بررسی محتوی نشاسته، آمیلوز و آمیلوپکتین سه واریته گندم ایرانی (الوند، بک‌کراس روشن، سیروان) و تأثیر اعمال تیمار اصلاحی فیزیکی (امواج اولتراسوند) و شیمیایی (اپی کلروهیدرین) بر ویژگی‌های کیفی آنها

هاجر قاسمی[a]، هاجر عباسی[b*]، مهشید جهادی[b]

[a] *دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران*

[b] *استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۸/۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۳/۶

چکیده

مقدمه: نشاسته و مشتقات آن کاربردهای متنوعی در صنعت غذا و صنایع دیگر مانند داروسازی دارند.تغییر ویژگی‌های ساختاری نشاسته، تأثیر چمشگیری بر خصوصیات فیزیکوشمیایی و کاربردی آن‌ها در صنعت دارد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش،پس ازتعیین *محتوی نشاسته، آمیلوز و آمیلوپکتین* سه واریته گندم ایرانی (الوند، بک‌کراس روشن و سیروان)، اصلاح ویژگی‌های آنها با ایجاد اتصالات عرضی توسط ماده شیمیایی اپی‌کلروهیدرین *در سه سطح (*v/w ٪۰/۵، ٪۰/۳، ٪۰/۱*) و اصلاح فیزیکی آنها با استفاده از امواج اولتراسونیک در فرکانس۲۵ کیلوهرتزدردو زمان ۱۵ و۳۰ دقیقه و در دمای* ۲۰°C *صورت گرفت. ویژگیهای کیفی نمونه‌ها مانند* شفافیت خمیر، ظرفیت نگهداری آب، ویسکوزیته، حلالیت، قدرت تورم و پایداری در برابر انجماد و رفع انجماد (میزان سینرسیس) نمونه‌های نشاسته شاهد و اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی- آزمون فاکتوریل مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و میانگین ها برمبنی حداقل تفاوت معنی‌دار بایکدیگر مقایسهٔ شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد حلالیت، قدرت تورم، شفافیت خمیر، ظرفیت نگهداری آب نشاسته حاصل از تیمارهای فیزیکی هر سه واریته نسبت به گرانول‌های نشاسته معمولی افزایش می‌یابد. درحالیکه اصلاح نشاسته با اپی‌کلروهیدرین منجر به کاهش حلالیت و قدرت تورم نشاسته‌های تیمار شده می‌شود. تغییرات شفافیت خمیر و ظرفیت نگهداری آب نمونه‌های اصلاح شده شیمیایی در مقایسه با شاهد در واریته‌های مختلف متفاوت است. ویسکوزیته تمام نمونه‌های تغییریافته در مقایسه با شاهد، کاهش و میزان سینرسیس آنها افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: اعمال تیمارهای اصلاحی در تغییر بسیاری از خصوصیات کیفی نشاسته مؤثر است و تأثیرپذیری نشاسته ارقام مختلف نسبت به تیمارهای فیزیکی و شیمیایی به علت متفاوت بودن خصوصیات ژنتیکی نشاسته در آنها باهم متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: امواج اولتراسونیک، اتصالات عرضی،خواص فیزیکوشیمیایی، نشاسته اصلاح شده

[*] نویسنده مسئول مکاتبات email: H.Abbasi@Khuisf.ac.ir

مقدمه

گندم یکی از قدیمی‌ترین و پرارزش‌ترین محصولات کشاورزی است که در تأمین کالری مورد نیاز بدن نقش مهمی دارد. مهم‌ترین کربوهیدرات تشکیل دهنده گندم نشاسته است. مقدار این ماده در ۱۰۰ گرم ماده خشک گندم در حدود ۶۸/۴-۶۷/۲ گرم تخمین زده شده است. گرانول‌های نشاسته گندم به شکل عدسی و به قطر ۳۸-۲ میکرون هستند (وزیری، ۱۳۸۸). نشاسته دارای یکی از پیچیده‌ترین ساختارهای شیمیایی در بین مولکول‌های موجود در طبیعت و بسیار شبیه گلیکوژن است. پلیمرهای طبیعی نشاسته و سلولز در گیاهان و گلیکوژن در جانوران دارای ساختارهای پلی‌ساکاریدی بر پایهٔ گلوکز هستند.اختلاف در چگونگی اتصال واحدهای گلوکز تأثیر به سزایی در رفتار و خصوصیات این پلیمرها دارد (Eliasson, 2004).

اهمیت اقتصادی نشاسته درصنایع غذایی بر کسی پوشیده نیست. نشاسته یکی از فراوان ترین پلیمرهای زیستی می‌باشد و از منابع گیاهی مختلف مانند سیب زمینی، ذرت، گندم و برنج استخراج می‌شود. خصوصیات فیزیکی و خواص عملکردی نشاسته استفادهٔ این ماده در بخش‌های مختلف صنعت غذا را بسیار معمول کرده است. گاهی با یک تغییر در ساختار نشاسته می‌توان خواص عملکردی آن را در جهت اهداف مورد نظر بهبود بخشید و به خصوصیات ویژه‌ای در محصول مورد نظر دست یافت (Majzoobi *et al*., 2011). تاکنون روش‌های بسیاری جهت تغییر خصوصیات اولیه نشاسته مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های شیمیایی از قدیمی‌ترین و متداول-ترین روش‌های اصلاح نشاسته به‌شمار می‌روند. اصلاح شیمیایی در سه حالت سوسپانسیون، خمیر و جامد صورت می‌گیرد. در این شرایط گروه‌های شیمیایی ویژه نظیر گروه‌های استری، یون‌های مانند استیل و غیره روی مولکول‌های نشاسته قرار می‌گیرند و باعث ایجاد خواص جدیدی در آن می‌گردد. از جمله تغییراتی که به روش شیمیایی در نشاسته صورت می‌گیرند عبارتند از ایجاد نشاسته دارای اتصالات عرضی، نشاستهٔ جایگزین شده، نشاستهٔ استاته، نشاستهٔ اکتنیل سوکسینیله، نشاستهٔ فسفاته، نشاستهٔ هیدروکسی پروپیله، نشاسته‌های کاتیونی و آمفوتری، نشاستهٔ هیدرولیز اسیدی، نشاستهٔ اکسیدشده. یکی از روش‌های اصلاح نشاسته، ایجاد اتصالات عرضی است که این نوع اصلاح شیمیایی یکی از اصلی‌ترین و پرکاربردترین روش‌های اصلاح نشاسته را شامل می‌شود.در این نوع نشاسته با استفاده از مواد شیمیایی دارای گروه‌های دو عاملی، ازجمله اپی کلروهیدرون دو شاخه از آمیلوز و آمیلوپکتین را توسط پیوندهای استری به هم متصل می‌کنند و به این ترتیب مولکول‌ها و شاخه‌های آمیلوز و آمیلوپکتین در کنار هم نگه داشته می‌شوند و در نتیجه این فرایند باعث تقویت و افزایش یکپارچگی ساختار گرانول نشاسته می‌شود. قدرت بالای تحمل این نوع از نشاسته‌ها به حرارت، شرایط اسیدی، تنش‌های مکانیکی و رتروگراداسیون از ویژگی‌های آنهاست (Hirsch & Kokini, 2002). این نشاسته‌ها در تولید انواع سوپ، غذای کودک، انواع پای، نان، پودینگ و غذاهایی که اتوکلاو می‌شوند مانند محصولات کنسروی، قابل استفاده هستند. با توجه به عدم افزایش ویسکوزیته این نوع نشاسته‌ها در دماهای پائین و افزایش ویسکوزیته آن‌ها در دمای استریلیزاسیون، بر ویژگی‌های انتقال حرارت سیال تأثیر مثبت و در نهایت ویسکوزیتهٔ مناسبی را در محصول ایجاد می‌کند (Woo & Seib, 2002).

به دلیل عدم مصرف مواد شیمیایی نامناسب برای سلامتی انسان و محیطزیست، امروزه استفاده از فرایندهای فیزیکی برای اصلاح ساختار نشاسته بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با پیشرفت فن‌آوری‌های نوین در این زمینه، روش‌های جدیدتری برای اصلاح نشاسته و افزایش تنوع در ویژگی‌های کیفی آن معرفی شده است. یکی از این روش‌ها استفاده از امواج اولتراسونیک است. امواج اولتراسونیک با انرژی بالا در فرآوری مواد غذایی ازجمله عصاره‌گیری و استخراج مواد موثرگیاهان، هموژناسیون، کریستالیزاسیون (تشکیل کریستال‌های کوچک‌تر یخ در هنگام انجماد)، فیلتراسیون، جداسازی، تغییر ویسکوزیته، غیر فعال کردن آنزیم‌ها، ایجاد تغییر شکل در ساختار مواد و تولید رادیکال های آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد (Jambrak *et al*., 2010). به واسطه ایجاد پدیده کاویتاسیون ناشی از امواج اولتراسوند، ساختار گرانول‌های نشاسته تغییر می‌یابند. استفاده از امواج اولتراسونیک در تغییر ویژگی‌های نشاسته نسبت به روش‌های متداول اصلاح، انرژی کمتری مصرف می‌کند و امکان اصلاح ویژگی‌های نشاسته بدون افزایش

دما وجود دارد (Chong *et al*., 2013). با توجه به اینکه نشاسته گندم، نشاسته غالب مورد مصرف در کشور ماست، هدف اصلی انجام این پژوهش، ضمن بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی نشاسته سه واریته رایج گندم ایرانی و ارزیابی تفاوت میان آنها، بررسی تأثیر عمل‌آوری با امواج اولتراسونیک در زمان‌های مختلف و مادهٔ شیمیایی اپی‌کلروهیدرین با غلظت‌های متفاوت بر ویژگی‌های کیفی و چگونگی تأثیرپذیری نشاسته ارقام مختلف از تیمارهای اصلاحی مورد مطالعه است.

مواد و روش‌ها

- تهیه نمونه‌های اولیه

سه ژنوتیپ گندم اصلاح شده مورد نظر ایرانی به نام‌های الوند، بک کراس روشن و سیروان از مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان خریداری شد.

- استخراج نشاسته از آرد گندم

پس از تهیه آرد سبوس‌گیری شده (۹۳٪ استحصال) با استفاده از آسیاب والسی از هر یک از سه واریته گندم مورد نظر، مراحل استخراج نشاسته از نمونه‌ها صورت گرفت. به این منظور، آرد تولید شده به نسبت (۱:۳ W/W) با سود ۰/۲۵٪ مخلوط و به مدت یک ساعت به‌وسیلهٔ همزن مغناطیسی در دمای اتاق همزده شد. سبوس موجود در سوسپانسیون با پارچهٔ صافی جدا و سوسپانسیون حاصل به مدت ۵ دقیقه با ۳۵۰۰g سانتریفوژ شد. پس ازسانتریفوژ کردن، لایه فوقانی حذف و رسوب حاوی نشاسته با آب مقطر شسته شد. سوسپانسیون حاوی نشاسته چندین بار سانتریفوژ شد تا لایه پروتئین آن به طور کامل حذف گردد. پس از حذف پروتئین، سوسپانسیون نشاسته با اسید کلریدریک ۱ مولار خنثی گردید. نهایتا سوسپانسیون نشاسته بار دیگر سانتریفوژ گردید (Ackar *et al*., 2010). کیک نشاسته حاصل در سینی‌های فلزی به صورت یکنواخت توزیع و در آون ۴۰ °C در مجاورت جریان هوا تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید (Díaz *et al*., 2016).

- اندازه‌گیری آمیلوز و آمیلوپکتین نشاستهٔ استخراج شده

اندازه‌گیری آمیلوز و آمیلوپکتین نشاسته طبق روش (Hu *et al*., 2010) انجام گردید. به این منظور ۲ میلی‌لیتر آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌گرم آرد اضافه شد و سپس نشاسته با ۲ میلی‌لیتر سود ۲ مولار استخراج شد. بعد از نگهداری سوسپانسیون به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق، نشاسته با ۴ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۱ مولار خنثی و با آب مقطر با نسبت ۱:۳۰ رقیق گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر محلول ید-پتاسیم یدید با نسبت (۰/۳٪I،۱/۵٪ KI) به ۰/۵ میلی لیتر از محلول نشاسته افزوده و پس از ۱۰ دقیقه میزان جذب نمونه در طول موج ۵۳۵ nm و۶۲۰ با اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری گردید. محتوی آمیلوز از رابطه ۱ محاسبه گردید.

رابطه (۱)

$$\text{محتوی آمیلوز} = ۱/۴۹۳۵ \times \text{pxe}^{(\text{نسبت جذب} ۶۲۰/۵۳۵ * ۲/۷۰۲۹)}$$

محتوی آمیلوپکتین نمونه‌ها از تفاضل میزان آمیلوز از کل نشاسته حاصل آمد.

- تغییر خصوصیات نشاسته با استفاده از اپی‌کلروهیدرین

به منظور تغییر ویژگی‌های نشاسته در روش شیمیایی، سوسپانسیونی از ۱۰۰گرم نشاستهٔ گندم در ۱۵۰ میلی‌لیتر سود ۰/۵٪ تهیه شد. اپی‌کلروهیدرین به نسبت (v/w ۰/۵٪، ۰/۳٪، ۰/۱٪) به آرامی به سوسپانسیون نشاسته و سود افزوده و به مدت ۵ ساعت در دمای اتاق با استفاده از همزن مغناطیسی مخلوط گردید. واکنش با اضافه کردن اسید کلریدریک ۱ مولار و رساندن pH به ۵ متوقف شد. سوسپانسیون نشاسته به مدت ۵ دقیقه با ۳۵۰۰g سانتریفوژ و سپس با آب مقطر شسته شد. مراحل شستشو با آب مقطر و سانتریفوژ کردن تا زمانی که هیچ تودهٔ ژلاتینی بر سطح نشاسته تشکیل نشود، تکرار گردید. نشاسته حاصل با سود ۱ مولار خنثی و مجددا سانتریفوژ و خشک گردید (Ackar *et al*., 2010).

- تغییر خصوصیات نشاسته با استفاده از امواج اولتراسونیک

بدین منظور محلول‌های ۳۰٪ نشاسته در آب مقطر تهیه و در دو زمان ۱۵ و ۳۰ دقیقه در دمای ۲۰ °C در فرکانس ۲۸KHz، در حمام اولتراسوند قرار داده شدند.

سپس نمونه‌ها سانتریفوژ و نشاسته‌های حاصل خشک شدند (Sujka & Jamroz., 2013).

- تعیین میزان شفافیت خمیر نشاسته

در این آزمون با اختلاط ۵۰ میلی‌گرم نشاسته و ۵ میلی‌لیتر آب، سوسپانسیون ۱٪ نشاسته تهیه گردید. نمونه‌ها در لوله‌های درپوش‌دار قرار گرفتند و در دمای $95^{\circ}C$ به مدت ۳۰ دقیقه با فواصل اختلاط ۵ دقیقه به صورت بن‌ماری حرارت داده شدند. سپس لوله‌های محتوی نشاسته در دمای اتاق سرد و درصد عبور نور از آنها به‌وسیلهٔ اسپکتوفتومتر درطول موج ۶۵۰ nm اندازه‌گیری شد (Sujka & Jamroz., 2013).

- تعیین میزان حلالیت و قدرت تورم

به این منظور سوسپانسیون ۱٪ نشاسته تهیه و در حمام آب گرم در دماهای $95^{\circ}C$، ۸۵، ۷۵، ۶۵ به مدت ۳۰ دقیقه همراه با اختلاط حرارت‌دهی شدند. پس از سرد شدن نمونه‌ها تا دمای $25^{\circ}C$، سانتریفوژ کردن آنها به مدت ۳۰ دقیقه با ۴۵۰۰g صورت گرفت. ماده خشک محلول رویی و ژل حاصل با خشکاندن آنها در آون $105^{\circ}C$ حاصل شد و حلالیت و قدرت تورم نشاسته به‌ترتیب با استفاده از روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید (Ackar *et al*., 2010).

رابطه ۲

$$\text{حلالیت } \% = \frac{\text{وزن ماده خشک محلول رویی}}{\text{وزن ماده خشک سوسپانسیون}} \times 100$$

رابطه ۳

$$\text{قدرت تورم} = \frac{\text{(گرم) وزن ژل مرطوب}}{\text{(گرم) وزن ماده خشک ژل}} \times 100$$

- اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب

به ۰/۵گرم از نمونه‌های تیمار شده نشاسته، ۵ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و در هر ۵ دقیقه ۱۵ ثانیه با دستگاه ورتکس مخلوط شد. پس از ۴۰ دقیقه، نمونه به مدت ۱۰ دقیقه با ۲۵۰۰g سانتریفوژ و مایع رویی و رسوب حاصل توزین و در $100^{\circ}C$ خشک شدند. ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها مطابق رابطه ۴ زیرمحاسبه گردید (Ozturk *et al*., 2009).

رابطه ۴

$$\text{نگهداری ظرفیت آب} = \frac{\text{وزن نشاسته خشک شده} - \text{وزن نشاسته مرطوب}}{\text{وزن کل نمونه}} \times 100$$

- تعیین ویسکوزیته سوسپانسیون نشاسته

به منظور اندازه‌گیری ویسکوزیته، ۴۵ گرم نشاسته را با ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط و سپس سوسپانسیون نشاسته در حمام آب گرم در دمای $95^{\circ}C$ به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد. نشاستهٔ ژلاتینه شده به دمای $50^{\circ}C$ رسانده و میزان ویسکوزیتهٔ نمونه‌ها به‌وسیله ویسکومتر omrehT ekaaH ساخت آلمان با اسپیندل شماره ۳ اندازه‌گیری شد (Kang *et al*., 1999).

- اندازه‌گیری میزان سینرسیس

به این منظور ابتدا سوسپانسیون ۵٪ از نشاسته تهیه و سپس در دمای ثابت ($60^{\circ}C$) به‌وسیله همزن مغناطیسی با دور ۲۰۰rpm برای ۱ ساعت حرارت‌دهی گردید. ۲ گرم از خمیر نشاسته حاصل در فالکون ریخته شد و در معرض چرخهٔ انجماد و ذوب قرار داده شد، انجماد به مدت ۲۲ ساعت در $-18^{\circ}C$ و ذوب در $30^{\circ}C$ انجام شد، چهار سیکل انجماد و ذوب تکرار شد و پس از هر سیکل، ۳۰ دقیقه نمونه‌ها با ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. پس از هر سیکل میزان آب جدا شده و میزان سینرسیس طبق رابطه ۵ محاسبه گردید.

رابطه ۵

$$\text{سینرسیس} = \frac{\text{(گرم) وزن آب جدا شده در هر سیکل}}{\text{(گرم) کل وزن نمونه}} \times 100$$

- تجزیه و تحلیل آماری

طراحی آزمایش این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی و آزمایش فاکتوریل با سه تکرار صورت گرفت و تجزیهٔ آماری داده‌ها با نرم افزار SSPS۱۸ انجام شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها توسط آزمون DSL و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel ۲۰۱۳ صورت گرفت.

یافته‌ها

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد محتوی نشاسته، آمیلوپکتین و آمیلوز در سه واریتهٔ الوند، بک‌کراس روشن و سیروان در سطح احتمال ۰/۰۰۱ دارای اختلاف معنی‌دار هستند (جدول۱). در این میان بیشترین میزان نشاسته به واریتهٔ الوند و کمترین میزان به واریتهٔ بک‌کراس روشن تعلق دارد. همچنین به علت متفاوت بودن خصوصیات ژنتیکی سه واریته مورد بررسی، مشاهده می‌شود که میزان آمیلوز در واریتهٔ الوند بیشترین و در واریتهٔ سیروان کمترین مقدار است (جدول ۲).

پس از اعمال تیمارهای شیمیایی و فیزیکی بر نشاسته سه واریته گندم مورد نظر، ویژگی‌های آنها مورد بررسی و مقایسه آماری قرار گرفت.

نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و روش اصلاح بر ویژگی‌های کیفی نشاسته در جدول ۳ آورده شده است. نتایج ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها نشان می‌دهد اثر نوع رقم، روش اصلاح و اثر متقابل آنها بر ظرفیت نگهداری آب در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار است.همان‌طور که جدول ۴ ملاحظه می‌شود در میان سه رقم گندم مورد بررسی، ظرفیت نگهداری آب رقم الوند در مقایسه با دو واریته دیگر بیشتر است، درحالیکه دو رقم بک کراس روشن و سیروان از این حیث اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر روش اصلاح بر ظرفیت نگهداری آب نشاسته نیز حاکی از آن است که اعمال تیمار شیمیایی تغیر چندانی در ظرفیت نگهداری آب نشاسته ایجاد نمی‌کند، درحالی‌که اعمال تیمار فیزیکی و افزایش مدت زمان آن موجب افزایش معنی‌دار ظرفیت نگهداری آب نشاسته می شود (جدول ۵). بررسی اثر متقابل رقم و روش اصلاح نشان می‌دهد که این روند افزایشی در تک تک ارقام مورد بررسی مشاهده می شود (شکل الف-۱).

بررسی شفافیت خمیر نشاسته حاکی از آن است که اثر نوع رقم، روش اصلاح و اثر متقابل آنها بر این پارامتر در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین بیانگر اختلاف معنی‌دار میان هر سه رقم مورد بررسی است. بیشترین میزان شفافیت خمیر به نشاسته مستخرج از رقم بک کراس روشن و کمترین به نشاسته واریتهٔ سیروان تعلق دارد (جدول ۴).

بررسی اثر اصلی تیمارها نشان می‌دهد که اعمال تیمارهای اصلاحی موجب افزایش شفافیت خمیر نشاسته می‌شود. خصوصا بهبود شفافیت در نشاسته های تیمار شده با روش فیزیکی بیشتر است و با افزایش مدت زمان تیمار فیزیکی نیز افزایش می‌یابد (جدول ۵). اثر متقابل دو متغیر رقم و تیمار در شکل ب-۱ آورده شده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر رقم بر محتوی نشاسته، آمیلوپکتین و آمیلوز گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		نشاسته	آمیلوپکتین	آمیلوز
رقم	۲	۱/۴۴***	۲۵/۸۵***	۲۵/۸۵***
خطا	۶	۰/۰۰۶	۰/۵۸	۰/۵۸

***: معنی‌دارشدن در سطح احتمال ۰/۰۰۱ را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقایسه میانگین محتوی نشاسته، آمیلوپکتین و آمیلوز در ارقام گندم

نوع رقم	نشاسته	آمیلوپکتین	آمیلوز
		(٪)	
الوند	۶۰/۴^{a}	۷۴/۱۲^{c}	۲۵/۸۸^{a}
بک کراس روشن	۵۰/۷^{c}	۷۷/۸۸^{b}	۲۲/۱۲^{b}
سیروان	۶۰/۰۸^{b}	۷۹/۹۰^{a}	۲۰/۱۰^{c}
LSD	۰/۱۶	۱/۵۲	۱/۵۲

در هر ستون میانگین‌ها دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر متغیرهای پژوهش بر ویژگی‌های کیفی نشاسته

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات حلالیت				ویسکوزیته (cP)	شفافیت	ظرفیت نگهداری آب (٪)	قدرت تورم میانگین مربعات(g/g)				میانگین مربعات سینرسیس (٪)			
		۹۵°C	۸۵°C	۷۵°C	٦٥°C				۹۵°C	۸۵°C	۷۵°C	٦٥ °C	چهارم	سوم	دوم	اول
رقم	۲	۸۹/۶۷***	۵۹/۵۰***	۱۵۰/۶۵***	۶۵/۰۳***	۵۲۰۷/۸۱***	۵۹/۵۰***	۱۷۸۱/۳۰***	۰/۲۵***	۰/۶۹**	۹/۱۰***	ns۰/۲۶	۱۳۸۴/۳۸***	۱۳۸۴/۳۸***	۱۴۷۷/۶۱***	۱۴۹۴/۹۷***
روش‌اصلاح	۵	۱۹/۲۰***	۳۲/۹۸***	۳۹/۷۹***	۱۰۹/۱۷***	۹۶۳۶۲/۰۳***	۳۲/۹۸***	۷۲۷/۴۰***	۰/۸۲***	۲/۸۴***	۵/۰۰***	۸/۷۷***	۷۵۷/۸۱***	۷۵۷/۸۱***	۹۳۴/۷۴***	۱۳۳۶/۴۱***
رقم × روش اصلاح	۱۰	۲/۰۶***	۱/۳۰***	۲/۷۰***	۳/۲۰***	۳۶۰۱۷۵***	۱/۳۰***	۵۴۴/۰۷***	۰/۱۰***	ns۰/۲۵	۰/۴۹***	۰/۵۵***	۲۶۰/۲۴***	۲۶۰/۲۴***	۲۴۶/۵۰***	۲۸۳/۱۷***
خطا	۳۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۵۹	۱/۱۰	۱۶/۱۸	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۷۰	۰/۹۴

جدول ٤- مقایسه میانگین تأثیر ارقام گندم بر ویژگی‌های کیفی نشاسته اصلاح شده

ارقام	حلالیت در دماهای (٪)				ویسکوزیته (cP)	شفافیت	ظرفیت نگهداری آب (٪)	قدرت تورم (g/g)				سینرسیس (٪)			
	۹۵°C	۸۵°C	۷۵°C	٦٥°C				۹۵°C	۸۵°C	۷۵°C	٦٥ °C	اول	دوم	سوم	چهارم
الوند	۵/۶۸ c	۶/۹۱ c	۸/۱۳ c	۱۲/۶۸ b	۲۸۴/۲۵ a	۷/۹۶ b	۱۳۹/۶۷ a	۲/۴۶ b	۵/۸۴ b	۶/۳۳ c	۸/۷۳ ab	۱۰/۶۴ c	۱۲/۷۹ c	۱۶/۳۳ c	۲۱/۲۷ c
بک کراس روشن	۶/۱۷ b	۷/۶۳ b	۹/۱۳ b	۱۱/۹۱ c	۲۵۰/۹۰ c	۹/۲۸ a	۱۲۱/۵۴ b	۲/۶۸ a	۶/۱۳ a	۷/۰۸ b	۸/۸۹ a	۱۸/۹۰ b	۲۳/۵۸ b	۲۸/۵۵ b	۳۳/۴۱ b
سیروان	۹/۷۷ a	۱۰/۳۶ a	۱۳/۵۶ a	۱۵/۵۲ A	۲۷۳/۳۹ b	۷/۴۵ c	۱۲۳/۵۲ b	۲/۶۴ a	۵/۷۵ b	۷/۷۴a	۸/۶۶ b	۲۸/۱۷ a	۳۰/۸۰ a	۳۴/۱۴ a	۳۵/۴۹ a
LSD	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۵۲	۰/۴۷	۲/۷۲	۰/۱۱	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۶۶	۰/۷۰

در هر ستون میانگین‌ها دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر روش اصلاح نشاسته بر ویژگی‌های کیفی نشاسته حاصل

روش اصلاح نشاسته	حلالیت (٪)				ویسکوزیته (cP)	شفافیت	ظرفیت نگهداری آب (٪)	قدرت تورم (g/g)				سینرسیس (٪)			
	۶۵°C	۷۵°C	۸۵°C	۹۵°C				۶۵ °C	۷۵°C	۸۵°C	۹۵°C	اول	دوم	سوم	چهارم
شاهد	۷/۲۱ c	۸/۵۶ c	۱۰/۸۷ c	۱۵/۳۳ c	۳۸۳/۴۴ a	۴/۸۷ e	۱۲۱/۴۴ c	۲/۶۹ cb	۶/۰۰ bc	۷/۱۵ c	۹/۰۲ c	۱۱/۳۳ e	۱۳/۸۲ e	۱۶/۴۰ e	۱۹/۲۴ e
۰/۱ درصد اپی-کلروهیدرین	۷/۳۳ c	۸/۵۲ c	۱۰/۰۳ cd	۱۲/۴۰ d	۳۵۱/۷۴ b	۵/۹۱ d	۱۲۳/۳۵ c	۲/۵۸ c	۵/۷۸ dc	۶/۸۷ d	۸/۴۸ d	۱۱/۸۸ e	۱۴/۵۱ ed	۱۸/۵۱ d	۲۴/۱۷ d
۰/۳ درصد اپی-کلروهیدرین	۶/۴۱ d	۷/۲۶ d	۸/۱۶ e	۱۰/۵۶ e	۳۵۲/۸۳ d	۷/۸۰ c	۱۲۳/۱۱ c	۲/۳۹ d	۵/۶۱ d	۶/۴۹ e	۷/۸۶ e	۲۸/۷۸ b	۳۲/۲۷ b	۳۶/۷۷ b	۴۲/۷۶ b
۰/۵ درصد اپی-کلروهیدرین	۴/۹۲ e	۵/۲۰ e	۷/۶۲ f	۸/۴۳ f	۱۱۸/۲۱ f	۹/۵۱ b	۱۲۲/۰۰ c	۲/۱۳ e	۵/۰۹ e	۶/۰۷ f	۷/۵۳ f	۳۲/۵۰ a	۳۷/۶۶ a	۴۴/۴۷ a	۴۷/۲۰ a
۱۵ دقیقه اولترا سونیک	۸/۲۵ b	۹/۵۰ b	۱۱/۹۵ b	۱۶/۴۱ b	۳۲۶/۹۲ c	۸/۲۷ c	۱۳۵/۰۰ b	۲/۸۳ ab	۶/۲۷ b	۷/۵۹ b	۹/۵۸ b	۱۳/۴۲ d	۱۵/۳۰ d	۱۷/۰۲ e	۱۹/۸۹ e
۳۰ دقیقه اولترا سونیک	۹/۱۳ a	۱۰/۲۶ a	۱۲/۹۹ a	۱۷/۲۰ a	۱۸۳/۹۲ e	۱۳/۰۲ a	۱۴۳/۵۶ a	۲/۹۵ a	۶/۶۸ a	۸/۱۳ a	۱۰/۰۷ a	۱۷/۵۰ c	۲۰/۷۹ c	۲۴/۸۳ c	۲۷/۰۷ c
LSD	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۷۴	۰/۶۷	۳/۸۵	۰/۱۵	۰/۳۴	۰/۱۲	۰/۲۷	۰/۷۰	۰/۸۰	۰/۹۳	۰/۹۸

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

با توجه به نتایج بدست آمده تاثیر نوع رقم، روش اصلاح و اثر متقابل آنها بر ویسکوزیته نشاسته در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین اثر نوع رقم بر ویسکوزیته نشان می دهد که هر سه رقم از این حیث اختلاف معنی‌داری با هم دارند. بیشترین میزان ویسکوزیته ژل نشاسته متعلق به رقم الوند و کمترین آن به نشاسته مستخرج از رقم بک کراس روشن تعلق دارد (جدول ۴).

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر روش اصلاح نشاسته بر ویسکوزیته نشاستهٔ سه واریته الوند، بک‌کراسی روشن و سیروان که تحت تیمارهای مختلف فراوری قرار گرفته‌اند، نیز حاکی از آن است که اثر روش اصلاح نشاسته بر ویسکوزیته در تمام تیمارها با نشاسته معمولی اختلاف معنی‌دار دارند. با اعمال تیمارهای شیمیایی و فیزیکی مورد نظر در این پژوهش و افزایش شدت اعمال آنها، ویسکوزیته ژل نشاسته کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد (جدول ۵).

اثر متقابل دو متغیر در شکل ج-۱ نشان می‌دهد که کمترین میزان ویسکوزیته به نشاسته تیمار شده با ۰/۵٪ اپی‌کلروهیدرین واریتهٔ سیروان و بک کراس روشن تعلق دارد.

تاثیر هر یک از دو متغیر نوع رقم، روش اصلاح و اثر متقابل آنها بر حلالیت نشاسته در دماهای مختلف در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار است. نتایج مقایسات میانگین اثرات مستقل نشان می‌دهد که بیشترین حلالیت به نشاسته

مستخرج از رقم سیروان و کمترین آن به نشاسته مستخرج از رقم الوند اختصاص دارد. با توجه به محتوی آمیلوز و آمیلوپکتین نمونه‌ها، می‌توان دریافت که با افزایش محتوی آمیلوپکتین و کاهش آمیلوز حلالیت نشاسته افزایش می‌یابد (جدول ۴).

نتایج مقایسه تأثیر نوع تیمار بر میزان حلالیت نشاسته نشان می‌دهد که اثر اعمال تمام تیمارها بر میانگین درصد حلالیت نشاسته در دماهای مورد بررسی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. تنها نشاسته تیمار ۰/۱٪ اپی-کلروهیدرین با نشاسته معمولی تفاوت معنی‌داری از این نظر در دمای ۶۵ °C و ۷۵ نشان نمی‌دهند. در مجموع اعمال تیمارهای شیمیایی و افزایش غلظت اپی‌کلروهیدرین مورد استفاده موجب کاهش و اعمال تیمار فیزیکی و افزایش مدت زمان قرار گرفتن محلول نشاسته در مجاورت امواج اولتراسوند موجب افزایش حلالیت نشاسته می‌شود (جدول ۵). در همه نمونه‌هابا افزایش دما، به واسطه تاثیر حرارت در بهبود تحرک رشته‌ها، حلالیت نشاسته افزایش می‌یابد.

بررسی اثر متقابل متغیرها نشان می‌دهد که بیشترین میزان حلالیت به محلول نشاسته واریته سیروان که به مدت ۳۰ دقیقه در معرض امواج اولتراسوند قرار گرفته است و کمترین میزان حلالیت به نشاسته اصلاح شده با ۰/۵٪ اپی‌کلروهیدرین گندم بک‌کراس روشن تعلق دارد (شکل د-۱). شایان ذکر است که با توجه به نتایج نسبتا یکنواخت حلالیت نشاسته در دماهای متفاوت، به منظور کاهش تعداد گراف، تنها اثر متقابل حلالیت نشاسته در دمای ۹۵ درجه به عنوان نمونه آورده شده است.

مقایسه میانگین‌اثر مستقل ارقام گندم بر قدرت تورم نشاسته در دماهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش دما قدرت تورم نشاسته افزایش می‌یابد، ولی با توجه به ماهیت متفاوت گرانول‌ها و محتوی رشته‌های موجود در نشاسته ارقام مختلف، میزان افزایش تورم ناشی از افزایش دما در واریته‌های مختلف، متفاوت است (جدول ۴). همچنین مقایسهٔ میانگین اثر روش اصلاح بر این پارامتر در دماهای مختلف حاکی از آن است که اعمال تیمار شیمیایی و افزایش غلظت اپی‌کلروهیدرین مورد استفاده موجب کاهش و اعمال امواج اولتراسوند و افزایش مدت زمان آن بر محلول نشاسته موجب افزایش قدرت تورم گرانول‌های نشاسته می‌شود (جدول ۵). افزایش دما در همه تیمارها افزایش حلالیت محلول نشاسته را به همراه دارد. با توجه به نتایج اثر متقابل متغیرها، در هر سه واریته، کمترین میزان قدرت تورم به نشاسته‌های تیمار شده با ۰/۵٪ اپی-کلروهیدرین و بیشترین میزان به نمونه‌های قرار گرفته در معرض امواج اولتراسوند به مدت ۳۰ دقیقه تعلق دارد که این میزان در واریتهٔ سیروان بیش از سایر واریته‌ها است. گراف ه-۱ قدرت تورم نمونه‌ها در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد.

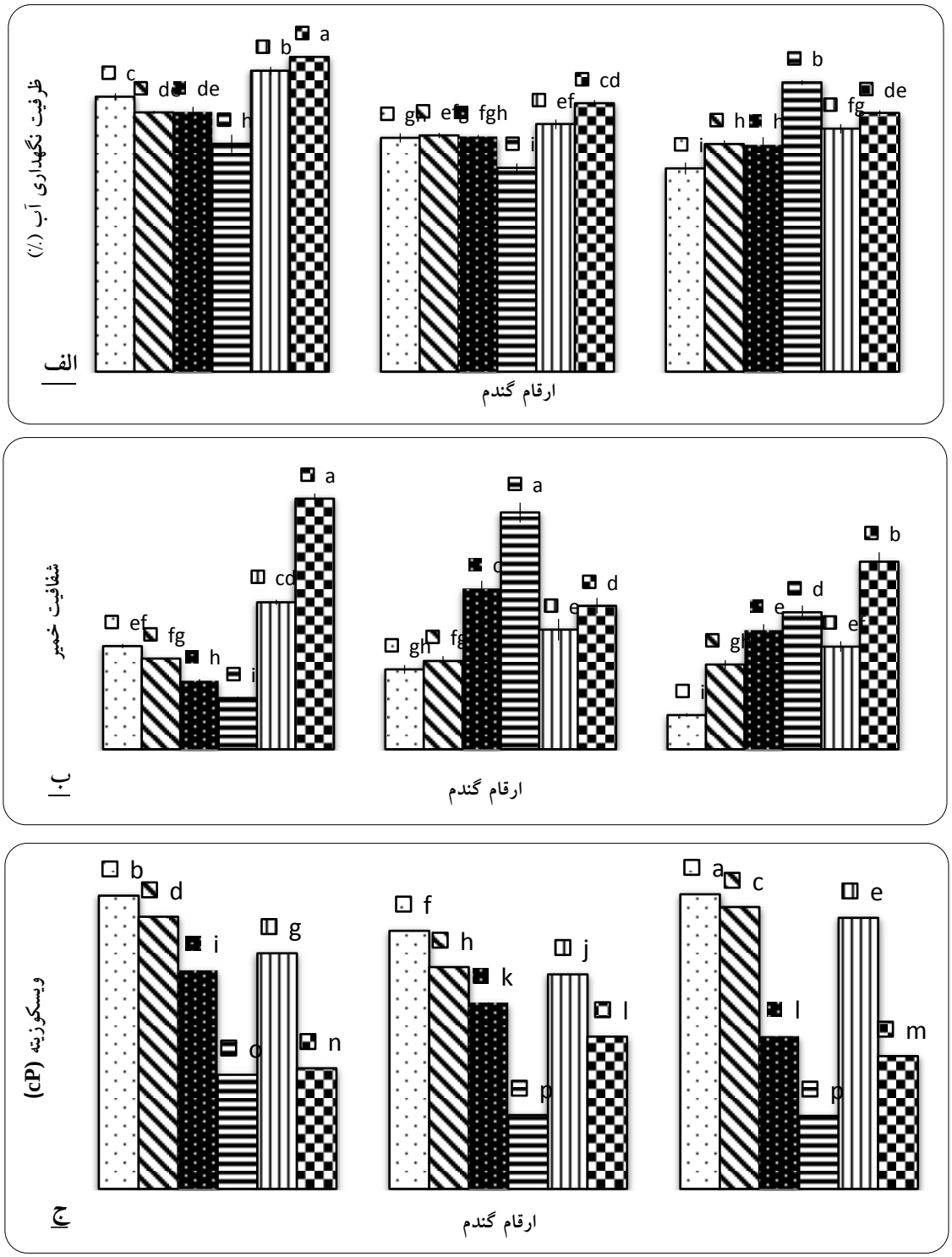
در میان ارقام گندم مورد بررسی در ۴ سیکل مورد ارزیابی، نشاسته حاصل از واریته سیروان بیشترین و نشاسته حاصل از واریته الوند کمترین میزان سینرسیس را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۴). نتایج مقایسهٔ میانگین اثر روش اصلاح نشاسته نیز حاکی از آن است که میزان سینرسیس نشاسته اصلاح شده با روش‌های شیمیایی و فیزیکی در سیکل‌های مختلف در مقایسه با نمونه شاهد بیشتر است که البته میزان این افزایش در تیمارهای شیمیایی بیش از تیمارهای فیزیکی است. همچنین با افزایش غلظت اپی‌کلروهیدرین و مدت زمان اعمال امواج اولتراسوند، میزان سینرسیس ژل نشاسته افزایش می‌یابد. به علاوه افزایش دوره‌های انجماد و رفع انجماد با کمیت سینرسیس رابطه مستقیم دارد (جدول ۵).

در نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل متغیرها، تاثیر افزایش دهندگی بیشتر سینرسیس ناشی از اعمال تیمار شیمیایی در مقایسه با تیمار فیزیکی به خوبی مشاهده می شود. بیشترین درصد سینرسیس به نشاسته اصلاح شده واریته سیروان با ۰/۵٪ اپی‌کلروهیدرین پس از چهار مرتبه انجماد و رفع انجماد و کمترین آن به نشاسته واریته الوند تعلق دارد (شکل (و-۱)).

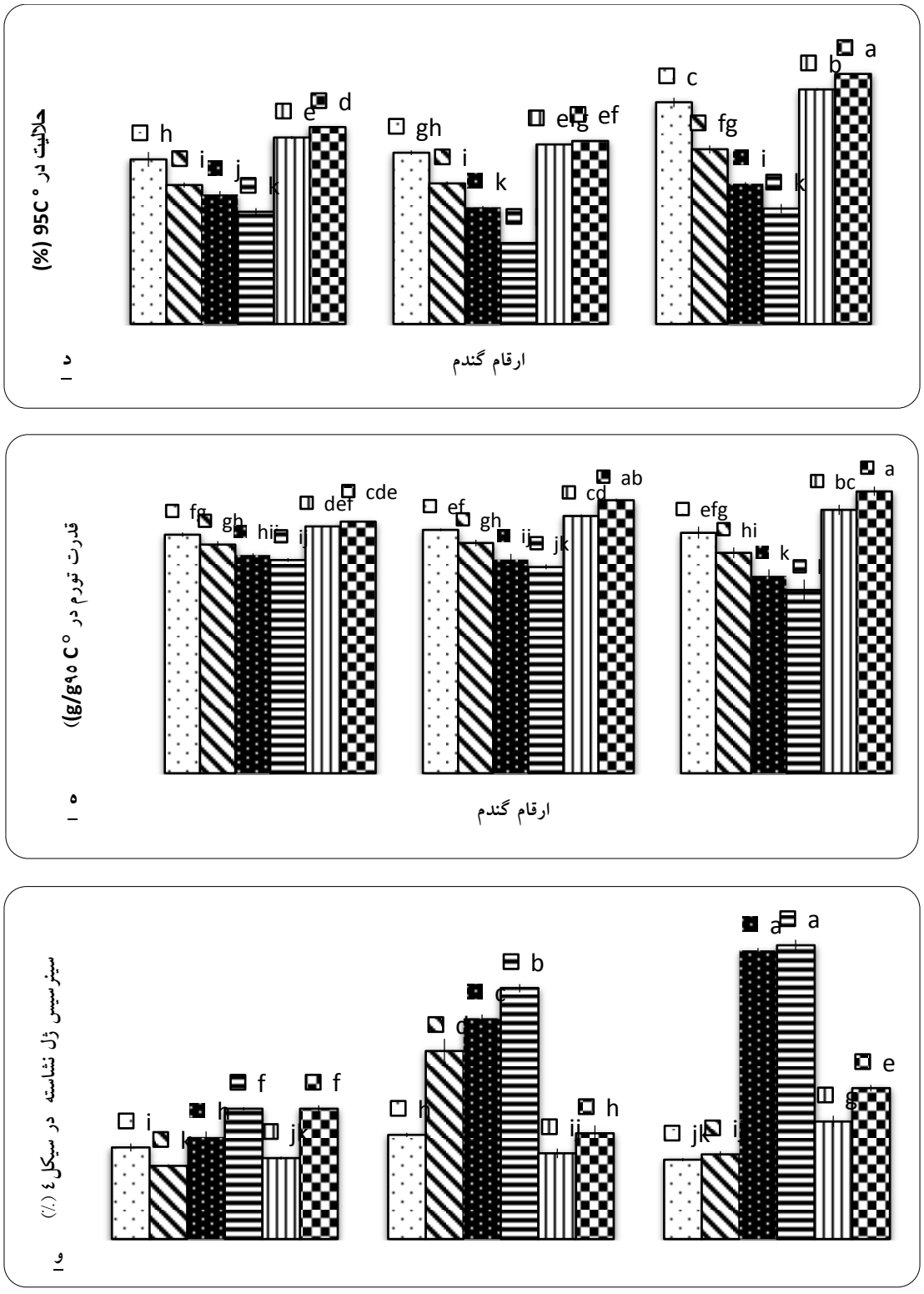
بحث

همان‌گونه که از نتایج مقایسه ویژگی‌های نشاسته سه واریته متفاوت گندم مورد بررسی حاصل می‌شود تفاوت‌های معنی‌داری از این حیث در میان ارقام مختلف وجود دارد. علیرغم وجود مطالعات متنوعی که به بررسی تفاوت‌های کمی و کیفی خصوصیات پروتئینی ارقام مختلف گندم بومی ایران به دلیل اهمیت چشمگیر آن در تکنولوژی تولید فرآورده‌های برپایه غلات پرداخته است، بررسی ویژگی‌های

کیفی نشاسته آنها تا حدود زیادی محجور واقع شده است. با توجه به اینکه بخش اعظم نشاسته تولیدی و مصرفی کشور ما از گندم حاصل می‌شود، بررسی ویژگی‌های کیفی ذاتی و چگونگی تأثیرپذیری آنها به روش‌های اصلاحی به منظور کنترل کیفی مناسب فرآیند و محصول ضروری است. مطالعات مشابهی بر روی ارقام گندم بومی اقصی نقاط دنیا به منظور بررسی ویژگی‌های نشاسته آنها صورت گرفته است که همگی حاکی از متفاوت بودن ویژگی‌های نشاسته و محتوی آمیلوز و آمیلوپکتین آنها با توجه به اختلافات ژنتیکی موجود هستند (Arachichig *et al*., 2005; Ackar *et al*., 2010).



ادامه شکل ۱- اثرات متقابل ارقام و روش‌های متفاوت اصلاح بر ویژگی‌های کیفی نشاسته



ادامه شکل ۱- اثرات متقابل ارقام و روش‌های متفاوت اصلاح بر ویژگی‌های کیفی نشاسته

تیمارها به ترتیب از چپ به راست شامل: شاهد، ۰/۱ درصد اپی‌کلروهیدرین، ۰/۳ درصد اپی‌کلروهیدرین،۰/۵ درصد اپی‌کلروهیدرین،۱۵ دقیقه اولتراسونیک، ۳۰ دقیقه اولتراسونیک

ظرفیت جذب آب یکی از مهمترین پارامترهای مورد استفاده در بررسی ویژگی‌های نشاسته است که از لحاظ کمی و کیفی بر خصوصیات محصول تولیدی از آن مؤثر است.افزایش ظرفیت نگهداری آب نشاسته در اثر اعمال

تیمار فیزیکی به آثارپدیدهحفرگی امواج اولتراسونیک مرتبط است (Sujka & Jamroz, 2013). امواج اولتراسونیک با تأثیر بر مناطق کریستالی نشاسته و تخریب آنها،مناطقی آمورف بر گرانول‌های نشاسته ایجاد می‌کند که موجب متخلخل شدن سطح گرانول و تغییر خصوصیات فیزیکیآن می‌گردد. این درحالی است که شکل و اندازه گرانول‌ها شبیه قبل از تیمار باقی می‌مانند. در واقع امواج اولتراسونیک با ایجاد گرانول‌های متخلخل باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب گرانول‌های نشاسته می‌شود (Sujka & Jamroz, 2013; Wu *et al*., 2011).

اعمال تیمارهای شیمیایی با اپی‌کلروهیدرین در محدوده مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت نگهداری آب نشاسته ایجاد ننمود. البته بررسی اثر متقابل دو متغیر بیانگر تاثیرات متفاوت غلظت اپی‌کلروهیدرین بر ظرفیت نگهداری آب نشاسته واریته‌های مختلف است. بررسی منابع گذشته نیز نشان می دهد که ظرفیت نگهداری آب نشاسته اصلاح شده کاساوا بوسیله ماده شیمیایی اپی-کلروهیدرین به واسطه افزایش اتصالات عرضی در ساختار نشاسته نسبت به نشاسته معمولی، کاهش و البته در بعضی موارد بدون تغییر باقی می‌ماند. نتایج مشابهی نیز در مورد نشاسته‌های لوبیای مانگ، سیب‌زمینی وبرنج گزارش شده است (Karimi *et al*., 2008).

شفافیت ژل نشاسته یکی از پارامترهای مهم در انتخاب نشاسته برای کاربردهای متفاوت است. استفاده از نشاسته‌هایی با شفافیت بالاتر در تولید محصولاتی مانند پای میوه‌جات و دسرهای نشاسته‌ای در بازارپسندی محصول تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. نتایج این پژوهش نشان از افزایش شفافیت ژل نشاسته با اعمال تیمارهای اصلاحی می‌دهد. افزایش شفافیت خمیر نشاسته در اثر اعمال امواج اولتراسونیک را می‌توان به امکان نفوذ بیشتر آب در بخش بلوری گرانول‌ها، کوچک‌تر شدن مولکول‌های نشاسته و عبور بهتر نور از آن نسبت داد (Jyothi *et al*., 2006). اعمال تیمار شیمیایی نیز افزایش شفافیت خمیر نشاسته همگام با افزایش غلظت اپی‌کلروهیدرین مصرفی را نشان می‌دهد البته بررسی اثر متقابل دو متغیر نشان می‌دهد که بر حسب خصوصیات ذاتی متفاوت گرانول‌های نشاسته اولیه، نتایج متفاوتی در این خصوص در نشاسته واریته‌های مختلف مشاهده می‌شود. به‌نحوی‌که در دو واریته بک‌کراس روشن و سیروان شفافیت خمیر با افزایش غلظت اپی‌کلروهیدرین روندی افزایشی را نشان می‌دهد، در حالی‌که در واریتهٔ الوند بهبود شفافیت خمیر نشاسته در اثر اعمال تیمار شیمیایی نسبت به نشاستهٔ معمولی مشاهده نمی‌شود.

بررسی ویسکوزیته نشاسته نشان می‌دهد که اعمال تیمار فیزیکی و افزایش زمان فرایند اولتراسونیک موجب کاهش ویسکوزیته خمیر نشاسته می‌شود. این کاهش به دلیل آسیب دیدن ساختار گرانول‌های نشاسته، تخریب برخی پیوندهای کووالانسی و درنهایت شکسته شدن جزئی و کوچک‌تر شدن مولکول آن‌ها در ساختار نشاسته است که موجب تضعیف و کاهش ویسکوزیته آن می‌گردد. شکسته شدن مولکول‌های نشاسته در اثر اعمال امواج اولتراسونیک به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل و تخریب مکانیکی مولکول‌ها اتفاق می‌افتد. بررسی تاثیر امواج اولتراسونیک بر خصوصیات نشاسته سیب‌زمینی در مطالعات دیگر نیز نشان می‌دهد که امواج اولتراسونیک فرایند موثری بر تغییر چشمگیر ویسکوزیته نشاسته هستند (Karimi *et al*., 2008). پژوهش‌ها نشان می‌دهد فرایند حرارتی با شکستن جزئی ساختار مولکولی نشاسته موجب کاهش ویسکوزیته می شود که این امر در مورد نشاسته پیش-ژلاتینه شده بسته به شدت فرایند اعمال شده بر آن قابل مشاهده است (Majzoobi *et al*., 2009). بنابراین با به کارگیری امواج اولتراسونیک بدون اعمال حرارت نتایجی مشابه تیمار حرارتی بر نشاسته حاصل خواهد شد.

اعمال تیمار شیمیایی و افزایش غلظت اپی‌کلروهیدرین مصرفی نیزموجب کاهش قابل ملاحظه ویسکوزیته نشاسته هر سه رقم گندم نسبت به حالت طبیعی آنها می‌شود. اثر متقابل رقم گندم و روش اصلاح بر ویسکوزیته نیزحاکی از آن است که در هر سه واریته مورد بررسی، ویسکوزیته نشاسته‌های تیمار شده از نشاستهٔ معمولی به نحو معنی‌داری کمتر است و کمترین میزان ویسکوزیته به نشاسته تیمار شده با اپی‌کلروهیدرین ۰/۵٪ تعلق دارد که در واریتهٔ سیروان و بک کراس روشن این تأثیر کاهشی مشهودتر است. علت این پدیده، کاهش تقارنمولکولی نشاسته دراثر جانشینی و یا اتصالاتعرضی و همچنین کاهش امکان تورم گرانول‌های نشاسته تیمار شده به واسطهٔ ایجاد اتصالات عرضی بین رشته‌ها در شرایط مورد

مطالعه است. از آنجائی‌که ویسکوزیته نشاسته نشان‌دهنده توانایی گرانول به تورم آزادانه است، لذا کاهش امکان تورم منجر به کاهش ویسکوزیته می‌گردد. قطعا غلظت ماده شیمیایی و مدت زمان واکنش، میزان اتصالات عرضی و البته ویژگی‌های ذاتی نشاسته ارقام مختلف بر این ویژگی بسیار مؤثر هستند. Ackar و همکاران نیز در سال ۲۰۱۰ با ایجاد اتصالات عرضی در نشاسته دو رقم گندم نتایج مشابهی را در مورد ویسکوزیته ژل نشاسته تیمار شده با اپی‌کلروهیدرین گزارش کردند. نتایج پژوهش‌های دیگر نیز مؤید این مطلب است (Hung & Morita, 2005; Majzoobi *et al*., 2009).

تیمار کردن نشاسته با امواج اولتراسونیک و افزایش زمان اعمال امواج، منجر به افزایش حلالیت نشاسته در مقایسه با نشاستهٔ معمولی می‌شود. در این شرایط، اتصالات بین مولکولی نشاسته شکسته شده و با افزایش مدت زمان فرایند، گرانول‌ها از حالت فشرده اولیه خارج می‌شوند. امواج فراصوت در اثر اعمال پدیده حفره‌سازی با ایجاد فشار وتنش موضعی باعث آسیب به گرانول‌ها، تخریب پیوندهای کووالانسی و درنتیجه شکستن رشته‌های پلیمری مولکول آن‌ها می‌شوند. این فرایند نفوذ آب به داخل گرانول‌ها را تسهیل می‌کند. ایجاد اتصالات هیدروژنی بین مولکول‌های آب و گروه‌های هیدروکسیلآزاد آمیلوز و آمیلوپکتین، انحلال‌پذیری نشاسته را افزایش می‌دهد. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشاسته پیش ژلاتینه نیز حاکی از شکسته شدن جزئی مولکول‌ها وکوچک‌تر شدن اندازه، ازبین رفتن ساختار کریستالی و فشرده آن‌ها در اثر حرارت، افزایش قابلیت تحرک مولکول‌ها، بهبود جذب آب و همچنین ایجاد ساختار فیزیکی متخلخل در آنهاست. لذا امواج اولتراسوند تأثیری نسبتا مشابه تیمار حرارتی بر حلالیت نشاسته دارد (Jambrak *et al*., 2010; Luo *et al*., 2008).

در تیمارهای شیمیایی افزایش غلظت اپی‌کلروهیدرین به واسطه ایجاد پیوندهای قوی‌تر باعث کمتر شدن حلالیت نشاسته می‌شود. البته قابل ذکر است که ایجاد اتصالات عرضی تنها دو رشته نشاسته را به هم پیوند می‌زند و موجب انسجام بیشتر و ساختار مولکولی محکم‌تر می‌گردد ولی افزایش ساختار کریستالی چندانی را در نشاسته موجب نمی‌شود (Leach & Schoch, 1962). با مطالعه خصوصیات نشاسته برنج دارای اتصالات عرضی ونشاسته گندم کراس لینک شده با استفاده از اپی‌کلروهیدرین نتایج مشابهی گزارش شده است (Ackar *et al*., 2010; Raina *et al*., 2006).

فرآیند تورم گرانول‌های نشاسته تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل اندازه، محتوی آمیلوز و آمیلوپکتین، میزان گرانول‌های آسیب دیده، دما و محتوی ترکیبات غیرنشاسته‌ای ازجمله لیپیدهای موجود در گرانول وابسته است.آب در نواحی بی‌شکل نشاسته بسیار سریع‌تر از نواحی بلوری نفوذ می‌کند و ایجاد شکاف‌هایبه‌وجود آمده در سطح گرانول‌های نشاسته و تخریب و شکستن برخی از آن‌ها به واسطه اعمال امواج اولتراسوند باعث سهولت در نفوذ آب به داخل گرانول و افزایش قدرت تورم نشاسته‌های تیمار شده با اولتراسونی کمی‌شود. مدت زمان اعمال فرایند بر شدت تغییرات جذب آب هر سه واریته مورد بررسی البته با نسبت‌های متفاوت مؤثر است. در مطالعه Monika &Jerzy در سال ۲۰۱۳ نیز گزارش شده است که استفاده از امواج اولتراسونیک باعث افزایش قدرت تورم گرانول نشاسته‌های ذرت و سیب‌زمینی و برنج می‌شود. افزایش دما در افزایش تأثیر فرایند و قدرت تورم گرانول‌ها مؤثر است. مطالعاتی در این خصوص بر تیمارهای دیگر نیز صورت گرفته است. به عنوان نمونه Zhou و همکاران درسال ۲۰۰۶ خصوصیات نشاسته اصلاح شده بوسیله مایکروویو را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که حرارت‌دهی نشاسته در دمای بالاتر از دمای ژلاتینه شدن و درآب کافی امکان افزایش نفوذ آب به داخل گرانول‌های نشاسته و محتوی آب جذب شده را افزایش دهد.

در میان واریته‌های مورد بررسی در این پژوهش، بیشترین قدرت تورم در دماهای متفاوت به نشاستهٔ واریتهٔ بک کراس روشن تعلق دارد که اعمال تیمار فیزیکی بر آن نیز در بالا بردن این پارامتر در مقایسه با سایرین مؤثرتر است.

با اعمال تیمار شیمیایی در پژوهش حاضر، قدرت تورم گرانول‌های نشاسته در بعضی از واریته‌ها کاهش و در بعضی بدون ایجاد تغییرات چشمگیر در مقایسه با نشاسته طبیعی باقی می‌ماند. به‌طور کلی نشاسته دارای اتصالات عرضی عموما دارای قابلیت جذب آب برابر و یا کمتر از نشاستهٔ طبیعی می‌باشد. در اثر ایجاد پیوندهای عرضی و اتصالات قوی در گرانول نشاسته، مقاومت زیادی را در برابر جذب آب در آنها ایجاد می‌شود. نتایج حاصل بانتایج

Kaur و همکاران در سال ۲۰۰۶ برنشاسته سیب زمینی مطابقت دارد. Majzoobi و همکاران در سال ۲۰۰۹ نیز گزارش کردند که قدرت تورم نشاسته دارای اتصالات عرضی در مقایسه با نشاستهٔ معمولی اختلاف معنی‌داری ندارد. همچنین Ackar و همکاران در سال ۲۰۱۰ با کراس لینک نشاسته دو واریته گندم نتایج مشابهی در مورد قدرت تورم نمونه‌های تیمار شده با اپی‌کلروهیدرین گزارش کردند. Hung و همکاران در سال ۲۰۰۵ با کراس لینک کردن دو نوع گندم به‌وسیله هیدروکسی پروپیل نتایج مبنی بر کاهش قدرت تورم نشاسته کراس لینک شده به دست آوردند.

ارزیابی میزان سینرسیس ژل نشاسته یکی از پارامترهای کیفی مهم در بررسی پایداری بافت ژل در فرایند انجماد است و در تعیین کاربرد آن در صنعت غذا مؤثر است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهدکه در هر سه واریته مورد بررسی با افزایش زمان اعمالامواج اولتراسونیک، میزان سینرسیس افزایش می‌یابد. علت این مشاهده آن است که امواج اولتراسونیک باعثتجزیهمولکولی نشاسته می‌شود. در این راستا آمیلوزهای خطی راحت‌تر از آمیلوپکتین شاخه‌ای موردحمله قرار می‌گیرند. این پدیده منجر به تضعیف ساختار نشاسته و کاهش پایداری آن در برابر انجماد و رفع انجماد می‌شود. میزان سینرسیس یا آب اندازی ژل با افزایش تعداد مراحل انجماد و رفع انجماد افزایش می‌یابد.

نشاسته‌های دارای اتصال عرضی دارای خصوصیت آزادسازی آب بیشتری در اثر فرایند انجماد و رفع انجماد در مقایسه با نمونه طبیعی هستند. علت این مشاهده، گسترش محل‌های اتصال و تجمع رشته‌های نشاسته خصوصا آمیلوزهاست. به دلیل وجود زنجیرهای متعدد کوتاه در ساختار آمیلوپکتین، تجمع و کریستاله شدن آنها عموما کندتر از آمیلوز و در دوره‌های بالاتر انجماد و رفع انجماد صورت می‌گیرد. بنابراین میزان سینرسیس، به غلظت ماده شیمیایی مورد استفاده و میزان واکنش آن با نشاسته و البته خصوصیات ذاتی نشاسته اولیه بستگی دارد. ازاین‌رو میزان تأثیرپذیری نشاسته واریته‌های مختلف گندم با توجه به تفاوت آنها در محتوی رشته‌های آمیلوز و آمیلوپکتین متفاوت است. نتایج مطالعات Kaur و همکاران در سال ۲۰۰۶ بر نشاسته سیب زمینی با پژوهش حاضر مطابقت دارد. میرمقتدایی و همکاران در سال ۱۳۸۷ نیز میزان سینرسیس نشاسته یولاف دارای اتصالات عرضی شیمیایی را بیش از حالت طبیعی آن گزارش نمودند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، واریته‌های متفاوت گندم که از لحاظ ویژگی‌های کمی و کیفی پروتئین که عموما معیار سنجش قرار می‌گیرند متفاوت هستند، به واسطه تفاوت‌های ژنتیکی، محتوی نشاسته، نسبت رشته‌های آمیلوز به آمیلوپکتین گرانول‌ها و خصوصیات فیزیکی متفاوتی دارند. با توجه به کاربردهای متنوع نشاسته در صنایع غذایی و غیرغذایی، اصلاح یا تغییر خصوصیات فیزیکی و ذاتی آن اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد. اعمال تیمارهای فیزیکی به منظور اصلاح نشاسته‌های مورد استفاده در صنعت غذا در مقایسه با تیمارهای شیمیایی ارجحیت دارد. هرچند محدودیت عملکرد آنها مانع از کاربردشان در زمینه انواع متنوع اصلاحات می‌گردد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از امواج اولتراسونیک و افزایش زمان فرایند در محدودهٔ مورد بررسی موجب افزایش حلالیت، قدرت تورم، ظرفیت نگهداری آب، شفافیت خمیر و میزان سینرسیس ژل نشاسته و کاهش ویسکوزیته سوسپانسیون آن می‌شود. علت اصلی این تغییرات به آثار پدیده حفره‌سازی و اعمال فشار برشی موضعی که منجر به آسیب رسیدن به ساختار گرانول‌ها می‌شود مرتبط است. لذا تنظیم زمان و شدت فرایند در کنترل خواص کیفی محصول نهایی اهمیت به‌سزایی دارد.

نشاسته اصلاح شده با اپی‌کلروهیدرین به واسطه اتصالات عرضی جزء نشاسته‌های مقاوم و از انواع فیبرهای رژیمی به‌حساب می‌آید. این دسته دارای حلالیت کمتری نسبت به نشاستهٔ معمولی هستند. میزان شفافیت و پایداری در برابر انجماد در این نشاسته، تحت تأثیر میزان واکنش میان زنجیره های نشاسته و ماده مورد نظر و غلظت‌های مختلف اپی‌کلروهیدرین می‌باشد. وجود اتصالات عرضی حتی در مقادیر اندک موجب تأثیرات زیادی در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته خواهد شد. لازم به ذکر است که تاثیرپذیری نشاسته ارقام مختلف گندم نسبت به تیمارهای فیزیکی و شیمیایی، به علت متفاوت بودن خصوصیات ژنتیکی آنها باهم تفاوت دارد. ازاین‌رو بررسی ساختار و ویژگی‌های نشاسته طبیعی قبل از اعمال فرایندهای اصلاحی به منظور کنترل فرایند و دستیابی به محصولی با خصوصیات کیفی مطلوب ضرورت دارد.

منابع

وزیری، ح. (۱۳۸۸). شناخت آسیابانی. تهران: طرح و نشر هامون، ۵۶۰ صفحه.

میرمقتدایی، ل.، کدیور، م. و شاهدی، م.(۱۳۸۷). بررسی اثر تعدیل های شیمیایی ایجاد اتصال عرضی و استیله کردن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته یولاف. هجدهمین کنگره ملی علوم وصنایع غذایی.

Arachichige, H., Wickramasinghe, M., Miura, H., Yamauchi, H. & Noda, T. (2005). Comparison of the starch properties of Japanese wheat varieties with those of popular commercial wheat classes from the USA, Canada and Australia. Journal of Food Chemistry, 93, 9-15.

Ackar, D., Babica, J., Subaric, D., Kopjar, M. & Milicevic, B. (2010). Isolation of starch from two wheat varieties and their modification with epichlorohydrin. Journal of Carbohydrate Polymers, 81, 76-82.

Chung, K.M., Moon, T. W., Kim, H. & Chun, J.K. (2002). Physicochemical Properties of Sonicated Mung Bean, Potato, and Rice Starches. Cereal Chemistry, 79, 631-633.

Chong, W.T., Uthumporn, U., Karim, A.A. & Cheng, L.H. (2013). The influence of ultrasound on the degree of oxidation of hypochlorite-oxidized corn starch. Food Science and Technology 50, 439-443.

Díaz, A., Dini, C., Vina, S.Z. & García, M.A. (2016). Starch extraction process coupled to protein recovery from leguminous tuberous roots (Pachyrhizus ahipa). Carbohydrate Polymers, 152, 231–240.

Eliasson, A. Ch. (2004). Starch in food, Structure, function and applications. H. Cornell, Chapter 7, the functionality of wheat starch. RMIT University, Australia: Published by Woodhead Publishing Limited, 224-253.

Hirsch, J. B. & Kokini, J. L. (2002). Understanding the mechanism of cross-linking agents ($POCl_3$, STMP and EPI) through swelling behavior and pasting properties of cross-linked waxy maize starch. Cereal chemistry, 79,102-107.

Hung, P. V. & Morita, N. (2005). Physicochemical properties of hydroxypropylated and cross-linked starches from A-type and B-type wheat starch granules. Carbohydrate. Carbohydrate Polymers, 59(2), 239-246

Hu, G., Burton, Ch. & Yang, Ch. (2010). Efficient measurement of amylose content in cereal grains. Journal of Cereal Science, 5, 35–40.

Jyothi, A.N.N., Moorthy, S. N. & Rajasekharan, K. N. (2006). Effect of cross linking with epichlorohydrin on the properties of cassava (Manihot esculenta Crantz) starch. Starch/ Stärk. 58, 292-299.

Jambrak, A. R., Herceg, Z., Subaric, D., Babic, J., Brncic, M., Brncic, S. R., Bosiljkov, T., Cvek, D., Tripalo, B. & Gelo, J. (2010). Ultrasound Effect on Physical Properties of Corn Starch.Carbohydrate Polymer, 79, 91-100.

Karimi, M., Poor Azarang, H. & Nasiri, M. (2008). The Effect of Ultrasound on Some Properties of Potato and Wheat Starches. Journal Agriculture Engineering Research, 1, 95-108.

Kang, I. L., Jun Byun, M. W., Yook, H. S., Bae, Ch., Lee, H. S., Kwon, J. H. & Chung, C. K. (1999). Production of modified starches by gamma irradiation. Radiation Physics and Chemistry, 54, 425-430.

Kaur, L., Singh, J. & Singh, N. (2006). Effect of cross linking on some properties of potato (Solanum tuberosum L.) starches. Journal of Science Food Agriculture, 86, 1945-1954.

Luo, Z., Fu, X., He, X., Luo, F., Gao, Q. & Yu, S. (2008). Effect of Ultrasonic Treatment on the Physicochemical Properties of Maize Starches Differing in Amylose Content. Starch/Stärke, 60, 646-653.

Leach, H. W. & Schoch, T. J. (1962). Structure of starch granule: Solubilities of granular starches in Dimethyl sulfoxide. Cereal Chemistry, 39, 318-327.

Majzoobi, M., Radi, M., Farahnaky, M. & Jamalian, J. (2009). Physico-chemical Properties of Phosphoryl Chloride Crosslinked Wheat Starch, Iranian Polymer Journal, 18, 491-499.

Majzoobi, M., Radi, A., Farahnaky, M., Jamalian, J., Tongdang, T. & Mesbahi, Gh. (2011). Physicochemical Properties of Pre-gelatinized Wheat Starch Produced by a Twin Drum Drier, Journal of Agricultural Science and Technology, 13, 193-202.

Monika, S. & Jerzy, J. (2013). Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behavior. Journal of Food Hydrocolloids, 31, 413-419.

Ozturk, S., Koksel, H., Kahraman, K. & Perry K. W. (2009). Effect of debranching and heat treatments on formation and functional properties of resistant starch from high-amylose corn starches. Journal of Europe Food Research Technology, 229,115–125.

Raina, C. S., Singh, S., Bawa, A. S. & Saxena, D. C. (2006). Some characteristics of acetylated, cross-linked and dual-modified Indian rice starches. Europe Food Research Technology, 223, 561–570.

Sujka, M. & Jamroz, J. (2013). Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behavior. Journal of Food Hydrocolloids, 31, 413-419.

Woo, K. S. & Seib, P. A. (2002). Cross-linking resistant starch: Preparationand properties. Cereal Chemistry, 79, 819–825.

Wu, Y., Du, X., Ge, H. & Lu, Z. (2011). Preparation of microporous starch by glucoamylase and ultrasound. Starch/Starke, 63, 217-225.

Zhou, J., Song, J. & Parker, R. (2006). Structure and properties of starch-based foams prepared by microwave heating from extruded pellets. Journal of Carbohydrate Polymers, 63, 466–475.

Evaluation of Starch, Amylose and Amylopectin Content of Three Iranian Wheat Cultivars (Alvand, light BakKeras, Sirvan) and Effect of Two Physical (Ultrasonic Waves) and Chemical (Epichlorohydrin) Corrective Treatments on Their Properties

H. Ghasemi [a], H. Abbasi [b*], M. Jahadi [b]

[a] M. Sc. Student of the Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

[b] Assistant Professor of the Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Received: 29 October 2016 Accepted: 27 May 2018

Abstract

Introduction: Starch and its derivatives have several applications in food and other industries. Changes in the structural properties of starch affect their physico-chemical and functional properties.

Materials and Methods: In this study, after determination of starch, amylose and amylopectin contents of three Iranian wheat varieties (Alvand, light bak kras and Sirvan), modification of their characterizations were accomplished with cross linking creation with "epichlorohydrin" in (0.1%, 0.3%, 0.5% v/w) level and physical modification by ultrasounic waves in 28 KHz frequencies in two times (15 and 30 minutes) at 20 °C. Qualitative properties of the samples such as paste clarity, water binding capacity, viscosity, solubility, swelling power and freezing thawing stability (Syneresis) of native and modified samples were examined.The results were analyzed in a completely randomized design-factorial test and the means were compared based on the least significant difference.

Results: The results indicated the solubility, swelling power, paste clarity and water binding capacity of physically treated starch varieties were increased as compared to the native granules. Whiles, starch modification with epichlorohydrin decreased solubility and consistency of treated starches. The changes of paste clarity and water binding capacity in chemical modified starch in comparison to the native samples are different in varieties. Viscosity of all modified samples in comparison to the native form was decreased and their synersis were increased.

Conclusion: Modification treatments are effective in many qualitative properties of starch and effectiveness of different starch varieties on physical and chemical treatments are different due to difference in genetic characteristics of starch.

***Keywords*:** *Cross Link, Modified Starch, Physicochemical Properties, Ultrasonic Wave.*

* Corresponding Author: H.Abbasi@Khuisf.ac.ir