

تولید پاستای غنی از فوکوئیدان هیدرولیز شده جلبک قهوه‌ای *Nizamuddinia zanardinii* و بررسی ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و حسی

نفیسه سادات موسوی^۱، مهدی طبرسا^{۱*}، امیر پویا قندهاری یزدی^۲، آریا باباخانی^۳، حسن احمدی گاولیقی^۴، هدیه حکیمی^۱

۱- گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲- واحد تحقیق و توسعه، شرکت صنعتی زرماکارون، البرز، ایران

۳- گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران

۴- گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

هدف از مطالعه حاضر، بررسی امکان بهبود خواص ضد دیابتی فوکوئیدان استخراج شده از جلبک قهوه‌ای *Nizamuddinia zanardinii* و غنی سازی فرمولاسیون پاستا با فوکوئیدان می باشد. فوکوئیدان خام با استفاده از روش حلالی در دمای ۶۰ درجه سلسیوس استخراج و سپس در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ تا ۶۰ دقیقه توسط هیدروکلریک اسید ۰/۰۱ نرمال هیدرولیز شد. قابلیت هیدرولیزات تولید شده در ممانعت از فعالیت آنزیم‌های α -آمیلاز و α -گلوکوزیداز ارزیابی و در نهایت در سطوح ۰/۱۲۵، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد به پاستا اضافه شد. در حالی که با افزایش زمان هیدرولیز قابلیت ممانعت از آنزیم α -آمیلاز تا سطح مشخصی افزایش و سپس کاهش یافت، این روند در خصوص آنزیم α -گلوکوزیداز به صورت کامل کاهشی بود. غنی سازی پاستا با فوکوئیدان هیدرولیز شده تا سطح ۰/۵ درصد میزان رطوبت، خاکستر و پروتئین محصول را به صورت معنی دار تغییر نداد. با افزایش سطوح فوکوئیدان، زمان پخت (۸/۰ به ۹/۰ دقیقه) و افت پخت (۶/۲۷ به ۷/۱۰ درصد) افزایش یافت. با افزایش میزان فوکوئیدان، شاخص‌های رنگی L^* کاهش، a^* افزایش و b^* بدون تغییر باقی ماند. در مقایسه با گروه کنترل، نتایج ارزیابی حسی تفاوت معنی داری در رنگ ظاهری قبل و بعد از پخت، عطر و بو، طعم و مزه، بافت و پذیرش کلی محصولات تولید شده نشان نداد. به طور کلی، نتایج حاضر نشان داد که هیدرولیز به مدت ۲۰ دقیقه سبب افزایش فعالیت فوکوئیدان در ممانعت از فعالیت آنزیم α -آمیلاز می شود و امکان غنی سازی پاستا با هیدرولیزات فوکوئیدان تا سطح ۰/۲۵ درصد امکان پذیر است.

کلید واژه‌ها: پاستا، غنی سازی، فوکوئیدان، ضد دیابت

مقدمه

به طور کلی پاستا به گروهی از محصولات غذایی گفته می شود که از نوعی آرد به نام سمولینا حاصل از گندم دوروم یا مخلوطی از آنها با آب و درموردی همراه با افزودنی، پس از مراحل شکل دهی و خشک کردن حاصل می شود^[۱]. پخت پاستا و ارتقای کیفیت آن، برای مصرف کنندگان این محصول اهمیت دارد چرا که ویژگی‌های پخت ضعیف، آن را به غذایی نامطلوب تبدیل می نماید^[۲]. کیفیت پخت پاستا، حسب شاخص‌های چسبندگی، سفتی، شدت پخت، جذب آب، درجه تورم و میزان افت مواد جامد در آب پخت تعیین می شود^[۳]. استحکام و انعطاف پذیری پاستا و نیز میزان افت پخت، به شبکه‌ی پروتئین و همچنین ساختار نشاسته‌ی محصول نسبت داده شده است^[۴]. با توجه به مرحله‌ی اکستروژن شدن فرآیند تولید این محصول، به راحتی می توان مواد افزودنی را به فرمولاسیون آن اضافه نمود^[۵]. فواید تغذیه‌ای و افزایش تقاضا از سوی مصرف کنندگان باعث شده تا این محصول از پتانسیل خوبی به عنوان حامل برای مواد مغذی برخوردار باشد^[۶] تا آنجا که پاستا یکی از اولین محصولات غذایی

نوع مقاله

مقاله پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵

تاریخ چاپ الکترونیکی: ۱۴۱۴/۰۳/۱۵

*نویسنده مسئول:

m.tabarsa@modares.ac.ir

بود که FAO در سال ۱۹۴۰ اجازه داد تا توسط ویتامین و آهن غنی‌سازی شود^[۷]. بر این اساس، نیاز برای پژوهش مداوم در راستای ارتقای کیفیت این محصول رو به افزایش است^[۸]. جلبک‌های دریایی با توجه به تنوع زیستی فوق‌العاده یک گنجینه با ارزش از غذاهای سالم و ترکیبات زیستی فعال به حساب می‌آیند. از این اجزای عملکردی جلبک‌های دریایی در غنی‌سازی محصولات غذایی بویژه پاستا استفاده شده است^[۹،۱۰]. از مهم‌ترین پلی‌ساکاریدها در گونه‌های مختلف جلبکی میتوان به زایلان و اولوان در جلبک‌های سبز، آلژینات، فوکوئیدان و لامینارین در جلبک‌های قهوه‌ای و کاراژینان و آگار در جلبک‌های قرمز اشاره نمود^[۱۱]. فوکوئیدان به عنوان شناخته شده‌ترین پلی‌ساکارید در جلبک‌های قهوه‌ای، یک نام کلی برای پلی‌ساکاریدهای حاوی فوکوز است و حاوی مقادیر قابل توجهی از گروه‌های استرسولفات است^[۱۲]. این پلی‌ساکارید به دلیل خواص زیستی مختلف مانند جلوگیری از انعقاد خون، کنترل فرآیند التهاب، سرکوب رشد تومور، کاهش تکثیر و پراکندگی سلول‌های سرطانی، تنظیم سیستم ایمنی و ضد ویروسی شناخته شده است^[۱۳]. در میان بیماری‌های شایع در جوامع انسانی، دیابت یکی از هزینه‌سازترین و شایع‌ترین بیماری‌های مزمن در جهان است. آگاهی و کنترل به‌موقع دیابت می‌تواند در کاهش عوارض و مشکلات ناشی از این بیماری مزمن مؤثر باشد. در بیشتر رژیم‌های غذایی، کربوهیدرات‌ها بخش عمده فرمولاسیون تشکیل می‌دهند و هضم آنها به وسیله آنزیم α -آمیلاز که از بزاق دهان ترشح می‌شود آغاز می‌گردد. در ادامه، ۹۵ درصد هضم در روده کوچک بوسیله α -آمیلازی که از پانکراس ترشح می‌شود صورت می‌گیرد. در طی این فرآیند، کربوهیدرات‌ها ابتدا به الیگوساکاریدها و در نهایت توسط آنزیم‌های گلوکوزیدازی به واحدهای مونوساکاریدی تبدیل می‌شوند^[۱۴]. یک راه جایگزین برای رژیم‌های با شاخص گلیسمیک پایین، فرآورده‌هایی هستند که در آنها جذب کربوهیدرات‌ها از طریق ترکیباتی که از فعالیت این آنزیم‌ها جلوگیری می‌کنند، کاهش می‌یابد. در حقیقت این محصولات حاوی مهارکننده‌های آنزیم‌های α -آمیلاز و α -گلوکوزیداز هستند^[۱۵]. جلبک *Nizamuddiniana zanardinii* گونه‌ای مستعد از نظر فراوانی و در دسترس می‌باشد که به طور گسترده در سواحل دریای عمان به ویژه سواحل جنوب شرقی ایران پراکنده شده است و از نظر تغذیه‌ای به دلیل داشتن اسیدهای چرب چند غیراشباع، پروتئین و مواد معدنی بسیار ارزشمند می‌باشد^[۱۶]. طبق مطالعه‌ای که اخیراً صورت گرفته بیان شده است که فوکوئیدان خام استخراج شده از این جلبک فعالیت‌های ضداسکایسی، ضدویروس، ضدسرطان و تقویت کننده ایمنی موثری می‌باشد^[۱۷]. فعالیت زیستی فوکوئیدان‌ها به شکل مستقیم یا غیرمستقیم تحت تاثیر ساختار شیمیایی آنها قرار دارد^[۱۸]. عواملی نظیر حلالیت در آب، وزن مولکولی، ترکیب مونوساکاریدی، پیوند گلیکوزیدی زنجیره اصلی و درجه جانشینی، نوع و درجه انشعاب و موقعیت ساختاری زنجیره اصلی بر روی فعالیت زیستی فوکوئیدان‌ها مؤثر می‌باشند^[۱۹-۲۰]. از این رو تحقیقات متعددی بر روی اصلاح ساختار فوکوئیدان‌ها با هدف بهبود فعالیت زیستی آنها انجام شده است که این تحقیقات به درک درستی از رابطه میان ساختار و فعالیت زیستی نیز کمک می‌کند. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اطلاعاتی درباره غنی‌سازی آرد گندم با جلبک *N. zanardinii* برای تولید پاستا وجود ندارد. در نتیجه با توجه به مطالب بیان شده در بالا و در ادامه تحقیقات صورت گرفته‌ی پیشین^[۲۱-۲۶] این پژوهش با هدف دستیابی به فرمول ساخت پاستای غنی‌سازی شده با فوکوئیدان هیدرولیز شده جلبک قهوه‌ای *N. zanardinii* به عنوان یک ماده اولیه زیست فعال، به بررسی و ارزیابی ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و حسی محصولات تولید شده خواهد پرداخت.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری، استخراج و تولید فوکوئیدان هیدرولیز شده

جلبک قهوه‌ای *N. zanardinii* در زمان جزر کامل از سواحل دریای عمان در زمستان ۱۳۹۹ به صورت دستی جمع‌آوری و جهت زدودن جلبک‌ها از اپی‌فیت‌ها، شن، ماسه و نمک با آب دریا شسته شدند. پس از آن نمونه‌ها با آب شیرین شستشو گردید. نمونه‌ها جهت خشک کردن درون آون (Memmert، آلمان) با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ روز قرار گرفتند. نمونه‌های خشک‌شده جلبک به‌وسیله آسیاب برقی، پودر و سپس از الک عبور داده شده و توسط ترازوی دیجیتال توزین شدند. در نهایت پودر جلبک درون کیسه‌های پلاستیکی زیپ کیپ جهت استخراج فوکوئیدان و آنالیزهای شیمیایی موردنظر در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند^[۲۲]. جهت رنگبری جلبک، ابتدا ۵۰ گرم پودر خشک جلبک به نسبت ۱ به ۴ با اتانول (۸۰ درصد) به مدت ۲ ساعت و ۲ مرتبه در دمای اتاق جهت حذف رنگدانه‌ها، ترکیبات ثانویه و چربی قرار

گرفت. جداسازی فاز جامد از مایع به وسیله سانتریفیوژ (۸۰۰۰ rpm، ۱۰ درجه سلسیوس، ۱۰ دقیقه) انجام و این مرحله تا زمان بی‌رنگ شدن با اتانول خالص تکرار شد. در نهایت فاز جامد چندین نوبت با اتانول و استون شستشو داده و خشک شد. جهت استخراج فوکوئیدان خام، ۲۰ گرم از نمونه جلبک رنگبری شده در آب مقطر و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. در نهایت، جداسازی فاز مایع به وسیله سانتریفیوژ (۸۰۰۰ rpm، ۱۰ درجه سلسیوس، ۱۰ دقیقه) انجام شد. سپس به میزان ۱ درصد کلرید کلسیم (وزن/حجم) به مایع رویی اضافه شده و پس از ۲ ساعت قرارگیری در دمای اتاق مجدد سانتریفیوژ شد و پس از جمع‌آوری و تغلیظ با استفاده از روتاری در دمای ۶۰ درجه سلسیوس، با افزودن اتانول ۹۶ درصد تا رسیدن به غلظت نهایی ۷۰ درصد اتانول، فوکوئیدان استخراج شده بازیابی گردید^[۲۳]. در ابتدا ۲۵۰ میلی‌گرم از فوکوئیدان خام در ۵۰ میلی‌لیتر از ۰/۰۱ نرمال اسید هیدروکلریک به منظور تولید فوکوئیدان‌هایی با وزن‌های مولکولی متفاوت حل شد و سپس هیدرولیز در آب جوش به مدت ۲۰ دقیقه صورت گرفت. واکنش دهنده‌ها بلافاصله خنک و با سود ۰/۰۵ (نرمال ۸-۶ pH) خنثی شدند. هیدرولیزات بدست آمده در کیسه دیالیز با محدوده جداسازی ۵۰۰ دالتون با آب مقطر به مدت ۳ روز دیالیز و در نهایت به وسیله خشک‌کن انجمادی تیمارها خشک شدند^[۲۴].

ارزیابی بازدارندگی آنزیم‌های α-آمیلاز و α-گلوکوزیداز

بررسی فعالیت بازدارندگی پلی‌ساکاریدها نسبت به آنزیم α-آمیلاز بر اساس روش کریمی و همکاران^[۲۵] انجام شد. ابتدا غلظت ۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر از نمونه در بافر فسفات (۰/۰۲ مول بر لیتر که حاوی ۰/۰۰۷ مول بر لیتر NaCl و pH=۶/۸) تهیه شد. در مرحله اول ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه با ۱۰۰ میکرولیتر آنزیم α-آمیلاز پانکراس خوک (۰/۰۵ واحد بر میلی‌لیتر) مخلوط و در گرمخانه به مدت ۵ دقیقه با دمای ۳۷ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس ۱۰۰ میکرولیتر محلول نشاسته ۰/۰۵ درصد به آن اضافه شده و مجدداً محلول به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس در گرمخانه قرار گرفت. پس از گذشت مدت زمان ذکر شده، نمونه‌ها به همراه کنترل منفی (بافر جایگزین نمونه) درون دستگاه ترموبلاک (دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه) جهت غیرفعال‌سازی آنزیم قرار گرفتند. در ادامه پس از خنک شدن، جهت حذف نشاسته هضم نشده، به مدت ۵ دقیقه به وسیله سانتریفیوژ با دور ۱۳۰۰۰g عصاره از پلت جدا شد و رومانده به عنوان نمونه در مرحله دوم مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله دوم نمونه‌ها رقیق و سپس ۲۰ میکرولیتر از نمونه رقیق شده با ۱ میکرولیتر از محلول رنگی PAHBAH^۱ مخلوط در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و به مدت ۱۰ دقیقه حرارت دهی شد و پس از آن که در دمای ۲۵ درجه سلسیوس خنک شد، جذب آن در طیف سنج نوری در ۴۱۰ نانومتر (Lambsa، آمریکا) خوانده شد. در این آزمون از آکاربوز به عنوان نمونه تجاری استفاده شد. درصد بازدارندگی از فرمول زیر محاسبه شد: $100 \times \text{کنترل} / (\text{پیش‌زمینه} - \text{نمونه}) - \text{کنترل} = \% \text{ بازدارندگی آنزیم آلفا-آمیلاز}$

جهت بررسی فعالیت مهار فوکوئیدان‌ها نسبت به آنزیم α-گلوکوزیداز براساس روش آپوستولیدیس و همکاران^[۲۶] انجام شد. در ابتدا ۲۵۰ میکرولیتر از نمونه پلی‌ساکاریدی با غلظت ۵ میلی‌گرم/میلی‌لیتر با میزان ۱۵۰ میکرولیتر از آنزیم α-گلوکوزیداز مخمر سایکرومایسز سروزیه (۰/۲ واحد در هر میلی‌لیتر) ترکیب شده و به مدت ۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس درون گرمخانه قرار گرفت. سپس به میزان ۱۰۰ میکرولیتر p-۵ فنل α-D-گلیکوپیرانوزید (۰/۵ مول بر لیتر) به مخلوط واکنش اضافه و بلافاصله جذب نمونه در ۴۱۰ نانومتر (Lambsa، آمریکا) اندازه‌گیری شد. آکاربوز با غلظت ۰/۰۶ به عنوان کنترل مثبت در نظر گرفته شد. میزان بازدارندگی از رابطه ذیل بررسی شد:

$$100 \times \text{شیب خط کنترل} / (\text{شیب خط نمونه} - \text{شیب خط کنترل}) = \% \text{ بازدارندگی آنزیم آلفا-گلوکوزیداز}$$

تولید پاستای غنی از فوکوئیدان هیدرولیز شده

آرد نول (خاکستر ۰/۵ درصد، رطوبت ۱۴ درصد، گلوتن مرطوب ۲۷ درصد، اسیدیته ۳/۲، پروتئین ۱۰ درصد) مورد استفاده در این تحقیق از مواد اولیه کارخانه آرد زر استفاده شد. در ابتدا آرد گندم در داخل مخلوط‌کن (Anselmo، ایتالیا) ریخته شد و سپس آب به صورت تدریجی به آن اضافه شد و عمل مخلوط کردن انجام گرفت تا در نهایت خمیری با میزان رطوبت ۳ درصد به دست آمد. بعد از آن خمیر به داخل دستگاه اکسترودر

¹ p-hydroxybenzoic acid hydrazide

(Anselmo، ایتالیا) با فشار ۶۰ bar و دمای ۵۵ درجه سلسیوس ریخته شد و پس از آن ماکارونی با فرم حلقه‌ای تولید شد. سپس ماکارونی‌ها به بخش خشک‌کن (Anselmo، ایتالیا) فرستاده شدند و در داخل خشک‌کن ماکارونی در دمای ۷۶ درجه سلسیوس، رطوبت ۱۷-۲۰ درصد و به مدت ۱۴ ساعت خشک شدند و در درون پوشش از جنس پلی پروپیلن بسته‌بندی شدند^[۲۷].

ارزیابی ویژگی‌های رنگی، فیزیکوشیمیایی، پخت و حسی

به منظور ارزیابی تاثیر رنگ پودر هیدرولیزات فوکوئیدان در رنگ نمونه‌های ماکارونی نسبت به نمونه‌های شاهد، رنگ نمونه با استفاده از دستگاه رنگ سنچ (هانتربل مدل color flex، آمریکا) اندازه‌گیری شد. در ابتدا نمونه‌های ماکارونی با کمک آسیاب به مدت ۴۵ ثانیه خرد شده و سپس از الکی با مش ۳۰ عبور داده شد. به منظور یکنواخت بودن قطر نمونه‌ها، ۵ گرم از پودر حاصل در فنجانک دستگاه ریخته شده و آزمون رنگ سنچی انجام و مقادیر فاکتورهای تعیین کننده رنگ (b^*, a^*, L^*) توسط دستگاه خوانده شد. اندازه‌گیری میزان رطوبت براساس روش استاندارد (AOAC, 2003) ^[۲۸] شماره ۹۲۶/۰۷ اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پروتئین بر طبق استاندارد (AOAC, 2003) شماره ۹۲۰/۸۷ انجام شد. اندازه‌گیری خاکستر بر طبق استاندارد (AOAC, 2003) شماره ۹۲۳/۰۳ انجام شد. برای ارزیابی حسی نمونه‌های پاستا از روش آزمایش پخت ارائه شده توسط لارموند و ویسی استفاده شد^[۲۹]. در این تحقیق برای ارزشیابی حسی از یک گروه پانل ۵ نفره آموزش دیده از کارکنان کارخانه (تعداد آقایان: ۲، تعداد خانم‌ها: ۳؛ محدوده سنی ۲۷-۴۵) در ارتباط با ویژگی‌های کیفی مورد آزمون و نحوه ارزیابی حسی بهره گرفته شد. مهمترین خواص کیفی تعیین شده برای ارزیابی حسی پاستا پخته شده عبارتند از: رنگ ظاهری قبل از پخت، رنگ ظاهری بعد از پخت، عطر و بو، طعم و مزه، بافت محصول بعد از پخت، پذیرش کلی برای هر کدام از معیارهای کیفی فوق امتیاز عددی بین صفر تا ۵ در نظر گرفته شد که چنانچه پارامترهای کیفی از نمونه مورد آزمون توسط گروه ارزیاب به طور کامل تامین گردد، امتیاز ۵ به نمونه تعلق گرفته و از نظر کیفی (خیلی خوب) ارزیابی شد و چنانچه هیچکدام از انتظارات کیفی در مورد ویژگی مورد نظر از نمونه مورد آزمون برآورده نشود، حداقل امتیاز صفر به نمونه داده شد. درجه‌بندی صفر تا ۵ امتیاز برای هر کدام از ویژگی کیفی مورد آزمون با عبارات توصیفی آن‌ها قبلاً به اعضای هیات داوران (گروه پانل) آموزش داده شد. با توجه به نظرات متخصصین امر، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان محصولات ماکارونی، کلیه خصوصیات کیفی فرآورده‌های ماکارونی از یک درجه اهمیت برخوردار نبوده بلکه برخی از آن‌ها در تعیین کیفیت کلی محصول تاثیر و اهمیت و ارزش بیشتری دارد. بنابراین برای پارامترهای کیفی در تعیین کیفیت نهایی نمونه پاستای مورد آزمون، به هر کدام از ویژگی‌های کیفی یک ضریب امتیاز تعلق گرفت که نشان دهنده درجه اهمیت آن پارامتر کیفی می‌باشد^[۲۹]. آزمون‌های پخت که شامل درصد افزایش وزن محصول پس از پخته شدن، میزان خروج ماده خشک در آب (افت پخت) مربوط به محصول تولید شده بر طبق روش (AACC 16-50) انجام شد.

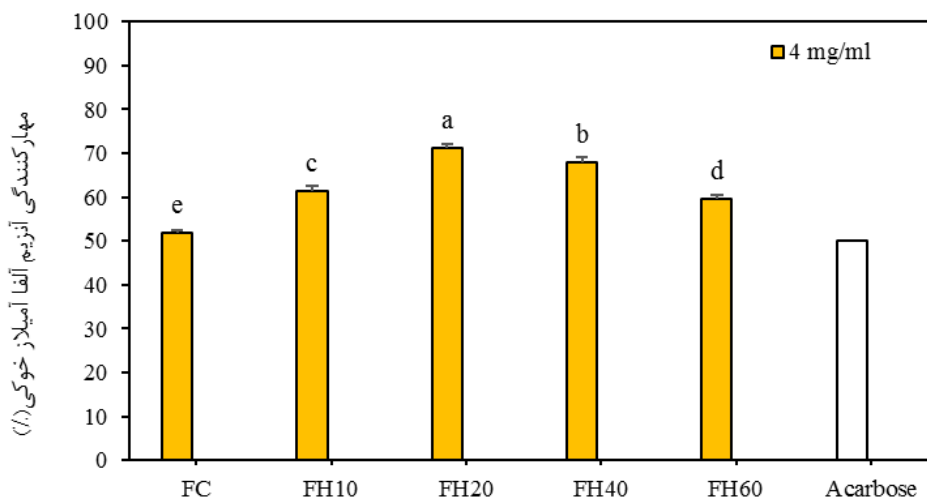
تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد و نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شدند. جهت آنالیز آماری داده‌ها، در ابتدا پس از بررسی نرمال بودن با استفاده از تحلیل واریانس یکطرفه بررسی شده و در صورت معنی‌دار بودن، جهت مقایسه میانگین‌ها و انتخاب بهترین غلظت از آزمون دانکن استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و جهت رسم نمودارها و گراف‌ها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج

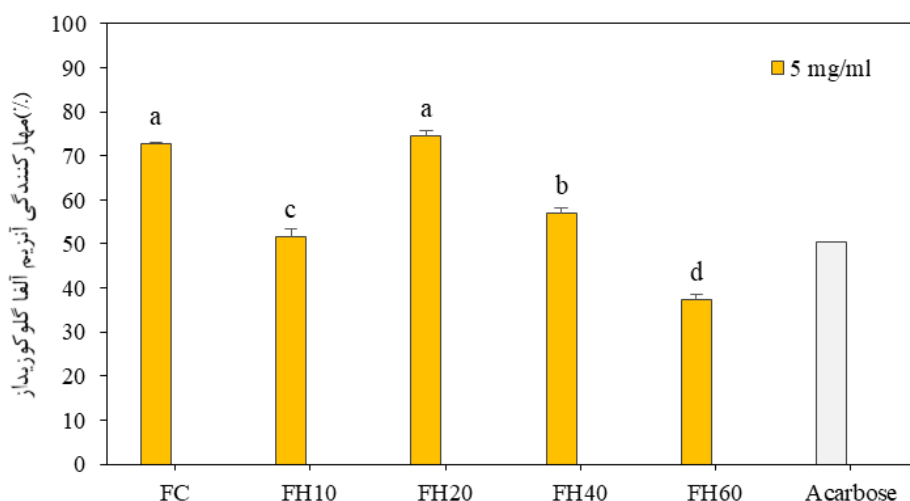
بازدارندگی آنزیم α -آمیلاز و α -گلوکوزیداز

تاثیر بازدارندگی آنزیم α -آمیلاز در این مطالعه توسط فوکوئیدان خام و هیدرولیزات مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). اثر بازدارندگی آنزیم - α آمیلاز توسط فوکوئیدان خام ۵۱/۹۴ درصد بود. در بین هیدرولیزات، بیشترین و کمترین اثر بازدارندگی به ترتیب در تیمار FH20 (۷۱/۲۸ درصد) و تیمار FH60 (۵۹/۷۲ درصد) مشاهده شد.



شکل ۱- بازدارندگی فعالیت آنزیم α -آمیلاز توسط فوکوئیدان خام (FC) و هیدرولیزات (FH60, FH40, FH20, FH10) حروف کوچک لاتین نشانگر وجود اختلاف معنی دار بین فوکوئیدان خام و هیدرولیزات در زمان های مختلف می باشد ($p < 0.05$).

در شکل ۲ میزان مهارکنندگی فوکوئیدان خام و هیدرولیزات بر فعالیت آنزیم α -گلوکوزیداز نشان داده شده است. فعالیت این آنزیم در غلظت ۵ میلی گرم بر میلی لیتر فوکوئیدان خام ۷۲/۸۴ درصد سنجش شد. در میان هیدرولیزات، تیمار FH20 (۷۳/۵۳ درصد) بیشترین و FH60 (۳۷/۲۶ درصد) کمترین اثر را در بازدارندگی آنزیم α -گلوکوزیداز داشتند.



شکل ۲- بازدارندگی فعالیت آنزیم α -گلوکوزیداز توسط فوکوئیدان خام (FC) و هیدرولیزات (FH60, FH40, FH20, FH10) حروف کوچک لاتین نشانگر وجود اختلاف معنی دار بین فوکوئیدان خام و هیدرولیزات در زمان های مختلف می باشد ($p < 0.05$).

ترکیب شیمیایی پاستا

جهت تولید پاستای فراسودمند حاوی فوکوئیدان، هیدرولیزهای FH20 به دلیل بالاتر بودن قابلیت مهار آنزیمی جهت افزودن به فرمولاسیون در سه سطح انتخاب شد. در جدول ۱، نتایج آنالیز شده رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر کل تیمارهای مختلف پاستا ارائه شده است. همان طور که نتایج نشان می دهد، نمونه پاستای کنترل حاوی ۶/۲۷ درصد رطوبت، ۰/۹۱ درصد خاکستر و ۱۴/۴۰ درصد پروتئین بود. افزودن فوکوئیدان

هیدرولیزشده در سطوح ۰/۱۲۵ تا ۰/۵ درصد باعث افزایش جزئی پروتئین، رطوبت و خاکستر نمونه‌های پاستا گردید که البته این اختلاف در هیچکدام از تیمارها معنی‌دار نبود که می‌تواند ناشی از پایین بودن مقادیر غنی‌سازی در فرمولاسیون باشد.

جدول ۱- نتایج آزمون شیمیایی نمونه‌های پاستا حاوی هیدرولیزات فوکوئیدان (درصد).

C: نمونه‌ی کنترل، F₁: پاستای حاوی ۰/۱۲۵ درصد، F₂: پاستای حاوی ۰/۲۵ درصد و F₃: پاستای حاوی ۰/۵ درصد فوکوئیدان هیدرولیزشده FH20. حروف متفاوت در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار می‌باشند ($p < ۰/۰۵$).

تیمارها	رطوبت	خاکستر	پروتئین
C	۶/۳۷ ± ۰/۰۹ ^a	۰/۹۱ ± ۰/۰۱ ^a	۱۴/۴۰ ± ۰/۰۲ ^a
F ₁	۶/۳۳ ± ۰/۱۱ ^a	۰/۹۰ ± ۰/۰۳ ^a	۱۴/۸۰ ± ۰/۰۷ ^a
F ₂	۶/۲۴ ± ۰/۱۴ ^a	۰/۹۱ ± ۰/۰۲ ^a	۱۴/۸۵ ± ۰/۱۲ ^a
F ₃	۶/۶۰ ± ۰/۰۸ ^a	۰/۹۴ ± ۰/۰۱ ^a	۱۴/۹۰ ± ۰/۰۳ ^a

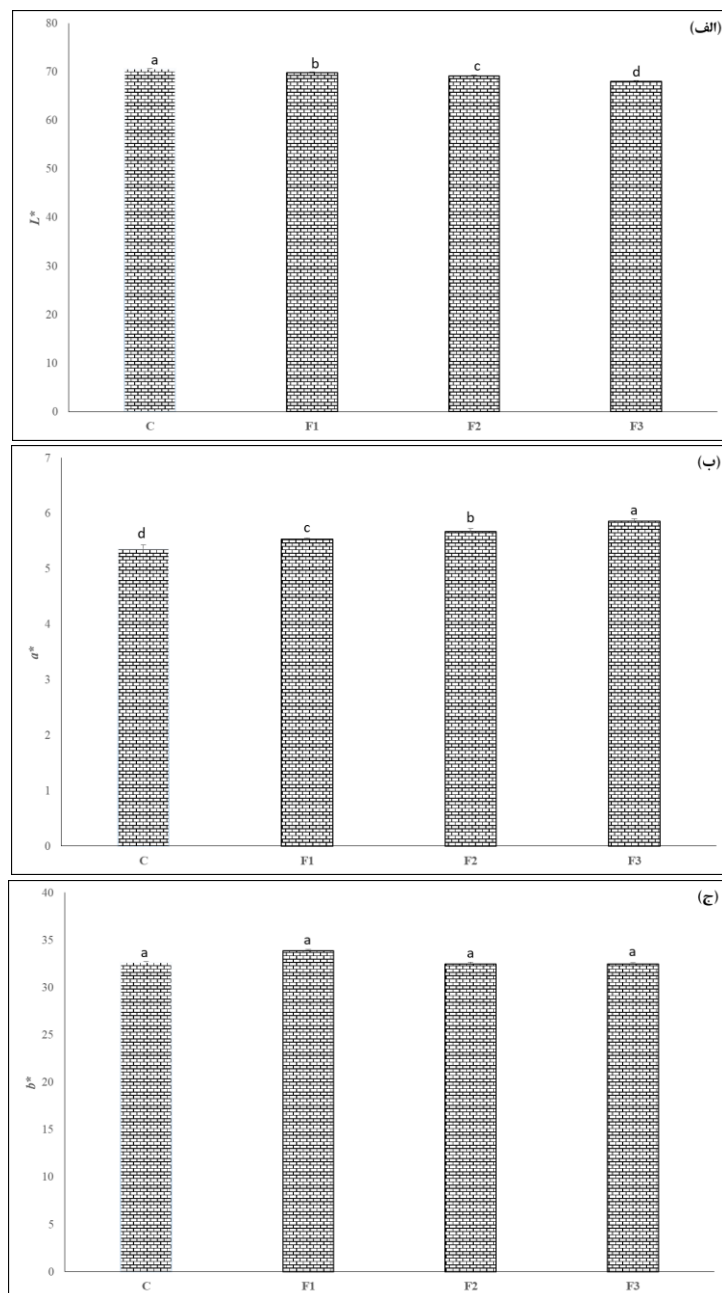
ارزیابی رنگ نمونه‌های پاستا

همانطور که در شکل ۳ تصاویر پاستاهای غنی‌شده با هیدرولیزات فوکوئیدان نشان می‌دهد، محصولات تولید شده از نظر رنگ ظاهری دارای تفاوت‌های قابل مشاهده با یکدیگر بودند. نتایج رنگ سنجی نشان داد که محصولات تولیدشده در تیمار کنترل و تیمارهای حاوی فوکوئیدان دارای تفاوت معنی‌دار در شاخص روشنایی بودند که در این میان بیشترین شاخص روشنایی L^* متعلق به تیمار کنترل و کم‌ترین شاخص روشنایی تیمار متعلق به پاستای حاوی ۰/۵ درصد فوکوئیدان بود ($p < ۰/۰۵$) (شکل ۴). از نظر میزان اختلاف طیف رنگی در بین تیمارها، پاستای حاوی ۰/۵ درصد فوکوئیدان بالاترین شاخص قرمزی را نشان داد (a^*)، در حالی که شاخص رنگ زردی (b^*) فاقد تفاوت معنی‌دار در بین محصولات مختلف بود ($p > ۰/۰۵$).



شکل ۳- تصویر نمونه‌های پاستا حاوی فوکوئیدان هیدرولیزشده جلبک *N. zanardinii*

نمونه‌ی کنترل (C)، پاستای حاوی ۰/۱۲۵ درصد (F₁)، پاستای حاوی ۰/۲۵ درصد (F₂) و پاستای حاوی ۰/۵ درصد (F₃) فوکوئیدان هیدرولیزشده



شکل ۴- نتایج ارزیابی پارامترهای رنگی L^* (الف)، a^* (ب) و b^* (ج) نمونه‌های پاستا

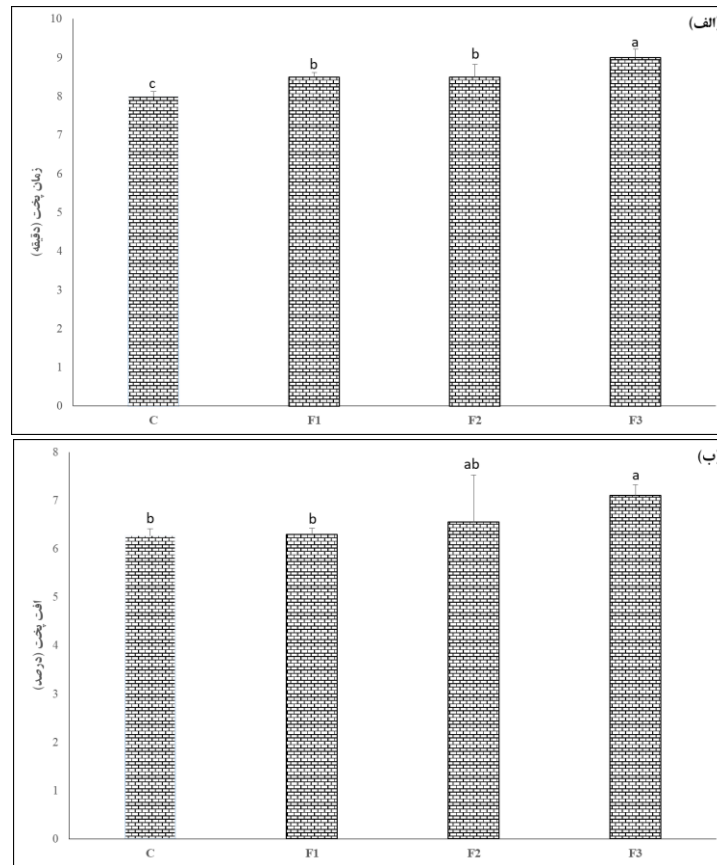
حاوی فوکونیدان هیدرولیز شده جلبک *N. zanardinii*

نمونه‌ی کنترل (C)، پاستای حاوی ۱۲.۵٪ درصد (F1)، پاستای حاوی ۲۵٪ درصد (F2) و پاستای حاوی ۵٪ درصد (F3) فوکونیدان هیدرولیز شده. حروف متفاوت در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار می‌باشند ($p < 0.05$).

آزمون‌های پخت

آزمون‌های پخت شامل درصد افزایش وزن محصول پس از پخته شدن و میزان خروج ماده خشک در آب (افت پخت) بر طبق روش AACC 16-50 انجام شد. در شکل ۵ نتایج آزمون‌های افت پخت و مدت زمان بهینه‌ی پخت تیمارهای مختلف پاستا ارائه شده است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که نسبت به تیمار کنترل، با افزایش سطوح فوکونیدان به ۵٪ درصد، زمان پخت پاستا به میزان معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$).

(شکل ۵ الف). همچنین، میزان افت پخت نیز در پاستای غنی شده با فوکوئیدان به ۰/۵ درصد به میزان معنی داری بیشتر از تیمار کنترل و تیمار حاوی کمترین سطح فوکوئیدان بود ($p < 0/05$) (شکل ۵ ب).



شکل ۵- نتایج آزمون های زمان پخت (الف) و افت پخت (ب) نمونه های پاستا

حاوی فوکوئیدان هیدرولیز شده جلبک *N. zanardinii*

نمونه ی کنترل (C)، پاستای حاوی ۰/۱۲۵ درصد (F1)، پاستای حاوی ۰/۲۵ درصد (F2) و پاستای حاوی ۰/۵ درصد (F3) فوکوئیدان هیدرولیز شده. حروف متفاوت در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی دار می باشند ($p < 0/05$).

ارزیابی حسی محصولات غنی شده با فوکوئیدان

ارزیابی حسی پاستاها، یکی از مهم ترین اساس تجاری سازی آن ها می باشد که نمایی از پذیرش مصرف کننده را نشان می دهد. با توجه به نظرات متخصصین امر، تولیدکنندگان و مصرف کنندگان محصولات ماکارونی، کلیه خصوصیات کیفی فرآورده های ماکارونی از یک درجه اهمیت برخوردار نبوده بلکه برخی از آن ها در تعیین کیفیت کلی محصول تاثیر و اهمیت و ارزش بیشتری دارد. بنابراین برای پارامترهای کیفی در تعیین کیفیت نهایی نمونه پاستای مورد آزمون، به هر کدام از ویژگی های کیفی یک ضریب امتیاز تعلق گرفت که نشان دهنده درجه اهمیت آن پارامتر کیفی می باشد^[۲۹]. نتایج بررسی تاثیر غنی سازی پاستا با سطوح فوکوئیدان هیدرولیز شده بر پارامترهای حسی محصول تولیدی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از آزمون ها و مطالعه آماری نشان دادند که اختلاف بین نمونه های پاستای شاهد، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۵ درصد فوکوئیدان هیدرولیز شده معنی دار نیست ($p < 0/05$). لذا غنی سازی تاثیر منفی بر هیچ یک از فاکتورهای حسی مصرف کنندگان شامل رنگ ظاهری قبل و بعد از پخت، عطر و بو، طعم و مزه، بافت محصول بعد از پخت و پذیرش کلی نداشته است.

جدول ۲- نتایج آزمون حسی نمونه‌های پاستا غنی شده با فوکوئیدان هیدرولیز شده.

C: نمونه‌ی کنترل، F₁: پاستای حاوی ۰/۱۲۵ درصد آبکافته فوکوئیدان، F₂: پاستای حاوی ۰/۲۵ درصد آبکافته فوکوئیدان و F₃: پاستای حاوی ۰/۵ درصد آبکافته. حروف متفاوت در هر ستون، نشانگر تفاوت معنی‌دار می‌باشند ($p < ۰/۰۵$).

تیمار	رنگ ظاهری قبل از پخت	رنگ ظاهری بعد از پخت	عطر و بو	طعم و مزه	بافت محصول بعد از پخت	پذیرش کلی
C	۴/۳±۰/۶۹ ^a	۴/۴±۰/۵۱ ^a	۴/۴±۰/۴۳ ^a	۴/۴±۰/۵۱ ^a	۴/۷±۰/۲۱ ^a	۴/۷±۰/۲۸ ^a
F ₁	۴/۳±۰/۶۷ ^a	۴/۳±۰/۵۲ ^a	۴/۴±۰/۴۸ ^a	۴/۳±۰/۵۲ ^a	۴/۵±۰/۵۲ ^a	۴/۶±۰/۳۱ ^a
F ₂	۴/۲±۰/۶۳ ^a	۴/۲±۰/۴۸ ^a	۴/۳±۰/۳۱ ^a	۴/۳±۰/۵۱ ^a	۴/۴±۰/۵۱ ^a	۴/۴±۰/۴۲ ^a
F ₃	۴/۱±۰/۵۶ ^a	۴/۱±۰/۵۱ ^a	۴/۲±۰/۴۳ ^a	۴/۲±۰/۳۱ ^a	۴/۱±۰/۵۶ ^a	۴/۱±۰/۴۷ ^a

بحث و نتیجه‌گیری

جهت ممانعت از فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز و در نتیجه محدود کردن فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز تا به حال دو سازوکار مطرح شده است که عبارتند از: ۱- شکل‌گیری کمپلکس بین مهارکننده و آلفا-آمیلاز و در نتیجه محدود کردن فعالیت آنزیم، ۲- کاهش میزان انتشار گلوکز از قسمت فعال آنزیمی، برای مثال به وسیله افزایش ویسکوزیته محیط و در نتیجه تاخیر در هضم کربوهیدرات و جذب گلوکز^[۳۰]. در رابطه با مکانیسم بازدارندگی فوکوئیدان، به نظر می‌رسد که شکل‌گیری پیوند الکترواستاتیک بین گروه‌های منفی سولفات در زنجیره پلی‌ساکاریدی و آنزیم نقش اصلی را ایفا می‌نماید^[۳۰-۳۱]. سازوکار ممانعت‌کنندگی آنزیم آلفا-آمیلاز و آلفا-گلوکوزیداز در مهارکننده‌های مختلف متفاوت گزارش شده است. در مطالعه خواجهی و همکاران (۲۰۲۱)^[۳۲] پتانسیل فوکوئیدان خام و هیدرولیزات جلبک *Padina pavonica* در بازدارندگی آنزیم آلفا-آمیلاز بررسی شد. نتایج حاکی از آن بود که فوکوئیدان خام به میزان ۵۱/۱ درصد کاهش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز را به دنبال داشت. که این میزان در هیدرولیزات آن در محدوده ۳۸/۴۴-۹/۳ درصد گزارش شد در واقع کاهش وزن مولکولی سبب کاهش قابل توجه بازدارندگی شد. در مطالعه دیگری که Alavi و همکاران^[۳۳] بر روی خاصیت ممانعت‌کنندگی آنزیم آلفا-آمیلاز پلی‌ساکارید سولفات خالص‌سازی شده *Myriophyllum L. spicatum* انجام دادند. کمترین میزان بازدارندگی آنزیم آلفا-آمیلاز در فراکسیون F₁ (۳/۵-۴۶/۲۲ درصد) و بیشترین در فراکسیون F₂ (۲/۶-۶۳/۴۷ درصد) برای غلظت ۱ و ۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر مشاهده شد که نزدیک به قدرت مهارکنندگی پلی‌ساکارید خام بود. نتایج نشان داد رابطه بین وزن مولکولی و ممانعت از فعالیت آلفا-آمیلاز به صورت خطی نمی‌باشد که با نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر مطابقت دارد. عامل اصلی که می‌تواند فعالیت آنزیم آلفا-گلوکوزیداز را تحت تاثیر قرار دهد توانایی به دام‌اندازی هیدروژن توسط مهارکننده است، زیرا آلفا-گلوکوزیداز با تولید یون هیدروژن باعث کاتالیز پیوند (۴→۱)-α می‌شود. نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن بود که برخلاف نتایج مهارکنندگی آلفا-آمیلاز، کاهش وزن مولکولی سبب کاهش قابل توجهی در مهارکنندگی فعالیت این آنزیم می‌شود. دلیل این موضوع تفاوت در ساختار تشکیل دهنده هر دو آنزیم است. در مطالعه‌ای که در این زمینه بر روی *M. spicatum L.* صورت گرفته، قدرت بازدارندگی پلی‌ساکارید خام ۸۸/۴ درصد سنجش شد. میزان بازدارندگی در فراکسیون F₂ ۸۹/۵ درصد گزارش شد که بیش از فراکسیون F₁ (۵۵/۵ درصد) بود^[۳۳]. در مطالعه دیگری که بر روی اثر کاهش وزن مولکولی فوکوئیدان *Ascophyllum nodosum* در بازدارندگی آنزیم‌های آلفا-آمیلاز و آلفا-گلوکوزیداز انجام شد، پلی‌ساکارید فوکوئیدان با وزن مولکولی ۳۳/۴ kDa در مقایسه با فراکسیون با وزن مولکولی ۶/۷۱ kDa و پلی‌ساکارید خام، نسبت به آنزیم آلفا-آمیلاز فعالیت مهاری قوی‌تری در برابر آنزیم آلفا-گلوکوزیداز از خود نشان داد که بسیار به خواص ساختاری آن مرتبط است و به طور متفاوتی بر ساختار این آنزیم‌ها اثر

می‌گذارد که با نتایج مطالعه حاضر قابل مقایسه می‌باشد^[۳۴]. با توجه به بالاتر بودن قابلیت مهار آنزیم‌های تجزیه‌کننده نشاسته در فوکوئیدان FH20، از این تیمار برای غنی‌سازی پاستا در سطوح مختلف استفاده شد که نتایج از ابتدا حاکی از تفاوت ظاهری خصوصاً رنگ در پاستاهای تولید شده بود. همان طور که ملاحظه می‌شود میزان L^* که نشان دهنده‌ی روشنی نمونه است با افزودن فوکوئیدان به طور معنی‌داری کاهش یافت. این تغییر در رنگ پاستای غنی‌شده با توجه به رنگ ماده اولیه مورد استفاده در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است^[۳۴]. ظاهر غذا، یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده‌ی کیفیت آن است که مصرف‌کننده در درجه اول تحت تاثیر آن قرار می‌گیرد. رنگ به عنوان یکی از جنبه‌های ظاهر، نقش مهمی را در پذیرش غذا ایفا می‌کند که نشانگری برای کیفیت، تازگی، وضعیت طعم و ارزش تجاری غذا می‌باشد. به طور معمول، پاستای تهیه شده از سمولینا دارای رنگ زرد می‌باشد که ناشی از بتا-کاروتن است. طی سال‌های اخیر پاستاهای با رنگ‌های مختلف تولید شده‌اند که برای رنگی کردن آن‌ها از سبزی‌هایی مانند اسفناج، گوجه فرنگی و هویج استفاده شده است. دستیابی به یک رنگ مطلوب و پایدار، یکی از مهم‌ترین فاکتورها در چنین محصولاتی می‌باشد^[۳۵-۳۶]. در مطالعه حاضر، تغییرات رنگی ایجاد شده در اثر افزودن سطوح مختلف فوکوئیدان به نمونه‌های پاستا، به دلیل وجود رنگدانه‌های مختلف نظیر کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها متصل به زنجیره پلی ساکاریدی می‌باشد.

بافت غذا وابسته به ترکیبات شیمیایی موجود در آن مثل پروتئین، چربی و کربوهیدرات‌های ساختاری مانند سلولز، نشاسته و پکتین می‌باشد. بنابراین ترکیب شیمیایی فرآورده‌های غذایی بسته به سطح و ترکیب شیمیایی افزودنی مدنظر می‌تواند دچار تغییر شود^[۳۷]. در مطالعه حاضر، افزودن فوکوئیدان هیدرولیز شده باعث افزایش جزئی در پروتئین، رطوبت و خاکستر نمونه‌های پاستا گردید، ولی این اختلاف در هیچ کدام از تیمارها معنی‌دار نبود که می‌تواند ناشی از پایین بودن مقادیر غنی‌سازی در فرمولاسیون باشد. افت پخت پاستا، بیانگر تراوش مواد جامد در آب پخت می‌باشد و اساساً تحت تاثیر حلالیت و آزادسازی نشاسته‌های ژلاتینه شده از سطح محصول طی فرآیند پخت قرار دارد. درجه افت پخت، وابسته به ژلاتینه شدن نشاسته و استحکام ساختارهای شبکه ژل در پاستا دارد^[۳۸]. افت پخت کم، نشان‌دهنده کیفیت پخت بالای محصول می‌باشد. مواد جامدی که در هنگام پخت از ساختار پاستا به آب وارد می‌شوند، به عنوان افت پخت در نظر گرفته می‌شوند و این عامل معمولاً برای پیش‌بینی عملکرد پخت پاستا استفاده می‌شود. در بسیاری از پژوهش‌ها بیان شده که کاهش یکنواختی شبکه‌ی گلوونی (در اثر غنی‌سازی) منجر به افزایش افت پخت می‌شود. پیش از این، افزایش افت پخت در فیبر حاصل از ضایعات پرتقال به فرمولاسیون پاستا مشاهده شده است^[۳۹]. زمان پهنه پخت مدت زمانی است که خط سفید ممتد مشاهده شده در مرکز یک رشته از پاستا در طول پخت ناپدید شود^[۳۵]. پژوهشگران بیان نموده‌اند که اضافه نمودن سبزی‌ها و میوه‌ها (حاوی فیبر) به فرمولاسیون پاستا منجر به ایجاد تغییرات در ساختار پاستا و افزایش جذب آب می‌شود. بنابراین آب با سرعت بیشتری به مرکز رشته‌های پاستا رسیده و نشاسته زودتر ژلاتینه می‌شود که این فرآیند منجر به کاهش زمان پخت می‌شود^[۳۶]. در مطالعات صورت گرفته، بسته به نوع ماده افزودنی زمان پخت پاستا متفاوت گزارش شده و در حالی که غنی‌سازی با فیبر خرنوب سبب کاهش این زمان می‌شود، افزودن پوست انار به فرمولاسیون پاستا تاثیر معنی‌داری بر زمان پخت پاستا نشان نداده است^[۴۰-۴۱]. در تحقیق حاضر، زمان پهنه پخت با افزایش درصد فوکوئیدان هیدرولیز شده افزایش یافت. دلیل این افزایش می‌تواند به عدم حلالیت کامل فوکوئیدان و قابلیت جذب آب پایین و در نتیجه تاثیر منفی آن بر شبکه ژلی محصول باشد. در ارتباط با ارزیابی حسی، با وجود رنگ تیره‌تر محصولات حاوی فوکوئیدان هیدرولیز شده، ارزیاب‌ها در مجموع پاستاهای غنی‌شده را در تمامی سطوح پسندیدند که این موضوع حاکی از قبول فرآورده سودمند تولید شده جهت مصرف بود.

نتیجه گیری نهایی

در مجموع نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن بود که فوکوئیدان استخراج شده از جلبک قهوه‌ای *N. zanardinii* واجد قابلیت مهار آنزیم‌های تجزیه‌کننده نشاسته است و افزایش زمان هیدرولیز می‌تواند سبب بهبود مهار آنزیم α -آمیلاز و بدون تغییر ماندن قابلیت مهار آنزیم α -گلوکوزیداز تا زمان ۲۰ دقیقه شود. غنی‌سازی پاستا با فوکوئیدان هیدرولیز شده در سطوح مختلف سبب تغییر رنگ پاستای تولیدی شد، در حالی که ترکیب شیمیایی فرآورده نهایی بدون تغییر باقی ماند. همچنین، اگرچه با افزایش سطح فوکوئیدان، زمان پخت و افت پخت در فرآورده نهایی افزایش

یافت، اما تغییرات ذکر شده تاثیر منفی بر ارزیابی حسی و پذیرش کلی مصرف کننده نداشت. به طور کلی، مطالعه کنونی نشان داد که فوکوئیدان می‌تواند به عنوان ماده اولیه زیست فعال جهت غنی‌سازی پاستای فراسودمند بدون تغییر ویژگی‌های حسی مورد استفاده قرار گیرد.

تأییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع مالی: بدین وسیله از حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور در غالب طرح تحقیقاتی با شماره ۴۰۰۵۵۴۵ تشکر و قدردانی می‌گردد.

سهم نویسندگان: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- [1] Kill R, Turnbull K (Eds.). Pasta and semolina technology. Blackwell Science Ltd editorial offices, England. 2001;1071pp.
- [2] Cocci E, Sacchetti G, Vallicelli M, Angioloni A, Dalla Rosa M. Spaghetti cooking by microwave oven: Cooking kinetics and product quality. Journal of food engineering, 2008;85(4):537-546.
- [3] Lee SJ, Rha M, Koh W, Park W, Lee C, Kwon YA, Hwang JK. Measurement of cooked noodle stickiness using a modified instrumental method. Cereal chemistry, 2002;79(6):838-842.
- [4] El-Khayat GH, Samaan J, Manthey FA, Fuller MP, Brennan CS. Durum wheat quality I: correlation between physical and chemical characteristics of Syrian durum wheat cultivars. International Journal of Food Science and Technology, 2006;41:22-29.
- [5] Yahyavi M, Shokouhi F, Jamali V, Afshin Pazhouh R, Amini M. The most recent enrichments in the pasta industry. 2013; 8pp. (In Persian)
- [6] Verardo V, Ferioli F, Riciputi Y, Iafelice G, Marconi E, Fiorenza Caboni M. Evaluation of lipid oxidation in spaghetti pasta enriched with long chain n₃polyunsaturated fatty acids under different storage conditions. Food Chemistry, 2009;114:472-477.
- [7] Fradique M, Batista AP, Nunes M, Gouveia L, Bandarra MN, Raymundo A. Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products, Part 1: Preparation and evaluation. Journal of Society of Chemical Industry Food Agriculture, 2010;90:1656-1664.
- [8] Ghiasi Tarzi B, Shakeri B, Ghavami M. Effects of adding wheat bud on the chemical, sensory, cook and microbial properties of pasta. Iranian Journal of Nutrition Science and Food Technology, 2012; 3, 21pp. (In Persian)
- [9] Prabhasankar P, Kadam SU. Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. Food Research International, 2010;43:1975-1980.
- [10] Lomartire S, Gonçalves AM. An overview of potential seaweed-derived bioactive compounds for pharmaceutical applications. Marine Drugs, 2022;20(2):141.

- [11] De Jesus Raposo MF, De Morais AMB, De Morais RMSC. Marine polysaccharides from algae with potential biomedical applications. *Marine drugs*, 2015;13(5):2967-3028.
- [12] Jayawardena TU, Nagahawatta DP, Fernando IPS, Kim YT, Kim JS, Kim WS, Jeon YJ. A review on fucoidan structure, extraction techniques, and its role as an immunomodulatory agent. *Marine drugs*, 2022;20(12):755.
- [13] Oliveira C, Neves NM, Reis RL, Martins A, Silva TH. A review on fucoidan antitumor strategies: From a biological active agent to a structural component of fucoidan-based systems. *Carbohydrate Polymers*, 2020;239:116131.
- [14] Dirir AM, Daou M, Yousef AF, Yousef LF. A review of alpha-glucosidase inhibitors from plants as potential candidates for the treatment of type-2 diabetes. *Phytochemistry Reviews*, 2022;21(4):1049-1079.
- [15] Rahman MM, Dhar PS, Anika F, Ahmed L, Islam MR, Sultana NA, Rauf A. Exploring the plant-derived bioactive substances as antidiabetic agent: an extensive review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2022;152:113217.
- [16] Mousavi NS, Tabarsa M, Ahmadi H. Evaluation of relationship between molecular weight and antioxidant properties of hydrolyzed fucoidan from brown seaweed *Nizamuddiniana zanardinii*. *Fisheries Science and Technology*, 2022;11(2):153-164.
- [17] Alboofetileh M, Rezaei M, Tabarsa M, You S, Yelithao Kh, Dabaghian HE, Cao R, Bitá S. The activation of NF- κ B and MAPKs signaling pathways of RAW264.7 murine macrophages and natural killer cells by fucoidan from *Nizamuddiniana zanardinii*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020p;148:56-67.
- [18] Chen BJ, Shi MJ, Cui S, Hao SX, Hider RC, Zhou T. Improved antioxidant and anti-tyrosinase activity of polysaccharide from *Sargassum fusiforme* by degradation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016;92:715-22.
- [19] Jiang J, Meng FY, He Z, Ning YL, Li XH, Song H, Wang J, Zhou R. Sulfated modification of longan polysaccharide and its immunomodulatory and antitumor activity in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014;67:323-329.
- [20] Karnjanapratum S, Tabarsa M, Cho M, You S. Characterization and immunomodulatory activities of sulfated polysaccharides from *Capsosiphon fulvescens*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2012;51(5):720-729.
- [21] Tabarsa M, Dabaghian EH, You S, Yelithao K, Cao R, Rezaei M, Bitá S. The activation of NF- κ B and MAPKs signaling pathways of RAW264. 7 murine macrophages and natural killer cells by fucoidan from *Nizamuddiniana zanardinii*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020;148:56-67.
- [22] Khajavi S, Tabarsa M, Ahmadi H, Rezaei M. Relationship evaluation of molecular weight and antioxidant and alpha amylase inhibition properties of fucoidan and alginate from brown seaweed *Padina pavonica* in comparison with polysaccharides from Flixweed and Fennel. *Journal of Fisheries Science and Technology*, 2021;1:31-45.
- [23] Borazjani NJ, Tabarsa M, You S, Rezaei M. Effects of extraction methods on molecular characteristics, antioxidant properties and immunomodulation of alginates from

- Sargassum angustifolium*. International Journal of Biological Macromolecules 2017; 101:703-711.
- [24] Borazjani NJ, Tabarsa M, You S, Rezaei M. Improved immunomodulatory and antioxidant properties of unrefined fucoidans from *Sargassum angustifolium* by hydrolysis. Journal of Food Science and Technology 2017; 54: 4016-4025.
- [25] Karimi A, Azizi MH, Ahmadi Gavlighi H. Fractionation of hydrolysate from corn germ protein by ultrafiltration: In vitro antidiabetic and antioxidant activity. Food Science & Nutrition, 2020;8(5):2395-2405.
- [26] Apostolidis E, Kwon YI, Shetty K. Inhibitory potential of herb, fruit, and fungal-enriched cheese against key enzymes linked to type 2 diabetes and hypertension. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2007;8:46-54.
- [27] Abedanpour, M., Barzegar, M., Azizi, M. H., Yazdi, A. P. G., & Bazsefidpar, N. (2025). Fortification of pasta with eggshell powder as a natural source of calcium. *Applied Food Research*, 5(1), 100851.
- [28] AOAC, 2003. Official methods of analysis of the association of official's analytical chemists, 17th edn. Association of Official analytical chemists, Arlington, Virginia.
- [29] Voisey PW, Larmond E, Wasik RJ. Measuring the texture of cooked spaghetti. 1. Sensory and instrumental evaluation of firmness. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 1978;11(3):142-148.
- [30] Kim KT, Rioux LE, Turgeon SL. Alpha-amylase and alpha-glucosidase inhibition is differentially modulated by fucoidan obtained from *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*. Phytochemistry, 2014;98:27-33.
- [31] Koh HSA, Lu J, Zhou W. Structural dependence of sulfated polysaccharide for diabetes management: Fucoidan from *Undaria pinnatifida* inhibiting α -glucosidase more strongly than α -amylase and amyloglucosidase. Frontiers in pharmacology, 2020;11: 831.
- [32] Alavi, M., Mehdi, T., & Ahmadi Gavlighi, H. (2021). Antioxidant activity, α -amylase and α -glucosidase inhibition properties of sulfated-polysaccharides purified from freshwater plant *Myriophyllum spicatum* L. *Journal of food science and technology (Iran)*, 18(116), 81-90.
- [33] Zhan, H., Yu, G., Zheng, M., Zhu, Y., Ni, H., Oda, T., & Jiang, Z. (2022). Inhibitory effects of a low-molecular-weight sulfated fucose-containing saccharide on α -amylase and α -glucosidase prepared from ascophyllan. *Food & Function*, 13(3), 1119-1132.
- [34] Fradinho P, Raymundo A, Sousa I, Domínguez H, Torres MD. Edible brown seaweed in gluten-free pasta: Technological and nutritional evaluation. Foods, 2019;8(12):622.
- [35] Ghandehari Yazdi, AP, Kamali Rousta L, Aziz Tabrizzad MH, Amini M, Tavakoli M, Yahyavi M. A review: New approach to enrich pasta with fruits and vegetables. Journal of Food Science and Technology, 2020;107:129-149.
- [36] Shakeri V, Tarzi BG, Ghavami M. The effects of wheat germ on chemical, sensorial, cooking and microbial properties of Pasta. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology, 2012;7:89-100.
- [37] Chansri R, Puttanlek C, Rungsadthogy V, Uttapap D. Characteristics of clear noodles prepared from edible canna starches. Journal of food Science, 2005;70(5):S337-S342.

-
- [38] Wu L, Zhang C, Long Y, Chen Q, Zhang W, Liu G. Food additives: From functions to analytical methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022;62(30): 8497-8517.
- [39] Crizel TDM, Rios ADO, Thys RCS, Flôres SH. Effects of orange by-product fiber incorporation on the functional and technological properties of pasta. *Food Science and Technology*, 2015;35(3):546-551.
- [40] Biernacka B, Dziki D, Gawlik-Dziki U, Różyło R, Siastała M. Physical, sensorial, and antioxidant properties of common wheat pasta enriched with carob fiber. *LWT-Food Science and Technology*, 2017;77:186-192.
- [41] Essa RY, Mohamed EE. Improvement of functional and technological characteristics of spaghetti by the integration of pomegranate peels powder. *American Journal of Food Technology*, 2018;13:1-7.

Production of pasta fortified with hydrolyzed fucoidan from brown seaweed *Nizamuddiniah zanardinii* and evaluation of chemical, physical and sensory properties

Nafiseh Sadat Mousavi¹, Mehdi Tabarsa¹, Amir Pouya Ghandehari Yazdi², Aria Babakhani³, Hassan Ahmadi Gavlighi⁴, Hedieh Hakimi¹

1-Department of Seafood Processing, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, P.O. Box 46414-356, Noor, Iran.

2-Department of Food Research and Development, Zarmacaron Company, Zar Industrial and Research Group, Alborz, Iran.

3-Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Guilan, Iran.

4-Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

ABSTRACT

The present study aimed to investigate the potential for improving the anti-diabetic properties of fucoidan extracted from *Nizamuddiniah zanardinii* brown algae and to enrich pasta formulations with the enhanced fucoidan. Crude fucoidan was extracted using a solvent-based method at 60°C and then hydrolyzed with 0.01 N hydrochloric acid at 100°C for 10 to 60 minutes. The inhibitory activity of the resulting hydrolysates against α -amylase and α -glucosidase enzymes was evaluated, and the hydrolysates were subsequently incorporated into pasta at concentrations of 0.125%, 0.25%, and 0.5%. While the α -amylase inhibitory activity increased up to a certain point with prolonged hydrolysis time before declining, the α -glucosidase inhibition exhibited a consistent decreasing trend. Enriching pasta with hydrolyzed fucoidan at levels up to 0.5% did not significantly alter the moisture, ash, or protein content of the final product. However, increasing the fucoidan concentration led to an increase in cooking time (from 8.0 to 9.0 minutes) and cooking loss (from 6.27% to 7.10%). Colorimetric analysis revealed that with higher fucoidan levels, the L^* value (lightness) decreased, the a^* value (redness/greenness) increased, and the b^* value (yellowness/blueness) remained unchanged. Sensory evaluation results showed no significant differences between the control and fucoidan-enriched pasta in terms of appearance (before and after cooking), aroma, taste, texture, and overall acceptability. In conclusion, the findings demonstrate that 20-minute hydrolysis enhances the α -amylase inhibitory activity of fucoidan and pasta can be successfully enriched with fucoidan hydrolysates at a 0.25% incorporation level without compromising sensory quality.

KEYWORDS: Pasta, Fortification, Antidiabetic

ARTICLE TYPE

Original Research

ARTICLE HISTORY

Received: 30

February 2025

Accepted: 26 May
2025

ePublished: 05 June
2025

* Corresponding Author: Mehdi Tabarsa

Email address: m.tabarsa@modares.ac.ir

Tel: 01144998151

© Published by Tarbiat Modares University

ISSN: 2322-5513