

بررسی اثر تعدیل استیله کردن بر خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته جو

زهرا ملک پور^a، محمد حجت الاسلامی^{b*}، هومان مولوی^c، جواد کرامت^d

^a دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

^b استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

^c مربی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

^d دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۶/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۳/۲۸

۵۵

چکیده

مقدمه: نشاسته یکی از فراوان‌ترین ترکیبات پلیمری است که به عنوان یکی از اجزاء غذایی نقش مهمی را در بافت بسیاری از انواع غذاها دارد. نشاسته به عنوان غلیظ کننده و پایدارکننده در صنایع غذایی کاربرد دارد اما به دلیل برخی خواص محدود کننده از جمله مقاومت برشی پایین، تجزیه حرارتی، تمایل زیاد به بیاتی و سینرسیس بالا استفاده از آن در صنعت محدود گردیده است که می‌توان با اصلاح و تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی نشاسته طبیعی آن را کاربردی‌تر نمود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، اثر استیله کردن با استیک آنهیدرید بر روی نشاسته استخراج شده از جو وارسته بهمن کشت شده در منطقه لردگان استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفته است. ویژگی‌های فیزیکی از جمله سینرسیس، قدرت تورم، خصوصیات حرارتی، ویسکوزیته و خصوصیات مورفولوژیکی تعیین گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل بیانگر آن است که بین قدرت تورم نشاسته شاهد با نشاسته استیله شده در زمان ۱۰ دقیقه، اختلاف معناداری در سطح ۰/۰۵ درصد وجود ندارد در حالی که این اختلاف با نشاسته استیله شده در زمان ۵ ساعت معنادار می‌باشد همچنین میزان سینرسیس بین نشاسته شاهد و نشاسته‌های استیله شده دارای اختلاف معنادار در سطح ۰/۰۵ است. استیله کردن همچنین باعث کاهش دمای ژلاتینه شدن در نشاسته‌های مشتق شده نسبت به نشاسته شاهد می‌گردد ضمن آن که این تعدیل پیک ویسکوزیته را نیز افزایش می‌دهد. این تعدیل همچنین باعث ایجاد تغییراتی در مورفولوژی گرانول‌ها نیز گردید.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصله، تولید نشاسته اصلاح شده جو، قادر است بعضی از خواص عملکردی نشاسته را بهبود بخشد. چنین نشاسته‌ای می‌تواند جایگزین برخی ترکیبات شیمیایی و صمغ‌های گران قیمت با عملکرد مشابه گردد.

واژه‌های کلیدی: استیله کردن، تعدیل، جو، خواص فیزیکوشیمیایی، نشاسته

مقدمه

استتیله کردن یکی از روش‌های متداول پایدار کردن در مقیاس تجاری است. در این روش گروه‌های هیدروکسیل نشاسته طبیعی با گروه‌های استیل جایگزین می‌گردد (Ayucitra, 2012). در این تعدیل با وارد شدن گروه‌های استیل، استحکام پیوندهای بین مولکول‌های نشاسته کاهش می‌یابد که این منجر به تورم گرانول و افزایش حلالیت می‌گردد (Singh Sodhi & Singh, 2005).

نشاسته به واسطه گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختار خود به آسانی با عوامل آلی و غیرآلی تشکیل استر می‌دهد که یک، دو و یا هر سه گروه هیدروکسیل می‌تواند در این واکنش وارد شود (Song, 2010). از عوامل موثر در این تعدیل می‌توان به منبع گیاهی نشاسته، غلظت عامل واکنش‌دهنده، زمان واکنش و pH اشاره کرد (Ayucitra, 2012; Prieto Garcia et al., 2012). عامل استری‌کننده، شرایط واکنش و درجه شاخه‌دار بودن زنجیره‌های آمیلوپکتین نیز از دیگر عوامل موثر در این زمینه هستند. این واکنش که ابتدا بر سطح گرانول نشاسته اثر می‌گذارد، بعد از نفوذ عامل واکنش به گرانول، هر دو ناحیه آمورف و کریستالی داخل گرانول را تحت تاثیر واکنش قرار می‌دهد (Song, 2010).

نشاسته استتیله عموماً با افزودن ملایم استیک‌انهدیدرید، استیک اسید و وینیل استات (Bello Perez et al., 2010) کتن و یا ترکیبی از این عوامل (Singh Sodhi & Singh, 2005) به سوسپانسیون نشاسته در pH=7/5-9 تهیه می‌گردد که بعد از اتمام واکنش، سوسپانسیون نشاسته خنثی و شسته می‌گردد. نشاسته استتیله حاوی ۲/۵-۵/۰ درصد گروه استیل، معمولاً برای کاربردهای غذایی استفاده می‌گردد. محدوده مجاز برای نشاسته غذایی شامل ۲/۵ درصد گروه استات است (Thomas & Atwell, 1999). این تعدیل موجب افزایش ویسکوزیته، شفافیت خمیر، کاهش سینرسیس (Tharanathan, 2005) کاهش دمای ژلاتینه شدن و بیاتی می‌شود (Singh et al., 2007).

به عقیده روتنبرگ و سولارک (۱۹۸۴) وارد شدن گروه‌های استیل، پیوندهای بین مولکول‌های نشاسته را تضعیف می‌کند که باعث ایجاد تغییراتی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشاسته می‌شود (Ayucitra, 2012). به عقیده این دو محقق نشاسته‌های استتیله دمای

ژلاتینه شدن پایین‌تر، پیک ویسکوزیته بالاتر و برگشت‌پذیری کمتری را با سرد شدن ایجاد می‌کنند (Wilkins et al., 2003). که البته زیو (۲۰۰۴) و گراف (۱۹۹۵) معتقدند که استتیله کردن یک واکنش برگشت‌پذیر است و می‌توان گروه استیل را از نشاسته حذف کرد (Prieto Garcia et al., 2012).

هدف از این تحقیق بررسی ویژگی‌های نشاسته استتیله شده یک وارسته خاص از غله جو که در منطقه لردگان استان چهارمحال و بختیاری کشت گردیده است، در زمان‌های مختلف استتیله شدن بوده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق نشاسته طبق روش Lim و همکاران (۱۹۹۲)، از غله جو وارسته بهمن، کشت شده در منطقه لردگان استان چهارمحال و بختیاری استخراج گردیده است.

- روش استخراج نشاسته

استخراج نشاسته طبق روش Lim و همکاران (۱۹۹۲) انجام شد. در این روش ۱۰۰ گرم آرد جو با ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ (مارک سارتوریوس مدل ۱۲۰ S AC، آلمان) توزین و با ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول سود دارای مولاریته ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۲۵ مخلوط شده و به مدت نیم ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد هم‌زده شد. سپس مخلوط به دست آمده به مدت ۲۰ دقیقه با دور ۱۴۰۰g سانتریفیوژ (مارک تتنیکا مدل A-۳۲۲) شد. رسوب حاصل با استفاده از الک با اندازه سوراخ ۵۰ میکرومتر (مش ۲۷۰) صاف گردید. سوسپانسیون عبوری از الک توسط اسیدکلریدریک ۱ مولار خنثی و مجدداً سانتریفیوژ گردید. پس از خارج کردن مایع جدا شده، لایه کرمی رنگ روی رسوبات توسط قاشقک جدا می‌گردد. رسوب باقی مانده مجدداً در آب حل شده و این کار تا به حداقل رساندن لایه کرمی رنگ ادامه می‌یابد (۳ مرتبه). در خاتمه رسوب نهایی به مدت یک شب در آن (مارک ممرت مدل UNB-۴۰۰، آلمان) در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک می‌گردد (Lim et al., 1992).

- تولید نشاسته استتیله

استتیله کردن نشاسته طبق روش Singh Sodhi و Singh (۲۰۰۵) انجام شد. ابتدا ۱۰۰ گرم نشاسته به وسیله

برای مدت ۲۴ ساعت در ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری، سپس به مدت ۱۵ دقیقه در ۲۷۰۰ g سانتی‌فیوژ شده و درصد آب آزاد شده به عنوان درصد سینرسیس گزارش شد (Jyothi et al., 2006).

- بررسی تغییرات ویسکوزیته

برای بررسی تغییرات ویسکوزیته از روش Das (۲۰۱۰) با اندکی تغییرات استفاده گردید. ابتدا یک سوسپانسیون ۸ درصد (وزنی-وزنی) از نشاسته در pH=۵ تهیه گردید. سپس با استفاده از دستگاه رئومتر (مارک بروکفیلد مدل DV III، امریکا) تغییرات ویسکوزیته در دامنه دمایی ۴۰ تا ۹۳ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت (Das et al., 2010).

- بررسی خصوصیات حرارتی

برای بررسی خصوصیات حرارتی نشاسته جو از روش Bello-Perez و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شد. برای اندازه‌گیری پارامترهای حرارتی نشاسته از دستگاه گرماسنجی افتراقی (DSC) استفاده گردید. در این روش مقدار ۲ میلی‌گرم نشاسته بر اساس وزن خشک، در ظروف آلومینیومی مخصوص، توزین و ۷ میکرولیتر آب به آن اضافه گردید. ظروف آلومینیومی به طور کامل درزبندی شده و برای همگن شدن نمونه و توزیع یکنواخت آب، به مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار می‌گیرد. سپس نمونه در داخل دستگاه گرماسنجی افتراقی نتسش مدل F₃-200، آلمان قرار داده می‌شود و با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه از دمای ۲۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده می‌شود. دستگاه به طور خودکار داده‌های مربوط به دمای شروع (T_o)، دمای پیک (T_p)، دمای نهایی (T_c) و انتالپی (ΔH) را ارائه می‌دهد (Bello-Perez et al., 2010).

- بررسی خصوصیات مورفولوژیکی

جهت گرفتن تصاویر میکروسکوپ الکترونی (با استفاده از میکروسکوپ مارک زیلف) از روش Bello-Perez و همکاران (۲۰۱۰) با اندکی تغییرات (تغییر در میزان ولتاژ دستگاه از ۱۵ به ۸) استفاده گردید (Bello-Perez et al., 2010). برای بررسی تصاویر نیز از نرم افزار آنالیز تصویر Image proplus(6) استفاده گردید.

ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۰۱ (مارک سارتوریوس مدل AC ۱۲۰ S، آلمان) در ۲۲۵ میلی‌لیتر آب اضافه گردید و به مدت یک ساعت هم‌زده شد. سپس pH (مارک متروم مدل ۸۲۷، سوئیس) توسط محلول سود ۳ درصد روی ۸ تنظیم و استیک‌انهیدرید در سطح ۶ درصد وزنی (۵/۵ میلی‌لیتر) به صورت قطره قطره و به آرامی به سوسپانسیون در حال هم‌زده شدن اضافه گردید و هم‌زمان pH روی ۸ تا ۸/۵ ثابت نگه داشته شد. پس از اتمام واکنشگر مصرفی (استیک-انهیدرید)، عمل هم‌زدن در دو زمان مختلف ۱۰ دقیقه و ۵ ساعت (جهت بررسی اثر مدت زمان استیله کردن بر ویژگی‌های نشاسته) ادامه یافت. سپس pH توسط اسیدکلریدریک ۰/۵ مولار روی ۴/۵ تنظیم و سپس شستشو سه مرتبه با آب مقطر و یک مرتبه با اتانول ۹۵ درصد انجام شد (Singh Sodhi & Singh, 2005).

- اندازه‌گیری قدرت تورم

برای اندازه‌گیری قدرت تورم از روش Leach و همکاران (۱۹۵۹) استفاده شد. در این روش ابتدا در حدود ۰/۱ گرم نمونه بر اساس وزن خشک در لوله‌های آزمایش درب‌پیچ‌دار وزن گردید و سپس ۱۰ میلی‌لیتر آب به آن اضافه گردید. درب لوله بسته و محتویات هم‌زده شد. سپس لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری (مارک هاک مدل ۲۰-SWB، آلمان) ۹۵ درجه سانتی‌گراد مجهز به شیکر با سرعت ثابت، تکان داده شدند. بعد از آن لوله‌ها خارج و بلافاصله تا دمای اتاق سرد و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰۰g سانتی‌فیوژ شدند محلول رویی که در بالای رسوب قرار گرفته است با دقت خارج و لوله حاوی رسوب مجدداً توزین شد. قدرت تورم به صورت ذیل محاسبه گردید (Leach et al., 1959):

$$\text{معادله ۱): } \text{درصد تورم} = \frac{\text{وزن لوله خالی} - \text{وزن نهایی}}{\text{وزن نشاسته}} \times 100$$

- تعیین درصد سینرسیس

برای تعیین درصد سینرسیس از روش Jyothi و همکاران (۲۰۰۶) استفاده شد. سوسپانسیون ۵ درصد (وزنی-وزنی) نشاسته تهیه و به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری (مارک ممرت مدل W3 B10) با دمای ۹۰ تا ۹۵ درجه سانتی‌گراد هم‌زده و حرارت داده شد و بعد از آن به سرعت در حمام یخ تا دمای اتاق سرد گردید. خمیر نشاسته حاصل

بررسی اثر تعدیل استیله کردن بر خواص فیزیکی شیمیایی نشاسته جو

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل آماری نتایج به دست آمده، به استفاده از طرح کاملاً تصادفی با نرم‌افزار (SPSS ۲۱) و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ درصد انجام گرفت.

یافته‌ها

مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن است که به طور کلی استیله کردن باعث افزایش قدرت تورم گرانول‌های نشاسته می‌گردد. ولی قدرت تورم در نشاسته جو استیله شده با استیک‌انه‌پدید در زمان ۱۰ دقیقه فاقد اختلاف معنادار با نشاسته شاهد می‌باشد در حالی که این اختلاف بین نشاسته استیله شده در زمان ۵ ساعت و نشاسته شاهد معنادار می‌باشد

نتایج حاصل از بررسی نتایج سینرسیس نشان می‌دهد که استیله کردن باعث کاهش میزان سینرسیس نشاسته جو طی نگهداری به مدت ۲۴ ساعت در ۴ درجه سانتی‌گراد

نسبت به نشاسته شاهد گردیده است. نتایج بیانگر وجود اختلاف معنادار بین میزان سینرسیس در نشاسته شاهد و نشاسته‌های استیله شده می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی ویسکوزیته در نشاسته شاهد و استیله شده جو (در دو زمان متفاوت) بیانگر افزایش پیک ویسکوزیته در نشاسته‌های استیله شده در مقایسه با نشاسته شاهد می‌باشد.

بررسی داده‌های حرارتی حاصل از آزمون آنالیز حرارتی در نشاسته شاهد و نشاسته‌های استیله شده نیز حاکی از آن است که استیله کردن باعث کاهش دمای ژلاتینه شدن نسبت به نشاسته شاهد می‌گردد. انتالپی ژلاتینه شدن نیز کاهش یافته است.

داده‌های حاصل از بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که استیله کردن با غلظت ۶ درصد در هر دو زمان بررسی شده، موجب ایجاد تغییراتی در اندازه قطر گرانول‌های نشاسته جو گردید.

جدول ۱- میانگین قدرت تورم در نشاسته شاهد و نشاسته استیله*

شاهد	نشاسته استیله شده در ۱۰ دقیقه	نشاسته استیله شده در ۵ ساعت
۱۴/۲۱ ^b ±۰/۶۶	۱۷/۲۳ ^{b,c} ±۰/۲۲	۱۹/۳۵ ^{c,d} ±۲/۸۵

* نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است و مقادیر با حروف فوقانی مشابه اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند (p<0.05%)

جدول ۲- میزان سینرسیس در نشاسته شاهد و نشاسته‌های استیله*

نشاسته شاهد	نشاسته استیله شده در ۱۰ دقیقه	نشاسته استیله شده در ۵ ساعت
۶۵/۱۰ ^b ±۲/۹۰	۴۳/۶۰ ^a ±۱/۴۰	۴۵/۸۱ ^a ±۴/۵۱

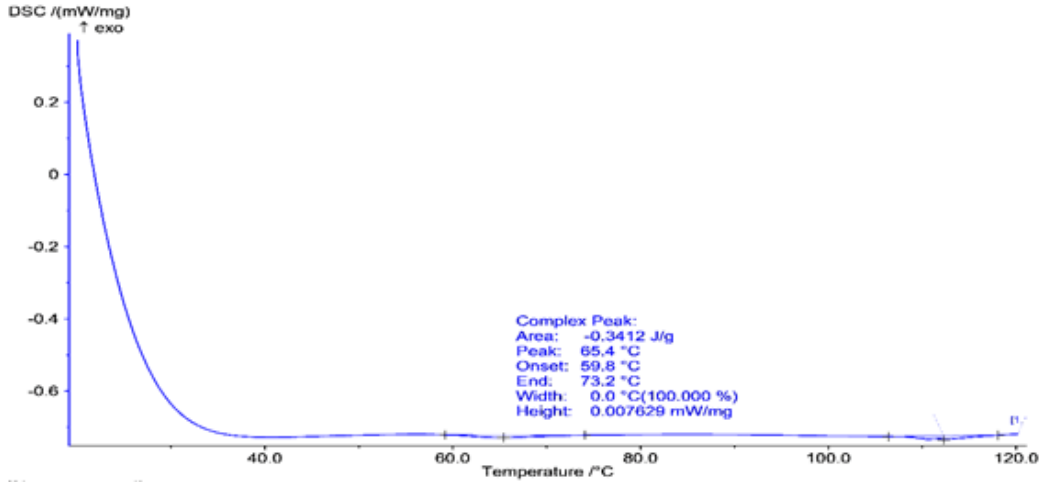
* نتایج به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است و مقادیر با حروف فوقانی مشابه اختلاف معناداری با یکدیگر ندارند (p<0.05%)

جدول ۳- بررسی خصوصیات ویسکوزیته نشاسته شاهد و نشاسته‌های استیله

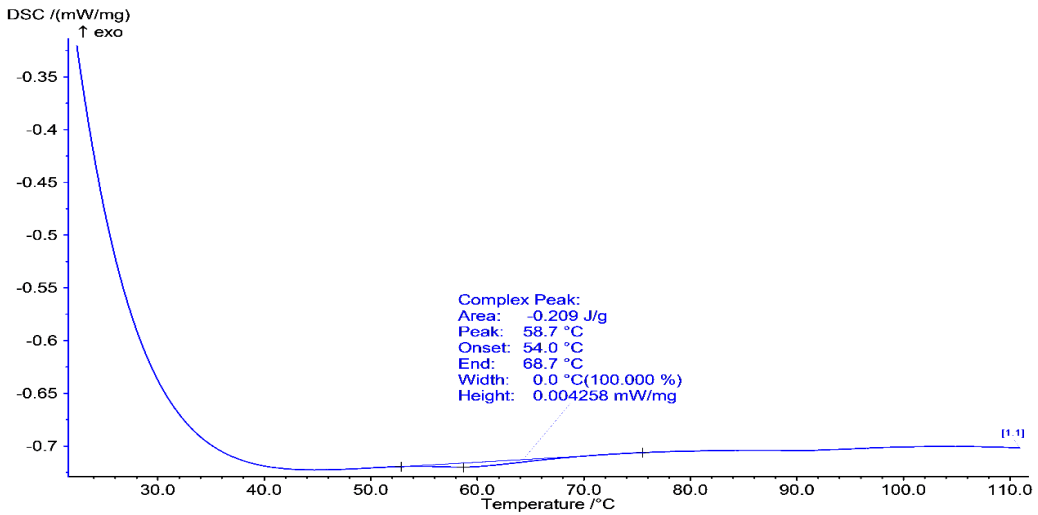
نوع نشاسته	ویسکوزیته پیک	ویسکوزیته شکست	دمای پیک (°C)	دمای خمیری شدن
نشاسته شاهد	۲/۶	۰/۹۶	۶۹/۵۵	۶۳/۶۰
نشاسته استیله شده در ۱۰ دقیقه	۱۸/۳۲	۲/۶	۹۲/۶۵	۵۶/۳۸
نشاسته استیله شده در ۵ ساعت	۱۹	۶/۴۴	۹۱/۳	۵۴/۳۸

جدول ۴- بررسی خصوصیات حرارتی نشاسته شاهد و نمونه‌های استیله

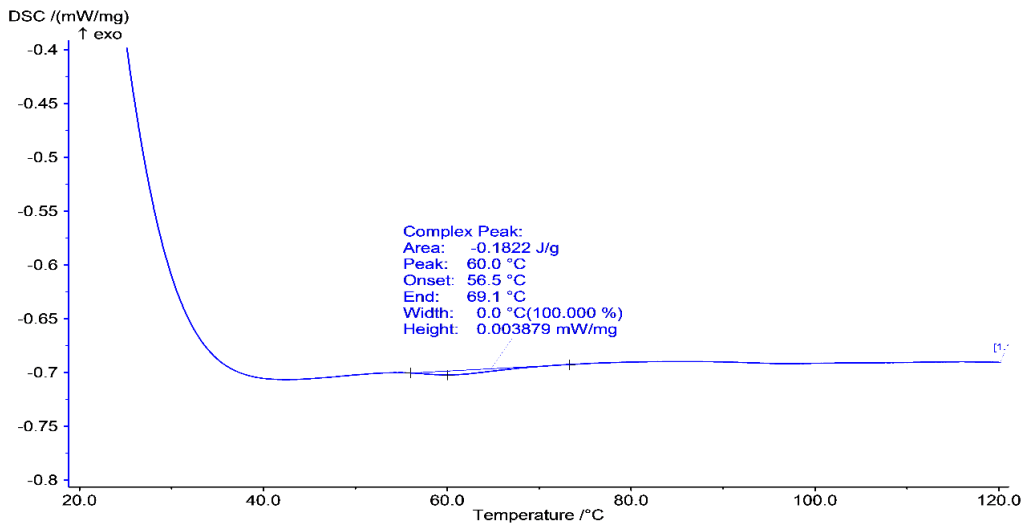
تیما	T _o	T _p	T _c	T _c -T _o	ΔH(J/g)
نشاسته شاهد	۵۹/۸	۶۵/۴	۷۳/۲	۱۳/۴	-۰/۳۴۱۲
نشاسته استیله شده در ۱۰ دقیقه	۵۴	۵۸/۷	۶۸/۷	۱۴/۷	-۰/۲۰۹
نشاسته استیله شده در ۵ ساعت	۵۶/۵	۶۰	۶۹/۱	۱۲/۶	-۰/۱۸۲۲



شکل ۱- آنالیز حرارتی نشاسته شاهد توسط روش DSC

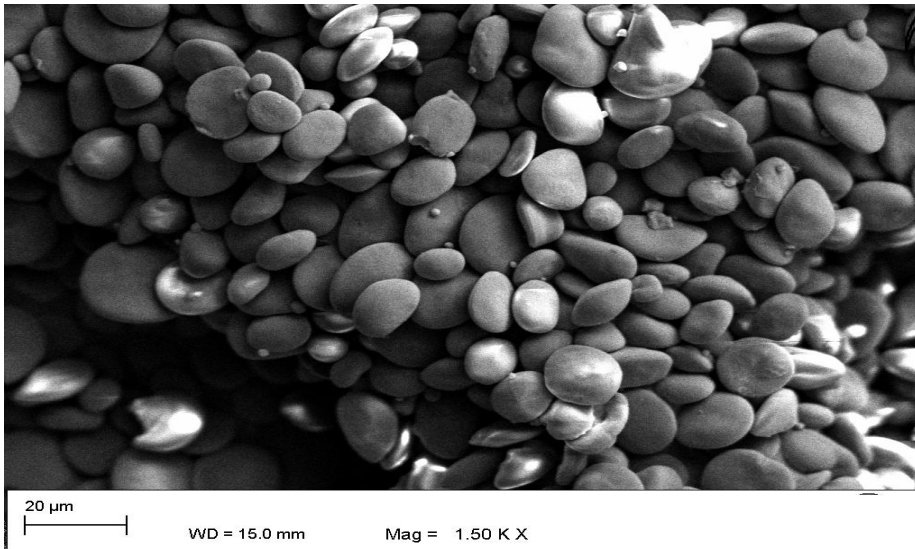


شکل ۲- آنالیز حرارتی نشاسته استیل شده در ۱۰ دقیقه توسط روش DSC

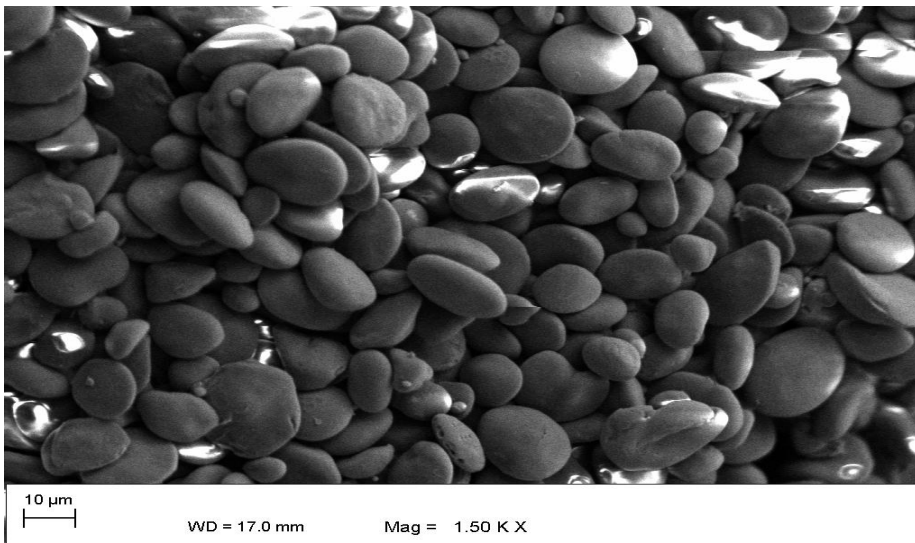


شکل ۳- آنالیز حرارتی نشاسته استیل شده در ۵ ساعت توسط روش DSC

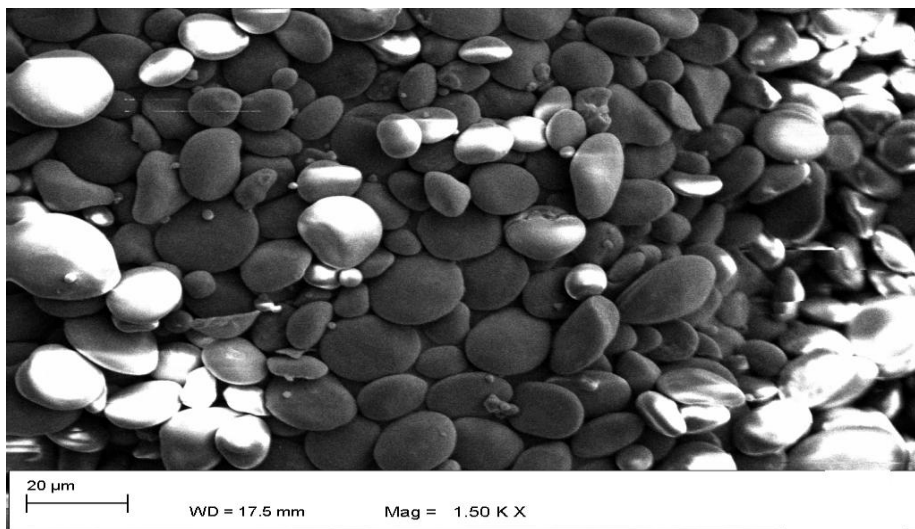
بررسی اثر تعدیل استیله کردن بر خواص فیزیکیوشیمیایی نشاسته جو



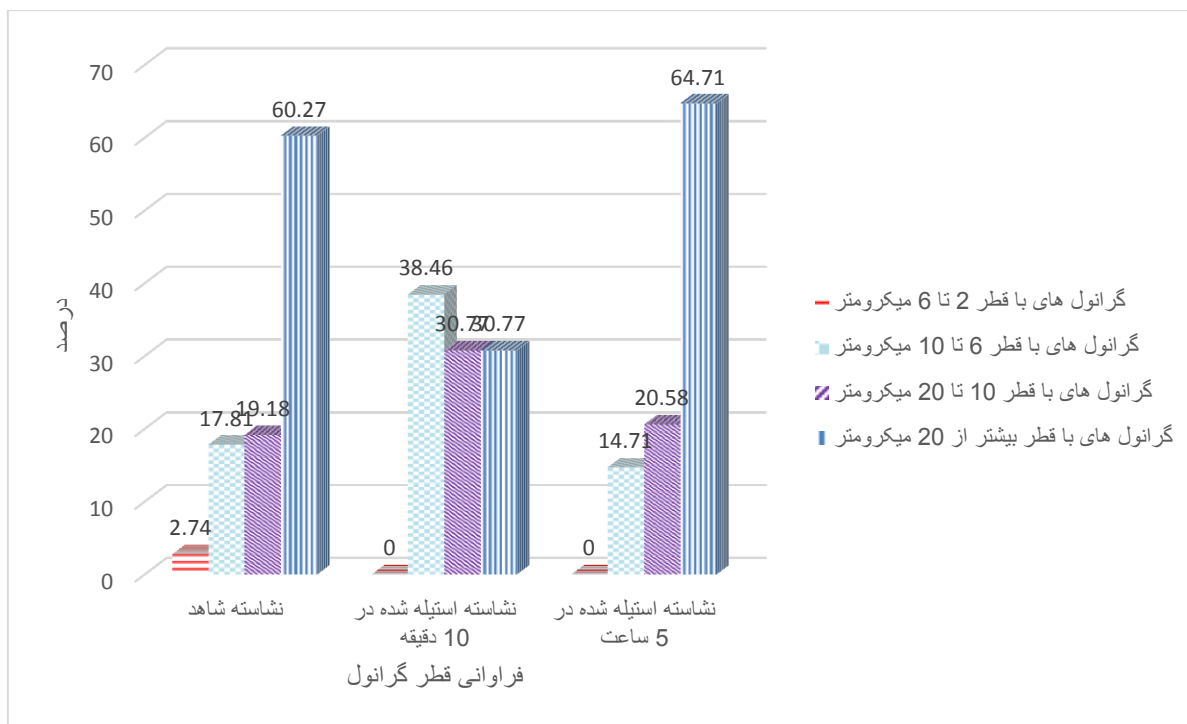
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشاسته شاهد



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشاسته استیله شده در ۱۰ دقیقه



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشاسته استیله شده در ۵ ساعت



نمودار ۱- بررسی فراوانی قطر گرانول‌های نشاسته شاهد و استیله شده

بحث

- قدرت تورم

مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن است که استیله کردن باعث افزایش قدرت تورم گرانول‌های نشاسته می‌گردد که با افزایش زمان واکنش، قدرت تورم نیز افزایش می‌یابد. بطور کلی افزایش قدرت تورم در نتیجه وارد شدن گروه‌های حجیم استیل به مولکول نشاسته است که با ایجاد ممانعت فضایی و در نتیجه از بین رفتن نظم ساختاری، موجب ایجاد دافعه بین مولکول‌های نشاسته و تسهیل نفوذ آب به ناحیه آمورف گرانول‌ها می‌گردد (Lawal, 2004) که در واقع گروه‌های جانشین‌شده‌ی آب‌دوست، مولکول‌های آب را برای تشکیل پیوندهای هیدروژنی در مولکول‌های نشاسته نگه‌می‌دارند (Singh & Sodhi, 2005).

- درصد سینرسیس

بررسی نتایج حاصل از میزان سینرسیس بیانگر کاهش معنادار میزان این فاکتور در نشاسته‌های تعدیل شده نسبت به نشاسته شاهد می‌باشد که Singh Sodhi & Singh (2005) علت آن را به حضور گروه‌های استیل نسبت

می‌دهند که منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در مولکول‌های نشاسته طی ذخیره نمودن ژل‌ها در یخچال می‌شود در مطالعه این محقق، ژل نشاسته برنج در اثر نگهداری در ۴ درجه سانتی‌گراد کاهش قابل توجهی در میزان سینرسیس نشان داد. این محقق کاهش سینرسیس طی استیله کردن نشاسته برنج را به حضور گروه‌های استیل نسبت می‌دهند که منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در مولکول‌های نشاسته طی ذخیره نمودن ژل‌ها در یخچال می‌شوند (Singh Sodhi & Singh, 2005).

- ویسکوزیته

بررسی ویسکوزیته نیز نشان می‌دهد که طی حرارت دهی در رنج ۹۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد، ویسکوزیته به تدریج شروع به بالا رفتن می‌کند. زمانی که نشاسته در آب فراوان حرارت داده می‌شود، دانه‌ها شروع به تورم می‌کنند و همزمان بخشی از ترکیبات آن محلول می‌شوند که این باعث تورم می‌شود و اجزاء به صورت سوسپانسیون وارد فاز پیوسته می‌شوند. در اینجا ویسکوزیته ماکزیمم قابل مشاهده است. بعد از آن در مرحله ثابت نگه‌داشتن دما در ۹۰ درجه سانتی‌گراد ویسکوزیته کاهش می‌یابد که این به

بررسی اثر تعدیل استیله کردن بر خواص فیزیکی شیمیایی نشاسته جو

علت تفرق مولکول‌های نشاسته می‌باشد. در ادامه در اثر کاهش تدریجی دما از ۹۰ به ۴۰ درجه سانتی‌گراد، مجدداً ویسکوزیته افزایش می‌یابد که علت آن منظم شدن مجدد زنجیره‌های خطی (اساساً آمیلوز) است که حین حرارت‌دهی و نگهداری در دمای ثابت به صورت محلول درآمده‌اند و باعث ایجاد تعداد زیادی پیوندهای عرضی طی پروسس تشکیل ژل می‌گردند (Bello-Perez *et al.*, 2010). داده‌های حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که استیله کردن نشاسته جو در درجات مختلف جانشینی، بیانگر افزایش پیک ویسکوزیته در نشاسته‌های استیله‌شده می‌باشد این نتایج با یافته‌های حاصل از تحقیق Gonzalez و Perez (۲۰۰۲) در بررسی اثر استیله کردن بر ویژگی‌های نشاسته برنج مطابقت دارد. در مطالعه گونزالز، پیک ویسکوزیته نشاسته برنج استیله شده در مقایسه با نشاسته طبیعی افزایش یافت. که علت آن را به افزایش جذب آب، حلالیت و تورم نسبت دادند. این محقق معتقد است افزایش ویسکوزیته طی سرد کردن بیانگر تمایل نشاسته به برگشت‌پذیری است. که نشاسته طبیعی برنج تمایل بالاتری به برگشت‌پذیری نشان می‌دهد (Gonzalez & Perez, 2002).

- خصوصیات مورفولوژی

مقایسه داده‌های آنالیز تصویر نشان می‌دهد که استیله کردن با غلظت ۶ درصد و زمان ۱۰ دقیقه، باعث کاهش فراوانی گرانول‌هایی با قطر ۶-۲ میکرومتر و گرانول‌های بزرگتر از ۲۰ میکرومتر گردیده‌است در حالی که، فراوانی گرانول‌هایی با قطر ۱۰-۶ و ۲۰-۱۰ میکرومتر را نسبت به نشاسته طبیعی افزایش داده‌است. نشاسته استیله شده در زمان ۵ ساعت نیز، باعث کاهش ناچیزی در درصد فراوانی گرانول‌های با قطر ۶-۲ میکرومتر و ۱۰-۶ میکرومتر و افزایش جزئی در درصد فراوانی گرانول‌هایی با قطر ۱۰-۲۰ و گرانول‌های بزرگتر از ۲۰ میکرومتر، نسبت به نشاسته طبیعی، گردیده است.

در مطالعه Prieto Garcia و همکاران (۲۰۱۲) نیز استیله کردن نشاسته جو با استیک‌انهیدرید و وینیل استات باعث تغییر اندازه مولکول از ۱۹ میکرومتر در نشاسته طبیعی به ۲۲ و ۱۰۴ میکرومتر به ترتیب در نشاسته استیله شده با وینیل استات و استیک‌انهیدرید گردید (Prieto Garcia *et al.*, 2012). Bello-Perez و همکاران (۲۰۱۰) در استیله کردن نشاسته جو با استیک‌انهیدرید مشاهده کردند که استیله کردن نشاسته جو به صورت ناچیزی بر روی شکل و اندازه اثر می‌گذارد ولی در درجه جانشینی بالا این تغییر بیشتر است زیرا اتصال گرانول‌های نشاسته مشاهده می‌گردد. این محقق همچنین گزارش کرد که با افزایش سطح استیک‌انهیدرید، میزان این اتصال گرانولی بیشتر می‌شود که افزایش اتصال بعد از استیله کردن، به وارد شدن گروه‌های هیدروفیلیک به مولکول‌های نشاسته نسبت داده می‌شود که باعث افزایش باندهای هیدروژنی می‌شوند (Bello-Perez *et al.*, 2010).

- خصوصیات حرارتی

بررسی داده‌های حرارتی حاصل از این تحقیق حاکی از آن است که استیله کردن باعث کاهش دماهای ژلاتینه شدن نسبت به نشاسته شاهد می‌گردد. Bello-Perez و همکاران (۲۰۱۰) نیز در بررسی اثر استیله کردن نشاسته جو در درجات مختلف جانشینی مشاهده کردند که دماهای ژلاتینه شدن نشاسته جو با درجه جانشینی پایین، مشابه نشاسته طبیعی است و فقط یک کاهش کم اما مهم در مقدار انتالپی نشاسته استیله شده با درجه جانشینی کم وجود دارد که این تفاوت انتالپی ناشی از بی‌نظمی مختصر ایجاد شده توسط استیله کردن است (Bello-Perez *et al.*, 2010). همچنین نشاسته‌های با درجه جانشین‌سازی بالا، کاهش شدیدتری را در دمای انتقال و انتالپی ژلاتینه شدن نشان می‌دهند. ضعیف بودن گرانول نشاسته استیله شده سبب قطی و گسیختگی آسان زنجیره دبل‌هلیکس امیلوپکتین می‌گردد که این سبب کاهش دمای شروع (T_0)، دمای پیک (T_p)، دمای نهایی (T_c) می‌گردد (Singh *et al.*, 2002).

نتیجه گیری

با توجه به قابلیت استفاده نشاسته در صنایع مختلف و همچنین محدودیت‌های کاربردی نشاسته، تعدیل نشاسته می‌تواند ضمن تقویت برخی خواص نشاسته، ویژگی‌های عملکردی جدیدی در نشاسته ایجاد کند. چنین نشاسته‌ای می‌تواند جایگزین برخی ترکیبات شیمیایی و صمغ‌های گران‌قیمت با عملکرد مشابه گردد. به علاوه تولید چنین محصولاتی از نشاسته طبیعی، به عنوان یک مرحله جدید در فرآیند نه چندان پیچیده در کارخانجات نشاسته، می‌تواند باعث افزایش ارزش اقتصادی محصول و سودآوری بیشتر گردد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از زحمات تمامی اساتید ارجمند که در این پژوهش همکاری صمیمانه داشتند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- Ayucitra, A. (2012). Preparation and characretisation of acetylated corn starches. *International journal of chemical engineering and application*, Vol. 3, No. 3, 156-159.
- Baik, B. K. & Ullrich, S. E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48, 233-242.
- Bello-Perez, L. A., Agama-Acevedo, E., Zamudio-Flores, P. B., Mendez-Montevalvo, G. & Rodriguez-Ambriz, S. L. (2010). Effect of low and high acetylation degree in the morphological, physicochemical and structural characteristics of barley starch. *Food Science and Technology*, 43, 1434-1440.
- Das, A. B., Singh, G., Singh, S. & Riar, C. S. (2010). Effect of acetylation and dual modification on physico-chemical, rheological and morphological characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 80, 725-732.
- Gonzalez, Z. & Perez, E. (2002). Effect of Acetylation on Some Properties of Rice starch. *Starch/Starke*, 54, 148-154.
- Jyothi, A. N., Moorthy, S. N. & Rajasekharan, K. N. (2006). Effect of Cross-linking with Epichlorohydrin on the Properties of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Starch. *Starch/Starke* 58. 292-299. DOI 10.1002/star.200500468.
- Lawal, O. S. (2004). Succinyl and acetyl starch derivatives of a hybrid maize physicochemical characteristics and retrogradation properties monitored by differential scanning calorimetry. *Carbohydrate Research*, 339, 2673-2682.
- Lee, H. L. & Yoo, B. (2009). Dynamic Rheological and Thermal Properties of Acetylated Sweet Potato Starch. *Starch/Starke*, 61, 407-413.
- Lim, W. J., Liang, Y. T., Seib, P. A. & Rao, C. S. (1992). Isolation of oat Starch from oat Flour. *Cereal Chem.*, 69 (3), 233-236.
- Leach, H. W., McCowen, L. D. & Schoch, T. J. (1959). Structure of the starch granule: swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Sci.*, 36, 534-544.
- Prieto Garcia, F., Prieto Mendez, J., Mendez Marzo, M. A., Bello Perez, L. A. & Roman Gutierrez, A. D. (2012). Modification and Chemical Characterization of Barley Starch. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2(4), 30-39.
- Singh Sodhi, N. & Singh, N. (2005). Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *Journal of Food Engineering*, 70, 117-127.
- Singh, J., Kaur, L. & McCarthy, O. J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications. A review. *Food Hydrocolloids*, 21, 1-22.
- Song, L. (2010). Chemical modification of starch and preparation of starch based nanocomposites. A Dissertation. In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy. A Dissertation Presented to The Graduate Faculty of The University of Akron.
- Tharanathan, R. N. (2005). Starch Value Addition by Modification. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 371-384.
- Thomas, D. J. & Atwell, W. A. (1999). Starch modification. *Cerealchemistry AACC*, Intl press. Chapter 4. Pp, 34, 35, 38, 42, 43. ISBN: 1-891127-01-2.

Wilkins, M. R., Wang, P., Xu, L., Niu, Y.,
Tumbleson, M. E. & Rausch, K. D. (2003).
Variability in Starch Acetylation Efficiency

from Commercial Waxy Corn Hybrids. *Cereal
Chem.*, 80(1), 68–71.