مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

تولید رشته آشی فراسودمند حاوی نشاسته برنج مقاوم به هضم نوع ۳

سونیا کیاء[۱]، سید حسین حسینی قابوس*[۲]، ابوالفضل فدوی[۲]، ابوالقاسم سراج[۳]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی رشته علوم و صنایع غذایی،دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آزادشهر، آزادشهر، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی،دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آزادشهر، آزادشهر، ایران.

۳- استادیار گروه کشاورزی و دامپروری، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۰

کلمات کلیدی:

نشاسته مقاوم،

مایکروویو،

فراصوت،

رشته‌آشی،

نشاسته برنج.

DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51

DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3

* مسئول مکاتبات:

hosseinighaboos@yahoo.com

چکیده

برخلاف روش‌های سنتی فراوری که هدف آنها افزایش هضم‌پذیری غذاست، گرایش اخیر فرآوری مواد غذایی حاوی نشاسته به تدریج به طراحی غذاهای خوش طعم با شاخص گلایسمیک پایین و خواص عملکردی بهبود یافته تغییر پیدا کرده است. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر همزمان فرآیندهای فراصوت/مایکروویو بر میزان تولید نشاسته مقاوم به هضم نوع ۳ (RS3[۱]) در برنج و متعاقبا تولید رشته آشی حاوی سطوح مختلف از RS3 بود. نشاسته تولیدی از لحاظ ریزساختار و ساختار کریستالی ارزیابی و ویژگی‌های رئولوژیکی رشته آشی آنالیز گردید. نتایج نشان داد در سطح اطمینان ۹۵٪ تاثیر خطی هر دو متغیر توان فراصوت و توان مایکروویو و همچنین اثر متقابل دوطرفه توان فراصوت در توان مایکروویو تاثیر معنی‌داری بر روی میزان RS3 نمونه‌های مختلف داشت (p<۰/۰۵). میزان RS3 در تیمارهای مختلف نشاسته برنج در محدوده ۳۱/۶۵ تا ۶۴/۲۹٪ متغیر بود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که دانه‌های نشاسته دارای اشکال چند وجهی یا نامنظم با اندازه در محدوده ۲/۲-۸/۹ میکرومتر بوده و با افزایش توان دو دستگاه و متعاقبا افزایش میزان تولید RS3، ساختاری آمورف شکل گرفت. اعمال تیمار فراصوت/مایکروویو منجر به ایجاد پیک‌های جدید و تغییر شدت پیک‌ها در طیف XRD شد. نتایج آلوئوگراف نمونه‌های رشته آشی حاکی از تغییر معنی‌دار شاخص‌های دستگاهی شامل متوسط حداکثر ارتفاع منحنی، متوسط طول منحنی، شاخص تورم، سطح زیر منحنی، نسبت پیکربندی و شاخص الاستیسیته شد. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از نشاسته مقاوم برنج در سطح ۱۰٪ می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌های تکنولوژیکی رشته آش از لحاظ ویژگی‌های بافتی شده و در نتیجه غنی‌سازی رشته آش در سطح ۱۰٪ RS3 توصیه می‌شود.

1- Resistant starch type 3

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]

[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

۱- مقدمه

برخلاف روش‌های سنتی فراوری که هدف آنها افزایش هضم‌پذیری غذاست، گرایش اخیر فرآوری مواد غذایی حاوی نشاسته به تدریج به طراحی غذاهای خوش طعم با شاخص گلایسمیک پایین و خواص عملکردی بهبود یافته تغییر پیدا کرده است. مواد غذایی حاوی نشاسته مانند برنج بخش مهمی از سبد غذایی مردم را تشکیل می‌دهند. نشاسته براساس قابلیت هضم آن توسط آنزیم‌ها در سه گروه کلی زود هضم، دیر هضم و مقاوم در برابر هضم (RS[1]) تقسیم می‌شود. گروه آخر متشکل از ۵دسته بوده و به بخشی از نشاسته اطلاق می‌شود که پس از ۱۲۰دقیقه انکوباسیون در برابر آنزیم‌های هضم کننده بدون تغییر و هضم نشده باقی می‌ماند. در میان نشاسته‌های مقاوم، نوع ۳ یا نشاسته پسرفته (RS3) به علت پایداری حرارتی بالا مورد توجه است [1]. نشاسته مقاوم به عنوان یک ماده غذایی پری‌بیوتیک عمل کرده و تاثیر مفیدی بر سلامت انسان می‌گذارد [2]. به منظور تولید RS3، بایستی ساختار گرانولی نشاسته توسط حرارت و در حضور آب کافی تخریب شده و زنجیره‌های آمیلوز پس از سرد کردن دوباره به یکدیگر متصل گردند. در طی پسروی نشاسته ژلاتینه شده،آمیلوز دوباره پیوند برقرار کرده که باعث تشکیل کریستال‌های قوی و شکل‌گیریRS3 می‌گردد.

فرایند تشکیل نشاسته مقاوم تحت تاثیر عواملی از جمله شرایط نگهداری، نسبت آمیلوز و آمیلوپکتین، میزان آب، مراحل و شرایط فرایند قرار می‌گیرد. RS3 را می‌توان با استفاده از روش‌های هیدروترمال، تیمار مایکروویو-رطوبت، انشعاب زدایی[2]، فشار بالا و تیمار فراصوت به دست آورد [1,3]. تیمار فراصوت یکی از روشهای غیرمرسوم برای اصلاح نشاسته بوده و می‌تواند بواسطه ایجاد فشار و سرعت موضعی بالا و متعاقبا نیروی برشی، سبب تخریب گرانول‌های نشاسته و کوتاه شدن زنجیرهای طولانی آن و نهایتا تشکیل RS3 شود [4]. مشخص شده است اعمال تیمار فراصوت با شدت ۳۶۰ کیلوهرتز در دمای اتاق به مدت ۳ ساعت به سوسپانسیون نشاسته منجر به کاهش وزن مولکولی در نتیجه جدا شدن زنجیره از ماکرومولکول‌های نشاسته می‌شود [5].

بیشتر مطالعات در مورد تهیه RS3 با مایکروویو در سیستم حاوی آب زیاد انجام شده است. از آنجا که مایکروویو می‌تواند منجر به تولید سریع گرما در طی یک دوره زمانی کوتاه مدت شود، سبب القاء ژلاتیناسیون در ساختار نشاسته شده و RS3 تولید می‌شود [2]. میرلا و مونیکا [6] اثر مایکروویو- رطوبت- فرایند حرارتی را در تغییرات فیزیکوشیمیایی، عملکردی و خواص ساختاری نمونه‌های نشاسته بررسی کرده و پیشنهاد کردند که مکانیسم اثر این فرایند به طور کلی شامل پدیده رهایش دی الکتریک مولکول‌های آب و افزایش سریع دما می‌باشد که منجر به ایجاد فشار ناحیه‌ایی بالا در داخل گرانول‌های نشاسته، انبساط گرانول از مرکز و سپس توسعه آن در کل حجم گرانول شده و در نهایت گرانول تخریب می‌گردد. همچنین تابش مایکروویو می‌تواند منجر به تولید رادیکال‌های آزاد شود که توانایی هیدرولیز شدن پیوندهای گلیکوزیدی مولکول‌های نشاسته را داشته و باعث تسریع تقسیم مولکول‌های بزرگ به اجزاءکوچکتر نشاسته می‌شوند [7,8].

تاکنون پژوهشی به بررسی امکان استفاده همزمان از فراصوت- مایکروویو جهت تولید نشاسته مقاوم نپرداخته است. نظر به این که از یک سو برنج منبع مهمی از انرژی، پروتئین و نشاسته بوده و جایگاه خاصی در سبد غذایی مردم داشته و فراورده‌های غلات مخصوصا محصولات رشته‌های آردی در ایران از میزان مصرف بالایی برخوردار هستند و از سوی دیگر تولید محصولات فراسودمند به سرعت درحال افزایش است، این تحقیق با هدف تولید RS3 از نشاسته برنج با استفاده از روش‌های فراصوت- مایکروویو و سپس استفاده از آن جهت تولید رشته آردی غنی شده انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد مورد استفاده

برنج مورد استفاده در تحقیق حاضر، رقم طارم و وارتیه فجر بود که از بازار محلی شهر گرگان خریداری شد. همچنین آرد گندم از

1 - Resistant starch
2- Debranching

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

شرکت گلها (ایران) و آنزیم آمیلوگلوکوزیداز، بافر MES/TRIS[1] و سود سوزآور از شرکت سیگما آلدریچ (آمریکا) تهیه گردند.

۲-۲- روش استخراج نشاسته برنج

استخراج نشاسته برنج با استفاده از روش خیساندن قلیایی انجام گرفت [9]. بدین صورت که مقدار مشخصی از برنج در آب مقطر خیسانده شد و دانه‌های برنج نرم شده، آبکشی و در محلول سود قرار گرفت . به سوسپانسیون نشاسته بدست آمده فرصت داده شد تا به صورت نشاسته خام رسوب کند. سپس مایع رویی آن تخلیه و رسوب باقی مانده، برای حذف پروتئین، با استفاده از سود شسته شد. شستشو با سود تا ناپدید شدن لایه زرد ادامه داشت. باقیمانده نشاسته با اسید کلریدریک خنثی شد و مجددا با آب مقطر شسته و به مدت ۱۰ دقیقه با دور g ۱۰۰۰۰سانتریفوژ گردید. نشاسته حاصله پس از خشک شدن در دمای اتاق، پودر و تا زمان استفاده در دسیکاتور نگهداری شد.

۲-۳- تولید نشاسته مقاوم به هضم (RS3)

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد از طرح آزمایشی سطح پاسخ برای تولید نشاسته مقاوم به هضم استفاده شد. برای فراصوت، سوسپانسیون ۲ درصد نشاسته تهیه و به مدت ۳۰ دقیقه تحت اولتراسوند قرار گرفت و به منظور حفظ دمای سوسپانسیون در زیر ۲۵درجه سلسیوس، از حمام یخ استفاده گردید. در مورد مایکروویو، سوسپانسیون بدست آمده از تیمار فراصوت در داخل محفظه دستگاه قرار داده شد و طبق طرح آزمایشی تحت اشعه قرار گرفت. مدت زمان فرایند مایکروویو ثابت و معادل ۹۰ ثانیه بود. پس از این مرحله، سوسپانسیون نشاسته در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید.

Table 1- Response surface methodology for production resistance starch

Sample	Ultrasound power (%)	Microwave power (%)	Sample	Ultrasound power (%)	Microwave power (%)
1	100	75	8	60	75
2	60	75	9	60	50
3	31.71	92.67	10	88.28	92.67
4	88.28	57.32	11	20	75
5	31.71	57.32	12	60	75
6	60	75	13	60	75
7	60	100			

1 - 2-(N-morpholino)ethanesulfonic acid/ trisaminomethane

۲-۴- اندازه گیری نشاسته کل

این آزمون به روش آنزیمی و مطابق با روش گونی و همکاران [10] انجام شد. نمونه‌های برنج خام آسیاب شده، مجدداً با استفاده از الک مش ۰/۵ میلی متری الک گردید و مقدار ۲۵ میلی گرم از آن در ۶ میلی لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم ۲ مولار، به مدت ۳۰ دقیقه ورتکس شد. نشاسته حل شده با افزودن ۶۰ میکرولیتر آنزیم آمیلوگلوکوزیداز حاصل از کپک *آسپرژیلوس نایجر* و گرمخانه‌گذاری در درون حمام آب گرم شیکردار (دما ۶۰ درجه سیلسیوس به مدت ۴۵ دقیقه) هیدرولیز گردید. بعد از سانتریفوژ کردن (به مدت ۱۰ دقیقه با دور g ۳۰۰۰)، غلظت گلوکز در مایع رویی با استفاده از کیت گلوکز اکسیداز-پراکسیداز تعیین شد. جذب رنگ در طول موج ۴۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و غلظت گلوکز با اعمال کردن ضریب ۰/۹ به نشاسته تبدیل گردید.

۲-۵- اندازه گیری نشاسته مقاوم به هضم

اندازه‌گیری نشاسته مقاوم بر اساس روش AOAC 991.43 که جهت تعیین فیبر رژیمی کل استفاده می‌شود، انجام گرفت. در این روش ۱ گرم نمونه در ۴۰ میلی لیتر محلول بافر MES/TRISمخلوط شده و با ۵۰ میکرولیتر آنزیم آلفا آمیلاز مقاوم به حرارت به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ الی ۱۰۰ درجه سلسیوس انکوبه گردید. سپس محلول فوق تا دمای ۶۰ °C خنک و پس از افزودن ۱۰۰ میکرولیتر آنزیم پروتئاز به مدت ۳۰ دقیقه در دمای۶۰ درجه سلسیوس نگه‌داری شد. در مرحله بعد، پس از تنظیم pH محلول در محدوده ۴/۸-۴/۱، ۳۰۰ µL آنزیم آمیلوگلوکوزیداز به آن اضافه و دوباره به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۰°C نگه داری شد. سپس اتانول ۹۶٪ به مقدار ۴ برابر حجم محلول به آن اضافه و به مدت یک ساعت جهت رسوب بخش‌های نامحلول، به آن استراحت داده شد. در مرحله آخر، محلول حاصل توسط کاغذ فیلتر واتمن شماره ۴۲ صاف گردید.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

مواد باقی مانده روی کاغذ صافی ابتدا توسط ۱۰ میلی لیتر آب مقطر و سپس توسط اتانول ۹۶٪ و استون شستشه شد و برای خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفت . در مطالعه حاضر نسبت نشاسته مقاوم، از تقسیم وزن بخش باقیمانده خشک شده روی کاغذ صافی به کل وزن نمونه نشاسته اولیه به دست آمد.

۲-۶- اندازه گیری نشاسته قابل هضم

مقدار نشاسته قابل هضم از تفاوت بین نشاسته کل و نشاسته مقاوم محاسبه شد [2].

نشاسته قابل هضم=نشاسته مقاوم - نشاسته کل

۲-۷- آنالیز نمونه های نشاسته

۲-۷-۱-آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM[1])

ویژگی‌های مورفولوژی نمونه‌های نشاسته برنج با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Tescan ساخت چمهوری چک مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور نمونه‌های تیمار شده پس از خشک کردن و آسیاب شدن به پایه آلومینیومی منتقل و تحت پوشش طلا-پالادیوم قرار گرفت. عکس برداری از نمونه‌ها با ولتاژ شتاب دهنده ۲۰ kV انجام شد.

۲-۷-۲- آزمون پراش اشعه ایکس (XRD)

الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های نشاسته برنج در دامنه (2θ) ۴۰-۴ درجه با فاصله زاویه ۰/۰۲ درجه و با شدت ولتاژ ۴۵ کیلوولت توسط دستگاه پراش‌سنج اشعه ایکس unisantis XMD-300 ساخت آلمان تعیین شد. نسبت کریستالی به عنوان نسبت سطح ناحیه کریستالی به کل سطح نمودار محاسبه گردید.

۲-۸- تولید رشته آشی فراسودمند

در این پژوهش برای تهیه رشته آشی فراسودمند از آرد برنج محتوی بالاترین مقدار RS3 به‌عنوان جایگزین آرد گندم با نسبت های (۱۰۰:۰۰، ۹۵:۵، ۹۰:۱۰ ، ۸۵:۱۵ ، ۸۰:۲۰) استفاده شد. تولید رشته آشی فراسودمند با روش بوربورمرادی و همکاران [11] انجام شد. ابتدا مواد اولیه پودری (آردگندم، مالت جو و پوست پرتقال) و نمک حداکثر به مقدار ۴/۵٪ توزین و سپس به وسیله دستگاه همزن مخلوط شده و آب به آرامی به این مواد اضافه شد. سپس مرحله همزدن به مدت ۱۵ دقیقه تا رسیدن به یک خمیر همگن ادامه یافت. درادامه خمیر وارد دستگاه پهن کن شده و پس از تبدیل شدن به قطعات مربع شکل، به مدت ۱۵ دقیقه به آنها استراحت داده شد. در مرحله بعد قطعات مربع شکل خمیر وارد دستگاه برش زن شد و پس از رسیدن به ضخامت مطلوب، به صورت نوارهای باریک بریده شد. سپس رشته‌ها جهت خشک شدن به گرمخانه انتقال داده شد و در نهایت بسته‌بندی گردید.

Table 2- Ash Reshteh Branch formulations

Formulation	Mixing ratio	Wheat flour (gram)	RS (gram)
A	100:00	100	0
B	95:05	95	5
C	90:10	90	10
D	85:15	85	15
E	80:20	80	20

Salt were added at 4.5% (w/w) in all formulation.

۲-۹- آزمون رئولوژیکی خمیر رشته آشی

در این تحقیق ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر رشته آشی توسط دستگاه آلوئولب طبق استاندارد AACC بین المللی به شماره (۵۴-۳۰A) انجام شد و پارامترهای متوسط حداکثر ارتفاع منحنی (p)، متوسط طول منحنی (L)، شاخص تورم[2] (G)، متوسط سطح زیر منحنی(W)، نسبت پیکربندی[3]، اندیس الاستیسیته[4] (le) تعیین گردید.

۲-۱۰- آنالیز آماری

داده‌های به دست آمده از پژوهش حاضر پس از انجام آزمون نرمال بودن، با استفاده از واریانس یک طرفه بر اساس طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه

1 - Field Emission Scanning Electron Microscopy

2 - Index of swelling
3 - Configuration Ratio
4 - Elasticity Index

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

میانگین‌ها با استفاده از رویه GLM نرم افزار SPSS و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی داری ۵ درصد انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- محتوای نشاسته کل برنج

محتوای نشاسته کل برنج در محدوده ۸۱/۴۸-۷۶/۵ درصد تعیین شد نتایج مشابهی بوسیله سایر محققین در مورد محتوای نشاسته ارقام مختلف برنج گزارش شده است. دیپا و همکاران [12] محتوای نشاسته ۳ واریته برنج را در محدوده هندی را در محدوده ۸۹-۷۹ درصد گزارش نمودند. همچنین ردی و بوتمانگ [13] محتوای نشاسته کل در برنج‌های هندی را در محدوده ۸۴-۸۱ درصد گزارش نمودند.

۳-۲- محتوای نشاسته مقاوم به هضم

نتایج مربوط به اندازه‌گیری نشاسته مقاوم در نمونه‌های مختلف در جدول ۳ آمده است. برای تجزیه و تحلیل آماری و بررسی میزان تاثیر هر کدام از متغیرها بر روی پاسخ‌ها مدل درجه دوم کامل بر روی داده‌ها برازش شد. میزان ضریب تبیین[1] (R^2)، ضریب تبیین تعدیل شده[2] (R^2-adj) و ضریب تبیین پیش‌بینی شده[3] (R^2-pred) مدل درجه دوم کامل برای هر پاسخ گزارش گردید.

Table 3- The amount of resistance starch produced in different samples

Sample	Ultrasound power (%)	Microwave power (%)	RS (%)	Sample	Ultrasound power (%)	Microwave power (%)	RS (%)
1	100	75	52.09	8	60	75	43.88
2	60	75	45.71	9	60	50	33.53
3	31.71	92.67	49.85	10	88.28	92.67	64.29
4	88.28	57.32	38.53	11	20	75	36.62
5	31.71	57.32	31.65	12	60	75	46.20
6	60	75	47.18	13	60	75	44.98
7	60	100	59.11				

1 coefficient of determination
2 adjusted coeffiecient of determination
3 predicted coefficient of determination

همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود مقدار R^2، R^2-adj و R^2-pred در مورد میزان نشاسته مقاوم (٪) بالا بوده و مهم‌تر این که مقدار آنها به هم نزدیک است؛ بنابراین می‌توان گفت که این مدل از توانایی قابل قبولی برای برازش داده‌های این پاسخ برخوردار است.

Table 4- Coefficients of the model.

Coefficient	RS (%)
R2	98.78
R2- adj.	97.08
R2-pred.	95.81

مدل درجه دوم کامل در مورد میزان نشاسته مقاوم (٪) به صورت زیر می‌باشد.

$$RS\ (\%) = 20.51 - 0.134\ US\ Power\ (\%) + 0.026\ MW\ Power\ (\%) + 0.000002\ US\ Power\ (\%)*US\ Power\ (\%) + 0.00210\ MW\ Power\ (\%)*MW\ Power\ (\%) + 0.00426\ US\ Power\ (\%)*MW\ Power\ (\%)$$

نتایج نشان داد در سطح اطمینان ۹۵٪ تاثیر خطی هر دو متغیر توان فراصوت و توان مایکروویو و همچنین اثر متقابل دوطرفه توان فراصوت در توان مایکروویو تاثیر معنی‌داری بر روی میزان نشاسته مقاوم نمونه‌های مختلف داشته است ($p<0/05$). عدم برازش این مدل‌ها نیز در تمامی موارد بالاتر از ۰/۰۵ و بی‌معنی بود که این امر نیز به نوبه خود نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در برازش داده‌هاست.

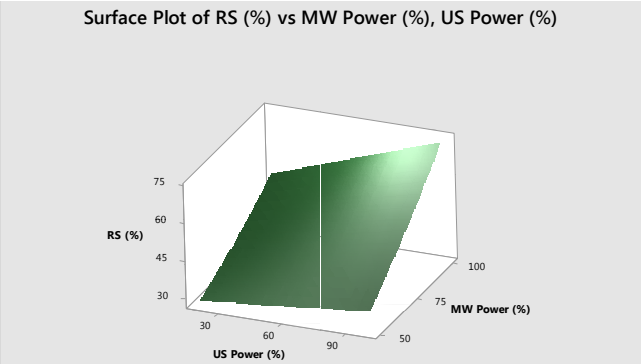

Figure 1- Surface plot of the effect of ultrasound and microwave power on RS production.

همانطور که در نمودار سطحی (شکل ۱) مشخص است، به موازات افزایش توان فراصوت و مایکروویو، میزان نشاسته مقاوم به هضم از ۳۰ تا ۷۵درصد افزایش یافته است. بالاترین میزان تولید نشاسته مقاوم در حداکثر توان فراصوت و مایکروویو می‌باشد.

۳-۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM)

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی در شکل ۲ آمده است. همانطور که درمورد نشاسته خام برنج مشخص است دانه‌های نشاسته برنج دارای اشکال چند وجهی یا نامنظم با اندازه در محدوده ۲/۲-۸/۹ میکرومتر هستند. سایر محققان نیز شکل ظاهری نشاسته برنج را بصورت اشکال کوچک، چند وجهی، گرد یا نامنظم مشاهده کردند [9]. همانطور که مشخص است ریزساختار نمونه‌های نشاسته تیمار شده با استفاده از فراصوت و مایکروویو تفاوت محسوسی با نشاسته خام برنج دارد که در اثر ژلاتینه شدن و پدیده رتروگراسیون، ساختار دانه‌ای از بین رفته و شبکه‌ای پیوسته با شکل نامنظم تشکیل شده است. این افزایش تراکم ساختار کریستالی تا حد زیادی مسئول افزایش مقاومت آن در برابر حمله آنزیمی است.

به بیان دیگر، اعمال فرآیندهای فراصوت و مایکروویو سبب مقاومت نشاسته در برابر حمله آنزیمی و متعاقبا مقاومت در برابر هضم می شود. مشخص شده است در اثر اعمال تیمار فراصوت به گرانول های نشاسته منافذ عمیق و ترک در سطح ذرات ایجاده شده و سطح گرانول‌های نشاسته تحت تیمار با مایکروویو چین و چروک و زبری شکل می‌شوند [14]. در طول فرآیند فراصوت ، تشکیل سریع و متعاقبا تخریب حباب‌های ایجاد شده در طی پدیده کاویتاسیون، سبب آزاد شدن نیروی برشی زیادی شده و باعث آسیب به گرانول‌های نشاسته می‌شود. به صورت همزمان با این تغییرات، لایه بیرونی نشاسته به تدریج از محیط جدا شده که این امر باعث سرعت بخشیدن به سیکل تشکیل/فروپاشی حباب‌های کاویتاسیون می شود [15]. این نتایج با یافته‌های کار و گیل [16] که گزارش کردند گرانول‌های نشاسته گندم، برنج، ذرت و نشاسته جو تحت تیمار با فراصوت به صورت مقعر و ترک خورده روی سطح ظاهر می‌شوند، مطابقت داشت.

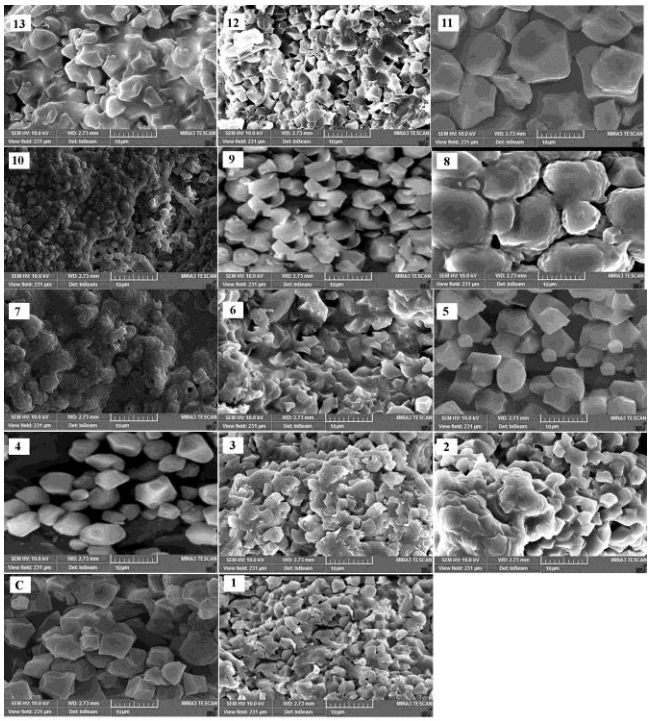

Figure 2- FESEM images of different starch samples (10 kV, magnification 3K).

Formulation	Wheat flour (gram)	RS (gram)
A	100	0
B	95	5
C	90	10
D	85	15
E	80	20

در طی عملیات مایکروویو، در داخل ذرات فشار ایجاد شده و باعث انبساط می‌گردد، اما هیدراتاسیون ذرات نمی تواند با انبساط ذرات هماهنگی داشته باشد و باعث فروپاشی یا حتی پاره‌شدن ذرات می شود [5]. علاوه بر این، مشخص شده‌است سطح گرانول‌های نشاسته که تحت تیمار دوتایی فراصوت/ مایکروویو قرار گرفته‌اند تغییرات شدیدتری را در گرانول‌های تحت تیمار در مقایسه با تیمار منفرد ایجاد می‌کند. وانگ و همکاران [14] گزارش نمودند ریزساختار ذرات تحت تیمار دوتایی فراصوت/ مایکروویو نسبت به ذرات تحت تیمار دوتایی مایکروویو فراصوت که حالت نسبتاً آگلومره را نشان می‌دهند

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

متفاوت است. این ممکن‌است به حساسیت بیشتر ذرات نشاسته نسبت به عملیات مایکروویو نسبت داده‌شود [5]. فشار و حرارت بالا و آنی تولید شده توسط فروپاشی سریع حباب‌ها در عملیات فراصوت باعث تجمع گرانول‌ها میشود.

درخصوص بررسی تاثیر شدت تیمارهای فراصوت و مایکروویو بر ریزساختار نمونه‌های نشاسته، با مقایسه تصاویر FESEM می توان گفت با افزایش توان دو دستگاه و متعاقبا افزایش میزان تولید نشاسته مقاوم، اشکال نشاسته ساختاری آمورف تر نسبت به نمونه شاهد شکل گرفته‌است. پژوهشگران بیان کردند که اعمال تیمار اتوکلاو به نشاسته جهت تولید نشاسته مقاوم باعث ژلاتینه شدن و تخریب آرایش ساختاری گرانول‌های نشاسته شده و وزن مولکولی و محتوای آمیلوز ظاهری را کاهش می‌دهد [17]. نتایج مشابهی بوسیله سایر محققین در خصوص تاثیر فرآیند حرارتی با هدف تهیه نشاسته مقاوم بر نشاسته‌های گیاهی مانند ذرت و جو گزارش شده است [18-20].

۳-۴- پراش اشعه ایکس (XRD)

پراش اشعه ایکس به طور کلی برای تجزیه و تحلیل کیفی انواع کریستالی دانه های نشاسته استفاده می‌شود و براساس این الگوها، ساختار کریستالی نشاسته را می توان به چهار نوع A، B، C و V طبقه‌بندی کرد. علاوه بر این، پراش اشعه ایکس می‌تواند برای تشخیص ساختار کریستال‌های نشاسته مقاوم استفاده شود [21]. شدت پیک حاصل از پراش اشعه ایکس و درجه کریستالی نشاسته منعکس کننده تغییرات در بخش‌های کریستالی و آمورف آن می‌باشد. پیک‌های واضح و تیز مشخصه نشاسته‌ای با بخش‌های کریستالی گسترش یافته و سطح کریستالی کامل است، درحالی که پیک‌های پهن نشان دهنده ساختارهای آمورف می‌باشد که در اثر وجود مناطق کریستالی کوچک و همچنین کریستال‌های ناقص ایجاد می‌شوند. الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های نشاسته مقاوم در شکل ۳ نشان داده شده‌است. همانطور که در پراش مربوط به نشاسته خام مشخص است این منحنی دارای ۴ پیک در ۲θ معادل ۱۵/۰۴، ۱۷/۱۵، ۱۸/۰۳ و ۲۳/۰۸درجه می‌باشد که مشخصه کریستال نوع A می‌باشد. سایر محققان نتایج مشابهی در خصوص الگوی XRD مربوط به نشاسته خام برنج گزارش کرده‌اند [22,23].

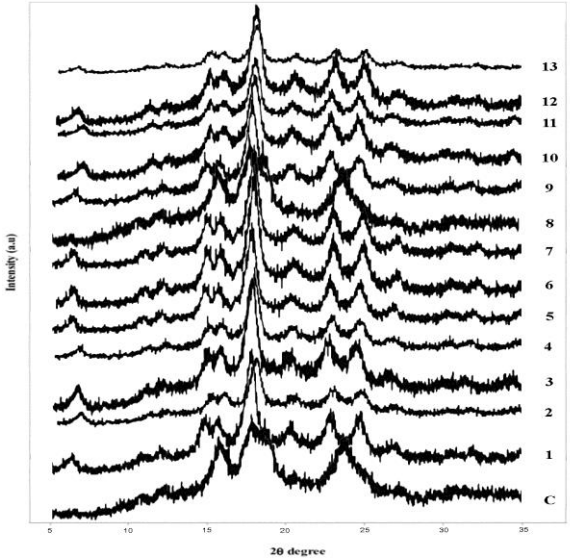

Figure 3- XRD patterns of different starch samples.

Formulation	Wheat flour (gram)	RS (gram)
A	100	0
B	95	5
C	90	10
D	85	15
E	80	20

همانطور که در الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به نمونه‌های تحت تیمار فراصوت/مایکروویو مشخص است، شدت پیک‌ها نسبت به نمونه شاهد تغییر پیدا کرده و همچنین پیک‌های جدیدی ایجاد شده‌است. این موارد نشان دهنده تغییر ساختار کریستالی نمونه‌های نشاسته در اثر فرآیند می‌باشد. همانطور که در شکل ۳ مشخص‌است در همه الگوی‌های XRD نمونه‌های نشاسته تیمار شده پیک‌هایی یکسان در محدوده ۲θ معادل ۵/۶۱، ۱۴/۲۰، ۱۴/۹۷، ۱۷/۱۵، ۱۹/۶۱، ۲۲/۱۸ و ۲۴/۱۱ درجه می‌باشند و تنها شدت و سطح زیر پیک بین نمونه‌ها تغییر کرده‌است. وجود پیک در محدوده ۲θ معادل ۵/۶ درجه نشان‌دهنده ساختار کریستالی نوع B و وجود پیک در محدوده ۲θ معادل ۱۴/۱۵ و ۱۴/۹۵ درجه نشان‌دهنده ساختار کریستالی نوع V می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت تمامی نمونه‌های نشاسته مقاوم دارای ساختاری متشکل از کریستال‌های نوع B و V می‌باشند. نتایج مشابهی بوسیله شاه و همکاران [20]، کای و همکاران [24] و

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

ارلینجن و همکاران [25] گزارش شده است. این محققان به بررسی ساختار کریستالی برنج پخته شده پرداخته و اعلام نمودند پراش اشعه ایکس نشاسته برنج تیمار شده بصورت مخلوطی از کریستال‌های نوع B و V می‌باشد که مقاومت بالایی در برابر هیدرولیز بوسیله آنزیم آلفا آمیلاز دارد.

۳-۵- خواص رئولوژیکی رشته آشی

نتایج مربوط به ارزیابی ویژگی‌های خمیر رشته آش توسط دستگاه آلوئوگراف در جدول ۵ آمده است. متوسط حداکثر ارتفاع منحنی(P)، حداکثر فشار مورد نیاز برای تغییر شکل نمونه‌است. این شاخص معیار مقاومت به کشش سفتی بوده و هرچقدر بیشتر باشد مقاومت خمیر بیشتر خواهد شد [26]. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش مقدار نشاسته مقاوم در فرمولاسیون رشته آشی از ۰ تا ۲۰ گرم به جای آرد گندم(گرم)، شاخص P به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند (P<۰/۰۵). مشخص شده‌است که شاخص P با جذب آب آرد مرتبط‌است، زیرا افزایش سطوح نشاسته آسیب دیده و سبوس که همگی جذب آب را افزایش می‌دهند، P را افزایش می‌دهند. نتایج مشابه بوسیله سایر محققین گزارش شده‌است [27]. بوربورمرادی و همکاران [11] گزارش نمودند استفاده از صمغ زدو در فرمولاسیون رشته آشی سبب افزایش شاخص P می‌شود. مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸، میزان متوسط حداکثر ارتفاع منحنی (مقاومت در برابر تغییر شکل) در نمونه‌های آرد نول می‌تواند ۱۲۰-۷۰ میلیمتر باشد که میزان بهینه آن ۸۰ میلیمتر بیان شده‌است. میزان این شاخص در پژوهش حاضر در محدوده ۱۲۲/۰۸-۹۴/۵۳ میلیمتر بوده که نشان می‌دهد تمامی نمونه‌ها در محدوده تعیین شده توسط استاندارد قرار دارند.

Table 5- Rheological properties of Reshteh Ashi dough samples by Aleograph.

Sample	P	L	G	W	P/L	le (%)
A	94.53±2.29 d	62.11±0.26 a	17.80±0.26 a	266.74±1.09 b	1.52±0.05 e	57.10±2.00 a
B	96.28±0.73 d	55.80±1.00 b	16.86±0.19 b	259.45±1.21 c	1.70±0.11 d	56.39±1.46 a
C	103.29±1.12 c	50.73±0.00 c	16.23±0.09 c	237.27±2.01 d	2.03±0.20 c	52.24±2.11 b
D	113.16±0.48 b	43.45±0.86 d	15.54±0.31 d	223.00±0.94 e	2.60±0.19 b	48.73±1.59 c
E	122.08±1.09 a	36.39±0.53 e	14.29±0.11 e	279.85±3.11 a	3.35±0.13 a	43.00±1.62 a

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]

[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

متوسط طول منحنی (L) در محدوده ۶۲/۱۱-۳۶/۳۹ میلیمتر متغیر بوده و با افزودن نشاسته مقاوم بطور معنی‌داری تغییر کرد (P<۰/۰۵) بطوریکه بالاترین میزان L در تیمار شاهد و پایین‌ترین مقدار در تیمار حاوی بالاترین مقدار نشاسته مقاوم (تیمار E) مشاهده شد. شاخصL را کشش پذیری دو محوره یا کشش پذیری خمیر می‌نامند زیرا معیاری است برای اینکه چقدر می‌توان شبکه خمیر را قبل از پاره‌شدن توسعه داد [26]. کشش دو محوری یک پارامتر مهم در رابطه با کیفیت پخت است زیرا برای جلوگیری از پارگی زودرس غشاهای خمیر بین سلول‌های گاز به کشش کافی نیاز است. قابلیت انبساط خمیر هم به میزان انبساط

ناشی از جریان چسبناک و هم به خواص کشسانی خمیر بستگی دارد. توسعه‌پذیری خمیرهای تولیدشده از آرد گندم از جمله مواردی است که به ساختار شبکه گلوتن و توزیع اندازه مولکولی پلیمرهای گلوتن مرتبط است. همچنین نشان داده شده است که کشش پذیری علاوه بر کیفیت شبکه گلوتن، تحت تأثیر متغیرهای متعددی از جمله ظرفیت جذب آب آرد و محتوای آب در خمیر قرار می‌گیرد [28]. در توافق با نتایج تحقیق حاضر، بوربورمرادی و همکاران [11] گزارش نمودند استفاده از صمغ زدو در فرمولاسیون رشته آشی سبب کاهش معنی‌دار متوسط طول منحنی می‌شود. مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸، میزان متوسط طول منحنی (طول کشیده شدن خمیر) در نمونه‌های آرد نول میتواند ۱۰۰-۷۵ میلیمتر باشد که میزان بهینه آن ۸۸ میلیمتر بیان شده است. میزان این شاخص در پژوهش حاضر در محدوده ۶۲/۱۱-۳۶/۳۹ میلیمتر بوده که نشان می‌دهد از این نظر تمامی نمونه‌ها کمتر از محدوده تعیین شده توسط استاندارد قرار دارند.

شاخص تورم (G) یکی دیگر از معیارهای انبساط است [28]. همانطور که در جدول ۵ آمده است، شاخص تورم نمونه‌های مختلف در محدوده ۱۷/۸۰-۱۴/۲۹ و به ترتیب مربوط به تیمار شاهد و نمونه حاوی ۲۰درصد نشاسته مقاوم بود. تغییرات این شاخص هم راستا با تغییرات متوسط طول منحنی بوده و با افزایش میزان نشاسته مقاوم بطور معنی داری کاهش پیدا کرد (P<۰/۰۵). از آنجایی که شاخص تورم از متوسط طول منحنی محاسبه می‌شود، به همان متغیرهای L وابسته است و تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد. در توافق با نتایج تحقیق حاضر، افشین پژوه و همکاران [29] در بررسی تاثیر افزودن اینولین برخصوصیات رئولوژیکی خمیر ماکارونی بیان نمودند هرچه خمیر، شاخص تورم بالاتری داشته باشد زودتر دچار ترکیدگی میشود. بنابراین بین افزایش مقدار اینولین و افزایش ترکیدگی همبستگی وجود دارد. همچنین بوربورمرادی و همکاران [11] گزارش نمودند تغییرات شاخص تورم همراستا با تغییرات متوسط طول منحنی بوده است. مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸، شاخص تورم (کشش پذیری خمیر) در نمونه‌های آرد نول میتواند ۲۵-۲۰ باشد که میزان بهینه آن ۲۱ بیان شده است. میزان این شاخص در پژوهش حاضر در محدوده ۱۷/۸۰-۱۴/۲۹بوده که نشان می‌دهد نمونه‌های تولیدی حاوی مقدار پایینتری نشاسته مقاوم به هضم می‌باشند.

سطح زیر منحنی (W) به عنوان قدرت آرد، قدرت خمیر، قدرت پخت یا قدرت پروتئین آرد یاد می‌شود [26]. نتایج مربوط به اندازه‌گیری شاخص W در جدول ۵ نشان داده شده است. استفاده از نشاسته مقاوم در فرمولاسیون رشته آشی تا سطح ۱۵درصد سبب کاهش معنی‌دار این شاخص نسبت به نمونه شاهد شده اما با افزایش نشاسته مقاوم تا ۲۰٪، سطح زیر منحنی بطور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند (P<۰/۰۵). شیو و همکاران [30] گزارش نمودند استفاده از نشاسته مقاوم در فرمولاسیون خمیر نان منجر به کاهش معنی‌دار شاخص W می‌شود. با توجه به اینکه نشاسته مقاوم ویژگی‌های گلوتن را ندارد لذا افزایش مقدار آن در فرمولاسیون منجر به کاهش غلظت گلوتن در شبکه خمیر شده و شبکه پروتئینی را تضعیف می‌کند در نتیجه ویژگی‌های کششی خمیر که از گلوتن نشات می‌گیرد تضعیف شده و نهایتا منجر به کاهش قدرت خمیر در هنگام کشیدگی می‌شود. اما در غلظت ۲۰درصد از نشاسته مقاوم، این شاخص بطور معنی‌داری افزایش پیدا کرده‌است. دلیل این امر می‌تواند توانایی نشاسته مقاوم در جذب میزان بالایی آب باشد که منجر

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

به افزایش چسبندگی خمیر شده و نهایتا باعث افزایش توانایی خمیر در اتساع شود. به بیان دیگر، دل نوبی و همکاران [31] اعلام نمودند افزایش استحکام و مقاومت خمیر با افزودن هیدروکلوئیدها را می‌توان، در اثر افزایش تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل هیدروکلوئیدها با آب و آرد و در نتیجه تشکیل کمپلکس محکم هیدروکلوئید با گلوتن دانست [28]. در توافق با این نتایج، باروس و همکاران [32] گزارش نمودند استفاده از نشاسته مقاوم در فرمولاسیون نان گندم تا سطح ۱۵درصد منجر به کاهش معنی‌دار شاخص W شده اما با افزایش سطح نشاسته مقاوم تا ۲۰٪، W بطور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. بوربورمرادی و همکاران [11] گزارش کردند با افزایش میزان صمغ زدو در فرمولاسیون رشته آشی منجر به افزایش متوسط سطح زیر منحنی می‌شود. از نگاه فن آوری، نصیری و همکاران [33] در بررسی تاثیر ایزوله پروتئین سویا بر ویژگی‌های ماکارونی بیان کردند با افزایش زمان تخمیر میزان سطح زیر منحنی یا انرژی کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه باید مراحل تخمیر را کوتاه نمود تا خمیر سریع‌تر وارد مرحله فراوری شود.

نسبت پیکربندی (P/L) در محدوده ۱/۵۲ تا ۳/۳۵ متغیر بوده و به ترتیب مربوط به تیمار شاهد و رشته حاوی ۲۰درصد نشاسته مقاوم می‌باشد. نسبت P/L با افزایش مقدار نشاسته مقاوم از ۰ تا ۲۰درصد بطور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (P<۰/۰۵). مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸، نسبت پیکربندی (نسبت مقاومت به کشش/ ضریب ایندکس) در نمونه‌های آرد نول میتواند ۰/۹۲–۱/۲۸ باشد که میزان بهینه آن ۰/۹۲ بیان شده است. میزان این شاخص در پژوهش حاضر در محدوده ۱/۵۲ تا ۳/۳۵ بوده که نشان می‌دهد این نسبت در همه نمونه‌های تولیدی بالاتر از محدوده تعیین شده توسط استاندارد قرار دارند. نسبت P/L بالا نشان‌دهنده یک خمیر مقاوم و غیر قابل انبساط است در حالی که P/L پایین نشان‌دهنده خمیر ضعیف و کشش پذیر است [34]. ابوحامد و همکاران [35] دریافتند که P/L نمی تواند برای تشخیص بین کیفیت آرد استفاده شود مگر اینکه آردها دارای مقادیر W بالا باشند که منجر به P/L بالا می شود. راستی و همکاران [36] در بررسی تاثیر بتاگلوکان جو بر برخی خواص رئولوژیکی آرد گندم بیان نمودند با افزایش میزان بتاگلوکان مقاومت خمیر نسبت به کشش افزایش میابد که ناشی از قوی بودن شبکه گلوتنی خمیر و افزایش استحکام آن است.

پارامتر Ie یا شاخص الاستیسیته نسبت بین فشار ۴۰ میلی متر پس از شروع منحنی در محور L و بیشینه فشار می‌باشد و بر حسب درصد اندازه‌گیری می‌شود [26] .شاخص الاستیسیته نمونه‌های مختلف رشته آشی در محدوده ۴۳ تا ۵۷/۱۰ درصد و به ترتیب مربوط به نمونه حاوی ۲۰درصد نشاسته مقاوم و نمونه شاهد بود (P<۰/۰۵). استفاده از نشاسته مقاوم از صفر تا ۲۰درصد سبب کاهش معنی‌دار این شاخص گردید. مشخص شده است این شاخص توسط ترکیبات مختلف آرد و همچنین افزودن مواد مختلف تحت تأثیر قرار می‌گیرد [37]. شاخص کشسانی آرد باید بسته به نوع محصول در محدوده خاصی باشد و مقادیر بسیار بالا و پایین Ie مطلوب نیستند. مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸، نسبت پیکربندی در نمونه های آرد نول می‌تواند ۵۵–۴۵ درصد باشد که میزان بهینه آن ۵۰ درصد بیان شده است. میزان این شاخص در پژوهش حاضر در محدوده ۴۳ تا ۵۷/۱۰ درصدبوده که نشان می‌دهد شاخص الاستیسیته در تمامی تیمارها در محدوده استاندارد قرار دارند. درتوافق با نتایج تحقیق حاضر، بوربورمرادی و همکاران [11] گزارش نمودند استفاده از صمغ زدو در فرمولاسیون رشته آشی سبب کاهش معنی‌دار شاخص الاستیسیته از ۵۴/۴۰درصد در مورد نمونه شاهد تا ۴۹/۴۰درصد در مورد نمونه رشته حاوی صمغ زدو گردید.

۴- نتیجه گیری

افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان سبب افزایش تقاضا برای غذاهای فراسودمند شده و باتوجه به نقش پررنگ محصولات آردی در سبد غذایی مردم، توسعه فراورده‌های فراسودمند برپایه این محصولات ضروری است. در تحقیق حاضر تولید نشاسته مقاوم از آرد برنج و استفاده از آن در فرمولاسیون رشته آشی بعنوان محصولی فراسودمند مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

اعمال همزمان تیمارهای فراصوت/مایکروویو به برنج منجر به تولید نشاسته مقاوم شده و محتوای نشاسته مقاوم و همچنین ساختار گرانول‌ها به طور معنی‌داری تحت تاثیر شدت هر دو فرایند قرار گرفت. افزودن سطوح مختلف نشاسته مقاوم به فرمولاسیون رشته آشی سبب تغییر در ویژگی‌های رئولوژیکی آن شد بطوریکه متوسط حداکثر ارتفاع منحنی، متوسط طول منحنی، شاخص تورم، سطح زیر منحنی، نسبت پیکربندی و شاخص الاستیسیته تغییر معنی‌داری داشت. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از نشاسته مقاوم برنج در سطح ۱۰٪ با توجه به استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸ می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌های تکنولوژیکی رشته آش از لحاظ ویژگی‌های بافتی شده در نتیجه غنی‌سازی رشته آش در سطح ۱۰٪ توصیه می‌شود.

منابع

[1] Hashemi, M., Mazaheritehrani, M., Razavi, S. M. A., & Milani, E. (2019). Evaluation of physicochemical and functional properties of corn resistant starch prepared by autoclaving method. Innovative Food Technologies, 6(2), 187-200.

[2] Fan, D., L. Wang, W. Chen, S. Ma, W. Ma, X. Liu, J. Zhao, and H.Zhang. (2014). Effect of microwave on lamellar parameters of rice starch through small-angle X-ray scattering. Food Hydrocolloids 35 (3):620–6.

[3] Falsafi, R., Maghsudloo, Y., Alami, M., Jafari, M., (2018). The effect of acid hydrolysis process with the help of ultrasound along with thermal-moisture process on the physicochemical characteristics and digestibility of corn starch. Food Science and Technology, 15: 357-367.

[4] Jambrak, A. R., Z. Herceg, D. Subaric, J. Babic, M. Brncic, S. R. Brncic, T. Bosiljkov, D. Cvek, B. Tripalo, and J. Gelo. (2010). Ultrasound effect on physical properties of corn starch. Carbohydrate Polymers 79 (1):91–100.

[5] Zhao, B., Sun, S., Lin, H., Chen, L., Qin, S., Wu, W., ... & Guo, Z. (2019).

[6] Physicochemical properties and digestion of the lotus seed starch-green tea polyphenol complex under ultrasound-microwave synergistic interaction. Ultrasonics sonochemistry, 52, 50-61.

[7] Mirela, B., and R. N. Monica. (2014). Behaviour of starch exposed to microwave radiation treatment. Starch-St€arke 66 (1–2):3–14.

[8] Kim, H. Y., S. S. Park, and S. T. Lim. (2015). Preparation, characterization and utilization of starch nanoparticles. Colloids and Surfaces B 126:607–20.

[9] Yang, Q., L. Qi, Z. Luo, X. Kong, Z. Xiao, P. Wang, and X. Peng.(2017). Effect of microwave irradiation on internal molecular structure and physical properties of waxy maize starch. Food Hydrocolloids 69: 473–82.

[10] Ashwar, B. A., Shah, A., Gani, A., Rather, S. A., Wani, S. M., Wani, I. A., ... & Gani, A. (2014). Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties of alkali-extracted rice starch. Radiation Physics and Chemistry, 99, 37-44.

[11] Gon˜i, I., Garcia-Alonso, A., Saura-Calixto, F. (1997).A starchy hydrolysis procedure to estimate glycemic index. Nutrition Research, 17, 427–437.

[12] Boorboormoradi, Z., & Nateghi, L. (2020). Investigating the effects of addition of zedo gum on physicochemical, sensory, rheological and colorimetric properties of low salt Ashi noodle.

[13] Deepa, G., Singh, V., & Naidu, K. A. (2010). A comparative study on starch digestibility, glycemic index and resistant starch of pigmented (‘Njavara’and ‘Jyothi’) and a non-pigmented (‘IR 64’) rice varieties. Journal of food science and technology, 47(6), 644-649.

[14] Reddy, D. K., & Bhotmange, M. G. (2013). Isolation of starch from rice (Oryza sativa L.) and its morphological study using scanning electron microscopy. International Journal of Agriculture and Food Science Technology, 4(9), 859-866.

[15] Wang, M., Wu, Y., Liu, Y., & Ouyang, J. (2020). Effect of ultrasonic and microwave dual-treatment on the physicochemical properties of chestnut starch. Polymers, 12(8), 1718.

[16] Yang, Q. Y., Lu, X. X., Chen, Y. Z., Luo, Z. G., & Xiao, Z. G. (2019). Fine structure, crystalline and physicochemical properties of waxy corn starch treated by ultrasound irradiation. Ultrasonics sonochemistry, 51, 350-358.

[17] Kaur, H., & Gill, B. S. (2019). Effect of high-intensity ultrasound treatment on nutritional, rheological and structural properties of starches obtained from different cereals. International journal of biological macromolecules, 126, 367-375.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]
[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

alveograph parameters. Scientific reports, 11(1), 1-10.

[30] Afshin Pajoh, R., Saediasl, M.R., Abdolahzadeh, A., Enayati, A., Amini, M. and Yaghobi, A. (2011). The effect of inulin on the rheological properties of pasta dough. Journal of Food Science and Technology of Iran, 4(3), 27-16.

[31] Shyu, Y. S., Hwang, J. Y., Huang, T. C., & Sung, W. C. (2018). Effect of resistant starch on physicochemical properties of wheat dough and bread. Journal of Food and Nutrition Research, 6(5), 335-340.

[32] Del Nobile, M. A., Baiano, A., Conte, A., & Mocci, G. (2005). Influence of protein content on spaghetti cooking quality. *Journal of Cereal Science*, *41*(3), 347-356.

[33] Barros, J. H., Telis, V., Taboga, S., & Franco, C. M. (2018). Resistant starch: Effect on rheology, quality, and staling rate of white wheat bread. *Journal of food science and technology*, *55*(11), 4578-4588.

[34] Naseri, A. R., Taslimi, A., Seyedin, S. M., Haratiyan, P. and Abadi, A. R. (2009). Study of the effect of soy protein isolate on macaroni characteristics. Journal of Food Science and Technology of Iran, 2(6), 11-1.

[35] Bordes, J., Branlard, G., Oury, F. X., Charmet, G., & Balfourier, F. (2008). Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection. Journal of cereal science, 48(3), 569-579.

[36] AbuHammad, W. A., Elias, E. M., Manthey, F. A., Alamri, M. S., & Mergoum, M. (2012). A comparison of methods for assessing dough and gluten strength of durum wheat and their relationship to pasta cooking quality. International Journal of Food Science & Technology, 47(12), 2561-2573.

[37] Rasti, S., Azizi, M.H. and Abbasi, S. (2011). Effects of barley β-glucan on some rheological properties of wheat flour.Journal of Food Science and Technology of Iran, 4(6), 58-51.

[38] Huen, J., Börsmann, J., Matullat, I., Böhm, L., Stukenborg, F., Heitmann, M., ... & Arendt, E. K. (2018). Pilot scale investigation of the relationship between baked good properties and wheat flour analytical values. European Food Research and Technology, 244(3), 481-490.

[18] Espinosa-Solis, V., Zamudio-Flores, P. B., Espino-Díaz, M., Vela-Gutiérrez, G., Rendón-Villalobos, J. R., Hernández-González, M., ... & Ortega-Ortega, A. (2021). Physicochemical characterization of resistant starch type-iii (Rs3) obtained by autoclaving malanga (xanthosoma sagittifolium) flour and corn starch. *Molecules*, *26*(13), 4006.

[19] Dundar, A. N., & Gocmen, D. (2013). Effects of autoclaving temperature and storing time on resistant starch formation and its functional and physicochemical properties. Carbohydrate polymers, 97(2), 764-771.

[20] Lertwanawatana, P., Frazier, R. A., & Niranjan, K. (2015). High pressure intensification of cassava resistant starch (RS3) yields. Food chemistry, 181, 85-93.

[21] Shah, A., Masoodi, F. A., Gani, A., & Ashwar, B. A. (2016). In-vitro digestibility, rheology, structure, and functionality of RS3 from oat starch. Food chemistry, 212, 749-758.

[22] Wang, R., Li, M., Strappe, P., & Zhou, Z. (2021). Preparation, structural characteristics and physiological property of resistant starch. In Advances in Food and Nutrition Research (Vol. 95, pp. 1-40). Academic Press.

[23] Zhang, T., Li, X., Chen, L., & Situ, W. (2016). Digestibility and structural changes of waxy rice starch during the fermentation process for waxy rice vinasse. Food Hydrocolloids, 57, 38-45.

[24] Luengwilai, K., & Beckles, D. M. (2009). Structural investigations and morphology of tomato fruit starch. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(1), 282-291.

[25] Cai, L., Shi, Y. C., Rong, L., & Hsiao, B. S. (2010). Debranching and crystallization of waxy maize starch in relation to enzyme digestibility. Carbohydrate Polymers, 81(2), 385-393.

[26] Eerlingen, R. C., Deceuninck, M., & Delcour, J. A. (1993). Enzyme-resistant starch. II. Influence of amylose chain length on resistant starch formation. Cereal chemistry (USA).

[27] Dubois, M., Dubat, A., & Launay, B. (2016). *AlveoConsistograph Handbook*. Elsevier.

[28] Alava, J. M., Sahi, S. S., Garcia-Alvarez, J., Turo, A., Chavez, J. A., Garcia, M. J., & Salazar, J. (2007). Use of ultrasound for the determination of flour quality. Ultrasonics, 46(3), 270-276.

[29] Jødal, A. S. S., & Larsen, K. L. (2021). Investigation of the relationships between the

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-07-18]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3]

[DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51]

Production of functional Ash Reshteh containing rice resistance starch type III

Sonia Kia[1], Seyyed Hossein Hosseini Ghaboos*[1], Abolfazl Fadavi[1], Abolghasem Seraj[2]

1- Department of Food Science and Engineering, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr , Iran

2- Department of Agricultural and Animal Science, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

ABSTRACT

Unlike the traditional processing methods, whose goal is to increase the digestibility of food, the recent trend of food processing containing starch has gradually changed to design foods with low glycemic index. The aim of this study was to investigate the simultaneous effect of ultrasound/microwave processes on the production of resistant starch type 3 (RS3) in rice and subsequently the production of Reshteh Ashi containing different levels of RS3. The produced starch was evaluated in terms of microstructure and crystal structure, and the rheological characteristics of Reshteh Ashi were analyzed. The results showed that at the 95% confidence level, the linear effect of both the ultrasonic power and microwave power variables, as well as the two-way interaction of ultrasonic power and microwave power, had a significant effect on the amount of RS3 in different samples ($p<0.05$). The amount of RS3 in different treatments of rice starch varied from 31.65 to 64.29%. The SEM studies showed that the starch granules had polyhedral or irregular shapes with a size in the range of 2.2-9.8 µm and an amorphous structure was formed by increasing the power of the two devices and subsequently increasing the amount of RS3 production. The application of ultrasound/microwave treatment led to the creation of new peaks and changes in the intensity of the peaks in the XRD spectrum. Alveograph results of Reshteh Ashi samples showed a significant change in the indices, including maximum overpressure, average abscissa to rupture, swelling index, area under the curve, configuration ratio and elasticity index. The results of this research showed that the use of resistant rice starch at the level of 10% can improve the technological characteristics of Reshteh Ashi in terms of textural characteristics, and as a result, the enrichment of Reshteh Ashi at the level of 10% RS3 is recommended.

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 2023/1/7
Accepted :2023/4/9

Keywords:

resistant starch,
microwave,
ultrasound,
Reshteh Ashi,
rice starch.

DOI: 10.22034/FSCT.20.136.51
DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.136.5.3

*Corresponding Author E-Mail:
hosseinighaboos@yahoo.com