



تیمار حرارتی- رطوبتی نشاسته و تأثیر آن بر خواص فیزیکی و شیمیایی آن

مهندس فریده روشن^۱، دکتر مهسا مجذوبی^۲، دکتر مهدی کدیور^۳

- ۱- کارشناس ارشد صنایع غذایی- رئیس آموزش پژوهش و برنامه ریزی اداره کل آموزش فنی و حرفه ای استان اصفهان
- ۲- دانشیار بخش علوم و صنایع غذایی دانشگاه شیراز
- ۳- دانشیار بخش علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده:

هدف- هدف از این تحقیق اصلاح فیزیکی نشاسته گندم از طریق تیمار حرارتی-رطوبتی و تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در دو مرحله زیر بود. الف- تولید و بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشاسته گندم اصلاح شده به روش HMT^۴؛ ب- مقایسه خصوصیات نشاسته های گندم HMT و نشاسته گندم طبیعی.

مواد و روش ها- نشاسته گندم درجه یک، هگزان، اسید کلریدریک، هیدروکسید سدیم، سولفات مس، سلنیم، اسید سولفوریک غلیظ، اسید بوریک، متیل رد، کلرید سدیم، اتانول.

بحث و نتیجه گیری- جهت بهبود کیفیت نشاسته و افزایش کارایی آن با توجه به نیاز می توان تغییرات خاصی در ساختار فیزیکی و مولکولی آن بوجود آورده که می تواند تأثیرات مفیدی بر خواص کاربردی و عملکردی نشاسته داشته باشند. در این تحقیق بر روی نشاسته های گندم عملیات اصلاح کردن فیزیکی به روش تیمار حرارتی- رطوبتی انجام شد و بررسی تغییرات بوجود آمده در نشاسته ها مورد ارزیابی قرار گرفت. بطور کلی نتایج حاصل از این تحقیق بطور خلاصه عبارتند از: اصلاح فیزیکی نشاسته گندم با موفقیت و بهبود قابل توجه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشاسته ها به میزان قابل توجه. بررسی تصاویر میکروسکپ الکترونی نشان داد که در اثر اصلاح تغییراتی در سطح گرانول های نشاسته گندم بوجود آورد، اما در شکل و سایز گرانول ها تغییر چندانی نشان نداد. ساختار اصلی گرانولهای A و B حفظ می شود. در نوع الگوی پراش اشعه ایکس در اثر تیمار حرارتی- رطوبتی تغییری مشاهده نشد، اما درصد کریستالیزاسیون به مقدار کمی افزایش یافت. درصد جذب آب نشاسته HMT در مقایسه با نشاسته طبیعی اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۵ درصد نشان نمی دهد، به عبارت دیگر تغییرات اتفاق افتاده در ساخت مولکولی نشاسته های اصلاح شده تأثیری بر برهم کنش نشاسته با آب نداشته است ولی حلالیت نشاسته اصلاح شده نسبت به نشاسته طبیعی افزایش یافت البته با افزایش مدت زمان حرارت دهی از، حلالیت نشاسته اصلاح شده در مقایسه با هم کاهش یافت.

واژه های کلیدی: نشاسته گندم، اصلاح فیزیکی، تیمار حرارتی- رطوبتی، خواص شیمیایی، روش HMT

مقدمه

به منظور بهبود خواص عملکردی نشاسته می توان ساختار آن را به طرق مختلف تغییر داد. چنین نشاسته ای را نشاسته اصلاح شده می نامند. در برخی منابع علمی فارسی نشاسته اصلاح شده تحت عنوان نشاسته تعدیل شده یا نشاسته تغییر یافته ترجمه شده اند ایجاد تغییر در ساختار نشاسته یا به عبارتی تولید نشاسته اصلاح شده با کمک روش های شیمیایی، فیزیکی، آنزیمی، ژنتیکی و یا ترکیبی از این روش ها امکان پذیر است. اصلاح کردن نشاسته می تواند باعث افزایش کاربرد آن در صنایع غذا، کاغذ و نساجی شود، اصلاح نشاسته به کمک روش های فیزیکی می تواند از این نظر که از هیچ گونه مواد شیمیایی استفاده نمی شود برتری داشته باشد و امروزه به آن توجه بیشتری می شود. یک اصلاح فیزیکی نشاسته ها (تیمار حرارتی- رطوبتی) HMT است نشاسته های HMT به راحتی می توانند در محصولات غذایی گوناگون استفاده شوند. در این فرآیند که به آن فرایند حرارتی- رطوبتی نیز گفته می شود، نشاسته در دمایی بالاتر از دمای ژلاتینه شدن (۱۳۰ - ۷۰ °C) حرارت داده می شود. اما به علت استفاده از رطوبت کم (۳۵٪ - ۱۵) از ژلاتینه شدن نشاسته جلوگیری می شود. هور و همکارانش در سال ۲۰۱۰ بر روی نشاسته های HMT ذرت و سیب زمینی مطالعاتی داشتند. زاواریس و همکارانش در سال ۲۰۱۱ بر روی برنج تیمار حرارتی- رطوبتی انجام دادند. سینق و همکارانش در سال ۲۰۱۱ بر روی تأثیر تیمار حرارتی- رطوبتی در نشاسته سورگوم مطالعاتی داشت. لی و همکارانش در سال ۲۰۱۱ بر روی تأثیر تیمار حرارتی- رطوبتی در نشاسته لوبیای mung مطالعاتی داشتند.

مواد و وسایل مورد استفاده

¹farideh_751@yahoo.com

²majzoobi@shirazu.ac.ir

³kadivar@cc.iut.ac.ir

⁴Heat Moisture Treatment



نشاسته گندم درجه یک از کارخانه نشاسته گلوکوزان اصفهان خریداری شد. هگزان، اسید کلریدریک، هیدروکسید سدیم، سولفات مس، سلنیم، اسید سولفوریک، اسید بوریک، متیل رد، کلرید سدیم، اتانول - آون معمولی - ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۱ گرم-الک های با قطره ۲۵۰ و ۱۵۰ میکرون - دستگاه بافت سنج -دستگاه سانتیفریوژ با سرعت بالا -یخچال با دمای ۴ درجه سانتی گراد-دستگاه پراش سنج اشعه ایکس -نرم افزار EVA9.0 - میکروسکوپ الکترونی -دستگاه حرارت سنج افتراقی
روش تیمار حرارتی - رطوبتی نشاسته

برای اعمال تیمار حرارتی-رطوبتی نشاسته از روش Singh وهمکاران(۲۰۱۱) استفاده شد به این منظور ابتدا رطوبت نشاسته به ۲۵% رسانده شد بعد از این مرحله نشاسته به درون شیشه های دربسته (درب با واشر پلاستیکی) انتقال داده و به منظور تثبیت رطوبت در دمای محیط آزمایشگاهی (۲۰ تا ۲۵ درجه سانتیگراد) به مدت یک شب نگهداری شد. در مرحله بعدی شیشه های حاوی نشاسته با رطوبت ۲۵٪ به درون انکوباتور با درجه حرارت ۱۰۵°C انتقال داده و در سه مدت زمان ۱۴، ۱۶، و ۱۸ ساعت حرارت داده شد، سپس درب شیشه ها را باز کرده و به دسیکاتور انتقال داده و بعد از سرد شدن در درون یک آون با دمای ۵۵ OC - ۵۰ به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند تا رطوبت آن به (۱۲٪- /۱۰٪) برسد سپس نشاسته HMT بدست آمده آسیاب گردیده و الک کرده تا اندازه ذرات آن در محدوده ۲۵۰- ۱۵۰ میکرون باشد و در نهایت سه نوع نشاسته با شماره حرارتی - رطوبتی HMT1 (۱۴ ساعت) و NMT2 (۱۶ ساعت) و HMT3 (۱۸ ساعت) بدست آمده جهت آزمایشات بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

آنالیز آماری داده ها

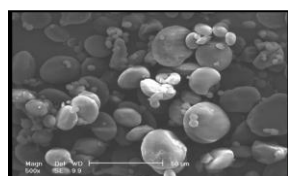
تجزیه و تحلیل آماری داده ها در قسمت اندازه گیری و مقایسه خصوصیات نشاسته آرد و نان با استفاده از طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت (با حداقل سه تکرار برای هر آزمایش و پنج تکرار برای آنالیز بافت) و مقایسه میانگین ها در هر سه قسمت پس از آنالیز واریانس توسط آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال (P<۰/۰۵) انجام گرفت در تمام مراحل ، تجزیه و تحلیل آماری به منظور آنالیز داده ها از نرم افزار SPSS'16 استفاده گردید.

بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشاسته طبیعی و نشاسته HMT

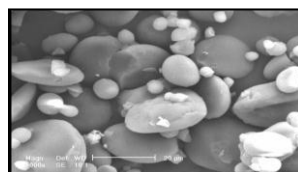
۱- خصوصیات مرفولوژی نشاسته

با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM) و مطابق با شکل-۱ (الف) می توان اشکال گرانول های طبیعی نشاسته گندم را دید در این شکل گرانول های نوع A) گرانول های بزرگ) و نوع B) گرانول های کوچک) به خوبی قابل مشاهده می شوند. شکل های ب، ج، د به ترتیب گرانول های نشاسته مربوط به HMT1 و HMT2 و HMT3 را نشان می دهند. چنانکه مشاهده می شود فرو رفتگی هایی بر سطح گرانول های نشاسته خصوصاً گرانول های نوع A مشاهده می شود که این امر می تواند به دلیل انجام فرایند فیزیکی حرارتی-رطوبتی و خشک کردن بر روی نشاسته باشد. با افزایش زمان فرایند تغییرات مذکور بیشتر شده است که این امر با مقایسه اشکال «ب» و «د» قابل استناد می باشد. در مجموع در اثر فرایند حرارتی - رطوبتی ساختار اصلی گرانول های A و B حفظ می شود ولی تغییراتی بر سطح گرانول ها ایجاد می شود که با افزایش شدت فرایند این تغییرات افزایش می یابد.

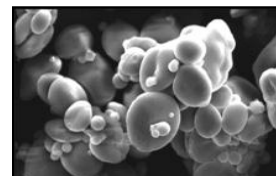
(ب)



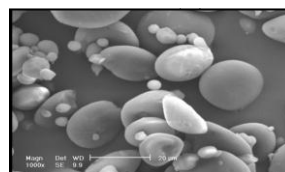
(د)



(الف)



(ج)



شکل ۱ - تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) گرانول های نشاسته طبیعی و اصلاح شده

*گرانول های مربوط به نشاسته طبیعی (الف)-HMT1 (ب)-HMT2 (ج) و HMT3 (د) با بزرگنمایی X ۱۰۰۰ * خط نشان داده شده بر روی شکل معادل ۲۰µm می باشد.

۲- حلالیت و جذب آب نشاسته

همانطور که در جدول (۱) خصوصیات نشاسته گندم ملاحظه می شود حلالیت نشاسته گندم که بر روی آن تیمار حرارتی - رطوبتی (HMT) انجام شده است نسبت به حلالیت نشاسته طبیعی در دمای ۹۵°C افزایش یافته است. علت افزایش حلالیت احتمالاً به دلیل فرسایشی که بر روی سطح گرانول ها طی تیمار حرارتی - رطوبتی بوجود می آید باشد. افزایش حلالیت ممکن است به دلیل تضعیف ساختار گرانول ها و ایجاد خلل و فرج در سطح گرانول ها باشد که در اثر فرایند حرارتی - رطوبتی ایجاد شده است. ایجاد تغییرات سطحی در مورد گرانول های فرایند شده نشاسته در تصاویر میکروسکوپی الکترونی



(شکل ۱) نیز مشاهده شد. بر اثر تیمار حرارتی - رطوبتی آب به راحتی در دسترس قسمت های بی شکل نشاسته قرار گرفته و بقیه قسمت های زنجیره نشاسته که تجزیه نشده اند می توانند در آب حل شده و حلالیت را افزایش دهند.

جدول ۱- نتایج حاصل از اندازه گیری حلالیت و جذب آب انواع نشاسته *

HMT3	HMT2	HMT1	طبیعی	نوع نشاسته
				نوع آزمایش
۱۰/۲۰ ± ۰/۴۴b	۱۳/۰۷ ± ۱/۹۷b	۱۷/۱۷ ± ۲/۸۲a	۶/۲۰ ± ۱/۲۵c	حلالیت (%)
۶/۳۸ ± ۰/۱۵a	۶/۵۸ ± ۰/۱۱a	۷/۸۷ ± ۰/۲۳a	۶/۱۸ ± ۰/۱۴a	جذب آب (%)

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

* حروف کوچک متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار (P < ۰/۰۵) در هر ردیف می باشد.

طبق جدول (۱) با افزایش مدت زمان حرارت دهی حلالیت نشاسته با تیمار حرارتی - رطوبتی کاهش یافته است بطوریکه حلالیت HMT3 < HMT2 < HMT1 و با افزایش مدت زمان حرارت دهی تغییرات آرایش داخلی ساختمان گرانول ها که به دلیل واکنش های داخل بین گروه های پایه ای نشاسته بوده و همچنین به دلیل تغییر آرایش و شکل گرفتن تعداد زیادی آمیلوپکتین های مارپیچ دو تایی در کنار زنجیره ها و شکل گیری کمپلکس های آمیلولیبید که در درون گرانول ایجاد شده، زیادتر شده و حلالیت کاهش پیدا کرده است. به عبارتی کاهش حلالیت در اثر افزایش مدت زمان فرایند حرارتی - رطوبتی می تواند مربوط به افزایش برهمکنش ها میان زنجیره های نشاسته، تشکیل کریستالهای جدید و یا کریستالی شدن مجدد و نیز مرتب شدن مناطق کریستالی کوچک در داخل گرانول های نشاسته باشد. به علاوه تشکیل و افزایش مقدار کمپلکس آمیلوز-چربی نیز در طی این فرایند در کاهش حلالیت و قدرت جذب آب گرانولها موثر می باشد.

طبق جدول (۱) درصد جذب آب نشاسته HMT در مقایسه با نشاسته طبیعی اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۵ درصد نشان نمی دهد. به عبارت دیگر تغییرات اتفاق افتاده در ساخت مولکولی نشاسته های اصلاح شده تأثیری بر برهم کنش نشاسته با آب نداشته است.

۳- اندازه گیری خصوصیات حرارتی نشاسته گندم

تیمار حرارتی - رطوبتی بر روی نشاسته بر میزان و ساخت قسمت های بی شکل و مناطق کریستالی نشاسته موثر می باشد و این تغییرات به میزان درصد رطوبت و تیمار حرارتی - رطوبتی و همچنین منبع اولیه نشاسته بستگی دارد. مطابق با جدول (۲) فرایند حرارتی رطوبتی باعث افزایش دمای شروع (TO)، اوج (TP) و نهایی (TC) ژلاتینه شدن نشاسته گردید، محدوده دمای ژلاتینه شدن (TC-TO) در اثر این فرایند افزایش یافت. در حالی که انرژی لازم برای ژلاتینه شدن (ΔH) با انجام فرایند حرارتی - رطوبتی و افزایش زمان آن، کاهش نشان داد. افزایش دمای ژلاتینه شدن در نشاسته HMT به دلیل کاهش تحرک پذیری زنجیره های بی شکل در گرانول نشاسته در اثر ایجاد پیوند های داخل مولکولی و همچنین تغییرات ساختمانی در گرانول های نشاسته که شامل واکنش های داخلی آمیلوز - آمیلوز و آمیلوز - لیپید همراه می باشد، است.

در فرایند HMT و قتیکه قسمت های بی شکل متورم می شود می تواند بر روی قسمت های کریستالی و زنجیره های پلیمر فشار وارد کرده و این فشار به زنجیره های پلیمری سطح کریستالی نشاسته منتقل می شود. از طرفی نیز با عملیات HMT واکنش های داخلی آمیلوز - آمیلوز و آمیلوز - لیپید حرکت قسمت های بی شکل را کاهش داده و در نتیجه نشاسته های HMT در درجه حرارت های بالاتر متورم شده و باعث افزایش TP, TC, TO می شوند.



$\Delta H(j/g)$	$T_c - T_0(^{\circ}C)$	$T_c(^{\circ}C)$	$T_p(^{\circ}C)$	$T_0(^{\circ}C)$	پارامترهای تجربی
$11/0 \pm 1/1^a$	$11/0 \pm 1/0^d$	$0/0 \pm 1/0^e$	$0/0 \pm 1/0^f$	$0/0 \pm 1/0^g$	K_1 ϵ HMT1
$1/1 \pm 1/1^b$	$1/0 \pm 1/1^b$	$0/0 \pm 1/0^e$	$0/0 \pm 1/1^{ab}$	$0/0 \pm 1/1^a$	HMT2
$1/1 \pm 1/0^c$	$1/0 \pm 1/1^a$	$0/0 \pm 1/0^e$	$0/0 \pm 1/0^f$	$0/0 \pm 1/0^g$	HMT3
$0/0 \pm 1/1^c$	$1/1 \pm 1/1^c$	$0/0 \pm 1/0^e$	$0/0 \pm 1/0^f$	$0/0 \pm 1/0^g$	HMT4

جدول ۱- پارامترهای تجربی برای مدل‌های مختلف HMT در فرآیند پخت نان با دمای پخت ۱۸۰ درجه سانتیگراد. ΔH تغییرات گرمایی، T_c دمای بحرانی، T_p دمای پخت، T_0 دمای اولیه، K_1 ضریب انتقال حرارت، ϵ ضریب انتقال حرارت در سطح نان، HMT ضریب انتقال حرارت در سطح نان.

خصوصیات بافتی نشاسته

۱- سفتی بافت ژل نشاسته

با عملیات تیمار حرارتی- رطوبتی بر روی نشاسته طبیعی خصوصیات بافتی آن تغییر می کند و قدرت ژل افزایش پیدا می کند. سفتی بافت ژل نشاسته تیمار شده نسبت به بافت ژل نشاسته طبیعی بیشتر شده و در سطح کمتر از ۰/۰۵ درصد دارای اختلاف معنی داری بوده یعنی با انجام تیمار حرارتی- رطوبتی میزان سفتی بافت ژل نشاسته افزایش یافت و با افزایش مدت زمان حرارت دهی نیز سفتی بافت افزایش پیدا کرد. این مطلب تا حدودی به مرفولوژی نشاسته HMT مربوط می باشد چرا که سطح گرانول ها حالت خراشیدگی دارد و حلالیت نشاسته HMT هم نسبت به نشاسته طبیعی بیشتر است پس تمایل به تشکیل ژل بیشتر شده و از طرفی با تیمار حرارتی- رطوبتی درصد کریستاله شدن نشاسته افزایش پیدا کرده و لذا قدرت ژل افزایش پیدا کرده است. به عبارتی افزایش سفتی بافت طی فرایند حرارتی- رطوبتی مربوط به افزایش برهمکنش ها میان زنجیره های نشاسته، تشکیل کریستالهای جدید و یا کریستالی شدن مجدد و نیز مرتب شدن مناطق کریستالی کوچک در داخل گرانولهای نشاسته می باشد. به علاوه تشکیل و افزایش مقدار کمپلکس آمیلوز-چربی نیز در طی این فرایند در افزایش سفتی بافت موثر می باشد.

۲- پیوستگی بافت ژل نشاسته

پیوستگی بافت معیاری از درجه سفتی شکستن ساختار داخلی بافت ژل نشاسته است. در سطح کمتر از ۰/۰۵ درصد تفاوت معنی دار بین پیوستگی بافت برای نشاسته طبیعی و نشاسته های HMT1 و HMT2 دیده شده و نشاسته های HMT1 و HMT2 دارای پیوستگی بافت بیشتری بودند و در مقایسه تیمار های اصلاح شده با هم نشاسته HMT3 نسبت به بقیه نمونه های HMT دارای تفاوت معنی دار در سطح کمتر از ۰/۰۵ درصد بود و می توان گفت مدت زمان حرارت دهی ۱۸ ساعت جهت تیمار حرارتی- رطوبتی نشاسته باعث کاهش پیوستگی بافت نسبت به بقیه نمونه های اصلاح شده گردیده است.

۳- انرژی لازم برای فشردن بافت

انرژی لازم برای فشردن بافت بین نشاسته طبیعی و نشاسته HMT در سطح کمتر از ۰/۰۵ درصد برای همه انواع نشاسته دارای اختلاف معنی داری می باشد و میزان انرژی که لازم است تا بافت نشاسته تیمار شده را فشرده کرد بیشتر از نشاسته طبیعی بوده و همچنین با افزایش مدت زمان حرارت دهی نیز این انرژی افزایش پیدا کرده است، این افزایش انرژی صرف برای فشردن بافت طی فرایند حرارتی- رطوبتی مربوط به افزایش برهم کنش ها میان زنجیره های نشاسته، تشکیل کریستالهای جدید و یا کریستالی شدن مجدد و نیز مرتب شدن مناطق کریستالی کوچک در داخل گرانولهای نشاسته بوده و به علاوه تشکیل و افزایش مقدار کمپلکس آمیلوز-چربی نیز در طی این فرایند در افزایش انرژی صرف شده برای فشردن بافت موثر گشته و ارتباط مستقیم با افزایش سفتی بافت داشت.

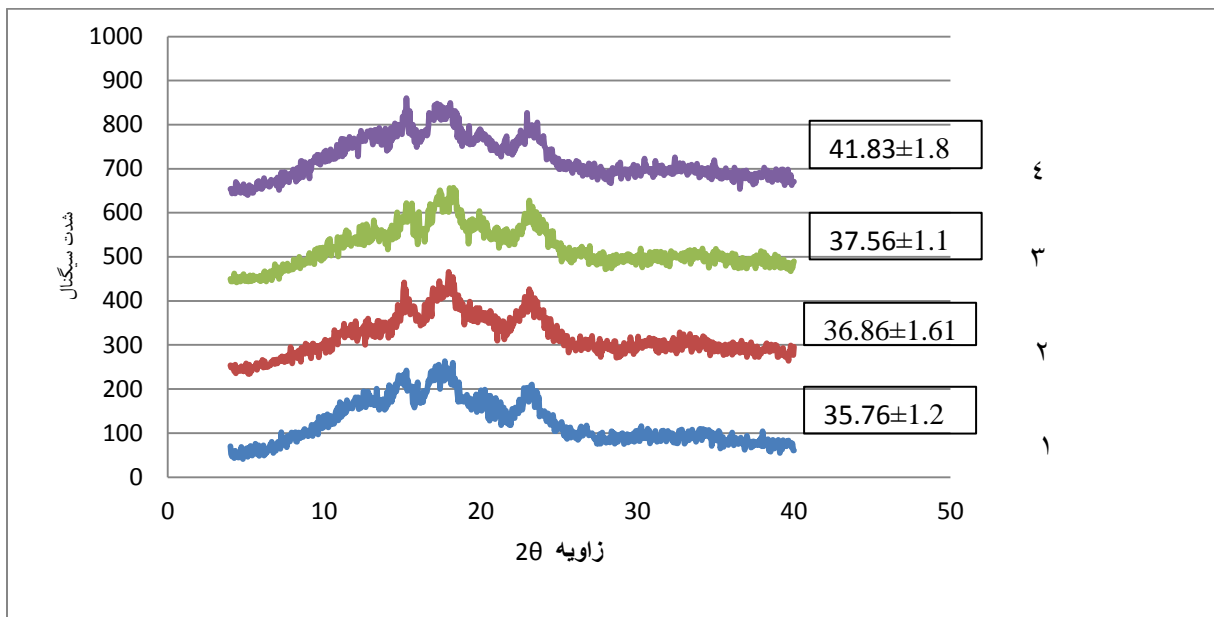
۴- ارتجاع پذیری ژل نشاسته

ارتجاع پذیری ژل نشاسته طبیعی و نشاسته HMT دارای تفاوت معنی داری در سطح کمتر از ۰/۰۵ درصد بوده و بیشترین ارتجاع پذیری ژل نشاسته در مورد نشاسته طبیعی بود که با فاکتور سفتی بافت رابطه معکوس دارد یعنی با اصلاح کردن نشاسته، ارتجاع پذیری آن نسبت به نشاسته طبیعی کمتر و بافت آن سفت تر گشته ولی مدت زمان حرارت دهی تاثیر بر خاصیت ارتجاع پذیری بافت ژل نداشت. بطور کلی می توان گفت مطابق با جدول (۴) شاهد



افزایش سفتی بافت، کاهش ارتجاع پذیری بافت، افزایش انرژی صرف شده برای فشردن بافت، افزایش کار لازم برای کمپرس اول بافت، افزایش پیوستگی بافت نشاسته اصلاح شده در مقایسه با نشاسته طبیعی بوده، که این تغییرات بافت می‌تواند به دلیل تغییر آرایش مولکولی و جلوگیری از هیدراته شدن آنها باشد. -تعیین الگوی پراش اشعه ایکس و محاسبه درصد کریستالیزسیون نشاسته

الگوی پراش اشعه ایکس نشاسته های گندم طبیعی و اصلاح شده میزان کریستاله شدن آنها را نشان می‌دهد (شکل ۲). به طور کلی تغییر اصلی در الگوی پراش اشعه ایکس نشاسته ها مشاهده نشد و همان الگوی A که در مورد نشاسته غلات متداول است دیده شد. در این الگو پیکههایی در زوایای 2θ و 20° و 18° و 17° مشاهده می شود. عدم تغییر در الگوی اشعه ایکس نشاسته پس از انجام فرایند حرارتی - رطوبتی توسط دلقور و جاکوب در سال ۱۹۹۸ گزارش شده است. تغییر کم الگوی پراش اشعه ایکس بعد از تیمار حرارتی - رطوبتی می تواند به دلیل میزان کم اصلاح باشد.



شکل ۲- الگوی پراش اشعه ایکس نشاسته های مختلف (۱) نشاسته طبیعی گندم ، (۲) نشاسته HMT1 ، (۳) نشاسته HMT2 ، (۴) نشاسته HMT3
* درصد کریستاله شدن نشاسته .

نتیجه گیری کلی

جهت بهبود کیفیت نشاسته و افزایش کارایی آن با توجه به نیاز می توان تغییرات خاصی در ساختار فیزیکی و مولکولی آن بوجود آورده که می تواند تاثیرات مفیدی بر خواص کاربردی و عملکردی نشاسته داشته باشند. در این تحقیق بر روی نشاسته های گندم عملیات اصلاح کردن فیزیکی به روش تیمار حرارتی- رطوبتی انجام شد و بررسی تغییرات بوجود آمده در نشاسته ها و جایگزین کردن نشاسته HMT تولید شده با آرد موجود در فرمولاسیون نان مورد ارزیابی قرار گرفت. بطور کلی نتایج حاصل از این تحقیق را به صورت زیر می توان خلاصه نمود :

اصلاح کردن فیزیکی نشاسته گندم با موفقیت انجام شد و توانست خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشاسته ها را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد. در این تیمار حرارتی- رطوبتی از دمای 105°C درجه سانتیگراد با رطوبت ۲۵٪ در سه زمان ۱۴، ۱۶، ۱۸ ساعت انجام شد. بررسی تصاویر میکروسکپ الکترونی نشان داد که در اثر اصلاح تغییراتی در سطح گرانول های نشاسته گندم بوجود آورد، اما در شکل و سایز گرانول ها تغییر چندانی نشان نداد. ساختار اصلی گرانول های A و B حفظ می شود. در نوع الگوی پراش اشعه ایکس در اثر تیمار حرارتی- رطوبتی تغییری مشاهده نشد، اما درصد کریستالیزسیون به مقدار کمی افزایش یافت. درصد جذب آب نشاسته HMT در مقایسه با نشاسته طبیعی اختلاف معنی داری در سطح 0.05 درصد نشان نمی دهد، به عبارت دیگر تغییرات اتفاق افتاده در ساخت مولکولی نشاسته های اصلاح شده تأثیری بر برهم کنش نشاسته با آب نداشته است ولی حلالیت نشاسته اصلاح شده نسبت به نشاسته طبیعی افزایش یافت البته با افزایش مدت زمان حرارت دهی از ، حلالیت نشاسته اصلاح شده در مقایسه با هم کاهش یافت. نتایج اندازه گیری قدرت ژل نشاسته نشان داد که فاکتور های مختلف از جمله سختی ژل (N)، مقاومت به جویدن (N)، چسبندگی بافت (mg) و نیروی چسبندگی (N) برای نشاسته گندم HMT در مقایسه با نشاسته طبیعی قویتر بود. خصوصیات حرارتی نشاسته اصلاح شده HMT از قبیل دمای اولیه (To)، دمای اوج (TP) و دمای



نهایی (TC) در مقایسه با نشاسته طبیعی افزایش یافته و محدوده دمایی (TC-TO) افزایش یافته ولی انرژی لازم برای ژلاتینه کردن (ΔH) نشاسته اصلاح شده HMT نسبت به نشاسته طبیعی کاهش می یابد.

فهرست منابع و مآخذ

- ۱- فرحناکی، ع، مجذوبی، م و مصباحی، غ، (۱۳۸۸). خصوصیات و کاربردهای هیدروکلونیدها در مواد غذایی و دارویی. چاپ اول، انتشارات علم کشاورزی ایران.
- 2- Adebowale, K. O., Henle, T., Schwarzenbolz, U., and Doert, T. (2009). Modification and properties of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst. Ex. A. Rich.) Harms starch. I: Heat moisture treatments and annealing. *Food Hydrocolloids*, 23, 1947–1957.
- 3- Franco, C. M. L., Ciacco, C. F., and Tavares, D. Q. (1995). Effect of the heat-moisture treatment on the enzymatic susceptibility of corn starch granules. *Starch/Stärke*, 47, 223–228.
- 4- Gunaratne, A., and Hoover, R. (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 49, 425–437.
- 5- Gunaratne, A., and Corke, H. (2007). Effect of hydroxypropylation and alkaline treatment hydroxypropylation on some structural and physicochemical properties of heat-moisture treated wheat, potato and waxy maize starches. *Carbohydrate Polymers*, 68, 305–313.
- 6- Hormdok, R., and Noomhorm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *Food Science and Technology*, 40, 1723–1731.
- 7- Khunae, P., Tran, T., and Sirivongpaisal, P. (2007). Effect of heat-moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylose content. *Starch/Stärke*, 59, 593–599.
- 8- Majzoobi, M. (2004). Effects of processing on the molecular structure of wheat starch. PhD.Thesis, Nottingham University, U.K.
- 9- Olayinka, O. O., Adebowale, K. O., and Olu-Owolabi, B. I. (2008). Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of white sorghum starch. *Food Hydrocolloids*, 22, 225–230.
- 10- Singh, H., Chang, Y.H., Lin, J., Singh, N., Singh, N. (2011). Influence of heat-moisture treatment and annealing on functional properties of sorghum starch. *Food Research International*, 44, 2949–2954.
- 11- Suling, L., Ward, R., Gao, Q. (2011). Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiatus*) starch. *Food Hydrocolloids*, 25, 1702-170.
- 12- Varatharajan, V., Hoover, R., Liu, Q., and Seetharaman, K. (2010). The impact of heat-moisture treatment on the molecular structure and physicochemical properties of normal and waxy potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 81, 466–475.
- 13- Watcharatwinkul, Y., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., and Uttapap, D. (2009). Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 75, 505-511.