

## پایداری ویتامین D<sub>3</sub> و عنصر روی در برنج غنی شده به روش پخت اکستروژن طی مراحل فرآوری، نگهداری و پخت

سارا رنجبر<sup>1</sup>، علیرضا بصیری<sup>2\*</sup>، امیرحسین الهامی راد<sup>3</sup>، اکرم شریفی<sup>4</sup>،  
حسین احمدی چناربن<sup>5</sup>

- 1- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار. ایران.
- 2- استادیار، گروه صنایع غذایی و تبدیلی. سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران، تهران. ایران.
- 3- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار. ایران.
- 4- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.
- 5- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

(تاریخ دریافت: 98/06/22 تاریخ پذیرش: 98/12/26)

### چکیده

غنی سازی مواد غذایی برای پیش گیری و درمان ناهنجاری های ناشی از فقر ریزمغذی ها از روش هایی است که به دلیل هزینه های پایین و بدون نیاز به تغییر برنامه و عادات غذایی، به طور گسترده در سطح جهان، مورد استفاده قرار می گیرد. در غنی سازی دانه های غلات معمولاً از روش های غوطه وری و پاشش و برای آرد غلات از فرآیند اکستروژن، استفاده می شود. در غنی سازی به روش اکستروژن، افزودنی های مورد استفاده در درون ماتریکس غذایی قرار می گیرند و به همین دلیل خروج آنان طی مراحل مختلف فرآوری کمتر از دیگر روش های غنی سازی می باشد. در تحقیق حاضر، برنج بازسازی شده به روش پخت اکستروژن، با ویتامین D<sub>3</sub> (100000 IU/g)، در غلظت های 2/5، 5، 7/5 و 10 μg/100g و عنصر روی (اکسید روی)، در غلظت های 5، 10، 15 و 20 mg/100g، غنی گردید و در ادامه باقی مانده آن ها پیش و پس از فرآیند اکستروژن و همچنین پیش و پس از پخت، در فواصل زمانی ثابت 30 روزه و طی دوره نگهداری 180 روزه، مورد سنجش قرار گرفت. طبق نتایج، دوره نگهداری و همچنین فرآیند پخت بر پایداری این مواد در برنج بازسازی شده، تاثیری معنی دار داشت به گونه ای که مقدار ویتامین D<sub>3</sub> و عنصر روی در پایان دوره نگهداری 180 روزه به ترتیب 32/9 و 11/3 درصد (پیش از پخت) و 38/9 و 24/0 درصد (پس از پخت) کاهش یافتند اما این مواد طی فرآیند اکستروژن از پایداری مطلوبی برخوردار بودند. در مجموع و طی مراحل مختلف فرآوری، محتوی ویتامین D<sub>3</sub> و عنصر روی، به ترتیب 87/1 و 39/0 درصد کاهش یافتند.

کلید واژگان: آرد غلات، تکنولوژی پخت، مواد معدنی، صمغ گوار، صمغ عربی.

## 1- مقدمه

آسیابانی برنج که جهت تامین خواسته‌های مصرف‌کنندگان انجام می‌شود، باعث کاهش چشمگیر ارزش غذایی شامل کانی‌ها و ویتامین‌ها از جمله تیامین، ریبوفلاوین، نیکوتینیک اسید، پانتوتینیک اسید، فولیک اسید و بیوتین که عمدتاً در لایه‌های خارجی دانه قرار دارند، می‌گردد [1]. براساس آمارهای سازمان جهانی بهداشت، امروزه بیش از دو میلیارد نفر در سطح جهان از دریافت حداقل میزان ریزمغذی‌های محرومند. با توجه به نقش حیاتی ریزمغذی‌ها در بدن، کمبود آن‌ها مشکلات جدی و جبران‌ناپذیری را ایجاد می‌کنند [2].

ویتامین D در بین ویتامین‌های محلول در چربی، نقش مهمی در سلامت بدن ایفا می‌کند که از آن جمله می‌توان به بهبود استحکام استخوان‌ها، حفظ تعادل کلسیم - فسفر خون و نقش‌آفرینی در رشد و تکامل مغزی اشاره نمود [3]. از سوی دیگر روی به دلیل حضور در ترکیبات تشکیل‌دهنده نزدیک به 200 آنزیم از جمله آلکالین فسفاتاز و کربنیک انیدراز و همچنین عملکرد به عنوان کوآنزیم، در بسیاری از فعالیت‌های حیاتی بدن از جمله رشد عمومی بافت‌ها و سیستم ایمنی بدن، تاثیرگذار است [4]. غنی‌سازی به افزودن یک یا چند ترکیب مغذی ضروری به ماده غذایی حامل در سطوح بالاتر از آنچه که به طور طبیعی در آن ممکن است وجود داشته یا نداشته باشد، به منظور پیشگیری و اصلاح کمبود ناشی از آنان در کل جامعه و یا گروه‌های خاصی از جمعیت، تعریف می‌شود [5]. غنی‌سازی مواد غذایی با ویتامین‌ها و کانی‌های مورد نیاز جامعه، برای پیش‌گیری و درمان ناهنجاری‌های ناشی از فقر ریزمغذی‌ها از روش‌هایی است که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در غنی‌سازی دانه‌های غلات معمولاً از روش‌های غوطه‌وری و پاشش و برای آرد غلات از فرآیند اکستروژن، استفاده می‌شود. محدودیت اصلی غنی‌سازی دانه‌های کامل غلات از جمله برنج در روش‌های غوطه‌وری و پاشش، قرارگیری افزودنی‌ها بر سطوح خارجی دانه و یا عمق نفوذ کم آنان در دانه است که منجر به خروج گسترده افزودنی‌ها در هنگام فرآوری، شستشو و همچنین پخت می‌گردد. در حالی که در غنی‌سازی به روش اکستروژن، افزودنی‌های مورد استفاده در غنی‌سازی به مستقیماً به آرد برنج، افزوده و سپس طی فرآوری در درون ماتریکس غذایی قرار می‌گیرند و به همین دلیل خروج آنان طی مراحل شستشو

و پخت، کمتر از دیگر روش‌های غنی‌سازی می‌باشد [6]. پخت اکستروژن، فرآیندی با دمای بالا اما در زمانی کوتاه است که به سرعت در صنعت غذا در حال رشد بوده و با دارا بودن مزایایی مانند کارایی بالا، نیاز به فضای کم، انرژی‌بری و هزینه‌های پایین، امکان کنترل دقیق شرایط فرآوری، عدم تولید پساب و پیوستگی فرآیند، انتخاب مناسبی در فرآوری مواد غذایی بر پایه غلات می‌باشد. در فرآیند پخت اکستروژن، عوامل متعددی از جمله نوع نشاسته، رطوبت اولیه، دمای فرآیند، نیروهای برشی اعمال شده، بر کیفیت فرآورده نهایی تاثیرگذار می‌باشند. برنج به دلیل گستردگی مصرف توسط اقشار مختلف درآمدی، سنی و قومیتی، به عنوان یک حامل مناسب در غنی‌سازی محسوب می‌گردد [7]. همچنین ماده‌ای غیرآلرژیک، فاقد گلوتن و دارای پروتئینی با ارزش تغذیه‌ای بالا و مقادیر پایین چربی است. در تولید برنج بازسازی شده، نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین آرد برنج، نقش تعیین‌کننده‌ای بر ویژگی‌های کیفی و پخت دانه‌های برنج تولیدی دارد. افزایش نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین باعث افزایش ژلاتینی شدن و کاهش میزان جذب آب گردیده و سفتی بافت را افزایش و چسبندگی آن را کاهش می‌دهد [8]. قابل توجه این‌که در غنی‌سازی برنج با عنصر روی، اکسید روی به دلایلی مانند عدم تاثیرگذاری بر رنگ و طعم و هزینه پایین، نسبت به سولفات روی، ترجیح داده می‌شود [9]. مورتی و همکاران (2005)، به غنی‌سازی برنج با آهن به روش پخت اکستروژن پرداخته و نشان دادند که دانه‌های غنی شده با این روش از ویژگی‌های کیفی و ارگانولپتیکی مشابه با دانه‌های طبیعی برنج برخوردارند. همچنین در این روش، میزان تلفات ریزمغذی‌های افزوده شده، در طول فرآوری، دوره نگهداری و همچنین پخت، در مقایسه با دیگر روش‌های غنی‌سازی، پایین‌تر گزارش گردید [10].

یوگش‌واری و همکاران (2019)، به بررسی پایداری ریزمغذی‌های آهن، روی و ویتامین A، در برنج غنی شده به سه روش اکستروژن داغ، اکستروژن سرد و پاششی طی دوره نگهداری 12 ماهه، پرداختند. طبق نتایج، کانی‌های آهن و روی از پایداری بالایی در طول دوره نگهداری برخوردار بودند در حالی که پایداری ویتامین A، به طور معنی‌داری متأثر از شرایط و طول دوره نگهداری و همچنین روش غنی‌سازی قرار گرفت. کاهش میزان روی و آهن در روش‌های غنی‌سازی تحت بررسی کمتر از 10 درصد در حالی که کاهش ویتامین A به

30 درصد)، امولسیفایر مونودی گلسیرید (0/5 درصد) و دی اکسید تیتانیوم (0/1 درصد) در همزن (KM800/ ایران) مخلوط و در ادامه به صورت جداگانه با مقادیر مختلف ویتامین D<sub>3</sub> در (2/5، 5، 7/5، 10 μg/100g) و روی (5، 10، 15 و 20 mg/100g) مخلوط گردیدند. در ادامه با افزودن آب مقطر، رطوبت مورد نظر خمیر برای ورود به دستگاه اکسترودر (30 درصد) تامین گردید. عمل اختلاط خمیر در میکسر مولینکس (HM412131/ فرانسه) و در سرعت 365 دور در دقیقه، به مدت 20 دقیقه انجام پذیرفت [2، 3، 6، 15 و 16].

### 2-3- فرآیند اکستروژن

فرآیند اکستروژن در اکسترودر دو ماردونه (شرکت Machinery Jinan Saixin مدل DS56-III، کشور چین)، دارای سه ناحیه حرارتی با قابلیت کنترل دمای مستقل انجام پذیرفت. دماهای مورد استفاده در نواحی حرارتی اول، دوم و سوم به ترتیب 75، 90 و 95 درجه سلسیوس بودند. مواد خروجی، توسط کاردک‌هایی با سرعت چرخش 150 دور در دقیقه، برش داده شدند. همچنین خوراک‌دهی دستگاه 12/5 کیلوگرم در ساعت، تعداد و قطر منافذ قالب به ترتیب 24 عدد و 1/8 میلی‌متر بودند. پس از دستیابی به شرایط پایدار، حدود 3 کیلوگرم از فرآورده خروجی، جمع‌آوری و در خشک‌کن با جابجایی هوای داغ (شرکت Binder، کشور آلمان) در دمای 50 درجه سلسیوس و سرعت هوای 1 متر بر ثانیه تا رسیدن به رطوبت نهایی 12 درصد (بر مبنای تر)، خشک شدند [6]. نمونه‌های برنج غنی‌شده در پوشش‌های پلاستیکی و در دمای 5±25 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 60 درصد در طول دوره نگهداری (180 روز) بدون از روشنایی، نگهداری شدند. در ادامه در فواصل زمانی ثابت 30 روزه (30، 60، 90، 120، 150 و 180 روز پس از فرآیند اکستروژن)، باقی‌مانده ویتامین D<sub>3</sub> و عنصر روی در نمونه‌ها، پیش و پس از پخت، اندازه‌گیری شدند.

### 2-4- آزمون پخت

به دانه‌های برنج، بدون انجام شستشو، به نسبت 2/5 : 1 آب افزوده شد و پخت به مدت 12 دقیقه انجام پذیرفت به گونه‌ای که تمام آب افزوده شده توسط دانه‌های برنج جذب گردید [3].

### 2-5- تعیین باقی‌مانده ویتامین D<sub>3</sub>

ترتیب در روش‌های اکستروژن سرد، اکستروژن داغ و پاششی به ترتیب 20، 30 و 77 درصد، گزارش گردید [11]. ریاض و همکاران (2009) پایداری ویتامین‌ها را طی فرآیند اکستروژن بررسی و نشان دادند که ویتامین‌های A و E (در بین ویتامین‌های محلول در چربی) و C، B<sub>1</sub> و فولیک اسید (در بین ویتامین‌های محلول در آب) از بیشترین کاهش برخوردارند [12]. در پژوهشی پایداری ویتامین A در دانه برنج غنی شده به روش پخت اکستروژن مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، محتوی ویتامین در مراحل فرآوری، نگهداری و پخت به ترتیب معادل 5/3 درصد، 28/5 درصد و 9/8 درصد کاهش نشان داد [13].

در خصوص هدررفت ریزمغذی‌ها در مواد غذایی مختلف طی مراحل فرآوری، انبارداری و آماده‌سازی، تحقیقات گسترده‌ای صورت پذیرفته است اما در رابطه با پایداری ریزمغذی‌ها در فرآورده‌های اکسترودر شده، منابع محدودی در دسترس می‌باشد. لذا این پژوهش، با هدف بررسی پایداری ویتامین D<sub>3</sub> و عنصر روی در برنج غنی‌شده به روش پخت اکستروژن، طی مراحل فرآوری، نگهداری و پخت، انجام پذیرفت.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- تعیین ویژگی‌های شیمیایی آرد برنج

برنج شکسته (وارسته سپیدرود به دلیل نسبت بالای آمیلوز به آمیلوپکتین 26/9 به 73/1) از مرکز تحقیقات برنج، اکسیدروری (ZnO) از شرکت مرک و ویتامین D<sub>3</sub> از شرکت داروپخش تهیه گردیدند. سپس دانه‌های برنج با حداکثر رطوبت 10 درصد توسط آسیاب چکشی (BASTAK-1900/ ایران) خرد و آرد بدست آمده با استفاده از الک با مش 1 mm، دانه‌بندی گردید. در ادامه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد برنج شامل رطوبت (AOAC به شماره 934/01)، چربی (AOAC به شماره 920/01)، پروتئین (AOAC به شماره 968/06)، فیبرکل (AOAC به شماره 992/16)، خاکستر (AOAC به شماره 923/03) و آمیلوز (AOAC به شماره 996/11) تعیین شدند [14].

### 2-2- آماده‌سازی مواد اولیه

آرد برنج حاصل از مراحل آسیاب و دانه‌بندی با صمغ گوار (0/4 درصد)، صمغ عربی (0/1 درصد)، نشاسته اصلاح شده

رابطه 1 محاسبه گردید [12].

(1)

که در آن:  $K =$  مقدار عنصر روی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم،  $C_2 =$  مقدار عنصر روی نمونه بر حسب میلی‌گرم در لیتر که از روی منحنی کالیبراسیون خوانده شد.  $C_1 =$  مقدار عنصر روی شاهد بر حسب میلی‌گرم در لیتر که از روی منحنی کالیبراسیون خوانده شد.  $m =$  وزن نمونه مورد آزمایش (g).

## 2-7- روش تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال 5 درصد و با استفاده از نرم افزار SPSS نگارش 16 صورت پذیرفت.

## 3- نتایج و بحث

در جدول 1 ویژگی‌های شیمیایی آرد برنج مورد استفاده و در جدول 2 مقادیر باقی‌مانده ویتامین D<sub>3</sub> و عنصر روی پس از فرآیند پخت اکستروژن و در غلظت‌های تحت بررسی ارایه شده است. یافته‌های بدست آمده نشان از پایداری نسبی ویتامین D<sub>3</sub> و عنصر روی طی فرآیند اکستروژن دارد. طبق نتایج (شکل 1)، باقی‌مانده ویتامین D<sub>3</sub> و روی نسبت به غلظت‌های اولیه تحت بررسی به ترتیب در محدوده 85/8 - 83/5 درصد و 96/3 - 95/7 درصد قرار داشتند. در همین راستا غلظت‌های اولیه ویتامین D<sub>3</sub> در محدوده (mg/100g) 10 تا 7/5 از پایداری بیشتری در محصول اکستروژن شده نسبت به محدوده پایین‌تر (mg/100g) 5 تا 2/5 برخوردار بودند ( $p < 0.5$ ) در حالی که غلظت‌های اولیه تحت بررسی عنصر روی (mg/100g) 20 تا 5 بر پایداری این عنصر در فرآورده خروجی از اکستروژن تاثیر معنی‌داری نداشتند ( $p > 0.5$ ).

در ابتدا نمونه‌های برنج به وسیله آسیاب کاملاً خرد و همگن شدند و در ادامه 30 گرم از نمونه با 100 میلی‌لیتر اتانول، 1 گرم پیروگالول، 2/5 گرم اسید آسکوربیک و 50 میلی‌لیتر پتاس الکلی ترکیب گردید. جهت سنجش ویتامین D<sub>3</sub> از محلول استاندارد داخلی ویتامین D<sub>2</sub> استفاده شد. سپس عملیات صابونی شدن به مدت 40 دقیقه در دمای 70 درجه سلسیوس صورت گرفت آن‌گاه ویتامین D<sub>3</sub> با استفاده از حلال دی اتیل اتر استخراج گردید. نمونه استخراج شده حاوی حلال تا رسیدن به pH خنثی شستشو داده شد. نمونه استخراجی تحت فشار منفی در دستگاه تبخیرکننده دوار قرار گرفت تا حلال آن تبخیر شود. هم‌چنین جهت خارج نمودن آب، از سولفات سدیم بی‌آب استفاده شد. سپس بخشی از نمونه استخراج شده به دستگاه HPLC (Infinity 1260 شرکت Agilent / آلمان) تزریق و پیک‌های ویتامین D<sub>3</sub> و D<sub>2</sub> شناسایی شدند [12].

## 2-6- سنجش باقی‌مانده روی

ابتدا نمونه‌های برنج خام و پخته اکستروژن شده جهت انجام عمل هضم درون کوره و در دمای  $525 \pm 25$  درجه سلسیوس قرار داده شدند. سپس خاکستر نمونه در چند قطره اسید نیتریک غلیظ حل شد و بر روی بن ماری قرار گرفت. بعد از آن جهت سفید شدن خاکستر، دوباره درون کوره‌ای با دمای  $525 \pm 25$  درجه سلسیوس قرار داده شد. خاکستر به دست آمده در 2 میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ حل و به لوله سانتریفیوژ انتقال داده شد. سپس محلول رویی به بالن ژوژه 50 میلی‌لیتر منتقل گردید و 10 میلی‌لیتر اسید کلریدریک به آن اضافه شد. سپس دوباره سانتریفیوژ انجام شد و مایع رویی به همان بالن منتقل گردید. این روش با 10 میلی‌لیتر آب تکرار شد. در ادامه جهت رسم منحنی کالیبراسیون، چهار محلول با غلظت‌های مختلف 0/25، 0/5، 1 و 1/5 میلی‌گرم روی در لیتر با رقیق کردن محلول استاندارد روی تهیه گردید. این محلول‌ها به ترتیب در شعله دستگاه جذب اتمی تزریق شدند و مقدار جذب آن‌ها تعیین شد و منحنی کالیبراسیون آن رسم گردید. جذب محلول نمونه بدست آمده و محلول شاهد یادداشت شد و از طریق

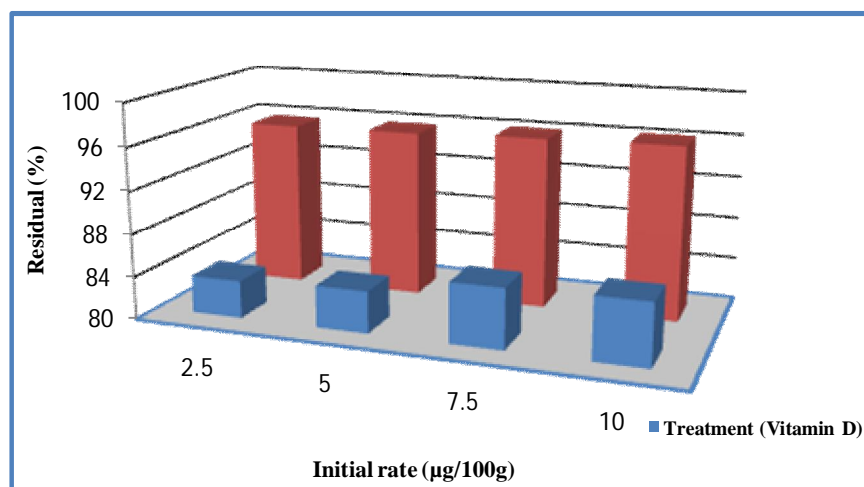
Table 1 Chemical properties of rice flour samples

	Moisture (%)	Insoluble ash (%)	Total ash (%)	Protein (%)	Fiber (%)	Fat (%)	Amylose (%)
Rice flour	9.18	0.4	0.8	8.85	0.51	1.77	26.9

**Table 2** Effects of extrusion process on vitamin D<sub>3</sub> and Zn content (%)

Treatment	Initial rate (µg/100g)	Residual (%)	Treatment	Initial rate (µg/100g)	Residual (%)
VD1	2.5	83.5 <sup>a</sup>	ZO1	5	95.7 <sup>a</sup>
VD2	5	83.9 <sup>a</sup>	ZO2	10	95.8 <sup>a</sup>
VD3	7.5	85.6 <sup>b</sup>	ZO3	15	96.1 <sup>a</sup>
VD4	10	85.8 <sup>b</sup>	ZO4	20	96.3 <sup>a</sup>

In each column, mean that at least one letter in common, not significant difference at 5%

**Fig 1** Effect of extrusion process on vitamin D<sub>3</sub> and Zn content (%)

در جدول 3 باقی مانده ویتامین D<sub>3</sub> نسبت به غلظت های اولیه آورده شده است. تحت بررسی، قبل و پس از فرایند پخت و طی دوره نگهداری

**Table 3** Vitamin D<sub>3</sub> residues in extruded rice during storage (%) (Before and after cooking)

Time	Concentration (µg/100g)							
	2.5		5		7.5		10	
	BC	AC	BC	AC	BC	AC	BC	AC
0	83.5±0.2 <sup>b</sup>	64.4±0.2 <sup>f</sup>	83.9±0.2 <sup>b</sup>	66.4±0.2 <sup>e</sup>	85.6±0.1 <sup>a</sup>	68.4±0.5 <sup>d</sup>	85.8±0.1 <sup>a</sup>	70.4±0.3 <sup>c</sup>
30	68.1±0.2 <sup>d</sup>	58.3±0.4 <sup>h</sup>	67.6±0.5 <sup>d</sup>	58.3±0.3 <sup>h</sup>	67.5±0.5 <sup>d</sup>	60.6±0.4 <sup>e</sup>	66.8±0.4 <sup>e</sup>	61.3±0.5 <sup>g</sup>
60	61.4±0.5 <sup>g</sup>	53.4±0.4 <sup>j</sup>	59.6±0.3 <sup>g</sup>	53.4±0.4 <sup>j</sup>	60.6±0.5 <sup>g</sup>	53.4±0.4 <sup>j</sup>	60.6±0.5 <sup>g</sup>	53.4±0.5 <sup>j</sup>
90	58.1±0.3 <sup>h</sup>	51.2±0.4 <sup>k</sup>	57.8±0.4 <sup>h</sup>	50.8±0.8 <sup>k</sup>	57.8±0.4 <sup>h</sup>	51.6±0.4 <sup>k</sup>	57.9±0.3 <sup>h</sup>	51.5±0.4 <sup>k</sup>
120	56±0.3 <sup>i</sup>	48.7±0.6 <sup>l</sup>	57.1±0.5 <sup>h</sup>	48.5±0.5 <sup>l</sup>	56.5±0.3 <sup>i</sup>	51.4±0.4 <sup>k</sup>	53.5±0.5 <sup>j</sup>	48.5±0.5 <sup>l</sup>
150	53.8±0.5 <sup>j</sup>	47.5±0.5 <sup>lm</sup>	53.9±0.6 <sup>j</sup>	47.5±0.5 <sup>lm</sup>	53.9±0.5 <sup>j</sup>	48.5±0.5 <sup>l</sup>	51.9±0.4 <sup>k</sup>	46.5±0.5 <sup>mn</sup>
180	51.7±0.5 <sup>k</sup>	46±0.5 <sup>n</sup>	51.7±0.6 <sup>k</sup>	45.6±0.5 <sup>n</sup>	51.3±0.6 <sup>k</sup>	45.7±0.5 <sup>n</sup>	51.7±0.5 <sup>k</sup>	45.5±0.5 <sup>n</sup>

Mean that at least one letter in common, not significant difference at 5%; BC: Before cooking; AC: After cooking

D<sub>3</sub> پس از 30 روز انبارداری اتفاق افتاد به گونه ای که در این دوره و در غلظت های تحت بررسی، به ترتیب کاهشی برابر 15/4، 16/8، 18/5 و 15/4 درصد، مشاهده گردید. پس از این دوره، تخریب ویتامین D<sub>3</sub> از روندی نزولی برخوردار بود. از سوی دیگر تاثیر فرایند پخت نیز بر پایداری ویتامین D<sub>3</sub> طی دوره نگهداری معنی دار بود ( $p < 0.5$ ). به گونه ای که در

طبق نتایج (شکل 2)، تاثیر دوره نگهداری در تمامی غلظت های تحت بررسی، بر پایداری ویتامین D<sub>3</sub> در برنج بازسازی شده، معنی دار بود ( $p < 0.5$ ). به گونه ای که ویتامین D<sub>3</sub> در پایان دوره نگهداری و در شرایط ثابت و در غلظت های تحت بررسی (2/5، 7/5 و 10 µg/100g) به ترتیب 31/2، 31/8 و 33/9 درصد، کاهش یافت. بیشترین کاهش ویتامین

شد. تعیین میزان پایداری ریزمغذی‌ها در مواد غذایی غنی شده از اهمیت بالایی برخوردار است به این دلیل که مواد غذایی غنی شده باید حاوی مقادیر ادعا شده از سوی تولیدکننده باشند و از سوی دیگر حصول اطمینان از این‌که مصرف‌کنندگان با مصرف این محصولات، مقادیر لازم از این ترکیبات را دریافت خواهند کرد.

شرایط ثابت و در غلظت‌های تحت بررسی مقدار آن به ترتیب 37/5، 38/0، 39/7 و 40/3 درصد کاهش نشان داد. همچنین در این مرحله نیز بیشترین کاهش ویتامین D<sub>3</sub> پس از 30 روز انبارداری اتفاق افتاد به گونه‌ای که در این دوره و در غلظت‌های تحت بررسی، به ترتیب کاهشی در محدوده‌های 5/7-19/1، 6/2-17/5، 4/8-17/2 و 5/5-15/4 مشاهده

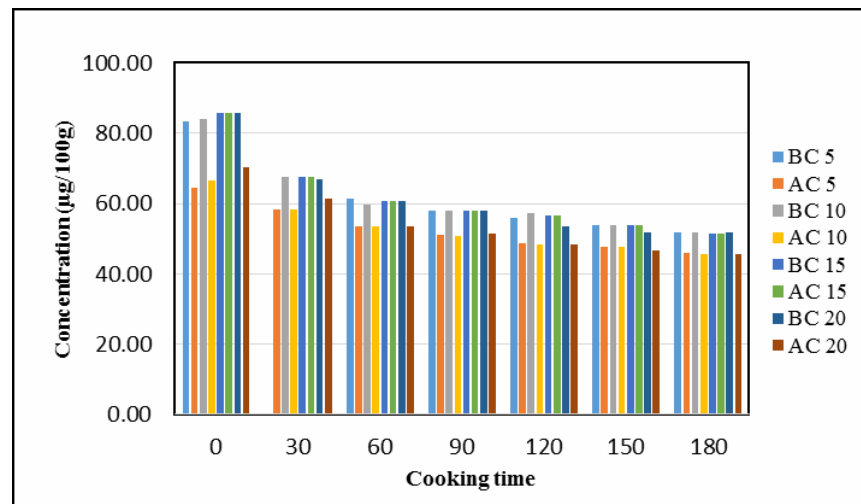


Fig 2 Vitamin D<sub>3</sub> residues in extruded rice during storage (before and after cooking) (%)

محلول در چربی، ویتامین‌های K و D از پایداری نسبی بالاتری نسبت به ویتامین‌های A و E برخوردار می‌باشند [19]. راوندران و همکاران (2011) پایداری بالای ویتامین D طی فرایند اکستروژن و هم‌چنین دوره نگهداری، گزارش نمودند که با یافته‌های حاصل از پایداری نسبی ویتامین D<sub>3</sub> بدست آمده در این تحقیق، مطابقت دارد [20]. سیگ و همکاران (2007) پایداری ویتامین D طی فرایند اکستروژن را در غلظت‌های 2/5 تا 7/5 µg/100g بررسی و بیشینه پایداری بدست آمده را 85 درصد گزارش نمودند که با یافته‌های حاصل از پایداری ویتامین D<sub>3</sub> در این تحقیق، همخوانی دارد. همچنین نشان دادند که بکارگیری دماهای بالا (بیش از 200 درجه سلسیوس) و رطوبت‌های پایین خوراک ورودی (کمتر از 15 درصد) در طول فرایند پخت اکستروژن می‌تواند به کاهش معنی‌دار ارزش تغذیه‌ای مواد تحت فرآیند، منجر گردد [4]. قابل توجه این‌که تلفات پایین‌تر ویتامین D<sub>3</sub> در این پژوهش را می‌توان به دماهای پایین فرآیند (در محدوده 75 تا 95 درجه سلسیوس و هم‌چنین رطوبت بالای خوراک ورودی (30 درصد)، نسبت داد. همان‌گونه که بیان شد، از عوامل تعیین‌کننده پایداری

پایداری ریزمغذی‌ها در فرآورده‌های غذایی غنی شده بستگی به عوامل متعددی از جمله روش غنی‌سازی، طبیعت ریزمغذی، شرایط نگهداری، شستشو و پخت دارد و به همین دلیل نیز پیش‌بینی محاسباتی و دقیق پایداری ریزمغذی‌ها در فرآورده‌های غذایی غنی شده، ناممکن است. فرآیند پخت اکستروژن در شمار فرآیندهای دما-بالا-زمان کوتاه قرار دارد. تغییر ویژگی‌های کیفی و ارزش تغذیه‌ای فرآورده غذایی تولیدی در این روش، نه تنها تحت تاثیر دمای بکاررفته در فرآیند بلکه به دیگر عوامل مانند رطوبت خوراک ورودی، زمان فرآوری، میزان اکسیژن در دسترس، نور و pH وابسته می‌باشد [17]. پایداری ویتامین‌ها با توجه به تفاوت در ساختار و ترکیبات تشکیل‌دهنده، متفاوت است و تحت تاثیر عواملی مانند حرارت، اکسیژن، نور، فعالیت آبی و زمان نگهداری می‌باشد. به طور کلی پایداری ویتامین‌ها در فرآیند پخت اکستروژن با افزایش دما، افزایش سرعت چرخش ماردون‌ها، کاهش رطوبت، کاهش سرعت جریان مواد ورودی به اکستروژر و کاهش قطر روزنه‌های خروجی، کاهش می‌یابد [18]. کیلیت (1994) نشان داد که در بین ویتامین‌های

همکاران (2012) تلفات ویتامین A در برنج اکستروژن شده را در هنگام پخت (قرارگیری در آب جوش به مدت 5 دقیقه و در ادامه قرارگیری در دمای پایین به مدت 20 تا 25 دقیقه)، 26 درصد گزارش نمودند [22]. لای و همکاران (2001) پایداری رتینل پالمیتات در برنج غنی شده طی فرآیند پخت را بسته به شرایط پخت، در محدوده 75 تا 87 درصد گزارش نمودند [23]. مورفی و همکاران (1992) نیز پایداری ویتامین A در برنج بازسازی شده به روش پخت اکستروژن را در هنگام شستشو 100 درصد و در هنگام پخت بسته به شرایط بین 46 تا 94 درصد گزارش نمودند [17]. حسین و همکاران (2019) کیفیت ظاهری دانه برنج بازساخته غنی شده با آهن و ویتامین A، را مورد بررسی قرار دادند. آنها از پیروفسفات آهن (به عنوان منبع آهن) و بتا کاروتن و رتینیل پالمیتات (به عنوان منابع ویتامین A) استفاده و گزارش کردند که افزودن رتینیل پالمیتات و پیروفسفات آهن سبب بهبود خصوصیات ارگانولپتیکی و بافتی برنج می‌گردد [24].

در جدول 4 باقی‌مانده روی نسبت به غلظت‌های اولیه تحت بررسی، قبل و پس از فرایند پخت و طی دوره نگهداری نشان داده شده است. در این پژوهش و در بین مراحل مختلف تحت بررسی (اکستروژن، نگهداری و پخت)، بیشترین کاهش روی در مرحله پخت با 38/9 درصد، و پس از آن در دوره نگهداری و فرآیند اکستروژن به ترتیب با 32/9 و 15/3 درصد کاهش اتفاق افتاد.

انباری ریزمغذی‌ها، شرایط محیطی و طول دوره نگهداری می‌باشند. حساسیت ریزمغذی‌ها نسبت به دوره و شرایط نگهداری تفاوت‌های زیادی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال ویتامین‌های A و C به اکسیداسیون، دمای نگهداری و همچنین نور حساسیت بیشتری دارند. جاکوبسن و کونوتسن (2013) نشان داد که کاهش ناشی از اکسیداسیون ویتامین‌های A و C در طول دوره نگهداری به دلیل بافت متخلخل فرآورده اکستروژن شده و قرارگیری در معرض نور می‌باشد [21]. تای و همکاران (2015) به بررسی مقدار ویتامین A در برنج غنی شده به روش پخت اکستروژن در طول دوره نگهداری پرداخته و بیان کردند که مقدار این ویتامین حدود 20 درصد کاهش یافته است [18]. میشر و همکاران (2012) پایداری ویتامین A در برنج اکستروژن شده طی دوره نگهداری (180 روز در دمای 26 درجه سلسیوس و شرایط روشنایی کاهش یافته) را بررسی و بیان کردند که محتوی ویتامین A در ابتدای دوره نگهداری با کاهش 25 درصدی روبرو شد ولی در ادامه دوره نگهداری از ثبات بیشتری برخوردار بود که مطابق با روند کاهش ویتامین D<sub>3</sub> بدست آمده در این تحقیق می‌باشد [22]. در ادامه این‌که تاثیر فرآیند پخت بر محتوی ویتامین D<sub>3</sub> در برنج بازسازی و غنی شده به روش پخت اکستروژن، بررسی نشده است اما تحقیقات متعددی در مورد ویتامین A انجام شده است که نتایج از اختلافات و تشابهات قابل توجهی برخوردار است که می‌تواند به دلیل تفاوت در شرایط فرآیند اکستروژن، شرایط و زمان پخت دانه‌های غنی شده برنج، باشد. میشر و

**Table 4** Zinc residues in extruded rice during storage (%) (Before and after cooking)

Time	Concentration (mg/100g)							
	5		10		15		20	
	BC	AC	BC	AC	BC	AC	BC	AC
0	95.7±0.3 <sup>a</sup>	85.6±0.3 <sup>f</sup>	95.8±0.32 <sup>a</sup>	81.43±0.2 <sup>i</sup>	96.1±0.2 <sup>a</sup>	83.6±0.2 <sup>h</sup>	96.3±0.3 <sup>a</sup>	80.79±0.3 <sup>j</sup>
30	92.8±0.2 <sup>b</sup>	78.88±0.4 <sup>k</sup>	92.8±0.2 <sup>b</sup>	80.73±0.3 <sup>j</sup>	92.8±0.2 <sup>b</sup>	81.66±0.2 <sup>i</sup>	92.8±0.2 <sup>b</sup>	77.95±0.3 <sup>l</sup>
60	91.6±0.3 <sup>c</sup>	78.77±0.4 <sup>k</sup>	91.6±0.3 <sup>c</sup>	79.01±0.4 <sup>k</sup>	91.6±0.5 <sup>c</sup>	81.52±0.2 <sup>i</sup>	91.6±0.3 <sup>c</sup>	77.86±0.3 <sup>l</sup>
90	89.9±0.3 <sup>d</sup>	77.31±0.4 <sup>l</sup>	89.9±0.4 <sup>d</sup>	77.31±0.3 <sup>l</sup>	89.9±0.4 <sup>d</sup>	78.71±0.4 <sup>k</sup>	89.9±0.3 <sup>d</sup>	76.50±0.5 <sup>m</sup>
120	87.5±0.2 <sup>e</sup>	74.57±0.6 <sup>n</sup>	87.5±0.2 <sup>e</sup>	75.65±0.5 <sup>mm</sup>	87.5±0.2 <sup>e</sup>	76.52±0.4 <sup>m</sup>	87.5±0.5 <sup>e</sup>	75.53±0.5 <sup>mm</sup>
150	85.9±0.3 <sup>f</sup>	72.15±0.5 <sup>p</sup>	85.9±0.3 <sup>f</sup>	73.87±0.5 <sup>o</sup>	85.9±0.3 <sup>f</sup>	74.73±0.5 <sup>no</sup>	85.9±0.3 <sup>f</sup>	74.64±0.5 <sup>n</sup>
180	84.7±0.2 <sup>g</sup>	71.14±0.2 <sup>q</sup>	84.7±0.2 <sup>g</sup>	71.14±0.2 <sup>q</sup>	84.7±0.2 <sup>g</sup>	72.84±0.5 <sup>p</sup>	84.7±0.2 <sup>g</sup>	72.84±0.5 <sup>p</sup>

Mean that at least one letter in common, not significant difference at 5%; BC: Before cooking; AC: After cooking

10، 15 و 20 (µg/100g) به ترتیب 11/0، 11/1، 11/4 و 11/6 درصد، کاهش یافت. بیشترین کاهش عنصر روی، پس از 30 روز انبارداری اتفاق افتاد به گونه‌ای که در این دوره و در غلظت‌های تحت بررسی، به ترتیب کاهشی برابر 2/9، 3/0،

طبق نتایج (شکل 3)، تاثیر دوره نگهداری در تمامی غلظت‌های تحت بررسی، بر پایداری عنصر روی در برنج بازسازی شده، معنی‌دار بود ( $p < 0.5$ ). به گونه‌ای که این ماده در پایان دوره نگهداری و در شرایط ثابت و در غلظت‌های تحت بررسی (5،

( $p < 0.5$ ). به گونه‌ای که در شرایط ثابت و در غلظت‌های تحت بررسی مقدار آن به ترتیب 24/6، 24/7، 23/3 و 23/5 درصد کاهش نشان داد.

3/3 و 3/5 درصد، مشاهده گردید. پس از این دوره، تخریب این ماده طی دوره نگهداری، از روندی نزولی برخوردار بود. از سوی دیگر تاثیر فرآیند پخت بر روی برنج بازسازی شده نیز بر پایداری ماده مورد نظر طی دوره نگهداری معنی‌دار بود

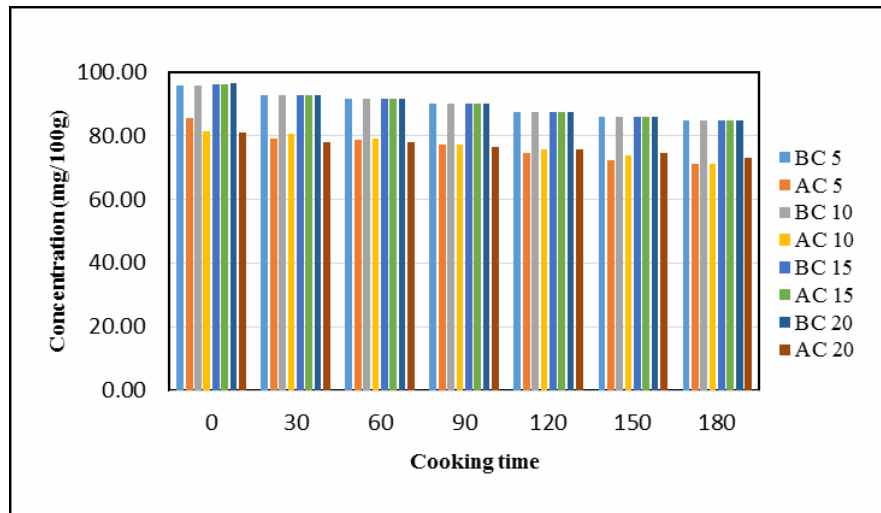


Fig 3 Zinc residues in extruded rice during storage (Before and after cooking) (%)

همکاران (2011) نیز پایداری بیش از 95 درصدی آهن در برنج غنی شده به روش اکستروژن طی 9 ماه انبارداری را گزارش نمودند [3]. تای و همکاران (2015) کاهش محتوی آهن و روی در برنج غنی شده به روش اکستروژن طی فرآیند پخت را به ترتیب 15 و 10 درصد اما ریاض و همکاران (2009) کاهش عنصر روی تحت همان شرایط را 21 درصد عنوان کرده بودند. در این پژوهش و در بین مراحل مختلف تحت بررسی (اکستروژن، نگهداری و پخت)، بیشترین کاهش روی در مرحله پخت با 24 درصد، و پس از آن در دوره نگهداری و فرآیند اکستروژن به ترتیب با 11/3 و 4/1 درصد کاهش اتفاق افتاد [12 و 18].

#### 4- نتیجه گیری

آگاهی از پایداری ریزمغزی‌های بکار رفته در غنی‌سازی مواد غذایی در مراحل فرآوری، نگهداری و هم‌چنین پخت، بر پیاده‌سازی موفق غنی‌سازی تاثیرگذار می‌باشد. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان دادند که بیشترین و کمترین هدر رفت ویتامین  $D_3$  و عنصر روی در برنج بازسازی و غنی شده به روش اکستروژن مربوط به مراحل به ترتیب پخت، نگهداری و اکستروژن می‌باشد. هم‌چنین طی دوره نگهداری 180 روزه،

طبق بررسی‌های به عمل آمده، تحقیقات محدودی که در زمینه پایداری کانی‌ها طی فرآیند اکستروژن به عمل آمده‌اند، نشان‌دهنده پایداری حرارتی بالای کانی‌ها در فرآورده‌های غذایی می‌باشند [4]. به گونه‌ای که حسین (2014) تلفات حدود 1 درصدی آهن و پینکاو و همکاران (2012) نیز کاهش کمتر از 1 درصد آهن و روی را طی فرآیند اکستروژن برنج غنی شده گزارش نموده‌اند [7 و 8]. پایداری عنصر روی در این تحقیق طی فرآیند اکستروژن، در محدوده 96/3 - 95/7 قرار داشت که نشان‌دهنده پایداری بالای عنصر روی در برابر شرایط فرآیند اکستروژن بود اما مقدار کاهش عنصر روی در این تحقیق بیش از مقادیر گزارش شده در منابع دیگر بود که دلیل آن می‌تواند تفاوت در شرایط فرآوری و هم‌چنین روش‌های سنجش باقی‌مانده عنصر روی باشد. تای و همکاران (2015) به بررسی پایداری آهن و روی در برنج غنی شده به روش پخت اکستروژن طی دوره نگهداری پرداخته و بیان کردند که محتوی آهن و روی طی دوره نگهداری از ثبات بالایی برخوردار است [18]. وانگ و همکاران (2013) پایداری آهن در برنج غنی شده به روش پخت اکستروژن را طی دوره نگهداری (دمای 40 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 60 درصد) بررسی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان از پایداری بالای عنصر آهن در این دوره داشت [9]. لیو و



- containing iron, zinc and vitamin A. *International Journal of Food Science and Technology*. 47(10): 2212-2220.
- [9] Wang, J. P., Zhou A. H., Yu Jin, Z., Jun Xie, Z., Ning Zhuang, H., and Kim, J. M. 2013. Emulsifiers and thickeners on extrusion-cooked instant rice product. *International Journal of Food Science and Technology*. 50(4): 655-666.
- [10] Moretti, D., Lee, T. C., Zimmermann, M. B. Nuessli, J., and Hurrell, R. F. 2005. Development and evaluation of iron-fortified extruded rice grains. *Journal of Food Science* 70(5): 330-336.
- [11] Yogeshwari, R. Hemalatha, G., Vanniarajan, C., Saravanakumar, R., and Kavithapushpam, A. 2019. Development of Micronutrient Fortified Extruded Rice Analogues. *European Journal of Nutrition & Food Safety*. 9(1): 1-11.
- [12] Riaz, M. N., Asif, M., and Ali, R. 2009. Stability of Vitamins during Extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 49: 361-368.
- [13] Maziya-Dixon, B. M., Alamu, E. O., Wireko-Manu, F. D., and Robert, A. 2016. Retention of iron and zinc in yam flour and boiled yam processed from white yam (*D. rotundata*) varieties. *Food Science and Nutrition*. 5(3): 662-668.
- [14] Anonymous. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Edition, American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN.
- [15] Ranjbar, S., Basiri, A. R., Elhamirad, A. H., Sharifi, A., and Ahmadi Chenarbon, H. 2018. Production of high bran rice by extrusion method. Patent No: 96338. Validation No:1397147. Iranian Research Organization for Science and Technology.
- [16] Ranjbar, S., Basiri, A. R., Elhamirad, A. H., Sharifi, A., and Ahmadi Chenarbon, H. 2017. Production of rice enriched with vitamin D and zinc by extrusion method. Patent No: 94685. Validation No:1397002. Iranian Research Organization for Science and Technology.
- [17] Murphy, P. A., Smith, B., Hauck, C., and O'Connor, K. 1992. Stabilization of vitamin A in a synthetic rice premix. *Journal of Food Science*. 57 (2): 437-39.
- [18] Ti, H., Zhang, R., Zhang, M., Wei, Z., Chi, J., Deng, Y., and Zhang, Y. 2015. Effect of extrusion on phytochemical profiles in milled fractions of black rice. *Food*
- کاهش معنی‌داری در محتوی دو ریزمغذی (قبل و پس از پخت) مشاهده گردید به گونه‌ای که بیشترین کاهش در ابتدای دوره نگهداری بدست آمد. در همین راستا غلظت‌های تحت بررسی بر روند کاهش دو ریزمغذی در طول دوره نگهداری (قبل و پس از پخت)، اثر معنی‌داری نداشتند. به نظر می‌رسد که از یافته‌های این تحقیق می‌توان در فرمولاسیون برنج غنی‌شده به روش پخت اکستروژن، استفاده نمود.

## 5- منابع

- [1] Mohapatra, D., and Bal, S. 2006. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. *Journal of Food Engineering*. 73: 253-254.
- [2] Hagenimana, A., Ding, X., and Fang, T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*. 43: 38-46.
- [3] Liu, C., Zhang, Y., Liu, W., Wan, J., Wang, W., Wu, L., Zuo, N., Zhou, Y., and Yin, Z. 2011. Preparation, physicochemical and texture properties of texturized rice produce by improved extrusion cooking technology. *Journal of Cereal Science*. 54: 473-480.
- [4] Singh, S., Gamlath, S., and Wakeling, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 42: 916-929.
- [5] Stanton, C., Gardiner, G., Meehan, H., Collins, K., and Fitzgerald, G. 2001. Market potential for probiotics. *American Journal of Clinical Nutrition*. 73(2): 476-483.
- [6] Ranjbar, S., Basiri, A. R., Elhamirad, A. H., Sharifi, A., and Ahmadi Chenarbon, H. 2018. Effect of hydrocolloids on physicochemical, sensory and textural properties of reconstructed rice grain by extrusion cooking technology. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 12(3): 1622-1632.
- [7] Hussain, S. Z., Singh, B and Rather, A. H. 2014. Efficacy of micronutrient fortified extruded rice in improving the iron and vitamin a status in Indian school children. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*. 5(3): 227-238.
- [8] Pinkaew, S., Wegmuller, R., and Hurrell, R. 2012. Vitamin A stability in triple fortified extruded, artificial rice grains

- [22] Lai, H. M. 2001. Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82: 203-216.
- [23] Mishra, A., Mishra, H. N., and Rao, P. S. 2012. Preparation of rice analogues using extrusion technology. *International Journal of Food Science and Technology*. 47: 1789-1797.
- [24] Hussain, S. Z., Singh, B., Ifikhar, F., Naseer, B., and Mehraj, M. 2019. Donor for characteristics in micronutrient fortified re-constitute rice. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 78: 295-300.
- Chemistry. 178: 186-194.
- [19] Killeit, U. 1994. Vitamin retention in extrusion cooking. *Food Chemistry*. 49: 149-155.
- [20] Ravindran, G., Carr, A., and Hardacre, A. 2011. A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea-rice blends. *Food Chemistry*. 124: 1620-1626.
- [21] Jakobsen, J., and Knuthsen, P. 2013. Stability of vitamin D in foodstuffs during cooking. *Food Chemistry*. 148: 170-175.

## Stability of vitamin D<sub>3</sub> and Zinc in fortified extruded rice during processing, storage and cooking

Ranjbar, S. <sup>1</sup>, Basiri, A. <sup>2\*</sup>, Elhamirad, A. H. <sup>3</sup>, Sharifi, A. <sup>4</sup>,  
Ahmadi Chenarbon, H. <sup>5</sup>

1. Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Chemical Technologies, Iranian Research Organization of Science and Technology, Tehran, Iran.
3. Associated Professor, Department of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Agronomy, Varamin - Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

(Received: 2019/02/13 Accepted: 2020/03/16)

Food fortification for the prevention and treatment of micronutrient deficiency disorders is one of the most widely methods that because of its low cost and no need to change dietary habits was used all around the world. In grain fortification, immersion and spraying methods are usually used, and extrusion processes are used for cereal flour. In extrusion fortification method, the used extensions are into the food matrix so their output during different processing stages is less than other enrichment methods. In this study, rice reconstituted by extrusion cooking method, was enriched with vitamin D<sub>3</sub> (100000 IU/g) at concentrations of 2.5, 5, 7.5 and 10 µg/100g and Zinc (as Zinc oxide) concentrations of 5, 10, 15 and 20 mg/100g and then remaining of Vitamin D<sub>3</sub> and Zinc were measured before and after extrusion and before and after cooking in 30 days intervals during 180 days storage period. According to the results, storage period and also the cooking process at all initial concentrations have a significant effect ( $p < 0.5$ ) on Vitamin D<sub>3</sub> and Zinc stability of extruded fortified rice so that the average content of Vitamin D<sub>3</sub> and Zinc at the end of storage period of 180 days showed a loss of 32.9 and 11.3% (before cooking), 38.9 and 24.0% (after cooking), respectively but these materials had a good stability during the extrusion process. Overall, during the different processing stages, the average content of Vitamin D<sub>3</sub> and Zinc showed a loss of 87.1 and 39.0%, respectively.

**Keywords:** Cereal flour, Cooking technology, Minerals, Guar gum, Arabic gum.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: bassiri@irost.ir