مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال نوزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۷۷-۶۷

بررسی و مقایسه تأثیر اعمال امواج ماکروویو، فروسرخ و پرتو لیزر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی نشاسته ذرت

مهشاد واعظ[۱]، هاجر عباسی[۲]

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲- نویسنده مسئول: گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. پست الکترونیکی: H.abbasi@Khuisf.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۶

چکیده

سابقه و هدف: اصلاح ویژگی‌های نشاسته به منظور تغییر یا بهبود ویژگی‌های کیفی آن با استفاده از روش‌های مختلفی انجام می‌شود که در این پژوهش از پرتودهی با امواج الکترومغناطیس بهره گرفته شد.

مواد و روش‌ها: با هدف به کارگیری روشی ایمن در اصلاح خصوصیات عملکردی نشاسته، تأثیر اعمال امواج ماکروویو، فروسرخ و نور لیزر به مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد بر ویژگی‌های نشاسته ذرت مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های کیفی نشاسته‌های اصلاح شده شامل قدرت جذب آب و روغن، شفافیت، قدرت تورم، حلالیت، محتوای کربونیل و کربوکسیل، خصوصیات حرارتی و رئولوژی بررسی شدند.

یافته‌ها: امواج مورد استفاده تأثیر معنی‌داری بر تغییرات ویژگی‌های کیفی نشاسته ذرت خصوصا ویژگی‌های عملکردی آنها نشان داد. اعمال امواج و افزایش مدت زمان آن با تغییر در ساختار گرانول‌ها و پیوندهای بین مولکولی نشاسته موجب افزایش حلالیت، قدرت جذب آب و روغن و کاهش شفافیت نشاسته‌های تیمار شده می‌شود. بالاترین حلالیت و جذب آب و روغن در نشاسته تیمار شده به مدت ۳۰ دقیقه با امواج ماکروویو مشاهده شد و بالاترین قدرت تورم در نشاسته تیمارشده با امواج لیزر به مدت ۱۵ دقیقه مشاهده گردید. اعمال امواج با افزایش اکسیداسیون موجب افزایش محتوای کربونیل و کربوکسیل با شدت‌های مختلف در نشاسته‌های تیمارشده نسبت به شاهد گردید. دمای شروع ژلاتینه‌شدن نمونه‌های تیمارشده افزایش و دمای پایان ژلاتینه‌شدن آنها کاهش یافت و بنابراین دمای ذوب کریستال‌ها و انرژی لازم برای ذوب در نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با شاهد کمتر ارزیابی شد. سوسپانسیون نشاسته رفتار رقیق‌شوندگی با برش نشان داد و ضریب قوام و اندیس جریان نمونه شاهد از نمونه‌های تیمارشده به‌ترتیب بالاتر و پایین‌تر ارزیابی شد.

نتیجه‌گیری: انتخاب شرایط مناسب اعمال تیمار، بسته به ویژگی‌ها مورد انتظار از نشاسته متفاوت است. نشاسته تیمارشده به مدت ۳۰ دقیقه با امواج ماکروویو از نظر اغلب خصوصیات عملکردی از سایر نمونه ها برتر ارزیابی گردید.

واژگان کلیدی: نشاسته‌ذرت، فروسرخ، ماکروویو، لیزر، خصوصیات عملکردی، گرماسنجی روبشی افتراقی

پیام‌های اصلی

- اعمال امواج تأثیر معنی‌دار و متفاوتی بر تغییرات ویژگی‌های کیفی و خصوصیات عملکردی نشاسته ذرت دارد.
- با اعمال امواج و افزایش مدت زمان آن، حلالیت و جذب آب و روغن نشاسته افزایش و شفافیت آن کاهش می‌یابد.
- اعمال امواج موجب افزایش محتوای کربونیل و کربوکسیل در نشاسته تیمارشده می‌گردد.
- دما و انرژی لازم برای ذوب کریستال‌ها در نمونه‌های تیمار شده با امواج در مقایسه با شاهد پایین‌تر است.
- سوسپانسیون نشاسته رفتار رقیق‌شوندگی با برش دارد و اندیس جریان و ضریب قوام نمونه‌های تیمارشده به‌ترتیب بالاتر و پایین‌تر از شاهد است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]

• مقدمه

نشاسته به عنوان پلیمر اصلی ذخیره انرژی گیاهان و سازگار با محیط زیست شناخته می‌شود و غلات یکی از منابع اصلی مورد استفاده در استخراج نشاسته هستند. به غیر از ارزش انرژی‌زایی، به دلیل خواص آبدوستی، زیست تخریب‌پذیری و قابلیت ژلاتینه‌شدن، این پلیمر در صنایع مختلف غذایی، بسته‌بندی، کاغذسازی، نساجی و داروسازی با اهداف و کاربردهای متنوع استفاده می‌شود (۱). به‌منظور تغییر و اصلاح ویژگی‌های نشاسته در راستای بهبود قابلیت کاربرد آن در صنایع مختلف، از روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌توان استفاده کرد. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از نشاسته‌های اصلاح شده در کاهش خواص نامطلوب نشاسته‌های بومی بسیار مؤثر هستند (۲).

روش‌های شیمیایی اصلی مورد استفاده در اصلاح نشاسته شامل کاتیون‌سازی، استیلاسیون، اکسیداسیون و استفاده از مایعات‌یونی (حلال‌های سبز) است. در روش‌های اصلاح شیمیایی، نگرانی فزاینده‌ای در مورد مسائل آلودگی محیط زیست، تصفیه فاضلاب، ایمنی موادغذایی و هزینه‌های بالای اجرا وجود دارد. اکسیداسیون با هیپوکلریت یکی از متداول‌ترین روش‌های اصلاح شمیایی نشاسته است. به دنبال اکسیداسیون، تشکیل گروه‌های کربوکسیل ($COOH$) و کربونیل (COH) و به دنبال آن پلیمریزاسیون بخشی زنجیره‌های نشاسته اتفاق می‌افتد. وجود گروه‌های کربونیل و کربوکسیل بر مولکول‌های نشاسته اکسیدشده، کاهش امکان رتروگراداسیون در زنجیره‌های نشاسته را موجب می‌شود (۳).

روش‌های بیولوژیکی معمولاً باعث افزایش بازده و تولید محصولات جانبی کمتری می‌شوند ولی در مقایسه با روش‌های فیزیکی و شیمیایی هزینه اجرای بالاتری دارند. نشاسته‌های اصلاح شده آنزیمی به طور گسترده در صنایع غذایی و داروسازی استفاده می‌شوند (۴).

فرآیندهای فیزیکی در تغییر ساختار و عملکرد نشاسته بر روش‌های شیمیایی ترجیح داده می‌شوند، هرچند عموما تأثیر روش‌های فیزیکی در اصلاح نشاسته از روش‌های شمیایی کمتر است.. این فرایندها شامل اصلاح نشاسته با استفاده از روش‌های حرارتی یا اعمال فرایندهای غیرحرارتی مانند به‌کارگیری میدان الکتریکی پالسی، امواج، فشار هیدرواستاتیک بالا، فناوری پلاسمای سرد و غیره است. امواج الکترومغناطیس طیف گسترده‌ای از امواج رادیویی تا پرتوهای گاما را شامل می‌شوند که چگونگی تأثیر آنها بر تغییرات ایجاد شده در پلیمرها متفاوت و قابل بررسی است. در سال‌های اخیر به‌کارگیری تابش الکترومغناطیس به عنوان یک روش فیزیکی کاربردی در تعدیل خصوصیات کیفی نشاسته مورد توجه قابل ملاحظه‌ای قرار گرفته است (۵). تیمار نشاسته با اشعه ماوراءبنفش موجب شکستن پیوندهای گلیکوزیدی، کوتاه شدن زنجیره‌های آمیلوز و انشعابات آمیلوپکتین، و به دنبال آن افزایش ظرفیت اتصال آب و حلالیت و کاهش ویسکوزیته خمیر نشاسته می‌گردد. مشابه فرایندهای حرارتی یا عملکرد افزودنی‌هایی مانند سولفیت یا اسیدآسکوربیک، رادیکال‌های آزاد تولید شده توسط تابش در نشاسته تیمار شده با اشعه ماوراء بنفش مشاهده می‌شود و گزارشاتی مبنی بر ایجاد پیوندهای عرضی در نشاسته، تحت تأثیر اعمال اشعه ماوراءبنفش و در مجاورت اکسیژن نیز وجود دارد (۷، ۶). با توجه به محدودیت کاربرد اشعه‌های یونیزه‌کننده از جمله ماوراء بنفش گاما و ایکس، به واسطه دارابودن انرژی بالا، امکان تفکیک الکترون‌ها و تشکیل رادیکال‌های آزاد، ایجاد تأثیرات غیر قابل کنترل و مشکلات مربوط به تأثیر نامناسب کاربرد برخی از آن‌ها بر سلامتی انسان‌ها از جمله امکان ایجاد آسیب‌های بافتی و بروز انواع سرطان، استفاده از اشعه‌های غیریونیزه‌کننده مورد توجه محققان قرار گرفته است.

پرتوهای فروسرخ، بخشی از پرتوهای غیریونیزه‌کننده طیف الکترومغناطیس هستند که کاربرد آنها در چند سال گذشته درراستای خشک‌کردن، غیرفعال‌کردن آنزیم‌ها و پاتوژن‌ها، برشته کردن، سرخ کردن، کباب کردن و ... مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش‌های اخیر، تأثیر به‌کارگیری این امواج بر ماندگاری و ویژگی‌های حسی محصولات غذایی مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به نتایج پژوهش‌های منتشر شده درخصوص تأثیر امواج فروسرخ بر تغییر خواص مکانیکی و ساختاری دانه‌ها و بهبود خواص عملکردی آنها، استفاده و بررسی تأثیر این پرتوها بر چگونگی تغییر ویژگی‌های کیفی نشاسته اهمیت دارد (۸).

نور مرئی با طول‌موجی در حدود ۳۸۰ تا حدود ۷۵۰ نانومتر در بین دو محدوده نامرئی فروسرخ و فرابنفش امواج الکترومغناطیس قرار دارد. پرتوهای لیزری پرتوهای موازی هم‌فاز باریکی هستند که طول موج مشخصی دارند و عموما توسط جمع‌کننده یا فعال‌کننده نور که به واسطه یک منبع انرژی بیرونی تغذیه می‌شوند، تشکیل می‌گردند. تابش لیزر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]

کاربردهای متنوعی در صنایع مختلف دارد. اعمال نور پلاریزه خطی بر سوسپانسیون آبی نشاسته‌های سیب زمینی، ساگو، ذرت و آمیلوپکتین، موجب تغییر خواص رئولوژیکی ژل‌های حاصل از آنها می‌گردد. کاهش جرم مولکولی و افزایش حساسیت به آمیلولیز در همه‌ی نشاسته های پرتودهی شده با امواج مرئی مشاهده گردید. میزان تغییرات مشاهده شده به منشا گیاهی و مدت زمان پرتودهی وابسته است. در پژوهشی دیگر، پلیمریزاسیون مجدد زنجیره‌های الیگوساکاریدی جدا شده از آمیلوپکتین در دوره نوردهی ۱۵ الی ۲۵ ساعته گزارش شده است (۱۰، ۹). شایان ذکر است که پژوهش‌های انجام شده در زمینه ارزیابی تأثیر امواج مرئی لیزر بر تغییرات ویژگی‌های پلیمرهای خوراکی ازجمله نشاسته بسیار محدود است و مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است.

مایکروویو دسته دیگری از تشعشعات غیریونیزه‌کننده است که با اعمال تغییرات سریع در جهت میدان مغناطیسی، نوسانات لرزشی شدیدی در مولکول‌های دو قطبی و یون‌ها ایجاد می‌کند و برخورد این مولکول‌ها به یکدیگر موجب افزایش دمای ماده غذایی با سرعت زیاد می‌شود (۱۱). تأثیر امواج ماکروویو بر تغییرات شیمیایی و فیزیکی پلیمرها، به عوامل زیادی از جمله اندازه، شکل، ضخامت، خواص دی الکتریک ماده موردنظر و فرکانس امواج مورد استفاده دارد. در صنعت غذا انرژی مایکروویو در پاستوریزاسیون و خشک‌کردن مواد غذایی مورد استفاده قرار می گیرد. گزارشاتی مبنی بر تأثیر تشعشعات مایکروویو بر ساختار مولکولی و عملکرد پلیمر نشاسته وجود دارد. تأثیر این تیمار بر نشاسته، به شدت نفوذ گرما، محتوی رطوبت نشاسته، و میزان برهم‌کنش نشاسته-پروتئین بستگی دارد (۱۲). امواج ماکروویو با اعمال نفوذ و سرعت بالا موجب تأثیر بر زنجیره‌های آمیلوپکتین، ایجاد ساختارهای غیرمنظم، و افزایش اتصالات میان پلیمرهای آمیلوز و آمیلوپکتین می‌گردند و موجبات تغییرات کیفی این پلیمر را فراهم می‌کنند (۱۳). استفاده از امواج ماکروویو می‌تواند باعث تغییرات بیشتری در مقایسه با روش‌های حرارتی معمول، در ساختار مولکولی و ویژگی‌های عملکردی نشاسته‌های ذرت و یولاف گردد (۱۴). به کارگیری امواج ماکروویو با سایر تیمارها (اعمال تیمارهای ترکیبی) در ایجاد خواص عملکردی متفاوت و مطلوب مؤثر است (۱۵).

در این پژوهش، با هدف اصلاح فیزیکی نشاسته ذرت و بررسی و مقایسه چگونگی تأثیرگذاری امواج مختلف غیریونیزه کننده محدوده الکترومغناطیس بر آن، سه طیف فروسرخ، مرئی لیزر و ماکروویو با شرایط مشخص انتخاب و تأثیر اعمال آن بر تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکری نشاسته ذرت مورد بررسی قرار گرفت.

• مواد و روش‌ها

تیمار سوسپانسیون نشاسته ذرت با استفاده از امواج

سوسپانسونی از اختلاط ۷/۵ گرم نشاسته ذرت در ۳۵ درجه سانتیگراد آب مقطر تهیه و در دو زمان ۱۵ و ۳۰ دقیقه، تحت اعمال امواج ماکروویو (فرکانس ۵۰ هرتز، توان ۱۳۰۰وات)، امواج مرئی لیزر (طول موج ۸۱۰ نانومتر، توان ۱وات) و امواج فروسرخ (طول موج ۳۰۰ میکرومتر، توان ۱۰۰۰ وات) قرار گرفتند. فرایند در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در وزن ثابت انجام گرفت. نمونه‌های تیمار شده توسط خشک‌کن انجمادی، خشک و از الک دارای مش ۶۰ عبور داده شدند (۱۷، ۱۶).

ارزیابی ویژگی های کیفی نشاسته

جذب آب

دو گرم نشاسته با ۱۲ درجه سانتی‌گراد آب مقطر مخلوط و به مدت پنج دقیقه هموژن گردید. سوسپانسیون حاصل به مدت ده دقیقه در سانتریفیوژ دارای سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه قرار گرفت و رسوب باقیمانده توزین شد. درصد جذب آب نشاسته مطابق رابطه زیر محاسبه و مقادیر بر حسب درصد گزارش شد (۱۹، ۱۸).

جذب روغن

سوسپانسیون همگن حاصل از دو گرم نشاسته و ۱۲ درجه سانتی‌گراد روغن آفتابگردان با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ گردید. فاز روغنی حذف و رسوب باقیمانده وزن شد. درصد جذب روغن مطابق رابطه زیر محاسبه و مقادیر آن بر حسب درصد گزارش شد (۲۰).

$$\text{Water and Oil absorption}(\%) = \frac{\text{وزن نمونه ـوزن رسوب}}{\text{وزن نمونه}} * 100 \quad (1)$$

شفافیت

سوسپانسیون ۰/۵ درصد نشاسته در آب مقطر به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت و هر پنج دقیقه به مدت ۳۰ ثانیه اختلاط شد. مخلوط حاصل در دمای محیط سرد و سپس جذب آن توسط اسپکتوفتومتر در طول موج ۶۵۰ نانومتر خوانده شد (۲۱).

قدرت تورم و حلالیت

در این آزمون حرارت‌دهی سوسپانسیون ۵ درصد نشاسته در حمام آب ۹۰ درجه سانتی‌گراد تا ژل شدن کامل نمونه‌ها انجام گرفت. ژل حاصل به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ و وزن نشاسته محلول در بخش رویی با

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]

خشک کردن آن محاسبه شد. جذب آب نشاسته موجود در بخش ترسیب شده برمبنای وزن نشاسته باقیمانده، برحسب درصد محاسبه گردید (۲۱).

کربونیل

۰/۸گرم نشاسته در ۲۰ درجه سانتی‌گراد آب مقطر مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه ژلاتینه شد. نمونه تا ۴۰ درجه سانتیگرد سرد و pH آن با اسیدکلریدریک ۰/۰۱ مولار به ۳/۲ رسانده شد. ۱۵ میلی‌لیتر محلول هیدروکسیل‌آمین به ترکیب افزوده و به صورت درب‌بسته به مدت ۴ ساعت در حمام ۴۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. سپس pH نمونه مجدد با استفاده از اسیدکلریدریک ۰/۰۱ مولار به ۳/۲ رسانده و حجم اسید مصرفی اندازه‌گیری شد. محتوی کربونیل نشاسته از رابطه زیر محاسبه گردید (۲۲).

$$\text{Carbonyl}(\%) = \frac{(Vb-Vs)*\ MHcl*0.028}{MS} * 100 \quad (2)$$

V_b: حجم اسید مورد استفاده برای شاهد (میلی لیتر)، Vs: حجم اسید مورد استفاده برای نمونه (میلی لیتر)، M مولاریته اسید مصرفی و Ms: وزن نمونه خشک (g).

کربوکسیل

۰/۴گرم نشاسته ذرت در ۵ درجه سانتی‌گراد محلول اسیدکلریدریک ۰/۱ مولار مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه بر همزن مغناطیسی اختلاط گردید. مخلوط حاصل صاف و نمونه باقیمانده بر کاغذ با ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد آب مقطر شسته و در ۶۰ درجه سانتی‌گراد آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آبجوش ژلاتینه شد. نمونه تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد سرد و در بالن ۱۰۰ به حجم رسانده شد. pH نمونه با استفاده از سود ۰/۰۰۵ مولار به ۸/۳ رسانده و حجم سود مصرفی اندازه‌گیری شد. محتوی کربوکسیل با استفاده از زابطه زیر محاسبه گردید (۲۲).

$$\text{Carboxyl}(\%) = \frac{(Vs-Vb)*\ M\ NaOH*0.045}{Ms} * 100 \quad (3)$$

V_b: حجم سود مورد استفاده برای شاهد (میلی لیتر)، Vs: حجم سود مورد استفاده برای نمونه (میلی لیتر)، M مولاریته سود مصرفی و Ms: وزن نمونه خشک (g).

ویژگی‌های حرارتی

خواص حرارتی نمونه‌های نشاسته با استفاده از کالریمتر ارزیابی گردید. از ایندیوم جهت کالیبره کردن سیستم استفاده شد. سرعت افزایش حرارت نمونه ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه و بازه حرارتی مورد نظر ۲۵ تا ۱۲۰ درجه سانتیگراد درنظر گرفته شد (۲۴، ۲۳).

خصوصیات رئولوژیکی

سوپانسیون ۷٪ نشاسته به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب ۹۰ درجه سانتی‌گراد در وزن ثابت ژلاتینه شد. نمونه در دمای محیط تا تشکیل ژل پایدار نگهداری و رفتار جریان آن توسط آزمون چرخشی در محدوده استرین ۰/۰۱ تا ۱۰۰ درصد ارزیابی گردید (۲۵).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این مطالعه با هدف بررسی تأثیر اعمال امواج برکیفیت نشاسته ذرت، تیمار نشاسته با امواج ماکروویو، فروسرخ و نور لیزر به مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه انجام و ویژگی‌های کیفی نمونه‌های تیمار شده و شاهد مورد بررسی قرار گرفتند. همه آنالیزها در سه تکرار انجام و نتایج حاصل مطابق طرح کاملا تصادفی توسط نرم‌افزار SAS ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها بر مبنی حداقل اختلاف معنی‌دار (Least Significant Difference) انجام و گراف‌ها در اکسل ۲۰۱۶ ترسیم گردیدند.

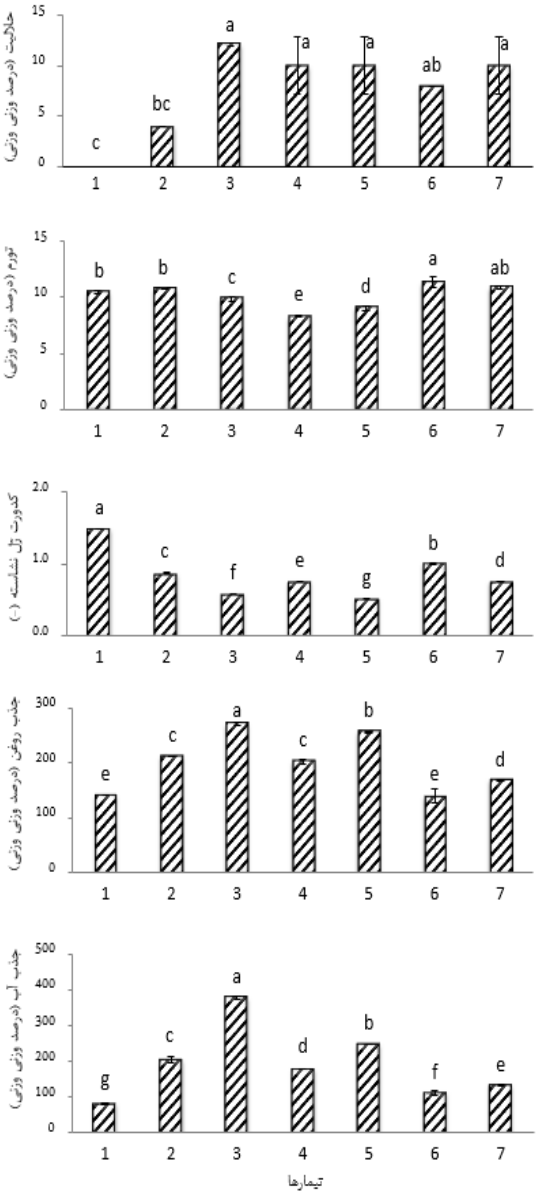
• یافته‌ها

مقایسه جذب آب نمونه‌های مختلف در (شکل ۱) نشان می‌دهد که نمونه شاهد جذب آب کمتری در مقایسه با سایر نمونه‌های تیمارشده دارد. بررسی اثر تیمارهای اعمال شده نشان می‌دهد که به‌کارگیری امواج ماکروویو، فروسرخ و نور لیزر به ترتیب تأثیر بیشتری بر افزایش قدرت جذب آب نشاسته دارند. با افزایش زمان درهمه تیمارها، جذب آب نشاسته افزایش یافت بنابراین بیشترین جذب آب در نمونه تیمار شده با امواج ماکروویو به مدت ۳۰ دقیقه مشاهده شد.

جذب روغن نمونه‌های مختلف در شکل ۱ نشان می‌دهد که نشاسته تیمار نشده، جذب روغن کمتری در مقایسه با سایر نمونه‌های تیمارشده دارد. به‌کارگیری امواج ماکروویو و فروسرخ، تأثیر بیشتری بر افزایش جذب روغن نشاسته در مقایسه با امواج مرئی لیزر داشت و افزایش زمان اعمال تیمار، تأثیر افزاینده‌ای بر کمیت این فاکتور نشان داد. بنابراین بیشترین جذب روغن در نمونه تیمارشده با امواج ماکروویو به مدت ۳۰ دقیقه مشاهده شد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]



شکل ۱. مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی نشاسته ذرت تیمار شده با امواج الکترومغناطیس

(۱: نمونه شاهد؛ نمونه های تیمار شده با اعمال ۲: ۱۵ دقیقه امواج ماکروویو؛ ۳: ۳۰ دقیقه امواج ماکروویو؛ ۴: ۱۵دقیقه امواج فروسرخ؛ ۵: ۳۰ دقیقه امواج فروسرخ؛ ۶: ۱۵ دقیقه امواج لیزر، ۷: ۳۰ دقیقه امواج لیزر)

ارزیابی شفافیت نمونه‌ها (شکل ۱) نشان می‌دهد که تیمار نشاسته با استفاده از امواج، کاهش معنی‌داری در مقایسه با شاهد در میزان جذب نور ژل حاصل ایجاد می‌کند. افزایش شفافیت با اعمال امواج فروسرخ از سایر تیمارها بیشتر است و افزایش زمان اعمال تیمار نقش معنی‌داری در افزایش بیشتر شفافیت دارد. کدورت در نمونه شاهد و سپس به‌ترتیب کدورت نمونه‌های تیمار شده با امواج لیزر به مدت ۱۵ دقیقه، ماکروویو به مدت ۱۵ دقیقه و فروسرخ به مدت ۱۵ دقیقه از دیگر نمونه‌ها بیشتر است.

میان قدرت تورم گرانول‌های نشاسته تیمارشده و شاهد نیز تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده گردید (شکل ۱). اعمال امواج ماکروویو به مدت ۳۰ دقیقه، موجب کاهش تورم گرانول‌های نشاسته در مقایسه با نمونه شاهد گردید. با اعمال امواج فروسرخ نیز، شاهد کاهش این فاکتور بودیم. در میان نمونه‌های مورد بررسی، قدرت تورم نشاسته تیمارشده با امواج لیزر در مدت زمان ۱۵ دقیقه نسبت به بقیه نمونه‌های تیمار شده بالاتر ارزیابی شد.

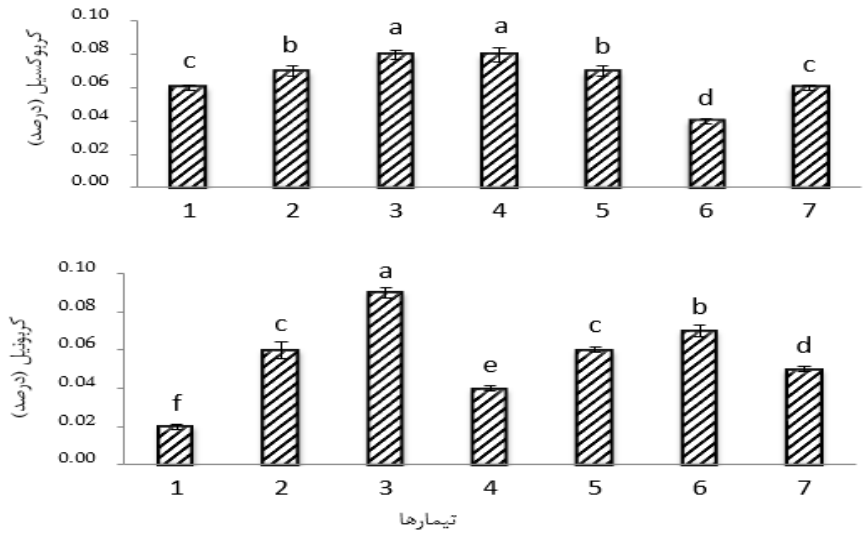
مقایسه حلالیت نمونه‌ها (شکل ۱) نشان می‌دهد که با اعمال تیمارهای مختلف پرتودهی، مقدار حلالیت نشاسته به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش می‌یابد. افزایش زمان اعمال تیمار با امواج ماکروویو و لیزر مقدارحلالیت نشاسته را افزایش می‌دهد، ولی افزایش زمان اعمال امواج فروسرخ تأثیر افزایشی چندانی بر این فاکتور ندارد.

در میان نمونه‌های مورد بررسی، درصد کربونیل و کربوکسیل نمونه شاهد از سایرین پایین‌تر، و نشاسته تیمارشده با ۳۰ دقیقه امواج ماکروویو و فروسرخ بالاترین محتوی کربونیل را دارا بود. با افزایش زمان اعمال تیمار با امواج ماکروویو و فروسرخ، درصد کربونیل افزایش می‌یابد. محتوای کربوکسیل نشاسته تیمارشده با ۱۵ دقیقه امواج لیزر از سایر نمونه‌های تیمار شده کمتر و مشابه نمونه شاهد و محتوی کربوکسیل نمونه‌های تیمار شده با اعمال ۳۰ دقیقه امواج ماکروویو و ۱۵ دقیقه امواج فروسرخ از بقیه نمونه های تیمارشده بالاتر ارزیابی شد. با افزایش زمان اعمال تیمار با امواج ماکروویو و لیزر نیز، درصد کربوکسیل نشاسته افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد (شکل ۲).

بررسی خصوصیات حرارتی نمونه‌ها نشان می‌دهد که در مقایسه با نمونه شاهد، دمای شروع ژلاتینه‌شدن نمونه‌های تیمارشده افزایش و دمای پایان ژلاتینه شدن آنها کاهش می‌یابد. بدین صورت دمای ذوب کریستال‌ها و انرژی لازم برای ذوب آن‌ها در نمونه‌های تیمارشده در مقایسه با شاهد کمتر است (جدول ۱).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]



شکل ۲. مقایسه میانگین محتوای کربونیل و کربوکسیل نشاسته ذرت تیمار شده با امواج الکترومغناطیس

(۱: نمونه شاهد؛ نمونه های تیمار شده با اعمال، ۲: ۱۵دقیقه امواج ماکروویو؛ ۳: ۳۰ دقیقه امواج ماکروویو؛ ۴: ۱۵ دقیقه امواج فروسرخ؛ ۵: ۳۰ دقیقه امواج فروسرخ؛ ۶: ۱۵ دقیقه امواج لیزر، ۷: ۳۰ دقیقه امواج لیزر).

جدول ۱. ویژگی‌های حرارتی نشاسته ذرت تیمار شده با امواج الکترومغناطیس

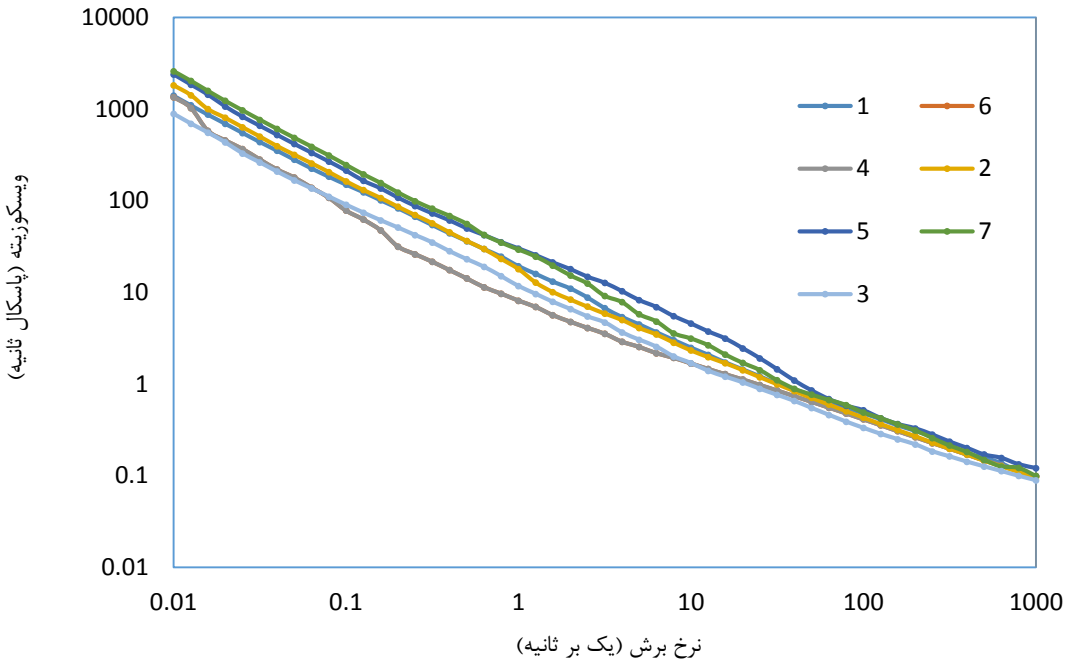
نمونه	نقطه ذوب (درجه سانتیگراد)	انرژی (ژول بر گرم)	محدوده ذوب (درجه سانتیگراد)
۱	۸۲/۳	۱۴۹/۵	۱۲۱/۱-۴۱/۰
۲	۶۳/۹	۱۵/۷	۸۲/۱-۵۱/۰
۳	۷۱/۶	۲۶/۹	۹۲/۱-۴۹/۵
۴	۷۱/۴	۱۲/۶	۸۴/۹-۵۱/۳
۵	۶۹/۰	۲۱/۵	۸۶/۵-۴۷/۷
۶	۷۱/۰	۲۴/۴	۸۹/۰-۴۸/۳
۷	۷۱/۰	۷/۶	۸۱/۱-۴۹/۲

(۱: نمونه شاهد؛ نمونه های تیمار شده با اعمال، ۲: ۱۵دقیقه امواج ماکروویو؛ ۳: ۳۰ دقیقه امواج ماکروویو؛ ۴: ۱۵ دقیقه امواج فروسرخ؛ ۵: ۳۰دقیقه امواج فروسرخ؛ ۶: ۱۵ دقیقه امواج لیزر، ۷: ۳۰ دقیقه امواج لیزر).

رفتار جریانی سوسپانسیون‌های نشاسته نشان می‌دهد که با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته همه نمونه‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین محلول‌های نشاسته رفتار رقیق شونده با برش یا سودوپلاستیک نشان می‌دهند (شکل ۳). مدل هرشل‌بالکی به خوبی بر داده‌های حاصل از آزمون چرخشی برازش یافت که نتایج آن در (جدول ۲) آورده شده است. تنش‌تسلیم بیانگر نیروی لازم برای ایجاد جریان در سیال است و سوسپانسیون حاصل از نشاسته‌های تیمار شده از این نظر با یکدیگر متفاوتند. نتایج (جدول ۲) نشان می‌دهد که در سرعت‌های برش پایین، ضریب قوام نمونه شاهد از نمونه‌های تیمارشده بالاتر است، در حالی که اندیس جریان نمونه شاهد از مابقی نمونه‌ها پایین‌تر ارزیابی می‌شود و نمونه‌های تیمار شده تفاوت چندانی از این نظر با یکدیگر نشان نمی‌دهند.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]



شکل۳ . تغییرات ویسکوزیته نسبت به سرعت برش در نشاسته‌ی ذرت تیمار شده با امواج الکترومغناطیس

(۱: نمونه شاهد؛ نمونه های تیمار شده با اعمال، ۲: ۱۵ دقیقه امواج ماکروویو؛ ۳: ۳۰ دقیقه امواج ماکروویو؛ ۴ : ۱۵دقیقه امواج فروسرخ؛ ۵: ۳۰ دقیقه امواج فروسرخ؛ ۶: ۱۵ دقیقه امواج لیزر، ۷: ۳۰ دقیقه امواج لیزر).

جدول ۲. پارامترهای رئولوژیکی سوسپانسیون نشاسته تیمار شده با امواج الکترومغناطیس مطابق مدل هرشل بالکی

نمونه	تنش تسلیم (پاسکال)	ضریب قوام (پاسکال ثانیه)	اندیس جریان (-)
۱	۱۲/۴	۵/۵	۰/۴
۲	۱۵/۲	۳/۱	۰/۵
۳	۷/۹	۳/۱	۰/۵
۴	۱۵/۵	۲/۸	۰/۵
۵	۱۵/۵	۲/۸	۰/۵
۶	۲۲/۱	۲/۸	۰/۵
۷	۲۳/۵	۲/۹	۰/۵

(۱: نمونه شاهد؛ نمونه های تیمار شده با اعمال، ۲: ۱۵ دقیقه امواج ماکروویو؛ ۳: ۳۰ دقیقه امواج ماکروویو؛ ۴: ۱۵ دقیقه امواج فروسرخ؛ ۵: ۳۰ دقیقه امواج فروسرخ؛ ۶: ۱۵ دقیقه امواج لیزر، ۷: ۳۰ دقیقه امواج لیزر).

• بحث

جذب آب، یکی از عوامل مهم در کیفیت نشاسته به شمار می‌رود و مستقیما بر کیفیت محصولات تولیدی از آن تأثیرگذار است. زمانیکه یک ماده بیولوژیکی در معرض تابش اشعه قرار می‌گیرد، برخی پرتوها جذب لایه‌های سطحی و مابقی امواج در لایه‌های عمیق‌تر نفوذ می‌کنند. تابش باعث برانگیختگی، افزایش دما و گاها تخریب مولکولی می‌شود (۲۶). تبدیل نشاسته به دکسترین، مالتوز و گلوکز و افزایش میل ترکیبی مونوساکاریدها و الیگوساکاریدها نسبت به نشاسته برای جذب آب در اثر اعمال تیمار با امواج ماکروویو و اولتراسونیک از دلایل اصلی تأثیر این امواج بر تغییر قابلیت جذب آب در نشاسته است (۲۷). افزایش مدت تابش امواج غیریونیزه نیز با ایجاد اختلال در گرانول‌های نشاسته، امکان جذب بیشتر آب را فراهم می‌کند (۲۸). تغییر در منبع نشاسته، شرایط فرایند خصوصا مدت زمان اعمال تشعشع بر نتیجه حاصل تأثیرگذار است. بررسی پژوهش‌ها نتایجی مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش را نشان می‌دهد. در این راستا استفی و همکاران (۲۷) اعلان کردند که جذب آب دانه کتان تحت اعمال امواج ماکروویو و اولتراسونیک افزایش می‌یابد. در نشاسته بلوط تیمارشده با امواج ماکروویو و اولتراسونیک نیز جذب آب بالاتری در مقایسه با نمونه تیمار

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]

نشده مشاهده شد. در مقایسه روش‌های حرارتی نیز گزارش شده است که جذب آب نمونه‌های حرارت‌دیده با اعمال امواج ماکروویو نسبت به نمونه‌های حرارت‌دیده به روش معمولی به طور معنی‌داری بیشتر است (۲۹). در واقع حرکات لرزشی مولکول‌های آب تحت تأثیر امواج ماکروویو، امکان نفوذ بیشتر آن به گرانول‌ها را فراهم می‌کند (۳۰). نشاسته‌های بلوط هندی تیمارشده با اشعه فروسرخ و ماکروویو نیز، جذب آب بالاتری در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده نشان دادند (۳۱). مجذوبی و همکاران نیز در بررسی ویژگی‌های نشاسته گندم تیمار شده با امواج ماکروویو در مدت زمان های ۲/۵، ۵، ۷/۵ دقیقه، توان ۳۶۰ وات، و فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز، افزایش جذب آب به دلیل امکان بهتر نفوذ آب به داخل گرانول‌های نشاسته، به دلیل حرکات لرزشی مولکول های آب را گزارش کردند (۱۴).

جذب روغن یک پدیده فیزیکی است که به وجود ترکیبات و بیوپلیمرهای موجود در نمونه که توانایی محبوس نمودن و به دام انداختن قطرات روغن را دارند مربوط می‌شود. پژوهشگران، جذب روغن را بـه وجود زنجیـره‌های غیـرقطبی پروتئین‌ها که توانایی ایجاد پیوند با زنجیره‌های هیـدروکربنـی روغن دارند نسبت داده‌اند. هـرچـه ظرفیـت جـذب روغـن پروتئین بـالاتر باشـد، میـزان اسیدهای آمینه غیرقطبی در زنجیره جانبی پروتئین غالب‌تر است (۳۲). افزایش جذب روغن در اثر اعمال امواج به تخریب ساختار نشاسته و در معرض قرار گرفتن بیشتر بخش‌های آبگریز جهت واکنش با لیپیدها مربوط می‌شود (۱۸). تخریب فیزیکی و سطحی گرانول‌ها و ایجاد خلل‌وفرج در آنها با تشدید اکسیداسیون در نشاسته موجبات جذب و به دام افتادن بیشتر روغن در نشاسته را فراهم می‌کند (۳۳). نتایج پژوهش‌های دیگر در این زمینه نشان می‌دهد که ایجاد فضاهای خالی در گرانول‌های نشاسته موجب افزایش جذب روغن آن می‌گردد (۳۴). در رابطـه بـا افـزایش جـذب روغـــن توســـط گرانول‌هـــای نشاسته فراصـوت‌شده نیز، ایجاد شکستگی، درز و ترک عوامل اصلی مسبب افزایش نفوذپذیری گرانول به روغن معرفی شده‌اند (۱۸). استفاده از گاز ازن و تیمار پلاسما نیز با تغییر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آرد گندم و افزایش شدت اکسایش در نمونه‌ها سبب افزایش جذب روغن در نشاسته گردیدند (۳۳). شایان ذکر است که تغییر در منبع نشاسته و ویژگی‌های کیفی آن، شرایط فرایند و منبع امواج مورد استفاده قاعدتا بر میزان جذب روغن نشاسته تیمار شده مؤثر می‌باشد.

شفافیت خمیر نشاسته، نقش ویژه‌ای در کاربرد آن در برخی از محصولات‌غذایی به ویژه فرآورده‌های فرآورده‌های قنادی دارد (۳۵). از مهم‌ترین دلایل ایجاد شفافیت در نشاسته، تخریب بخش‌های آمورف و کریستالی با ساختار ضعیف و شکسته‌شدن مولکول‌های بزرگ به مولکول‌های کوچک‌تر دراثر برخورد امواج لیزر، ماکروویو و فروسرخ است (۳۶). طی فرایند ژلاتینه‌شدن نشاسته در غلظت کم، گرانول‌ها متورم و در نهایت از هم گسسته می‌شوند. هرچه ذرات ایجادشده کوچکتر باشند، عبور نور از آن بیشتر و شفافیت ژل حاصل افزایش می‌یابد (۳۵). در این راستا بل هاج و همکاران (۳۷) گزارش کردند که ژل نشاسته پس از اعمال فراصوت بطور کامل شفاف می‌شود که دلیل این امر، کاهش اندازه مولکول‌های نشاسته و عبور بهتر امواج از آن مطرح شده است.

تورم نشاسته به دنبال ایجاد پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب با جایگاه فعال مولکول‌های نشاسته رخ می‌دهد. بنابراین این فاکتور، توانایی گرانول‌های نشاسته برای هیدراته‌شدن در شرایط آب اضافی را نشان می‌دهد که با انحلال‌پذیری گرانول‌های نشاسته نیز مرتبط است. این فاکتور به ساختار نشاسته اولیه و نوع و شرایط اعمال تیمار بر آن وابسته است. در خصوص ماهیت گرانول‌های نشاسته گزارش شده است که نشاسته‌های دارای محتوی بالاتر آمیلوز قدرت تورم بالاتری دارند. اعمال تیمارهای مختلف، با تغییر ویژگی‌های گرانول‌ها و رشته‌های نشاسته، بر این فاکتور تأثیرگذار هستند. تابش امواج مایکروویو و فروسرخ با تغییر آرایش ذرات نشاسته منجر به محدود شدن قدرت تورم نشاسته می‌گردد. مقادیر بالای اکسیداسیون و دپلیمریزاسیون می‌تواند سبب کاهش تورم گرانول‌ها در نشاسته شود.

نتایج مشابهی از تأثیر اعمال امواج ماکروویو بر کاهش قدرت تورم نشاسته گزارش شده است (۳۹، ۳۸). در این خصوص بشیر و همکاران (۱) گزارش کردند که نشاسته ژلاتینه‌شده در دمای بالا، خصوصا در مجاورت پروتئین دناتوره‌شده، از انتشار آب به داخل ماتریکس نشاسته جلوگیری می‌کند و در نتیجه قدرت تورم کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد ایجاد شکست در ساختار گرانول‌های نشاسته در اثر برخورد امواج لیزر، موجبات بهبود جذب آب، حلالیت مولکول‌های سبک‌تر و در دسترس و افزایش تورم نشاسته را فراهم می‌آورد (۳۶). به‌نظر می‌رسد افزایش مدت زمان اعمال امواج فروسرخ با افزایش تحرک مولکول‌های نشاسته به‌واسطه افزایش دما، موجبات تضعیف نیروهای اتصال، هیدراته‌شدن و انحلال بهتر اجزای آن و افزایش قدرت تورم گرانول‌ها را فراهم می‌کند.

حلالیت بیانگر مقدار نشاسته حل‌شده در فاز آبی در شرایط معین است. تفاوت در حلالیت نشاسته‌های مختلف می‌تواند مربوط به تفاوت در ساختار آمیلوز و آمیلوپکتین سازنده نشاسته با منشاءهای متفاوت باشد. افزایش حلالیت نمونه‌های تیمارشده

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]

در مقایسه با شاهد، خصوصا نمونه‌های پرتودهی شده با امواج ماکروویو، مربوط به نفوذ مؤثر حرارت در نشاسته است که موجبات شکسته شدن و تخریب برخی اتصالات بین مولکولی به‌ویژه اتصالات هیدروژنی و تشکیل مولکول‌هایی با وزن مولکولی کمتر که قابلیت بالاتری برای حل شدن در آب دارند را فراهم می‌کند (۴۰). اکسیداسیون و دپلیمریزاسیون مولکول‌های نشاسته، فراکسیون‌هایی با وزن مولکولی کم تولید می‌کنند که به راحتی قابل نشر از گرانول هستند. از طرفی، افزایش حلالیت نمونه‌ها می‌تواند به دلیل اثر امواج بر سطح گرانول‌ها و ایجاد حفره و کانال در آنها باشد که ورود مولکول‌های آب و خروج مستقیم آمیلوز از گرانول را تسهیل می‌کند (۳۶). پالاو و همکاران و جیانگ و همکاران نیز گزارش کردند که تأثیر شدید امواج ماکروویو بر مولکول‌های نشاسته ذرت و تخریب بیشتر آنها، موجبات افزایش حلالیت نشاسته را فراهم می‌کند (۴۲، ۴۱).

محتوای کربونیل وکربوکسیل نشاسته با افزایش شدت عملکرد عوامل اکسیدکننده افزایش می‌یابد. گروه‌های هیدروکسیل موجود در زنجیره‌های نشاسته در طول اکسیداسیون ابتدا به کربونیل و سپس به کربوکسیل اکسید می‌شوند. بنابراین درجه اکسیداسیون، میزان گروه‌های کربونیل یا کربوکسیل در مولکول نشاسته را مشخص می‌کند (۴۳، ۳۱). دپلیمریزاسیون نشاسته و ایجاد گروه‌های کربونیل و اکسیداسیون آن به گروه های کربوکسیل به دلیل ایجاد شکاف در گرانول‌ها در اثر برخورد امواج لیزر، فروسرخ و ماکروویو می‌باشد (۴۳). میزان افزایش گروه‌های الکترونگاتیو ناشی از فرایند اکسیداسیون بسته به منبع نشاسته، شرایط فرآیند و عامل اکسایش مورد استفاده متغیر است. بررسی پژوهش‌های دیگر در این زمینه نیز نشان می‌دهد که سهم گروه‌های الکترونگاتیو همگام با ازن زنی به واسطه فرایند اکسایش افزایش می‌یابد (۴۴). با افزایش زمان اعمال امواج اولتراسونیک نیز محتوای کربونیل و کربوکسیل موجود در نشاسته افزایش یافت (۳۱).

به طور کلی خواص حرارتی نشاسته به اندازه ریزساختارها، درجه بلورینگی‌گرانول و همچنین نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین موجود در آن بستگی دارد. افزایش دمای ذوب و آنتالپی ژلاتینه شدن به وجود ساختار کریستالی قوی در نشاسته مربوط است که در نمونه شاهد بیش از سایرین است. تأثیر امواج بر ساختار مارپیچ دوگانه آمیلوپکتین و آسیب به فاز کریستالی نشاسته موجب کاهش نقطه ذوب و آنتالپی لازم برای ذوب آن می‌شود (۴۵). تغییر در منبع نشاسته و شرایط فرایند نیز بر خصوصیات حرارتی نشاسته مؤثر است. در نشاسته اصلاح‌شده فندق با تیمارهای اولتراسونیک و مایکروویو، آنتالپی ژلاتیناسیون در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافت (۴۶). کاهش آنتالپی ژلاتیناسیون در نمونه اصلاح‌شده کاساوا با اولتراسونیک (۲۸) و نشاسته شاه بلوط تیمارشده با امواج مایکروویو مشاهده شده است (۲۷).

بررسی خواص رئولوژیکی نشاسته گام مهمی در شناسایی و درک خواص عملکردی آنهاست. زنجیره‌های نشاسته در درجه برش‌های پایین به صورت نامنظم آرایش پیدا می‌کنند و این امر منجر به ایجاد ویسکوزیته بالا در مخلوط می‌شود. با افزایش درجه برش مولکول‌ها هم راستاشده و در نتیجه اصطکاک داخلی و ویسکوزیته مخلوط کاهش می یابد (۴۷). ویسکوزیته بالا و اندیس جریان پایین نمونه شاهد، بیانگر رقیق‌شوندگی بیشتر نمونه شاهد نسبت به نمونه‌های تیمارشده است. ویسکوزیته نشاسته در سرعت‌های برش پایین تحت تأثیر امواج غیریونیزه بطور قابل توجهی کاهش یافت که علت آن به تغییر ساختار مولکولی نشاسته و آشکار شدن مارپیچ دوگانه وتخریب مولکول‌های آمیلوپکتین نسبت داده می‌شود در واقع با هیدرولیز پیوندهای گلیکوزیدی و دپلیمریزه‌شدن و کاهش وزن مولکولی زنجیره‌های نشاسته، ویسکوزیته سوسپانسیون حاصل از آن کاهش می‌یابد (۴۸). تغییر در منبع نشاسته و نوع امواج مورد استفاده نیز بر خصوصیات ریولوژیکی حاصل مؤثر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر زمان‌های مختلف اعمال تیمار نشاسته ذرت با امواج غیریونیزه‌کننده بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی آن انجام شد. طبق نتایج مربوط به آزمون‌های فیزیکو شیمیایی، با افزایش زمان اعمال تیمار با امواج فروسرخ، ماکروویو و نور لیزر، مقدار جذب آب و روغن، حلالیت و شفافیت نشاسته تیمارشده افزایش یافت. نشاسته ذرت به دلیل وجود کریستال‌های قوی، دمای ذوب و آنتالپی ژلاتینه‌شدن بالایی نشان داد و انرژی لازم برای ذوب کریستال‌ها در نمونه‌های تیمارشده در مقایسه با شاهد کمتر ارزیابی گردید. سوسپانسیون‌های نشاسته رفتار رقیق‌شوندگی با برش نشان دادند. با این وجود، شدت این رفتار جریان در نشاسته‌های تیمار شده کمتر از شاهد بود. نشاسته تیمارشده به مدت ۳۰ دقیقه با امواج ماکروویو از جنبه اغلب فاکتورهای مورد بررسی از سایر نمونه ها برتر ارزیابی شد. بهبود خصوصیات جذب روغن در این نمونه، با توجه به ویژگی‌های هیدروفیلی نشاسته، می‌تواند قابلیت کاربرد آن در تولید امولسیون‌ها و بهبود ویژگی‌های آنها را موجب گردد. افزایش قدرت جذب آب در این نشاسته نیز، امکان استفاده از آن در تولید محصولات فوری را فراهم می‌کند. بهبود شفافیت و وجود خصوصیات ویسکوالاستیک ضعیف،

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]

امکان استفاده از آن در فرآورده‌های قنادی مانند روکش‌های تزئینی در کیک‌ها را فراهم می‌کند. در مجموع نشاسته‌های اصلاح شده با اعمال امواج الکترومغناطیس، بسته به ویژگی‌های کیفی‌شان قابلیت کاربرد در صنایع و محصولات مختلف را دارند.

• References

1. Bashir K, Aggarwal M. Physicochemical, thermal and functional properties of gamma irradiated chickpea starch. Int. J. Biol. Macromol 2017; 97:426–433.
2. Miyazaki M, Van Hung P, Maeda T, Morita N. Recent advances in application of modified starches for breadmaking. Trends in food science & Technology 2006 Nov 1; 17(11): 591-9.
3. Fan Y, Picchioni F. Modification of starch: A review on the application of “green” solvents and controlled functionalization. Carbohydrate Polymers 2020; 241: 116350.
4. Park SH, Na Y, Kim J. Properties and applications of starch modifying enzymes for use in the baking industry. Food Science and Biotechnology 2018; 27: 299–312.
5. Fonseca LM, El Halal SLM, Dias ARG, Elessandra da Rosa Zavareze. Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. Carbohydrate Polymers 2021; 274: 118665.
6. Bertolini AC, Mestres C, Colonna P, Raffi J. Free radical formation in UV-and gamma-irradiated cassava starch. Carbohydrate Polymers 2001; 44(3): 269-271.
7. Pietrzyk S, Fortuna T, Łabanowska M, Juszczak L, Gałkowska D, Kurdziel M, et al. The effect of amylose content and level of oxidation on the structural changes of acetylated corn starch and generation of free radicals. Food chemistry 2018; 240: 259-267.
8. Semwal J, Meera MS. Infrared radiation: Impact on physicochemical and functional characteristics of grain starch. Starch-Stärke 2021 Mar; 73(3-4): 2000112.
9. Vladimirov YA, Osipov AN, Klebanov GI. Photobiological principles of therapeutic applications of laser radiation. Biochemistry (Moscow) 2004; 69: 81-90.
10. Khachatryan G, Krzeminska-Fiedorowicz L, Nowak E, Fiedorowicz M. Molecular structure and physicochemical properties of Hylon V and Hylon VII starches illuminated with linearly polarised visible light. LWT-Food Science and Technology 2014; 58(1): 256-262.
11. Zylema BJ, Grider JA, Gordon J, Davis EA. Model wheat starch systems heated by microwave irradiation and conduction with equalized heating times. Cereal Chemistry 1985; 62: 447–453.
12. Emami S, Meda V, Tyler RT. Effect of micronisation and electromagnetic radiation on physical and mechanical properties of Canadian barley. International journal of food science & technology 2011; 46(2): 421-428.
13. Oyeyinka SA, Akintayo OA, Adebo OA, Kayitesi E, Njobeh PB. A review on the physicochemical properties of starches modified by microwave alone and in combination with other methods. International Journal of Biological Macromolecules 2021 Apr 15; 176: 87-95.
14. Majzoubi M, Philosopher SR. The effect of microwave waves on the physicochemical properties ofcorn and oat starches. Iranian Food Science and Technology 2015; 199-209. [in persian]
15. Yi M, Tang X, Liang S, He R, Huang T, Lin Q, et al. Effect of microwave alone and microwave-assisted modification on the physicochemical properties of starch and its application in food. Food Chemistry 2024 Feb 27; 138841.
16. Glaring MA, Koch CB, Blennow A. Genotype-specific spatial distribution of starch molecules in the starch granule: a combined CLSM and SEM approach. Biomacromolecules 2006; 7(8): 2310-2320.
17. Ding Y, Luo F, Lin Q. Insights into the relations between the molecular structures and digestion properties of retrograded starch after ultrasonic treatment. Food chemistry 2019; 294: 248-259.
18. Ashwar BA, Gani A, Wani IA, Shah A, Masoodi FA, Saxena DC. Production of resistant starch from rice by dual autoclaving-retrogradation treatment: Invitro digestibility, thermal and structural characterization. Food Hydrocolloids 2016; 56: 108-117.
19. Ghasemi H, Abbasi H, Jihadi M. The method of starch, amylose and amylopectin content of three varieties of Iranian wheat (Alvand, Backcross Roshan, Sirvan) and the effect of physical (ultrasound waves) and chemical (epichlorohydrin) corrective treatments on their quality characteristics. Food science and nutrition 2002; 17(266): 41-54.
20. Aplevicz KS, Demiate IM. Caracterizacao de amidos de mandioca nativos e modificados e utilizacao em produtos panificados. Food Science and Technology 2007; 27: 478-484.
21. Pukkahuta C, Shobsngob S, Varavinit S. Effect of osmotic pressure on starch: New method of physical modification of starch. Starch-Stärke 2007; 59(2): 78-90.
22. Cao C, Shen M, Hu J, Qi J, Xie P, Zhou Y. Comparative study on the structure- properties relationships of native and debranched rice starch. CyTA-Journal of Food 2020; 18(1): 84-93
23. Joshi M, Aldred P, McKnight S, Panozzo JF, Kasapis S, Adhikari R, et al. Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. Carbohydrate polymers 2013; 92(2): 1484-1496.
24. Azaripour A, Abbasi H. Effect of type and amount of modified corn starches on qualitative properties of low-protein biscuits for phenylketonuria. Food Science and Nutrition 2020 Jan; 8(1): 281-90. [in persian]
25. Solaimani mehr S, Raftani Amiri Z, Esmaeilzadeh Kenari R, Sadeghi E. Effect of microwave irradiation on pesticides residues and physicochemical and microbial properties of dried apricots during storage time. Jornal Of Food Research (UNIVERSITY OF TABRIZ) 2020; 30(3): 151-167. [in Persian]
26. Chong WT, Uthumporn U, Karim AA, Cheng LH. The influence of ultrasound on the degree of oxidation of hypochlorite-oxidized corn starch. LWT-Food Science and Technology 2013; 50(2): 439-443.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]

27. Shah U, Gani A, Ashwar BA, Shah A, Wani IA, Masoodi FA. Effect of infrared and microwave radiations on properties of Indian Horse Chestnut starch. International Journal of Biological Macromolecules 2016; 84: 166-173.

28. Monroy Y, Rivero S, García MA. Microstructural and techno-functional properties of cassava starch modified by ultrasound. Ultrasonics sonochemistry 2018; 42: 795-804.

29. Majzoobi M, Radi M, Farahnaky A, Jamalian J, Tongtang T, Mesbahi G. Physicochemical properties of pre-gelatinized wheat starch produced by a twin drum drier. Journal of Agricultural Science and Technology 2011; 13(2): 193-202.

30. Laovachirasuwan P, Peerapattana J, Srijesdaruk V, Chitropas P, Otsuka M. The physicochemical properties of a spray dried glutinous rice starch biopolymer. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 2010; 78(1): 30-35.

31. Satmalawati EM, Pranoto Y, Marseno DW, Marsono Y. The physicochemical characteristics of cassava starch modified by ultrasonication. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020 December1; 980(1): 012030.

32. Bilbao-Sainz C, Butler M, Weaver T, Bent J. Wheat starch gelatinization under microwave irradiation and conduction heating. Carbohydrate Polymers 2007; 69(2): 224-232.

33. Niazi MBK, Zijlstra M, Broekhuis AA. Spray drying thermoplastic starch formulations: Need for processing aids and plasticizers. European Polymer Journal 2013; 49(7): 1861-1870.

34. Vatanasuchart N, Naivikul O, Charoenrein S, Sriroth K. Molecular properties of cassava starch modified with different UV irradiations to enhance baking expansion. Carbohydrate Polymers 2005; 61(1): 80-87.

35. Ahtati A, Shahidi F, Kochaki A, Razavi MA, Majzoubi M. Investigating the structural, morphological, structural and thermal characteristics of white sorghum starch. Iranian Food Science and Technology June 2016; 13(2): 393- 404. [in Persian]

36. Maqsoodlou Y, Filofasi, Rostamabadi H. Investigating the effect of ultrasound process on the physicochemical and functional properties of oats. Journal of food processing and preservation 2020 July 22; 12 (1): 60-145.

37. Haaj SB, Magnin A, Petrier C, Boufi S. Starch nanoparticles formation via high power ultrasonication. Carbohydrate polymers 2013; 92(2): 1625-1632.

38. Koo SH, Lee KY, Lee HG. Effect of cross-linking on the physicochemical and physiological properties of corn starch. Food Hydrocolloids 2010; 24: 619-625.

39. Wongsagonsup R, Pujchakarn N, Jitrakbumrung S, Chaiwat W, Fuongfuchat A., Varavinit S, et al. Effect of cross-linking on physicochemical properties of tapioca starch and its application in soup product. Carbohydrate Polymers 2014; 101: 656-665.

40. Yang QY, Lu XX, Chen YZ, Luo ZG, Xiao ZG. Fine structure, crystalline and physicochemical properties of waxy corn starch treated by ultrasound irradiation. Ultrasonics Sonochemistry 2019; 51: 350-358.

41. Palav T, Seetharaman K. Impact of microwave heating on the physicochemical properties of a starch–water model system. Carbohydrate Polymers 2007; 67: 596-604.

42. Jiang Q, Xu X, Jin Z, Tian Y, Hu X, Bai Y. Physico-chemical properties of rice starch gels: Effect of different heat treatments. Journal of Food Engineering 2011; 107: 353-357.

43. Chan HT, Fazilah A, Bhat R, Leh CP, Karim AA. Effect of deproteinization on degree of oxidation of ozonated starch. Food Hydrocolloids 2012; 26(2): 339-343.

44. Junior MM, Castanha N, Dos Anjos CB, Augusto PE, Sarmento SB. Ozone technology as an alternative to fermentative processes to improve the oven-expansion properties of cassava starch. Food Research International 2019 Sep1; 123: 56-63.

45. Wang S, Hu X, Wang Z, Bao Q, Zhou B, Li T, et al. Preparation and characterization of highly lipophilic modified potato starch by ultrasound and freeze-thaw treatments. Ultrasonics Sonochemistry 2020; 64: 105054.

46. Wang M, Wu Y, Liu Y, Ouyang J. Effect of ultrasonic and microwave dual-treatment on the physicochemical properties of chestnut starch. Polymers 2020; 12(8): 1718.

47. Tavallaei S, Harirchi S, Etemadifar Z, Taherzadeh M. Lignocellulosic Biomass: Renewable Sources for Bioethanol Production. Biological Journal of Microorganism 2022; 11(43): 71-95.

48. Chen X, Liu Y, Xu Z, Zhang C, Liu X, Sui Z, et al. Microwave irradiation alters the rheological properties and molecular structure of hull-less barley starch. Food Hydrocolloids 2021; 120: 106821.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]

Effects of Microwave, Infrared and Laser Beams on Physicochemical and Functional Characteristics of Cornstarch

VaezM [1], Abbasi H[2]*

1- Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

*2-*Corresponding author: Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. Email: H.abbasi@Khuisf.ac.ir*

Received 20 Apr, 2024 **Accepted 27 Jul, 2024**

Background and Objectives: Modifying characteristics of starch to change or improve its quality characteristics was carried out using various methods including irradiation with electromagnetic waves in the present study.

Materials & Methods: Aiming use of a safe method to modify the functional characteristics of starch, effects of microwave, infrared and laser beams on characteristics of cornstarch were investigated for 15 and 30 min at 60 ºC. Water and oil absorption, transparency, swelling power, solubility, carbonyl and carboxyl contents, thermal characteristics and rheology of the treated samples were investigated as well.

Results: The waves included significant effects on changes in the quality characteristics of the cornstarch, especially their functional characteristics. Using waves and increasing its duration by changing the structure of starch and intermolecular bonds increased solubility and water and oil absorption powers and decreased transparency. The highest solubility and absorptions of water and oil were observed in treated starch with microwave for 30 min and the highest swelling power was observed in starch treated with laser for 15 min. Using waves with increased oxidation caused increases in carbonyl and carboxyl contents with various intensities in the treated starches. Starting temperature of the gelatinization of the treated samples increased and temperature of the end of the gelatinization decreased and therefore melting temperature of the crystals and the necessary energy in the treated samples were estimated lower, compared to the control. Starch suspension showed shear thinning behaviors and consistency coefficient and flow index of the control sample were higher and lower than those of the treated samples, respectively.

Conclusion: Selection of the appropriate treatment conditions varies depending on the desired characteristics of starch. The treated starch for 30 min with microwaves was reported superior to other samples for the most functional characteristics.

Keywords: Cornstarch, Infrared, Microwave, Laser beams, Functional characteristics, Differential scanning calorimetry

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.61186/nsft.19.3.67]