

## هیدروکسی پروپیل گندم نشاسته‌های گندم و جو دوسر و ارزیابی برخی از خصوصیات آنها

بهاره صابری<sup>۱</sup>، مهسا مجذوبی<sup>۲\*</sup>، عسگر فرحناکی<sup>۳</sup>، غلامرضا مصباحی<sup>۳</sup> و کورش رضایی مقدم<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۳

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار بخش علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

<sup>۳</sup> استادیار بخش علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار بخش ترویج و آموزش کشاورزی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

\*مسئول مکاتبه: E-mail: majzoobi@shirazu.ac.ir

### چکیده

نشاسته پرمصرف‌ترین پلی‌ساکاریدهای غذایی به شمار می‌رود که به منظور بهبود خصوصیات عملکردی آن، ساختار نشاسته مورد تغییر قرار می‌گیرد. هدف از این تحقیق اصلاح نشاسته گندم و جو دوسر به منظور بهبود خواص فیزیکوشیمیایی آنها و بررسی تاثیر تغییرات حاصل بر ساختار کریستالی، برهمکنش با آب، مقاومت به ذوب و انجماد نشاسته‌ها بود. برای این منظور نشاسته گندم و جو دوسر با افزودن ۳۰ میلی‌لیتر پروپیلن اکسید در دمای ۴۰°C به مدت ۲۴ ساعت هیدروکسی پروپیل شده‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تغییری در الگوی پراش اشعه ایکس نشاسته‌های اصلاح شده ایجاد نشد و قابلیت جذب آب، میزان حلالیت و مقاومت به دوره‌های ذوب و انجماد به میزان قابل توجهی در نشاسته‌های اصلاح شده افزایش یافت. نشاسته هیدروکسی پروپیل شده گندم دارای حلالیت در آب و مقاومت در برابر ذوب و انجماد بیشتری نسبت به نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جو دوسر بود.

واژه‌های کلیدی: نشاسته، گندم، جو دوسر، هیدروکسی پروپیل شدن، اصلاح نشاسته

## Hydroxypropylation of wheat and oat starches and evaluation of some of their properties

B Sabery<sup>1</sup>, M Majzoubi<sup>2\*</sup>, A Farahnaky<sup>2</sup>, GR Mesbahi<sup>3</sup> and K Rezaei Moghaddam<sup>4</sup>

Received: December 18, 2011

Accepted: July 24, 2012

<sup>1</sup>MSc Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran

<sup>4</sup>Associate Professor, Department of Agricultural Education and Extension, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran

\*Corresponding author: E-mail: majzoubi@shirazu.ac.ir

### Abstract

Starch is the most consumed food polysaccharide. In order to improve the functional properties of starch, its chemical structure is modified. The main objective of this research was to modify wheat and oat starches in order to improve their physicochemical properties and to determine the effects of the consequent changes on crystalline structure, interaction with water, and freeze thaw stability of the starches. Therefore, wheat and oat starches were hydroxypropylated using 30 mL propylene oxide at 40°C for 24 h. The results showed that the X-ray diffraction patterns of the modified starches showed no changes and water absorption, solubility and freeze-thaw stability of the modified starches increased, significantly. The hydroxypropylated wheat starch had higher water solubility and freeze thaw stability compared to the hydroxypropylated oat starch.

**Keywords:** Starch, Wheat, Oat, Hydroxypropylation, Starch modification

### مقدمه

می‌باشد. نشاسته بصورت گرانول درون اندوسپرم دانه گندم قرار گرفته و در ماتریکس پروتئینی فرو رفته است. اندوسپرم گندم محتوی عمدتاً دو نوع گرانول نشاسته است: نوع A که حدود ۳۰-۲۰ μm و به شکل عدسی و نوع B که حدود ۸-۲ μm و کروی شکل می‌باشند و به طور کلی از ۲۰-۲۵٪ آمیلوز<sup>۱</sup> و ۷۰-۸۰٪ آمیلوپکتین تشکیل شده است (کرنل ۲۰۰۴). یکی از غلاتی که در مطالعات اخیر به عنوان غله عملگر با خصوصیات تغذیه-ای مفید شناخته شده است جو دوسر می‌باشد که تنها ۱/۵ درصد کل غلات دنیا را تشکیل می‌دهد (امام ۱۳۸۳؛ کریمی ۱۳۷۵). نشاسته جو دوسر پس از استخراج

نشاسته بعد از سلولز دومین پلیمری است که به وفور در طبیعت یافت می‌شود و در میان کربوهیدرات‌های غذایی دارای جایگاه ویژه‌ای است و مهمترین منبع انرژی ذخیره‌ای در گیاهان می‌باشد (لیو ۲۰۰۵). در تغذیه انسان، نشاسته حدود ۷۰-۸۰٪ از انرژی مورد نیاز بدن جهت انجام عملکردهای مختلف را تامین می‌کند. عمده ترین منابع استخراج نشاسته دانه‌های غلات، گیاهان غده‌ای مانند انواع سیب‌زمینی و دانه حبوبات می‌باشد. گندم مهمترین دانه غله‌ای است که به عنوان غذای اصلی مردم در طول تاریخ مورد استفاده بوده است. نشاسته ۷۲-۵۴٪ وزن خشک دانه گندم را تشکیل می‌دهد و مهمترین و با ارزش‌ترین فرآورده جانبی حاصل از آن نشاسته

1. Amylose

پروتئین‌ها و بتاگلوکان<sup>۱</sup> به عنوان ترکیب عملگرایی اصلی در این غله باقی می‌ماند. اطلاعات اندکی در مورد خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته جو دوسر و مشتقات آن در دسترس می‌باشد. میزان نشاسته آرد حدود ۷۳/۵-۶۷٪ (بر اساس وزن دانه) است. نشاسته در آندوسپرم جو دوسر و به میزان کمی در جوانه و سایر اندامهای گیاه یافت می‌شود. نشاسته در گرانول‌های مجزا و به صورت خوشه‌ای قرار گرفته‌اند و به دو نوع A و B مشابه گندم تقسیم نمی‌شوند (هوور و همکاران ۱۹۹۴). گرانول‌های جو دوسر بر خلاف گندم در یک ماتریکس پروتئینی به هم پیوسته فرو نرفته اند و دارای سطحی صاف و در بعضی مناطق سطحی خشن با فرورفتگی‌ها و روزنه‌هایی با اشکال منظم و قطری کمتر از ۴۰ نانومتر هستند (جین و همکاران ۱۹۹۴). متوسط اندازه گرانول‌های مجزا از ۳ تا ۱۰ میکرومتر متغیر است که کوچکتر از گرانول‌های گندم، چاودار، جو و نرت است. این گرانول‌های مجزا بصورت دسته‌های دایره‌ای شکل یا خوشه مانند به هم فشرده به یکدیگر متصل می‌شوند و مجموعه گرانولی بزرگتری بعنوان گرانول‌های مرکب<sup>۲</sup> با قطر حدود ۶۰ میکرومتر را می‌سازند (هوور و همکاران ۱۹۹۴). نشاسته جو دوسر از ۵۶٪ آمیلوپکتین و ۳۳/۶-۱۷/۳٪ آمیلوز تشکیل شده است. نشاسته جو دوسر در مقایسه با گندم و سایر غلات، میزان بالاتری چربی، حدود ۱ تا ۳٪ دارد (تستر و همکاران ۱۹۹۶؛ شامخ و همکاران ۱۹۹۴).

اگر چه نشاسته طبیعی گرفته شده از گندم و جو دوسر مانند نشاسته حاصل از سایر منابع دارای خواص منحصر به فرد می‌باشند، اما با پیشرفت صنایع تبدیلی مواد غذایی و ابداع روش‌های جدید فرآیند غذا، ساختار این نشاسته‌ها دچار تغییر و تحولاتی می‌گردد که می‌تواند منجر به از دست رفتن بعضی خواص مطلوب آن- هادر غذاها گردد. به طور کلی جهت بهبود خواص

عملکردی نشاسته می‌توان ساختار آن را به طرق مختلف تغییر داد. چنین نشاسته‌ای را نشاسته اصلاح شده<sup>۳</sup> می‌نامند. به این ترتیب می‌توان با اعمال روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، آنزیمی یا ژنتیکی نشاسته‌ای با خواص مورد نظر بدست آورد. نشاسته هیدروکسی پروپیل شده<sup>۴</sup> یکی از انواع متداول نشاسته‌های اصلاح شده به روش شیمیایی می‌باشد. اگر به جای گروه هیدروکسیل نشاسته، موادی مانند اکسید پروپیلن<sup>۵</sup> جایگزین شود، نشاسته هیدروکسی پروپیلی یا تثبیت شده<sup>۶</sup> ایجاد می‌شود. این روش تمایل نشاسته‌ها به تشکیل ژل، توانایی آبگیری و دمای ژلاتینه شدن را کاهش می‌دهد، همچنین مقاومت به انجماد و رفع انجماد را افزایش می‌دهد. در صورتی که این نشاسته‌ها در دمای پایین نگهداری شوند، شفاف هستند. استفاده از این روش وقتی با اهمیت است که بخواهیم به سرعت ویسکوزیته را افزایش دهیم و یا مجبور باشیم، دمای پخت را پایین نگهداریم (فرحناکی و همکاران ۱۳۸۸). همچنین سایر خصوصیات نشاسته مانند دمای ژلاتینه شدن، ویسکوزیته و شفافیت ژل تغییر می‌کند (توماس و اتول ۱۹۹۹؛ سینگ و همکاران ۲۰۰۷؛ میستر ۲۰۰۰). از این نوع نشاسته‌ها برای تولید محصولات غذایی با بافتی نرم، ویسکوز، شفاف و غلیظ مانند سس‌ها و پودینگ‌ها استفاده می‌شود (توماس و اتول ۱۹۹۹). هیدروکسی پروپیل‌اسیون نشاسته‌های حاصل از منابع مختلف از جمله برنج (ایسلام و همکاران ۱۹۹۷)، نرت (لیو و همکاران ۱۹۹۹)، سیبزمینی (کووار و همکاران ۲۰۰۴؛ کیم و همکاران ۱۹۹۹؛ پررا و همکاران ۱۹۹۹) و گندم (هانگ و موریتا ۲۰۰۵) گزارش شده است. هدف اصلی از این مطالعه تولید و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته گندم و جو دوسر اصلاح شده خصوصیات آنها می‌باشد.

3. Modified starch
4. Hydroxypropylated starch
5. Propylene oxide
6. Stabilized

1.  $\beta$ -glucan
2. Compound granule

**مواد و روش‌ها**

نشاسته گندم درجه یک (که از خلوص بالایی برخوردار است و حاوی نشاسته‌های درشت و سالم می‌باشد) از کارخانه فارس گلوکوزین مرودشت و دانه‌های جودوسر توسط دانشگاه صنعتی اصفهان اهدا شد. دانه‌های آسیب دیده و ذرات خارجی همراه با جودوسر از طریق بوجاری با دست خارج شدند. ترکیبات شیمیایی مورد استفاده از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

**استخراج نشاسته جودوسر**

برای استخراج نشاسته از جودوسر از روش هور و وستن (۱۹۹۲) با اندکی تغییر استفاده شد. دانه‌های جودوسر (۵۰۰ گرم) پس از بوجاری با دست در آب در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  برای مدت ۳ ساعت خیس‌انده شد. نسبت ۱ به ۲ از دانه‌های خیس‌انده شده با آب مقطر به مدت ۲ دقیقه در مخلوط کن با سرعت کم، مخلوط شدند. دوغاب حاصله با عبور از پارچه صاف و سپس در  $5000\text{g}$  به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. ماده رویی با کاردک جدا شده و دور ریخته شد و سپس رسوب باقی مانده در مقدار فراوان هیدروکسید سدیم  $0.2\%$  مولار حل و مخلوط در  $5000\text{g}$  به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. این کار سه تا چهار مرتبه انجام شد. در هر بار ماده رویی با کاردک جدا شد. در نهایت رسوب با  $500$  میلی لیتر آب مقطر مخلوط و با پارچه و با کمک قیف بوختر صاف شد. ماده باقی مانده بر سطح پارچه با اسید هیدروکلریدریک  $1\%$  مولار خنثی و دوباره در  $5000\text{g}$  به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. رسوب با  $200$  میلی لیتر آب مقطر سه مرتبه شسته و دوباره مایع جمع‌آوری شده سانتریفیوژ شد. نشاسته بدست آمده یک شبانه روز در دمای اتاق و در نهایت در آون با دمای  $40^{\circ}\text{C}$  خشک شد.

**ترکیبات شیمیایی نشاسته**

فاکتورهای رطوبت، چربی، خاکستر و پروتئین در مورد نشاسته‌گندم و جودوسر بر اساس

استاندارد (AACC(2003) اندازه‌گیری شد. مقدار آمیلوز

با روش ویلیامز و همکاران (۱۹۷۰) اندازه‌گیری شد.

**تولید نشاسته هیدروکسی‌پروپیل‌شده و تعیین میزان جایگزینی مولی<sup>۱</sup>**

این عمل با استفاده از روش کووار و همکاران (۲۰۰۴) برای هیدروکسی‌پروپیل‌اسیون در نشاسته انجام شد. برای این منظور از ماده شیمیایی پروپیلن اکسید استفاده شد. در این روش  $100$  گرم نشاسته به مدت ۳۰ دقیقه در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  در  $200$  میلی لیتر آب خیس‌انده شد و هم-زمان  $20$  گرم سولفات سدیم به آن اضافه شد و سپس توسط محلول  $1\%$  مولار هیدروکسید سدیم، pH آن به  $11/15$  رسانده شد. سپس به اندازه  $30$  میلی لیتر پروپیلن اکسید به مخلوط اضافه و واکنش در  $40^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت با تکان دادن انجام شد و در نهایت توسط محلول اسید کلریدریک  $0.1\%$  مولار pH مخلوط خنثی شد. سپس نشاسته توسط سانتریفیوژ در  $5000\text{g}$  به مدت ۱۵ دقیقه بازیافت و چهار بار با  $100$  میلی لیتر آب مقطر شستشو و میزان سولفات آن با کلرید باریم خنثی و در آون تا میزان  $10\%$  رطوبت خشک شد. همچنین روش پیشنهاد شده در سال ۲۰۰۱ توسط کمیته افزودنی‌های غذایی الحاقی سازمانهای جهانی سلامت و غذا<sup>۲</sup> جهت تعیین میزان جایگزینی مولی به کار گرفته شد.

**تعیین الگوی پراش اشعه ایکس<sup>۳</sup> و محاسبه درصد کریستالی نشاسته**

به منظور انجام این آزمایش ابتدا نمونه‌های آسیاب شده با دانه‌بندی یکسان ( $120-75$  میکرومتر) به مدت ۵ روز درون یک محیط بسته به همراه محلول فوق اشباع کلرید سدیم (رطوبت نسبی  $75\%$ ) و در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  قرار گرفتند تا رطوبت کلیه نمونه‌ها در این رطوبت نسبی به تعادل برسد، زیرا مقدار رطوبت در وضوح الگوی بدست آمده موثر بود. سپس توسط دستگاه پراش سنج اشعه ایکس

1. Molar substitution (MS)

2. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives

3. X-ray diffraction pattern

$W_{cs}$  = وزن نشاسته محاسبه شده،  $W_{ss}$  = وزن نشاسته متورم شده،  $M_t$  = درصد رطوبت نشاسته،  $W_1$  = وزن کیسه‌های خالی چای خشک،  $W_2$  = وزن آب جذب شده توسط کیسه‌های خالی و  $W_4$  = وزن کل بعد از تورم می-باشد.

#### حلالیت نشاسته در آب

حدود ۰/۵ گرم نشاسته بر اساس وزن خشک در ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های سانتریفیوژ ریخته شد. هر لوله محتوی نمونه در یک حمام آب گرم با دمای مشخص ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت قرار گرفت. درب هر لوله بسته شد و در دماهای مذکور برای مدت ۳۰ دقیقه به همراه هم زدن حرارت داده شد. آنگاه بوسیله آب سرد در مدت ۵ دقیقه دمای نمونه‌ها به دمای اتاق رسانده شده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۲۸۰۰g سانتریفیوژ شد و مایع شفاف رویی به دقت به ظرفی با وزن مشخص منتقل و در دمای  $120^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴ ساعت در آون تحت خلا خشک شد. نمونه‌ها بعد از خشک شدن وزن شد، سپس میزان حلالیت با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (لاوال ۲۰۰۹). میزان حلالیت بر حسب درصد مواد محلول نشاسته خشک بیان می‌گردد. سه تکرار در هر دما انجام شد.

% حلالیت = وزن مایع رویی خشک شده/وزن نشاسته خشک اولیه)  $\times 100$

#### مقاومت به ذوب- انجماد<sup>۳</sup>

محلول ۵% (وزنی/وزنی) نشاسته در  $95^{\circ}\text{C}$  تحت هم‌زدن ثابت به مدت ۱ ساعت حرارت داده شد. دقیقاً ۲۰ گرم از نمونه به لوله‌های سانتریفیوژ که از قبل وزن شده بودند منتقل و محکم درب آنها بسته شد و در ۲۸۰۰g برای ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ تا آب آزاد خارج شد. تیوب‌های محتوی خمیر نشاسته در معرض سیکل‌های انجماد و ذوب به دنبال سانتریفیوژ کردن در ۴۰۰۰g برای ۳۰ دقیقه قرار گرفتند. عمل انجماد برای ۲۴ ساعت در  $18^{\circ}\text{C}$  - و ذوب در  $30^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴ ساعت انجام شد. این

(ساخت شرکت Bruker AXS آلمان، مدل D8 advance) تحت زاویه  $28-4$  درجه و فاصله زاویه‌ای  $0.05$  درجه و زمان تابش ۱ ثانیه تحت تابش اشعه ایکس قرار گرفت. الگوهای بدست آمده از طریق دستگاه نرم افزار کامپیوتری Eva نسب شده بر روی دستگاه جهت تعیین درصد کریستالی و بررسی تغییرات بوجود آمده در الگو، مورد بررسی قرار گرفت (لاوال ۲۰۰۹). تمام الگوهای به دست آمده ابتدا توسط نرم افزار استاندارد شده و سپس به منظور حذف قله‌های منحنی مزاحم به یک میزان تحت عمل Fourier-Transform توسط نرم افزار دستگاه قرار گرفتند. آنگاه توسط همین نرم‌افزار از تقسیم سطح زیر قله‌های منحنی بر سطح کل زیر منحنی درصد کریستالیزاسیون به دست آمد.

#### اندازه‌گیری میزان جذب آب نشاسته<sup>۱</sup>

۰/۴ گرم نشاسته (بر اساس وزن خشک) وزن شد و درون کیسه‌های خالی چای<sup>۲</sup> ریخته شد. در یک بطری شیشه‌ای ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر ریخته و کیسه‌های خالی چای، محتوی نشاسته در آب معلق شد. هر بطری محتوی نمونه و آب مقطر در یک حمام آب گرم با دمای مشخص ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت قرار گرفت. درب هر بطری کاملاً بسته شد. میزان تورم نشاسته در دماهای  $30-90^{\circ}\text{C}$  تعیین شد. بعد از ۱ ساعت نمونه از آب خارج شد. وقتی از عدم خروج قطره‌های آب اطمینان حاصل شد، نشاسته متورم شده درون کیسه‌های خالی چای وزن شد. وزن کیسه‌های خالی چای و میزان آب جذب شده توسط آن در دماهای مورد استفاده از قبل تعیین می‌شود. برای هر دما ۳ تکرار انجام شد. میزان تورم بصورت زیر اندازه‌گیری شد (لاوال ۲۰۰۸):

$$FSC = \frac{W_{SS}}{W_{CS}} \quad W_{SS} = W_4 - W_2 - W_1$$

$$W_{CS} = W_3 - \frac{W_3 \times M_t}{100}$$

1. Free swelling capacity

2. Teabag

3. Freeze-thaw stability

عمل تا ۸ دوره تکرار شد. میزان آب جدا شده (بر حسب گرم) بعد از هر دوره تعیین شد (لاوال ۲۰۱۰).

$$100 \times \frac{\text{وزن آب شده جدا}}{\text{وزن نمونه کل}} = \text{آب انداختن \%}$$

### آنالیز آماری

برای انجام آنالیز داده‌ها و بررسی اطلاعات به دست آمده از آزمون‌های مختلف از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. به منظور تعیین اختلاف بین میانگین اعداد (حداقل سه تکرار برای هر آزمایش)، پس از آنالیز واریانس از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح  $(P < 0.05)$  استفاده گردید. در تمام مراحل، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 16 صورت گرفت.

### نتایج و بحث

#### ترکیب شیمیایی نشاسته‌گندم و جودوسر

جدول ۱- خصوصیات نشاسته‌های گندم و جودوسر (بر اساس وزن خشک)\*

ترکیبات شیمیایی بر اساس وزن خشک (%)	نشاسته گندم	نشاسته جودوسر
پروتئین**	۰/۱۴±۰/۰۱ <sup>b</sup>	۰/۴۶±۰/۰۱ <sup>a</sup>
خاکستر	۰/۲۷±۰/۱۰ <sup>b</sup>	۰/۴۰±۰/۰۹ <sup>a</sup>
چربی	۰/۸۹±۰/۰۱ <sup>b</sup>	۱/۸۵±۰/۳۲ <sup>a</sup>
رطوبت	۹/۲۴±۰/۳۲ <sup>b</sup>	۱۰/۲۵±۰/۲۶ <sup>a</sup>
میزان آمیلوز***	۲۶/۳۵±۰/۲۱ <sup>a</sup>	۲۲/۱۲±۰/۳۱ <sup>b</sup>

\* اعداد میانگین سه تکرار و به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.

\*\* فاکتور تبدیل نیتروژن به پروتئین در مورد نشاسته گندم و جودوسر ۶/۲۵ است.

\*\*\* آمیلوز ظاهری که قبل از خروج چربی اندازه گیری شد.

- حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) در هر ردیف می‌باشد.

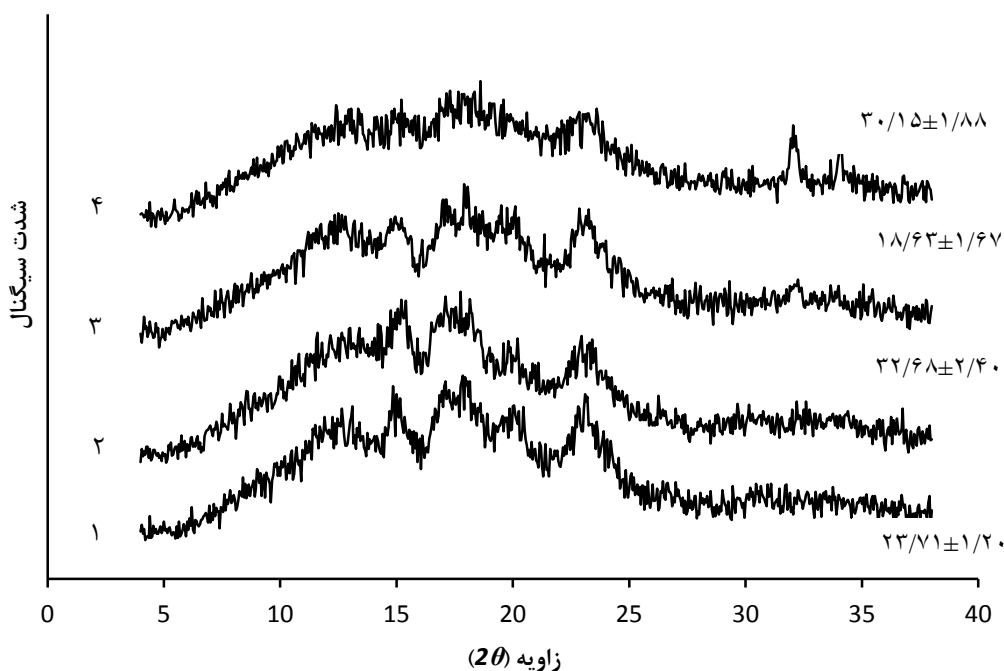
تفاوت‌ها در میزان جایگزینی مولی مربوط به تفاوت در منبع نشاسته، درجه کریستالی نسبی و ساختمان آمیلوپکتین، اندازه گرانول‌های نشاسته (سادی و سینگ ۲۰۰۵) و شرایط واکنش مانند سرعت اضافه کردن پروپیلن اکسید، یکنواختی در مخلوط کردن، غلظت پروپیلن اکسید و زمان واکنش است (گنزالز و پرز ۲۰۰۲). هم چنین گنزالز و پرز (۲۰۰۲) گزارش کردند که

برسکی و همکاران (۲۰۱۱) میزان آمیلوز نشاسته جودوسر را ۱۴/۴۶٪ گزارش کردند. در مطالعه‌ای توسط موریسون و لیاگلنت (۱۹۸۳) میزان آمیلوز را برای نشاسته گندم ۲۸٪ و هوور و مانیول (۱۹۹۶) آمیلوز نشاسته نرت را ۲۹/۹٪ برآورد کردند. میزان جایگزینی مولی نشاسته خشک گندم و جودوسر در اثر واکنش با ۳۰ میلی لیتر پروپیلن اکسید به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۰۹ بود.

الگوی پراش اشعه ایکس نشاسته‌های گندم و جو دوسر و اصلاح شده آنها در نمودار ۱ نشان داده شده است. الگوی پراش اشعه ایکس نشاسته جو دوسر مشابه با سایر غلات به صورت نوع A بود. نشاسته‌های نوع A بازتابش در زوایای  $2\theta = 15/3^\circ$  و  $17^\circ, 18^\circ, 20^\circ, 23/4^\circ$  نشان می‌دهند. الگوی پراش اشعه ایکس نشاسته‌های گندم و جو دوسر طبیعی مشابه بودند که مطابق با گزارشات پاتون (۱۹۸۷) بود. محاسبه درصد کریستالی نشاسته نشان داد که نشاسته جو دوسر در مقایسه با نشاسته گندم دارای درجه کریستاله بودن بالاتری بود. هور و وسنتان (۲۰۰۳) میزان درجه کریستالی نشاسته جو دوسر را ۲۸-۳۶٪ و مجذوبی و همکاران (۲۰۰۹) درجه کریستالی نشاسته گندم را ۳۷,۰۸٪ تخمین زدند.

میزان کم جاگزینی مولی در نشاسته ممکن است مربوط به کمبود منافذ سطحی در گرانول‌های نشاسته و کانال‌های داخلی بزرگ کافی که دسترسی فیزیکی به مواد واکنشگر را به داخل گرانول‌ها بهبود می‌دهند، باشد. هم چنین گزارش شده است که میزان گروه‌های هیدروکسی پروپیل در نشاسته‌های هیدروکسی پروپیل شده با گرانول‌های بزرگ بیشتر از نشاسته با گرانول‌های کوچکتر است (هانگ و موریتا ۲۰۰۵). گرانول‌های نشاسته جو دوسر کوچکتر، سخت‌تر و به هم فشرده‌تر از نشاسته سیب زمینی، ذرت و گندم هستند بنابراین جایگزینی کمتری در آنها رخ می‌دهد (هور و وسنتان ۱۹۹۲).

#### تعیین الگوی پراش اشعه ایکس و محاسبه درصد کریستالی‌زاسیون نشاسته



شکل ۱- الگوی پراش اشعه ایکس نشاسته‌های مختلف (۱: نشاسته گندم، ۲: نشاسته جو دوسر، ۳: نشاسته هیدروکسی پروپیله شده گندم، ۴: نشاسته هیدروکسی پروپیله شده جو دوسر). اعداد موجود بر روی هر الگو میانگین مقدار کریستالی نشاسته ± انحراف معیار

می‌باشد. به طور کلی تفاوت در میزان درجه کریستالی نشاسته‌ها مربوط به اندازه کریستال، میزان آمیلوپکتین و

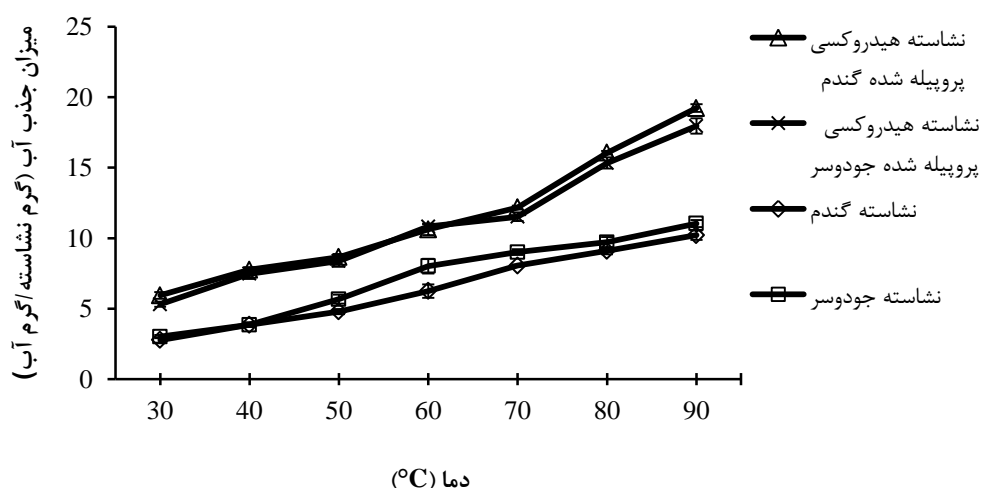
دلیل این امر احتمالاً حضور مارپیچ‌های دوگانه به هم فشرده شکل گرفته شده از شاخه‌های مجاور آمیلوپکتین

شدت این پیک در نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جودوسر بیشتر بود. درصد کریستالیزاسیون در نشاسته‌های اصلاح شده کمتر از نشاسته‌های طبیعی بود. در تحقیقی توسط لاوال (۲۰۰۸) بر روی نشاسته ارزن، بعد از هیدروکسی پروپیل کردن کاهش اندک در شدت پیک  $2\theta = 19/6^\circ$  مشاهده شد و پیک‌های دوگانه در  $2\theta = 23/8^\circ$  طولانی نبودند. لاوال و همکاران (۲۰۰۸) عنوان کردند که تغییرات بسیار اندکی ممکن است در مناطق کریستالی نشاسته رخ دهد.

#### میزان جذب آب نشاسته

میزان جذب آب نشاسته‌های گندم و جودوسر و هیدروکسی پروپیل شده آن در دماهای مختلف در نمودار ۲ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود، جذب آب نشاسته‌های طبیعی و هیدروکسی پروپیل شده به دما وابسته است. در محدوده مورد مطالعه  $30-90^\circ\text{C}$  میزان جذب آب با افزایش دما، افزایش می‌یابد.

طول زنجیره آمیلوپکتین، جهت‌گیری مارپیچ‌های دوگانه در مناطق کریستالی و میزان برهم‌کنش بین مارپیچ‌های دوگانه است (سانگ و همکاران ۲۰۰۶). در مورد نشاسته جودوسر در  $20-2\theta$  پیک مشاهده نشد این پیک مربوط به حضور ساختار کریستالی کمپلکس‌های آمیلوز-چربی با نظم بسیار بالا در گرانول نشاسته است (هوور و همکاران ۲۰۰۳). مناطق کریستالی کمتر از نیمی از کل این نشاسته را تشکیل می‌دهند. در اثر هیدروکسی پروپیل کردن الگوی پراش اشعه ایکس تغییری نشان نداد. اما از شدت پیک‌ها کاسته شد، که در مورد نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جودوسر، کاهش بیشتر مشاهده شد. تغییر کم الگوی پراش اشعه ایکس بعد از هیدروکسی پروپیل کردن می‌تواند به دلیل میزان کم اصلاح باشد. همچنین قابل توضیح است که گرانول‌های نشاسته در مناطق بی‌شکل بیشتر تحت تاثیر واکنشگرها در طول فرآیند اصلاح قرار می‌گیرند و مناطق کریستالی حفظ میشوند (وانگ و وانگ ۲۰۰۲). همچنین در اطراف  $20-33^\circ$  در نشاسته‌های اصلاح شده پیک مشاهده شد، خصوصا



شکل ۲- تاثیر دما بر میزان جذب آب نشاسته‌های گندم و جودوسر طبیعی و نشاسته‌های هیدروکسی پروپیل شده آنها. اعداد داده شده میانگین  $\pm$  انحراف معیار

گرانول‌ها و نفوذ آب به مناطق بی‌شکل گرانول‌های نشاسته و تخریب مناطق کریستالی مشاهده می‌شود

در واقع با افزایش دما، مولکول‌های نشاسته از لحاظ ترمودینامیکی فعال می‌شوند و افزایش در تحرک



(لاوال ۲۰۰۸). در تمام دماها جذب آب نشاسته‌های هیدروکسی پروپیله شده بیشتر از طبیعی است. میزان جذب آب برای هر نمونه نشاسته در محدوده دمای مورد مطالعه اختلاف معنی دار نشان داد ( $P < 0.05$ ).

این میزان برای نشاسته گندم از ۲/۸۷۱ تا ۱۰/۲۰۹ (گرم نشاسته/گرم آب)، برای نشاسته جو دوسر از ۳/۰۱۰ تا ۱۱/۰۴۴ (گرم نشاسته/گرم آب)، برای نشاسته هیدروکسی پروپیله شده گندم از ۵/۹۴۰ تا ۱۹/۲۳۳ (گرم نشاسته/گرم آب) و برای نشاسته هیدروکسی پروپیله شده جو دوسر از ۵/۲۱۱ تا ۱۷/۹۶۰ (گرم نشاسته/گرم آب) متغیر بود. تفاوت در میزان جذب آب نشاسته گندم و جو دوسر می‌تواند به تفاوت در درجه کریستالی نسبی (به هم پیوستگی و اتصال بین زنجیره‌های طویل آمیلوپکتین از طریق شکل‌گیری تعداد زیاد کریستال‌ها، مقاومت گرانول‌ها را در برابر جذب آب افزایش می‌دهد)، تشکیل کمپلکس‌های آمیلوز-لیپیدی، منبع نشاسته، توزیع اندازه گرانول‌های نشاسته (در مورد نشاسته جو دوسر کوچکتر از نشاسته گندم است (هوور و وستنان ۱۹۹۲)، چربی بالا در نشاسته جو دوسر و اختلاف در دمای ژلاتینه شدن مربوط باشد (هوور و همکاران ۲۰۰۳). افزایش میزان جذب آب با هیدروکسی پروپیله کردن برای نشاسته‌های ذرت، موز، سیب زمینی، لوبیا و ارزن نیز گزارش شده است (کووار و همکاران ۲۰۰۴، لاوال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ و هانگ و موریتا ۲۰۰۵). این امر به دلیل قرار گرفتن گروه‌های بزرگ و آب دوست هیدروکسی پروپیل بر روی زنجیره‌های نشاسته، تخریب باندهای هیدروژنی درون و برون مولکولی، تضعیف ساختمان داخلی گرانول نشاسته و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی گرانول‌ها به آب باشد.

#### حلالیت نشاسته در آب

حلالیت نمونه‌های شاهد و هیدروکسی پروپیله شده در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان داد که حلالیت نشاسته-های طبیعی و هیدروکسی پروپیله شده وابسته به دماست. میزان حلالیت برای هر نمونه نشاسته در محدوده دمای مورد مطالعه اختلاف معنی دار نشان دادند ( $P < 0.05$ ). در زیر دمای ژلاتینه شدن تفاوت محسوسی در میزان حلالیت در آب نشاسته‌های طبیعی گندم و جو دوسر مشاهده نشد ولی حتی در این شرایط نشاسته‌های هیدروکسی پروپیله شده حلالیت بالاتری داشتند. نشاسته هیدروکسی پروپیله شده گندم حلالیت بالاتری نسبت به سایر نشاسته‌ها نشان می‌دهد. بیشترین میزان حلالیت در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  مشاهده شد. میزان حلالیت نشاسته جو دوسر در تمام دماهای مورد مطالعه کمتر از نشاسته گندم بود که احتمالاً به دلیل میزان بالای لیپید در این نشاسته است (هوور و همکاران ۲۰۰۳). هیدروکسی پروپیله کردن هیدراسیون گرانول-های نشاسته را تسهیل می‌دهد و چون گروه هیدروکسی پروپیل یک گروه آب دوست است اتصالات بیشتر آب و نشاسته را سبب می‌شود و افزایش در جذب آب و قدرت آب دوستی بعد از هیدروکسی پروپیله کردن میزان خروج آمیلوز را عمدتاً در مناطق بی‌شکل نشاسته افزایش می‌دهد، در نتیجه حلالیت بالا می‌رود (کووار و همکاران ۲۰۰۴؛ لاوال ۲۰۱۰). افزایش مشابه در حلالیت در اثر هیدروکسی پروپیله کردن برای نشاسته‌های ذرت، موز، سیب زمینی، لوبیا و ارزن گزارش شده است (کووار و همکاران ۲۰۰۴؛ لاوال ۲۰۰۸؛ ۲۰۱۰؛ هانگ و همکاران ۲۰۰۵).

جدول ۲- حلالیت در آب (%) نشاسته‌های مختلف در محدوده دمایی ۳۰-۹۰°C\*

نمونه				دما (C°)
نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جو دوسر	نشاسته هیدروکسی پروپیل شده گندم	نشاسته جو دوسر	نشاسته گندم	
۷/۶۰۴±۰/۴۷۶ <sup>Bg</sup>	۱۰/۰۶۳±۰/۲۸۸ <sup>Ag</sup>	۱/۹۳۹±۰/۲۷۸ <sup>Ce</sup>	۲/۴۲۴±۰/۲۱۸ <sup>Cf</sup>	۳۰
۹/۵۸۲±۰/۶۷۰ <sup>Bf</sup>	۱۱/۵۷۲±۰/۷۶۳ <sup>Af</sup>	۲/۳۰۲±۰/۱۰۵ <sup>Ce</sup>	۲/۷۸۷±۰/۴۲۰ <sup>C,fe</sup>	۴۰
۱۰/۷۱۸±۰/۳۹۰ <sup>Be</sup>	۱۸/۰۰۰±۰/۵۷۱ <sup>Ae</sup>	۲/۹۰۹±۰/۱۸۲ <sup>Cd</sup>	۳/۲۷۲±۰/۱۸۲ <sup>Ce</sup>	۵۰
۱۲/۱۲۸±۰/۶۰۷ <sup>Bd</sup>	۲۳/۱۲۸±۱/۱۱۲ <sup>Ad</sup>	۳/۵۱۵±۰/۲۷۸ <sup>Cc</sup>	۴/۱۸۱±۰/۱۸۲ <sup>Cd</sup>	۶۰
۲۳/۱۱۳±۰/۷۴۲ <sup>Bc</sup>	۳۱/۶۰۳±۰/۴۲۹ <sup>Ac</sup>	۳/۹۳۹±۰/۲۷۸ <sup>Dc</sup>	۴/۸۴۸±۰/۲۷۸ <sup>Cc</sup>	۷۰
۲۸/۳۴۵±۰/۶۳۶ <sup>Bb</sup>	۳۹/۳۸۶±۰/۸۱۶ <sup>Ab</sup>	۴/۸۴۸±۰/۴۵۸ <sup>Cb</sup>	۵/۸۷۹±۰/۱۰۵ <sup>Cb</sup>	۸۰
۳۷/۴۵۹±۰/۶۲۶ <sup>Ba</sup>	۴۷/۳۷۹±۱/۲۸۱ <sup>Aa</sup>	۵/۴۵۴±۰/۳۲۸ <sup>Da</sup>	۷/۵۴۵±۰/۴۱۷ <sup>Ca</sup>	۹۰

\* اعداد میانگین سه تکرار و به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.

- حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون و حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ردیف می‌باشد (P<۰/۰۵).

### مقاومت به ذوب - انجماد

نتایج حاصل از پایداری ژل‌های ۵٪ نشاسته‌های گندم و جو دوسر و نشاسته‌های هیدروکسی پروپیل شده آنها به دوره‌های انجماد و ذوب در جدول ۳ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود ژل نشاسته گندم طبیعی بیشترین میزان خروج آب را نسبت به ژل سایر نشاسته‌ها نشان می‌دهد. خصوصیات رتروگرادیشن نشاسته‌ها بطور غیر مستقیم تحت تاثیر نظم ساختمانی زنجیره‌های نشاسته در مناطق کریستالی و بی‌شکل گرانول‌های ژلاتینه نشده قرار می‌گیرد. میزان شکست گرانول در طول ژلاتینه شدن و برهم‌کنش‌هایی که بین زنجیره‌های نشاسته در طول نگهداری رخ می‌دهد، بر میزان رتروگرادیشن مؤثر است. میزان آمیلوز و آمیلوپکتین در رتروگرادیشن ژل‌های نشاسته نقش مهمی ایفا می‌کنند. تجمع آمیلوز و کریستالیزاسیون آن در ساعات اولیه انبارداری تکمیل می‌شود در حالی که تجمع و کریستالیزاسیون آمیلوپکتین در مراحل بعدی و طولانی‌تر صورت می‌گیرد. نشاسته جو دوسر رتروگرادیشن کمتری از نشاسته گندم نشان داد که مطابق با مطالعات

قبلی است (گادمادسن والیاسون ۱۹۸۹؛ هور و وسنتان ۱۹۹۲؛ پاتون ۱۹۸۶؛ سوا و وایت ۱۹۹۲). چربی بیشتر نشاسته جو دوسر می‌تواند مسئول رتروگرادیشن کمتر آن باشد. زنجیره و شکل مولکولی آمیلوپکتین از طریق شکل‌گیری مخلوطی از کریستال‌ها با اندازه‌های مختلف و مارپیچ‌های دوگانه با طول زنجیره طویل‌تر می‌تواند بر میزان رتروگرادیشن مؤثر باشد. در نشاسته جو دوسر ارتباط نزدیک بین میزان رتروگرادیشن و طول زنجیره آمیلوپکتین وجود دارد. با هیدروکسی پروپیل کردن نشاسته‌ها میزان خروج آب به میزان قابل توجهی کاهش یافت. در نشاسته هیدروکسی پروپیل شده گندم خروج آب در دوره ششم به بعد مشاهده شد. کاهش در رتروگرادیشن با اصلاح شیمیایی به دلیل ورود گروه‌های حجیم هیدروکسی پروپیل به درون زنجیره‌های نشاسته است که باعث کاهش پیوندهای درون و برون مولکولی می‌شود. گروه‌های هیدروکسی پروپیل ظرفیت نگهداری آب را در نشاسته‌ها افزایش می‌دهند بنابراین میزان آب خارج شده در طول دوره‌های انجماد و ذوب کاهش می‌یابد. نتایج مشابه برای نشاسته سیب زمینی،

ارزن، گل اختر و لوییا گزارش شده است (لاوال ۲۰۰۸، ۲۰۰۴).  
 ۲۰۱۰؛ چئونکامول و همکاران ۲۰۰۷؛ کووار و همکاران

جدول ۳- میزان خروج آب (%) ژل‌های ۵٪ نشاسته گندم و نشاسته‌های هیدروکسی پروپیل شده آنها در دوره‌های مختلف انجماد و ذوب\*

دوره	نشاسته		نشاسته گندم
	هیدروکسی پروپیل گندم	نشاسته جو دوسر	
۱	۰	۱۷/۶۱۲±۰/۸۵۱ <sup>b</sup>	۴۴/۹۶۳±۰/۵۱۲ <sup>a</sup>
۲	۰	۱۶/۲۶۵±۰/۶۰۷ <sup>b</sup>	۴۳/۶۲۵±۱/۳۲۱ <sup>a</sup>
۳	۰	۱۷/۸۰۶±۰/۳۱۴ <sup>b</sup>	۴۴/۲۲۳±۰/۴۹۴ <sup>a</sup>
۴	۰	۱۸/۵۲۷±۰/۲۹۷ <sup>b</sup>	۴۶/۲۸۶±۰/۶۷۹ <sup>a</sup>
۵	۰	۱۹/۴۴۴±۰/۲۷۲ <sup>b</sup>	۴۹/۵۰۵±۰/۳۹۹ <sup>a</sup>
۶	۰/۵۳۲±۰/۰۴۵ <sup>d</sup>	۲۱/۲۰۶±۰/۳۱۶ <sup>b</sup>	۵۲/۵۹۹±۱/۰۹۰ <sup>a</sup>
۷	۰/۵۱۵±۰/۰۴۹ <sup>d</sup>	۲۳/۴۶۰±۰/۱۷۶ <sup>b</sup>	۵۵/۲۶۵±۱/۲۰۴ <sup>a</sup>
۸	۰/۸۳۵±۰/۰۷۴ <sup>d</sup>	۲۶/۲۶۰±۰/۲۰۶ <sup>b</sup>	۵۹/۳۰۳±۰/۹۶۷ <sup>a</sup>

\* اعداد میانگین سه تکرار و به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده است.  
 - حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) در هر ردیف می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

مطالعه خواص فیزیکی‌شیمیایی نشاسته جو دوسر نشان داد که این نشاسته همانند نشاسته سایر غلات دارای قابلیت بالایی جهت کاربرد در مواد غذایی است از جمله می‌توان به قدرت جذب آب بالاتر، حلالیت کمتر و میزان برگشت کمتر در مقایسه با نشاسته گندم اشاره کرد. فرآیندهیدروکسی پروپیل کردن نشاسته‌های گندم و جو دوسر با موفقیت انجام شد و توانست برخی خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی نشاسته‌ها مانند قابلیت جذب آب، حلالیت و کاهش میزان برگشتبه میزان قابل توجهی افزایش دهد. میزان جایگزینی مولی نشاسته گندم و نشاسته جو دوسر در محدوده مورد تأیید سازمان

جهانی غذا و دارو جهت کاربرد نشاسته های هیدروکسی پروپیل شده در مواد غذایی بود. در مقایسه دو نشاسته های اصلاح شده مورد استفاده در این تحقیق، نشاسته هیدروکسی پروپیل شده گندم مقاومت در برابر آب انداختن در حین خروج از انجماد و حلالیت در آب بیشتری نسبت به نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جو دوسر از خود نشان داد. در مجموع با توجه به خصوصیات این نشاسته‌ها می‌توان از آنها برای تولید محصولات غذایی با بافتی نرم، ویسکوز، شفاف و غلیظ مانند سس‌ها و پودینگها و در محصولات نانویی و قنادی به دلیل پایداری ژل در دماهای پایین میتوان استفاده کرد.

## منابع مورد استفاده

- امام ی، ۱۳۸۳. زراعت غلات، چاپ دوم، مرکز نشر دانشگاه شیراز.
- فرحناکی ع، مجذوبی م، مصباحی غ، ۱۳۸۸. خصوصیات و کاربردهای هیدروکلوئیدها در مواد غذایی و دارویی، چاپ اول، انتشارات علم کشاورزی ایران.
- کریمی ه، ۱۳۷۵. گیاهان زراعی، چاپ چهارم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- American Association of Cereal Chemists, 2003. Approved methods of AACC. St. Paul, MN: The Association.
- Berski W, Ptaszek A, Ptaszek P, Ziobro O, Kowalski G, Grzesik M and Achremowicz B, 2011. Pasting and rheological properties of oat starch and its derivatives. *Carbohydrate Polymers* 83: 665–671.
- Chuenkamol B, Puttanlek C, Rungsardthong V and Uttapap D, 2007. Characterization of low-substituted hydroxypropylated canna starch. *Food Hydrocolloids* 21: 1123–1132.
- Cornell H, 2004. Starch in Food. In: Eliasson A-C, ed. Boca Raton, FL: CRC Press.
- González Z and Perez E, 2002. Effect of acetylation on some properties of rice starch. *Starch/Stärke* 54: 148–154.
- Gudmundsson M and Eliasson AC, 1989. Some physicochemical properties of oat starches extracted from varieties with different oil content. *Acta Agriculturae Scandinavica* 39: 101–111.
- Hoover R and Vasanthan T, 1992. Studies on isolation and characterization of starch from oat (*Avena nuda*) grains. *Carbohydrate Polymers* 19: 285–297.
- Hoover R, Vasanthan T, Senanayake NJ and Martin AM, 1994. The effects of defatting and heat-moisture treatment on the retrogradation of starch gels from wheat, oat, potato, and lentil. *Carbohydrate Research* 261: 3–24.
- Hoover R and Manuel H, 1996. The effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of normal maize, waxy maize, dull waxy maize and amylo maize V starches. *Journal of Cereal Science* 23: 153–162.
- Hoover H, Smith C, Zhou Y and Ratnayake RMWS, 2003. Physicochemical properties of Canadian oat starches. *Carbohydrate Polymers* 52: 253–261.
- Hung P and Morita N, 2005. Effects of granule sizes on physicochemical properties of cross-linked and acetylated wheat starches. *Starch/Stärke* 57: 413–420.
- Islam N and Azemi BMNM, 1997. Rheological properties of calcium treated hydroxypropyl rice starches. *Starch/Stärke* 49: 136–141.
- Jane J, Kasemsuwan T, Leas S, Zobel H and Robyt JF, 1994. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. *Starch/Stärke* 46: 121–129.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2001. In: Compendium of food additive specifications. Hydroxypropyl starch, INS.
- Kaur L, Singh N and Singh J, 2004. Factors influencing the properties of hydroxypropylated potato starches. *Carbohydrate Polymers* 55: 211–223.
- Kim HR, Hermansson A, Mand Eriksson CE, 1992. Structural characteristics of hydroxypropyl potato starch granules depending on their molar substitution. *Starch/Stärke* 44: 111–116.
- Lawal OS, 2010. Hydroxypropylation of pigeon pea (*Cajanus cajan*) starch: Preparation, functional characterizations and enzymatic digestibility. *LWT Food Science and Technology* 44: 771–777.
- Lawal OS, 2008. Starch hydroxyalkylation: physicochemical properties and enzymatic digestibility of native and hydroxypropylated finger millet (*Eleusine coracana*) starch. *Food Hydrocolloids* 23: 415–425.
- Lawal OS, Ogundiran OO, Adesogan EK, Ogunsanwo BM and Sosanwo OA, 2008. Effect of hydroxypropylation on the properties of white yam (*Dioscorea rotundata*) starch. *Starch/Stärke* 60: 340–425.

- Liu Q, In: Cui SW, ed. 2005. Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Liu HJ, Ramsden L and Corke H, 1999. Physical properties and enzymatic digestibility of hydroxypropylated amylo, waxy, and normal maize starches. *Carbohydrate Polymers* 40: 175-182.
- Majzoobi M, Radi M, Farahnaky A, Jamalian J and Tongdang T, 2009. Physicochemical properties of phosphoryl chloride cross-linked wheat starch. *Iranian Polymer Journal* 18: 491-499.
- Maningate CC, Seib PA, Bassi SD, Woo KS and Lasater GD, 2009. *Wheat Starch: Production, Properties, Modification and Uses*. 2<sup>nd</sup> ed, Elsevier Inc.
- Meister JJ, 2000. *Polymer modification: Principle, Techniques and Application*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Morrison W and Laignelet L, 1983. An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *Journal of Cereal Science* 1: 19-35.
- Paton D, 1986. Oat starch, physical, chemical and structural properties. In F. W. Webster (Ed.), *Oats: Chemistry and technology* (pp. 93-120). American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN.
- Perera C, Hoover R and Martin AM, 1997. The effect of hydroxypropylation on the structure and physicochemical properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. *Food Research International* 30: 235-247.
- Shamekh S, Forssell P and Poutanen E, 1994. Solubility pattern and recrystallization behaviour of oat starch. *Starch/Stärke* 48: 129-133.
- Singh J, Kaur L and McCarthy OJ, 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.
- Sodhi NS and Singh N, 2005. Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice starch. *Journal of Food Engineering* 70: 117-127.
- Sowa SM and White PJ, 1992. Characterization of starch isolated from oat groats with different Amounts of lipid. *Cereal Chemistry* 69: 521-527.
- Song XY, Chen QH, Ruan H, He GQ and Xu Q, 2006. Synthesis and paste properties of octenyl succinic anhydride modified early Indica rice starch. *Journal of Zhejiang University Science B* 7: 800-805.
- Tester RF and Karkalas J, 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry* 73: 271-277.
- Thomas DJ and Atwell WA, 1999. *Starches*. New York: Eagan Press.
- Wang YJ and Wang LF, 2002. Characterization of acetylated waxy maize starches prepared under catalysis by different alkali and alkaline-earth hydroxides. *Starch/Stärke* 54: 25-30.
- Williams PC, Kuzina FD and Hlynka I, 1970. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chemistry* 47: 411-420.