



## بررسی خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته پری ژلاتینه تولید شده از نشاسته بلوط (زاگرس) با استفاده از خشک کن تک غلطکی

ابوالفضل بیاتی<sup>۱</sup>، مجید جوانمرد داخلی<sup>۱\*</sup>، محمد حسن ایکانی<sup>۱</sup>، اکرم شریفی<sup>۲</sup>

۱- گروه صنایع غذایی و تبدیلی، پژوهشکده فناوری های شیمیایی، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

۲- گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

## اطلاعات مقاله

## چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تغییرات دوغاب نشاسته با غلظت ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد ماده خشک نشاسته بلوط پری ژلاتینه شده با استفاده از خشک کن تک غلطکی در دمای غلطک ۱۲۰ درجه سانتی گراد و سرعت ۲۰ دور بر دقیقه که به ترتیب PGS70 و PGS50، PGS30 نام گذاری گردیده، بر خواص فیزیکی و شیمیایی شامل ویسکوزیته، هیدراتاسیون، پایداری انجماد و ذوب، درجه ژلاتینه شدن، مورفولوژی و طیف سنجی ساختار نشاسته می باشد. ویژگی های رئولوژیکی با استفاده از دستگاه آنالیز سریع ویسکوزیته بر اساس تابعی از دما ارزیابی شد. نشاسته های پری ژلاتینه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در آب سرد از خود ویسکوزیته نشان دادند ولی نشاسته طبیعی بلوط در دمای محیط ویسکوزیته ای از خود نشان نداد. نشاسته طبیعی با افزایش دما به تدریج شروع به جذب آب کرد. به طوری که بیشترین ویسکوزیته (اوج) را به ترتیب نشاسته طبیعی بلوط، PGS30، PGS50 و PGS70 ایجاد کردند. گرانول نشاسته خام بلوط دارای سطح صاف و شکل غیر همگن (عمدتا بیضوی و کروی) و همچنین دارای حفره های سطحی و چین و چروک می باشند. مورفولوژی نشاسته های پری ژلاتینه به طور قابل توجهی تغییر کرد به طوری که گرانول نمونه های PGS50 و PGS70 به صورت پیوسته و متخلخل و با ساختاری شبیه به لانه زنبوری بود و هیچ گونه تغییر معنی داری در میزان آب اندازی پایداری انجماد - ذوب نسبت به نشاسته طبیعی رخ نداد ( $p > 0.05$ ). ارزیابی طیف سنجی نشاسته طبیعی با نمونه های PGS تا بازه طیفی  $3343 \text{ cm}^{-1}$  مطابقت داشت. ولی در نمونه های PGS50 و PGS70 چندین بازه طیفی در محدوده ۳۷۴۷ الی ۳۹۴۵ رخ داد که بیان گر ژلاتینه شدن کامل این دو نمونه می باشد. نشاسته های پری ژلاتینه هم چنین دارای قدرت تورم، جذب آب و حلالیت بیشتری نسبت به نشاسته طبیعی می باشند ( $p \leq 0.05$ ).

کلمات کلیدی:

بلوط،

نشاسته بلوط،

نشاسته پری ژلاتینه،

خشک کن تک غلطکی،

درجه ژلاتینه شدن.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.115

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.10.5

\* مسئول مکاتبات:

[javanmard@irost.ir](mailto:javanmard@irost.ir)

## ۱- مقدمه

جنگل‌های مناطق غرب و شمال غرب ایران رویشگاه اصلی درختان بلوط (*Quercus Persica*)، کشور است که بالغ بر ۴۹٪ از جنگل‌های کل کشور را شامل می‌شود. گونه غالب درخت در جنگل‌های استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، کرمانشاه و لرستان را درختان بلوط تشکیل می‌دهند [۱]. میوه بلوط شامل ۵٪ پروتئین، ۷٪ چربی، ۷۰ - ۸۰٪ هیدروکربن است [۲، ۳]. میوه درختان بلوط، یکی از منابع نشاسته است که تحقیقات بسیار کمی در مورد ویژگی‌های ساختاری و عملکردی آن انجام شده است [۴]. نشاسته مهم ترین منبع انرژی ذخیره شده در گیاهان به شمار می‌رود که به وفور در دانه غلات (مانند گندم، ذرت و برنج) و در گیاهان غده ای (مانند انواع سیب زمینی) یافت می‌شود. از نظر تغذیه ای نشاسته تامین کننده ۸۰-۷۰٪ از انرژی مورد نیاز روزانه انسان میباشد و به ویژه از لحاظ تامین کالری مورد نیاز در کشورهای جهان سوم حائز اهمیت فراوان می باشد. نشاسته هم چنین دارای مصارف و کاربردهای بسیار در صنایع غذایی، دارویی، شیمیایی و صنایع تولید کاغذ، رنگ و پارچه می باشد [۵-۷]. با این حال، محدودیت‌هایی مانند برش و مقاومت حرارتی کم، تجزیه حرارتی و تمایل زیاد به رترورگازاسیون کاربردهای آن را در صنعت مواد غذایی مدرن محدود کرده است [۸].

اصلاح نشاسته، که شامل تغییر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته جهت بهبود ویژگی‌های عملکردی آن است، می‌تواند برای انطباق نشاسته با کاربردهای خاص مورد استفاده قرار گیرد. اصلاح نشاسته به طور کلی از طریق روش‌های شیمیایی، فیزیکی، آنزیمی و ژنتیکی و یا ترکیبی به دست می‌آید [۹]. اصلاح نشاسته می‌تواند منجر به تغییراتی در خصوصیات آن شود و در نتیجه کاربرد آن‌ها را در صنایع مختلف تسهیل کند [۱۰]. در میان این روش‌ها، روش‌های فیزیکی توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند زیرا این روش‌ها عاری از مواد شیمیایی بوده و نسبت به سایر روش‌ها آسان‌تر می‌باشند [۹]. نشاسته پری ژلاتینه به سه روش توسط خشک کن های غلطکی، پاششی و اکسترود تولید می‌شود [۱۱-۱۳]. بسته به روش، شرایط و منبع نشاسته، نشاسته

پری ژلاتینه تولید شده ویژگی‌های متفاوتی خواهد داشت [۱۲، ۱۴]. از فرآیند اکسترود که امروزه کاربرد زیادی در صنایع غذایی دارد، در تولید غلات صبحانه‌ای، انواع اسنک‌های، غذاهای آماده مصرف، غذا های رژیمی و غذای دام استفاده می‌شود [۱۵، ۱۶].

نشاسته پیش ژلاتینه یک نشاسته تغییر یافته فیزیکی است که توانایی جذب آب و تورم در آب سرد برای افزایش ویسکوزیته و هم چنین دستیابی به خواص مطلوب خمیر و ضخامت را دارد [۱۷]. در میان روش‌های مختلف موجود برای تولید نشاسته پری ژلاتینه، خشک کن غلطکی اقتصادی ترین و ساده‌ترین روش موجود در مقایسه با سایر روش‌ها می‌باشد [۱۸]. در مقایسه با خشک کن غلطکی و فن آوری اکسترود، خشک کن پاششی روش مناسب تری برای تولید نشاسته پری ژلاتینه است، که در آن نشاسته پری ژلاتینه می‌تواند به سرعت به مواد پودری تبدیل شود [۱۹]. مطالعات قبلی نشان داده اند که نشاسته خشک شده توسط خشک کن پاششی قابلیت جریان پذیری و تورم را نشان می‌دهد [۲۰]. نشاسته پری ژلاتینه را می‌توان به دو گروه نشاسته کاملاً ژلاتینه شده و نشاسته نسبتاً ژلاتینه شده تقسیم کرد. نشاسته کاملاً ژلاتینه شده در فرمولاسیون‌های دارویی و به عنوان اجزای اصلی، عوامل حجم دهنده و یا عوامل غلیظ کننده بسیاری از محصولات غذایی و غیر غذایی استفاده می‌شود. نشاسته های نسبتاً ژلاتینه شده ترکیبی از ویژگی های ذاتی هر دو نشاسته طبیعی و کاملاً ژلاتینه شده را نشان می‌دهد [۲۱، ۲۲]. در بسیاری از موارد، استفاده از نشاسته پیش ژلاتینه شده به جای نشاسته طبیعی اجازه می‌دهد تا فرآیند تولید ساده و کوتاه شود [۱۹]. علاوه بر این خشک کن‌های پاششی، دانه های نشاسته را به طور یکنواخت ژلاتینه کرده و با کم‌ترین برش و آسیب تولید می‌کند [۲۳]. فرآیند خشک کن پاششی می‌تواند ساختار نشاسته را مختل کند و یک نشاسته آمورف تولید کند و به شدت بریکپارچگی گرانول تاثیر گذار باشد [۲۴].

اهداف این تحقیق استفاده از نشاسته میوه بلوط جهت تولید نشاسته پری ژلاتینه‌ها استفاده از خشک کن تک غلطکی و بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته پری ژلاتینه حاصل از آن بود.

## ۲- مواد و روش‌ها

میوه بلوط (*Quercus Persica*)، از استان کهگیلویه و بویراحمد خریداری شد و نشاسته آن به روش اسیدی استخراج گردید [۲۵]. جهت تولید نشاسته پری‌ژلاتینه از خشک کن تک غلطکی مدل ۱۵۳۰ شرکت Dongt al ساخت چین استفاده گردید.

### ۲-۱- تولید نشاسته پری‌ژلاتینه به روش

#### خشک کن تک غلطکی

ابتدا دوغاب نشاسته با غلظت های ۳۰ و ۵۰ و ۷۰ درصد، ماده خشک به ترتیب PGS50، PGS30 و PGS70 آماده و نام گذاری گردید. به منظور پری‌ژلاتینه کردن نشاسته از خشک کن تک غلطکی با دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد و سرعت ۲۰ دور بر دقیقه استفاده گردید. بدین منظور دوغاب نشاسته بر روی سطح غلطک ریخته شد. بطوریکه پس از ژل شدن لایه ای نازک از نشاسته ژل شده بر روی طبل اصلی تشکیل گردید که ضمن چرخیدن بوسیله تیغه از روی طبل تراشیده و با عبور از آسیاب با مش ۱۲۰ میکرون بسته بندی گردید سپس آزمایشات مربوطه انجام گردید [۱۲].

### ۲-۲- آزمایشات انجام شده روی نشاسته

#### پری‌ژلاتینه تولیدی

##### ۲-۲-۱- ویسکوزیته

اندازگیری ویسکوزیته با دستگاه آنالیز سریع ویسکوزیته<sup>۱</sup> براساس تابعی از دما مورد بررسی قرار گرفت. جهت اندازگیری ویسکوزیته ۳/۵ گرم از هر نمونه را در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲ دقیقه نگهداری شد. دما از ۱۴ درجه سانتی گراد تا ۹۵ درجه سانتی گراد افزایش یافت که در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۳ دقیقه نگهداری شد و در نهایت نمونه ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه سرد گردید. پارامترهای مختلف از جمله ویسکوزیته اوج<sup>۲</sup>، ویسکوزیته

نگهداری<sup>۳</sup>، ویسکوزیته نهایی<sup>۴</sup>، ویسکوزیته افت<sup>۵</sup> و ویسکوزیته برگشت<sup>۶</sup> اندازگیری گردید [۲۶].

### ۲-۲-۲- اندازگیری شاخص جذب آب (WAI)<sup>۷</sup>،

#### شاخص حلالیت در آب (WSI)<sup>۸</sup> و قدرت تورم (SP)<sup>۹</sup>

۲/۵ گرم نشاسته پری‌ژلاتینه (W0) و ۳۰ گرم آب مقطر داخل لوله آزمایش ریخته شد، سپس به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد داخل حمام آب گرم قرار داده شد و نمونه در دمای محیط اتاق سرد گردید. سپس لوله آزمایش با شدت ۴۰۰۰ نیروی گریز از مرکز نسبی به مدت ۱۰ دقیقه (سانتریفوژ مدل Hermle, Z306 و ساخت آلمان) گردید. مایع رویی را داخل یک ظرف که قبلاً وزن آتعیین شده بود، ریخته و داخل آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد به مدت یک شبانه روز قرار داده شد. بعد از اتمام زمان ظرف را مجدداً توزین و اختلاف بین ظرف خالی و ظرف پر بعد از آون را (Wds) می نامیم و رسوب باقی مانده در لوله آزمایش را وزن و عدد به دست آمده (Wss) گزارش گردید [۲۷].

$$\text{WAI} = (\text{g} / \text{g}) = \text{Wss} / \text{W0} \quad (۱) \text{ معادله}$$

$$\text{WSI} = (\text{g} / 100 \text{g}) = \text{Wds} / \text{W0} * 100 \quad (۲) \text{ معادله}$$

$$\text{SP} = (\text{g} / \text{g}) = \text{Wss} / (\text{W0} - \text{Wds}) \quad (۳) \text{ معادله}$$

### ۲-۲-۳- پایداری انجماد - ذوب:

سوسپانسیون نشاسته (۶٪ وزنی - حجمی)، در حمام آب گرم در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد. سپس تا دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در حمام آب و یخ خنک شد و مدت ۱۵ دقیقه در این دما نگه داشته شد. خمیر نشاسته در لوله آزمایش درب دار ریخته شد سپس به مدت ۲۴ ساعت در دماهای ۱۸- درجه سانتی گراد و ۴ درجه سانتی گراد نگهداری گردید. بعد با دستگاه (سانتریفوژ مدل Hermle, Z306 ساخت آلمان) با سرعت ۸۰۰۰ نیروی گریز از مرکز به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ و میزان درصد آب اندازی اندازگیری شد [۲۸].

3. Trough Viscosity
4. Final Viscosity
5. Breakdown
6. Setback
7. Water absorption index
8. water solubility index
9. swelling power

1. Rapid Visco Analyzer
2. Peak Viscosity

۲-۲-۴-درجه ژلاتینه شدن (DG)<sup>۱۰</sup>

۵۰ گرم از نشاسته با ۵۰ میلی لیتر پتاسیم هیدروکسید ۰/۰۵ مولار مخلوط شد و سوسپانسیون فوق با شدت ۴۰۰۰ نیروی گریز از مرکز نسبی به مدت ۱۰ دقیقه (سانتریفوژ مدل Hermle, Z306 ساخت آلمان) گردید. مقدار ۱ میلی لیتر از مایع رویی با ۱ میلی لیتر اسید کلریدریک ۰/۰۵ مولار مخلوط و با آب مقطر به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده سپس مقدار ۰/۱ میلی لیتر معرف یدید (۱ گرم ید و ۴ گرم پتاسیم یدید با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد) به مخلوط فوق اضافه گردید. پس از مخلوط شدن، با دستگاه (اسپکروفتومتر مدل Shimadzu, UV-2600 ساخت ژاپن) جذب در برابر ۶۰۰ نانومتر گزارش شد [۲۹]. که در آن A1 جذب گروه آزمون در ۶۰۰ نانومتر و A2 جذب گروه کنترل شاهد می باشد.

معادله (۴)

$$\text{Degree of Gelatinization (DG)} = A1 / A2$$

۲-۲-۵- میکروسکوپ الکترونی (SEM)<sup>۱۱</sup>

سطح پودر نشاسته پری ژلاتینه با استفاده از (میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل JSM-6380LV ساخت توکیو، ژاپن) بررسی و مشاهده گردید. نمونه با چسب نقره رسانا تثبیت و سپس با یک لایه طلا پوشانده شد. و از بزرگ نمایی ۱۰۰۰ استفاده گردید [۲۸].

۲-۳-۲- بررسی ساختاری نشاسته توسط طیف سنجی (FTIR)<sup>۱۲</sup>

طیف مادون قرمز نشاسته طبیعی و نشاسته‌های پری ژلاتینه بلوط با دستگاه (مدل RXIPerkin/Elmer-ساخت آمریکا) گزارش شد.

## ۲-۳-۲- طرح آماری

آزمایشات در سه تکرار انجام شدند و میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد آن‌ها گزارش شد. برای اثبات وجود و یا عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری بین میانگین‌ها از آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از تست توکی و در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد ( $p \leq 0.05$ ). آنالیزهای

آماري با مینی‌تب<sup>۱۳</sup> نسخه ۱۸ انجام شدند و نمودارها با برنامه اکسل<sup>۱۴</sup> نسخه ۲۰۱۸ رسم شدند.

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- ویسکوزیته

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۱، نشاسته طبیعی بلوط در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد ویسکوزیته ای از خود نشان نمی دهد ولی نشاسته های پری ژلاتینه به وسیله خشک کن تک غلطکی دارای ویسکوزیته در آب سرد می باشند. نشاسته های PGS (نشاسته پری ژلاتینه) به دلیل آنکه بخشی از آنها ژلاتینه شده‌اند در آب سرد می‌توانند ویسکوزیته داشته باشند. حال آنکه نشاسته طبیعی بلوط نمی‌تواند در دمای پایین جذب آب داشته باشد. با افزایش دما به تدریج شروع به جذب آب می‌کند به طوری که بیشترین ویسکوزیته (اوج) را نشاسته طبیعی بلوط PGS50, PGS30 و PGS70 ایجاد کردند. بمیلر و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند ویسکوزیته اوج به منظور نقطه تعادل بین میزان تورم و اختلال در دانه های نشاسته در نظر گرفته شده است. هر چه ژلاتینه شدن نشاسته‌های پری ژلاتینه بیشتر باشد باقی مانده گرانول‌ها نشاسته و میزان تورم کمتر می‌شود که در نتیجه منجر به کاهش ویسکوزیته اوج می‌گردد. بر اثر تنش برشی، مولکول‌های نشاسته تخریب و باعث کاهش ویسکوزیته می‌گردد [۳۱]. همچنین بمیلر و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند مولکول‌های کوچک نشاسته آب کمتری جذب می‌کند و کمتر از مولکول‌های بزرگتر متورم می‌شود و در نتیجه ویسکوزیته اوج کمتری ایجاد می‌کند [۳۱]. ویسکوزیته افت از تفاوت بین ویسکوزیته اوج و ویسکوزیته نگهداری محاسبه می‌شود. که گاهی اوقات برای توصیف پایداری ژل نشاسته استفاده می‌شود [۳۱]. ویسکوزیته افت نشاسته طبیعی ۱۵۱۵ سانتی‌پواز گزارش شد در حالی که ویسکوزیته افت نمونه پری ژلاتینه PGS70=۷۰۹، PGS50=۱۰۵۱، PGS30=۹۰۶، به طور قابل توجهی کاهش یافت ( $p \leq 0.05$ ). از آنجا که ویسکوزیته افت، ثبات خمیر را منعکس می‌کند هر چه میزان ماده خشک

13. Minitab  
14. Excel

10. Degree of Gelatinization  
11. Scanning electron micrograph  
12. Fourier transform infrared

می شود. تفاوت بین ویسکوزیته نگهداری و ویسکوزیته نهایی به صورت ویسکوزیته برگشت تعریف می شود. همان طور که در جدول ۱ نشان داده می شود ویسکوزیته برگشت، نشاسته های پریژل تولید شده در مقایسه با نشاسته طبیعی به طور معنی داری کاهش یافت ( $p \leq 0.05$ ). ساتاراپایو همکاران (۲۰۰۷) بررسی کرده اند مولکول های تخریب شده و ساختار متخلخل منجر به قابلیت نگهداری آب می شود که از بازآرایی آمیلوز جلوگیری می کند و در نتیجه رترোগراسیون را به تاخیر می اندازد [۳۲].

دوغاب نشاسته جهت تولید نشاسته پری ژلاتینه کمتر باشد، پایداری خمیر نشاسته نیز بیشتر خواهد بود. تغییرات ویسکوزیته نگهداری به این دلیل می باشد که اندازه مولکول های تخریب شده کوچک تر و دارای سطح تماس بیشتری می باشد که در نتیجه منجر به کاهش ویسکوزیته در زمانی که در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد نگه داشته می شود [۳۱]. در حین فرآیند سرد کردن، سازمان دهی بین مولکول های نشاسته خصوصاً آمیلوز آب مابین زنجیره های نشاسته به دام می افتد و در نتیجه شکل گیری ژل و ویسکوزیته افزایش می یابد که به عنوان ویسکوزیته نهایی تعریف

**Table 1** Pasting properties of NSA, PGS30, PGS50 and PGS70.

Setback (cP)	Breakdown (cP)	Final Viscosity (cP)	Trough Viscosity (cP)	Peak Viscosity (cP)	Samples
3914 ± 0.03 <sup>A</sup>	1515 ± 0.50 <sup>A</sup>	5429 ± 0.50 <sup>A</sup>	2389 ± 0.02 <sup>A</sup>	3904 ± 0.04 <sup>A</sup>	NSA
3037 ± 0.10 <sup>B</sup>	906 ± 0.04 <sup>B</sup>	3944 ± 0.10 <sup>B</sup>	2252 ± 0.55 <sup>B</sup>	3159 ± 0.05 <sup>B</sup>	PGS30
2342 ± 0.50 <sup>C</sup>	1051 ± 0.10 <sup>C</sup>	3393 ± 0.04 <sup>C</sup>	1529 ± 0.10 <sup>C</sup>	2580 ± 0.04 <sup>C</sup>	PGS50
2071 ± 0.02 <sup>D</sup>	709 ± 0.02 <sup>D</sup>	2781 ± 0.02 <sup>D</sup>	1489 ± 0.02 <sup>D</sup>	2199 ± 0.02 <sup>D</sup>	PGS70

Mean ± standard deviation (n=3); Different capital superscripts within the same column indicate significant difference (P<0.05).

NAS: Native Acorn Starch; PGS30: pregelatinized starch milk suspension (30 % w/v); PGS50: pregelatinized starch milk suspension (50 % w/v); PGS70: pregelatinized starch milk suspension (70 % w/v).

می شود. تضعیف پیوندها با تشکیل ساختارهای با پایداری کم تر و افزایش نشت مولکول های آمیلوز همراه است که منجر به تشکیل ساختارهای با پایداری بیشتر می شود. شاخص های جذب آب و حلالیت به طور قابل توجهی در مقایسه با نشاسته طبیعی مورد بررسی قرا گرفت و این امر می تواند به تخریب دانه های نشاسته، کاهش درجه بلورینگی و تخریب مولکول های نشاسته در طول پیش از ژلاتینه شدن نسبت داده شود و ساختار متخلخل نشاسته PGS می تواند آب بیشتری در مقایسه با نشاسته طبیعی جذب کند و هرچه مولکول های کوچک در نشاسته بیشتر شوند جذب آب افزایش می یابد. هم چنین سانچی و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند میزان انحلال و قدرت تورم در نشاسته گندم، ذرت و برنج ژلاتینه شده افزایش یافته است [۳۳]. توکامانوه همکاران (۲۰۰۷) بررسی کرده اند در طول فرآیند خشک کن پاششی، حرارت می تواند باعث القای ژلاتینه شدن جزئی در سطح دانه های نشاسته شود که منجر به تشکیل پل های جامد می شود. این پل های جامد به ذرات نشاسته در چسبندگی کمک می کنند تا ذرات دانه ای را تشکیل دهند که می توانند آب بیشتری

### ۲-۳- قدرت تورم، شاخص جذب آب شاخص

#### حلالیت در آب

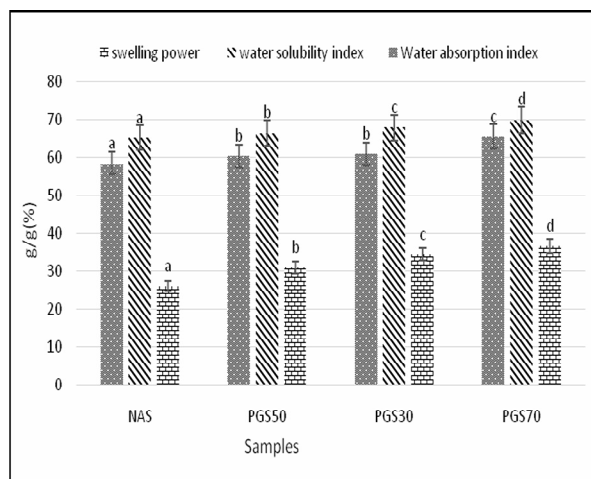
یکی دیگر از ویژگی نشاسته PGS، قدرت تورم، شاخص حلالیت و جذب آب آن می باشد. که نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است میزان قدرت تورم بین ۲۶/۱۱ و ۳۶/۶۶ گرم در گرم می باشد در مقایسه با نشاسته طبیعی بلوط قدرت تورم بالایی دارد. قدرت تورم یک پارامتر مهم از خواص هیدراسیون نشاسته است که به طور قابل توجهی تحت تاثیر تعامل بین زنجیره های آمورف و کریستالی نشاسته قرار می گیرد. در طول ژلاتینه شدن، ساختار کریستالی نشاسته به دلیل شکستگی پیوندهای هیدروژنی بین و درون مولکولی مختل می شود که منجر به تغییر در توانایی اتصال نشاسته با آب می شود. نشاسته پری ژلاتینه شده خشک به طور قابل توجهی قدرت تورم و حلالیت بیشتری در آب سرد نسبت به نشاسته طبیعی دارد. این ممکن است به این دلیل باشد که فرآیند پیش ژلاتینه شدن منجر به تضعیف پیوندهای هیدروژنی درون مولکولی و کاهش تعامل بین مولکول های آمیلوز و آمیلوپکتین و بین زنجیره های آمیلوپکتین

### ۳-۳- پایداری انجماد - ذوب

تغییرات پایداری نشاسته طبیعی بلوط و نشاسته های پری ژلاتینه در شرایط برودتی و انجماد در جدول ۲ نشان داده شده است. پایداری انجماد و تبرید نشاسته با اندازه گیری مقدار مایع جدا شده از ژل پس از سانتیفریوژ ارزیابی شده است. براساس نتایج بدست آمده اختلاف معنی داری مشاهده نمی شود ( $p > 0.05$ ). به طوری که آب اندازی در نمونه ها نشان می دهد که نشاسته شروع به تورم و ژلاتینه می شود وقتی که فاصله بین زنجیره آمیلوز شکسته می شود پیوند پری ژلاتینه افزایش می یابد. بنابراین این امر ممکن است به دلیل افزایش در مقدار نیروهای پیوندی در نواحی آمورف گرانول باشد.

بر اساس مطالعات انجام شده پاچکوا و همکاران (۲۰۱۴)، نشاسته هایی با آمیلوز بالا مانند سیب زمینی (۲۰/۱-۳۱/۳٪)، ذرت (۲۲/۴-۳۲/۵٪)، تارو (۲۸/۷-۲۹/۹٪) و کازاوا (۱۸/۶-۲۳/۶٪) که دارای آمیلوز بالا هستند، آب اندازی به علت حجم زیاد آب خروجی در طی فرآیند رتروگراداسیون رخ می دهد [۳۸]. وایت و همکاران (۱۹۸۹)، فرآیند انجماد - ذوب را مورد مطالعه قرار داده اند. این نویسندگان نشان دادند که نمونه های ذرت مومی و نشاسته ذرت معمولی به ترتیب ۵۸٪ و ۵۹٪ آنتالپی ژلاتینه شده اولیه را بازیابی کردند [۳۹].

را جذب کنند و قدرت تورم را افزایش دهند [۳۴]. شاخص حلالیت شاخصی است که تغییر نشاسته و تجزیه مولکولی را نشان می دهد، که برای اندازه گیری مقدار اجزای محلول آزاد شده توسط نشاسته پس از فرآیند اکستروژ استفاده می شود [۳۵]. شاخص حلالیت نشاسته اکستروژ شده به طور قابل توجهی بالاتر از نشاسته طبیعی بود [۲۹، ۳۶، ۳۷].



**Fig 1** The Water absorption index, water solubility index and swelling power at 30 °C of NSA, PGS30, PGS50 and PGS70.

NAS: Native Acorn Starch; PGS30: pregelatinized starch milk suspension (30 % w/v); PGS50: pregelatinized starch milk suspension (50 % w/v); PGS70: pregelatinized starch milk suspension (70 % w/v).

**Table 2** Syneresis at refrigeration and freezing condition (%), Degree of gelatinization (%) of NSA, PGS30, PGS50 and PGS70

Samples	Synergies (%)		DG (%)
	4 °C	-18°C	
NSA	3.90± 0.10 <sup>a</sup>	18.5 ± 0.05 <sup>a</sup>	8.35 ± 0.05 <sup>d</sup>
PGS30	3.80± 0.55 <sup>ab</sup>	18.4 ± 0.20 <sup>a</sup>	64.16 ± 0.76 <sup>c</sup>
PGS50	3.78± 0.07 <sup>ab</sup>	18.4± 0.10 <sup>a</sup>	86.83 ± 1.53 <sup>b</sup>
PGS70	3.63± 0.05 <sup>b</sup>	18.33± 0.07 <sup>a</sup>	97.66 ± 1.04 <sup>a</sup>

Mean ± standard deviation (n=3); Different capital superscripts within the same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NAS: Native Acorn Starch; PGS30: pregelatinized starch milk suspension (30% w/v); PGS50: pregelatinized starch milk suspension (50% w/v); PGS70: pregelatinized starch milk suspension (70% w/v).

ذوب قرار گیرد [۴۰].

### ۳-۴- درجه ژلاتینه شدن

درجه ژلاتینه شدن در نمونه های نشاسته طبیعی و نشاسته پری ژلاتینه در جدول ۲ ارائه شده است. درجه ژلاتینه شدن در

وودراف و همکاران (۱۹۳۸) تغییر ریز ساختاری تولید شده توسط انجماد خمیر نشاسته را بررسی کردند و در میان اولین کسانی بودند که نتیجه گرفتند انجماد باعث رتروگراداسیون می شود. تخریب اغلب زمانی افزایش می یابد که ژل نشاسته (خمیر نشاسته) در معرض تیمارهای انجماد و

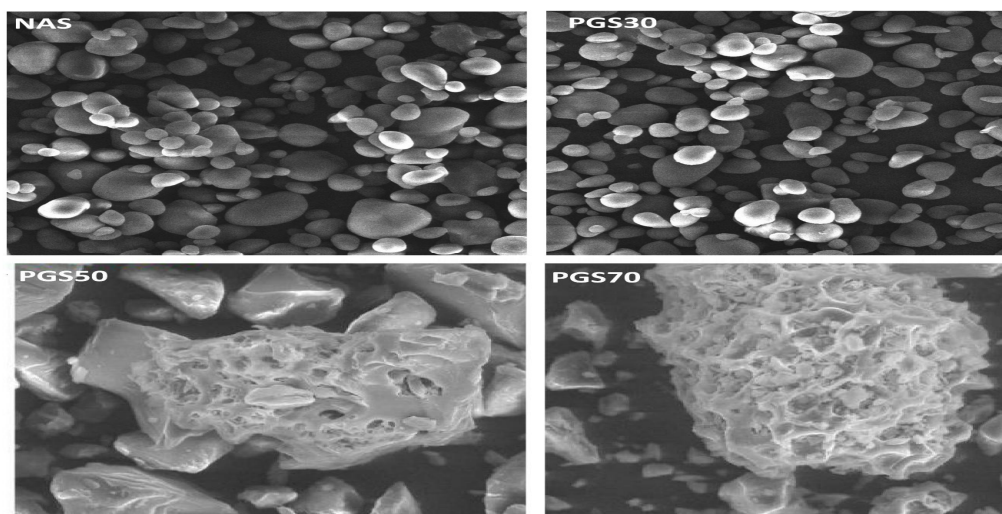
نمی‌گیرد و با افزایش رطوبت میزان ژلاتینه شدن افزایش می‌یابد به طوری که اگر نسبت آب به نشاسته ۲ به ۱ باشد دمای شروع ژلاتینه شدن ۵۷ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است [۴۵].

### ۳-۵- مورفولوژی

مورفولوژی نمونه‌های نشاسته پری‌ژلاتینه و نشاسته خام در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل و اندازه گرانول‌های نشاسته بلوط را می‌توان به گونه‌های بلوط، شرایط محیطی، مراحل رشد میوه بلوط و روش‌های جداسازی نشاسته نسبت داد [۴۶-۴۹]. گرانول نشاسته خام بلوط دارای سطح صاف و شکل غیر همگن (عمدتاً بیضوی و کروی) و همچنین دارای حفره‌های سطحی و چین و چروک می‌باشند. ساختار گرانول‌های نشاسته پری‌ژلاتینه به طور قابل توجهی تغییر کرد به طوری که نمونه PGS30 به شکل نامنظم و با چند حفره و نمونه‌های PGS50 و PGS70 به علت ماده خشک کمتر و مقدار آب بیشتر پس از خشک شدن گرانول‌ها به صورت پیوسته و متخلخل با ساختاری شبیه به لانه زنبوری، شبیه به هم می‌باشند. عدم وجود دانه‌های نشاسته سالم در نمونه‌های PGS نشان دهنده ژلاتینه شدن کامل هر سه نمونه در طول حرارت دهی و خشک شدن بر روی خشک کن تک غلطکی می‌باشد. یافته‌های مشابهی بر دیگر نشاسته غلات PGS گزارش شده است [۱۳، ۵۰].

نشاسته طبیعی ۸/۳۵٪ و نشاسته‌های پری‌ژلاتینه PGS30=۶۴/۱۶، PGS50=۸۶/۸۳ و PGS70=۹۷/۶۶ افزایش یافت به طوری که نمونه PGS70 بیانگر این است که عملیات ژلاتینه شدن تقریباً صورت گرفته است و تاثیر معنی‌داری بر درجه ژلاتینه شدن نشاسته پری‌ژلاتینه داشت. هنگامی که درصد ماده خشک دوغاب نشاسته جهت تولید نشاسته پری‌ژلاتینه کمتر باشد دانه‌های نشاسته آب را بهتر جذب می‌کند و سریع‌تر تورم ایجاد می‌کند و در نتیجه راحت‌تر به ژل تبدیل می‌شود که منجر به افزایش درجه ژلاتینه با محتوای آب در مواد خام می‌شود.

گونر و همکاران (۱۹۸۴) گزارش دادند با افزایش رطوبت، میزان درجه ژلاتینه شدن نشاسته ذرت کاهش یافت [۴۱]. براساس تحقیق روس و همکاران (۲۰۱۵) پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آمیلوز و آمیلو پکتین باعث می‌شود آب سخت‌تر به گرانول‌ها نشاسته نفوذ کند [۴۲]. تحقیقات ایتوریایاو همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که هر چه دمای ژلاتینه شدن افزایش یابد گرانول‌های نشاسته تورم بیشتری در حین پخت خواهد داشت [۴۳]. درجه ژلاتینه شدن نشاسته در نان معمولاً ۹۶٪ گزارش شده است مطالعات نشان داد درجه ژلاتینه شدن نشاسته در مرکز نان بیشتر از پوسته آن است [۴۴]. طبق تحقیق صالحی فر و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند حداقل میزان رطوبت جهت ژلاتینه شدن نشاسته ۳۲٪ است و کمتر از آن ژلاتینه شدن صورت



**Fig 2** Scanning electron micrographs of native starch acorn, PGS30, PGS50 AND PGS70.

NAS: Native Acorn Starch; PGS30: pregelatinized starch milk suspension (30 % w/v); PGS50: pregelatinized starch milk suspension (50 % w/v); PGS70: pregelatinized starch milk suspension (70 % w/v).

خشک کن پاششی در دمای پایین‌تر انجام شود، انقباض بیشتری وجود دارد و اندازه متوسط ذرات اغلب کم‌تر از مقداری است

طبق تحقیق آلامیل و همکاران (۲۰۰۵) دمای خشک کن پاششی نیز بر مورفولوژی ذرات نشاسته تاثیر می‌گذارد. هنگامی که





Starch - Stärke. 2006;58(11):553-60.

- [5] Banks W, Geddes R, Greenwood C, Jones I. Physicochemical studies on starches. Part 63. The molecular size and shape of amylopectin. *Starch - Stärke*. 1972;24(8):245-51.
- [6] Buleon A, Colonna P, Planchot V, Ball S. Starch granules: structure and biosynthesis. *International journal of biological macromolecules*. 1998;23(2):85-112.
- [7] Colonna P, Doublier J, Melcion J, De Monredon F, Mercier C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. *Cereal Chemistry*. 1984;61(6):538-54.
- [8] Majzoobi M, Radi M, Farahnaky A, Jamalian J, Tongtang T, Mesbahi G. Physicochemical properties of pre-gelatinized wheat starch produced by a twin drum drier. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2011;13(2):193-202.
- [9] Singh N, Kaur L, Sandhu KS, Kaur J, Nishinari K. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. *Food hydrocolloids*. 2006;20(4):532-42.
- [10] Rosa Z, Dias A. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: a review. *Carbohydrate Polymers*. 2011;83:317-28.
- [11] Mounsey JS, O'Riordan ED. Influence of pre-gelatinized maize starch on the rheology, microstructure and processing of imitation cheese. *Journal of Food Engineering*. 2008;84(1):57-64.
- [13] Kalogianni E, Xynogalos V, Karapantsios T, Kostoglou M. Effect of feed concentration on the production of pregelatinized starch in a double drum dryer. *LWT-Food Science and Technology*. 2002;35(8):703-14.
- [13] Anastasiades A, Thanou S, Loulis D, Staporis A, Karapantsios T. Rheological and physical characterization of pregelatinized maize starches. *Journal of Food Engineering*. 2002;52(1):57-66.
- [14] Mercier C, editor *Comparative modifications of starch and starchy products by extrusion-cooking and drum drying*. Symposium international; 1985: Elsevier Ltd.
- [15] Harper J. *Extrusion of Foods* CRC Press. Boca Raton, FL. 1981:3-6.
- [16] Kadan RS, Pepperman AB. Physicochemical properties of starch in

## ۴- نتیجه گیری کلی

نشاسته فراوان ترین ترکیب آلی در طبیعت است با این حال، ساختار حفاظت شده نشاسته های طبیعی، خواص و کاربردهای آن را محدود می کند. بنابراین، اغلب اصلاح آن ها برای به دست آوردن ویژگی های خاص ضروری است. به عنوان یک روش، اصلاح فیزیکی سبز و ایمن، ژلاتینه شدن می تواند قابلیت انحلال آب سرد و قدرت تورم و جذب آب نشاسته را بهبود بخشد و دامنه کاربرد نشاسته را افزایش دهد. نشاسته پری ژلاتینه تولیدی به کمک خشک کن تک غلطکی تخریب ساختاری جدی را از خود نشان می دهد، که قابلیت انحلال آب سرد و ویسکوزیته خمیر سرد را افزایش می دهد اما ویسکوزیته خمیر گرم نسبتا پایینی را نشان می دهد که نشان دهنده بهبود و ثبات ژل و خواص رتروگراسیون در مقایسه با نشاسته طبیعی است به طور خلاصه، نشاسته پری ژلاتینه می تواند به طور قابل توجهی ساختار و ویژگی عملکردی نشاسته را تغییر دهد. که تاثیر قابل توجهی بر کیفیت خمیر و محصول نهایی می گذارد. با توجه به برتری نشاسته پری ژلاتینه نسبت به نشاسته طبیعی امروزه از این نشاسته می توان در غذای کودک، غذای سرد و فوری، سس های سرد و دسرهای سرد استفاده گردد.

## ۵- منابع

- [1] M Majzoobi SHM, S H Asadi-Yousofabad2andA Farahnaky1. Effects of acorn flour on the properties of dough and Barbari bread. *Food industry research*/. 2012;2:272.
- [2] Rakić S, Petrović S, Kukić J, Jadranin M, Tešević V, Povrenović D, et al. Influence of thermal treatment on phenolic compounds and antioxidant properties of oak acorns from Serbia. *Food Chemistry*. 2007;104(2):830-4.
- [3] Pithayanukul P, Ruenraroengsak P, Bavovada R, Pakmanee N, Suttisri R, Saenoon S. Inhibition of Naja kaouthia venom activities by plant polyphenols. *Journal of ethnopharmacology*. 2005;97(3):527-33.
- [4] Stevenson DG, Jane JI, Inglett GE. Physicochemical properties of pin oak (*Quercus palustris* Muenchh.) acorn starch.

- anhydride - modified potato starch with different degrees of substitution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010;90(3):424-9.
- [29] Liu Y, Chen J, Luo S, Li C, Ye J, Liu C, et al. Physicochemical and structural properties of pregelatinized starch prepared by improved extrusion cooking technology. *Carbohydrate Polymers*. 2017;175:265-72.
- [30] Tessema A, Admassu H. Extraction and characterization of starch from anchote (*Coccinia abyssinica*): physico-chemical, functional, morphological and crystalline properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021;15(4):3096-110.
- [31] BeMiller JN. Pasting, paste, and gel properties of starch-hydrocolloid combinations. *Carbohydrate polymers*. 2011;86(2):386-423.
- [32] Satrapai S, Suphantharika M. Influence of spent brewer's yeast  $\beta$ -glucan on gelatinization and retrogradation of rice starch. *Carbohydrate Polymers*. 2007;67(4):500-10.
- [33] Singh J, Kaur L, McCarthy O. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. *Food hydrocolloids*. 2007;21(1):1-22.
- [34] Tukomane T, Leerapongnun P, Shobsngob S, Varavinit S. Preparation and characterization of annealed - enzymatically hydrolyzed tapioca starch and the utilization in tableting. *Starch - Stärke*. 2007;59(1):33-45.
- [35] Ye J, Hu X, Luo S, Liu W, Chen J, Zeng Z, et al. Properties of starch after extrusion: a review. *Starch - Stärke*. 2018;70(11-12):1700110.
- [36] Sarawong C, Schoenlechner R, Sekiguchi K, Berghofer E, Ng PK. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food chemistry*. 2014;143:33-9.
- [37] Altan A, McCarthy K, Maskan M. Effect of extrusion cooking on functional properties and in vitro starch digestibility of barley - based extrudates from fruit and vegetable by - products. *Journal of Food Science*. 2009;74(2):E77-E86.
- extruded rice flours. *Cereal Chemistry*. 2002;79(4):476-80.
- [17] Zia-ud-Din, Xiong H, Fei P. Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2017;57(12):2691-705.
- [18] Starches. [press release]. New York 1999.
- [19] Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food research international*. 2007;40(9):1107-21.
- [20] Laovachirasuwan P, Peerapattana J, Srijesdaruk V, Chitropas P, Otsuka M. The physicochemical properties of a spray dried glutinous rice starch biopolymer. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2010;78(1):30-5.
- [21] Lai H-M. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry*. 2001;72(4):455-63.
- [22] Zhang Y, Huang Z, Yang C, Huang A, Hu H, Gong Z, et al. Material properties of partially pregelatinized cassava starch prepared by mechanical activation. *Starch - Stärke*. 2013;65(5 - 6):461-8.
- [23] Haghayegh G, Schoenlechner R. Physically modified starches: a review. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2011;9(1):27-9.
- [24] Fu Z-q, Wang L-j, Li D, Adhikari B. Effects of partial gelatinization on structure and thermal properties of corn starch after spray drying. *Carbohydrate Polymers*. 2012;88(4):1319-25.
- [25] Bayati A, Javanmard M, Eikani MH, Sharifi A. The Effect of Starch Isolation Method on Morphological and Physicochemical Properties of Zagros Oak (*Quercus brantii* var. *Persica*) Starch. *Starch - Stärke*. 2022:2200016.
- [26] Saberi B, Majzoobi M, Farahnaki A. Effect of hydroxypropylation on. 2013.
- [27] Villanueva M, De Lamo B, Harasym J, Ronda F. Microwave radiation and protein addition modulate hydration, pasting and gel rheological characteristics of rice and potato starches. *Carbohydrate Polymers*. 2018;201:374-81.
- [28] Wang J, Su L, Wang S. Physicochemical properties of octenyl succinic

- IM. Acorn (*Quercus* spp.) fruit lipids: saponifiable and unsaponifiable fractions: a detailed study. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2004;81(5):447-53.
- [49] Correia PR, Nunes MC, Beirão-da-Costa ML. The effect of starch isolation method on physical and functional properties of Portuguese nut starches. II. *Q. rotundifolia* Lam. and *Q. suber* Lam. acorns starches. *Food hydrocolloids*. 2013;30(1):448-55.
- [50] Majzoubi M, Radi M, Farahnaky A, Tongdang T. Effects of L - Ascorbic acid on physicochemical characteristics of wheat starch. *Journal of Food Science*. 2012;77(3):C314-C8.
- [51] Alamilla-Beltran L, Chanona-Perez JJ, Jimenez-Aparicio AR, Gutierrez-Lopez GF. Description of morphological changes of particles along spray drying. *Journal of Food Engineering*. 2005;67(1-2):179-84.
- [52] Li Q, Liu S, Obadi M, Jiang Y, Zhao F, Jiang S, et al. The impact of starch degradation induced by pre-gelatinization treatment on the quality of noodles. *Food chemistry*. 2020;302:125267.
- [53] Li W, Cao F, Fan J, Ouyang S, Luo Q, Zheng J, et al. Physically modified common buckwheat starch and their physicochemical and structural properties. *Food Hydrocolloids*. 2014;40:237-44.
- [54] Nakorn KN, Tongdang T, Sirivongpaisal P. Crystallinity and rheological properties of pregelatinized rice starches differing in amylose content. *Starch - Stärke*. 2009;61(2):101-8.
- [55] Dos Santos TPR, Franco CML, Demiate IM, Li X-H, Garcia EL, Jane J-I, et al. Spray-drying and extrusion processes: Effects on morphology and physicochemical characteristics of starches isolated from Peruvian carrot and cassava. *International journal of biological macromolecules*. 2018;118:1346-53.
- [38] Pérez-Pacheco E, Moo-Huchin V, Estrada-León R, Ortiz-Fernández A, May-Hernández L, Ríos-Soberanis C, et al. Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds. *Carbohydrate polymers*. 2014;101:920-7.
- [39] White P, Abbas I, Johnson L. Freeze - thaw stability and refrigerated - storage retrogradation of starches. *Starch - Stärke*. 1989;41(5):176-80.
- [40] Woodruff S, MacMasters MM. Gelatinization and retrogradation changes in corn and wheat starches shown by photomicrographs. *Bulletin (University of Illinois (Urbana-Champaign campus) Agricultural Experiment Station)*; no 445. 1938.
- [41] Gomez M, Aguilera J. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *Journal of Food Science*. 1984;49(1):40-3.
- [42] Roos YH, Drusch S. *Phase transitions in foods*: Academic Press; 2015.
- [43] Iturriaga L, Lopez B, Añon Ma. Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches. *Food Research International*. 2004;37(5):439-47.
- [44] Giovanelli G, Peri C, Borri V. Effects of baking temperature on crumb - staling kinetics. *Cereal Chemistry*. 1997;74(6):710-4.
- [45] Salehifar M, Seyedein Ardebili M, Azizi M. gelatinization and staling of Iranian Lavash and Taftoon breads. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 2009;4(2):13-24.
- [46] Boukhelkhal M, Moulai-Mostefa N. Physicochemical characterization of starch isolated from soft acorns of holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp.) grown in Algeria. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2017;11(4):1995-2005.
- [47] Correia PM, Cruz-Lopes L, Beirão-da-Costa L. Morphology and structure of acorn starches isolated by enzymatic and alkaline methods. *Open Agriculture*. 2021;6(1):37-46.
- [48] León-Camacho M, Viera-Alcaide I, Vicario



## Investigating the physicochemical properties of pregelatinized starch produced from acorn starch (Zagors) by using single drum drying

Bayati, A. <sup>1</sup>, Javanmard, M. <sup>1\*</sup>, Eikani, M. H. <sup>1</sup>, Sharifi, A. <sup>2</sup>

1. Department of Food Science, Institute of Chemical Engineering, Iranian Research Organization for Science & Technology (IROST), Tehran, Iran.

2. Department of Food Science and Technology, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

### ABSTRACT

The purpose of this research is to investigate the effect of the changes in the starch slurry with the concentration of 30, 50 and 70% of dry substance of pregelatinized acorn starch using a single drum dryer at a drum temperature of 120°C and a speed of 20 rpm which is called PGS30, PGS50 and PGS70 in order on physical and chemical properties including viscosity, hydration, freezing and melting stability, degree of gelatinization, morphology and FTIR. The rheological properties were evaluated using a rapid viscosity analyzer as a function of temperature. Pregelatinized starches showed viscosity at 25°C in cold water, but native acorn starch did not show viscosity at room temperature. Native acorn starch gradually started to absorb water as the temperature increased. So that the highest viscosity (peak) was created by native acorn starch, PGS30, PGS50 and PGS70 respectively. Native acorn starch granules have a smooth surface and non-homogeneous shape (mostly oval and spherical) and also have surface cavities and wrinkles. The morphology of pregelatinized starches changed significantly so that the granules of PGS50 and PGS70 samples are continuous and porous with a honeycomb-like structure. And there was no significant change in freezing-thaw stability compared to native acorn starch ( $p < 0.05$ ). The spectroscopic evaluation of native acorn starch was consistent with PGS samples up to the spectral range of 13343 cm. But in the PGS70 and PGS50 samples, several spectral intervals occurred between 3747 and 3945, which indicates the complete gelatinization of these two samples. Pregelatinized starches also have more swelling power, water absorption and solubility than native acorn starch ( $p \geq 0.05$ ).

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 2022/ 10/ 15

Accepted 2023/ 01/ 01

#### Keywords:

Acorn,  
Native acorn starch,  
Pregelatinized starch,  
Single drum dryer,  
Degree of gelatinization.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.115

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.10.5

\*Corresponding Author E-Mail:  
[javanmard@irost.ir](mailto:javanmard@irost.ir)