

## خصوصیات فیزیکی ژل نشاسته‌های گندم و جو دوسر طبیعی و هیدروکسی پروپیل شده آنها

بهاره صابری<sup>۱</sup>، عسگر فرحناکی<sup>۲\*</sup> و مهسا مجذوبی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۹

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

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

\*مسئول مکاتبات: E mail: farahnak@shirazu.ac.ir

### چکیده

نشاسته گندم مهمترین منبع نشاسته در نقاط مختلف جهان است. اثرات مثبت جو دوسر بر سلامت به خوبی مشخص شده است. اطلاعات اندکی در مورد خصوصیات فیزیکی شیمیایی نشاسته جو دوسر و مشتقات آن در دسترس می‌باشد. هدف از این مطالعه، مقایسه اثرات هیدروکسی پروپیل کردن ژل‌های نشاسته جو دوسر و گندم بود. بنابراین، نشاسته گندم و جو دوسر با افزودن ۳۰ میلی‌لیتر پروپیلن اکسید در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت هیدروکسی پروپیل شده‌اند. بافت ژل‌های نشاسته (۱۰٪ نشاسته جامد) با استفاده از آنالیزور بافتی انجام شد و خصوصیات مختلف از جمله سختی ژل، کار لازم برای فشردن ژل‌ها، ارتجاع‌پذیری بافت ژل، پیوستگی بافت، صمغی بودن بافت و مقاومت به جویدن اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که هیدروکسی پروپیل شدن نشاسته باعث کاهش سفتی ژل نشاسته گندم شد در حالی که افزایش سفتی ژل نشاسته جو دوسر را به دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: نشاسته گندم، نشاسته جو دوسر، نشاسته هیدروکسی پروپیل شده، بافت ژل

## Physical properties of natural and hydroxypropylated wheat and oat starch gels

B Sabery<sup>1</sup>, A Farahnaky<sup>2\*</sup> and M Majzoobi<sup>2</sup>

Received: April 08, 2012 Accepted: April 17, 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

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

### Abstract

Wheat starch is the most famous type of starch in many parts of the world. The health beneficial effects of oat have been well documented. However, less information is available on the physicochemical properties of oat starch and its derivatives. The main aim of this study was to compare the effects of hydroxypropylation on wheat and oat starch gels. Therefore, wheat and oat starch were hydroxypropylated using 30 mL propylene oxide at 40 °C for 24 h. The texture of the starch gels (10% starch solid) was determined using a Texture Analyzer. From the resulting force/deformation curves, the textural parameters of hardness, work, cohesiveness, springiness, gumminess and chewiness were calculated. The results showed, the hydroxypropylation of wheat starch reduced gel firmness, while it enhanced oat starch gel hardness.

**Keywords:** Wheat starch, Oat starch, Hydroxypropylated starch, Gel texture

### مقدمه

پروتئین ترکیب اصلی باقی مانده نشاسته است. بر خلاف نشاسته گندم، گرانول‌های نشاسته جودوسر در یک ماتریکس پروتئینی به هم پیوسته فرو نرفته است بلکه پروتئین در ساختارهای مجزا قرار گرفته است. نشاسته در گرانول‌های مجزا که دارای اشکال بی‌قاعده (چند وجهی، تخم مرغی شکل و نیم کره‌ای) که به صورت خوشه‌ای قرار گرفته‌اند و عمدتاً یک شکلی هستند (هوور و همکاران ۲۰۰۳). با توجه به گزارشات موجود اطلاعات زیادی در خصوص نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جودوسر وجود ندارد.

نشاسته بطور طبیعی معمولاً تامین کننده نیازها و خواص مورد نظر ما جهت استفاده در غذا نیست؛ برای مثال رتروگراده شدن سریع بعضی نشاسته‌ها، یا از دست دادن ویسکوزیته طی فرایند حرارت‌دهی یا در محیط اسیدی و دمای انجماد، نشاسته طبیعی دچار تغییر ساختار می‌شود و عملکرد آن تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بنابراین به منظور بهبود کیفیت نشاسته و افزایش کارایی

در تغذیه انسان، نشاسته حدود ۸۰-۷۰٪ از انرژی متابولیک مورد نیاز بدن جهت انجام عملکردهای مختلف را تامین می‌کند. نشاسته یک ترکیب غذایی با خواص بسیار در صنایع مختلف خصوصاً صنایع غذایی است. یکی از عمده ترین منابع استخراج نشاسته دانه‌های غلات می‌باشند. در میان غلات جودوسر با وجود دارا بودن سطح زیر کشت اندک (تنها ۱/۵ درصد کل غلات دنیا) (امام ۱۳۸۳)، امروزه به دلیل خصوصیات تغذیه‌ای مطلوب خصوصاً از نظر دارا بودن مقدار قابل توجهی بتاگلوکان<sup>۱</sup> (۷-۲ درصد از کل وزن دانه) مورد توجه بسیار قرار گرفته است. اندوسپرم نشاسته‌ای جودوسر ۷۰-۵۵٪ وزن دانه را تشکیل می‌دهد و شامل پروتئین، چربی و بتاگلوکان است که در قسمت‌های خارجی دانه تراکم آنها بیشتر است. پس از استخراج بتاگلوکان و

<sup>۱</sup>.  $\beta$ -glucan

خصوصیات مکانیکی و بافتی ژل‌های نشاسته به خصوصیات رئولوژیکی فاز پیوسته آمیلوز، حجم و شکل‌پذیری گرانول‌ها و برهم‌کنش بین فاز پیوسته و پراکنده بستگی دارد (تانگ و همکاران ۲۰۰۷). کیتلس و همکاران (۱۹۹۶) دریافتند که افزایش میزان رطوبت شکل‌پذیری بیشتر گرانول‌های متورم و استحکام کمتر شبکه آمیلوز را که منجر به کاهش سختی ژل می‌شود را به همراه دارد. خصوصیات مکانیکی و بافتی ژل‌های نشاسته در میزان‌های مختلف رطوبت توسط اینابا و همکاران در سال ۱۹۹۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. آنها گزارش کردند که نیرو و کار لازم برای فشردن ژل با افزایش غلظت نشاسته افزایش می‌یابد در حالیکه قابلیت فشردگی و ارتجاع‌پذیری به غلظت نشاسته وابسته نیست.

هدف از این تحقیق اصلاح شیمیایی نشاسته گندم و جودوسر با پروپیلن اکسید و تولید نشاسته‌های هیدروکسی پروپیل شده و بررسی خصوصیات فیزیکی ژل‌های نشاسته گندم و جودوسر طبیعی و هیدروکسی پروپیل شده و مقایسه آنها بود. نتایج بدست آمده در تعیین خصوصیات غذاهای حاوی این نوع نشاسته‌ها خصوصا در صورتی که افزودن این نشاسته‌ها به منظور ایجاد ژل در غذا به کار رفته باشد اهمیت دارد.

#### مواد و روش‌ها

نشاسته گندم درجه یک از کارخانه فارس گلوکوزین مرودشت و دانه جودوسر از دانشگاه صنعتی اصفهان خریداری شد. دانه‌های جودوسر به کمک دست بوجاری شدند. ترکیبات شیمیایی مورد استفاده از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

#### استخراج نشاسته جودوسر

برای استخراج نشاسته از دانه جودوسر از روش هور و وسنتان (۱۹۹۲) استفاده شد. فاکتورهای

آن در غذاهای مختلف با توجه به نیاز می‌توان تغییرات بخصوصی را در ساختار آن بوجود آورده که چنین نشاسته‌ای را نشاسته اصلاح شده می‌نامند. می‌توان با اعمال روشهای مختلف فیزیکی، شیمیایی، آنزیمی یا ژنتیکی نشاسته‌ای با خواص مورد نظر بدست آورد (فریزر و همکاران ۱۹۹۷). نشاسته هیدروکسی-پروپیل شده یکی از انواع متداول نشاسته‌های اصلاح شده به روش شیمیایی می‌باشد. این نوع نشاسته در اثر واکنش نشاسته با پروپیلن اکسید تولید می‌شود و در نتیجه یک گروه هیدروکسی پروپیل با اتصال اتری به مولکول‌های گلوکز متصل می‌شود. از این نوع نشاسته‌ها برای تولید محصولات غذایی با بافتی نرم، ویسکوز، شفاف و غلیظ مانند سس‌ها و پودینگ‌ها استفاده می‌شود (توماس و همکاران ۱۹۹۹). در این نوع نشاسته گروه‌های قرار گرفته روی زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین به عنوان یک عامل ممانعت کننده عمل کرده و باعث دور نگه داشتن زنجیرها از هم می‌شوند. در نتیجه پدیده بیاتی به دلیل افزایش فاصله بین شاخه‌های نشاسته، کمتر اتفاق می‌افتد در دماهای پایین پایدارتر هستند. همچنین سایر خصوصیات نشاسته مانند دمای ژلاتینه شدن، ویسکوزیته و شفافیت ژل تغییر می‌کند (توماس و همکاران ۱۹۹۹؛ سینگ و همکاران ۲۰۰۷؛ میستر ۲۰۰۰). هیدروکسی پروپیل‌اسیون نشاسته‌های حاصل از منابع مختلف از جمله برنج (ایسلام و همکاران ۱۹۹۷)، ذرت (لیو و همکاران ۱۹۹۹)، سیب‌زمینی (کووار و همکاران ۲۰۰۴؛ کیم و همکاران ۱۹۹۲؛ پررا و همکاران ۱۹۹۹) و گندم (هانگ و همکاران ۲۰۰۵) گزارش شده است. خواص منحصر به فرد بسیاری از غذاهای حاوی نشاسته نتیجه تغییرات خاصی است که در گرانول‌های نشاسته و نظم داخلی آنها طی فرایندهای حرارتی در آب ایجاد می‌شود. اگر نشاسته حرارت دیده را سرد کنیم ویسکوزیته آن افزایش می‌یابد و در نتیجه ساختار ژله ماندنی ایجاد می‌شود (فرحناکی و همکاران ۱۳۸۸).

<sup>۱</sup>. Propylen oxide

کردن به حالت اولیه)، به هم پیوستگی بافت<sup>۳</sup> (از تقسیم سطح ۲ بر سطح ۱ بدست آمد)، قابلیت صمغی<sup>۴</sup> (از ضرب سختی در میزان به هم پیوستگی)، قابلیت جویدن<sup>۵</sup> (از ضرب میزان ارتجاع پذیری در به هم پیوستگی بافت در قابلیت صمغی) مورد آنالیز قرار گرفتند.

### 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

ترکیبات موجود در نشاسته گندم و نشاسته جو دوسر در جدول ۱ گزارش شده است که با گزارش‌های قبلی توسط هوور و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت داشت. میزان بازدهی نشاسته جو دوسر در این مطالعه بر اساس وزن خشک دانه تقریباً ۲۹/۳٪ بود که در محدوده گزارش شده توسط هوور و همکاران (۲۰۰۳) بود. میزان آمیلوز برای نشاسته جو دوسر عمدتاً ۲۹/۴-۲۵/۲٪ گزارش شده است (تستر و همکاران ۱۹۹۶؛ ژوو و همکاران ۱۹۹۸). مقدار آمیلوز به دست آمده در این مطالعه ۲۲/۱۲٪ بود. میزان جایگزینی مولی نشاسته خشک گندم و جو دوسر در اثر واکنش با ۳۰ میلی لیتر پروپیلن اکسید به ترتیب  $MS = 0.12$  و  $MS = 0.09$  بود که در محدوده مجاز تعیین شده توسط FDA بود.

رطوبت، چربی، خاکستر و پروتئین در مورد نشاسته‌های خالص گندم و جو دوسر بر اساس استاندارد AACC (۲۰۰۳) اندازه‌گیری شد. مقدار آمیلوز با روش ویلیامز و همکارانش (۱۹۷۰) اندازه‌گیری شد.

### تولید نشاسته هیدروکسی پروپیل شده و اندازه‌گیری میزان جایگزینی مولی

این عمل با استفاده از روش کووار و سینگ در سال ۲۰۰۴، انجام شد. برای این منظور از ماده شیمیایی پروپیلن اکسید استفاده شد. روش پیشنهاد شده در سال ۲۰۰۱ توسط کمیته افزودنی‌های غذایی الحاقی سازمان‌های جهانی سلامت و غذا جهت تعیین میزان جایگزینی مولی به کار گرفته شد.

### اندازه‌گیری قدرت ژل

برای اندازه‌گیری قدرت ژل هر نمونه، مخلوط ۱۰٪ نشاسته در آب (۱۰ گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی لیتر آب) تهیه گردید و درون بشر شیشه‌ای ریخته و سپس هر ظرف درون حمام آب جوشان با دمای  $95^{\circ}\text{C}$  قرار داده شد. محتویات بشرها بطور منظم تا ژلاتینه شدن نشاسته‌ها بهم زده شد. پس از ژلاتینه شدن، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای  $95^{\circ}\text{C}$  قرار گرفتند. سپس محتویات هر بشر در حالت داغ به قالب‌های دستگاه بافت‌سنج با قطر و ارتفاع مشخص (۱ سانتی‌متر  $\times$  ۱ سانتی‌متر) منتقل شد و به مدت یک شب در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  به منظور تشکیل و بستن ژل نگهداری شدند (چوی و همکاران ۲۰۰۳). سپس قدرت ژل از طریق آزمون بافت‌سنجی به کمک دستگاه TPA (Texture Profile Analysis) (مدل TA-XT2I, Texture Analyzer, Stable Microsystems ساخت کشور انگلستان) مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای مختلفی از جمله سختی<sup>۱</sup> (حداکثر نیرو در هر تماس)، سطح ۱ (کار لازم برای انجام کمپرس اول که از سطح زیر منحنی بدست آمد)، میزان ارتجاع پذیری<sup>۲</sup> (بازگشت نمونه بعد از کمپرس

3. Cohesiveness

4. Gumminess

5. Chewiness

1. Hardness

2. Springiness

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی نشاسته‌های گندم و جودوسر مورد استفاده در این تحقیق (بر اساس وزن خشک)\*

ترکیبات شیمیایی (%)	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 ۱/۲۵ است. حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P < 0/05$ ) در هر ردیف می‌باشد.

### تعیین خصوصیات ژل نشاسته های حاصل

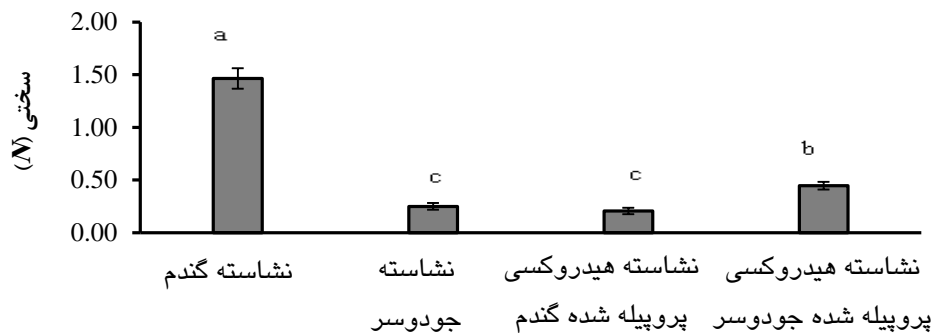
همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود سفتی بافت، ژل نشاسته گندم < ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جودوسر < ژل نشاسته جودوسر < ژل هیدروکسی پروپیل شده گندم بود. سفتی ژل حاصل از نشاسته طبیعی گندم با هیدروکسی پروپیل کردن کاهش یافت. وجود گروه‌های هیدروکسی پروپیل باعث کاهش استحکام ژل گشت (لیو و همکاران ۱۹۹۹). در طول هیدروکسی پروپیل کردن گروه‌های حجیم و آب دوست هیدروکسی پروپیل وارد زنجیره‌های نشاسته شده و باندهای هیدروژنی درون و برون مولکولی را تخریب کرده و باعث تغییراتی در ساختمان مولکولی و گرانیولی نشاسته شدند و منجر به نفوذ بیشتر آب و جذب آب بالای گرانول‌ها شدند و در پی آن باعث خروج بیشتر آمیلوز از داخل گرانول‌ها شدند، در نتیجه به هم پیوستگی مجدد زنجیره‌های آمیلوز با یکدیگر و با گرانول‌های باقی مانده برای تشکیل شبکه ژل دشوارتر شد که این منجر به کاهش سفتی ژل شد (چوی و همکاران ۲۰۰۳؛ واتاناچانت و همکاران ۲۰۰۳). به عبارت دیگر در اثر هیدروکسی پروپیل شدن نشاسته گندم، سفتی ژل آن کاهش در حالی که در اثر این نوع اصلاح شیمیایی سفتی ژل نشاسته جودوسر افزایش یافت. در واقع افزایش سفتی ژل این نشاسته با هیدروکسی پروپیل کردن می‌تواند مربوط به تورم بیشتر گرانول‌ها

باشد (چوی و همکاران ۲۰۰۳). طبق گزارشات هور و همکاران (۲۰۰۳)، نشاسته جودوسر در مقایسه با نشاسته گندم دارای قدرت جذب آب بالاتر و حلالیت کمتر به دلیل داشتن چربی باند شده در ساختار درونی خود می‌باشد و به دلیل خروج همزمان آمیلوز و آمیلوپکتین در حین فرآیند ژلاتینه شدن، ژل حاصل از نشاسته جودوسر سفتی کمتری نشان می‌دهد. تحقیقات اخیر وجود یک ترکیب پلی ساکاریدی حد واسط<sup>۱</sup> میان آمیلوز و آمیلوپکتین را در نشاسته جودوسر نشان می‌دهد که تعداد شاخه‌های کمتر و طول‌تر از آمیلوپکتین معمولی دارد و حدود ۴/۵٪ نشاسته را تشکیل می‌دهد و حدس زده می‌شود که این ترکیبات بخش‌هایی از آمیلوز با آمیلوپکتین طبیعی یا هیدرولیز شده است که بطور همزمان رسوب کرده‌اند (تستر و همکاران ۱۹۹۶). وجود ترکیبات حدواسط میان آمیلوز و آمیلوپکتین در نشاسته غلات که در مورد نشاسته جودوسر ۲۶٪ و در مورد نشاسته گندم ۱۶٪ گزارش شده است ممکن است بر خواص ژل تاثیر بگذارد (پاتون و همکاران ۱۹۷۹). این ترکیبات حدواسط در نشاسته جودوسر در مقایسه با نشاسته گندم دارای شاخه‌های کمتری هستند و بنابراین قادرند در طول فرآیند ژلاتینه شدن همزمان با آمیلوز خارج شوند و بر خصوصیات ژل مؤثر باشند. بنابراین سفتی کم ژل‌های نشاسته جودوسر مربوط به برهم‌کنش

<sup>1</sup>. Intermediate material

کاهش چسبندگی آن می‌شود، زیرا با افزایش نسبت آمیلوز در نشاسته، دسترسی زنجیره‌های آزاد آمیلوز و تجمع مولکول‌ها با فواصل بسیار نزدیک در مناطق اتصال افزایش می‌یابد (تانگ و همکاران ۲۰۰۷). فاکتورهایی مانند غلظت نشاسته، درجه پلیمریزاسیون، ساختمان شاخه‌دار آمیلوپکتین و نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین و حضور مولکول‌های کوچک مانند لیپیدها که می‌توانند با آمیلوز کمپلکس تشکیل دهند بر رفتار ژل‌ها تاثیر گذارند (واندپوت و همکاران ۲۰۰۳؛ تستر و همکاران ۱۹۹۰). از آنجا که این عوامل در مورد نشاسته های گندم و جو دوسر با یکدیگر متفاوت می باشند می تواند دلیلی بر تفاوت خصوصیات ژل حاصل از این دو نوع به شمار آید.

بین ترکیبات خارج شده (ترکیبات حدواسط شاخه‌دار و زنجیره‌های آمیلوز) در فاز پیوسته باشد. این برهم‌کنش توانایی زنجیره‌های آمیلوز را برای شکل‌گیری یک شبکه محکم به وسیله پیوستگی جانبی مارپیچ‌های دوگانه محدود می‌کند. زنجیره‌های آمیلوز در نشاسته جو دوسر به دلیل سازماندهی نامنظم در مناطق بی‌شکل، به هم فشردگی کمتری نسبت به نشاسته گندم دارند (هوور و همکاران ۱۹۹۲). بطور کلی توانایی تشکیل شبکه ژل توسط زنجیره‌های آمیلوز و عدم تغییر شکل گرانول‌های متورم فاکتورهای اصلی در استحکام ژل هستند (لویتن و همکاران ۱۹۹۲). خصوصیات ویسکوالاستیک ژل‌های نشاسته به ساختمان شیمیایی آمیلوز و آمیلوپکتین و میزان برهم‌کنش این دو پلیمر در محیط آبی وابسته است. افزایش آمیلوز باعث استحکام و سختی ژل و



شکل ۲- میزان سختی ژل نشاسته گندم و نشاسته جو دوسر و هیدروکسی پروپیل شده آنها.

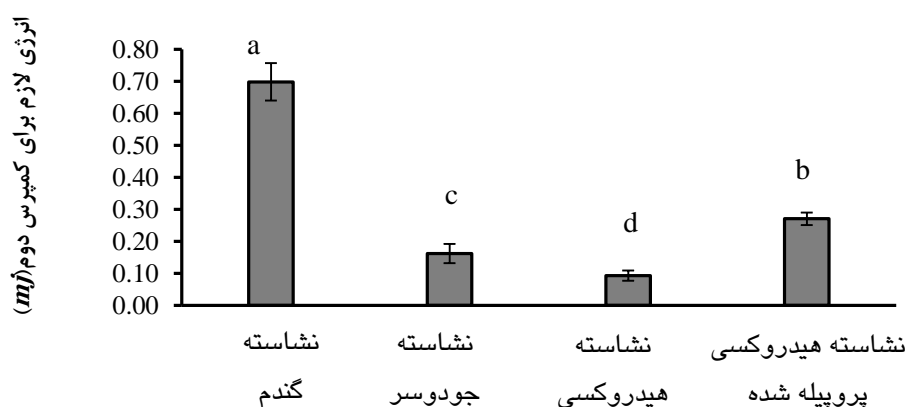
اعداد نشان داده شده روی هر ستون میانگین سه تکرار می‌باشند.

حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) می‌باشند.

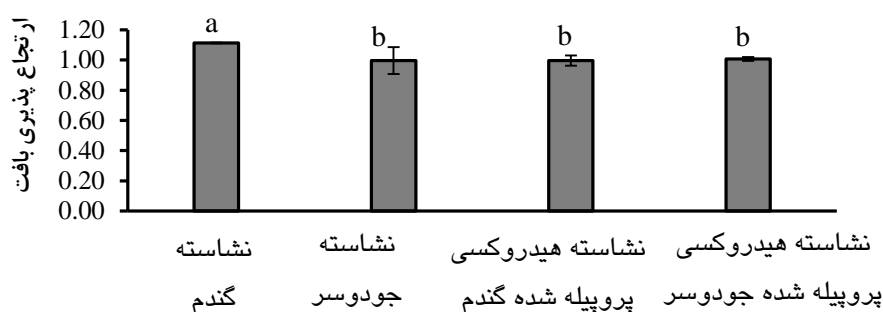
جو دوسر گردید. شکل ۴ ارتجاع پذیری بافت ژل‌های حاصل از نشاسته‌های گندم و جو دوسر و هیدروکسی پروپیل شده آنها را نشان می‌دهد. ارتجاع پذیری یا فنریته، بازگشت نمونه بعد از کمپرس کردن به حالت اولیه است و به عنوان الاستیسیته نیز تعریف می‌شود. ژل نشاسته گندم ارتجاع پذیری بیشتری نسبت به ژل سایر نشاسته‌ها داشت. با هیدروکسی پروپیل کردن میزان ارتجاع پذیری کاهش یافت. ژل نشاسته جو دوسر

شکل ۳ نتایج انرژی صرف شده برای فشردن ژل‌های انواع نشاسته را نشان می‌دهد. ژل‌های نشاسته‌های مورد آزمون در سطح ( $P < 0.05$ ) اختلاف معنی‌دار نشان دادند. مطابق نتایج به دست آمده از آزمون تعیین سختی، انرژی لازم برای فشردن ژل نشاسته گندم و ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده گندم نسبت به سایر نمونه‌ها به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بود. بر خلاف نشاسته گندم، هیدروکسی پروپیل نمودن باعث افزایش انرژی لازم برای فشردن نمودن ژل‌های نشاسته

و نشاسته‌های هیدروکسی پروپیل شده گندم و جودوسر اختلاف معنی دار ( $P < 0.05$ ) نداشتند.



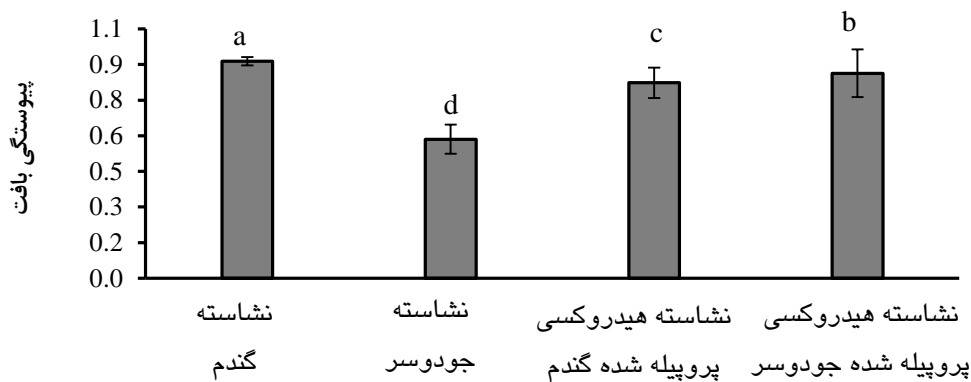
شکل ۳- میزان انرژی لازم برای فشرده کردن ژل نشاسته گندم و نشاسته جودوسر و هیدروکسی پروپیل شده آنها. اعداد نشان داده شده روی هر ستون میانگین سه تکرار می‌باشند. حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنی دار ( $P < 0.05$ ) می‌باشند.



شکل ۴- میزان ارتجاع پذیری ژل نشاسته گندم و نشاسته جودوسر و هیدروکسی پروپیل شده آنها. اعداد نشان داده شده روی هر ستون میانگین سه تکرار می‌باشند. حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنی دار ( $P < 0.05$ ) می‌باشند.

و در نهایت ژل نشاسته جودوسر بود. افزایش پیوستگی در ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل جودوسر شاید به دلیل خروج همزمان آمیلوز و آمیلوپکتین از گرانول‌های متورم شده و افزایش غلظت پلیمرها در فاز پیوسته و افزایش تغییر شکل پذیری گرانول‌های نشاسته بود. در اثر هیدروکسی پروپیل کردن پیوستگی بافت ژل نشاسته گندم کاهش در حالیکه در ژل نشاسته جودوسر افزایش مشاهده شد.

پیوستگی بافت ژل نشاسته‌های گندم و جودوسر و هیدروکسی پروپیل شده آنها در شکل ۵ آمده است. پیوستگی بافت معیاری از درجه سختی شکستن ساختار داخلی ژل نشاسته است. نتایج به دست آمده از جدول نشان داد که اختلاف معنی دار ( $P < 0.05$ ) بین ژل‌های نشاسته‌های مختلف وجود دارد. پیوستگی بافت ژل نشاسته گندم بیشتر از ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جودوسر و نشاسته هیدروکسی پروپیل شده گندم



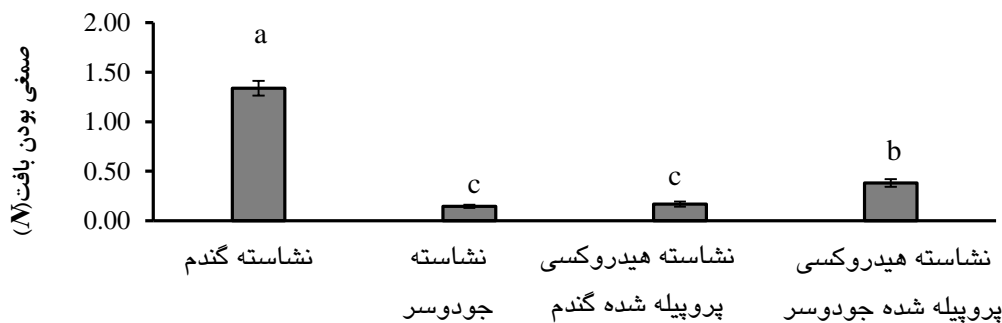
شکل ۵- میزان پیوستگی بافت ژل نشاسته گندم و نشاسته جو دوسر و هیدروکسی پروپیل شده آنها.

اعداد نشان داده شده روی هر ستون میانگین سه تکرار می‌باشند.

حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنی دار ( $P < 0.05$ ) می‌باشند.

گندم، بالاتر بودن سختی ژل آن و کمتر بودن میزان جایگزینی مولی دانست. میزان صمغی بودن بافت ژل نشاسته طبیعی جو دوسر و ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده گندم اختلاف معنی دار ( $P < 0.05$ ) نشان دادند (شکل ۶).

صمغی بودن بافت، ژل نشاسته گندم < ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جو دوسر < ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده گندم < ژل نشاسته جو دوسر بود. می‌توان علت بالاتر بودن قابلیت صمغی ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده جو دوسر نسبت به ژل نشاسته طبیعی جو دوسر و ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده



شکل ۶- میزان قابلیت صمغی بودن بافت ژل نشاسته گندم و نشاسته جو دوسر و هیدروکسی پروپیل شده آنها.

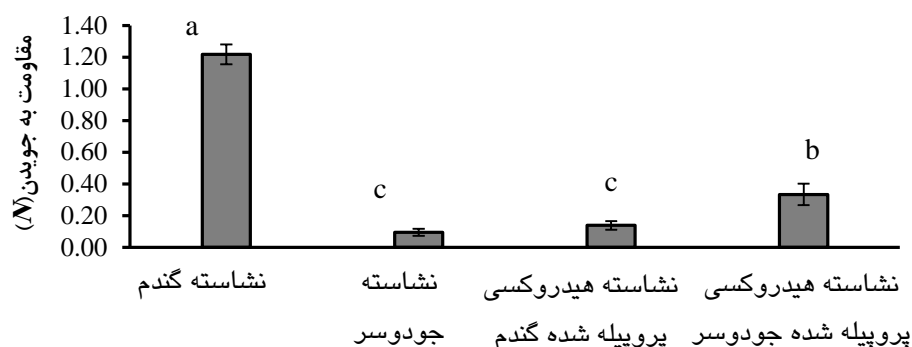
اعداد نشان داده شده روی هر ستون میانگین سه تکرار می‌باشند.

حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنی دار ( $P < 0.05$ ) می‌باشند.

جو دوسر و جایگزینی مولی کمتر آن نسبت به ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده گندم بود. این امر می‌تواند به دلیل تفاوت در منبع نشاسته، اختلاف در توزیع اندازه گرانول‌ها، تفاوت در میزان رطوبت، چربی بالاتر، حلالیت کمتر و جذب آب بیشتر این نشاسته باشد (دابلیو و همکاران ۱۹۸۷).

همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، اختلاف معنی‌دار بین ژل‌های نشاسته‌ها وجود داشت ( $P < 0.05$ ). هیدروکسی پروپیل کردن نشاسته گندم باعث کاهش مقاومت به جویدن ژل شد. در حالیکه در مورد نشاسته جو دوسر مقاومت به جویدن افزایش یافت که به علت سفتی بیشتر ژل نشاسته هیدروکسی پروپیل شده





شکل ۷- میزان مقاومت به جویدن بافت ژل نشاسته گندم و نشاسته جودوسر و هیدروکسی پروپیل شده آنها.

اعداد نشان داده شده روی هر ستون میانگین سه تکرار می‌باشند.

حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) می‌باشند.

دهد که انتخاب نوع نشاسته برای انجام فرایند اصلاح شیمیایی به منظور دسترسی به نتایج مورد نظر حائز اهمیت می‌باشد. همچنین خصوصیات ژل نشاسته جودوسر طبیعی و اصلاح شده نشان می‌دهد که این نوع نشاسته می‌تواند در محصولات مختلف غذایی مانند برخی سس‌ها و پودینگ‌ها که بافت نرم و قابل جویدن در آنها نیاز است مناسب می‌باشد. توجه روزافزون به جودوسر به عنوان یک غله عملگرا و امکان کشت آن در کشور نیاز به یافتن کاربردهایی برای سایر اجزاء تشکیل دهنده این غله از جمله نشاسته حائز اهمیت می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که ژل حاصل از نشاسته گندم دارای سفتی، ارتجاع پذیری، پیوستگی، صمغی بودن و مقاومت به جویدن بیشتری نسبت به نشاسته جودوسر می‌باشد. لذا کاربرد نشاسته گندم برای ایجاد ژل در محصولات است که نیاز به یک ژل قوی (مثل دسرهای ژله ای گیاهی) می‌باشد. پس از انجام اصلاح شیمیایی هیدروکسی پروپیل کردن با یک روش مشابه، خصوصیات بافتی مذکور در مورد نشاسته جودوسر افزایش یافت در حالیکه در مورد نشاسته گندم اثر عکس مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد

### منابع مورد استفاده

امام ی، ۱۳۸۳. زراعت غلات، چاپ دوم، مرکز نشر دانشگاه شیراز.

فرحناکی ع، مجذوبی م، مصباحی غ، ۱۳۸۸. خصوصیات و کاربردهای هیدروکلئیدها در مواد غذایی و دارویی، چاپ اول، انتشارات علم کشاورزی ایران.

American Association of Cereal Chemists, 2003. Approved methods of AACC. St. Paul MN: The Association.

Choi SG and Kerr WL, 2003. Effects of chemical modification of wheat starch on molecular mobility as studied by pulsed 1H NMR. LWT Food Science and Technology 36: 105–112.

Doublier JL, Paton D and Llamas G, 1987. A rheological investigation of oat starch pastes. Cereal Chemistry Journal 64: 21–30.

Frazier PJ, Donald AM and Richmond P, 1997. Starch: Structure and functionality. The Royal Society of Chemistry p. 26-35.

- 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 H, Smith C, Zhou Y and Ratnayake RMWS, 2003. Physicochemical properties of Canadian oat starches. *Carbohydrate Polymers* 52: 253–261.
- Hoover R and Vasanthan T, 1992. Studies on isolation and characterization of starch from oat (*Avena nuda*) grains. *Carbohydrate Polymers* 19: 285–297.
- Hung PV and Morita N, 2005. Physicochemical properties of hydroxypropylated and cross-linked starches from A-type and B-type wheat starch granules-Review. *Carbohydrate Polymers* 59: 239–246.
- Inaba H, Oshizawa M, Adachi T, Matsamura Y and Mori T, 1994. Characterization of texture and mechanical properties of starch gels. *Food Hydrocolloid* 8: 33–44.
- Islam N and Azemi BMNM, 1997. Rheological properties of calcium treated hydroxypropyl rice starches. *Starch/Starke* 49: 136–141.
- 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.
- Keetels CJAM, Van Vliet T and Walstra P, 1996. Gelation and retrogradation of concentrated starch system: 1. Galeation. *Food Hydrocolloid* 10: 343–353.
- Kim HR, Hermansson AM and Eriksson CE, 1992. Structural characteristics of hydroxypropyl potato starch granules depending on their molar substitution. *Starch/Stärke* 44: 111–116.
- 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.
- Luyten H, Van Vliet T and Walstra P, 1992. Comparison of various methods to evaluate fracture phenomena in food materials. *Journal of Texture Studies* 23: 245–266.
- Meister JJ, 2000. *Polymer modification: Principle, Techniques and Application*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Paton D, 1979. Oat starch: Some recent developments. *Starch/Stärke*, 31: 184–187.
- 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.
- 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 Hydrocolloid* 21: 1–22.
- Tang MC and Copeland L, 2007. Investigation of starch retrogradation using atomic force microscopy. *Carbohydrate Polymers* 70: 1–7.
- Tester RF and Karkalas J, 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry Journal* 73: 271–277.
- Tester RT and Morrison WR, 1990. Swelling and gelatinisation of cereal starches. *Cereal Chemistry Journal* 67: 558–562.
- Thomas DJ and Atwell WA, 1999. *Starches*. New York: Eagan Press.
- Vandeputte GE, Derycke V, Geeroms J and Delcour JA, 2003. Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *Journal of Cereal Science* 38: 53–59.

- Wattanachant S, Muhammad K, Mat Hashim D and AbdRahman R, 2003. Effect of crosslinking reagents and hydroxypropylation levels on dual-modified sago starch properties. *Food Chemistry* 80: 463–471.
- Williams PC, Kuzina FD and Hlynka I, 1970. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chemistry Journal* 47: 411–420.
- Zhou M, Robards K, Holmes MG and Helliwell S, 1998. Structure and pasting properties of oat starch. *Cereal Chemistry Journal* 75: 273–281.