

مطالعه خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته‌های گندم و ذرت مومی معمولی و استیله و تاثیر آنها بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر آرد گندم

منصوره ابراهیمیان^۱، محمد حسین عزیزی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۰۲)

چکیده

خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ویژگی‌های رئولوژیکی نشاسته‌های گندم و ذرت مومی معمولی و استیله و تاثیر سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد آنها بر ویژگی‌های آرد گندم توسط دستگاه آنالیز سریع ویسکوزیته^۱ (RVA) بررسی شد. بیشترین قدرت تورم و کمترین درصد سینرزیس مربوط به نشاسته ذرت مومی استیله بود. ویسکوزیته اوج، شکست، نهایی و برگشت کنترل (آرد گندم) کمتر از کنترل نشاسته گندم، ذرت مومی، گندم استیله و ذرت مومی استیله بود. ویسکوزیته اوج، نگهداری، شکست و ویسکوزیته نهایی مخلوط نشاسته‌های استیله و آرد به دلیل قدرت تورم بیشتر نشاسته استیله نسبت به نشاسته معمولی بیشتر از مخلوط نشاسته‌های معمولی و آرد بود، اما ویسکوزیته برگشت مخلوط نشاسته‌های استیله و آرد کمتر از مخلوط نشاسته‌های معمولی و آرد بود. ویسکوزیته اوج و شکست مخلوط آرد و نشاسته ذرت مومی (معمولی و استیله) بیشتر از مخلوط آرد و نشاسته گندم (معمولی و استیله) بود، اما ویسکوزیته برگشت مخلوط آرد و نشاسته ذرت مومی (معمولی و استیله) به طور معنی داری کمتر از مخلوط آرد و نشاسته گندم (معمولی و استیله) بود. با افزایش درصد جایگزینی نشاسته‌ها ویسکوزیته اوج، نگهداری، نهایی، شکست و ویسکوزیته برگشت افزایش یافت. یافته‌های این مقاله شواهدی را فراهم می‌کند مبنی بر این که نشاسته‌های استیله به خصوص نشاسته ذرت مومی می‌تواند در برخی از فرآورده‌های برپایه گندم بخصوص نان جایگزین بخشی از آرد گندم شود.

کلید واژگان: نشاسته گندم، نشاسته ذرت مومی، نشاسته استیله، ویژگی‌های رئولوژیکی، آرد گندم

1. Rapid Visco Analyzer

*مسئول مکاتبات: azizit_m@modares.ac.ir

۱- مقدمه

در آرد گندم نشاسته فراوانترین جزء است و یک نقش بسیار مهمی در ویژگی‌های خمیر آرد گندم بازی می‌کند [۱]. صرف نظر از منبع گیاهی که نشاسته از آن استخراج می‌شود. تفاوت‌های موجود از لحاظ طول زنجیره آمیلوز و آمیلوپکتین، وزن مولکولی آنها، وجود سایر ترکیبات نظیر چربی و پروتئین باعث ایجاد تفاوت‌های مهمی در عملکرد و خواص نشاسته‌های حاصل از منابع آنها می‌گردد [۲]. نشاسته‌ها طبق منشأ گیاهی شان به دو گروه اصلی نشاسته غلات (ذرت، سورگوم، گندم، برنج) و نشاسته محصولات غده ای و ریشه ای (سیب زمینی سفید، سیب زمینی شیرین، تاپیوکا) تقسیم می‌شوند. البته یک زیرگروه دیگر ممکن است در درون طبقه بندی اصلی وجود داشته باشد که «نشاسته های مومی» نامیده می‌شوند. این نشاسته ها طوری اصلاح شده اند تا نشاسته ای تولید کنند که مقدار آمیلوپکتین زیادی داشته باشند و مقدار آمیلوز آنها خیلی کم و یا فاقد آمیلوز باشند [۳]. نشاسته بر روی بافت، ویسکوزیته، تشکیل ژل، چسبندگی، حفظ رطوبت، تشکیل فیلم و همگنی فرآورده تاثیر می‌گذارد [۴]. نشاسته‌ها به شکل اصلاح نشده کاربرد محدودی در صنعت غذا دارند. به همین علت، تولید کنندگان مواد غذایی نشاسته‌هایی را ترجیح می‌دهند که ویژگی‌های رفتاری بهتری نسبت به نشاسته‌های طبیعی دارند. ویژگی‌های نشاسته‌ها می‌تواند با اصلاحات مختلف بهبود یابد. به این ترتیب می‌توان با اعمال روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، آنزیمی یا ژنتیکی نشاسته‌ای با خواص مورد نظر به دست آورد [۵]. استر نشاسته گروهی از نشاسته های اصلاح شده به روش شیمیایی است که در آن بعضی از گروه‌های هیدروکسیل با گروه‌های استری جایگزین شده‌اند. یکی از انواع استرهای نشاسته، نشاسته استیله است که بوسیله واکنش نشاسته با استیک انهیدرید تهیه می‌شود [۶]. نشاسته استیله ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خاصی دارد، مثل دمای ژلاتینه شدن پایین، حلالیت بالا، پخت و پایداری انبارمانی خوب و به‌طور گسترده در صنایع غذایی استفاده می‌شود تا بر تغییرات نامناسب در بافت و ظاهر محصول که بوسیله رتروگریداسیون در طی فرایند و انبارمانی ناشی می‌شود، غلبه کند [۷]. یکی از مهم‌ترین خصوصیات کاربردی نشاسته‌ها، خصوصیات گرمایی و

خمیری شدن آنها می‌باشد. رفتار خمیری شدن معمولاً با مشاهده تغییرات ویسکوزیته نشاسته براساس اصول رئولوژیکی مطالعه می‌شود. از منحنی خمیری شدن چندین پارامتر به دست می‌آید که وسعت تجزیه و اینکه در کجا رتروگریداسیون رخ می‌دهد، را نشان می‌دهد [۸]. از آن جایی که نشاسته یکی از اجزای مهم در غلات می‌باشد، ممکن است خصوصیات خمیری شدن این نشاسته‌ها در طی حرارت دادن تغییر کند، از آن جایی که تحقیقات کمی در زمینه آنالیز RVA مخلوط آرد و نشاسته‌های اصلاح شده گزارش شده است، بنابراین مطالعه خصوصیات خمیری شدن این مخلوط‌ها جالب توجه می‌باشد. هدف از این مقاله مطالعه خصوصیات خمیری شدن با جایگزین کردن نشاسته‌های اصلاح شده در آرد گندم با استفاده از دستگاه آنالیز سریع ویسکوزیته (RVA) است. بنابراین، اثر مقدار آمیلوز، فسفر، پروتئین و لیپید و گروه‌های استری بر روی خصوصیات خمیری شدن مشاهده می‌شود. این مطالعه می‌تواند به فهم بهتر عملکرد نشاسته در طی مخلوط کردن با غذاهای برپایه گندم کمک کند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه مواد اولیه

آرد گندم با درجه استخراج ۸۲ (ستاره) از کارخانه آرد تهران- باختر تهیه شد. نشاسته گندم و ذرت مومی طبیعی و همچنین نشاسته گندم و ذرت مومی استیله از شرکت پارس خوشه پرداز شیراز تهیه گردید.

۲-۲- تعیین خصوصیات نشاسته و آرد

فاکتورهای رطوبت، خاکستر، چربی و پروتئین آرد و نشاسته طبق استاندارد AACC و استاندارد ملی ایران اندازه گیری شد [۹ و ۱۰].

۲-۳- اندازه گیری قدرت تورم نشاسته

قدرت تورم نشاسته‌ها طبق روش هانگ و موریتا اندازه گیری شد. در این روش، نشاسته (۰/۱۶ گرم برمبنای وزن خشک) توزین شد و به لوله‌های آزمایش درب دار منتقل و به آن ۵ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. لوله‌ها در یک حمام آب گرم قرار

ویسکوزیته برگشت^۶، ویسکوزیته نهایی^۷ و زمان اوج^۸ از نمودار RVA به دست آمد [۸ و ۱۳].

۲-۶- آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (به صورت ۳ بار تکرار در هر تیمار) انجام شد. نتایج به دست آمده پس از تجزیه واریانس با آزمون Duncan در سطح ۵٪ مقایسه شدند. از نرم افزار (SPSS) (Ver. 20) جهت تحلیل داده‌ها استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات شیمیایی نشاسته‌ها و آرد

ترکیبات موجود در آرد و نشاسته‌ها در جدول ۱ گزارش شده است. میزان رطوبت نشاسته‌ها در حدود ۱۱-۱۰٪ و رطوبت آرد ۱۳/۲۲٪ بود. مقدار جذب آب توسط گرانول‌های نشاسته بستگی به رطوبت نسبی و دمای اتمسفری که در آن نگهداری می‌شوند، دارد. اغلب نشاسته‌های معمولی (اصلاح نشده) در شرایط معمولی ۲۰-۱۰٪ رطوبت دارند [۱۴]. مقدار چربی آرد ۲/۵۴٪ و چربی نشاسته‌ها در حدود ۰/۷-۰/۰۷٪ بود که بیشترین مقدار چربی مربوط به نشاسته گندم معمولی و استیله بود و نشاسته‌های استیله چربی کمتری نسبت به نشاسته‌های معمولی داشتند. نشاسته‌های غلات رایج (ذرت، گندم، برنج، سورگوم) دارای درصد بالایی از مواد چرب می‌باشند (۱/۰-۶٪). مواد چرب (لیپیدها) در نشاسته‌های غلات به طور عمده لیزوفسفولیپیدها (در نشاسته گندم) یا اسیدهای چرب آزاد (در نشاسته ذرت یا ذرت مومی) هستند. در گرانول‌های نشاسته ذرت و گندم، حداقل بخشی از آمیلوز و لیپید به شکل کمپلکس آمیلوز-لیپید وجود دارد. مقادیر بالای لیپید در نشاسته‌های غلات متداول باعث اثرات نامناسبی می‌شود [۱۴]. مقدار خاکستر آرد ۰/۷۷٪ و خاکستر نشاسته‌ها در حدود ۰/۵-۰/۲٪ بود. فلزات یا خاکستر نشاسته‌های معمولی عمدتاً شامل کلسیم، پتاسیم، منیزیم و سدیم می‌باشد [۱۴]. مقدار پروتئین آرد گندم ۱۱/۸۷٪ و مقدار پروتئین

گرفت و در ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. نمونه‌های حرارت داده شده به سرعت با حمام آب سرد تا دمای اتاق سرد شد و سپس با سانتی‌فیوژ در سرعت ۳۰۰۰ g به مدت ۱۵ دقیقه سانتی‌فیوژ شد. رومانده جدا شد و قدرت تورم به عنوان درصد رسوب باقیمانده تعیین شد [۱۱].

۲-۴- اندازه گیری درصد آب اندازی (سینرزیس) نشاسته

درصد آب اندازی نشاسته‌ها طبق روش جیوتی و همکاران اندازه گیری شد. برای این منظور، سوسپانسیون نشاسته ۲٪ وزنی-حجمی در ۹۰-۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم حرارت داده شد، سپس به سرعت در یک حمام آب یخ تا دمای اتاق سرد شد. خمیر نشاسته به داخل لوله آزمایش درب دار منتقل و به مدت ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. درصد آب اندازی خمیر نشاسته به صورت درصد آب آزاد شده بعد از سانتی‌فیوژ با سرعت ۲۷۰۰ g (۵۵۲۹ rpm) به مدت ۱۵ دقیقه اندازه گیری شد [۱۲].

۲-۵- خصوصیات خمیری شدن نشاسته

خصوصیات خمیر محلول‌های آبی نشاسته، آرد و همچنین مخلوط آرد و نشاسته (۵، ۱۰ و ۱۵٪) (۳/۵ گرم نمونه بر اساس وزن خشک در ۲۵ گرم آب مقطر) با دستگاه آنالیز سریع ویسکوزیته (RVA) Rapid Visco Analyzer مدل (StarchMaster 2, Perten Instruments, Australia) به عنوان تابعی از دما مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین ویسکوزیته ابتدا ۳/۵ گرم از هر نمونه در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد به مدت ۲ دقیقه نگهداری شد و سپس با سرعت ثابت ۲ min / ۱۴ °C دما تا ۹۵ °C افزایش یافت و به مدت ۳ دقیقه در این دما نگهداری شد و در نهایت نمونه‌ها تا دمای ۲۵ °C به مدت ۵ دقیقه سرد شد. پارامترهای مختلف از جمله دمای خمیری شدن^۹، ویسکوزیته اوج^{۱۰}، ویسکوزیته نگهداری^{۱۱}، ویسکوزیته افت^{۱۲}،

2. Pasting temperature
3. Peak viscosity
4. Trough viscosity
5. Break down viscosity

6. Setback viscosity
7. Final viscosity
8. Peak time

هستند. مقدار زیاد پروتئین در نشاسته غلات اثرات نامطلوبی دارد، مثل: تشکیل طعم آردی، تشکیل کف و تشکیل رنگ توسط مواد حاصل از هیدرولیز [۱۴].

نشاسته‌ها در حدود ۰/۱۳-۰/۳۶٪ بود. نشاسته‌های غلات (ذرت، گندم، ذرت مومی) حاوی مقدار قابل توجهی پروتئین (۰/۲۵-۰/۵٪) در مقایسه با نشاسته سیب زمینی (۰/۰۶٪) و تاپیوکا (۰/۰۱٪).

Table 1 Componential characteristics of wheat flour, native wheat starch (NWS), acetylated wheat starch (AWS), native waxy corn starch (NWCS) and acetylated waxy corn starch (AWCS)

Sample	Moisture (% on dry substance)	Ash (% on d.s.)	Protein (% on d.s.)	Fat (% on d.s.)
Wheat flour	13.22 ± 0.09 ^a	0.03 ^a ± 0.77	2.50 ^a ± 11.87	0.39 ^a ± 2.54
NWS	0.12 ^d ± 10.17	0.06 ^b ± 0.26	0.04 ^b ± 0.36	0.05 ^b ± 0.70
AWS	0.16 ^c ± 10.41	0.02 ^b ± 0.22	0.04 ^b ± 0.21	0.04 ^{bc} ± 0.41
NWCS	0.07 ^b ± 11.68	0.44 ^{ab} ± 0.57	0.02 ^b ± 0.22	0.02 ^{cd} ± 0.13
AWCS	10.43 ± 0.02 ^c	0.08 ^b ± 0.28	0.02 ^b ± 0.13	0.02 ^d ± 0.07

Different superscripts within each column represent significant difference at $P < 0.05$.

همکاران در سال ۲۰۰۷ در مقایسه اثر استیک انهدرید روی خصوصیات نشاسته ذرت و سیب زمینی نیز مشاهده کردند که استیله کردن موجب افزایش قدرت تورم می‌شود که می‌تواند به علت قرار گرفتن گروه‌های هیدروفل روی زنجیره نشاسته باشد که موجب نگهداری آب و تشکیل پیوندهای هیدروژنی می‌شود. حضور گروه‌های استیل در نشاسته دسترسی نواحی بدون شکل را به آب تسهیل می‌کند [۱۶، ۱۷ و ۱۸]. عدم مشاهده چنین روندی در دمای کمتر از ۵۰ درجه می‌تواند به علت ژلاتینه شدن نشاسته ذرت مومی در دمای ۶۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد باشد. قدرت تورم نشاسته گندم استیله در دمای کمتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد به طور معنی داری ($P < 0.05$) کمتر از نشاسته گندم طبیعی است. اما در دماهای بیشتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی داری بین تورم نشاسته طبیعی و استیله وجود ندارد ($P > 0.05$). این نتیجه بر خلاف یافته‌های میرمقتدایی و همکاران و سینگ سودی و سینگ است که آن‌ها در پژوهش خود چنین بیان کردند که استیله کردن موجب افزایش قدرت تورم می‌شود. می‌توان چنین برداشت کرد که استیله کردن نشاسته گندم در دماهای بالاتر از ۷۰ درجه که ژلاتینه شدن نشاسته گندم در آن صورت می‌گیرد، بر روی افزایش قدرت تورم موثر است یا می‌تواند به علت سطح پایین استیله کردن باشد، همانطور که سایر پژوهشگران در بررسی تاثیر سطوح مختلف استیک انهدرید بر روی خصوصیات ویسکوزیته نشاسته سیب زمینی چنین بیان

۲-۳- قدرت تورم

مقایسه تورم انواع نشاسته در دماهای مختلف (درجه سانتی‌گراد) در جدول ۲ آمده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، قدرت تورم نشاسته گندم طبیعی در تمام دماها به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از نشاسته ذرت مومی طبیعی است. مقایسه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشاسته گندم آمیلوز بالا و نشاسته مومی توسط هانگ و همکاران در سال ۲۰۰۷ نشان داده که نشاسته گندم آمیلوز بالا در دماهای کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد قدرت تورم بیشتری نسبت به نشاسته معمولی و مومی دارد، اما قدرت تورم نوع آمیلوز بالا در دماهای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد کمتر از نوع مومی و معمولی است [۱۵]. پس می‌توان چنین نتیجه گرفت که قدرت تورم نشاسته گندم طبیعی در دماهای نسبتاً بالا (در حد ۹۵ درجه سانتی‌گراد) که دمای ژلاتینه شدن اکثر نشاسته‌ها می‌باشد، کمتر از نشاسته ذرت مومی طبیعی است. قدرت تورم نشاسته ذرت مومی استیله در دماهای بیشتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از نشاسته ذرت مومی طبیعی است که به علت حضور گروه‌های استیل (هیدروفل) در نشاسته است. میرمقتدایی و همکاران در سال ۲۰۰۸ مشاهده کردند که استیله کردن باعث افزایش قدرت تورم نشاسته شده است. سینگ سودی و سینگ در سال ۲۰۰۵ در بررسی اثر استیله کردن روی ارقام مختلف برنج و سینگ و

می‌باشد و در مقادیر کمتر از ۵٪ قدرت تورم را چندان تغییر نداد [۱۹].

کردند که تاثیر استیله کردن بر روی قدرت تورم و در رابطه با آن ویسکوزیته نشاسته در مقادیر بالای استیک انهیدرید (۱۰٪) واضح

Table 2 Swelling power of starches at different temperatures

Temperature (°C)	40	50	60	70	80
Sample					
NWS	16.00 ± 0.01 ^a	17.37 ± 0.03 ^a	29.33 ± 0.67 ^a	38.33 ± 0.88 ^b	41.46 ± 0.55 ^b
AWS	13.78 ± 0.09 ^b	14.24 ± 0.21 ^c	28.71 ± 0.64 ^a	36.69 ± 0.26 ^b	42.12 ± 0.56 ^b
NWCS	15.16 ± 1.40 ^b	15.56 ± 0.91 ^b	14.98 ± 0.19 ^c	23.63 ± 1.72 ^c	2.00 ^c ± 39.10
AWCS	14.12 ± 0.60 ^b	15.08 ± 0.10 ^{bc}	20.76 ± 0.68 ^b	41.95 ± 0.28 ^a	44.30 ± 0.76 ^a

Different superscripts within each column represent significant difference at $P < 0.05$.

حضور گروه‌های استیل است که خصوصیت نگهداری آب را در ژل نگهداری شده در ۴ درجه سانتیگراد افزایش می‌دهد. سینریز نشاسته ذرت مومی طبیعی و استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) کمتر از نشاسته گندم طبیعی و استیله بود. یافته‌های حاصل از بررسی تاثیر مقدار آمیلوز بر روی ویژگی‌های نشاسته گندم مومی و غیر مومی نشان داده که نشاسته‌های مومی درصد آب اندازی کمتری نشان می‌دهند [۲۰]. افزایش درصد آب اندازی به معنای رتروگریداسیون بیشتر می‌باشد [۱۱].

۳-۳- درصد آب اندازی نشاسته

مقایسه درصد آب اندازی نشاسته‌ها در زمان‌های مختلف در جدول ۳ آمده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، سینریز نشاسته‌های استیله گندم و ذرت مومی به طور معنی داری ($P < 0.05$) از انواع طبیعی کمتر است. در بررسی تاثیر استیله کردن روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته یولاف توسط میرمقتدایی و همکاران در سال ۲۰۰۸ مشخص شده که درصد آب اندازی نشاسته با استیله کردن کاهش می‌یابد که به علت

Table 3 Syneresis of starches in storage duration at 4 °C

Storage time (hr)	24	48	72	96	120
Sample					
NWS	0.93 ± 0.00 ^a	0.93 ± 0.00 ^a	0.94 ± 0.02 ^a	0.95 ± 0.01 ^a	0.95 ± 0.01 ^a
AWS	0.83 ± 0.01 ^b	0.85 ± 0.01 ^b	0.86 ± 0.00 ^b	0.89 ± 0.01 ^b	0.92 ± 0.01 ^b
NWCS	0.73 ± 0.01 ^c	0.76 ± 0.01 ^c	0.76 ± 0.01 ^c	0.78 ± 0.01 ^c	0.78 ± 0.01 ^c
AWCS	0.58 ± 0.00 ^d	0.63 ± 0.01 ^d	0.69 ± 0.01 ^d	0.69 ± 0.01 ^d	0.69 ± 0.01 ^d

Different superscripts within each column represent significant difference at $P < 0.05$.

و مومی در اثر استیله شدن کاهش یافت [۲۱]. دمای خمیری شدن نشاسته گندم به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از نشاسته ذرت مومی بود. این در تطابق با یافته‌های سایر پژوهشگران است که نشان دادند که نشاسته‌های مومی حرارت خمیری شدن کمتری دارند [۱۴ و ۲۰]. ویسکوزیته اوج به عنوان نقطه تعادل بین میزان تورم و حلالیت (باعث افزایش ویسکوزیته) و شکستگی و طرز قرارگیری زنجیره‌های پلیمر (باعث کاهش ویسکوزیته) تعریف می‌شود. همانطور که نتایج نشان می‌دهد،

۳-۴- ویژگی‌های خمیری شدن نشاسته

مقایسه ویژگی‌های خمیر انواع نشاسته در جدول ۴ آمده است. دمای خمیری شدن دمایی است که ویسکوزیته سوسپانسیون نشاسته شروع به افزایش می‌کند. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، دمای خمیری شدن نشاسته ذرت مومی استیله و گندم استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) کمتر از نشاسته‌های طبیعی است. این نتایج در تطابق با یافته‌های سایر پژوهشگران می‌باشد. آنها در مطالعه خود دریافتند که دمای خمیری شدن نشاسته ذرت دندان

ویسکوزیته اوج نشاسته استیله گندم و ذرت مومی به طور معنی داری ($P < 0.05$) از نوع طبیعی شان بیشتر بود. این در توافق با یافته‌های سایر پژوهشگران است. آنها دریافتند که نشاسته ذرت دندان‌ی و مومی استیله ویسکوزیته پیک بیشتری نسبت به نوع طبیعی داشتند [۲۱]. زمان اوج ویسکوزیته نشاسته ذرت مومی و نشاسته گندم طبیعی بیشتر از انواع استیله بود. در اثر اتصال اتری یا استری نشاسته هیدراسیون گرانول‌های نشاسته تسهیل می‌یابد و چون گروه استیل یک گروه آب دوست است، اتصالات بیشتر آب و نشاسته را سبب می‌شود و افزایش در جذب آب و قدرت آب دوستی بعد از استیله کردن میزان خروج آمیلوز را عمدتاً در مناطق بی‌شکل نشاسته افزایش می‌دهد، در نتیجه حلالیت بالا می‌رود و در نتیجه رسیدن به ویسکوزیته اوج در زمان و دمای کمتری رخ می‌دهد [۱۳]. ویسکوزیته اوج نشاسته ذرت مومی به طور معنی داری ($P < 0.05$) از نشاسته گندم بیشتر بود. محتوای آمیلوز پایین با ویسکوزیته پیک بالاتر در ارتباط است [۸ و ۱۴]. زمان اوج نشاسته گندم به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از ذرت مومی بود. ویسکوزیته نگهداری نشاسته گندم و ذرت مومی استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) از نوع طبیعی شان بیشتر بود. سایر پژوهشگران نیز در بررسی تاثیر استیله کردن بر روی نشاسته ذرت مومی دریافتند که استیله کردن باعث افزایش ویسکوزیته نگهداری شده است. ویسکوزیته نگهداری به طور مستقیم با ویسکوزیته پیک مرتبط است [۸ و ۲۱]. ویسکوزیته نگهداری نشاسته ذرت مومی بیشتر از نشاسته گندم بود. در طول فرایند سرد کردن سازماندهی مجدد بین مولکول‌های نشاسته خصوصاً آمیلوز رخ می‌دهد و آب در بین زنجیره‌های نشاسته به دام می‌افتد و در نتیجه شکل گیری ژل، ویسکوزیته افزایش می‌یابد که به عنوان ویسکوزیته نهایی تعریف می‌شود. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، ویسکوزیته نهایی نشاسته گندم و ذرت مومی استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) از نوع طبیعی شان بیشتر بود که نشان می‌دهد این نوع نشاسته‌ها توانایی تشکیل یک ژل ویسکوز را بعد از فرایندهای گرم و سرد شدن دارند [۱۳]. افزایش ویسکوزیته نهایی در اکثر مطالعات بر روی انواع نشاسته مشاهده شده است. چون گروه استات تجمع دوباره آمیلوز را طی سرد کردن تسهیل می‌کند [۱۹ و ۲۱]. ویسکوزیته نهایی نشاسته ذرت مومی استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از گندم استیله

می‌باشد، اما ویسکوزیته نهایی نشاسته گندم طبیعی به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از ذرت مومی طبیعی بود. در طول زمان نگهداری به دلیل کاربرد نیروهای برشی و دمای ثابت بالا، گرانول‌ها شکسته شده و به دنبال آن ویسکوزیته کاهش می‌یابد که تحت عنوان ویسکوزیته شکست یا افت شناخته می‌شود. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، ویسکوزیته افت نشاسته گندم استیله بیشتر از گندم طبیعی بود، البته تفاوت معنی دار نبود ($P > 0.05$)، همچنین ویسکوزیته افت نشاسته ذرت مومی استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از ذرت مومی طبیعی بود. ویلکینز و همکاران نیز مشاهده کردند که استیله کردن نشاسته ذرت دندان‌ی باعث افزایش ویسکوزیته افت شده است، اما استیله کردن نشاسته ذرت مومی باعث کاهش ویسکوزیته افت شده است [۲۱]. زیدول و همکاران در سال ۲۰۰۷ بیان کردند که اعداد ویسکوزیته نگهداری و تجزیه یک مقدار معادل با ویسکوزیته پیک می‌باشد [۸]. ویسکوزیته افت نشاسته گندم به طور معنی داری ($P < 0.05$) کمتر از ویسکوزیته ذرت مومی می‌باشد. تفاوت بین ویسکوزیته افت و ویسکوزیته نهایی به عنوان ویسکوزیته برگشت در نظر گرفته می‌شود. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، ویسکوزیته برگشت نشاسته گندم و ذرت مومی استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) از نوع طبیعی شان بیشتر بود. بسیاری از مطالعات هم افزایش ویسکوزیته برگشت را طی استیله کردن نشاسته نشان داده است [۱۹ و ۲۱]. ویسکوزیته برگشت نشاسته گندم استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) کمتر از نشاسته ذرت مومی استیله بود، اما ویسکوزیته برگشت نشاسته گندم طبیعی بیشتر از ذرت مومی طبیعی بود. هانگ و همکاران بیان کردند که ویسکوزیته برگشت نشاسته گندم مومی بیشتر از غیر مومی بود. چون نشاسته گندم مومی با آمیلوپکتین غالب نیاز به انرژی بیشتری برای ژلاتیناسیون دارد [۲۲].

۳-۵- ویژگی‌های خمیری شدن مخلوط نشاسته-های گندم و ذرت مومی معمولی و استیله با آرد گندم

شکل ۱ منحنی مربوط به ویژگی‌های خمیر حاوی آرد و درصد‌های مختلف نشاسته را نشان می‌دهد. دمای خمیری شدن مربوط به مخلوط آرد با نشاسته‌ها تفاوت معنی داری باهم

نداشت ($P > 0.05$). دمای خمیری شدن تمام تیمارها از نمونه کنترل (آرد) کمتر بود، البته تفاوت معنی دار نبود ($P > 0.05$). سایر پژوهشگران هم در بررسی دمای خمیری شدن مخلوط آرد و نشاسته‌ها در مقادیر ۱۰ تا ۵۰ درصد تغییر معنی داری مشاهده نکردند [۸]. ویسکوزیته اوج مخلوط آرد-نشاسته ذرت مومی (طبیعی و استیله) به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از ویسکوزیته مخلوط آرد-نشاسته گندم (طبیعی و استیله) بود. همچنین ویسکوزیته اوج مخلوط آرد-نشاسته‌های استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از مخلوط آرد-نشاسته‌های طبیعی بود. ویسکوزیته اوج مخلوط آرد-نشاسته‌ها به طور معنی داری ($P < 0.05$) از ویسکوزیته اوج آرد خالص (نمونه شاهد) بیشتر بود. با افزایش درصد نشاسته‌ها ویسکوزیته اوج به طور معنی داری ($P < 0.05$) افزایش یافت. این نتایج با نتایج مطالعه زیدول و همکاران در سال ۲۰۰۷ [۸] مطابقت دارد. آنها دریافتند که ویسکوزیته اوج به طور معنی داری با افزایش مقدار نشاسته افزایش یافت و ویسکوزیته مخلوط آرد و نشاسته سیب زمینی به خاطر آمیلوز کمتر و در نتیجه تورم بیشتر از همه بیشتر بود. زمان اوج ویسکوزیته مربوط به مخلوط آرد و نشاسته‌ها تفاوت معنی داری باهم نداشت ($P > 0.05$). زمان اوج تمام تیمارها به طور معنی داری ($P < 0.05$) از کنترل کمتر بود. زیدول و همکاران هم کاهش زمان اوج را با افزایش درصد نشاسته در آرد مشاهده کردند. ویسکوزیته نگهداری مخلوط آرد-نشاسته ذرت مومی (طبیعی و استیله) تفاوت معنی داری با مخلوط آرد-نشاسته گندم (طبیعی و استیله) نداشت ($P > 0.05$). ویسکوزیته نگهداری مخلوط آرد و نشاسته‌های استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از مخلوط آرد و نشاسته‌های طبیعی بود. ویسکوزیته نگهداری مخلوط آرد و نشاسته‌ها به طور معنی داری ($P < 0.05$) از ویسکوزیته نگهداری آرد خالص (کنترل) بیشتر بود. با افزایش درصد نشاسته‌ها ویسکوزیته نگهداری به طور معنی داری ($P < 0.05$) افزایش یافت. این نتایج هم منطبق با نتایج مطالعه زیدول و همکاران است. ویسکوزیته نهایی مخلوط آرد-نشاسته ذرت مومی استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از مخلوط آرد-نشاسته گندم استیله است. اما ویسکوزیته نهایی مخلوط آرد-نشاسته ذرت مومی طبیعی به طور معنی داری ($P < 0.05$) کمتر از مخلوط آرد-نشاسته گندم طبیعی بود.

ویسکوزیته نهایی مخلوط آرد-نشاسته‌های استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از مخلوط آرد-نشاسته‌های طبیعی بود. ویسکوزیته نهایی مخلوط آرد و نشاسته‌ها به طور معنی داری ($P < 0.05$) از ویسکوزیته نهایی آرد خالص (کنترل) بیشتر بود. با افزایش درصد نشاسته‌ها ویسکوزیته نهایی به طور معنی داری ($P < 0.05$) افزایش یافت. در مطالعه زیدول و همکاران نیز با افزایش درصد نشاسته ویسکوزیته نهایی افزایش یافت. ویسکوزیته شکست مخلوط آرد-نشاسته ذرت مومی (طبیعی و استیله) به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از مخلوط آرد-نشاسته گندم (طبیعی و استیله) بود. ویسکوزیته شکست مخلوط آرد-نشاسته‌های استیله به طور معنی داری ($P < 0.05$) بیشتر از مخلوط آرد-نشاسته‌های طبیعی بود که در مورد نشاسته ذرت مومی معنی دار بود ($P < 0.05$). ویسکوزیته شکست مخلوط آرد و نشاسته‌ها بجز نشاسته گندم (طبیعی و استیله) به طور معنی داری از ویسکوزیته شکست آرد خالص (کنترل) بیشتر بود ($P < 0.05$). ویسکوزیته شکست مخلوط آرد-نشاسته گندم تفاوت معنی داری با کنترل نداشت ($P > 0.05$). با افزایش درصد نشاسته‌ها به جز نشاسته گندم ویسکوزیته شکست به طور معنی داری افزایش یافت ($P < 0.05$). این نتایج منطبق با نتایج مطالعه زیدول و همکاران بود. در مطالعه آنها مخلوط آرد و نشاسته سیب زمینی با وجود ویسکوزیته پیک بالا ویسکوزیته شکست بیشتری داشت. در صورتی که ویسکوزیته شکست درجه متلاشی شدن گرانول‌ها یا پایداری خمیر را نشان می‌دهد. و نشاسته‌هایی که قدرت تورم و ویسکوزیته پیک بالایی دارند به دلیل نیروهای داخل مولکولی ضعیف به آسانی تجزیه می‌شوند، بنابراین به نیروی برش و همچنین افزایش دما حساس‌تر می‌شوند. ویسکوزیته برگشت مخلوط آرد-نشاسته ذرت مومی (طبیعی و استیله) به طور معنی داری کمتر از مخلوط آرد-نشاسته گندم (طبیعی و استیله) بود ($P < 0.05$). ویسکوزیته برگشت مخلوط آرد و نشاسته‌های استیله به طور معنی داری کمتر از مخلوط آرد و نشاسته‌های طبیعی بود که در مورد نشاسته گندم معنی دار بود ($P < 0.05$). ویسکوزیته برگشت مخلوط آرد و نشاسته‌ها بجز نشاسته ذرت مومی استیله به طور معنی داری از ویسکوزیته برگشت آرد خالص (کنترل) بیشتر بود ($P < 0.05$). با افزایش درصد نشاسته‌ها ویسکوزیته برگشت خمیر افزایش یافت که در مورد نشاسته گندم طبیعی و استیله

مخلوط نشاسته‌های طبیعی و آرد بود که در مورد نشاسته گندم معنی دار بود. ویسکوزیته اوج و شکست مخلوط نشاسته ذرت مومی و آرد و همچنین مخلوط نشاسته ذرت مومی استیله و آرد بیشتر از مخلوط آرد و نشاسته گندم و مخلوط آرد و نشاسته گندم استیله بود. ویسکوزیته نهایی مخلوط آرد و نشاسته ذرت مومی استیله بیشتر از مخلوط آرد و نشاسته گندم استیله بود. ویسکوزیته نهایی مخلوط آرد و نشاسته ذرت مومی طبیعی کمتر از مخلوط آرد و نشاسته گندم بود. ویسکوزیته برگشت مخلوط آرد و نشاسته ذرت مومی به طور معنی داری کمتر از مخلوط آرد و نشاسته گندم بود. تمام خصوصیات ویسکوزیته مخلوط آرد و هر کدام از نشاسته‌ها بیشتر از آرد خالص (کنترل) بود. بنابراین نشاسته‌های استیله به خصوص نشاسته ذرت مومی به علت آمیلوز کم و ویسکوزیته برگشت کمتر در نتیجه قابلیت تشکیل ژل یا رتروگریداسیون کمتر می‌تواند در برخی از فرآورده‌های برپایه گندم بخصوص نان جایگزین بخشی از آرد گندم شود.

۵- سپاسگزاری

بدین وسیله از اساتید محترم و کارشناس آزمایشگاه گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه تربیت مدرس، از کارشناسان محترم در پژوهشکده غله، همچنین از مسئولین و کارشناسان کارخانه آرد گندم طلایی کرج، شرکت پارس خوشه پرداز شیراز و کارخانه زرمکارون که ما را در تهیه مواد اولیه و انجام آزمایشات یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

این تغییر معنی دار بود ($P < 0.05$). ویسکوزیته برگشت تمایل به رتروگریداسیون نشاسته را منعکس می‌کند که افزایش حداقل ویسکوزیته طی سرد کردن را مهار می‌کند. ویسکوزیته برگشت قابلیت تشکیل ژل یا تمایل به رتروگرید شدن آمیلوز را نشان می‌دهد. از آن جایی که نشاسته ذرت مومی آمیلوز کمتری دارند، مخلوط آرد و نشاسته ذرت مومی ویسکوزیته برگشت کمتری نسبت به مخلوط آرد و نشاسته گندم دارند. این نتایج منطبق با نتایج زیدول و همکاران می‌باشد. در مطالعه آنها افزایش قابل ملاحظه ویسکوزیته پیک مخلوط نشاسته سیب زمینی و آرد با ویسکوزیته برگشت کمتر مرتبط بود.

۴- نتیجه گیری

مقایسه ویسکوزیته نشاسته‌ها با آنالیز سریع ویسکوزیته نشان داد که استیله کردن تمام مشخصات ویسکوزیته (ویسکوزیته اوج، نگهداری، نهایی، افت و برگشت) را افزایش داد و دمای خمیری شدن را کاهش داده است. ویسکوزیته اوج، نگهداری و ویسکوزیته شکست نشاسته ذرت مومی بیشتر از نشاسته گندم بود، در صورتی که ویسکوزیته نهایی و برگشت نشاسته ذرت مومی کمتر از نشاسته گندم بود. مقایسه مشخصات ویسکوزیته مخلوط هریک از نشاسته‌ها و آرد نشان داده است که ویسکوزیته اوج، نگهداری، شکست و ویسکوزیته نهایی مخلوط نشاسته‌های استیله و آرد بیشتر از مخلوط نشاسته‌های طبیعی و آرد بود، اما ویسکوزیته برگشت مخلوط نشاسته‌های استیله و آرد کمتر از

Table 4 Pasting properties (RVA) of starches

Starch	Pasting temperature (°C)	Peak time (min)	Peak viscosity (Cp)	Trough viscosity (Cp)	Final viscosity (Cp)	Breakdown viscosity (Cp)	Setback viscosity (Cp)
NWS	74.20±0.05 ^a	6.54±0.07 ^a	2105.00±3.00 ^d	1546.00±27.00 ^b	2504.33±10.50 ^f	559.00±24.00 ^e	958.33±37.50 ^f
AWS	70.87±0.36 ^b	6.34±0.04 ^b	2603.00±88.00 ^e	1834.33±51.50 ^a	3128.33±23.50 ^b	768.33±139.50 ^e	1294.00±75.00 ^b
NWCS	69.38±1.82 ^c	3.89±0.02 ^c	3601.00±81.00 ^b	1595.00±2.00 ^b	1920.00±57.00 ^d	2006.00±79.00 ^b	658.33±29.30 ^d
AWCS	55.24±3.22 ^d	3.57±0.04 ^d	5562.33±62.50 ^a	1832.33±225.50 ^a	4169.33±111.50 ^a	3730.00±288.00 ^a	2337.00±114.00 ^a

Different superscripts within each column represent significant difference at $P < 0.05$.

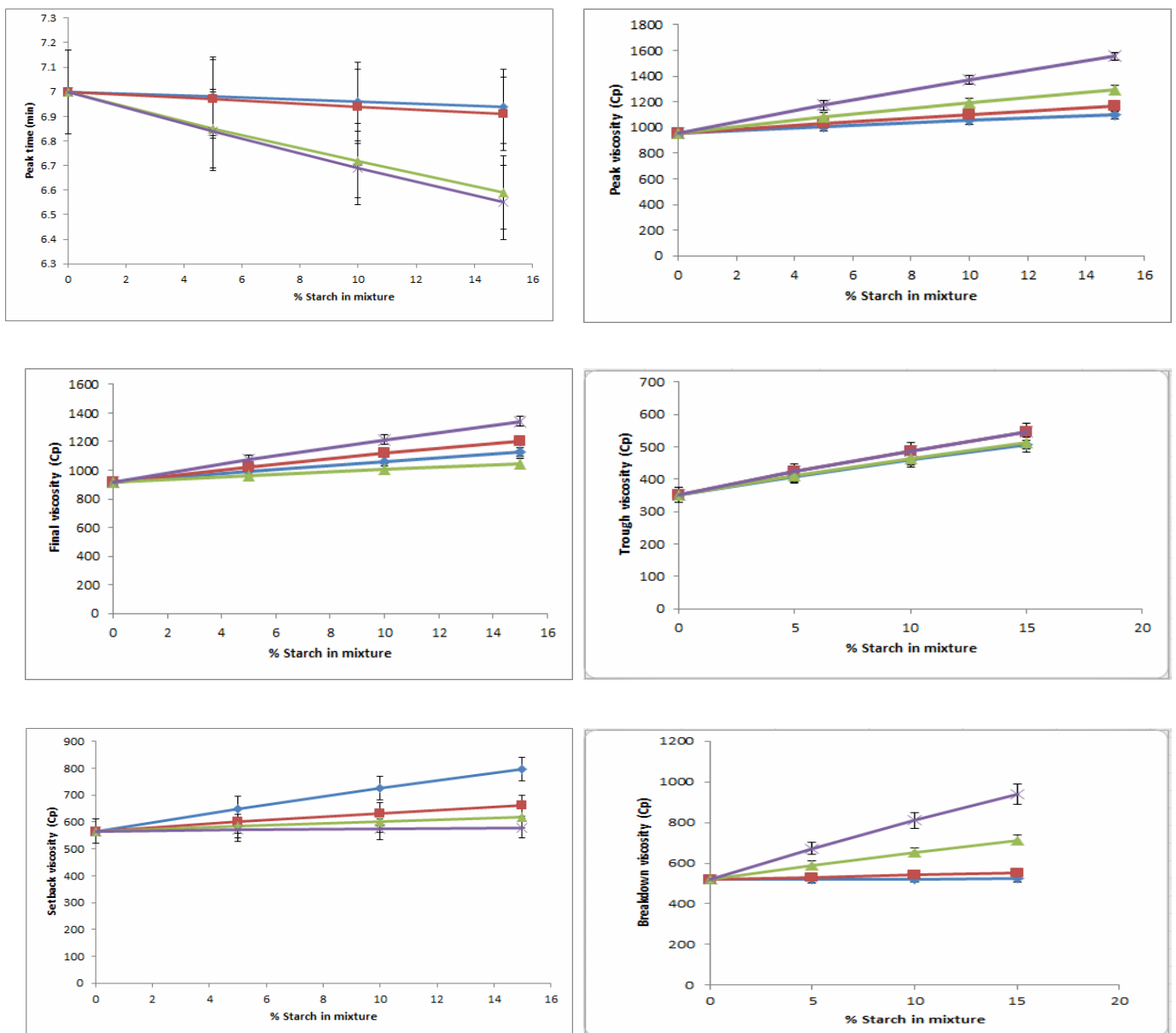


Fig 1 Pasting properties for mixture of wheat flour-NWS (\diamond), wheat flour-AWS (\square), wheat flour-NWCS (\triangle) and wheat flour-AWCS (\ast) at different % of starch.

Hydrocolloids; Food and Pharmaceutical Applications. Iran Agricultural Press. PP. 113-156.

- [3] Rodgers Walt, M.A. (1971). Properties of starch as related to the characteristics of starch-structured breads. A thesis for the degree of Master of Science submitted to Oregon State University. Department of Foods and Nutrition. 168p.

۶- منابع

- [1] Morita, N., Maeda, T., Miyazaki, M., Yamamori, M., Miura, H. and Ohtsuka, I. (2002). Dough and baking properties of high-amylose and waxy wheat flours. *Cereal Chemistry*, 79:491-495
- [2] Farahnaki, A., Majzoubi, M. and Mesbahi, Gh.r. (2009). Starch, production, Properties and Applications. In: *Properties of*

- [14] Swinkels, Ir. J. J. M. (1985). Composition and properties of commercial native starches. *Starch*, 37: 1–5.
- [15] Hung, Ph.V., Maeda, T. and Morita, N. (2007). Dough and bread qualities of flours with whole waxy wheat flour substitution. *Food Research International*, 40 : 273–279.
- [16] Mirmoghtadaee, L., Kadivar, M. and Shahedi, M. (2008). Study on effect of acetylation and cross-linking on modification of physicochemical properties of oat starch, 18th National Congress on Food Technology.
- [17] Singh Sodhi, N. and N. Singh. (2005). Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice starch. *Journal of Food Engineering*.70: 117-127.
- [18] Singh, J., Kaur, L. and McCarthy, O. J. (2007). Factors influencing the physicochemical morphological thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food application- a Review. *Food Hydrocolloid*. 21: 1-22.
- [19] Wickramasinghe, H.A.M., Yamamoto, K., Yamauchi, H. and Noda, T. (2009). Effect of low level of starch acetylation on physicochemical properties of potato starch. *Food Science and Biotechnology*. 18: 118-123.
- [20] Sasaki, T., Yasui, T., and Matsuki, J. (2000). Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation, and pasting properties of starches from waxy and non-waxy wheat and their F₁ seeds. *Cereal Chemistry*. 77: 58-63.
- [21] Wilkins, M. R., Wang, P., Xu, L., Niu, Y., Tumbleson, M. E. and Rausch, K. D. (2003). Variability in starch acetylation efficiency from commercial waxy corn hybrids. *Cereal Chemistry*. 80: 68–71.
- [22] Hung, Ph.V., Maeda, T. and Morita, N. (2006). Waxy and high-amylose wheat starches and flours characteristics, functionality and application-Review. *Trends in Food Science and Technology* 17: 448–456.
- [4] Biliaderis, C. G. (1998). Structures and phase transitions of starch polymers. In: *Polysaccharide association structures in food.*, ed. Walter R. H. pp. 57-168. New York: Marcel-Dekker, Inc.
- [5] Adzahan, N. M. (2002). Modification on wheat, sago and tapioca starches by irradiation and its effect on the physical properties of fish cracker (keropok). *Food Technology*. Selangor, University of Putra Malaysia. Master of Science. 222 p.
- [6] Steve, W. Cui. (2005). *Food carbohydrates: Chemistry, Physical properties, and Application*. Boca Raton: CRC Press, Taylor and Francis Group, United States.
- [7] Miyazaki, M., Van Hunga, P., Maeda, T. and Moritaa, N. (2006). Recent advances in application of modified starches for breadmaking. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 591-599.
- [8] Zaidul, I.S.M., Nik Norulaini, N.A., Mohd. Omar, A.K., Yamauchi, H. and Noda, T. (2007). RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato yam, and cassava starches. *Carbohydrate Polymers*, 69: 784–791.
- [9] AACC. (1999). Approved method of the American Association of cereal chemists. 44-16, 08-01, 46-12, , 30-10. St. Paul, MN: Minnesota, USA: The Association.
- [10] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, ISIRI number. 4797, 4798, 4726, 4728. Available at: <http://www.isiri.org>. (Visited 22 January 2014).
- [11] Hung, Ph.V., 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.
- [12] Jyothi, A. N., Moorthy, S.N. and Rajasekharan, K.N. (2006). Effect of cross-linking with epichlorohydrin on the properties of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) Starch. *Starch*, 58: 292–299.
- [13] Saberi, B. , Majzoobi, M. , Farahnaki, A. (2013). Effect of hydroxypropylation on morphological, rheological and thermal properties of wheat and oat starches. *Journal of Food Science and Technology*, 10: 23-33.

Study of physicochemical properties of normal and acetylated wheat and waxy corn starches and their effects on rheological properties of wheat flour dough

Ebrahimian, M.¹, Azizi, M. H.^{2*}

1. MSc of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. Associate Professor of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

(Received: 2015/02/03 Accepted: 2016/06/22)

Physicochemical and rheological properties of native wheat starch (NWS), acetylated wheat starch (AWS), native waxy corn starch (NWCS) and acetylated waxy corn starch (AWCS) was investigated. Effects of incorporation of 5, 10 and 15% of those starches on rheological properties of wheat flour were determined by using a Rapid Visco Analyzer (RVA). Lower syneresis and higher swelling power were observed in AWCS. The peak, breakdown, final, and setback viscosities of the control wheat flour were lower than those of the control NWS, AWS, NWCS and AWCS. The peak, Trough, breakdown and final viscosity of mixture of wheat with acetylated starches was higher than those of wheat with native starches because of the higher swelling power of acetylated starches than that of native starches whereas the setback viscosity of mixture of wheat with acetylated starches was lower than those of wheat with native starches. The peak and breakdown viscosity of wheat– NWCS and wheat- AWCS mixtures was higher than those of the wheat– NWS and wheat- AWS mixtures whereas the setback viscosity of wheat– NWCS and wheat- AWCS mixtures significantly was lower than those of the wheat– NWS and wheat- AWS. The peak, Trough, final, breakdown and setback viscosity increased as the starch content of the starches in the mixtures increased. The findings in this work provide evidence that acetylated starches specially WCS could be used as a partial substitute for wheat flour in some wheat-based products such as bread.

Keywords: Wheat starch, Waxy corn starch, Acetylated starch, Rheological properties, Wheat flour

* Corresponding Author E-Mail Address: azizit_m@modares.ac.ir