکروویو بر میزان مؤلفه‌های رنگی L^* (الف)، a^* (ب) و b^* (ج) پوسته نان

حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P<0/05$ تفاوت معنی‌داری ندارند.

۳-۶- بررسی ویژگی‌های حسی نان تولیدی

شکل(۶) نشان دهنده امتیاز ویژگی‌های حسی نان‌های تولیدی است. ارزیابان حسی با توجه به سایر ویژگی‌های بررسی شده (تخلخل، بافت و رنگ پوسته) به نمونه حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه امتیاز بالاتری را از لحاظ پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن و فرم و شکل را دادند که در امتیاز پذیرش کلی مؤثر بود. امتیاز ویژگی سطح بالایی تا حد زیادی تحت تأثیر رنگ پوسته محصول است. ارزیابان حسی به نمونه ذکر شده نیز امتیاز بیشتری را به لحاظ ویژگی‌های سطحی دادند که با توجه به نتایج ارزیابی مؤلفه رنگی پوسته کسب چنین امتیازی قابل پیش‌بینی بود زیرا نمونه تولیدی از درخشندگی بالایی برخوردار بود. علاوه بر این نمونه حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه از بو و مزه مطلوبی نیز برخوردار بود. به احتمال زیاد این امر تحت تأثیر بهبود بافت (نرمی و سفتی بافت، پوکی و تخلخل و قابلیت جویدن) در این نمونه و درک احساس بهتر طی جویدن نان تولیدی حاصل می‌گردد. باید یادآوری نمود واکنش‌های قهوه‌ای شدن (کاراملیزاسیون و

میلارد) بر روی فاکتورهای مؤلفه رنگی پوسته و عطر و بوی نان تولیدی اثر مطلوبی دارند و این موارد در نمونه تولیدی حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه حاصل شد. احمدیان و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی تأثیر نشاسته ذرت مومی پیش‌ژلاتینه شده بر خواص رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان باگت پرداختند (۱). یافته‌های این محققان حاکی از برتری ویژگی‌های حسی نمونه‌های نان حاوی نشاسته ذرت مومی پیش‌ژلاتینه شده بود که با نتایج هیبی[1] (۲۰۰۰) مشابهت داشت (۱۹). درک طعم و رهایش مواد طعم‌زا را محققان اغلب بستگی به نوع بافت محصول نهایی دانسته‌اند (۲۱). در این راستا تیلور[1] و همکاران (۲۰۰۱) طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که زمان رهایش بیشترین میزان مواد طعمی در بافت‌های با درجه سختی مختلف، متفاوت است و هرچه میزان سختی بافت بیشتر باشد، زمان رهایش حداکثر میزان مواد طعم‌زا کندتر خواهد بود، که در این صورت نمونه امتیاز کمتری کسب خواهد نمود (۴۱).



شکل ٦- اثر آرد ذرت معمولی و پیش‌ژلاتینه شده با مایکروویو بر میزان امتیاز ویژگی‌های حسی نان

1- Teylor

٤- نتیجه‌گیری

نشاسته نقش مهمی در بافت محصولات فاقد گلوتن داشته و اصلاح آن به عنوان یک راه حل می‌تواند جایگزین مناسبی برای پروتئین گلوتن باشد. براساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت که آرد ذرت پیش‌ژلاتینه نسبت به آرد ذرت معمولی در افزایش رطوبت، تخلخل و نرمی بافت نان بدون گلوتن قالبی مؤثر بود. همچنین با استفاده از آرد ذرت پیش‌ژلاتینه می‌توان نان بدون گلوتن مرغوبی تولید نمود که از بازارپسندی مطلوبی برخوردار باشد. زیرا داوران چشایی به این نمونه بالاترین امتیاز ویژگی‌های حسی دادند و بیان کردند نمونه حاوی آرد ذرت پیش‌ژلاتینه دارای عطر و مزه جدید و مطلوبی بود که برای مصرف کننده جذابیت دارد.

٥- منابع

١. احمدیان، ف.، عزیزی، م.ح. و سیدین، س.م. ١٣٨٦. تأثیر نشاسته ذرت مومی رتروگرید شده بر روی خواص رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان باگت. *علوم و صنایع غذایی ایران*، دوره ٤، شماره ٤، ٧-١.

٢. دهقان، الف.، فرحناکی، ع.، مصباحی، غ. و مجذوبی، م. ١٣٨٨. تولید نشاسته ژلاتینه گندم و ذرت به وسیله خشک کن غلتکی و استفاده از آن در تولید سس سالاد. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، دوره ١٣، شماره ٤٨، ٢٣١-٢٣٨.

٣. شمشیرساز، م.، میرزایی، ح.، عزیزی، م.ح. و اعلمی، م. ١٣٩٣. تاثیر نشاسته تعدیل شده ذرت بر ویژگیهای رئولوژیکی خمیر و کیفیت نان بربری. *علوم و صنایع غذایی*، دوره ١١، شماره ٤٥، ١٤٢-١٣٣.

٤. صادقی، ع.، شهیدی، ف.، مرتضوی، س.ع.، نصیری محلاتی، م. و صادقی، ب. ١٣٨٧. بررسی تاثیر استفاده از خمیر ترش بر زمان ماندگاری میکروبی و خواص حسی نان بربری. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، جلد ٩، شماره ٣، ١٧٠-١٥٣.

٥. مجذوبی، م.، رادی، م.، فرحناکی، ع. و جمالیان، ج. ١٣٨٧. تولید نشاسته پیش‌ژلاتینه گندم و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی آن. هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

٦. مجذوبی، م.، روشن، ف.، کدیور، م.، فرحناکی، ع. و صابری، ب. ١٣٩٢. تاثیر افزودن نشاسته گندم اصلاح شده با فرآیند حرارتی-رطوبتی بر ویژگی‌های خمیر و نان حجیم. *پژوهش‌های صنایع غذایی*، دوره ٢٣، شماره ٢، ١٦٤-١٥٥.

٧. مجذوبی، م. و فلسفی، س. ر. ١٣٩٤. تأثیر امواج مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته‌های ذرت و یولاف. *علوم و صنایع غذایی*، دوره ١٢، شماره ٤٦، ٢٠٩-١٩٩.

٨. مهربان شندی، ع. ١٣٩٢. بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیایی خمیر و کیک اسفنجی فاقد گلوتن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

٩. نقی پور، ف.، صحرائیان، ب.، حبیبی نجفی، م. ب. و حدادخداپرست، م. ح. ١٣٩٤. بررسی تأثیر صمغ اسفرزه بر ماندگاری و کیفیت کیک روغنی ترکیبی (گندم-سورگوم). *نوآوری در علوم و فناوری غذایی*، دوره ٧، شماره ٣، ٩-١.

10. AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

11. Amiryousefi, M.R., Mohebbi, M. and Khodaiyan, F. 2012. Kinetics of mass transfer in microwave precooked and deep-fat fried ostrich meat plates. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3): 939-946.

12. Anastasiades, A., Thanou, S., Loulis, D., Stapatoris, A. and Karapantsios, T.D. 2002. Rheological and physical characterization of pre-gelatinization maize starches. *Journal of Food Engineering*, 52: 57-66.

13. Datta, A.K. 2001. *Fundamentals of heat and moisture transport for microwaveable food product and process development. in: Handbook of microwave technology for food applications* (Editors: A.K. Datta, and R.C. Anantheswaran). CRC Press, Taylor and Francis Group, pp. 115-172.

14. Dehghan Nasiri, M., Mohebbi, M., Yazdi, F.T. and Haddad Khodaparast, M.H. 2012.

food oil consumption. 2nd International and 14th Iranain Nutrition Congress, Tehran, Iran.
27. Mastromatteo, M., Danza, A., Lecce, L., Spinelli, S., Lampignano, V., Laverse, J., Conte, A. and Del nobile, M.A. 2015. Nutritional and physicochemical characteristics of whole meal bread enriched with pea flour. *International Journal of Food Science + Technology*, 50(1): 92-102.
28. McCarthy, D.F., Gallagher, E., Gormley, T.R., Schober, T.J. and Arendt, E.K. 2005. Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chemistry*, 82(5): 609-615.
29. Miyazaki, M. and Morita, N. 2005.Effect of heat-moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. *Food Research International*, 38: 369-376.
30. Murray, J.A. 1999. The widening spectrum of celiac disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69: 354-363.
31. Palav, T. and Seetharaman, K. 2007. Impact of microwave heating on the physicochemical properties of a starch-water model system. *Carbohydrate Polymers*, 67: 569-604.
32. Pourfarzad, A., Haddad Khodaparast, M.H., Karimi, M., Mortazavi, S.A., Ghiafeh Davoodi, M., Hematian Sourki, A. and Razavizadegan Jahromi, S.H. 2011. Effect of polyols on shelf-life and quality of flat bread fortified with soy flour. *Journal of Food Process Engineering*, 34(5): 1435-1448.
33. Radi, M., Majzoobi, M., Farahnaky, A., Jamalian, J. and Mesbahi, GH. 2008. Production of modified wheat starch with microwave heating and evaluation of its physicochemical properties. The 18th national congress on food technology, Mashhad, Iran.
34. Rathnayake, H.A., Navaratne, S.B. and Navaratne, C.M. 2018. Porous crumb structure of leavened baked products. *International Journal of Food Science*, Volume 2018, Article ID 8187318, 15 pages.
35. Sagum, R. and Arcot, J. 2000. Effect of domestic processing methods on the starch, non-starch polysaccharides and in vitro starch and protein digestibility of three varieties of rice with varing levels of amylose. *Food Chemistry*, 70: 107-111.
36. Sahraiyan, B., Naghipour, F., Karimi, M. and Ghiafeh Davoodi, M. 2013. Evaluation of Lepidium sativum seed and guar gum to improve dough rheology and quality Effects of soy and corn flour addition on batter rheology and quality of deep fat-fried shrimp nuggets. *Food and Bioprocess Technology*, 5: 1238-1245.
15. Elke, K.A. and Dal Bello, F. 2008. *The gluten free cereal products and beverages*. Academic Press, Elsevier, pp. 1-394.
16. Furlan, L.T.R., Padilla, A.P. and Campderrs, M.E. 2015. Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix. *Food Chemistry*, 170: 257-264.
17. Gacula, J.R. and Singh, J. 1984. *Statistical methods in food and consumer research*. Academic press Inc., USA, pp. 360-366.
18. Haralick, R.M., Shanmugam, K. and Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 3(6): 610-621.
19. Hibi, Y. 2000. Pasting properties of various retrograded starches isolated with ethanol. *Starch/Starke*, 52: 106-111.
20. Hui, Y.H., Corke. H., Leyn, I.D., Nip, W.K. and Cross, N.A. 2008. Bakery products: science and technology. Blackwell Publishing, USA, pp. 319-337.
21. Koliandris, A., Lee, A., Ferry, A., Hill, S. and Mitchell, J. 2008. Relationship between structure of hydrocolloid gels and solutions and flavor release. *Food Hydrocolloids*, 22: 623-630.
22. Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R. and Juszczak, L. 2009. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 23: 988-995.
23. Kwasniewska-Karolak, I., Rosicka-Kaczmarek, J. and Krala, L. 2014. Factors influencing quality and shelf life of baking products. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 18(1): 1-7.
24. Lehmann, U. and Robin, F. 2007. Slowly digestible starch-its structure and health implications: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18(7): 346-355.
25. Majzoobi, M. and Farahnaky, A. 2008. Changes in molecular structure and physicochemical properties of wheat starch affected by high temperature and shear. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(43): 335-347.
26. Mallakian, Sh. and Jalali, M. 2016. The effect of microwave and ultrasonic methods in

parameters in composite rice-wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 30: 698-703.
37. Sriburi, P., Hill, S.E. and Mitchell, J.R. 1999. Depolymerisation of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 38: 211–218
38. Stevenson, D.G., Biswas, A. and Inglett, G.E. 2005. Thermal and pasting properties of microwaved corn starch. *Starch/Starke*, 57: 347-353.
39. Sun, D.W. 2008. Quality evaluation of bakery products. in: Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press, USA, pp. 525-589.
40. Swinkels, J.J.M. 1985. Composition and properties of commercial native starches. *Starch /Starke*, 37(1): 1-5.
41. Taylor, A.J., Besnard, S., Puaud, M. and Linforth, R.S.T. 2001. In vivo measurement of flavour release from mixed phase gels. *Biomolecular Engineering*, 17(4-5): 143-150.
42. Tester, R.F. and Karkalas, J. 1996. Swelling and gelatinization of starches. *Cereal Chemistry*, 73: 271-277.
43. Vlachos, N.A. and Karapantsios, T.D. 2000. Water content measurement of thin sheet starch products using a conductance technique. *Journal of Food Engineering*, 46(2): 91-98.
44. Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M. and Juszczak, L. 2012. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29(1): 68-74.

(Original Research Paper)

The Effect of Pre-gelatinized Corn Flour with Microwave on Texture and Sensory Properties of Gluten-free Pan Bread

Mahdi Jalali[1], Zahra Sheikholeslami[2*], Amir Hossein Elhamirad[1], Mohammad Hossein Haddad Khodaparast[3], Mahdi Karimi[2]

1-Department of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran.
2-Department of Technical Research and Agricultural Engineering, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Mashhad, Iran.
3-Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Received: 08/12/2018 Accepted:06/04/2019

Abstract

Celiac patients require a non-gluten-free diet. Therefore, the aim of this study was to investigate the characteristics properties of bread made from two types of simple corn flour and pre-gelatinized corn flour with microwave. For this purpose, a completely randomized design was used ($P < 0.05$). Investigation of changes in the properties of simple and pre-gelatinized flour using a scanning electron microscope showed that the corn flour structure was coherent, while the structure of pre-gelatinized corn flour granules was degraded due to the microwave thermal process and was more structural expansion and swollen. Based on the results, it was determined that the pre-gelatinized corn flour sample had the highest porosity (16.5%) and the minimal texture firmness at the time of 2 (9.7 Newton) and 72 hours (17.2 Newton) after baking. Also, the use of pre-gelatinized corn flour increased the colorful component of L^*, while no significant change was observed in the on two colorful components a^* and b^*. Finally, by examining the results of the sensory test, a sample containing pre-gelatinized corn flour was able to obtain more points from sensory evaluators by compared with of simple corn flour.

Keywords: Pre-gelatinized Flour, Corn, Microwave.

*Corresponding Author: shivasheikholeslami@yahoo.com