

تأثیر امواج ماکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته‌های ذرت و یولاف

مهسا مجذوبی^{۱*}، سید رضا فلسفی^۲

۱- دانشیار بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد بخش علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۸)

چکیده

در این تحقیق به بررسی تأثیر امواج ماکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته‌های ذرت و یولاف پرداخته شد. به همین منظور ژل ۸٪ نشاسته‌های یولاف و ذرت به مدت زمان‌های ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ دقیقه درون دستگاه ماکروفر با توان ۳۶۰ وات قرار داده شد و ویژگی‌های بافتی (با استفاده از دستگاه بافت سنج)، قدرت جذب آب، حلالیت، ویسکوزیته آب سرد (با استفاده از دستگاه آنالیز سریع ویسکوزیته) و ویسکوزیته نسبی (با استفاده از ویسکومتر یو شکل) نمونه‌های حاصل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش زمان فرایند حرارت دهی در ماکروفر در اثر تخریب ساختار درشت مولکول‌های نشاسته، سفتی بافت نمونه‌ها و ویسکوزیته آب سرد کاهش یافت در حالی که قدرت جذب آب و حلالیت نمونه‌ها افزایش پیدا کرد. در مقایسه با روش حرارت دهی معمولی ویسکوزیته نسبی نمونه‌ها طی فرایند حرارت دهی در ماکروفر بیشتر کاهش یافت که می‌تواند ناشی از حرکات لرزشی مولکول‌های آب و افزایش سریع تر دما طی فرایند حرارتی در ماکروفر باشد. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از ماکروفر در مصارف صنعتی و خانگی می‌تواند باعث تغییرات بیشتری نسبت به روش پخت معمولی در ساختار مولکولی و ویژگی‌های عملکردی نشاسته‌های ذرت و یولاف گردد و در نتیجه بر کیفیت محصولات تهیه شده به این روش موثر باشد.

کلید واژگان: نشاسته یولاف، نشاسته ذرت، فرایند حرارتی، ماکروویو

* مسئول مکاتبات: majzoobi@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

امواج ماکروویو بخشی از طیف الکترومغناطیسی هستند که دارای فرکانس حدود ۳۰۰-۳۰۰۰۰۰ مگاهرتز می‌باشند و در طیف الکترومغناطیس بین امواج دی‌الکتریک و مادون قرمز واقع شده‌اند [۱]. هر چند بیش از نیم قرن از استفاده از امواج ماکروویو جهت مصارف خانگی گذشته است اما مصارف صنعتی این امواج تنها محدود به سال‌های اخیر می‌باشد [۲]. در روش حرارت دهی معمولی گرم شدن مواد با انتقال گرما از نقاط گرم به نقاط سرد صورت می‌گیرد که منتهی به افزایش تدریجی دما می‌شود. در روش حرارت دهی با ماکروویو با تغییرات سریع جهت میدان مغناطیسی نوسانات لرزشی شدیدی در مولکول‌های دو قطبی و یون‌ها ایجاد می‌شود که با برخورد این مولکول‌ها به یکدیگر دمای ماده غذایی با سرعت زیادی افزایش پیدا می‌کند. از طرفی گرم شدن سریع ماده غذایی از بخش‌های درونی آن طی فرایند حرارتی در ماکروفر خود عامل مؤثری در جهت کاهش اتلاف انرژی و زمان فرایند است [۳ و ۴]. از آنجا که هر فرایند غذایی می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در ساختار ترکیبات سازنده آن گردد بررسی اثرات می‌تواند در تفسیر و توضیح تغییرات کیفی مواد غذایی حاصل از فرایندهای مختلف مفید واقع گردد و مناسب بودن فرایندها را برای استفاده در تهیه محصولات مختلف غذایی توجیه کند.

تاکنون از دستگاه ماکروفر در فرآوری محصولات غله‌ای مختلف مانند تولید نان و کیک مورد استفاده قرار گرفته شده است [۲، ۵ و ۶] و لذا بررسی تأثیر این فرایند بر اجزاء سازنده غذا حائز اهمیت می‌باشد. معمولاً پرمقدارترین ترکیب موجود در محصولات غله‌ای نشاسته است که تأثیر بسزایی بر کیفیت محصول نهایی دارد. تاکنون بررسی‌های مختلفی در زمینه تأثیر امواج ماکروویو بر ویژگی‌های نشاسته‌های مختلف صورت گرفته است. زیلما و همکاران (۱۹۸۵) به مقایسه ساختار گرانولی سیستم‌های نشاسته در آب طی فرایند حرارت دهی در ماکروفر پرداختند و نشان دادند تفاوتی بین میزان تورم نمونه‌های حرارت‌دیده در ماکروفر با نمونه‌های حرارت‌دیده به روش معمولی با میزان حرارت دهی یکسان وجود ندارد [۴]. ندیف و همکاران (۱۹۹۸) به بررسی چگونگی ژلاتینه شدن گرانول

نشاسته‌های مختلف طی حرارت دهی در ماکروفر پرداختند و یک مدل کمی جهت تعیین رابطه بین میزان ژلاتینه شدن گرانول‌ها و محتوای آب موجود ارائه دادند [۷]. رادی و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر امواج ماکروویو بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته گندم پرداختند و نشان دادند این امواج سبب کاهش ویسکوزیته ذاتی نشاسته و تخریب ساختار کریستالی گرانول‌ها می‌شود. همچنین تحقیقات نسبتاً گسترده‌ای در زمینه‌ی اصلاح نشاسته‌های مختلف با روش فرایند حرارتی-رطوبتی با استفاده از ماکروویو و بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مولکولی نشاسته‌های حاصل صورت گرفته است [۸، ۹ و ۱۰].

بررسی تحقیقات نشان داده است که نوع نشاسته و ویژگی‌های امواج ماکروویو بر خصوصیات نشاسته فرایند شده به این روش مؤثر است. تاکنون تحقیقی مبنی بر چگونگی تأثیر این فرایند بر نشاسته‌های ذرت و یولاف ثبت نشده است. لذا هدف از این مطالعه بررسی و مقایسه تأثیر فرایند پخت معمولی و پخت با استفاده از دستگاه ماکروفر بر رفتار نشاسته ذرت (به عنوان یک نشاسته بسیار پرکاربرد در مواد غذایی) و نشاسته یولاف (به عنوان یک نشاسته با کاربرد کم اما با پتانسیل بالا جهت استفاده در بخش‌های مختلف صنعت) بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

نشاسته ذرت خالص از شرکت مهشاد یزد و دانه‌های یولاف از دانشگاه صنعتی اصفهان خریداری شد.

۲-۲- استخراج نشاسته یولاف

استخراج نشاسته از آرد یولاف با استفاده از روش لیم و همکاران (۱۹۹۲) صورت گرفت. بازده این روش ۵۴ درصد بود.

۲-۳- تعیین ترکیبات شیمیایی نشاسته‌ها

ترکیبات شیمیایی نشاسته‌ها شامل رطوبت، چربی، خاکستر، پروتئین با استفاده از روش‌های استاندارد AACC (۲۰۰۳) و مقدار آمیلوز پس از چربی‌گیری از نشاسته با استفاده از روش یدی تعیین گردید [۱۱ و ۱۲].

۴-۲- فرایند پخت به روش معمولی و ماکروویو

برای تهیه هر نمونه ۱۲ گرم نشاسته در ۲۰ میلی لیتر آب درون ظرف شیشه ای درب دار ریخته شده و در حمام آب گرم (مدل W350b، شرکت فاطر الکترونیک ایران) دمای ۵۵ درجه سانتیگراد به مدت ۵ دقیقه به هم زده شد. سپس ۱۳۰ میلی لیتر آب ۹۵ درجه سانتیگراد به مخلوط فوق اضافه شد و هم زمان عمل مخلوط کردن به مدت ۵ دقیقه ادامه یافت تا نشاسته ژلاتینه شده حاوی ۸٪ نشاسته حاصل شود. هدف از افزودن آب داغ در زمان کوتاه به نمونه به حداقل رساندن زمان حرارت دهی و اثرات احتمالی آن بر نشاسته پیش از اعمال فرایندهای اصلی در این تحقیق بود. نشاسته ژلاتینه شده حاصل در مدت زمانهای ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ دقیقه درون ماکروفر خانگی (مدل LGMC-789Y ساخت کره) با توان ۳۶۰ وات و فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز قرار گرفت.

جهت تهیه نمونه‌های حرارت‌دیده به روش معمولی نشاسته ژلاتینه شده تولید شده به روش فوق در مدت زمانهای ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ دقیقه درون حمام آب گرم در دمای ۹۵ °C قرار داده شد.

۵-۲- تعیین قدرت جذب آب و حلالیت

به منظور تعیین قدرت جذب آب نشاسته‌های فرایند شده پس از اتمام زمان هر فرایند مقداری از نشاسته ژلاتینه شده به صورت داغ به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل شده و مقدار معینی آب به آن افزوده شد تا در نهایت مخلوط ۳/۳ درصد نشاسته در آب حاصل شود. نمونه به مدت ۳۰ ثانیه توسط یک همزن رو میزی کاملاً هم زده شد و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۷۰۰ سانتریفیوژ شد. مایع شفاف فوقانی به ظرفی با وزن مشخص منتقل گردید و در دمای ۱۲۰ °C تا رسیدن به وزن ثابت (حدود ۴ ساعت) خشک و وزن شد. با استفاده از فرمول ۱ میزان حلالیت نشاسته محاسبه گردید. میزان حلالیت بر حسب درصد مواد محلول نشاسته خشک بیان گردید [۱۳].

برای اندازه گیری میزان جذب آب، لوله‌های سانتریفیوژ به کار رفته در آزمایش حلالیت به همراه مواد رسوب داده شده درون آنها بعد از خارج کردن مایع رویی وزن گردیده و سپس میزان جذب آب با استفاده از فرمول ۲ محاسبه گردید. میزان جذب آب

بر حسب گرم آب به ازای گرم نشاسته خشک اولیه بیان گردید [۱۳].

(معادله ۱) $100 \times (\text{وزن نشاسته خشک اولیه} / \text{وزن مایع فوقانی خشک شده}) = \text{درصد حلالیت}$

(معادله ۲) $\text{وزن نشاسته خشک اولیه} / \text{وزن رسوب درون لوله سانتریفیوژ} = \text{میزان جذب آب}$

۶-۲- تعیین ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها

بعد از اتمام زمان فرایند حرارتی با استفاده از هر یک از روش‌های حرارت دهی مقداری از نشاسته‌های ژلاتینه شده در حالی که دمای نمونه حدود ۹۰ °C بود جهت تهیه ژل وارد قالب استوانه ای پلاستیکی با قطر و ارتفاع مشخص (۱۰ × ۱۰ mm) شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ °C نگهداری شدند تا ژل تهیه شود. ژل‌های حاصل توسط دستگاه بافت سنج (مدل TA-XT2i، ساخت انگلستان) از نظر ویژگی‌های مختلف بافتی مورد بررسی قرار گرفتند. به این منظور از آزمون کمپرس ژل استفاده شد. در این روش یک پروب فلزی با قطر ۱۰ mm با سرعت ۵ mm/s به نمونه نزدیک و با سرعت ۲ mm/s آن را تحت فشار قرار داد. مقدار نیروی صرف شده توسط دستگاه ثبت و نمودار نیرو-زمان رسم شد. با استفاده از نمودار بدست آمده ویژگی‌های بافتی، شامل سفتی، ارتجاع پذیری و پیوستگی ژل‌ها محاسبه و مورد بررسی قرار گرفتند [۱۴].

۷-۲- تعیین ویسکوزیته نسبی نمونه‌ها

مقداری از نمونه‌ها پس از فرایند حرارتی تا دمای ۲۰ °C- درجه سانتی گراد سرد شده و توسط خشک کن تصعیدی خشک شدند و بعد از آسیاب کردن از الک ۷۰ مش عبور داده شده و برای تعیین ویسکوزیته نسبی مورد استفاده قرار گرفتند. جهت تعیین ویسکوزیته نسبی نمونه‌ها از دستگاه ویسکومتر U-tube استفاده شد. در این روش از حلال دی متیل سولفوکسید ۹۰٪ (حجمی/حجمی در آب مقطر) به عنوان حلال نشاسته استفاده شد. حل کردن نشاسته در حلال مطابق روش مجذوبی و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد. به این منظور، سوسپانسیون نشاسته در حلال با غلظت ۵ mg/ml در لوله‌های آزمایشگاه درب دار تهیه شد و درون یک حمام آب گرم در دمای ۹۵ °C به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شد. سپس به مدت هشت ساعت عمل مخلوط کردن در

دمای اتاق ادامه یافت. برای تعیین ویسکوزیته نسبی، ابتدا حلال دی متیل سولفوکسید و سپس محلول نشاسته به طور جداگانه درون دستگاه ویسکومتر تزریق گردیدند و زمان لازم جهت طی شدن یک مسافت معین توسط نمونه و حلال ثبت گردید و با استفاده از فرمول زیر ویسکوزیته نسبی محاسبه شد [۱۵].

t: زمان عبور نمونه از U-tube

t₀: زمان عبور حلال از U-tube

۸-۲- اندازه گیری ویسکوزیته آب سرد نمونه ها

مقداری از نشاسته پس از فرایندهای حرارتی توسط خشک کن تصعیدی خشک شده و بعد از آسیاب کردن از الک ۷۰ مش عبور داده شد و برای تعیین ویسکوزیته آب سرد مورد استفاده قرار گرفت. جهت تعیین ویسکوزیته آب سرد نمونه های مختلف از دستگاه آنالیز سریع ویسکوزیته (مارک Perten، مدل Master 2 RVA Starch، ساخت استرالیا) استفاده شد. به این منظور ابتدا ۳/۵ گرم از پودر نمونه های مختلف و ۲۵ گرم آب مقطر درون ظرف آلومینیومی مخصوص دستگاه وزن و درون دستگاه قرار گرفت و به مدت ۱۵ دقیقه به کمک پدال مخصوص دستگاه که با سرعت ۱۶۰ دور در دقیقه می چرخید در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد مخلوط شد. در صورتی که در این دما ویسکوزیته ای ثبت شود، ویسکوزیته آب سرد نامیده می شود [۱۶]. نشاسته طبیعی در دمای محیط ویسکوزیته ای نشان نمی دهد در حالی که نشاسته های فرایند شده در این شرایط ویسکوزیته نشان می دهند [۱۵].

۹-۲- آنالیز آماری

در این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. میانگین ها (حداقل ۳ تکرار برای هر آزمون) توسط آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۵٪ با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 مقایسه شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیبات شیمیایی نشاسته ذرت و یولاف

ترکیبات نشاسته ذرت و یولاف در جدول ۱ نشان داده شده است. میزان پروتئین نشاسته یولاف ۰/۳۴٪ و نشاسته ذرت ۰/۴۳٪ بود.

علت تفاوت در مقدار پروتئین این دو نوع نشاسته می تواند تفاوت طبیعی نشاسته ذرت و یولاف باشد. از طرفی فرایند استخراج نشاسته نیز نقش مهمی را ایفا می کند. چرا که استخراج نشاسته ذرت به صورت تجاری و استخراج نشاسته یولاف در سطح آزمایشگاهی صورت گرفت. میزان خاکستر نشاسته های ذرت و یولاف مورد استفاده به ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۱۵ درصد بود. در پژوهش صورت گرفته توسط میرمقنایی و همکاران در سال ۲۰۰۹ مقادیر پروتئین و خاکستر نشاسته یولاف به ترتیب ۰/۳۳٪ و ۰/۲۸٪ گزارش شدند که با نتایج حاصل از آزمایشات حاضر تفاوت قابل ملاحظه ای نداشت [۱۲]. در تحقیق صورت گرفته در سال ۱۹۹۲ توسط هارتونیان و وایت نشان داده شد که میزان پروتئین کمتر از ۵ درصد بر خصوصیات گرمایی نشاسته تأثیر چندانی ندارد [۱۷]. بنابراین نشاسته استخراج شده به اندازه کافی برای انجام آزمایشات خالص می باشد. میزان چربی نشاسته ذرت و یولاف به ترتیب ۰/۰۲٪ و ۱/۲۰٪ بود. در بین غلات نشاسته یولاف دارای بالاترین مقدار چربی است که این امر می تواند ناشی از میزان بالای چربی موجود در دانه های یولاف باشد.

جدول ۱ خصوصیات نشاسته های ذرت و یولاف استفاده شده در

این تحقیق (بر اساس وزن خشک)*

ترکیب شیمیایی		
بر اساس وزن خشک (%)	نشاسته ذرت	نشاسته یولاف
پروتئین**	۰/۴۳±۰/۰۴ ^a	۰/۳۴±۰/۰۵ ^a
چربی	۰/۰۲±۰/۰۰ ^b	۱/۱۹±۰/۳۳ ^a
خاکستر	۰/۰۸±۰/۰۱ ^b	۰/۱۵±۰/۰۲ ^a
رطوبت	۸/۴۸±۰/۰۷ ^b	۹/۰۰±۰/۳۵ ^a
آمیلولز	۲۴/۷۲±۰/۱۷ ^a	۲۱/۳۸±۰/۲۳ ^b

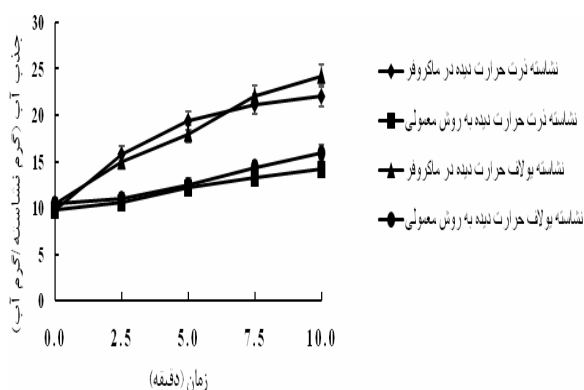
* اعداد میانگین سه تکرار و به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است. حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در هر ردیف است (P<۰/۰۵). ** Nx ۶/۲۵

۳-۲- جذب آب نمونه های حرارت دیده به روش معمولی

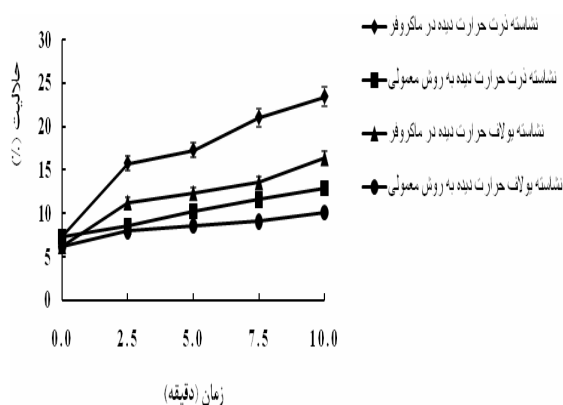
و ماکروویو

نتایج حاصل از جذب آب نشاسته های ذرت و یولاف حرارت دیده به روش معمولی و در ماکروفر در شکل ۱ نشان داده شده است. در هر دو نشاسته افزایش زمان فرایند در هر دو روش

آمیولز بیشتری نسبت به نشاسته یولاف بود (جدول ۱). لذا نشاسته ذرت دارای مقدار مولکول‌های کوچکتری است که می‌تواند در مایع فوقانی نمونه در حین سانتریفیوژ کردن باقی بماند و در نتیجه درصد مواد محلول در آب را بیشتر نشان دهند. همچنین وجود چربی بیشتر در نشاسته یولاف (جدول ۱) می‌تواند مانع از حلالیت نشاسته در آب گردد. در رابطه با تأثیر شدید تر امواج ماکروویو بر مولکول‌های نشاسته و تخریب بیشتر آن‌ها نتایج مشابهی توسط پالو و همکاران (۲۰۰۷) و جیانگ و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شده است [۲۳ و ۲۰].



شکل ۱ مقدار جذب آب (گرم نشاسته/گرم آب) نشاسته‌های ذرت و یولاف حرارت‌دیده به روش معمولی و در ماکروفر



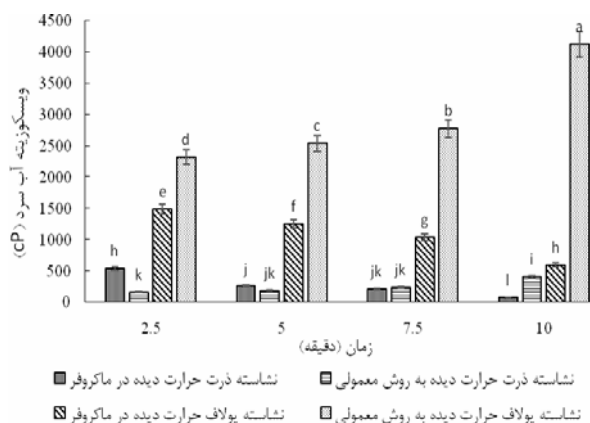
شکل ۲ میزان حلالیت (%) نشاسته‌های ذرت و یولاف حرارت‌دیده به روش معمولی و در ماکروفر

حرارت دهی سبب افزایش معنی دار ($P < 0.05$) جذب آب شد که می‌تواند ناشی از افزایش اتصالات بین مولکول‌های آب و زنجیره‌های نشاسته ای باشد [۱۸]. در تمام دماها جذب آب نمونه‌های حرارت‌دیده در ماکروفر نسبت به نمونه‌های حرارت‌دیده به روش معمولی به طور معنی داری بیشتر بود ($P < 0.05$) که حاکی از تأثیر بیشتر این روش حرارت دهی می‌باشد. از طرفی حرکات لرزشی مولکول‌های آب نیز می‌تواند باعث نفوذ بیشتر آب به داخل رشته‌های نشاسته گردد و مزید بر علت باشد [۱۹ و ۲۰]. این در حالی است که تفاوت معنی داری در میزان جذب آب نشاسته ذرت و یولاف در اثر حرارت دیدن در ماکروفر یا روش معمولی و با افزایش زمان فرایند مشاهده نشد. رادی و همکاران در بررسی نشاسته گندم حرارت‌دیده در ماکروفر نتایج مشابهی را گزارش کردند [۲۱].

۳-۳- حلالیت نمونه‌های فرایند شده به روش

معمولی و ماکروویو

نتایج تعیین حلالیت نمونه‌های حرارت‌دیده به روش معمولی و در ماکروفر (شکل ۲) نشان می‌دهد با افزایش زمان در هر دو فرایند، حلالیت نمونه‌ها نیز افزایش پیدا کرد. اما میزان اثر پخت در ماکروفر بر افزایش حلالیت نمونه‌ها بسیار بیشتر بود. در تمام زمان‌ها بین حلالیت نمونه‌های پخته شده در ماکروفر و به روش معمولی اختلاف معنی دار مشاهده شد ($P < 0.05$). علت بالاتر بودن میزان حلالیت نشاسته‌های حرارت‌دیده در ماکروفر می‌تواند مربوط به نفوذ موثرتر حرارت در نشاسته و رسیدن به دماهای بالاتر درون ماکروفر باشد که منتهی به شکسته شدن برخی اتصالات بین مولکولی بویژه اتصالات هیدروژنی و همچنین تخریب بیشتر مولکول‌ها شود و مولکول‌هایی با وزن مولکولی کمتر حاصل می‌شوند که قابلیت بالاتری برای حل شدن در آب دارند [۱۵، ۲۲، ۱۹ و ۲۰]. نشاسته ذرت دارای حلالیت در آب بیشتری نسبت به نشاسته یولاف بود که در تمامی زمان‌های حرارت دهی به صورت معمولی و یا در ماکروفر این اختلاف معنی دار ($p < 0.05$) مشاهده شد. این تفاوت در جذب آب می‌تواند مربوط به تفاوت در ساختار آمیولز و آمیلوپکتین سازنده نشاسته با متشاه‌های متفاوت باشد. همچنین نشاسته ذرت دارای



شکل ۳ ویسکوزیته آب سرد (CP) نشاسته‌های ذرت و یولاف

حرارت‌دیده به روش معمولی و در ماکروفر-حروف متفاوت بر روی ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) بین میانگین‌ها است.

۱-۱- نتایج آزمون بافت سنجی نمونه‌ها

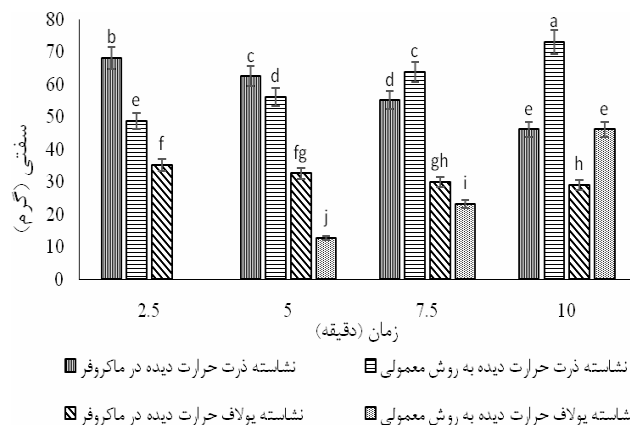
نتایج آزمون بافت سنجی نمونه‌ها (شکل ۴) نشان داد که در هر دو روش حرارت دهی و در زمان‌های مختلف سفتی بافت ژل‌های حاصل از نشاسته یولاف به طور معنی داری کمتر از نشاسته ذرت بود که می‌تواند ناشی از میزان بالای چربی و پروتئین در نشاسته یولاف و تفاوت‌های ساختاری مولکول‌های آمیلوز و آمیلوپکتین و نسبت آنها در این دو نشاسته باشد [۲۵]. در طی فرایند نمونه‌ها با ماکروفر با افزایش زمان فرایند سفتی بافت ژل‌ها کاهش معنی داری داشت. به طوری که زمان‌های ۲/۵ و ۱۰ دقیقه به ترتیب بیشترین و کمترین سفتی ژل را داشتند. دلیل کاهش سفتی ژل با افزایش زمان فرایند در ماکروفر، تخریب بیشتر ماکرومولکول‌های نشاسته است که منتهی به کاهش توانایی آن‌ها در ایجاد شبکه ژل می‌شود و در نهایت بافت ضعیف تری حاصل می‌شود. اما در روش حرارت دهی معمولی با افزایش زمان فرایند بافت ژل‌های حاصل سفت تر می‌شود. علت این امر می‌تواند نفوذ بیشتر آب به داخل شبکه نشاسته و افزایش گستردگی ساختار مولکولی نشاسته و در نتیجه بهبود بر همکنش‌های نشاسته با آب باشد. سفتی بافت ژل‌های نشاسته به طور کلی ناشی از بروز پدیده رتروگرید شدن نشاسته است که هر چه طول زنجیره‌های نشاسته بیشتر باشد سفتی بافت ژل هم بیشتر است. به نظر می‌رسد نمونه‌های حرارت‌دیده در ماکروفر دارای مولکول‌های

۳-۴- ویسکوزیته آب سرد نمونه‌ها

نتایج آزمون ویسکوزیته آب سرد نمونه‌ها (شکل ۳) نشان داد که تمام نمونه‌های حرارت‌دیده دارای ویسکوزیته آب سرد هستند. نشاسته طبیعی به دلیل دارا بودن ساختار منسجم گرانولی در دمای محیط قادر به جذب آب و افزایش ویسکوزیته نیست. در حالی که فرایندهای حرارتی نشاسته در آب که منجر به ژلاتینه شدن نشاسته می‌گردد باعث بروز ویسکوزیته در آب سرد می‌گردد. در نشاسته‌هایی که تحت تأثیر فرایندهای حرارتی قرار می‌گیرند ساختار گرانولی تخریب شده و مولکول‌های رها شده نشاسته در محیط به راحتی با آب برهم کنش نشان داده و باعث افزایش ویسکوزیته در دمای محیط می‌گردند. افزایش شدت فرایند حرارتی می‌تواند باعث کاهش نقطه اوج ویسکوزیته آب سرد گردد. زیرا در دماهای بالا مولکول‌های نشاسته تجزیه می‌شوند و مولکول‌های کوچکتر ویسکوزیته کمتری ایجاد می‌کنند [۱۵] و [۱۶]. افزایش زمان فرایند حرارتی معمولی در بین نمونه‌ها نشاسته یولاف حرارت‌دیده به روش معمولی بالاترین ویسکوزیته آب سرد را از خود نشان داد که دلیل آن می‌تواند به دلیل تفاوت در وزن مولکولی و نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین این نشاسته نسبت به نشاسته ذرت باشد. همچنین مقدار بیشتر پروتئین‌ها در نشاسته یولاف می‌تواند باعث افزایش بیشتر ویسکوزیته در آب سرد این نمونه باشد [۲۴]. ویسکوزیته آب سرد نشاسته ذرت و یولاف که به روش معمولی حرارت‌دیده بودند با افزایش زمان حرارت دهی افزایش یافت. درحالی که ویسکوزیته آب سرد نشاسته‌های حرارت‌دیده در ماکروفر با افزایش زمان کاهش یافت. به نظر می‌رسد زمان‌های طولانی تر حرارت دهی به روش معمولی منجر به بازشدن بیشتر ساختار نشاسته می‌شود به طوری که در مجاورت با آب ویسکوزیته بالاتری ایجاد کند. این در حالی است که افزایش زمان حرارت دهی در ماکروفر می‌تواند باعث شکستگی مولکول‌ها و در نتیجه کاهش آب سرد آن‌ها شود. نتایج مشابهی در مورد نشاسته گندم حرارت‌دیده در اتوکلاو توسط مجذوبی و فرحناکی در سال ۲۰۱۰ ارائه شده است [۱۶].

پیوستگی بافت نمونه‌ها (جدول ۳) مشاهده شد. به نظر می‌رسد در اثر امواج ماکروویو مولکول‌های نشاسته به گونه ای تجزیه شده اند که ژل حاصل از آنها دارای انسجام و برگشت پذیری کمتری شده است. در خصوص چگونگی شکستگی مولکول‌ها در اثر امواج ماکروویو تحقیقات بیشتری لازم است. این در حالی است که حرارت معمولی باعث ایجاد یک بافت منسجم و یکپارچه در ژل نشاسته می‌گردد و در نتیجه ویژگی‌های بافتی متفاوتی را بوجود می‌آورد.

کوچکتری از نمونه‌های حرارت‌دیده به روش معمول باشند و در نتیجه ژل آنها بافت نرم تری را نشان می‌دهد. نظیر نتایج فوق توسط جیانگ و همکاران (۲۰۱۱) برای نشاسته برنج گزارش شده است [۲۳]. ارتجاع پذیری ژل‌ها (جدول ۲) که میزان برگشت نمونه‌ها به حالت اولیه بعد از کمپرس اول را نشان می‌دهد، با افزایش زمان فرایند ماکروفر کاهش و با افزایش زمان فرایند معمولی افزایش داشت و بین نمونه‌ها اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) وجود داشت. همچنین روند مشابهی در مورد تغییرات



شکل ۴ سفتی بافت (گرم) ژل نشاسته‌های ذرت و یولاف حرارت‌دیده به روش معمولی و ماکروفر-حروف متفاوت بر روی ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) بین میانگین‌ها است.

جدول ۲ فنریت ژل نشاسته‌های ذرت و یولاف حرارت‌دیده به روش معمولی و ماکروفر*

زمان فرایند (دقیقه)	نشاسته ذرت		نشاسته یولاف	
	ماکروفر	معمولی	ماکروفر	معمولی
۲/۵	$1/0.36 \pm 0.03^{Ab}$	$0/9.29 \pm 0.20^{Cc}$	$1/1.02 \pm 0.27^{Aa}$	***
۵	$1/0.10 \pm 0.012^{Bb}$	$0/9.58 \pm 0.07^{Bc}$	$1/0.78 \pm 0.23^{Aa}$	$0/8.21 \pm 0.52^{Cd}$
۷/۵	$0/9.84 \pm 0.15^{Cb}$	$1/0.07 \pm 0.19^{Ab}$	$1/0.96 \pm 0.62^{Aa}$	$0/8.77 \pm 0.49^{Bc}$
۱۰	$0/9.61 \pm 0.26^{Dc}$	$1/0.18 \pm 0.25^{Ab}$	$1/0.51 \pm 0.49^{Aa}$	$0/9.62 \pm 0.11^{Ac}$

* اعداد میانگین سه تکرار و به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شده است. حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در هر ستون و حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در هر ردیف است ($P < 0.05$). *** عدم تشکیل ژل

جدول ۳ پیوستگی بافت ژل نشاسته‌های ذرت و یولاف حرارت‌دیده به روش معمولی و ماکروفر

زمان فرایند (دقیقه)	نشاسته ذرت		نشاسته یولاف	
	ماکروفر	معمولی	ماکروفر	معمولی
۲/۵	۰/۹۷۰±۰/۰۳۷ ^{Aa}	۰/۷۷۹±۰/۰۱۶ ^{Bc}	۰/۹۲۸±۰/۰۱۴ ^{Aab}	***
۵	۰/۹۳۸±۰/۰۱۹ ^{ABa}	۰/۹۱۲±۰/۰۱۶ ^{Aa}	۰/۹۰۸±۰/۰۸۱ ^{ABa}	۰/۴۵۹±۰/۰۳۱ ^{Bb}
۷/۵	۰/۹۰۶±۰/۰۱۵ ^{Ba}	۰/۹۱۲±۰/۰۵۴ ^{Aa}	۰/۸۴۴±۰/۰۴۶ ^{ABb}	۰/۵۱۹±۰/۰۷۱ ^{Bc}
۱۰	۰/۸۴۹±۰/۰۳۰ ^{Cb}	۰/۹۶۸±۰/۰۹۰ ^{Aa}	۰/۷۹۱±۰/۰۷۸ ^{Bb}	۰/۷۱±۰/۰۱۱ ^{Ac}

* اعداد میانگین سه تکرار به صورت میانگین±انحراف معیار گزارش شده است. حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در هر ستون و حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در هر ردیف است ($P<0/05$). *** عدم تشکیل ژل

۳-۶- ویسکوزیته نسبی نمونه‌ها

با توجه به نتایج آزمون ویسکوزیته نسبی نمونه‌ها (جدول ۴) مشاهده می‌شود در طی اعمال فرایند در ماکروفر در تمام نشاسته‌ها با افزایش زمان فرایند، ویسکوزیته نسبی کاهش معنی داری داشت ($P<0/05$) که حاکی از تخریب ساختار مولکول‌ها بدنبال افزایش دما و همچنین حرکات لرزشی مولکولهای آب است [۲۱ و ۱۵]. در طی فرایند نمونه‌ها به روش معمولی نیز ویسکوزیته نسبی کاهش یافت اما میزان این کاهش نسبت به

حرارت دهی در ماکروفر بسیار کمتر بود. کمتر بودن کاهش ویسکوزیته نسبی در نشاسته‌های حرارت‌دیده به روش معمولی می‌تواند دلیل بر تأثیر بیشتر روش ماکروفر بر تخریب ساختار مولکولی نشاسته باشد. نتایج این قسمت، نتایج مربوط به کاهش ویسکوزیته آب سرد، جذب آب و حلالیت را تأیید می‌نماید. نتایج مشابه در مورد نشاسته گندم فرایند شده در اتوکلاو توسط مجذوبی و فرحناکی (۱۳۸۷) گزارش شده است [۱۵].

جدول ۴ ویسکوزیته نسبی نشاسته‌های ذرت و یولاف حرارت‌دیده به روش معمولی و ماکروفر*

زمان فرایند (دقیقه)	نشاسته ذرت		نشاسته یولاف	
	ماکروفر	معمولی	ماکروفر	معمولی
۰/۰	۲/۳۲۴±۰/۰۰۷ ^{Aa}	۲/۳۲۴±۰/۰۰۷ ^{Aa}	۲/۳۱۴±۰/۰۰۵ ^{Aa}	۲/۳۱۴±۰/۰۰۵ ^{Aa}
۲/۵	۲/۱۵۱±۰/۰۰۳ ^{Bc}	۲/۲۸۹±۰/۰۰۵ ^{Ba}	۲/۱۷۳±۰/۰۰۵ ^{Bb}	۲/۲۸۶±۰/۰۰۷ ^{Ba}
۵/۰	۲/۰۵۶±۰/۰۰۶ ^{Cb}	۲/۲۸۳±۰/۰۰۲ ^{Ba}	۲/۰۴۷±۰/۰۰۳ ^{Cb}	۲/۲۸۰±۰/۰۰۱ ^{BCa}
۷/۵	۲/۰۰۴±۰/۰۰۴ ^{Dc}	۲/۲۶۸±۰/۰۰۱ ^{Ca}	۲/۰۴۰±۰/۰۰۸ ^{Cb}	۲/۲۷۵±۰/۰۰۱ ^{Ca}
۱۰/۰	۱/۸۹۰±۰/۰۰۶ ^{Eb}	۲/۲۶۵±۰/۰۰۶ ^{Ca}	۱/۸۸۲±۰/۰۱۴ ^{Db}	۲/۲۷۲±۰/۰۰۲ ^{Ca}

* اعداد میانگین سه تکرار و به صورت میانگین±انحراف معیار گزارش شده است. حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در هر ستون و حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار در هر ردیف است ($P<0/05$).

۴- نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که نشاسته‌های حرارت‌دیده در ماکروفر ویژگی‌های کاملاً متفاوتی نسبت به نشاسته‌های حرارت‌دیده به روش معمولی داشتند. بالاتر بودن حلالیت و کاهش شدید ویسکوزیته نسبی نشاسته‌های حرارت‌دیده در

ماکروفر حاکی از تأثیر بیشتر آن نسبت به فرایند حرارتی معمولی بر نشاسته‌ها می‌باشد که این امر می‌تواند ناشی از حرکات لرزشی مولکول‌های آب و سیستم متفاوت انتقال حرارت در طی فرایند حرارتی در ماکروفر باشد. در بین نشاسته‌های ذرت و یولاف حرارت‌دیده در ماکروفر نشاسته یولاف مقاومت بالاتری از خود نشان داد که این امر می‌تواند ناشی از تفاوت در وزن مولکولی،

Effects of microwave heat-moisture treatment on properties of waxy and non-waxy rice starches. *Food Chemistry* 97, 318-323.

[9] Horchani, H., Chaâbouni, M., Gargouri, Y., and Sayari, A. (2010). Solvent-free lipase-catalyzed synthesis of long-chain starch esters using microwave heating: Optimization by response surface methodology. *Carbohydrate Polymers* 79, 466-474.

[10] Lewandowicz, G., Fornal, J., and Walkowski, A. (1997). Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of potato and tapioca starches. *Carbohydrate Polymers* 34, 213-220.

[11] American Association of Cereal Chemists. (2003). Approved Methods of AACC. St. Paul, MN: The Association.

[12] Mirmoghtadaie, L., Kadivar, M., and Shahedi, M. (2009). Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. *Food Chemistry* 116, 709-713.

[13] Leach, H. W., McCowen, L. D., and Schoch, T. J. (1959). Structure of the starch granule. *Cereal chemistry* 36, 12-169.

[14] Majzoobi, M., Sabery, B., Farahnaky, A., and Karrila, T. T. (2012). Physicochemical properties of cross-linked-annealed wheat starch. *Iranian Polymer Journal* 21, 513-522.

[15] 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 Resource* 12 (43):335-347.

[16] Majzoobi, M. and Farahnaky, A. (2010). Comparison of the effects of extrusion cooking on some cereal starches. *International Journal of Food Engineering* 6, 1556-1559.

[17] Hartunian S. S., and White, P. (1992). Characterization of starch isolated from oat groats with different amounts of lipid. *Cereal Chemistry* 69, 521-527.

[18] Tester, R. F., and Karkalas, J. (1996). Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry* 73, 271-277.

[19] Tester, R. F., and Karkalas, J. (1996). Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry* 73, 271-277.

[20] Palav, T., and Seetharaman, K. (2007). Impact of microwave heating on the physico-

نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین و وجود مقادیر بالای چربی و پروتئین در نشاسته یولاف باشد. همچنین نتایج آزمون بافت سنجی و قدرت ژل‌های حاصل از نشاسته‌های یولاف و ذرت حرارت‌دیده به روش معمولی و ماکروفر نشان داد که نشاسته یولاف حرارت‌دیده در ماکروفر کمترین تمایل به بیاتی را دارد که وجود مقادیر بالای چربی در نشاسته یولاف می‌تواند دلیل عمده آن باشد. تحقیقات دقیق تری جهت تعیین نحوه تاثیر فرایندهای حرارت دهی بر ساختار مولکولی آمیلوز و آمیلوپکتین لازم می‌باشد.

۵- منابع

[1] Zhongdong, L., Peng, L., and Kennedy, J. F. (2005). The technology of molecular manipulation and modification assisted by microwaves as applied to starch granules. *Carbohydrate Polymers* 61, 374-378.

[2] Vadivambal, R., and Jayas, D. S. (2007). Changes in quality of microwave - treated agricultural products-a review. *Biosystems Engineering* 98, 1-16.

[3] Bilbao-Sáinz, C., Butler, M., Weaver, T., and Bent, J. (2007). Wheat starch gelatinization under microwave irradiation and conduction heating. *Carbohydrate Polymers* 69, 224-232.

[4] Zylema, B. J., Grider, J. A., Gordon, J., and Davis, E. A. (1985). Model wheat starch systems heated by microwave irradiation and conduction with equalized heating times. *Cereal Chemistry* 62, 447-453.

[5] Seyhun, N., Sumnu, G., and Sahin, S. (2005). Effects of different starch types on retardation of staling of microwave-baked cakes. *Food and Bioproducts Processing* 83, 1-5.

[6] Sumnu, G., Datta, A. K., Sahin, S., Keskin, S. O., and Rakesh, V. (2007). Transport and related properties of breads baked using various heating modes. *Journal of Food Engineering* 78, 1382-1387.

[7] Ndife, M., Şumnu, G., and Bayındırlı, L. (1998). Differential scanning calorimetry determination of gelatinization rates in different starches due to microwave heating. *LWT Food Science and Technology* 31, 484-488.

[8] Anderson, A. K., and Guraya, H. S. (2006).

- and Bai, Y. (2011). Physico-chemical properties of rice starch gels: Effect of different heat treatments. *Journal of Food Engineering* 107, 353-357.
- [24] Doublier, J. L. (1987). A rheological comparison of wheat, maize, faba bean and smooth pea starches. *Journal of Cereal Science* 5, 247-262.
- [25] Hoover, R., and Senanayake, S. P. J. N. (1996). Composition and physicochemical properties of oat starches. *Food Research International* 29, 15-26.
- chemical properties of a starch–water model system. *Carbohydrate Polymers* 67, 596-604.
- [21] Radi, M., Majzoobi, M., Farahnaky, A., Jamalian, J., 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.
- [22] Barron, C., Buleon, A., Colonna, P., and Della Valle, G. (2000). Structural modifications of low hydrated pea starch subjected to high thermomechanical processing. *Carbohydrate Polymers* 43, 171-181.
- [23] Jiang, Q., Xu, X., Jin, Z., Tian, Y., Hu, X.,

Effect of microwaves on physicochemical properties of corn and oat starches

Mazjoobi, M.^{1*}, Falsafi, S. R.²

1. Associate professor, Department of Food Science and Technology, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

2. Graduate student, Department of Food Science and Technology, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

(Received: 92/6/23 Accepted: 92/11/8)

The effects of microwaves on physicochemical properties of corn and oat starches were investigated. Separate suspensions of corn and oat starches in distilled water (8% w/w) were made and heated in a microwave oven at frequency of 2450 MHz and power of 360 W for 2.5, 5, 7.5 and 10 min. Then, swelling power, solubility, relative viscosity (using U-tube viscometer), cold water viscosity (using Rapid Visco Analyser) and textural properties (using Texture Profile Analyser) were investigated. Results showed that as the time of microwave processing increased, cold water viscosity and gel hardness decreased, however, swelling power and water solubility increased. Comparing to the conventional heating method, more reduction in the relative viscosity was observed for the microwave processed samples. In general, results showed that microwave processing had a stonger effects on structural and molecular properties of corn and oat starches than the conventional cooking. These changes may be further affect the quality of the final products.

Keywords: Oat starch, Corn starch, Heat processing, Microwave

*Corresponding Author E-Mail Address: majzoobi@shirazu.ac.ir