

اثر فرایند استیلایون و اتصال عرضی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، عملکردی و ساختاری نشاسته نخود (واربته جم)

فرزانه عقیلی دهنوی^۱، عبدالخالق گل کار^{۲*}، هومان مولوی^۳، محمد حجت الاسلامی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
* نویسنده مسئول (a.golkar@ag.iut.ac.ir)
۳- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران

چکیده

نشاسته نخود یک محصول جانبی در فرایند استخراج پروتئین است. نشاسته نخود در کاربردهای صنعتی استفاده می‌شود، اما به دلیل خصوصیات عملکردی ضعیف در صنعت غذا استفاده چندانی ندارد. خواص نشاسته را می‌توان با استفاده از برخی روش‌ها تعدیل نموده و بهبود بخشید. هدف این تحقیق بررسی تأثیر دو روش ایجاد اتصال عرضی در دو سطح ۰/۰۵ درصد و ۰/۰۷ درصد و استیلایون در دو سطح ۶ درصد و ۸ درصد بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، ساختاری و عملکردی نشاسته نخود واربته جم بود. میزان آمیلوز نشاسته معمولی $48/59 \pm 0/41$ درصد بود که بعد از فرایند استیلایون افزایش یافته؛ اما اتصال عرضی میزان آمیلوز را کاهش داد. میزان استیلایون و درجه جانشینی با افزایش درصد استیلایون افزایش یافت. با افزایش اتصال عرضی قدرت تورم کاهش معنی‌داری نشان داد اما با افزایش درصد استیلایون، این پارامتر افزایش معنی‌دار نداشت (سطح $P > 0/05$). سینرسیس خمیرهای نشاسته استیلایون شده در مقایسه با نشاسته معمولی کاهش؛ اما خمیرهای نشاسته اتصال عرضی شده سینرسیس بالاتری در مقایسه با نشاسته معمولی نشان دادند. نشاسته استیلایون شده ۸ درصد با $36/0 \pm 1/5$ درصد به‌طور معنی‌داری کمترین میزان سینرسیس را طی دوره نگهداری داشت. تغییرات صورت‌گرفته در ساختار نشاسته‌ها بعد از اصلاح شیمیایی با FT-IR تأیید گردید. رفتار حرارتی نشاسته‌ها نشان داد که در اثر فرایند استیلایون و اتصال عرضی به ترتیب میزان آنتالپی ژلاتیناسیون کاهش و افزایش یافته است. با توجه به تغییراتی که در خصوصیات عملکردی نشاسته نخود بعد از اصلاح شیمیایی صورت گرفت، انتظار می‌رود نشاسته‌های مربوطه از کارایی متفاوتی در مقایسه با نشاسته معمولی برخوردار باشند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۶

واژه‌های کلیدی

اتصال عرضی
استیلایون
خصوصیات فیزیکوشیمیایی
ساختاری
نشاسته نخود

مقدمه

نخود یکی از دانه‌های بسیار مهم خانواده حبوبات بشمار می‌رود. حبوبات دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای کربوهیدرات هستند اما در مرحله اول، آنها به لحاظ اهمیت پروتئینی‌شان کشت می‌گردند (Ratnayake et

al., 2002; Ratnayake et al., 2004). براساس

آمارنامه کشاورزی ایران در سال زراعی ۸۹-۸۸، ۷۹۰ هزار هکتار سطح زیر کشت حبوبات در ایران وجود داشته که حدود ۶/۲ درصد کل سطح زیر کشت محصولات را شامل می‌گردد. بالاترین سطح زیر کشت

مواد غذایی که نیاز به ویسکوزیته بالا و پایدار است، به کار می‌رود. اتصال عرضی، پیوندهای هیدروژنی را در گرانول‌ها با ایجاد پیوند کووالانسی (اتصالات اتری، اتصالات فسفو دی‌استری و اتصالات اتر آلی) تقویت می‌کند. استیلاسیون یکی از روش‌های شیمیایی اصلاح نشاسته است و با استریفیکاسیون^۱ نشاسته معمولی با استیک انهیدرید^۲ یا وینیل استات در حضور کاتالیست‌های قلیایی، همانند سدیم هیدروکسید، پتاسیم هیدروکسید، کلسیم هیدروکسید و سدیم بی‌کربنات انجام می‌شود. وارد کردن گروه‌های استیل استحکام پیوندهای بین مولکول‌های نشاسته را کاهش داده و در نتیجه منجر به افزایش قدرت تورم و حلالیت نشاسته اصلاح‌شده می‌گردد (نمازی، ۱۳۸۶).

از این رو، به دلیل اهمیت نشاسته در فرمولاسیون مواد غذایی، بهبود خصوصیات عملکردی نشاسته برای کاربرد موفقیت‌آمیز آن به لحاظ اقتصادی مهم است. پژوهش‌های متعددی در مورد ترکیبات و برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی نشاسته‌های نخود (Jayakody et al., 2007; Li et al., 2014; Ratnayake et al., 2001) انجام شده است؛ اما تاکنون در مورد نشاسته گونه بومی ایران (رقم جم) تحقیقی صورت نگرفته است. لذا، هدف اصلی این تحقیق ایجاد اتصال عرضی در دو سطح (۰/۵ و ۰/۱ درصد) و فرایند استیلاسیون در دو سطح (۶ و ۸ درصد) و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، ساختاری، عملکردی و ساختاری نشاسته‌های اصلاح‌شده تولیدی با نشاسته طبیعی نخود واریته جم است.

مواد و روش‌ها

نخود استفاده‌شده جهت استخراج نشاسته از واریته جم بود. نخود مصرفی در این پژوهش، از مزارع اطراف مبارکه اصفهان تهیه شد. تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق دارای درجه خلوص بالا و مخصوص آنالیزهای شیمیایی بودند.

جداسازی نشاسته از نخود

به منظور جداسازی نشاسته نخود از روش Lim و

حبوبات مربوط به نخود است. طبق آمار سال ۲۰۱۰، به ترتیب ۹ کشور برتر تولیدکننده نخود در جهان عبارتند از: هند، استرالیا، ترکیه، میانمار، پاکستان، اتیوپی، ایران، مکزیک و کانادا. هند بزرگ‌ترین تولیدکننده نخود در جهان است. در این بین، ایران با تولید ۲۳۹۷۶۸ مگاتن رتبه ۷ جهانی را دارد (حق پرست و مرادی، ۱۳۹۰).

نشاسته کربوهیدرات اصلی ذخیره‌ای در بسیاری از گیاهان است. اهمیت نشاسته به‌ویژه به‌خاطر نقش کلیدی این پلیمر به‌عنوان منبعی غذایی برای موجودات زنده، هم از نظر بیولوژیکی و هم از نظر تکنولوژی به‌خوبی شناخته شده، و در بسیاری از دانه‌ها و گیاهان موجود است. علاوه بر این، نشاسته تحت تأثیر آنزیم‌ها به‌راحتی هضم می‌شود و بنابراین منبع اصلی انرژی در رژیم‌های غذایی را تشکیل می‌دهد به‌طوری‌که قسمت عمده اغلب غذاها بر پایه نشاسته است. ارزش این ماده به‌عنوان ماده‌ای صنعتی منجر به تهیه گسترده آن به‌صورت ماده‌ای خام شده است به‌طوری‌که سالیان صدها تن از نشاسته به‌منظور استفاده در صنایع مختلف تولید می‌گردد (نمازی، ۱۳۸۶). نشاسته نخود یک محصول جانبی در فرایند استخراج پروتئین است. از این رو، به‌عنوان یک منبع نسبتاً ارزان در مقایسه با نشاسته‌های ذرت، گندم و سیب‌زمینی در نظر گرفته می‌شود. اغلب نشاسته نخود در کاربردهای صنعتی استفاده می‌شود، اما به دلیل خصوصیات عملکردی ضعیف در صنعت غذا استفاده چندانی ندارد (Ratnayake et al., 2002).

به‌طور کلی، خصوصیات فیزیکی نشاسته‌های غیراصلاح‌شده و معمولی باعث عدم مناسب بودن آنها جهت استفاده در کاربردهای غذایی می‌گردد. از این رو، نشاسته‌های اصلاح‌شده برای برطرف کردن این کمبودها و توسعه سودمندی نشاسته گسترش یافته است. از روش‌های متعددی برای بهبود خصوصیات خمیر نشاسته توسط اصلاح‌های شیمیایی، فیزیکی، آنزیمی و ژنتیکی استفاده شده است. از لحاظ صنعتی، روش‌های معمولی که برای اصلاح نشاسته استفاده می‌شود عبارتند از: مشتق‌سازی، اتصال عرضی، استیلاسیون، هیدرولیز کردن و اکسیداسیون. نشاسته‌های اتصال عرضی شده به‌عنوان قوام‌دهنده در

¹ Esterification

² Acetic anhydride

دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد.

آماده‌سازی نشاسته در واکنش استیلایون

استیلایون دو سطح ۶ و ۸ درصد و براساس روش Sodhi و Singh (۲۰۰۵) انجام گرفت. در ابتدا ۱۰۰ گرم نشاسته در ۲۲۵ سی‌سی آب دیونیزه پراکنده و به مدت ۱ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد هم‌زده شد. سپس از هیدروکسید سدیم ۳ درصد برای تنظیم pH سوسپانسیون به ۸/۰ استفاده شد. ۶ و ۸ گرم استیک انهدرید به آرامی به سوسپانسیون در حال هم‌خوردن اضافه و حال آنکه pH با محلول هیدروکسید سدیم ۳ درصد در محدوده ۸/۴-۸/۰ تنظیم گردید. واکنش به مدت ۱۰ دقیقه بعد از افزودن استیک انهدرید انجام می‌گردد. سپس pH محلول با اسیدکلریدریک ۰/۵ نرمال در حدود ۴/۵ تنظیم شد. بعد از رسوب‌کردن، مواد را به‌منظور عاری‌نمودن از اسید، دو بار با آب دیونیزه و یکبار با اتانول ۹۵ درصد شست‌وشو داده شد و در نهایت با آن ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند.

آزمون‌های شیمیایی، تعیین درصد خلوص و میزان قند نشاسته‌ها

برآورد کمی مقادیر رطوبت، خاکستر و پروتئین طبق روش استاندارد AOAC انجام شد (AOAC, 2003). چربی نشاسته‌ها به روش Vasanthan و Hoover (۱۹۹۲) تعیین شد.

اندازه‌گیری مقدار آمیلوز

مقدار آمیلوز با استفاده از روش Sodhi و Singh (۲۰۰۵) محاسبه شد. ۲۰ میلی‌گرم نمونه نشاسته به ۱۰ سی‌سی هیدروکسید پتاسیم ۰/۵ نرمال اضافه شد. سوسپانسیون حاصل را کاملاً مخلوط نموده و به بالن ۱۰ سی‌سی منتقل گردید و با آب دیونیزه تا خط نشانه، به حجم رسانیده شد. ۱۰ سی‌سی از محلول تولیدی با پیت به یک بالن ۵۰ سی‌سی منتقل و ۵ سی‌سی اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال و سپس ۰/۵ سی‌سی واکنش‌گر یددار به آن اضافه شد. بالن ۵۰ سی‌سی را به حجم رسانیده و جذب آن در ۶۲۵

همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. ابتدا ۱۰۰ گرم آرد نخود با ۵۰۰ سی‌سی هیدروکسید سدیم ۰/۰۲ مولار مخلوط‌شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی همزن مغناطیسی (مدل آیکا، ساخت آلمان) هم‌زده شد و سپس در ۱۴۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. فاز رویی بعد از سانتریفیوژ کردن با دقت جداسازی و دور ریخته شد. رسوبات حاصل جمع‌آوری و با ۵۰۰ سی‌سی آب به‌صورت شیرابه درآمد و با یک الک نایلونی (قطر منفذ فیلتر=۵۰ میکرون) فیلتر گردید. ماده فیلترشده نهایی با اسیدکلریدریک ۱ مولار خنثی و مخلوط حاصل سانتریفیوژ شد. فاز رویی به همراه لایه روی سطح فوقانی نشاسته (که به دقت با تراشیدن با یک قاشقک انجام گرفت) دور ریخته شد. در انتها، نشاسته با آب شسته شد که این عمل با ۳ حجم ۲۰۰ سی‌سی آب انجام گرفت و سپس سانتریفیوژ گردید. جهت خشک‌کردن نشاسته‌های جمع‌آوری‌شده از آن با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت استفاده گردید.

آماده‌سازی نشاسته و ایجاد اتصالات عرضی

اتصال عرضی در نشاسته با فسفوریل کلراید (POCl_3) در ۲ سطح ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد انجام گرفت. اتصال عرضی مطابق روش Kaur و همکاران (۲۰۰۶) انجام شد. برای انجام این تیمار، نشاسته (۱۵ گرم براساس وزن خشک) در آب دیونیزه (۲۴ سی‌سی) دارای سدیم سولفات (Na_2SO_4) با هم‌زدن ملایم پراکنده شد. سپس pH با هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار روی ۱۱/۵ تنظیم گردید. دمای این سوسپانسیون روی ۲۵ درجه سانتی‌گراد حفظ شد. فسفوریل کلراید به میزان ۰/۵ و ۱ گرم بر کیلوگرم (براساس وزن خشک نشاسته) با میکروپیت اضافه و ظروف واکنش کاملاً دربندی شدند. زمان واکنش به مدت ۱ ساعت به همراه عمل هم‌خوردن در حضور فسفوریل کلراید انجام گرفت. بعد از سپری‌شدن زمان واکنش اتصال عرضی، سوسپانسیون نشاسته با اسیدکلریدریک رقیق (۰/۱ مولار) تا $\text{pH}=5/5$ خنثی شد. بعد از رسوب‌کردن، نشاسته ۳ مرتبه با آب فراوان شسته شد تا از اسید عاری شود و در انتها با آن با

مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس در حمام آب یخ تا رسیدن به دمای اتاق سرد شد. در انتها، میزان سینرسیس به صورت درصد میزان آب جدا شده بعد از ۱۵ دقیقه سانتی‌فیوژ کردن در ۳۲۰۰ دور در دقیقه بیان شد. سینرسیس برای ژل‌های نشاسته نگهداری شده به مدت ۱، ۴ و ۷ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد (Sodhi & Singh, 2005).

اندازه‌گیری طیف FT-IR نمونه‌ها

طیف FT-IR نمونه‌های نشاسته با دستگاه FT-IR (مدل جاسکو^۲، FT/IR-6300، ساخت ژاپن) و با استفاده از دیسک پتاسیم بروماید دارای ۱ درصد نمونه کاملاً آسیاب شده در محدوده $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ به دست آمد (Yoo & Jane, 2002).

بررسی ویژگی‌های حرارتی^۳

ویژگی‌های حرارتی نشاسته با استفاده از دستگاه کالریمتری افتراقی (Sanaf، ساخت ایران) انجام شد. حدود ۴ میلی‌گرم نشاسته داخل ظرف‌های آلومینیومی مخصوص دستگاه ریخته و ۸ میلی‌گرم آب به آن افزوده شد. قبل از انجام آنالیز، نمونه‌ها به مدت ۱ روز در دمای اتاق و در ظروف کاملاً بسته دستگاه کالریمتری روبشی افتراقی (DSC) نگهداری شدند. نمونه‌ها با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه از ۳۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. دمای آغازین (T_p)، حداکثر دما (T_o)، دمای نهایی (T_c) و حرارت مربوط به ژلاتیناسیون (ΔH_{gel}) از روی نمودار محاسبه گردید (Singh et al., 2004).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شدند. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، از آنالیز تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد با نرم‌افزار SAS 9.0 انجام گرفت. این تحقیق دارای ۵ تیمار (نشاسته

نانومتر قرائت گردید. تعیین مقدار آمیلوز با استفاده از منحنی استاندارد حاصل از مخلوط آمیلوز و آمیلوپکتین محاسبه شد.

بررسی درصد استیلاسیون و درجه جانشینی

درصد استیلاسیون و درجه جایگزینی نشاسته‌ها با استفاده از روش Singh و Sodhi (۲۰۰۵) و به ترتیب مطابق رابطه (۱) و (۲) محاسبه گردید:

رابطه (۱)

$$\text{درصد استیل} = \frac{0.43 \times \text{مولاریته اسید کلریدریک مصرفی} \times (\text{نمونه} - \text{شاهد})}{\text{وزن نمونه}} \times 100$$

رابطه (۲)

$$\text{درصد جانشینی} = \frac{(\text{درصد استیل} \times 162)}{[4300 - (42 \times \text{درصد استیل})]}$$

اندازه‌گیری فاکتور تورم

فاکتور تورم نشاسته‌ها مطابق با روش Mirmoghtadaie و همکاران (۲۰۰۹) انجام گرفت. بدین منظور ۰/۱ گرم نمونه براساس وزن خشک در لوله‌های آزمایش دارای درب پیچی توزین و ۱۰ سی‌سی آب با آن اضافه گردید. بعد از مخلوط نمودن محتوای درون ظرف، لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و مجهز به شیکر قرار گرفت که با سرعت ثابت در حال تلاطم بود. سپس لوله‌های آزمایش از حمام آب خارج شدند و بلافاصله تا دمای اتاق سرد شد. لوله‌های آزمایش در ۲۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه سانتی‌فیوژ و فاز روی را خارج کرده و لوله حاوی رسوب مجدداً توزین شد. درصد فاکتور تورم از رابطه (۳) محاسبه گردید (Mirmoghtadaie et al., 2009):

رابطه (۳)

$$\text{وزن لوله و رسوب بعد از سانتی‌فیوژ} \times 100 = \frac{\text{درصد فاکتور تورم}}{\text{نشاسته خشک وزن}}$$

میزان سینرسیس^۱ ژل‌های نشاسته

سوسپانسیون نشاسته ۵ درصد وزنی/حجمی تهیه و به

^۲ JASCO

^۳ Differential Scanning Calorimetry

^۱ Syneresis

سطح ۵ درصد برخوردار بودند. افزایش میزان خاکستر نشاسته‌های اصلاح‌شده ناشی از محصولات جانبی واکنش است که می‌تواند در نشاسته اصلاح‌شده باقی بماند و محتوای خاکستر نمونه را افزایش دهد (Carmona-Garcia *et al.*, 2009). درصد خلوص نشاسته طبیعی ۹۴/۴ درصد تعیین شد که با ایجاد فرایند اصلاح در ساختار نشاسته، درصد خلوص آنها کاهش یافت. درصد خلوص نشاسته‌های اتصال‌عرضی شده نسبت به نشاسته‌های دیگر به‌طور معنی‌داری پایین‌تر است ($P < 0/05$). لازم به ذکر است که براساس نتایج میزان پروتئین، چربی و خاکستر پایین نمونه‌ها می‌توان به خلوص بالای نشاسته‌های تولیدی پی‌برد. Ratnayake و همکاران (۲۰۰۱) میزان رطوبت، خاکستر، نیتروژن و چربی نشاسته‌های حاصل از ۴ واریته نخود را به‌ترتیب در محدوده ۹/۲-۱۳/۳، ۰/۱۴-۰/۰۳، ۰/۰۴-۰/۰۷ و ۰/۲۹-۰/۲۴ درصد گزارش کردند.

اثر فرایند اتصال‌عرضی روی ترکیبات شیمیایی نشاسته موز^۱ هم نشان داد که رطوبت، پروتئین و چربی نشاسته‌های اتصال‌عرضی شده موز در مقایسه با نشاسته معمولی آن کاهش ولی میزان خاکستر افزایش یافت (Carmona-Garcia *et al.*, 2009). نتایج گزارش شده با تغییرات ترکیبات شیمیایی نشاسته نخود معمولی و اتصال‌عرضی شده مطابقت دارد.

طبیعی، ۶ استیله، ۸ استیله، ۰/۰۵ درصد اتصال‌عرضی و ۰/۱ درصد اتصال‌عرضی) است که آزمایش‌های حداقل به‌صورت ۳ تکرار انجام شده‌اند.

نتایج

ترکیبات شیمیایی نشاسته‌های طبیعی، استیله و اتصال‌عرضی شده نخود

راندمان عملیات استحصال نشاسته نخود ۱۸/۶ درصد و خلوص نشاسته استحصالی هم ۹۴/۴ درصد اندازه‌گیری شد. براساس نتایج (جدول ۱)، تفاوت معنی‌داری بین رطوبت نشاسته‌ها وجود نداشت ($P > 0/05$). میزان رطوبت نشاسته‌های استیله‌شده و نشاسته‌های اتصال‌عرضی در مقایسه با نشاسته طبیعی به‌ترتیب بیشتر و کمتر شد. درصد ازت نشاسته‌های اصلاح‌شده در مقایسه با نشاسته طبیعی (۰/۱۰۷) درصد) کمتر بود و دارای اختلاف معنی‌داری بودند ($P < 0/05$). کاهش پروتئین در نشاسته‌های اصلاح‌شده می‌تواند ناشی از انحلال بخشی پروتئین‌ها با واکنش‌گرهای استفاده‌شده در اصلاح شیمیایی باشد (Carmona-Garcia *et al.*, 2009). چربی نمونه‌های نشاسته نیز تفاوت معنی‌داری با همدیگر نداشتند. میزان خاکستر اندازه‌گیری شده نشان داد که نشاسته‌های اصلاح‌شده در مقایسه با نمونه طبیعی خاکستر بالاتری داشتند و از اختلاف معنی‌داری در

جدول ۱- مقایسه ترکیبات شیمیایی نشاسته معمولی، استیله و اتصال‌عرضی شده نخود

درصد وزنی (وزن مرطوب) ترکیبات			رطوبت	تیماز
خاکستر	چربی	ازت کل		
۰/۱۶۵ ^c ±۰/۰۱	۰/۱۱۵ ^a ±۰/۰۲۰	۰/۱۰۷ ^a ±۰/۰۰۲	۸/۳۰ ^a ±۰/۰۵۰	طبیعی
۰/۳۴۰ ^a ±۰/۰۰۲	۰/۱۱۸ ^a ±۰/۰۲۰	۰/۰۵۸ ^c ±۰/۰۰۱	۸/۶۱ ^a ±۰/۰۴۰	۶ درصد استیله‌شده
۰/۳۲۰ ^a ±۰/۰۰۱	۰/۱۰۷ ^a ±۰/۰۳۰	۰/۰۵۱ ^c ±۰/۰۰۲	۸/۴۰ ^a ±۰/۰۴۰	۸ درصد استیله‌شده
۰/۲۳۰ ^b ±۰/۰۰۰	۰/۱۲۱ ^a ±۰/۰۱۰	۰/۰۸۸ ^b ±۰/۰۰۳	۸/۳۰ ^a ±۰/۰۲۰	۰/۰۵ درصد اتصال‌عرضی
۰/۲۲۰ ^b ±۰/۰۰۲	۰/۱۲۵ ^a ±۰/۰۰۵	۰/۰۵۱ ^c ±۰/۰۰۱	۸/۱۵ ^a ±۰/۰۱۵	۰/۱ درصد اتصال‌عرضی

۱- درصد وزنی برحسب وزن مرطوب،

۲- درصد نشاسته برحسب وزن خشک،

- نتایج به‌صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف از میانگین گزارش شده است.

- حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ($P < 0/05$) است.

^۱ *Musa paradisiaca*

جدول ۲- مقایسه مقدار آمیلوز نشاسته‌های معمولی، استیله و اتصال عرضی شده نخود

مقدار آمیلوز (درصد)	نوع نشاسته
۴۸/۵۹ ^a ±۰/۴۱	طبیعی
۴۸/۶۵ ^a ±۰/۳۲	۶ درصد استیله شده
۴۸/۶۹ ^a ±۰/۱۱	۸ درصد استیله شده
۴۸/۵۱ ^a ±۰/۲۷	۰/۰۵ درصد اتصال عرضی
۴۸/۴۳ ^a ±۰/۱۹	۰/۱ درصد اتصال عرضی

- نتایج به صورت میانگین ۲ تکرار ± انحراف از میانگین گزارش شده است.

درصد استیلاسیون و درجه جانشینی نشاسته استیله شده نخود

جدول (۳)، درصد استیلاسیون و درجه جانشینی نشاسته‌های نخود تیمار شده با محلول ۶ و ۸ درصد استیک انهیدرید را نشان می‌دهد. مقایسه میانگین داده‌ها، نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین میزان استیلاسیون نشاسته ۶ و ۸ درصد استیله شده می‌باشد. درجه جانشینی آنها نیز به ترتیب عبارتند از: ۰/۰۶۹ و ۰/۰۷۶ (عدم تفاوت معنی‌دار). افزایش درصد استیلاسیون نشاسته نخود نشان می‌دهد که با افزایش میزان استیک انهیدرید از ۶ به ۸ درصد، فرایند استیلاسیون پیشرفت داشته است. فرایند استیلاسیون جو دوسر در سطح استیک انهیدرید (۶ و ۸ درصد) نشان داد که درصد استیل و درجه جایگزینی برای این دو شرایط به ترتیب عبارتند از: (۱/۵۴ درصد و ۰/۰۵) و (۲/۹۲ درصد و ۰/۱۱) (Mirmoghtadai et al., 2009).

Sodhi و Singh (۲۰۰۵) درصد استیلاسیون و درجه جانشینی نشاسته‌های واریته‌های مختلف برنج را به ترتیب در محدوده ۲/۲۶-۳/۶۸ درصد و ۰/۰۸۷-۰/۱۴۴ گزارش کردند. این مقادیر بالاتر گزارش شده در مقایسه با نشاسته نخود واریته جم می‌تواند مربوط به میزان آمیلوز پایین‌تر نشاسته معمولی برنج (۱۸/۸۶-۷/۸۳ درصد) باشد. به طور کلی، تفاوت در میزان استیل گزارش شده در مطالعه‌های مختلف به دلیل تفاوت در منابع مختلف نشاسته و اندازه گرانول آنها، و نیز شرایط واکنش (سرعت اضافه کردن استیک انهیدرید، یکنواختی در هم‌زدن و زمان واکنش) می‌باشد. همچنین، پایین بودن درجه جایگزینی را می‌توان به

اندازه‌گیری مقدار آمیلوز نشاسته‌های طبیعی، استیله و اتصال عرضی شده نخود

در جدول (۲)، مقدار آمیلوز نشاسته‌های معمولی، استیله شده و اتصال عرضی شده نخود تعیین شده است. میزان آمیلوز نشاسته‌های استیله و اتصال عرضی شده نیز به ترتیب در مقایسه با نشاسته معمولی بیشتر و کمتر محاسبه شد. هرچند با وجود افزایش و کاهش در نشاسته‌های اصلاح شده تفاوت معنی‌داری با نشاسته طبیعی نخود نداشتند ($P > 0.05$).

Ratnayake و همکاران (۲۰۰۱) میزان آمیلوز ظاهری (که توسط محلول یدی و قبل از استخراج لیپید انجام شد) و میزان آمیلوز کل (که با محلول ید و بعد از خارج کردن لیپیدهای اتصالی صورت گرفت) ۴ نوع نشاسته نخود زراعی را به ترتیب در محدوده ۴۲/۹-۴۳/۷ و ۴۸/۸-۴۹/۶ درصد گزارش کرده‌اند. این مقادیر با میزان آمیلوز گزارش شده در این پژوهش همخوانی داشت. به علاوه، میزان آمیلوز ۲ واریته نخود علفی^۱ نیز ۳۷/۹۵ و ۳۸/۳۰ درصد تعیین شد (Jayakody et al., 2007). می‌توان بیان کرد که محتوای آمیلوز می‌تواند به منبع نشاسته و حضور و فعالیت آنزیم‌های سنتزکننده آمیلوز در سلول بستگی داشته باشد. Sodhi و Singh (۲۰۰۵) بیان نموده‌اند که میزان آمیلوز نشاسته‌های برنج بعد از استیلاسیون افزایش یافت، اما این افزایش معنی‌دار نبود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. Bello-Perez و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که فرایند استیلاسیون در نشاسته موز و نشاسته ذرت به ترتیب باعث کاهش و افزایش جذب ید می‌گردد. در حقیقت، حضور گروه‌های استیل باعث تداخل قسمت‌های آمیلوز و آمیلوپکتین نشاسته شده و بر جذب ید طی آزمون آمیلوز تأثیر می‌گذارد. اما در خصوص نشاسته‌های اتصال عرضی شده می‌توان این گونه عنوان کرد که وجود نقاط اتصالی در ساختار گرانول‌های نخود باعث شده که طی انجام آزمون، از نفوذ ید به ساختار جلوگیری کند و باعث کاهش در گزارش میزان آمیلوز نشاسته‌های نخود اتصال عرضی شده گردد.

¹ Field pea

نشاسته منجر به بازآرایی‌های ساختاری به واسطهٔ دافعهٔ فضایی می‌گردد، که منجر به دافعهٔ بین مولکول‌های نشاسته شده و در نهایت افزایش نفوذ آب به داخل نواحی بی‌شکل گرانول را تسهیل می‌کند و در نتیجه قدرت تورم افزایش می‌یابد (Singh *et al.*, 2004). Mirmoghtadaie و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که فرایند اتصال عرضی باعث کاهش فاکتور تورم در نشاستهٔ جو دوسر در مقایسه با نشاستهٔ معمولی آن می‌گردد.

فرایند اتصال عرضی منجر به ایجاد پیوند محکم بین زنجیرهای نشاسته شده و مقاومت گرانول نشاسته به تورم را افزایش می‌دهد. در حقیقت، اتصال عرضی ساختار گرانول نشاسته را تقویت می‌کند و با محدود نمودن تحرک زنجیرهای نشاسته در نواحی آمورف، مانع جذب آب می‌شود (Nara & Tsu, 1983).

جدول ۴- مقایسهٔ قدرت تورم نشاسته‌های معمولی، استیله و اتصال عرضی شدهٔ نخود

قدرت تورم (درصد)	نوع نشاسته
$24/88^a \pm 0/11$	طبیعی
$25/24^a \pm 0/35$	۶ درصد استیله شده
$25/50^a \pm 0/08$	۸ درصد استیله شده
$22/47^b \pm 0/27$	۰/۰۵ درصد اتصال عرضی
$21/32^b \pm 0/19$	۰/۱ درصد اتصال عرضی

- نتایج به صورت میانگین ۲ تکرار \pm انحراف از میانگین گزارش شده است.

- حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح ($P < 0/05$) است.

میزان سینرسیس نمونه‌ها

در شکل (۱)، میزان سینرسیس نشاسته‌های طبیعی، استیله شده و اتصال عرضی طی زمان نگهداری نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود میزان سینرسیس در تمامی نمونه‌ها طی دورهٔ نگهداری افزایش یافت که اختلاف معنی داری ($P < 0/05$) بین روز اول با روزهای ۴ و ۷ وجود دارد؛ اما اختلاف معنی داری بین روز ۴ و ۷ مشاهده نشد ($P < 0/05$). سینرسیس در ژل‌های نشاسته به دلیل افزایش اتصالات مولکولی بین زنجیرهای نشاسته در دمای پایین و خروج آب از ساختار ژل است. به طور

نبود منافذ روی سطح گرانول‌ها یا کانال‌های روی سطح گرانول جهت عبور استیک انهدرید در قسمت‌های داخلی گرانول، نسبت داد. درصد گروه استیل در گرانول‌های بزرگ‌تر بیشتر از گرانول‌های کوچک است (Gonzalez & Perez, 2002; Sodhi & Singh, 2005).

جدول ۳- مقایسهٔ درصد استیلایون و درجهٔ جانشینی نشاسته‌های استیلهٔ نخود

نوع نشاسته	استیلایون (درصد)	درجهٔ جانشینی (-)
۶ درصد استیله شده	$1/792^b \pm 0/18$	$0/069^a \pm 0/010$
۸ درصد استیله شده	$1/984^a \pm 0/12$	$0/076^a \pm 0/007$

- نتایج به صورت میانگین ۳ تکرار \pm انحراف از میانگین گزارش شده است.

- حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح ($P < 0/05$) است.

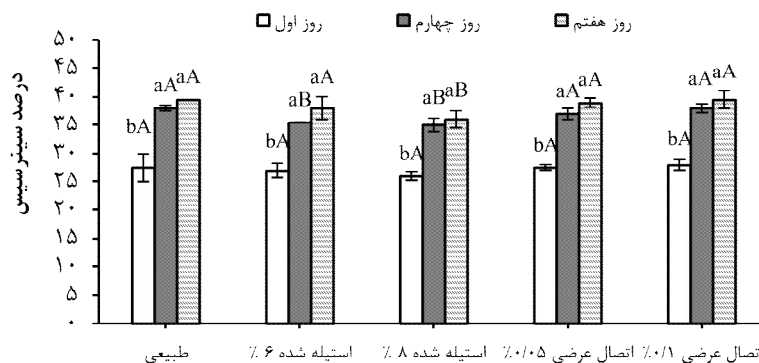
اندازه‌گیری قدرت تورم نشاسته‌های طبیعی، استیله و اتصال عرضی شدهٔ نخود

در جدول (۴)، قدرت تورم نشاسته‌های معمولی و اصلاح شدهٔ نخود گزارش شده است. مقایسهٔ این مقدار با مقادیر محاسبه شده برای نشاسته‌های اصلاحی نخود نشان داده است که فرایند استیلایون منجر به افزایش قدرت تورم شده و ایجاد اتصال عرضی، قدرت تورم را کاهش می‌دهد. افزایش قدرت تورم نشاستهٔ استیله شدهٔ نخود در مقایسه با قدرت تورم نشاستهٔ طبیعی معنی دار نبود ($P > 0/05$). اما کاهش در قدرت تورم نشاسته‌های اتصال عرضی شده در مقایسه با نمونهٔ معمولی نخود معنی دار بود ولی تفاوتی بین دو ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد اتصال عرضی مشاهده نشد. Ratnayake و همکاران (۲۰۰۱) میزان قدرت تورم نشاسته‌های ۴ نوع نخود زراعی را در دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد در محدودهٔ ۲۶/۷-۲۶/۵ درصد گزارش کردند که با میزان قدرت تورم گزارش شده برای نشاستهٔ نخود معمولی ($24/88 \pm 0/11$ درصد) تفاوت چندانی نداشت. Gonzalez و Perez (۲۰۰۲) مشاهده کردند که جذب آب، قدرت تورم و حلالیت نشاسته‌های برنج استیل شده بیشتر از نشاستهٔ معمولی است. وارد شدن گروه‌های استیل (حجم‌دار) در مولکول‌های گرانول

شود و سینرسیس کاهش یابد (Singh *et al.*, 2004; Kaur *et al.*, 2006). نتایج سینرسیس خمیرهای نشاسته در روز ۷ هم نشان داد که نشاسته استیل‌شده ۸ درصد با $36/0 \pm 1/5$ درصد به‌طور معنی‌داری ($P < 0/05$) کمترین میزان سینرسیس را طی دوره نگهداری داشت و نمونه‌های نشاسته معمولی و اتصال‌عرضی هم طی دوره نگهداری میزان سینرسیس مشابهی نشان دادند ($P > 0/05$). کاهش میزان سینرسیس در نشاسته‌های استیل‌شده می‌تواند ناشی از حضور گروه‌های استیل باشد که ظرفیت حفظ آب مولکول‌های نشاسته را افزایش می‌دهد (Sodhi & Singh, 2005). Sodhi و Singh (۲۰۰۵) و Mirmoghtadaie و همکاران (۲۰۰۹) به‌ترتیب چنین اتفاقی را برای نشاسته برنج و نشاسته جو دوسر بیان کردند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. به‌طور مشابهی Kaur و همکاران (۲۰۰۶) افزایش میزان سینرسیس در ژل‌های نشاسته سیب‌زمینی اتصال‌عرضی‌شده در مقایسه با نشاسته معمولی گزارش کردند. از آنجایی‌که فرایند اتصال‌عرضی در گرانول نشاسته بیشتر در نواحی آمورف آن صورت می‌گیرد و ساختار گرانول را منظم‌تر می‌کند، از این‌رو، ایجاد ساختار منظم گرانولی می‌تواند منجر به افزایش سینرسیس نشاسته و عدم کنترل گرانول در جذب آب باشد.

غیرمستقیم، ویژگی‌های رتروگراداسیون^۱ نشاسته‌ها (سینرسیس) تحت تأثیر آرایش ساختاری زنجیرهای نشاسته در نواحی بلورین و آمورف گرانول‌هاست (Kaur *et al.*, 2006).

براساس شکل (۱)، در روز اول، خمیرهای نشاسته استیل‌شده، میزان سینرسیس کمتری نسبت به نشاسته معمولی ($27/5 \pm 2/5$ درصد) از خود نشان دادند (نشاسته ۶ و ۸ درصد استیل‌شده به‌ترتیب میزان سینرسیس $27/0 \pm 1/3$ و $26/0 \pm 0/8$ درصد)؛ ولی در نمونه‌های اتصال‌عرضی‌شده سینرسیس به میزان برابر یا بیشتر در مقایسه با نشاسته معمولی گزارش شد (نشاسته اتصال‌عرضی ۰/۱ و ۰/۵ درصد به‌ترتیب $27/5 \pm 0/5$ و $28/0 \pm 1/0$ درصد). لازم به ذکر است که اختلاف معنی‌داری بین میزان سینرسیس نشاسته‌ها در روز اول گزارش نشد ($P > 0/05$). در روز ۴، نشاسته‌های استیل‌شده ۶ و ۸ درصد در مقایسه با سایر نمونه‌ها سینرسیس کمتری نشان دادند و اختلاف معنی‌داری با بقیه داشتند. همان‌گونه‌که قبلاً بیان شد سینرسیس ناشی از بازآرایی و اتصال‌عرضی بعدی بین آمیلوز و آمیلوپکتین‌هاست؛ اما از آنجایی‌که گروه‌های استیل متصل‌شده به آمیلوز و آمیلوپکتین طی فرایند استیلاسیون ممانعت فضایی دارند و این ممانعت فضایی طی دوره نگهداری ژل نشاسته باعث شده که از نزدیک شدن بیش از حد زنجیرها جلوگیری



شکل ۱- اثر زمان نگهداری روی سینرسیس خمیرهای نشاسته معمولی و اصلاح‌شده

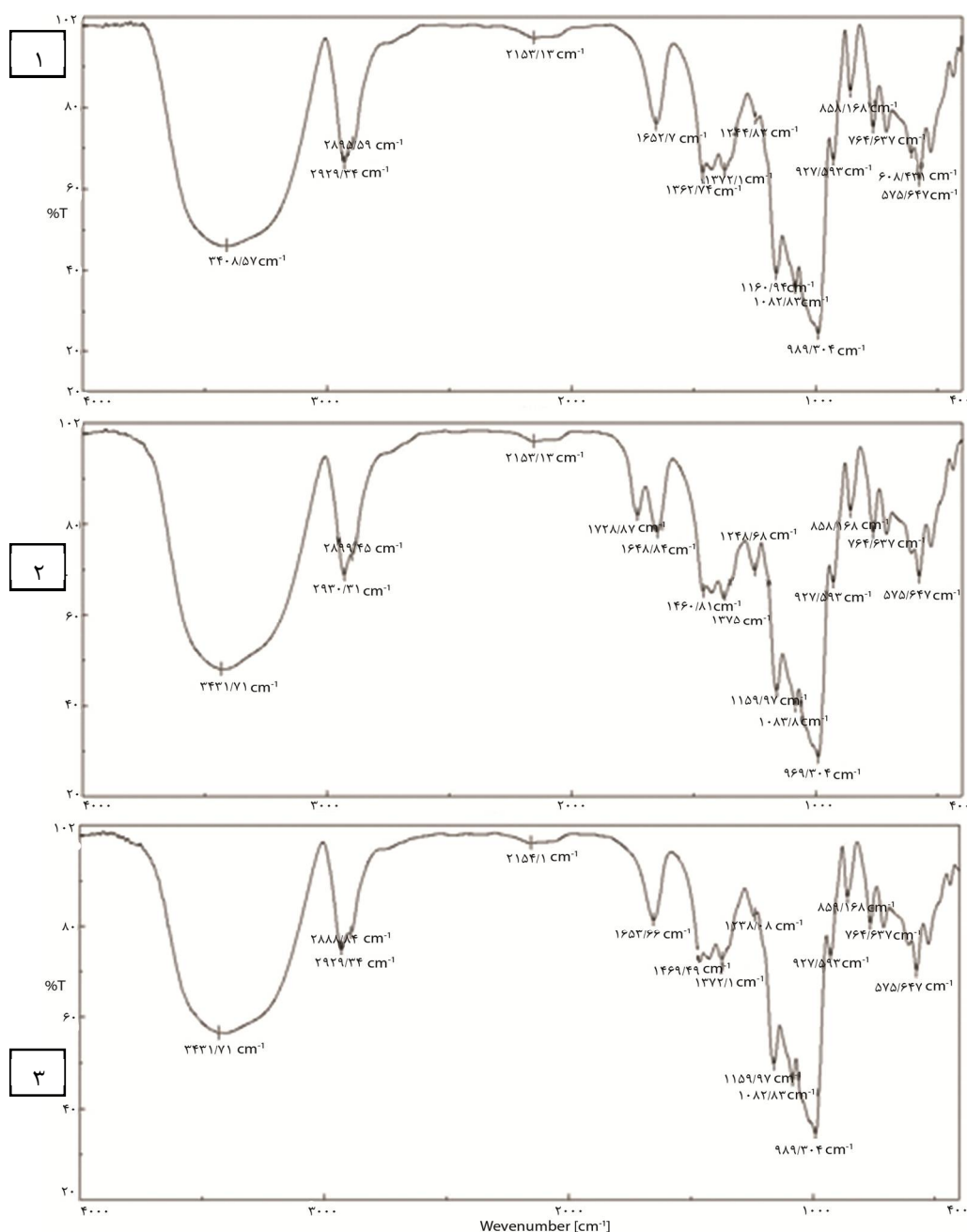
نتایج به‌صورت میانگین \pm تکرار از میانگین گزارش شده است. حروف غیرمشترک کوچک (برای هر نمونه طی دوره نگهداری) و بزرگ (در یک زمان مشخص بین نمونه‌ها) بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ($P < 0/05$) است.

¹ Retrogradation

اندازه‌گیری طیف FT-IR نشاسته‌ها

طیف FT-IR نشاسته‌های معمولی، استیله شده و اتصال عرضی نخود در شکل (۲) نشان داده شده است. براساس طیف FT-IR نشاسته نخود معمولی، پیک‌های قوی در نواحی $۳۴۰۸/۵۷$ و $۲۹۲۹/۳۴$ بر سانتی‌متر ظاهر شدند که به ترتیب مربوط به باند کششی OH و CH هستند. همچنین، پیک‌های ۱۶۵۰ و ۱۴۲۰ بر سانتی‌متر به ترتیب مربوط به حالت خمش‌پذیری گروه‌های OH و CH است. مقایسه طیف FT-IR نشاسته معمولی و اتصال عرضی نخود نشان داد که باند

کششی هیدروکسیل در محدوده $۳۴۳۴/۷۱$ بر سانتی‌متر برای نشاسته‌های اصلاح‌شده تیزی کمتری در مقایسه با نشاسته معمولی دارند. به‌علاوه، در طیف FT-IR نشاسته‌های اتصال عرضی شده، باندهای جذب خاص در محدوده $۱۰۸۲/۸۳$ و $۱۱۵۹/۹۷$ بر سانتی‌متر که به جهت نوسانات کششی C-O است، از لحاظ شدت، شدیداً کاهش یافتند. به‌طور کلی، طیف نشاسته‌های اتصال عرضی شده، پیک‌های شاخص را در ساختار نشاسته نشان داد (همانند نشاسته معمولی آنها).



شکل ۲ - طیف‌های FT-IR نشاسته‌های طبیعی (۱)، ۶ درصد استیله شده (۲) و ۰/۱ درصد اتصال عرضی شده نخود (۳)

Jyothi و همکاران (۲۰۰۶)، تغییراتی مشابه طیف FT-IR نشاسته اتصال عرضی نخود را برای نشاسته‌های کاساوا^۱ مشاهده کردند. برای بررسی ورود بخش استیل در نشاسته‌های استیله شده نیز مشاهده شد که باند خاصی در محدوده ۱۷۲۸/۸۷ بر سانتی‌متر برای نشاسته استیله شده ۶ درصد ظاهر شده است. این باند برای نشاسته ۸ درصد در محدوده ۱۷۳۳/۶۹ بر سانتی‌متر مشاهده شد. در این خصوص، Fang و همکاران (۲۰۰۴) نیز طی فرایند استیلاسیون ظهور باند ۱۷۴۹ بر سانتی‌متر را برای نشاسته‌های گندم، ذرت و آمیوکا^۲ مشاهده کردند. Chi و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثر استیلاسیون بر طیف FT-IR ذرت مشاهده کردند که پیک جدیدی در محدوده ۱۷۵۴ بر ثانیه در نشاسته استیله ذرت بر خلاف نشاسته معمولی آن ظاهر شد.

بررسی ویژگی‌های حرارتی نشاسته‌های طبیعی، استیله و اتصال عرضی شده نخود

خصوصیات حرارتی نمونه‌های نشاسته معمولی و اصلاح شده نخود که پارامترهای دمای آغازین (To)، دمای حداکثر (Tp)، دمای پایانی (Tc)، و اختلاف دمای پایانی و آغازین، آنتالپی ژلاتیناسیون را در برمی‌گیرد در جدول (۵) نشان داده شده است. دمای آغازین، حداکثر، نهایی، اختلاف دمای آغازین و نهایی و آنتالپی ژلاتیناسیون برای نشاسته معمولی نخود در جدول (۵) گزارش شده است. با انجام فرایند استیلاسیون، دمای آغازین و حداکثر تفاوت معنی‌داری در مقایسه با نمونه معمولی نشان ندادند ($P > 0.05$)؛ اما دمای نهایی کاهش معنی‌داری ($P < 0.05$) یافت و در نتیجه آن اختلاف دمای نهایی و آغازین نیز در نشاسته اصلاح شده کمتر از نشاسته معمولی محاسبه شد (اختلاف معنی‌دار $P < 0.05$). آنتالپی نشاسته استیله نخود هم به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از نشاسته معمولی آن بود ($P < 0.05$). خصوصیات حرارتی

نشاسته اتصال عرضی شده نخود در مقایسه با نشاسته معمولی نشان داد که دمای آغازین، حداکثر و نهایی بالاتری داشت؛ که دمای حداکثر و نهایی نشاسته‌های اتصال عرضی به‌طور معنی‌داری بالاتر از نشاسته طبیعی بود ($P < 0.05$). اتصال عرضی، آنتالپی ژلاتیناسیون را افزایش داد اما تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$).

نشاسته نخود دمای آغازین 61.2 ± 0.2 درج سانتی‌گراد، حداکثر 68.0 ± 0.5 درجه سانتی‌گراد و پایانی 87.2 ± 0.1 درجه سانتی‌گراد را نشان دادند. فرایند استیلاسیون و اتصال عرضی به ترتیب آنتالپی ژلاتیناسیون نشاسته را کاهش و افزایش داد. Ratnayake و همکاران (۲۰۰۱) پارامترهای خصوصیات حرارتی (دمای آغازین، دمای حداکثر، دمای نهایی، اختلاف دمای آغازین و نهایی، آنتالپی ژلاتیناسیون) را به ترتیب برای نشاسته ۴ نوع نخود در محدوده $61.0-61.4$ ، $66.8-67.5$ ، $75.0-76.0$ ، $14.0-15.0$ و $11.2-11.5$ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. همچنین، Jayakody و همکاران (۲۰۰۷) این مقادیر را برای ۲ واریته نشاسته نخود به ترتیب $66.6-68.3$ ، $73.3-75.5$ ، $83.2-85.4$ ، $16.6-17.2$ و $14.15-15.32$ درجه سانتی‌گراد تعیین کردند. خصوصیات پارامتری در برخی موارد با نتایج مطالعه‌های قبلی مطابقت دارد. Mirmoghtadaie و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که اتصال عرضی با فسفر اکسی‌کلراید، دمای آغازین و حداکثر ژلاتیناسیون نشاسته جو دوسر را به‌طور معنی‌داری تغییر داده؛ اما دمای نهایی و آنتالپی با افزایش میزان اتصال عرضی افزایش یافتند. فرایند استیلاسیون نیز تمامی پارامترهای حرارتی را با تضعیف ساختار نشاسته کم کرد.

¹ Cassava starch
² Amioca

جدول ۵- مقایسه نتایج خصوصیات حرارتی نشاسته‌های معمولی، استیله و اتصال عرضی شده نخود

خصوصیات حرارتی					
نوع نشاسته	دمای آغازین (درجه سانتی‌گراد)	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	دمای نهایی (درجه سانتی‌گراد)	اختلاف دمای نهایی و آغازین (درجه سانتی‌گراد)	آنتالپی ژلاتیناسیون (ژول بر گرم)
طبیعی	۶۱/۲ ^a ±۰/۲	۶۸/۰ ^c ±۰/۵	۷۸/۲ ^c ±۰/۱	۱۷/۰ ^b ±۰/۷	۱۳/۶ ^a ±۰/۲
۶ درصد استیله شده	۶۰/۵ ^a ±۰/۵	۶۸/۲ ^c ±۰/۲	۷۳/۱ ^e ±۰/۴	۱۲/۶ ^c ±۰/۴	۱۱/۸ ^b ±۰/۱
۸ درصد استیله شده	۶۱/۰ ^a ±۰/۵	۶۸/۴ ^b ±۰/۲	۷۴/۰ ^d ±۰/۱	۱۳/۰ ^c ±۰/۵	۱۱/۳ ^c ±۰/۱
۰/۰۵ درصد اتصال عرضی	۶۱/۳ ^a ±۰/۰	۶۹/۱ ^a ±۰/۶	۷۹/۸ ^a ±۰/۲	۱۸/۵ ^a ±۰/۶	۱۴/۰ ^a ±۰/۵
۰/۱ درصد اتصال عرضی	۶۱/۵ ^a ±۰/۲	۶۸/۹ ^{ab} ±۰/۷	۷۸/۷ ^b ±۰/۳	۱۷/۲ ^b ±۰/۲	۱۳/۸ ^a ±۰/۷

- نتایج به صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف از میانگین گزارش شده است.

- حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ($P < 0.05$) است.

نتیجه‌گیری

خمیر نشاسته را در مقایسه با نمونه معمولی کاهش داد. به علاوه، تغییرات صورت گرفته در ساختار نشاسته‌ها بعد از اصلاح شیمیایی با دستگاه طیف‌سنج اسپکتروسکوپی FT-IR تأیید گردید. آزمون حرارتی نشاسته‌ها نشان داد که اصلاح شیمیایی نشاسته نخود باعث ایجاد تغییر در خصوصیات حرارتی (T_p , T_o , T_c , $T_c - T_o$ و ΔH) آنها شده و در اثر فرایند استیلایون و اتصال عرضی به ترتیب میزان آنتالپی ژلاتیناسیون کاهش و افزایش یافت. باتوجه به تغییراتی که در خصوصیات مختلف نشاسته نخود بعد از اصلاح شیمیایی صورت گرفت، انتظار می‌رود نشاسته‌های مربوطه از کارایی متفاوتی در مقایسه با نشاسته معمولی برخوردار باشند. در حقیقت، اصلاح نشاسته نخود به دو روش استیلایون و اتصال عرضی می‌تواند استفاده از نشاسته نخود را در محصولات غذایی افزایش داده و خصوصیات رئولوژیکی و بافتی محصول را تحت تأثیر قرار دهد که در تحقیقات بعدی باید بررسی شود.

نتایج حاصل از ترکیبات شیمیایی نشاسته‌های طبیعی، استیله و اتصال عرضی شده نخود نشان داد که میزان رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر در محدوده ۸/۱۵-۸/۶۱، ۰/۶۷-۰/۳۲ و ۰/۳۴۰-۰/۱۶۵ درصد متغیر است. میزان آمیلوز نشاسته‌ها نیز در محدوده ۴۸/۴۳-۴۸/۶۹ درصد محاسبه شد. درخصوص میزان آمیلوز نشاسته‌ها، مشاهده شد که میزان آمیلوز در نشاسته‌های استیله و اتصال عرضی شده در مقایسه با نشاسته طبیعی به ترتیب بیشتر و کمتر بود؛ اما تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. درصد استیلایون و درجه جانشینی در نشاسته ۶ درصد استیله و ۸ درصد استیله شده به ترتیب (۱/۷۹۲ و ۰/۰۶۹ درصد) و (۱/۹۸۴ و ۰/۰۷۶) تعیین گردید. درخصوص اندازه‌گیری قدرت تورم، با افزایش اتصال عرضی این پارامتر کاهش معنی‌داری ($P < 0.05$) نشان داد اما با افزایش درصد استیلایون، قدرت تورم افزایش معنی‌دار نداشت ($P > 0.05$). فرایند استیلایون نشاسته نخود به میزان قابل ملاحظه‌ای، سینرسیس

منابع

۱- حق پرست، ر. مرادی، ن. ۱۳۹۰. گزارش شورای ملی نخود ایران، اهمیت تولید و تجارت نخود. آمارنامه کشاورزی ایران.

۲- نمازی، ح. ۱۳۸۶. نشاسته و کاربردها، انتشارات انجمن پلیمر ایران، تهران.

3- AOAC. 2003. Official methods of analysis. (17 ed.). Washington DC: Association of Official Analytical Chemists, USA.

- 4- Bello-Pérez, L.A., Contreras-Ramos, S.M., Jimenez-Aparicio, A., & Paredes-López, O. 1999. Acetylation and characterization of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Acta científica venezolana*, 51:143-149.
- 5- Carmona-Garcia, R., Sanchez-Rivera, M.M., Méndez-Montevalvo, G., Garza-Montoya, B., & Bello-Pérez, L.A. 2009. Effect of the cross-linked reagent type on some morphological, physicochemical and functional characteristics of banana starch (*musa paradisiaca*). *Carbohydrate Polymers*, 76(1):117-122.
- 6- Chi, H., Xu, K., Wu, X., Chen, Q., Xue, D., Song C., Zhang, W., & Wang, P. 2008. Effect of acetylation on the properties of corn starch. *Food Chemistry*, 106(3):923-928.
- 7- Fang, J., Fowler, P., Sayers, C., & Williams, P. 2004, The chemical modification of starches under aqueous reaction conditions. *Carbohydrate Polymers*, 55(3):283-289.
- 8- Gonzalez, Z., & Perez, E. 2002. Effect of acetylation on some properties of rice starch. *Starch-Stärke*, 54:148-154.
- 9- Jayakody, L., Lan, H., Hoover, R., Chang, P., Liu, Q., & Donner, E. 2007. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from two grass pea (*lathyrus sativus* L.) cultivars grown in canada. *Food Chemistry*, 105(1):116-125.
- 10-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-Stärke*, 58(6):292-299.
- 11-Kaur, L., Singh, J., & Singh, N. 2006. Effect of cross-linking on some properties of potato (*Solanum tuberosum* L.) starches. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(12):1945-1954.
- 12-Li, W., Xiao, X., Guo, S., Ouyang, S., Luo, Q., Zheng, J., & Zhang, G. 2014. Proximate composition of triangular pea, white pea, spotted colored pea, and small white kidney bean and their starch properties. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4):1078-1087.
- 13-Lim, W., Liang, Y., Seib, P., & Rao, C. 1992. Isolation of oat starch from oat flour. *Cereal Chemistry*, 69(3):233-236.
- 14-Mirmoghtadaie, L., Kadivar, M., & Shahedi, M. 2009. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. *Food Chemistry*, 116(3):709-713.
- 15-Nara, S., & Tsu, T.K. 1983. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. *Starch-Stärke*, 25(12):407-410.
- 16-Ratnayake, W.S. 2004. Composition, Structure, and Physicochemical Properties of Field Pea (*Pisum Sativum* L.) Starch, MSc thesis, 2004, Canada.
- 17-Ratnayake, W.S., Hoover, R., & Warkentin, T. 2002. Pea starch: composition, structure and properties- a review. *Starch-Stärke*, 54(6):217-234.
- 18-Ratnayake, W., Hoover, R., Shahidi, F., Perera, C., & Jane, J. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*pisum sativum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 74(2):189-202.
- 19-Singh, J., Kaur, L., & Singh, N. 2004. Effect of acetylation on some properties of corn and potato starches. *Starch-Stärke*, 56(12):586-601.
- 20-Sodhi, N.S., & Singh, N. 2005. Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *Journal of Food Engineering*, 70(1):117-127.

-
- 21-Yoo, S.-H., & Jane, J.-I. 2002. Structural and physical characteristics of waxy and other wheat starches. *Carbohydrate Polymers*, 49(3):297-305.
- 22-Vasanthan, T., & Hoover, R. 1992. Effect of defatting on starch structure and physicochemical properties. *Food Chemistry*, 45(5):337-347.

The Effect of Acetylation and Cross-linking on the Physicochemical, Functional and Structural Properties of Iranian Pea Starch (*Jam variety*)

Farzaneh Aghili Dehnavi¹, Abdolkhalegh Golkar^{2*}, Homan Molavi³,
Mohammad Hojjatoleslami³

1- Graduated Master Student, Food Science and Technology, Islamic Azad University, Branch of Sharekord, Shahrekord, Iran

2- PhD Student of Food Science and Technology, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

* Corresponding author (a.golkar@ag.iut.ac.ir)

3- Assistant Professor of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Branch of Sharekord, Shahrekord, Iran

Abstract

Pea starch is a by-product of protein extraction of pea processing. Pea starch is used in industrial applications, but due to the poor functional properties are not used in the food industry. Starch properties can be improved or modified with different methods. The aim of this study was to evaluate the effect of modification methods at two levels 0.05% and 0.07% and acetylation at two levels 6% and 8% on physicochemical, structural and rheological properties of pea starch (*Jam variety*). The amylose content of native starch was 48.59 ± 0.41 that increased with acetylation reaction but cross-linking reduced this value. Acetylation and substitution degree increased with increasing acetylation degree. Swelling power of cross-linked starch decreased significantly with increasing cross-linking level; but this parameter for acetylated samples were not significantly increased ($P > 0.05$). Syneresis of acetylated starch pastes reduced compared to native one; but cross-linking process increased this value compared with native starch. 8% acetylated pea starch with 36.0 ± 1.5 percent significantly had minimum syneresis than other starch samples during storage. In addition, modification of structure of chemically modified pea starch was confirmed by FT-IR. Thermal properties of starches showed that the gelatinization enthalpy of acetylated and cross-linked starch decreased and increased, respectively. Due to the changes of various characteristics of pea starch after chemical modification, the starch samples are expected to have a different functionality compared with native starch.

Keywords: Acetylation, Cross-Linking, Pea Starch, Physicochemical Properties, Structural