



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، حسی، تغذیه‌ای و بافت برنج (رقم هاشمی) اکستروود تولید شده با

صمغ‌های کربوکسی متیل سلولز و خرنوب

مهری میرزایی^۱، سارا موحد^{۲*}، محمد جواد اسداله‌زاده^۳، حسین احمدی چناربن^۴

۱-دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

۲-دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

۳-استادیار، گروه مهندسی شیمی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

۴-دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین-پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

کلمات کلیدی:

برنج اکستروود،

گسترش جانبی،

افت پخت،

صمغ،

ویتامین E.

DOI: 10.48311/fsct.2026.83960.0

* مسئول مکاتبات:

movahhed@iauvaramin.ac.ir

هدف از فرآیند اکستروژن، تولید محصولاتی با شکل، بافت، رنگ و طعمی متفاوت به منظور ایجاد تنوع در غذاهای روزمره و همچنین تامین ریزمغذی‌ها است. لذا استفاده از هیدروکلوئیدها و ویتامین‌ها به منظور بهبود ویژگی‌های عملکردی و ارزش تغذیه‌ای فرآورده‌های روزن‌رانی شده مرسوم می‌باشد. در این راستا در پژوهش حاضر تاثیر صمغ‌های لوکاست و کربوکسی متیل سلولز در سطوح (۰/۷۵، ۰/۵) و ۱ درصد) و ویتامین E به میزان ۴۰۰ mg/100g، بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، بافت، تغذیه‌ای و حسی برنج اکستروود شده رقم هاشمی مورد بررسی قرار گرفت. افزودن ویتامین E در تمام نمونه‌ها قبل از فرایند اکستروژن و در مرحله مخلوط کردن خشک انجام پذیرفت. طبق نتایج، بیشترین میزان رطوبت (۱۲/۸۶٪)، خاکستر (۱/۴۳٪)، جذب آب (۴/۸۷٪)، دانسیته (۰/۹۷g/cm³) و حلالیت (۲۰/۵۴٪) در تیمار ترکیبی حاوی (۱ درصد صمغ خرنوب و ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولز) و کمترین مقادیر مربوط به این صفات در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد. اما بیشترین مقدار پروتئین (۸/۲۲٪) در تیمار شاهد و بیشترین میزان گسترش جانبی (۱۴۸/۵٪) و تغییرات رنگ (۱۵/۱۳) در تیمار حاوی ۰/۵ درصد صمغ خرنوب تعیین گردید. از سوی دیگر، بیشترین میزان افت پخت (۱۲/۴۲٪) در تیمار حاوی ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولز و بیشترین میزان سختی (۲۴/۴۲N)، قابلیت جوندگی (۲۸/۷۸N)، ویتامین E (۶۰/۲ mg/100g) و کمترین میزان چسبندگی (۲/۵۱mJ) در تیمار ترکیبی حاوی ۱ درصد صمغ خرنوب و ۱ درصد صمغ کربوکسی متیل سلولز) به دست آمد. همچنین بیشترین امتیاز (۵) خواص حسی در تیمارهای شاهد و تیمارهای ترکیبی حاوی ۰/۷۵، ۰/۵ و ۱ درصد صمغ خرنوب و کربوکسی متیل سلولز مشاهده شد.

۱-مقدمه

برنج گیاهی یکساله از خانواده غلات Graminae و جنس *Oryza stiva* L. بوده که دارای گونه‌های متعددی است. در ایران برنج غذای اصلی مردم بعد از گندم است که طی فرآیند آسیابانی، به دست می‌آید. این فرآیند سبب تغییر ویژگی‌های بافتی و سفیدی برنج، افزایش قابلیت پیوند با آب، بهبود قابلیت هضم‌پذیری و کاهش زمان پخت می‌شود. نکته قابل توجه این‌که طی فرآیند آسیابانی، عمده مواد معدنی و ویتامین‌های برنج از دست می‌روند، لذا به نظر می‌رسد که بتوان به کمک تکنیک پخت اکستروژن و با استفاده از برنج شکسته به عنوان ماده اولیه ارزان و همچنین ماده افزودنی مناسب مورد نیاز برای گروه‌های خاص، عوارض ناشی از سوء تغذیه را بر طرف نمود و محصولی فراسودمند تولید کرد [۱]. در همین راستا طبق بررسی‌های انجام شده، محصولات مختلفی به کمک فرایند اکستروژن تولید شده‌اند [۲، ۳، ۴ و ۵]. اکستروژن فرآیندی است که با عبور تحت فشار ماده خام از یک منفذ کوچک آن را به محصولی با شکل و حالت مطلوب تبدیل می‌کند. در این فرآیند، عملیات واحد دیگری چون اختلاط، ورز دادن، اعمال نیروهای برشی، گرم کردن، سرد کردن، فرم دادن و شکل دادن نیز صورت می‌گیرد. در حقیقت دستگاه اکستروژن متشکل از یک پمپ است که در آن مواد ورودی، متراکم شده و به واسطه عملیات مختلف به شکل یک توده نیمه جامد در می‌آید. این توده، در اثر فشار وارده، از منافذ محدودی (قالب) که در انتهای ماردون قرار دارد، خارج می‌شود. هدف اصلی از روزن‌رانی، ایجاد تنوع در غذاهای روزمره است که به کمک تولید محصولاتی با شکل، بافت، رنگ و طعم متفاوت توسط تشکیل‌دهنده‌های اصلی غذا انجام می‌شود. اکستروژن، فرآیندی با دمای بالا و زمان کوتاه است که سبب کاهش بار میکروبی و غیرفعال شدن فعالیت آنزیم‌ها می‌شود. از مزایای فرآیند روزن‌رانی می‌توان به ایجاد تنوع در مواد غذایی، استفاده مجدد از ضایعات مواد غذایی و هزینه کمتر فرآیند نسبت به سایر روش‌های پخت،

اشاره کرد. پارامترهایی مانند دما، فشار، قطر روزنه‌های قالب، نیروی‌های برشی و ویژگی‌های رئولوژیکی غذا از مهم‌ترین عوامل تاثیر گذار بر محصولات حاصل از فرایند اکستروژن می‌باشند. قابل توجه این‌که نیروی‌های برشی بستگی به طراحی داخلی بدنه و سرعت و شکل مارپیچ دارد. رطوبت اولیه، ترکیب شیمیایی مواد اولیه مخصوصا مقدار و نوع نشاسته، پروتئین، چربی و قندها بر ساختار و همچنین رنگ فرآورده حاصل از اکستروژن موثرند [۶]. استفاده از ترکیبات هیدروکلوئیدی به منظور بهبود ویژگی‌های بافتی و عملکردی فرآورده‌های روزن‌رانی شده مرسوم می‌باشد. صمغ‌ها، پلیمرهای هیدروفیلی با وزن مولکولی بالا و مجموعه‌ای از پلی‌ساکاریدها و برخی پروتئین‌ها هستند که با حل یا پخش شدن در آب، گرانیوی را افزایش می‌دهند [۷]. از مهم‌ترین این صمغ‌ها می‌توان به خرنوب و کربوکسی متیل سلولز اشاره نمود. کربوکسی متیل سلولز یکی از صمغ‌های پرمصرفی است که از مشتقات مهم سلولز بوده و در دو گروه صنعتی و غذایی استفاده می‌شود. این ماده نوعی پلیمر خطی با وزن مولکولی بالا، محلول در آب و دارای بار منفی می‌باشد. ویسکوزیته آن حساس به pH نبوده و غیرقابل تخمیر در شرایط نرمال است و قدرت یونی آن با افزایش دما کاهش می‌یابد. قدرت پایدارکنندگی آن به الکترون‌گاتیو بالای آن نسبت داده می‌شود که سبب افزایش دافعه بین ذرات می‌گردد. امروزه از این صمغ در انواع محصولات پخت به منظور کنترل ویسکوزیته، نگهدارنده آب، جلوگیری از رشد کریستال‌ها، ایجاد استحکام، حفظ حالت کلوئیدی، بهبود فرم‌پذیری در قالب، ایجاد چسبندگی و مطلوب شدن مزه دهانی استفاده می‌شود [۸ و ۹]. صمغ دانه خرنوب، آندوسپرم آسیاب شده دانه خرنوب است که در مناطق دارای آب و هوای مدیترانه‌ای رشد می‌کند. این صمغ یکی از انواع گالاکتومانان‌های دانه‌ای بوده و ساختار اصلی آن شامل زنجیره‌های مانوز است که با پیوند گلوکوزیدی بتا (۴-۱) به هم متصل شده‌اند و اتم هیدروژن گروه هیدروکسیل روی

باشد، به عنوان یک جایگزین با ارزش، در برابر برنج طبیعی قابل توجه است. در این راستا در تحقیق حاضر امکان تولید برنج اکستروژ شده با استفاده از صمغ‌های خرنوب و کربوکسی متیل سلولز و همچنین افزودن ویتامین E در راستای بهبود ویژگی‌های عملکردی و ارزش تغذیه‌ای آن مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این پژوهش، مواد اولیه شامل برنج (واریت هاشمی) با درصد آمیلوز ۲۱/۷٪ (از بازار محلی)، صمغ خرنوب با متوسط وزن مولکولی ۵۵۰۰۰ Da، کربوکسی متیل سلولز با متوسط وزن مولکولی ۴۱۰۰۰ Da (شرکت DOW Chemical، آلمان) و ویتامین E (شرکت پورا طب، ایران) تهیه شدند. در ادامه دانه‌های برنج توسط آسیاب چکشی (شرکت Kenwood، ایتالیا) خرد و برای یکنواخت کردن اندازه ذرات از غربالی با مش ۱ mm عبور داده شدند. آن‌گاه ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها شامل رطوبت (AACC, 44-16)، خاکستر (AACC, 08-01)، پروتئین (AACC, 46-12)، چربی (AACC, 30-10)، فیبر (AACC, 32-10) و آمیلوز (AACC, 40-18) سنجش و تعیین گردیدند [۱۲]. به منظور تهیه خمیر، نسبت‌های مختلفی از آرد برنج، صمغ خرنوب، صمغ کربوکسی متیل سلولز (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد) به‌طور جداگانه و ترکیبی و همچنین ویتامین E با مقدار ثابت ۴۰۰ mg/100g، مطابق جدول ۱ توسط مخلوط‌کن (شرکت بوش، مدل MMB6145، آلمان) با یکدیگر مخلوط (میکسری با دور ۳۶۵ rpm به مدت ۲۰ min) آن‌گاه به آن آب (۱۶ تا ۳۰٪) اضافه گردید. قبل از توجه این‌که در کلیه نمونه‌ها، مقدار ثابت ۱٪ امولسیفایر (دی استیل تارتاریک اسید، شرکت پارس بهبود آسیا، ایران) به منظور بهبود حجم محصول استفاده شد [۱۳].

کربن شماره ۶ توسط واحدهای آلفا - د - کالکتوز از طریق اتصالات (۶-۱) جایگزین شده است. این صمغ به صورت پودر با رنگ سفید تا کرم وجود دارد و عمدتاً از پلی ساکارید هیدروکلوئیدی با وزن مولکولی بالا تشکیل می‌شود. در هر دو آب سرد و گرم قابل پخش بوده که یک سول با pH بین ۵/۴ تا ۷ ایجاد می‌کند که می‌تواند به وسیله افزایش مقادیر کم بورات سدیم به یک ژل تبدیل شود. نزدیک به ۳۵٪ از مواد موجود در خرنوب، کربوهیدرات‌های با ساختار مولکولی ساده می‌باشند و حدود ۴۰٪ آن از نشاسته با ساختار مولکولی پیچیده تشکیل یافته است. میزان چربی خرنوب بسیار کم و در حدود ۱٪ است. صمغ دانه خرنوب به صورت وسیع در مقیاس صنعتی به عنوان قوام دهنده و پایدار کننده محصولات غذایی استفاده می‌شود [۱۰]. ویتامین E یکی از ویتامین‌های محلول در چربی است که در گیاهان و بیشتر در دانه‌ها و مغزهای روغنی یافت می‌شود. این ویتامین خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد و از بافت‌های بدن در مقابل اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد برخی از ترکیب‌های شیمیایی محافظت می‌کند. همچنین این ویتامین در لایه چربی دیواره سلول و داخل سلول قرار می‌گیرد و از تخریب دیواره سلول جلوگیری می‌کند. این ویتامین ترکیبی از ۴ توکوفرول و ۴ توکوتری لنول در طبیعت بوده و آلفا توکوفرول سپس بتا توکوفرول از بیشترین فعالیت بیولوژیکی برخوردارند. توکوفرول‌ها و توکوتری‌اتول‌های غیر استریفیه، در آب نامحلول هستند اما در الکل و دیگر حلال‌های آلی (شامل استن، کلروفرم و اتر) و روغن‌های نباتی به سرعت حل می‌شوند. در صنایع غذایی از این ویتامین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان در روغن‌های گیاهی و محصولات غذایی حاوی چربی استفاده می‌شود [۱۱]. حال دستیابی به فناوری تولید برنج اکستروژ شده با ویژگی‌های کیفی و ارگانولپتیکی مشابه برنج طبیعی که دارای ارزش تغذیه‌ای بالاتر یا برابر با برنج طبیعی بوده و قیمت تمام شده آن نیز نسبت به برنج طبیعی پایین‌تر

Table 1 Study treatments

Treatment	Code
Control [(raw rice grain; Hashemi variety)]	H0
Extruded rice, [0.5% locust bean gum (w/w flour basis) +Vitamin E (400mg/100g)]	H1
Extruded rice, [0.75% locust bean gum (w/w flour basis) +Vitamin E (400mg/100g)]	H2
Extruded rice, [1% locust bean gum (w/w flour basis) +Vitamin E (400mg/100g)]	H3
Extruded rice, [0.5% CMC gum (w/w flour basis) +Vitamin E (400mg/100g)]	H4
Extruded rice, [0.75% CMC gum (w/w flour basis) +Vitamin E (400mg/100g)]	H5
Extruded rice, [1% CMC gum (w/w flour basis) +Vitamin E (400mg/100g)]	H6
Extruded rice, 0.5% locust bean gum + 0.5% CMC gum (w/w flour basis) +Vitamin E (400mg/100g)]	H7
Extruded rice, [0.75% locust bean gum+ 0.75% CMC gum (w/w flour basis) +Vitamin E (400mg/100g)]	H8
Extruded rice, [1% locust bean gum+ 1% CMC gum (w/w flour basis) +Vitamin E (400mg/100g)]	H9

(۱) دستگاه اکسترودر (Jinan Saixi; China) مورد استفاده از

$$MC = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

در این معادله، MC = میزان رطوبت بر پایه تر (درصد)،
 W_i = وزن محصول تر (kg) و W_f = وزن محصول خشک
 (kg) است.

۲-۲-۲- اندازه‌گیری خاکستر قبل از پخت

خاکستر نمونه‌های برنج، مطابق استاندارد AACC، شماره ۰۸-۰۱ اندازه‌گیری شد [۱۲]. بدین منظور ابتدا ۵ g نمونه در کروزه چینی قرار گرفت و بر روی شعله گاز سوزانده شد. پس از خروج ترکیبات آلی، نمونه به همراه کروزه به داخل کوره الکتریکی با دمای حدوداً ۶۰۰-۵۵۰ °C تا سفید شدن محتویات و ثابت شدن وزن قرار داده شد. سپس درصد خاکستر از اختلاف وزن قبل و پس از قرارگیری در کوره الکتریکی محاسبه شد.

۲-۲-۳- اندازه‌گیری پروتئین قبل از پخت

میزان پروتئین نمونه‌های برنج اکسترودر شده، مطابق روش استاندارد AACC، شماره ۱۲-۴۶ اندازه‌گیری شد [۱۲]. اصول این روش عبارتست از اکسید کردن مواد آلی موجود در نمونه به وسیله اسید سولفوریک غلیظ و در مجاورت کلتالیزور. در این روش کل ازت موجود در نمونه تبدیل به

دستگاه اکسترودر (Jinan Saixi; China) مورد استفاده از ۱۶ تا ۳۲ عدد منفذ به قطر ۲/۲ mm و با دو عدد مارپیچ ساخته شده بود که تحت فشار ۱۹/۱۰-۱۳/۳۵ MPa و با حداقل و حداکثر سرعت مارپیچ به ترتیب ۲۰ rpm و ۳۴۰ rpm و حداقل و حداکثر دمای عملیاتی به ترتیب ۷۵ °C و ۹۵ °C عمل می‌کرد. شرایط اکستروژن به صورت (رطوبت ورودی ۳۰٪، سرعت چرخش ماردون ۲۶/۶ در هر دقیقه، سرعت خوراک‌دهی ۱۱/۵ kg.h⁻¹ و دمای اکستروژن ۹۵ °C) تعیین گردید. بعد از خروج نمونه‌ها از دستگاه اکسترودر، نمونه‌های تهیه شده با کمک مکش هوا از لوله‌ای به سمت خشک‌کن هدایت شدند. در ادامه تیمارهای مختلف، در خشک‌کنی با جابجایی هوای داغ به صورت تک لایه در دمای ۵۰ °C تا رسیدن رطوبت نمونه‌ها به ۱۴-۱۰ (درصد بر مبنای تر) خشک گردیدند و در کیسه‌هایی از جنس پلی‌اتیلن بسته‌بندی و کد گذاری شدند.

۲-۲-۴- آزمون‌های انجام شده بر روی نمونه‌های برنج

اکسترودر شده (قبل و بعد از پخت)

۱-۲-۲- اندازه‌گیری رطوبت قبل از پخت

اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ها مطابق روش استاندارد AACC شماره ۱۶-۴۴، و طبق رابطه ۱ انجام شد [۱۲].

توسط خط‌کش، سطح برنج با لبه ظرف یکنواخت شد. در ادامه وزن برنج داخل ظرف تعیین و از طریق تقسیم جرم توده به حجم ظرف، مقدار دانسیته توده برنج اکستروود شده بر حسب kg/m^3 طبق رابطه ۴ تعیین شد [۱۵].

(۴)

$$\rho_b =$$

$$\frac{m_b}{v_b}$$

در این معادله، ρ_b = دانسیته توده (kg/m^3)، m_b = جرم توده (kg) و v_b = حجم توده (m^3).

۷-۲-۲- اندازه‌گیری شاخص حلالیت قبل از پخت

در این آزمون، ۲/۵ g نمونه آسیاب شده (اندازه ذرات تا μ ۲۵۰-۲۰۰ کاهش یافت) در ۲۵ g آب مقطر غوطه‌ور و به مدت ۳۰ min توسط همزن شیشه‌ای هم‌زده شد. دیسپرسیون حاصل به لوله‌های سانتریفوژ منتقل و در ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ min سانتریفوژ شد. سپس فاز رویی لوله سانتریفوژ شده جدا و میزان انحلال‌پذیری تعیین گردید [۱۴].

۸-۲-۲- اندازه‌گیری تغییرات رنگ (ΔE) قبل از پخت

به منظور سنجش تغییرات کلی رنگ برنج اکستروود شده، از دستگاه هانتربل و روش استاندارد AACC، شماره ۱۰-۱۴ استفاده شد [۱۲].

$$\Delta E =$$

(۵)

$$\sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

در این رابطه، مقادیر L_0 ، a_0 و b_0 مقادیر نمونه مرجع (خمیر قبل از اکستروود شدن) می‌باشند.

۹-۲-۲- اندازه‌گیری افت پخت در نمونه‌های برنج

اکستروود پخته شده

در این راستا ۱۰۰ g برنج اکستروود شده در ۳۰۰ mL آب جوش به مدت ۱۳ min غوطه‌ور گردید. پس از آبکش نمودن، آب جدا شده درون بشر به مدت ۱ h در یک آون با دمای 115°C قرار داده شد تا آب آن به طور کامل تبخیر

سولفات آمونیوم $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$ گردید و سپس به کمک آمونیاک، سولفات آمونیوم آزاد و تقطیر شد و آمونیاک آزاد شده، جذب اسید گردید و سپس با تیتراسیون آمونیاک آزاد شده، ازت موجود در نمونه محاسبه شد و با ضرب نمودن میزان ازت در ضریب مربوط به پروتئین آرد برنج، میزان پروتئین توسط رابطه ۲ تعیین گردید.

(۲)

$$P = \frac{A-B}{100} \times 0.1 \times 14 \times 57$$

در این معادله، P = میزان پروتئین (درصد)، A = میلی لیتر اسید سولفوریک مصرفی برای نمونه و B = میلی لیتر اسید سولفوریک مصرفی برای نمونه شاهد است.

۴-۲-۲- اندازه‌گیری جذب آب قبل از پخت

برای این آزمون، ۲/۵ g نمونه آسیاب شده (اندازه ذرات تا μ ۲۵۰-۲۰۰ کاهش یافت) در ۲۵ g آب مقطر غوطه‌ور و به مدت ۳۰ min توسط همزن شیشه‌ای هم‌زده شد. دیسپرسیون حاصل به لوله‌های سانتریفوژ منتقل و در ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ min سانتریفوژ شد. در ادامه فاز ترسیب شده به منظور تعیین میزان جذب آب توزین گردید [۱۴].

۵-۲-۲- اندازه‌گیری گسترش جانبی قبل از پخت

برای اندازه‌گیری گسترش جانبی نمونه‌های برنج اکستروود شده از رابطه ۳ استفاده گردید [۱۴].

(۳)

$$LE = \frac{d}{d_0} \times 100$$

در این معادله، d_0 = قطر روزنه قالب (mm) و d = قطر برنج اکستروود شده (mm).

۶-۲-۲- اندازه‌گیری دانسیته قبل از پخت

برای اندازه‌گیری دانسیته نمونه‌ها از روش استاندارد AACC به شماره ۲۰-۵۴ استفاده شد. در این روش بعد از خشک شدن برنج اکستروود شده (رسیدن به رطوبت ۱۰٪ بر مبنای خشک)، دانه‌های برنج از ارتفاع ۱۵ cm به داخل یک ظرف با حجم معین ریزش نمودند. سپس با حرکت زیگزاکی

گردید. در ادامه جرم مواد جامد باقی‌مانده اندازه‌گیری و به عنوان افت پخت در نظر گرفته شد [۱۴].

۲-۲-۱۰- سنجش بافت نمونه‌های برنج اکسترو شده پس از پخت

برای بافت سنجی نمونه‌های اکسترو شده از دستگاه بافت سنج Brookfield (مدل CT Pro ساخت آمریکا) استفاده شد. در این روش ۴۰ g نمونه پخته شده در یک ظرف دایره‌ای قرار داده شد و توسط پروب میله‌ای TA5 با سرعت جابجایی ۰/۵ mm/s تا ۶۰٪ نمونه‌ها فشرده گردید. در ادامه سختی بافت، چسبندگی و جوندگی نمونه‌ها از روی نمودار تعیین شدند [۱۶].

۲-۲-۱۱- ارزیابی حسی نمونه‌های برنج اکسترو شده پس از پخت

ارزیابی حسی به روش امتیازبندی هدونیک ۵ نقطه‌ای به وسیله‌ی گروهی از ارزیابان آموزش دیده متشکل از ۱۰ نفر در محدوده سنی ۲۰ تا ۳۰ سال (مرد و زن) بر روی برنج اکسترو پخته شده انجام شد. بدین ترتیب که در مورد هر یک از ویژگی‌ها، امتیاز ۵ به نمونه‌های بسیار خوب و امتیاز ۱ به نمونه بسیار بد داده شد. ارزشیابی، شامل عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی بودند [۱۴].

۲-۲-۱۲- اندازه‌گیری ویتامین E در نمونه‌های برنج اکسترو شده پس از پخت

HPLC مورد استفاده از نوع Pharmacia, LKB با آشکارساز مدل ۲۲۴۱ از نوع UV, Multi Wave Length و ستون به‌کار رفته از نوع Super pac pep-s بود. شدت جریان یک میلی‌لیتر در دقیقه و میزان تزریق ۵۰ میکرولیتر به مدت ۱۰

دقیقه در نظر گرفته شد. همچنین طول موج انتخابی از شروع آزمایش تا ۷ دقیقه ۳۲۵ نانومتر و از ۷ تا ۱۵۰ دقیقه ۲۹۲ نانومتر بودند. پس از پایان جداسازی ویتامین و ترسیم کروماتوگرام توسط نرم‌افزارهای HPLC manager و Nelson تفسیر منحنی‌ها انجام شد [۱۷].

۲-۲-۱۳- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش‌ها از طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌های شیمیایی انجام شده بر روی آرد برنج (وارته هاشمی)، مقدار رطوبت ۹/۱۸٪، خاکستر کل ۰/۴۱٪، پروتئین ۸/۳۲٪، چربی ۰/۲۱٪، فیبر ۲/۵٪ و آمیلوز ۲۶/۹۱٪ اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان می‌دهد که امکان استفاده از وارته مورد نظر به منظور تولید برنج اکسترو وجود دارد.

۳-۱- نتایج آزمون‌های فیزیکی-شیمیایی انجام شده بر روی نمونه‌های برنج شاهد و اکسترو شده (قبل از پخت)

نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تاثیر مقادیر مختلف صمغ‌های لوکاست و کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نمونه‌های برنج اکسترو شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد، در جدول ۲ نشان داده شده است.

Table 2 Mean comparison of physicochemical analysis of extruded rice and control samples (before cooking)

Treatment	Moisture (%)	Ash (%)	Protein (%)	Water absorption (%)
H0	8.00±0.10 e	0.42±0.05 f	8.22±0.11 a	2.10±0.13 g
H1	10.57±0.15 d	0.61±0.03 e	7.90±0.10 b	2.35±0.15 fg
H2	10.86±0.17 cd	0.79±0.03 d	7.84±0.10 b	2.80±0.15 e
H3	11.59±0.18 b	1.11±0.05 c	7.50±0.05 c	3.35±0.15 d

H4	11.00±0.11 c	0.64±0.04 e	7.90±0.10 b	2.56±0.18 ef
H5	11.48±0.16 b	0.79±0.03 d	7.84±0.10 b	3.27±0.12 d
H6	11.67±0.15 b	1.26±0.03 b	7.51±0.05 c	3.45±0.10 d
H7	12.63±0.21 a	1.28±0.03 b	7.51±0.05 c	3.88±0.08 c
H8	12.74±0.18 a	1.35±0.05 a	7.42±0.05 cd	4.35±0.10 b
H9	12.86±0.15 a	1.43±0.08 a	7.35±0.05 d	4.87±0.11 a

In each column, mean that at least one letter in common, according to Duncan's test, not significant difference at 5%

Continuation of **Table 2** Mean comparison of physicochemical analysis of extruded rice and control samples (before cooking)

Treatment	Lateral extension (%)	Density (g/cm ³)	Solubility in water (%)	ΔE
H0	-	0.76±0.02 d	15.26±0.13 g	0
H1	148.5±3.4 a	0.78±0.02 d	16.43±0.15 f	15.13±0.08 a
H2	138.31±2.5 b	0.81±0.03 cd	17.32±0.15 e	9.44±0.20 b
H3	135.58±2.3 b	0.85±0.02 bc	19.54±0.18 c	8.53±0.11 c
H4	130.08±2.1 c	0.79±0.03 d	17.14±0.17 e	9.78±0.18 b
H5	127.11±2.3 c	0.81±0.03 cd	18.27±0.15 d	9.40±0.22 b
H6	126.53±2.1 c	0.86±0.03 bc	19.65±0.18 c	8.50±0.12 c
H7	120.57±1.9 d	0.89±0.03 b	19.86±0.20 bc	8.38±0.12 c
H8	120.08±1.6 d	0.89±0.03 b	20.24±0.24 ab	7.68±0.15 d
H9	113.21±1.8 e	0.97±0.05 a	20.54±0.25 a	7.95±0.18 d

In each column, mean that at least one letter in common, according to Duncan's test, not significant difference at 5%

مجدد آمیلوپکتین و از سوی دیگر بهبود کیفیت خمیر و در مجموع ایجاد ویژگی‌های مطلوب رئولوژیکی شدند. از سوی دیگر بیشتر بودن مقدار رطوبت در تیمارهای حاوی صمغ کربوکسی متیل سلولز را می‌توان به بیشتر بودن گروه‌های هیدروکسیل موجود در آن نسبت به صمغ خرنوب نسبت داد. البته آسیب‌دیدگی ناشی از فرایند اکستروژن هم می‌تواند دلیلی بر افزایش ظرفیت جذب آب باشد [۱۹ و ۲۰].

۳-۱-۲ - خاکستر

مطابق جدول ۲، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان خاکستر نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین میزان خاکستر (۱/۴۳٪) در تیمار H9 و کمترین مقدار آن (۰/۴۲٪) در تیمار H0 اندازه‌گیری شد. همان‌گونه که نتایج

۳-۱-۱ - رطوبت

مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۱۴ میزان رطوبت برنج باید بین ۱۴-۱۰٪ باشد تا محصول دچار کپک‌زدگی نشود [۱۸]. مطابق جدول ۲، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان رطوبت نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین میزان رطوبت (۱۲/۸۶٪) در تیمار H9 و کمترین مقدار آن (۸/۰۰٪) در تیمار H0 اندازه‌گیری شد. طبق نتایج، با افزایش مقدار صمغ‌های خرنوب و کربوکسی متیل سلولز، مقدار رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت که علت نتیجه حاصل را می‌توان به ساختار مولکولی هیدروکلوئیدها و هیدروفیل بودن آن‌ها نسبت داد که باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و کاهش مولکول‌های آزاد آب و در نتیجه کریستالیزاسیون

نشان می‌دهند، در تمامی تیمارها با افزایش میزان صمغ‌های خرنوب و کربوکسی متیل سلولز، میزان خاکستر تیمارها افزایش معنی‌دار نشان داد که دلیل افزایش خاکستر می‌تواند به واسطه وجود عناصر معدنی و مقادیر کمی تانن و تانوزید در صمغ‌های مصرفی باشد [۲۱ و ۲۴].

۳-۱-۳ - پروتئین

بر اساس نتایج جدول ۲، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان پروتئین نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین میزان پروتئین (۸/۲۲٪) در تیمار H0 و کمترین مقدار آن (۷/۳۵٪) در تیمار H9 اندازه‌گیری شد. طبق نتایج، در تمامی تیمارها با افزایش میزان صمغ‌های خرنوب و کربوکسی متیل سلولز، میزان پروتئین تیمارها کاهش معنی‌دار نشان داد. به‌طور کلی فرآیند اکستروژن از طریق غیر طبیعی کردن پروتئین‌ها باعث افزایش قابلیت هضم آنها می‌شود که علت آن افزایش محل‌های عمل آنزیم‌ها در ساختار پروتئین می‌باشد. بسیاری از آنزیم‌ها و عوامل ضد آنزیمی به علت غیر طبیعی شدن تحت اکستروژن، فعالیت خود را از دست می‌دهند. میزان غیر طبیعی شدن پروتئین‌ها معمولاً با اندازه‌گیری حلالیت پروتئین‌ها در آب و یا سایر محلول‌های مشابه ارزیابی می‌شود. تغییر حلالیت پروتئین‌ها معمولاً تحت شرایط اعمال نیرو برشی بالا، زیاد می‌شود و همچنین تحت تاثیر دما و رطوبت نیز قرار می‌گیرد [۱۹ و ۲۰]. هازاریکا و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند که دمای بالا و رطوبت پایین باعث افزایش میزان واکنش‌های مایلارد می‌گردد. قندهای احیا کننده (قندهای کوچک تشکیل شده در طی اعمال نیرو برشی) و ساکارز (پس از هیدرولیز) می‌توانند با لیزین واکنش دهند که همین امر باعث کاهش ارزش تغذیه‌ای پروتئین‌های موجود در محصولات اکستروژن شده می‌گردد [۲۱].

۳-۱-۴ - میزان جذب آب

بر اساس نتایج جدول ۲، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان جذب آب نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین میزان جذب آب (۴/۸۷٪) در تیمار H9 و کمترین مقدار آن (۲/۱۰٪) در تیمار H0 اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی هرچه قدر شاخص جذب آب بالاتر باشد نشان‌دهنده تجزیه بیشتر نشاسته به اجزای کوچکتر می‌باشد و در واقع درجه ژلاتینه شدن آن بالاتر می‌باشد. به‌طور کلی صمغ‌ها به دلیل جذب آب بیشتر و ایجاد تورم در نشاسته موجب افزایش درجه ژلاتینه شدن می‌گردند. بکر و همکاران (۲۰۱۴) طی تحقیقی بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی برنج‌های بازسازی شده بیان داشتند که شاخص جذب آب با افزایش درجه ژلاتینه شدن، بیشتر می‌شود. در واقع تعداد بیشتری از گروه‌های هیدروکسیل به شکل پیوند هیدروژنی در اختیار آب قرار می‌گیرد و میزان جذب آب افزایش می‌یابد [۶]. راوندران و همکاران (۲۰۱۱) طی تحقیقی اثر صمغ‌های گوار، خرنوب و فنوگریک را در غلظت‌های مختلف، در مخلوط آردهای برنج-نخود اکستروژن شده مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج، افزایش غلظت صمغ‌های گوار و خرنوب تا ۵٪ تاثیر معنی‌داری در افزایش شاخص جذب آب داشت درحالی که در غلظت‌های بیش از ۵٪ سبب کاهش معنی داری شاخص جذب آب گردید. همچنین گزارش نمودند که افزایش یافتن جذب آب در نتیجه فرآیند حرارتی، به سبب غیرطبیعی شدن پروتئین، ژلاتینه شدن نشاسته و تورم فیبر اتفاق می‌افتد [۱۴]. لیو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش نمودند که شرایط بهینه اکستروژن با توجه به روش سطح پاسخ، شامل رطوبت ورودی ۳۰٪، سرعت چرخش ماردون ۲۶/۶ دور در دقیقه، دمای اکستروژن ۹۵ درجه سلسیوس و ۴٪ سبوس و صمغ گوار می‌باشد. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش میزان رطوبت ورودی و سرعت چرخش ماردون، میزان جذب آب افزایش می‌یابد در حالی که افزایش دمای فرآیند اکستروژن سبب کاهش جذب آب می‌شود. آنها بیان داشتند که رطوبت محصول به صورت پلاستی سایزر عمل

نموده و تجزیه گرانول‌های نشاسته را کاهش می‌دهد و سبب افزایش ظرفیت جذب آب می‌شود [۱۶].

۳-۱-۵ - میزان گسترش جانبی

مطابق جدول ۲، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان گسترش جانبی نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین میزان گسترش جانبی (۱۴۸/۵٪) در تیمار H1 و کمترین مقدار آن (۱۱۳/۲۱٪) در تیمار H9 اندازه‌گیری شد. به طور کلی افزایش رطوبت نمونه‌ها سبب کاهش فشار بخار طی فرایند اکستروژن کردن می‌شود لذا می‌توان انتظار داشت که ویژگی‌های الاستیسیته برنج افزایش و در نتیجه گسترش جانبی نمونه‌ها کاهش یابد. همچنین در مقایسه با صمغ خرنوب، بالا بودن ظرفیت جذب آب صمغ کربوکسی متیل سلولز، سبب نرم‌تر شدن ساختار آمیلوپکتین و در نتیجه بهبود ویژگی‌های الاستیسیته برنج اکستروژن شده گردید که نتیجه آن کاهش بیشتر گسترش جانبی بود [۲۰ و ۲۲]. لیو و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی به بررسی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و بافتی برنج شکل داده شده به روش پخت اکستروژن پرداختند. در این تحقیق سبوس به نسبت صفر و ۴٪ به فرمولاسیون اضافه گردید و در شرایط رطوبت ورودی (۶/۴-۲۶/۳۳٪)، سرعت چرخش ماردون (۳۲/۶-۲۰/۱ دور در دقیقه) و دمای ناحیه اکستروژن (۷۰-۱۲۰ درجه سلسیوس)، اکستروژن شد. طبق نتایج، افزایش میزان رطوبت ورودی سبب تغییر در ساختار مولکول آمیلوپکتین و کاهش الاستیسیته ذوب و در نهایت کاهش انبساط گردید در حالی که دانسیته توده افزایش یافت. آن‌ها گزارش نمودند که میزان گسترش جانبی در شرایط مختلف در محدوده ۲۱۰-۱۳۹ متغیر بوده است. همچنین عنوان نمودند که با افزایش دمای فرآیند و سرعت چرخش ماردون، گسترش جانبی به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد. همچنین سرعت بالای چرخش ماردون سبب شکسته شدن مولکول نشاسته و کاهش الاستیسیته خمیر و نهایتاً کاهش گسترش جانبی می‌گردد [۱۶]. بکر و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی عنوان نمودند که

میزان پروتئین و چربی محصول ورودی روی گسترش جانبی تاثیر گذارند. به این دلیل که پروتئین با توزیع مناسب آب طی فرآیند اکستروژن سبب کاهش انبساط می‌گردد و چربی‌ها نیز به سبب نقش روان‌کنندگی خود و حفاظت از گرانول‌های نشاسته سبب کاهش ژلاتینه شدن آن‌ها می‌شوند و در نتیجه انبساط را کاهش می‌دهند [۶].

۳-۱-۶ - دانسیته

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر مقدار دانسیته نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین مقدار دانسیته (۰/۹۷ g/cm³) در تیمار H9 و کمترین مقدار آن (۰/۷۶ g/cm³) در تیمار H0 اندازه‌گیری شد. همان‌گونه که بیان شد، با افزودن صمغ‌ها میزان گسترش جانبی نمونه‌ها کاهش یافت که این عامل دلیلی بر کاهش دانسیته توده می‌باشد. از سوی دیگر درصد‌های بالاتر صمغ‌ها در افزایش ظرفیت جذب آب موثرتر می‌باشند و لذا به دلیل تغییر در ساختار آمیلوپکتین سبب افزایش دانسیته می‌شوند [۱۹ و ۲۲]. وانگ و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی تاثیر افزودن امولسیفایر و هیدروکلوئیدها را بر برخی خواص کمی و کیفی برنج اکستروژن شده مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که افزودن هیدروکلوئیدها سبب افزایش شاخص حلالیت در آب، دانسیته توده، میزان جذب آب و چسبندگی می‌گردد. آن‌ها بیان کردند که دانسیته توده به توانایی مواد اکستروژن شده در غوطه‌ور یا شناور شدن در آب بر می‌گردد به گونه‌ای که با افزایش ژلاتیناسیون و کاهش گسترش جانبی، دانسیته توده افزایش می‌یابد [۲۲].

۳-۱-۷ - میزان حلالیت

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان حلالیت نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین میزان حلالیت (۲۰/۵۴٪) در تیمار H9 و کمترین مقدار آن (۱۵/۲۶٪) در تیمار H0 اندازه‌گیری شد.

راستا بیشترین میزان تغییرات رنگ (۱۵/۱۳) در تیمار H1 و کمترین مقدار آن (۷/۶۸) در تیمار H8 اندازه‌گیری شد. طبق نتایج حاصل از تحقیق با افزایش میزان رطوبت نمونه‌ها تغییرات کلی رنگ (ΔE) نمونه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت. از دلایل افزایش تغییرات رنگ می‌توان به واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی (مایلارد)، کاراملیزاسیون، تجزیه پروتئین‌ها و تجزیه رنگدانه‌ها طی فرآیند اکستروژن اشاره کرد. قابل توجه این‌که افزایش دما و کاهش رطوبت، سبب شدت واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی (مایلارد) و تولید رنگدانه‌های تیره به خصوص ملانوئیدین‌ها می‌گردد. از سوی دیگر تغییر در رنگدانه‌ها می‌تواند به علت تاثیر حرارت بر روی ترکیباتی حساس از قبیل کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و ویتامین‌ها باشد [۲۰].

۳-۲- نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی نمونه‌های برنج شاهد و اکستروژن‌شده پس از فرایند پخت

نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تاثیر صمغ‌های لوکاست و کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی‌های بافتی و مقدار ویتامین E نمونه‌های برنج اکستروژن‌شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد (پس از فرایند پخت)، در جدول ۳ نشان داده شده است.

شاخص حلالیت در آب یکی از فاکتورهای مهم جهت سنجش تغییرات فیزیکی و شیمیایی محسوب می‌شود که نشان‌دهنده طبیعت آب دوستی-آب‌گریزی ترکیبات سازنده ماده می‌باشد و به ویژه مرتبط با درجه تجزیه نشاسته در هنگام پخت اکستروژن می‌باشد. همان‌طور که قبلاً بیان شد تیمارهای حاوی صمغ از مقدار رطوبت بیشتری در مقایسه با نمونه شاهد برخوردار بودند. لذا علت حلالیت بیشتر آن است که در این تیمارها افزایش ژلاتیناسیون گرانول‌های نشاسته و تخریب آن‌ها اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر حلالیت بیشتر نشان‌دهنده فروپاشی بیشتر نشاسته در برنج اکستروژن شده می‌باشد. همچنین علت نتیجه حاصل می‌تواند نتیجه برهم‌کنش صمغ‌ها با یکدیگر و با نشاسته و تشکیل کمپلکس پیچیده فعال باشد که سبب افزایش قابلیت انحلال شده است [۱۶، ۲۰ و ۲۲]. راویندران و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر صمغ‌های گوار، خرنوب و فنوگریک را در غلظت‌های مختلف روی مخلوط آردهای برنج- نخود اکستروژن شده ارزیابی و نشان دادند که با افزایش غلظت صمغ، شاخص حلالیت در آب افزایش می‌یابد [۱۴].

۳-۱-۸- تغییرات رنگ

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان حلالیت نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین

Table 3 Mean comparison of cooking loss, textural analysis, and vitamin E of extruded rice and control samples (after cooking)

Treatment	Cooking loss (%)	Texture hardness (N)	Chewiness (N)	Adhesiveness (mJ)	Vitamin E (mg/100g)
H0	7.90±0.04 f	7.84±1.09 g	3.70±0.23 i	2.51±0.05 a	5.1±0.88 g
H1	8.74±0.05 e	8.75±1.05 g	5.00±0.89 h	0.22±0.02 b	20.2±1.2 f
H2	10.63±0.08 c	10.59±1.07 f	5.41±0.15 h	0.25±0.02 b	22.1±1.18 f
H3	9.46±0.09 d	13.89±1.80 de	14.19±1.11 d	0.20±0.03 bc	33.2±1.33 de
H4	11.78±0.18 b	9.80±1.31 fg	6.50±0.65 g	0.23±0.02 b	20.3±1.14 f
H5	8.72±0.06 e	11.87±1.85 ef	9.18±1.08 e	0.18±0.02 c	32.2±1.08 e
H6	12.42±0.23 a	15.34±1.13 d	7.96±1.15 f	0.20±0.03 bc	35.2±1.71 d
H7	7.94±0.03 f	18.74±1.06 c	23.21±1.36 b	0.13±0.02 d	48.3±1.65 c
H8	7.93±0.04 f	20.23±1.07 b	18.20±1.85 c	0.18±0.02 c	53.3±1.47 b
H9	7.93±0.04 f	24.42±1.05 a	28.78±2.01 a	0.10±0.01 d	60.2±1.55 a

In each column, mean that at least one letter in common, according to Duncan's test, not significant difference at 5%

۳-۲-۱ - افت پخت

همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان افت پخت نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین میزان افت پخت ($12/42\%$) در تیمار H6 و کمترین مقدار آن ($7/90\%$) در تیمار H0 اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی شرایط اکستروژن مانند انرژی مکانیکی و حرارتی (سرعت ماردون و دمای اکستروژن) سبب افزایش ژلاتیناسیون مواد اکستروژن شده می‌شوند. همچنین تغییرات رطوبت خوراک ورودی، سرعت تیغه و سرعت خوراک‌دهی نیز سبب تغییر در بافت اکستروژن شده می‌گردند. علاوه بر شرایط فرآیند، فرمولاسیون بکار رفته نیز می‌تواند اثرات مختلفی را بر بافت محصول اکستروژن شده بگذارد. بنابراین افت پخت ناشی از ایجاد فرآورده‌ای جدید بدیهی به نظر می‌رسد که می‌توان با بهینه‌کردن شرایط فرآیند و فرمولاسیون، آن را به برنج طبیعی نزدیک کرد. طبق نتایج به‌دست آمده با افزایش غلظت صمغ‌ها مقدار رطوبت نمونه‌های برنج اکستروژن شده افزایش یافت. در این راستا تیمارهای با درصد رطوبت بالاتر از میزان افت پخت بیشتری برخوردار بودند. علت نتیجه حاصل آن است که افزایش جذب آب سبب افزایش ژلاتیناسیون نشاسته و تجزیه گرانول‌های نشاسته گردید لذا افت پخت بیشتری حین پخت مشاهده شد. محققین دیگر نیز در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست یافته بودند [۱۹ و ۲۳].

۳-۲-۲ - سختی

همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان سختی نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین میزان سختی ($24/42\%$) در تیمار H9 و کمترین مقدار آن ($7/84\%$) در تیمار H0 اندازه‌گیری شد. مهم‌ترین دلیل سخت شدن بافت محصول، فشاری است که

طی فرایند اکستروژن وارد می‌شود. این فشار از گسترش جانبی محصول کاسته و سبب افزایش دانسیته و متراکم شدن بافت آن می‌گردد. از آن‌جا که تیمار H9 از رطوبت بیشتر، گسترش جانبی کمتر و از کمپلکس قوی‌تر بین آمیلوز و صمغ‌ها برخوردار بود لذا با اعمال فشار طی اکستروژن، بافت آن نسبت به سایر تیمارها سخت‌تر گردید [۲۰ و ۲۲]. وانگ و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی گزارش نمودند که افزودن امولسیفایرها سبب افزایش ژلاتیناسیون و کاهش شاخص حلالیت در آب و چسبندگی تیمارها ولی افزودن صمغ‌ها سبب افزایش شاخص حلالیت در آب، دانسیته توده، میزان جذب آب و سختی بافت می‌گردد. که دلیل این نتیجه را ایجاد کمپلکس بین نشاسته-امولسیفایر- صمغ نسبت دادند که توانسته بود میزان دانسیته دانه‌های برنج اکستروژن شده را در مقایسه با نمونه شاهد افزایش دهد که نتیجه آن افزایش سختی نمونه‌ها بود [۲۲].

۳-۲-۳ - قابلیت جویدن

همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان قابلیت جویدن نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین میزان قابلیت جویدن ($28/78\%$) در تیمار H9 و کمترین مقدار آن ($3/70\%$) در تیمار H0 اندازه‌گیری شد. علت بیشتر بودن این شاخص در تیمار H9 را می‌توان به یکنواختی بیشتر بافت و گسترش جانبی کمتر محصول تولید شده نسبت داد. از سوی دیگر مطلوب بودن قابلیت جویدن نمونه‌های حاوی CMC نسبت به صمغ خرنوب آن است که نمونه‌ها از ویسکوزیته بالاتری برخوردارند [۲۰].

۳-۲-۴ - مقدار چسبندگی

همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر مقدار چسبندگی نمونه‌های برنج اکستروژن شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین

اندازه‌گیری شد. به عبارت دیگر استفاده از صمغ‌های خرنوب و کربوکسی متیل سلولز در نمونه‌های برنج اکستروود شده سبب حفظ و ماندگاری بیشتر ویتامین E در مقایسه با نمونه شاهد گردیدند. به‌طور کلی پایداری ریزمغذی‌ها در فراورده‌های غذایی غنی شده به عوامل مختلفی از جمله روش غنی‌سازی، ویژگی ریزمغذی، شستشو و پخت دارد. اکستروژن فرایندی با دمای بالا در مدت زمان کوتاه محسوب می‌گردد و طی این فرایند، ارزش تغذیه‌ای ماده تولید شده تحت تاثیر دما، رطوبت خوراک ورودی، زمان فراوری، میزان اکسیژن در دسترس، نور، pH، سرعت چرخش ماردون و قطر روزه‌های خروجی قرار می‌گیرد. تحقیقات دیگر محققین نیز نشان داده‌است که استفاده از دماهای بالا و رطوبت‌های پایین خوراک ورودی سبب کاهش معنی‌دار ارزش تغذیه‌ای مواد می‌شود [۱۹و۱۴].

۳-۳- نتایج آزمون ویژگی‌های حسی بر روی نمونه‌های برنج شاهد و اکستروود شده پس از فرایند پخت

نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تاثیر صمغ‌های لوکاست و کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی‌های حسی نمونه‌های برنج اکستروود شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد (پس از فرایند پخت)، در جدول ۴ نشان داده شده است.

راستا بیشترین مقدار چسبندگی ($2/51 \text{ mJ}$) در تیمار H0 و کمترین مقدار آن ($0/10 \text{ mJ}$) در تیمار H9 اندازه‌گیری شد. به عبارتی کاربرد صمغ‌های خرنوب و کربوکسی متیل سلولز سبب کاهش میزان چسبندگی پس از پخت در نمونه‌های برنج اکستروود شده در مقایسه با نمونه شاهد گردید. دلیل این نتیجه وابسته به خروج آمیلوز بیشتر از ساختار نشاسته بوده که در کاهش چسبندگی نمونه‌ها موثر است. سریرات و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی به آماده‌سازی ورمیشل بر پایه برنج توسط پخت اکستروژن پرداختند و بیان نمودند که افزودن امولسیفایر مونوگلیسرید سبب تشکیل کمپلکس با مولکول آمیلوز می‌شود و در نتیجه از خروج آمیلوز طی ژلاتینه شدن نشاسته جلوگیری می‌نماید و در نهایت تورم گرانول‌های نشاسته در آب داغ صورت می‌گیرد که منجر به کاهش ظرفیت جذب آب و در نتیجه کاهش چسبندگی می‌گردد [۲۴].

۳-۲- مقدار ویتامین E

همان‌گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر مقدار ویتامین E نمونه‌های برنج اکستروود شده اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین مقدار ویتامین E ($60/2 \text{ mg}/100\text{g}$) در تیمار H9 و کمترین مقدار آن ($5/1 \text{ mg}/100\text{g}$) در تیمار H0

Table 4 Mean comparison of organoleptic properties of extruded rice and control samples (after cooking)

Treatment	Flavor	Texture	Overall acceptability
H0	$5 \pm 0.2 \text{ a}$	$5 \pm 0.2 \text{ a}$	$5 \pm 0.2 \text{ a}$
H1	$3 \pm 0.1 \text{ c}$	$3 \pm 0.3 \text{ c}$	$3 \pm 0.2 \text{ c}$
H2	$3 \pm 0.1 \text{ c}$	$3 \pm 0.3 \text{ c}$	$3 \pm 0.2 \text{ c}$
H3	$4 \pm 0.3 \text{ b}$	$3.5 \pm 0.2 \text{ bc}$	$3.5 \pm 0.3 \text{ bc}$
H4	$3 \pm 0.1 \text{ c}$	$4 \pm 0.3 \text{ b}$	$3.5 \pm 0.3 \text{ bc}$
H5	$4 \pm 0.3 \text{ b}$	$4 \pm 0.3 \text{ b}$	$4 \pm 0.3 \text{ b}$
H6	$4 \pm 0.3 \text{ b}$	$4 \pm 0.3 \text{ b}$	$4 \pm 0.3 \text{ b}$
H7	$5 \pm 0.2 \text{ a}$	$5 \pm 0.2 \text{ a}$	$5 \pm 0.2 \text{ a}$
H8	$5 \pm 0.2 \text{ a}$	$5 \pm 0.2 \text{ a}$	$5 \pm 0.2 \text{ a}$
H9	$5 \pm 0.2 \text{ a}$	$5 \pm 0.2 \text{ a}$	$5 \pm 0.2 \text{ a}$

In each column, mean that at least one letter in common, according to Duncan's test, not significant difference at 5%

۳-۳-۱ - عطر و طعم

با توجه به جدول ۴، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر میزان عطر و طعم نمونه‌ها اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده شد ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین امتیاز این صفت (۵) در تیمارهای H0، H7، H8 و H9 و کمترین امتیاز آن (۳) در تیمارهای H1، H2 و H4 مشاهده گردید. بالاتر بودن امتیاز عطر و طعم در تیمارهای ذکر شده می‌تواند ناشی از صمغ‌های مصرفی باشد. زیرا صفت عطر و طعم به واکنش کاراملیزاسیون و مایلارد وابسته است و حال آن‌که صمغ‌ها در افزایش واکنش قهوه‌ای شدن موثر هستند [۲۵]. به نظر می‌رسد در تیمارهایی که از نظر این صفت از امتیاز بالایی برخوردار بودند می‌بایست واکنش‌های قهوه‌ای شدن به میزان مناسب صورت گرفته باشد.

۳-۳-۲ - بافت

با توجه به جدول ۴، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر بافت نمونه‌ها اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین امتیاز این صفت (۵) در تیمارهای H0، H7، H8 و H9 و کمترین امتیاز آن (۳) در تیمارهای H1 و H2 مشاهده گردید. همان‌گونه که بیان شد، تیمارهای T9 و T8 از مقدار رطوبت بیشتری برخوردارند. لذا بالا بودن رطوبت سبب کاهش گسترش جانبی تیمارها طی فرایند اکستروژن می‌گردد. در نتیجه بافتی فشرده و متراکم‌تر تشکیل می‌شود. از سوی دیگر در رطوبت‌های بالاتر گرانول‌های نشاسته با سرعت بیشتری ژلاتینه می‌شوند لذا این فرایند نیز می‌تواند سبب ایجاد سختی و بافتی مطلوب شود. مطابق نتایج و در ارتباط با هریک از صمغ‌ها، با افزایش غلظت هر یک از آن‌ها، سختی بافت نمونه‌ها افزایش یافت البته نمونه‌های حاوی صمغ کربوکسی متیل سلولز از سختی

بیشتری برخوردار بودند که علت آن افزایش ویسکوزیته و ژلاتینه‌شدن گرانول‌های نشاسته می‌باشد [۲۶].

۳-۳-۲ - پذیرش کلی

با توجه به جدول ۴، بین تیمارهای مختلف از نظر تاثیر بر پذیرش کلی نمونه‌ها اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده گردید ($p \leq 0.05$). در همین راستا بیشترین امتیاز این صفت (۵) در تیمارهای H0، H7، H8 و H9 و کمترین امتیاز آن (۳) در تیمارهای H1 و H2 مشاهده گردید. با در نظر گرفتن تمام صفات حسی، تیمارهای H7، H8 و H9 که حاوی درصدهای مختلفی از صمغ‌های خرنوب و کربوکسی متیل سلولز بودند مانند شاهد از امتیاز پذیرش کلی بالاتری برخوردار بودند. لذا به نظر می‌رسد که استفاده از صمغ‌های نامبرده نقشی موثر و معنی‌دار در تولید برنج اکستروژن و بهبود ویژگی‌های حسی آن به عنوان محصولی جدید داشته است.

۴- نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق حاضر، دستیابی به فرمولاسیون تولید برنج سنتتیک با ویژگی‌های کیفی و ارگانولپتیکی مشابه برنج طبیعی، با استفاده از صمغ‌های لوکاست و کربوکسی متیل سلولز و همچنین بهبود ارزش تغذیه‌ای آن با افزودن ویتامین E بود. طبق نتایج، استفاده از سطوح مختلف این صمغ‌ها سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، بافت و حسی نمونه‌های برنج اکستروژن شده در مقایسه با نمونه شاهد شد و تیمار حاوی (۱٪ صمغ لوکاست و ۱٪ صمغ کربوکسی متیل سلولز به همراه ویتامین E به میزان ۴۰۰ mg/100g) به عنوان بهترین تیمار معرفی گردید. به نظر می‌رسد که از یافته‌های این تحقیق می‌توان در فرمولاسیون برنج غنی‌شده به روش پخت اکستروژن، به منظور بهبود ویژگی‌های کیفی، بافتی و تغذیه‌ای استفاده نمود.

۵- منابع

[1]. Movahhed, S., Saadat, S., and Ahmadi Chenarbon, H. 2019. Effect of guar and arabic gums on qualitative properties of extruded rice. Journal of Food Process Engineering. 42(2): e12959. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12959>

[2]. 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 Chemistry. 178: 186-194. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.087>

- [3]. 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.
- [4]. Olufemi Awolu, O., Morayo Oluwaferanmi, P., Iyanuoluwa Fafowora, O., and Funmilayo Oseyemi, G. 2015. Optimization of the extrusion process for the production of ready-to eat snack from rice, cassava and kersting's groundnut composite flours. *LWT- Food Science and Technology*. 64: 18-24.
- [5]. Movahhed, S., Mohammadi Golchin, F., Eshaghi, M. R., and Ahmadi Chenarbon, H. 2021. Mathematical modeling of weight loss and crust temperature of toast bread containing guar gum during baking process. *Food Science & Nutrition*. 9(1): 272-281.
- [6]. Becker, F. S., Eifert, E. C., Junior, M. S. S., Tavares, J. S., and Carvalho, A. V. 2014. Physical and functional evaluation of extruded flours obtained from different rice genotypes. *Ciência e Agrotecnologia*. 38(4): 367-374. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000400007>
- [7]. Movahhed, S. 2017. Technology of Supplementary Cereal Products. Academic Center for Education, Culture and Research of Ardabil Province Press. 29-35.
- [8]. Movahhed, S., Zolelmein, A., Azizi, M. H., and Ahmadi Chenarbon, H. 2019. Assessment of simultaneous addition of sucrose and xanthan effects on the thermal, pasting, and rheological behavior of corn starch. *Journal of Texture Studies*. 51(3): 453-463.
- [9]. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., and Biliaderis, C. G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Food Engineering*. 79:1033-1047.
- [10]. 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03035.x>
- [11]. Sinja Mayer, A., Jochen Weiss, A., and David Julian, M. 2013. Behavior of vitamin E acetate delivery systems under simulated gastrointestinal conditions: Lipid digestion and bioaccessibility of low-energy nanoemulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 404: 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.04.048>
- [12]. Anonymous. 2003. Approved methods of analysis of the American Association of Cereal Chemists (10th ed.), In. St. Paul.
- [13]. Anonymous. 2007. Iranian National Standard, No: 3213. Institute of Standard and Industrial Research of Iran. Extruded Rice.
- [14]. 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.030>
- [15]. Movahhed, S., Rozbahani, A., and Ahmadi Chenarbon, H. 2019. Mathematical modeling of hydrodynamic properties of lime (Mexican lime). *Journal of Food Process Engineering*. 42(4): e13054. doi.org/10.1111/jfpe.13054
- [16]. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.09.001>
- [17]. González-González, R. M., Barragán-Mendoza, L., Peraza-Campos, A. L., Muñiz-Valencia, R., Ceballos-Magana, S. G., and Parra-Delgado, H. 2019. Validation of an HPLC-DAD method for the determination of plant phenolics. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 29(5): 689-693. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2019.06.002>
- [18]. Anonymous. 2000. Iranian National Standard, No: 2814. Institute of Standard and Industrial Research of Iran. Extruded Rice.

- [19]. 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.
- [20]. Movahhed, S., Mirzaei, M., Asadollahzadeh, M. J., and Ahmadi Chenarbon, H. 2021. Effect of carboxy methyl cellulose and locust bean gums on some of physicochemical, mechanical and textural properties of extruded rice. *Journal of Texture Studies*. 52(1): 91-100. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12563>
- [21]. Hazarika, E. B., Borah, A., and Mahanta, C. L. 2013. Optimization of extrusion cooking conditions and characterization of rice (*Oryza sativa*)-sweet potato (*Ipomoea batatas*) and rice-yam (*Dioscorea alata*) based RTE products. *Agricultural Sciences*. 4(9B): 12-22.
- [22]. 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. *Journal of Food Science and Technology*. 50(4): 655-666. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0400-6>
- [23]. Yoo, J., Alavi, S., Adhikari, K., Haub, M. D., Aberle, R. A., and Huber, G. 2013. Rice-shaped extruded kernels: physical, sensory, and nutritional properties. *International Journal of Food Properties*. 16: 301-321. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.495042>
- [24]. Sirirat, S., Charutogon, C., and Rungsardthong, V. 2005. Preparation of rice vermicelli by direct extrusion. *Journal of KMITNB*. 15(1): 39-45.
- [25]. Rosell, C. M., Rojas, J. A., Benedito de Barber, C. 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*. 15:75-81.
- [26]. Movahhed, S., Kakaei, E., and Ahmadi Chenarbon, H. 2017. Effect of hydroxy propyl methyl cellulose gum on qualitative properties of free gluten baguette bread contain equal proportion of corn flour and potato flour. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 13(4): 575-583.



Scientific Research

Evaluation of physicochemical, sensory, nutritional and textural properties of extruded rice (Hashemi variety) produced with carboxymethyl cellulose and locust bean gums

Mehry Mirzaei¹, Sara Movahhed^{2*}, Mohammad Javad Asadollahzadeh³, Hossein Ahmadi Chenarbon⁴

1-Ph.D student, Department of Food Science and Technology, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran.

2-Associated Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Varamin - Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

3-Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran.

4- Associated Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Varamin - Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received:2025/01/06

Accepted:2025/08/30

Keywords:

Extruded rice,

Lateral expansion,

Cooking loss,

Gum,

Vitamin E.

DOI: 10.48311/fsct.2026.83960.0

*Corresponding Author E-

movahhed@iauvaramin.ac.ir

The purpose of the extrusion process is to produce products with different shapes, textures, colors, and flavors to provide variety in foods and also to provide micronutrients. Therefore, the use of hydrocolloids and vitamins to improve the functional properties and nutritional value of extruded products is common. In this study, the effects of these gums at concentrations of 0.5%, 0.75%, and 1% (alone and in combination) and vitamin E at a dose of 400 mg/100g were evaluated for their physicochemical, sensory, nutritional, and textural properties in extruded rice. Vitamin E was added to all samples before the extrusion process and during the dry mixing stage. Based on the findings, the treatment including 1% locust bean gum and 1% CMC exhibited the maximum levels of moisture content (12.86%), ash (1.43%), density (0.397 g/cm³), water absorption (4.87%), and solubility (20.54%), while the lowest values for these attributes were observed in the control treatment. In contrast, the control treatment exhibited the highest protein content (8.22%), while the treatment containing 0.5% locust bean gum showed the highest values for lateral extension (148.5%) and color change (15.13). In the cooked extruded rice, the treatment containing 1% carboxymethyl cellulose exhibited the highest rate of cooking loss (12.42%), while the treatment containing 1% locust bean gum and 1% carboxymethyl cellulose showed the highest hardness (24.42 N), chewability (28.78 N), vitamin E (60.2 mg/100g), and the lowest adhesiveness (2.51 mJ). Additionally, the control and combination treatments containing 0.5%, 0.75%, and 1% locust bean gum and CMC showed the highest scores (5) for sensory properties such as odor and taste, texture, and overall acceptance.