

# مقایسه خصوصیات تورمی، بافتی و رئولوژی پخت برنج (طارم محلی) برداشت شده از شهرستان‌های ساری، فریدونکنار و نوشهر استان مازندران

رضا فرهمندفر<sup>۱\*</sup>، مریم اثنی عشری<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران  
 ۲- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران  
 (تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۰۳ / تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۰۴)

## چکیده

برنج یک محصول غذایی برجسته است که غذای بیش از نیمی از جمعیت جهان را تأمین می‌کند. علی‌رغم تنوع رفتار پخت در ارقام مختلف برنج، مناطق مختلف کشت یک نوع رقم نیز بر ویژگی‌های پخت برنج تأثیرگذارند. لذا در این تحقیق، اثر مناطق مختلف کشت بر ویژگی‌های شیمیایی، قدرت تورم، حلالیت و نیز خصوصیات رئولوژی و بافتی رقم طارم محلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برنج‌های طارم محلی شمال ایران دارای محتوای آمیلوزی متوسط (۲۵-۲۰٪) و درجه ژلاتینی شدن مناسب (۳-۵) می‌باشد که این امر نشان دهنده کیفیت بالای طارم محلی است. از طرف دیگر، برنج منطقه فریدونکنار دارای پایین‌ترین محتوای پروتئین، چربی، آمیلوز و درجه ژلاتینی شدن و بیشترین میزان قدرت تورم و حلالیت می‌باشد ( $P < 0/05$ ). برنج منطقه فریدونکنار، بیشترین میزان ویسکوزیته ماکزیمم، ویسکوزیته مینیمم، ویسکوزیته شکست، چسبندگی و پیوستگی و کمترین میزان ویسکوزیته نهایی، ویسکوزیته بازگشت، زمان ماکزیمم، سفتی و ارتجاعیت را به خود اختصاص داد ( $P < 0/05$ ). لذا می‌توان گفت فریدونکنار بهترین منطقه کشت برنج طارم محلی در استان مازندران است.

کلید واژگان: کیفیت پخت، قدرت تورم، حلالیت، خواص رئولوژی، خواص بافتی

\* مسئول مکاتبات: r.farahmandfar@sanru.ac.ir

## ۱- مقدمه

در دنیا، برنج (*Oryza sativa* L.) به عنوان یک محصول غذایی مهم محسوب می‌شود به طوری که در بین غلات، پس از گندم بیشترین مصرف غذایی را به خود اختصاص می‌دهد. در آسیا یعنی جایی که در حدود ۹۵٪ از برنج دنیا تولید و مصرف می‌شود، این محصول ۴۰ الی ۸۰ درصد کالری رژیم غذایی را تأمین می‌کند [۲۱]. برنج یک محصول اساسی در ایران می‌باشد به طوری که تولید سالیانه آن رو به افزایش است [۳]. در بین ارقام مرسوم تولیدی در شمال ایران، رقم طارم محلی دارای راندمان تولید پایین‌تر (نسبت به ارقام پرمحصول) است ولی مقدار عمده آن به صورت برنج قابل مصرف (برنج رومیزی) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴]. برای تهیه برنج‌های رومیزی باید برنج در آب پخت شود تا به صورت نرم در بیاید و تنها بعد از آن برای سرو کردن مناسب خواهد بود. در واقع هنگام پخت (در آب اضافی)، برنج شروع به جذب آب می‌کند لذا یک سری تغییرات فیزیکوشیمیایی در برنج در اتفاق می‌افتد که این رفتار بسته به رقم برنج، زمان برداشت، منطقه برداشت، اندازه و شکل دانه برنج، ترک و مناطق گچی در آن، دمای ژلاتینی شدن، محتوای پروتئینی، محتوای آمیلوز، ساختار نشاسته و غیره متفاوت است [۶۵].

رابطه مثبت وجود دارد، بنابراین از فاکتور درجه حرارت ژلاتینی شدن می‌توان برای تعیین زمان پخت استفاده کرد [۱۰]. Yu و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته و آرد چهار رقم مختلف برنج پرداختند. این محققین گزارش دادند که خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته و آرد برنج به محتوای آمیلوزی آنها وابسته است [۱۱]. Falade و Christopher (۲۰۱۵) خصوصیات فیزیکوشیمیایی نشاسته و آرد شش رقم برنج را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که درجه سفیدی و روشنایی نشاسته بیشتر ولی قدرت تورم و حلالیت آن کمتر از آرد می‌باشد. خصوصیات خمیری و حرارتی نشاسته و آرد برنج در این شش رقم، نسبت به یکدیگر متفاوت بود [۱۲]. علی رغم تنوع رفتار پخت در ارقام مختلف برنج، مناطق مختلف کشت یک نوع رقم نیز بر ویژگی‌های پخت برنج تأثیرگذارند. در دنیا و خصوصاً در ایران تحقیقات محدودی در این زمینه انجام شده، از این رو در این تحقیق تلاش بر آن است که اثر مناطق مختلف کشت برنج در مازندران بر ویژگی‌های پخت برنج طارم محلی مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- تعیین ویژگی‌های شیمیایی

در این پژوهش به منظور بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و کیفیت پخت برنج و به کمک مرکز تحقیقات برنج کشور، رقم طارم محلی از سه منطقه مختلف مازندران یعنی شهرهای ساری، فریدونکنار و نوشهر تهیه شد. روش Little و همکاران (۱۹۵۸) برای تعیین درجه ژلاتینی شدن مورد استفاده قرار گرفت [۱۳]. میزان آمیلوز، با استفاده از روش کالرومتریک در طول موج ۶۲۰ نانومتر و با تشکیل کمپکس ید- نشاسته انجام گرفت [۱۴]. محتوای پروتئین به روش میکروکجدال و محتوای لیپید به روش سوکسله انجام شد [۱۵].

## ۲-۲- بررسی قدرت تورم و حلالیت برنج در

## دمای پخت

قدرت تورم<sup>۱</sup> (SP) و میزان حلالیت<sup>۲</sup> (S) نمونه‌های برنج بر اساس روش Li و Yeh (۲۰۰۱) با اندکی تغییر تعیین شد [۱۶]. در ابتدا دیسپرسیون آرد برنج با غلظت ۲۵٪

محققین مختلفی به بررسی ویژگی‌های برنج پرداختند. Lee و Osman (۱۹۹۱) گزارش دادند که قدرت تورم نشاسته برنج به ظرفیت نگهداری آب نشاسته به وسیله پیوند هیدروژنی بستگی دارد. هنگامی که پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های نشاسته با حرارت شکسته می‌شود پیوند هیدروژنی با آب جایگزین آن می‌شود [۷]. در تحقیقی با بررسی نقش لیپید برنج در پخت و پز به این نتیجه رسیدند که در ارقامی با میزان آمیلوز مشابه ایجاد کمپلکس بین آمیلوز و لیپید می‌تواند بر خواص ژلاتینی شدن تأثیر بگذارد. این عامل باعث استحکام بیشتر ساختار کریستالی نشاسته می‌شود و انرژی بیشتری برای غلبه بر آن در حین پخت نیاز است [۸]. Zhou و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی نقش محتوای آمیلوز و سفتی بافت برنج پرداختند و به این نتیجه رسیدند که برنج با داشتن محتوای آمیلوز بالا پس از پخت دارای بافت سفت و غیرچسبنده، برنج با محتوای آمیلوز پایین پس از پخت دارای بافت نرم و چسبنده است [۹]. Loisel به همراه همکاران خود در سال ۲۰۰۶ با بررسی درجه حرارت ژلاتینی شدن برنج به این نتیجه رسیدند که بین درجه حرارت ژلاتینی شدن و مدت زمان پخت

1. Swelling power  
2. Solubility

درجه سانتیگراد تا ۷:۱۵ دقیقه، کاهش درجه حرارت و رسیدن به ۵۰ درجه سانتیگراد تا ۱۱:۰۶ دقیقه، ثابت شدن درجه حرارت روی ۵۰ درجه سانتیگراد و رسیدن به زمان ۱۲:۳۰ دقیقه. خصوصیات خمیری مختلفی را می‌توان از روی نمودارهای RVA بدست آورد، که این خصوصیات عبارتند از ویسکوزیته ماکزیمم<sup>۳</sup> (PV)، ویسکوزیته مینیمم<sup>۴</sup> (MV)، ویسکوزیته نهایی<sup>۵</sup> (FV)، ویسکوزیته شکست<sup>۶</sup> (BDV)، ویسکوزیته بازگشت<sup>۷</sup> و زمان ماکزیمم (SBV) [۱۷].

## ۲-۴- آزمون خصوصیات بافتی

برای پخت برنج، در ابتدا ۳/۵ گرم نمونه آرد برنج به همراه ۱۴ میلی‌لیتر آب مقطر در داخل یک بشر ریخته و سپس به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب جوش حرارت داده شد. برای اندازه‌گیری بافت، از دستگاه بافت سنج مدل CNS Farnell مجهز به نرم افزار متخصص بافت استفاده شد. روش استاندارد دو مرحله‌ای آنالیز پروفایل بافت<sup>۸</sup> (TPA) برای فشرده کردن برنج پخته مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمایش، نمونه‌ها توسط پروب سطح صاف استوانه‌ای شکل به قطر ۱۲/۷ میلی‌متر، با سرعت ۱ میلی‌متر در ثانیه و به فاصله ۲۵ میلی‌متر فشرده شدند. در آزمایش TPA، نمونه به صورت محوری فشرده و سپس این نیروی فشاری برداشته می‌شود و پس از آن دوباره نمونه فشرده و سپس از حالت فشرده خارج می‌شود. به هر سیکل فشردن-برداشتن فشار در اصطلاح یک بایت<sup>۹</sup> می‌گویند لذا هر آزمایش TPA در واقع شامل دو بایت می‌باشد. در آزمایش TPA، نیروی فشاری به عنوان تابعی از میزان فشار (فاصله) رسم می‌شود لذا در این آزمایش دو نمودار نیرو-زمان بدست می‌آید. پارامترهای مختلفی همچون سفتی<sup>۱۰</sup>، پیوستگی<sup>۱۱</sup>، ارتجاعیت<sup>۱۲</sup> و چسبندگی<sup>۱۳</sup> از آنالیز پروفایل بافت برنج بدست می‌آیند [۱۸].

(وزنی/وزنی) تهیه گردید، بدین صورت که ۳/۵ گرم نمونه برنج به همراه ۱۴ میلی‌لیتر آب مقطر در داخل لوله‌های سانتریفوژی (با وزن مشخص) قرار داده و این لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب جوش حرارت داده شد. سپس نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه سرد شد تا دمای آن به دمای اتاق برسد و پس از آن به مدت ۲۰ دقیقه در ۲۶۰۰×g سانتریفوژ گردید. سپس مایع رویی به دقت جدا و در داخل پلیت (با وزن مشخص) ریخته و وزن آن تعیین شد. پلیت حاوی مایع رویی بر روی حمام آب جوش قرار گرفت تا آب آن تبخیر گردد و سپس در آن ۱۰۵ °C تا حصول وزن ثابت، خشک شد. میزان حلالیت (%) و قدرت تورم (گرم/گرم) از فرمول‌های زیر تعیین شدند:

$$S = \frac{W_r}{W} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$SP = \frac{W_t}{W - W_r} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه فوق، S میزان حلالیت (برحسب درصد)، SP قدرت تورم (گرم/گرم)، Wt وزن رسوب مرطوب (برحسب گرم)، Wr وزن مایع رویی خشک شده (برحسب گرم) و W وزن نمونه (برحسب گرم) می‌باشند.

## ۲-۳- بررسی خواص رئولوژی

برای تعیین خصوصیات خمیری برنج از دستگاه رپیدویسکوآنالایزر<sup>۱</sup> (RVA-4، نیوپورت ساینتیفیک، استرالیا)<sup>۲</sup> استفاده گردید. در ابتدا ۳ گرم آرد برنج سفید به همراه ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر در داخل استوانه فلزی دستگاه مربوطه قرار داده شد. دستگاه مذکور در ۱۰ ثانیه اول با ۹۶۰ دور در دقیقه (rpm) شروع به کار نمود و بعد از آن میزان دور در ۱۶۰ دور در دقیقه ثابت شد. درجه حرارت اولیه ۵۰ درجه سانتیگراد بود و طی مراحل به شرح ذیل اندازه‌گیری پارامترهای خمیری در مدت زمان ۱۲/۵ دقیقه انجام شد. این مراحل به ترتیب عبارتند از ثابت بودن درجه حرارت در ۵۰ درجه سانتیگراد تا ۱ دقیقه، افزایش درجه حرارت به صورت خطی تا ۹۵ درجه سانتیگراد و رسیدن به زمان ۴:۴۵ دقیقه، ثابت بودن درجه حرارت در ۹۵

3. Peak viscosity  
4. Minimum viscosity  
5. Final viscosity  
6. Breakdown viscosity  
7. Setback viscosity  
8. Texture Profile Analysis  
9. Bite  
10. Hardness  
11. Cohesiveness  
12. Springiness  
13. Adhesiveness

1. Rapid Visco Analyser (RVA)  
2. RVA-4, Newport Scientific, Australia

## ۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق، تجزیه و تحلیل نتایج در قالب فاکتوریل، با طرح آماری کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد. مقایسه میانگینها با استفاده نرم افزار SPSS و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel صورت پذیرفت.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- خصوصیات شیمیایی

آگاهی از خصوصیات شیمیایی در درک بهتر کیفیت پخت ارقام برنج بسیار مؤثر است. خصوصیات شیمیایی برنج همچون میزان آمیلوز، چربی و پروتئین جهت بررسی تأثیر این عوامل بر کیفیت پخت ارقام مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. میزان درجه ژلاتینی شدن برنج ساری، فریدونکنار و نوشهر به ترتیب ۳/۵۷، ۳/۳۳ و ۳/۵۸ بود. همان طور که

مشاهده می کنید، درجه ژلاتینی شدن ارقام طارم محلی ساری، فریدونکنار و نوشهر در محدوده ۳-۵ قرار دارد که این امر نشان دهنده کیفیت بالای این ارقام است. میزان آمیلوز در برنج ساری با مقدار ۲۲/۳ درصد، در برنج فریدونکنار با مقدار ۲۱/۴ درصد و در رقم نوشهر به میزان ۲۱/۵ درصد در ردیف برنج-های آمیلوز متوسط ۲۵-۲۰٪ قرار می گیرند لذا این برنجها تا مدت ها بعد از پخت، نرم باقی می ماند و بسیاری از مصرف کنندگان (خصوصاً ایرانی) برنجهایی با آمیلوز متوسط را ترجیح می دهند [۱۹]. لذا مناطق مختلف کشت که از نظر دو ویژگی بالا مشابه هستند ولی دارای کیفیت پخت یکسانی نمی باشند، بنابراین به نظر می رسد که عوامل دیگری در تعیین کیفیت پخت ارقام برنج مؤثر باشند. اندازه گیری میزان چربی در سه رقم برنج تفاوت معناداری را نشان داد ( $P < 0.05$ ). برنج ساری با محتوای چربی ۱/۲۸ درصد بیشترین و برنج فریدونکنار با مقدار ۱/۱۳ درصد کمترین میزان چربی را نشان دادند. از طرف دیگر، میزان پروتئین در برنج طارم محلی ساری، فریدونکنار و نوشهر به ترتیب ۸/۲۳، ۸/۰۱ و ۸/۱۷ درصد گزارش شد.

**Table 1** Comparing the chemical properties of *Tarom Mahali* rice from different regions

Chemical properties	<i>Tarom Mahali</i>		
	Sari	Fereydunkenar	Nowshahr
Gelatinization degree	3.57 <sup>a</sup>	3.33 <sup>b</sup>	3.58 <sup>a</sup>
Amylose (%)	22.3 <sup>a</sup>	21.4 <sup>c</sup>	21.5 <sup>b</sup>
Fat (%)	1.28 <sup>a</sup>	1.13 <sup>c</sup>	1.21 <sup>b</sup>
Protein (%)	8.23 <sup>a</sup>	8.01 <sup>b</sup>	8.17 <sup>a</sup>

\* Means within a row with the same lowercase letters are not significantly different at  $P > 0.05$ .

### ۳-۲- قدرت تورم

قدرت تورم دانه برنج به ظرفیت نگهداری آب از طریق پیوند هیدروژنی بستگی دارد. با افزایش دما، جذب آب توسط مولکولهای نشاسته برنج و در نتیجه تورم و میزان منطقه آمورف افزایش و نظم کریستالی کاهش می یابد [۲۰، ۲۱ و ۲۲] و از طرفی پیوندهای درون مولکولی و بین زنجیری مختل و در نتیجه فشردگی کمتر و آزادی حرکت زنجیره های نشاسته روند صعودی به خود می گیرد [۲۳]. از طرف دیگر، پروتئینها که معمولاً در سطح گرانولهای نشاسته برنج قرار دارند، مانع نفوذ

آب به داخل گرانولهای نشاسته برنج شده و قدرت تورم را پایین می آورند. چربیها با ایجاد کمپلکس با آمیلوز سیستم درهم پیچیده ای ایجاد کرده و در مقابل نفوذ آب به داخل گرانولها مقاومت می کنند [۲۴]. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می کنید، نتایج قدرت تورم برنج اختلاف معنی داری بین سه رقم نشان داد به طوری که برنج فریدونکنار با میزان ۱۷/۲۵ درصد قدرت تورم بیشتری نسبت به دو رقم دیگر داشت. با توجه به کمتر بودن میزان پروتئین، چربی و آمیلوز در رقم فریدونکنار علت افزایش قدرت تورم را می توان به آن نسبت داد.

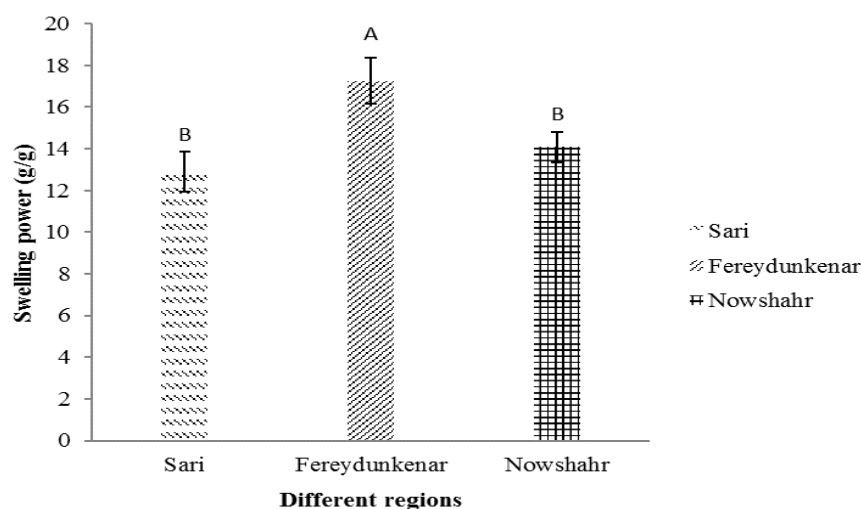


Fig 1 Swelling power of *Tarom Mahali* rice from different regions

(حلالیت) با مدت زمان پخت و نسبت طول به عرض دانه ارتباط مثبتی داشته و با محتوای پروتئین و چربی رابطه معکوسی برقرار می‌کند [۲۵]. قابلیت حل شدن واریته‌های مورد بررسی در شکل ۲ مشاهده می‌شود. برنج فریدونکنار با میزان ۱۵/۴۷ حلالیت بیشتری از خود نشان داد که علت این امر را می‌توان به محتوای پروتئین و چربی پایین نسبت طول به عرض بالاتر برنج فریدونکنار نسبت داد.

### ۳-۳- حلالیت

با افزایش مدت پخت، پیوندهای درون مولکولی و بین زنجیری مختل و در نتیجه فشردگی کمتر و آزادی حرکت زنجیره‌های نشاسته روند صعودی به خود می‌گیرد [۲۳]. علاوه بر این، با افزایش خاصیت هیدروفیلی، نفوذ آب به درون گرانول‌های نشاسته افزایش می‌یابد لذا تراوش مولکول‌های آمیلوز و در نتیجه قابلیت حلالیت روند صعودی به خود می‌گیرد [۲۳]. از لحاظ تئوری مقدار مواد جامد از دست رفته

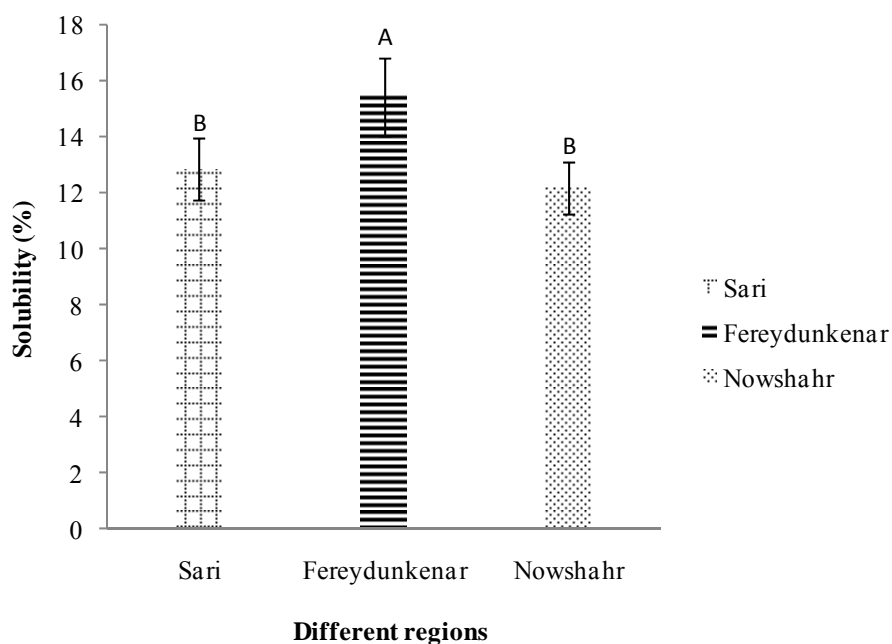


Fig 2 Solubility of *Tarom Mahali* rice from different regions

## ۳-۴- خواص رئولوژی

وقتی در حضور آب اضافی<sup>۱</sup> به گرانول‌های نشاسته تا دمای بالاتر از دمای ژلاتیناسیون حرارت داده شود، پدیده انتقال حرارت و رطوبت روی می‌دهد. در این حالت گرانول‌ها آب را جذب می‌کنند و تا چندین برابر حجم اولیه خود متورم می‌شوند، نظم کریستالی موجود در گرانول‌ها از دست می‌رود و مولکول‌های آمیلوز از درون گرانول به بیرون آن حرکت می‌کنند [۲۰ و ۵]. تغییرات گرانی در طی ژلاتیناسیون و تورم گرانول‌ها را می‌توان به کمک ویسکواپلوگراف برابندر، رپیدویسکوانالایزر (RVA) و یا سایر ویسکومترها ثبت کرد. این ویسکومترها با افزایش، ثابت نگهداشتن (در مدت زمان معین) و کاهش دما تغییرات گرانی را به صورت مداوم بررسی می‌کنند [۵].

در مراحل اولیه، با افزایش دما کریستال‌های آمیلوپکتین شروع به ذوب شدن می‌کنند و دانه‌های برنج هیدراته می‌شوند و ویسکوزیته سریعاً به خاطر تورم گرانول‌های نشاسته افزایش پیدا می‌کند تا به گرانی ماکزیمم برسد. در واقع، شاخص ویسکوزیته ماکزیمم نشان‌دهنده حداکثر قدرت جذب آب و تورم دانه‌های برنج و حداکثر تورم دانه‌های برنج در شرایط مشابه است. در این گرانی، میزان گرانول‌های متورم با گرانول‌های شکسته شده (حاصل از همزدن) برابر است [۲۷ و ۵]. در این پژوهش با توجه به داده‌های جدول ۱ برنج فریدونکنار با داشتن کمترین میزان پروتئین، چربی و آمیلوز، ویسکوزیته ماکزیمم (۳۲۸/۵۷ RVU) بیشتری را نسبت به دو رقم دیگر نشان داد. تصور می‌شود که شبکه تشکیل شده به وسیله پیوند دی سولفیدی پروتئین‌ها احتمالاً می‌تواند به عنوان یک مانع تورم دانه‌های برنج باشند [۲۸]. در مورد نقش چربی (و آمیلوز) بر تورم گرانول نشاسته برنج می‌توان به این نکته اشاره کرد که چربی به شکل منو و دی گلیسرید می‌تواند با آمیلوز تشکیل کمپلکس بدهند که بر تورم دانه‌های برنج اثر منفی دارد. محققین گزارش دادند که نمونه‌هایی با محتوای آمیلوزی کم (نسبت به برنج‌های آمیلوز متوسط و آمیلوز بالا) دارای قدرت تورم بالاتر و در نتیجه گرانی ماکزیمم بیشتر هستند [۲۹ و ۳۰]. Morrison و Tester (۱۹۹۰) گزارش دادند که قدرت تورم گرانول‌های نشاسته به ملکول‌های

آمیلوپکتین وابسته است و مولکول‌های آمیلوز به عنوان مانع کننده عمل می‌کنند [۳۱]. Han و Hamaker (۲۰۰۱) دریافتند که بین محتوای آمیلوزی و قدرت تورم همبستگی منفی وجود دارد [۳۲].

پس از ویسکوزیته ماکزیمم و با افزایش همزدن (در دمای ثابت)، گرانول‌های بیشتری شکاف برمی‌دارند و شکسته می‌شوند لذا گرانی کاهش می‌یابد و به ویسکوزیته مینیمم (خمیر داغ)<sup>۲</sup> (HPV) می‌رسد [۳۳، ۵ و ۳۴]. مقدار ویسکوزیته مینیمم طارم محلی ساری، فریدونکنار و نوشهر به ترتیب برابر RVU ۲۶۰/۵۹، RVU ۲۶۲/۹۳ و RVU ۲۵۶/۱۳ گزارش شد (جدول ۲).

ویسکوزیته شکست در واقع حد فاصل میان ویسکوزیته ماکزیمم و مینیمم است و در تعیین کیفیت نهایی برنج تاثیر زیادی دارد. کاهش میزان ویسکوزیته شکست، نشان دهنده کیفیت نامناسب پخت برنج مورد نظر می‌باشد. محتوای پروتئین و چربی برنج ارتباط معکوس با ویسکوزیته شکست دارد به طوری که با افزایش میزان پروتئین و چربی، مقدار ویسکوزیته ماکزیمم و در نتیجه میزان ویسکوزیته شکست کاهش می‌یابد [۳۵]. محققین بیان کردند که برنج‌های آمیلوز بالا (نسبت به برنج‌های آمیلوز متوسط و پایین) گرانی شکست کمتری از خود نشان می‌دهند که این امر بیانگر پایداری بالاتر گرانول‌های نشاسته آنها است [۲۹ و ۳۰]. نشاسته‌های آمیلوز بالا سفت و محکم هستند لذا پس از اینکه در معرض گرما و تنش برشی قرار می‌گیرند به سرعت دچار پارگی نمی‌شوند [۳۶] و مناطق کریستالی نشاسته‌های آمیلوز بالا به دلیل داشتن زنجیره‌های بلندتر، به انرژی بیشتری برای حلالیت و تخریب ناحیه کریستالی خود نیازمندند [۳۷]. جدول ۲، اثر متقابل مناطق مختلف مازندران را بر روی گرانی شکست نشان می‌دهد. بیشترین گرانی شکست در نمونه‌های طارم محلی فریدونکنار به میزان RVU ۶۵/۶۴ و کمترین آن در نمونه‌های طارم محلی ساری به میزان RVU ۴۷/۴۹ مشاهده شد. بر اساس جدول ۱ و ۲، برنج طارم محلی فریدونکنار با میزان پروتئین، چربی و آمیلوز کمتر دارای گرانی شکست پایین‌تر و در نتیجه کیفیت پخت بهتری می‌باشد.

1. Excess water

2. Hot paste viscosity

**Table 2** Rheological properties of *Tarom Mahali* rice from different regions

Rheological properties	<i>Tarom Mahali</i>		
	Sari	Fereydunkenar	Nowshahr
Peak viscosity	308.08 <sup>b</sup>	328.57 <sup>a</sup>	307.45 <sup>b</sup>
Minimum viscosity	260.59 <sup>a</sup>	262.93 <sup>a</sup>	256.13 <sup>b</sup>
Breakdown viscosity	47.49 <sup>c</sup>	65.64 <sup>a</sup>	51.33 <sup>b</sup>
Final viscosity	394.87 <sup>a</sup>	390.50 <sup>a</sup>	392.07 <sup>ab</sup>
Setback viscosity	134.28 <sup>a</sup>	127.57 <sup>c</sup>	135.94 <sup>a</sup>
Peak time	6.40 <sup>a</sup>	6.27 <sup>c</sup>	6.31 <sup>b</sup>

\* Means within a row with the same lowercase letters are not significantly different at  $P>0.05$ .

محتوای پروتئین و چربی بالاتر موجود در برنج فریدونکنار باعث می‌شود که خواص ژلاتینی شدن به تاخیر بیفتد و در واقع میزان حرارت و متعاقباً مدت زمان بیشتر برای پخت آن نمونه مورد نیاز باشد. پروتئین‌ها گرانول‌های نشاسته را احاطه و از جذب آب توسط دانه برنج در حین پخت جلوگیری می‌کنند لذا هرچه میزان پروتئین بیشتر باشد، لایه احاطه کننده ضخیم‌تر و سرعت ژلاتینه شدن آهسته‌تر خواهد بود [۴۲].

### ۳-۵- خواص بافتی

خواص بافتی ارقام مورد بررسی توسط آنالیز پروفایل بافت (TPA) در جدول ۳ نشان داده شده است. میزان سفتی (حداکثر نیروی اعمال شده در اولین فشار)، در برنج ساری با میزان ۶۳۱ N بیشتر از دو رقم دیگر بود. به طور کلی توانایی تشکیل شبکه ژل توسط زنجیره‌های آمیلوز و عدم تغییر شکل گرانول‌های متورم، فاکتورهای اصلی در سفتی بافت هستند [۴۳ و ۴۴]. Ohtsubo و همکاران (۱۹۹۰) گزارش کردند که محتوای آمیلوز بالا و زنجیره‌های طولانی آمیلوپکتین، تمایل به بافت سفت و از طرف دیگر، برنج با محتوای آمیلوز پایین و زنجیره‌های آمیلوپکتین کوتاه، تمایل به بافت نرم دارند. اثر پروتئین در کیفیت بافت برنج به این صورت است که نفوذ آب به داخل گرانول‌های نشاسته را تنظیم کرده و قدرت جذب آب را در طول فرآیند پخت کنترل می‌کند. پروتئین بالاتر مانع تورم بیشتر و در نتیجه خروج مواد جامد کمتر می‌شود پس برای تشکیل شبکه ژل، به هم پیوستگی مجدد زنجیره‌های آمیلوز با یکدیگر و گرانول‌های باقی مانده نسبت به زمانی که خروج مواد جامد بیشتر است، آسان‌تر و در نتیجه بافت سفت‌تر می‌شود [۴۵]. لذا علت سفت‌تر بودن بافت در طارم محلی ساری را می‌توان به محتوای بالاتر آمیلوز و پروتئین آن نسبت داد.

در مرحله سرد کردن، برخی از مولکول‌های نشاسته دوباره به یکدیگر متصل می‌شوند و تشکیل ژل را می‌دهند، لذا ویسکوزیته در طی سرد کردن روند صعودی به خود می‌گیرد و به ویسکوزیته نهایی (خمیر سرد) (CPV) می‌رسد [۵]. ویسکوزیته نهایی با میزان آمیلوز رابطه مثبت و مستقیمی دارد [۳۵، ۳۸ و ۳۹]. هر چه میزان آمیلوز بیشتر باشد، مقدار ویسکوزیته نهایی بیشتر و در نتیجه دانه برنج پس از پخت خشک و سفت می‌شود. در مقابل در صورت کم بودن میزان آمیلوز، مقدار ویسکوزیته نهایی به حداقل خود رسیده و دانه‌ها پس از پخت نرم و چسبنده می‌شوند لذا دارای کیفیت پخت بهتری می‌باشند [۳۵ و ۳۹]. در میان کلیه نمونه‌ها، مقدار ویسکوزیته نهایی برنج طارم محلی ساری بیشترین و نمونه برنج طارم محلی فریدونکنار کمترین مقدار بود لذا می‌توان انتظار داشت که طارم محلی کیفیت پخت مناسب‌تری را داشته باشد (جدول ۲).

در نمودار RVA با رسیدن به ویسکوزیته نهایی، مفهوم دیگری به نام ویسکوزیته بازگشت نمایان می‌گردد. ویسکوزیته بازگشت در واقع فاصله بین ویسکوزیته نهایی و ویسکوزیته مینیمم است. اساساً پروتئین و چربی باعث افزایش میزان ویسکوزیته بازگشت می‌شوند. از طرف دیگر، محققین به وجود یک رابطه مثبت بین نسبت آمیلوز با گرانروی بازگشت پی برده‌اند [۳۸، ۴۰ و ۴۱]. بررسی نتایج حاصله در جدول ۲ نشان داد که کمترین مقدار گرانروی بازگشت در طارم محلی فریدونکنار (RVU ۱۲۷/۵۷) بدست آمد که علت این امر را می‌توان به محتوای چربی، پروتئین و آمیلوز پایین طارم محلی فریدونکنار نسبت داد.

همان طور که از جدول ۲ پیداست، برنج فریدونکنار زمان کمتری برای رسیدن به ویسکوزیته ماکزیمم نیاز دارد. احتمالاً

**Table 3** Textural properties of *Tarom Mahali* rice from different regions

Textural properties	<i>Tarom Mahali</i>		
	Sari	Fereydunkenar	Nowshahr
Hardness (N)	6731 <sup>a</sup>	2967 <sup>c</sup>	3657 <sup>b</sup>
Adhesiveness (N.s)	0.6 <sup>b</sup>	1.85 <sup>a</sup>	1.10 <sup>b</sup>
Cohesiveness	0.4 <sup>c</sup>	0.66 <sup>a</sup>	0.52 <sup>b</sup>
Springiness	1.18 <sup>a</sup>	0.82 <sup>c</sup>	0.94 <sup>b</sup>

\* Means within a row with the same lowercase letters are not significantly different at  $P > 0.05$ .

شکست روند صعودی به خود می‌گیرد. از طرف دیگر، کاهش میزان آمیلوز باعث کاهش ویسکوزیته بازگشت و ویسکوزیته نهایی می‌گردد و این در حالی است که کاهش چربی و پروتئین باعث افزایش حلالیت و کاهش ویسکوزیته بازگشت می‌شود. ویژگی‌های بافتی نشان داد که افزایش آمیلوز (و پروتئین) تأثیر چشمگیری بر افزایش سفتی و کاهش دانه‌های برنج داشت. با توجه به مطالب فوق، می‌توان گفت فریدونکنار بهترین منطقه کشت برنج طارم محلی در استان مازندران است. از نتایج این تحقیق می‌توان در بهبود شاخص‌های کیفی برنج پخته شده و سایر محصولات که شامل آرد برنج و نشاسته برنج می‌باشند، متناسب با هدف و کاربرد محصول مورد نظر استفاده نمود.

## ۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به دلیل پشتیبانی مالی از این پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با شماره طرح ۰۲-۱۳۹۵-۰۳ و همچنین از تمام افرادی که ما را در انجام این طرح پژوهشی یاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل آورند.

## ۶- منابع

- [1] Razavi, S.M.A. & Farahmandfar, R. 2008. Effect of hulling and milling on the physical properties of rice grains. *International Agrophysics*, 22: 353-359.
- [2] Farahmandfar, R., Farahmandfar, E. & Ramezani, A. 2009. Physical properties of rough rice. *International Journal of Food Engineering*, 5: 40-48.
- [3] FAOSTAT, 2014. FAO statistics division 2015. <http://faostat3.fao.org/home/E>
- [4] Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y., Rafiee, S. & Khomeiri, M. 2007. Study of

نتایج موجود در جدول ۳ نشان داد که برنج فریدونکنار با چسبندگی معادل  $1/85$  N.S، بیشترین میزان این خصوصیت را به خود اختصاص داد. Zhou و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که سفتی و چسبندگی مربوط به فرآیند هیدراتاسیون گرانول نشاسته در طول پخت و پز می‌باشد بدین صورت که گرانول‌های نشاسته برنج، آب را جذب کرده و متورم می‌شوند و گسترش تورم گرانول باعث خروج مواد جامد و در نهایت پارگی می‌گردد. خروج مواد جامد مسئول کاهش سفتی و افزایش چسبندگی نمونه برنج پخته شده می‌باشد [۹]. افزایش آمیلوز باعث استحکام و سفتی ژل و کاهش چسبندگی آن می‌شود زیرا با افزایش نسبت آمیلوز در نشاسته، دسترسی زنجیره‌های آزاد آمیلوز و تجمع مولکول‌ها با فواصل بسیار نزدیک در مناطق اتصال افزایش می‌یابد [۴۳ و ۶۰]. لذا احتمالاً کم بودن میزان آمیلوز در برنج فریدونکنار موجب افزایش چشمگیری میزان چسبندگی آن شده است.

میزان پیوستگی در طارم محلی ساری، فریدونکنار و نوشهر به ترتیب ۰/۴، ۰/۶۶ و ۰/۵۲ و میزان ارتجاعیت در ارقام فوق الذکر به ترتیب ۱/۱۸، ۰/۸۲ و ۰/۹۴ گزارش شد (جدول ۳) لذا برنج فریدونکنار دارای بیشترین میزان پیوستگی (۰/۶۶) و کمترین میزان ارتجاعیت (۰/۸۲) است (برعکس برنج ساری) که علت این امر احتمالاً میزان پایین پروتئین، چربی و آمیلوز است.

## ۴- نتیجه گیری

اگر چه محتوای آمیلوز مهمترین عامل در بررسی کیفیت پخت می‌باشد، اما محتوای پروتئین و چربی نیز در ویژگی‌های کیفی برنج پخته شده مؤثر است. برنج‌های طارم محلی شمال کشور دارای محتوای آمیلوزی متوسط (۲۵-۲۰٪) و درجه ژلاتینی شدن مناسب (۵-۳) می‌باشد که این امر نشان دهنده کیفیت بالای برنج طارم محلی است. با کاهش میزان آمیلوز، پروتئین و چربی میزان قدرت تورم، ویسکوزیته ماکزیمم و ویسکوزیته



- [17] American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods of the AACC, 9th ed. Method 61-01. The Association: St. Paul, MN.
- [18] Karim, A.A., Norziah, M.H. & Seow, C.C. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. *Food chemistry*, 71: 9-36.
- [19] Juliano, B.O. and Villareal, C.P. 1993. Grain quality evaluation of world rices. International Rice Research Institute. Los Banos. Philippines.
- [20] Farahmandfar, R., Mortazavi, S., Kadkhodayi, R., Tabatabaie, Y.F., Kouchaki, A. And Hosseini, M., 2014. Effect of Ultrasound and Temperature on Crystallinity and Microscopic Properties of Rice Starch Granules Suspended in Water Using Response Surface Methodology (RSM). *Journal of Agricultural Engineering Research*. 14(2): 13-24.
- [21] Huang, Z.Q., Lu, J.P., Li, X.H. & Tong, Z.F. 2007. Effect of mechanical activation on physico-chemical properties and structure of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 68: 128-135.
- [22] Luo, Z., Fu, X., He, X., Luo, F., Gao, Q. & Yu, S. 2008. Effect of ultrasonic treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content. *Starch, Stärke*, 60: 646-653.
- [23] Herceg, I.L., Jambrak, A.R., Subaric, D., Brncic, M., Brncic, S.R., Badanjak, M., Tripalo, B., Jezek, D., Novotni, D. & Herceg, Z. 2010. Texture and pasting properties of ultrasonically treated corn starch. *Czech Journal of Food Science*, 28: 83-93.
- [24] Ogawa, Y., Glenn, G.M., Orts, W.J. & Wood, D.F. 2003. Histological structures of cooked rice grain. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51: 7019-7023.
- [25] Bhattacharya, K.R. 2011. Rice quality: A guide to rice properties and analysis. Elsevier.
- [26] Panozzo, J.F. & McCormick, K.M. 1993. The rapid viscoanalyser as a method of testing for noodle quality in a wheat breeding programme. *Journal of Cereal Science*, 17: 25-32.
- [27] Sui, J.M., Li, X., Yan, S., Yan, C.J., Zhang, R. Tang, S.Z., Lu, J.F., Chen, Z.X. & Gu, M.H. 2005. Studies on the rice RVA profile characteristics and its correlation with the quality. *Scientia Agricultura Sinica*, 4: 657-663.
- hydration kinetics and density changes of rice (Tarom Mahali) during hydrothermal processing. *Journal of Food engineering*, 79: 1383-1390.
- [5] Eliasson, A.C. 2004. Starch in food: Structure, function and applications. CRC Press.
- [6] Wang, L. & Wang, Y.J. 2004. Application of high-intensity ultrasound and surfactants in rice starch isolation. *Cereal chemistry*, 81: 140-144.
- [7] Lee, Y.E. & Osman, E.M. 1991. Correlation of morphological changes of rice starch granules with rheological properties during heating in excess water. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 34(4): 379-385.
- [8] Vandeputte, G.E., Derycke, V., Geeroms, J. & Delcour, J.A., 2003. Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *Journal of Cereal Science*, 38: 53-59.
- [9] Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. & Blanchard, C. 2003. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. *Food Research International*, 36: 625-634.
- [10] Loisel, C., Maache-Rezzoug, Z., Esneault, C. & Doublier, J.L., 2006. Effect of hydrothermal treatment on the physical and rheological properties of maize starches. *Journal of Food Engineering*, 73(1): 45-54.
- [11] Yu, S., Ma, Y., Menager, L. & Sun, D.W., 2012. Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars. *Food and bioprocess technology*, 5(2): 626-637.
- [12] Falade, K.O. & Christopher, A.S., 2015. Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 44: 478-490.
- [13] Little, R.R., Hilder, G.B. & Dawson, E.H. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chemistry*, 35: 111-126.
- [14] Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Science*. 16: 334-340.
- [15] AOAC International, 2005. Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International.
- [16] Li, J.Y. & Yeh, A.I. 2001. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *Journal of Food Engineering*, 50: 141-148.

- [38] Delwiche, S.R., McKenzie, K.S. & Webb, B.D. 1996. Quality characteristics in rice by near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. *Cereal Chemistry*, 73: 257-263.
- [39] Reddy, K.R., Ali, S.Z. & Bhattacharya, K.R. 1993. The fine structure of rice-starch amylopectin and its relation to the texture of cooked rice. *Carbohydrate polymers*, 22: 267-275.
- [40] Juliano, B.O., Bautista, G.M., Lugay, J.C. & Reyes, A.C. 1964. Rice quality, studies on physicochemical properties of rice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 12: 131-138.
- [41] Champagne, E.T., Bett, K.L., Vinyard, B.T., McClung, A.M., Barton, F.E., Moldenhauer, K., Linscombe, S. & McKenzie, K. 1999. Correlation between cooked rice texture and rapid visco analyser measurements. *Cereal Chemistry*, 76: 764-771.
- [42] Fitzgerald, M.A., Martin, M., Ward, R.M., Park, W.D. & Shead, H.J. 2003. Viscosity of rice flour: A rheological and biological study. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51: 2295-2299.
- [43] Lu, S., Cik, T.T., Lii, C.Y., Lai, P. and Chen, H.H. 2013. Effect of amylose content on structure, texture and  $\alpha$ -amylase reactivity of cooked rice. *LWT-Food Science and Technology*, 54: 224-228.
- [44] Luyten, H., Vliet, T.V. & Walstra, P. 1992. Comparison of various methods to evaluate fracture phenomena in food materials. *Journal of Texture Studies*, 23: 245-266.
- [45] Ohtsubo, K., Siscar, J.J., Juliano, B.O., Iwasaki, T. & Yokoo, M. 1990. Comparative study of texturometer and Instron texture measurements on cooked Japanese milled rices. *Report of National Food Research Institute (Japan)*, 54: 1-5.
- [46] Tang, M.C. & Copeland, L. 2007. Investigation of starch retrogradation using atomic force microscopy. *Carbohydrate Polymers*, 70: 1-7.
- [28] Okadome, H., Toyoshima, H. & Ohtsubo, K.I. 1999. Multiple measurements of physical properties of individual cooked rice grains with a single apparatus. *Cereal chemistry*, 76: 855-860.
- [29] Farahmandfar, F., Mortazavi, S.A., Tabatabaie-Yazdi, F. and Koochaki, A., 2015. Effect of citric acid on pasting properties and swelling power of low and high amylose rice starch. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 10(4): 299-306.
- [30] Suwannaporn, P., Pitiphunpong, S. & Champangern, S. 2007. Classification of rice amylose content by discriminant analysis of physicochemical properties. *Starch* Stärke, 59: 171-177.
- [31] Tester, R.F. & Morrison, W.R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry*, 67: 551-557.
- [32] Han, X.Z. and Hamaker, B.R. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. *Journal of Cereal Science*, 34: 279-284.
- [33] Champagne, E.T. 2004. Rice: chemistry and technology (No. Ed. 3). American Association of Cereal Chemists.
- [34] Lii, C.Y. & Tsai, M.L. 2000. Effect of Hot-water-soluble Components on the Rheological Properties of Rice Starch. *Starch- Stärke*, 52: 44-53.
- [35] Allahgholipour, M., Ali, A.J., Alinia, F., Nagamine, T. & Kojima, Y., 2006. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties. *Plant breeding*, 125: 357-362.
- [36] Kumar, K.R. & Ali, S.Z. 1991. Properties of rice starch from paddy stored in cold and at room temperature. *Starch- Stärke*, 43: 165-168.
- [37] Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S., Radosavljevic, M. & Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal chemistry*, 76: 629-637.

## Comparison of swelling, textural and rheological properties of rice cooking (*Tarom Mahali*) harvested from Sari, Fereydunkenar and Nowshahr cities of Mazandaran province

Farahmandfar, R. <sup>1\*</sup>, Asnaashari, M. <sup>2</sup>

1. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Iran
2. PhD Student, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Iran

(Received: 2016/08/24 Accepted:2017/02/22)

Rice is a food product that provides meals for more than half of the world's population. Rice varieties and cultivated areas are factors that affect on the rice cooking properties and cooking behavior. In this study, the effect of various cultivated areas on chemical properties, swelling power, solubility and rheological and textural properties of *Tarom Mahali* was investigated. The results showed that *Tarom Mahali* of northern Iran consists of average amylose content (20-25%) and appropriate gelatinization degree (3-5), which represents high quality of *Tarom Mahali*. On the other hand, rice of Fereydunkenar region has the lowest protein, fat, amylose content and the gelatinization degree and highest content of swelling power and solubility ( $P<0.05$ ). Rice of Fereydunkenar area has the highest value of maximum viscosity, minimum viscosity, breakdown viscosity, adhesiveness and cohesiveness and the lowest content of final viscosity, setback viscosity, maximum time, rigidity and flexibility ( $P<0.05$ ). So, it could be claimed that Fereydunkenar is the best region of *Tarom Mahali* cultivation in Mazandaran province.

**Keywords:** Cooking quality, Swelling power, Solubility, Rheological properties, Textural properties

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: r.farahmandfar@sanru.ac.ir