

## ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و پختی اسپاگتی غنی شده با سبوس جو و صمغ زانتان

راضیه نیازمند<sup>۱\*</sup>، سارا ناجی طبسی<sup>۲</sup>، آتنا مدیری<sup>۳</sup>، مسلم جهانی<sup>۴</sup>

۱- دانشیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران  
\* نویسنده مسئول (r.niazmand@rifst.ac.ir)

۲- استادیار، گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

۴- استادیار، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

### چکیده

فیبرهای رژیمی اثرات فیزیولوژیکی و متابولیکی مفیدی دارند و غنی‌سازی محصولات پرمصرفی چون اسپاگتی با آنها می‌تواند سطح سلامتی و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مختلف در جامعه را افزایش دهد. در این پژوهش اثر سبوس جوی فراوری شده (در سطوح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد)، صمغ زانتان (در سطوح ۱ و ۲ درصد) و برهم‌کنش آنها جهت تولید اسپاگتی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (رطوبت، خاکستر و رنگ)، ویژگی‌های پخت (جذب آب، آفت پخت و شاخص تورم)، بافت، ریزساختار و خصوصیات حسی مورد بررسی قرار گرفت. جذب آب و آفت پخت نمونه‌های اسپاگتی با افزایش سبوس به ترتیب کاهش و افزایش یافت ( $P < 0.05$ ). با افزودن فیبر شبکه گلوتنی تضعیف شد و در نتیجه زمان پخت به ۱۰ دقیقه کاهش یافت. استفاده از سبوس جوی فراوری شده با افزایش جزئی زردی، افزایش قابل توجه قرمزی و کاهش روشنایی رنگ اسپاگتی‌های پخته همراه بود. سبوس باعث کاهش سفتی رشته‌های اسپاگتی پخته شد ( $P < 0.05$ ) اما افزایش درصد جایگزینی سبوس تأثیر معنی‌دار بر سفتی بافت نداشت ( $P > 0.05$ ). حضور صمغ زانتان در کنار سبوس جو باعث بهبود خصوصیات بافتی آن گردید ( $P < 0.05$ ). تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد با افزودن زانتان، دیواره‌های بسته‌های هوا متورم‌تر می‌شود و در حضور سبوس وجود ساختار زیرتری در اسپاگتی مشهود بود. ارزیابی حسی بیانگر پذیرش کلی کمتر نمونه‌های حاوی فیبر نسبت به نمونه شاهد بود. اگرچه نمونه حاوی ۴۰ درصد سبوس جو و فاقد زانتان دارای بیشترین پذیرش کلی در میان نمونه‌های غنی‌سازی شده با فیبر بود.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۱

### واژه‌های کلیدی

اسپاگتی  
سبوس جو  
فیبر رژیمی  
هیدروکلوئید

### مقدمه

معرفی کرده است. این محصول یکی از غذاهای قدیمی بر پایه غلات می‌باشد و به دلیل ارزان قیمت بودن، سهولت مصرف، تنوع و زمان نگهداری، در سراسر جهان مورد مقبولیت عام قرار می‌گیرد (Bergman, 1994). دانشمندان توصیه نموده‌اند که به منظور پیشگیری از

پاستا جزء اولین محصولات اعلام شده در سال ۱۹۹۱ از سوی سازمان غذا و داروی ایالت متحده آمریکا برای غنی‌سازی با آهن و ویتامین‌ها بوده و سازمان بهداشت جهانی، پاستا را یک حامل مناسب برای مواد مغذی

اسکلت اصلی پیچیده می‌شوند و آن را مستحکم و سفت می‌کند ( Garcia-Ochoa, Santos, Casas, & Gomez, 2000; Phillips & Williams, 2000). صمغ زانتان به‌طور کامل در آب سرد یا گرم حل می‌شود اما در بسیاری از ترکیبات آلی نامحلول است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این صمغ خاصیت روان‌شدن آن در اثر برش است که پس از حذف برش به مقدار گرانیوی اولیه می‌رسد. گرانیوی پایین آن در درجه برش‌های بالا باعث می‌شود که عمل مخلوط‌کردن، ریزش و فروبردن آسان گردد. گرانیوی بالای آن در درجه برش پایین موجب خصوصیات سوسپانسیونی مطلوب و پایداری سوسپانسیون می‌شود. خصوصیت ویژه زانتان، حساس‌نبودن آن به دماست که به آن اجازه می‌دهد، گرانیوی بالای خمیرها را در دمای بالا حفظ کند بنابراین امکان انبساط آنها را قبل از تشکیل ساختارشان را فراهم می‌کند ( Kohajdová, Karovičová, & Schmidt, 2009).

امروزه باتوجه‌به میزان کم فیبر در رژیم غذایی روزانه، گسترش مصرف محصولات غذایی غنی‌شده با این ترکیبات ضروری است. فراورده‌های پاستا از محصولات پرمصرف در جهان هستند و همچنین علاوه‌بر دارابودن خواص تغذیه‌ای مناسب، در تمامی سنین مورد استفاده قرار می‌گیرد. درنتیجه می‌توان در کنار اثرات مفید ماکارونی در تغذیه و تأمین انرژی از خصوصیات ماکارونی‌های غنی‌شده با فیبرهای رژیمی در جهت افزایش سطح سلامتی بدن و نیز کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مختلف استفاده نمود ( Mosharraf et al., 2009).

Mazaheri Tehrani و Mortazavi, Razavi, Nasehi (۲۰۱۶) ویژگی‌های ماکارونی غنی‌شده با آرد کامل سویا (۰ تا ۲۷ درصد) را موردبررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین جذب آب به نمونه حاوی بیشترین مقدار آرد سویا مربوط بود. همچنین ماکارونی‌های غنی‌شده سختی کمتری در مقایسه با شاهد داشتند درحالی‌که پس از پخت، با افزایش مقدار آرد سویا در فرمول، سختی افزایش یافت که علت آن به پروتئین سویا نسبت داده شد. Aghakeshipour, Oladghaffari و Peighamardpust, Azadnard-Demirchi (۲۰۱۵) ویژگی‌های ماکارونی حاوی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد پودر بزرک را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها حاکی از کاهش

برخی از بیماری‌ها میزان فیبر رژیمی در مواد غذایی افزایش یابد. فراورده‌های پاستا در کنار سایر محصولات غلات ممکن است سهم مؤثری در تأمین فیبر رژیمی غذاها داشته باشد. مردم کشورهایی که رژیم غذایی غنی از فیبر دارند، از سلامتی نسبی بالاتر و طول عمر بیشتر برخوردار هستند. مصرف این ترکیبات باعث کاهش چربی و قند خون، جلوگیری از سکتة قلبی و مغزی، کاهش احتمال ابتلا به سرطان‌های روده و دستگاه گوارش و درمان چاقی می‌شود ( Mosharraf, Kadivar, & Shahedi, 2009). مطالعه‌های مختلف نشان دادند که فیبرهای رژیمی با کاهش اشتها و جذب غذا و کنترل شاخص گلیسمی<sup>۱</sup> باعث کاهش کالری دریافتی می‌شوند (Giacco, Vitale, & Riccardi, 2016).

جو<sup>۲</sup>، گیاه یکساله‌ای متعلق به خانواده Triticeae است و به لحاظ تکاملی نزدیک به دوگونه دیگر غلات، گندم و چاودار می‌باشد (Holopainen-Mantila, 2015). جو اگرچه در مقادیر کمتری نسبت به برنج و گندم مصرف می‌شود، اما منبع خوبی از فیبر، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات زیست‌فعال مانند فنول‌ها، کاروتنوئیدها، ویتامین E، اسید فیتیک، بتا-گلوکان و استرول‌هاست (Keenan et al., 2007). ترکیبات زیست‌فعال موجود در دانه کامل آن، مزایای سلامتی‌بخشی مانند خطر کاهش بیماری‌های مزمن نظیر بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت نوع ۲ و سرطان دارد (El Rabey, Al-Seeni, & Amer, 2013; Pins & Kaur, 2006).

صمغ زانتان یک بیوپلیمر تجاری اصلی است، تولید آن در سال از منابع تجاری مختلف به بیش از ۲۰۰۰۰ تن می‌رسد که پلی‌ساکاریدی آنیونی است و توسط باکتری *Zoanomonas کمپستریس*<sup>۳</sup> تولید می‌شود. صمغ زانتان پلی‌ساکاریدی با وزن مولکولی بالاست که ساختمان شیمیایی اولیه آن حاصل واحدهای پنتاساکاریدی از ۲ واحد گلوکز، ۲ واحد مانوز و ۱ واحد گلوکورونیک اسید در نسبت مولار ۲/۸ : ۰/۲ : ۰/۲ است. اسکلت اصلی شامل واحدهای گلوکز است که با پیوندهای گلیکوزیدی ۴-۱-β به یکدیگر متصل شده‌اند. زنجیره‌های جانبی در اطراف

<sup>1</sup> Glycemic Index (GI)

<sup>2</sup> *Hordeum vulgare* L.

<sup>3</sup> *Xanthomonas campestris*

### مراحل تولید نمونه اسپاگتی

جهت تولید اسپاگتی از دستگاه اکسترودر نیمه‌صنعتی (شرکت ماشین‌سازی سنبلی، ساخت ایران) استفاده شد. ظرفیت کل دستگاه ۴۰ کیلوگرم در ساعت، سرعت چرخش ماردون ۲۵ دور در دقیقه، طول ماردون ۵۷۰ میلی‌متر و قطر ماردون ۷۰ میلی‌متر بود. مواد تشکیل‌دهنده اسپاگتی شامل آرد حاصل از گندم سخت (بسته به میزان جایگزینی ۴۰ تا ۶۰ درصد) و آب عاری از بو و طعم می‌باشد. گلوتن (۲ درصد) برای افزایش کیفیت آرد و زانتان (سطوح ۱ و ۲ درصد) سبوس جوی فراوری‌شده (سطوح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد) جهت افزایش ارزش تغذیه‌ای و کاهش کالری اضافه گردید. در ابتدا سبوس‌ها آسیاب و از الک با مش ۵۰ میکرومتر عبور داده شدند. مواد خشک (آرد، سبوس و گلوتن) در مخزن خمیرگیر کاملاً با یکدیگر مخلوط و سپس با مقدار مشخصی (بسته به میزان سبوس) آب با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط (حدود ۲۰ دقیقه) شدند. رطوبت نهایی خمیر باید در حدود ۳۰ درصد باشد. در مرحله بعدی خمیر به مدت ۱۰ دقیقه ورز داده شد. سپس خلأ حدود ۰/۷ بار در سیستم خمیرگیر اعمال گردید. در مرحله بعد خمیر با ورود به اکسترودر، تحت فشار بالا قرار گرفت. استوانه اکسترودر دارای ژاکت آب خنک بوده و درحین کار دمای خمیر در حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد حفظ شد. هدف از اعمال فشار و خلأ زیاد خروج حباب‌های ریز هوا از داخل شبکه گلوتن و در نتیجه استحکام رشته‌ها و برآوردن آنها و نیز جلوگیری از ریزش و ترک خوردن آنها طی خشک شدن می‌باشد. پس از این مرحله خمیر از قالب رشته‌ای شکل (قطر ۱/۲ میلی‌متر) خارج شد. قالب استفاده‌شده در ساخت دستگاه تفلونی و به شکل رشته بلند است.

اسپاگتی‌ها پس از خروج روی میله‌ای قرار گرفتند و طی دو مرحله خشک شدند: در مرحله اول دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد به مدت ۱۲ ساعت و در مرحله دوم در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد به مدت ۴ ساعت خشک شدند (BINDER، ساخت آلمان). در مرحله خشک کردن، رطوبت رشته‌ها به ۱۲ درصد کاهش یافت. سپس نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرد شدند. در نهایت

معنی‌دار درصد رطوبت، خاکستر و درصد کل مواد جامد در آب پخت محصول همگام با افزودن پودر بزرک بود درحالی‌که وزن پخت، عدد اسیدی، عدد پراکسید، محتوای اسید لینولنیک و گاما توکوفرول نمونه‌ها افزایش یافت. Nasehi، Jooyandeh و (۲۰۱۱) گزارش کردند که اسیدیته و رنگ اسپاگتی‌های غنی‌شده با آرد کامل سویا (۰ تا ۲۷ درصد) طی ۷ ماه نگهداری در دمای محیط به ترتیب افزایش و کاهش یافت. براساس نظر این محققین مدت زمان ماندگاری این نوع ماکارونی کمتر از نمونه شاهد می‌باشد.

فراورده‌های پاستا از محبوبیت زیادی در بین مصرف‌کنندگان برخوردار هستند اما از طرف دیگر بسیاری از مصرف‌کنندگان نگران میزان بالای کالری دریافتی از این فراورده‌ها می‌باشند. به همین دلیل امروزه تحقیق‌های زیادی در زمینه تولید فراورده‌های پاستا با کالری کاهش‌یافته و یا حتی کالری صفر انجام شده و حتی برخی از این فراورده‌ها، تجاری نیز شده‌اند. غنی‌سازی فراورده‌های پاستا با منابع فیبری نیاز به فرمولاسیون مناسب دارد، زیرا افزودن فیبر بالا به این محصولات خصوصیات بافتی و ارگانولپتیکی و پخت آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. از این رو انتخاب دقیق مقدار و نوع فیبر به منظور توسعه محصولی با طعم قابل قبول و ارزش غذایی بهبودیافته حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش تولید اسپاگتی غنی‌شده با سبوس جو به عنوان یک منبع فیبری بود. همچنین از صمغ زانتان نیز با هدف بهبود ویژگی‌های محصول استفاده شد و اثر این دو بر خصوصیات تکنولوژیکی، ساختاری و حسی ماکارونی با خصوصیات طعم و بافت قابل قبول مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### مواد اولیه

آرد سمولینا از شرکت آرد رضا (مشهد) تهیه شد. سبوس جوی فراوری‌شده (به روش غرقابی با هدف کاهش محتوای اسید فیتیک) از شرکت شهد زاگرس جهان (به‌مالت) واقع در چهارمحال و بختیاری خریداری شد. صمغ زانتان از نمایندگی شرکت فوفنگ<sup>۱</sup> چین خریداری شد.

<sup>۱</sup> Fufeng

Fellows, Blazek, & Gilbert, 2012a; Bustos, Pérez, & León, 2011a).

#### جذب آب

تغییر وزن نمونه بعد از زمان بهینه پخت به صورت درصد نسبت به وزن اولیه خام از رابطه (۱) گزارش شد (Aravind et al., 2012b).

رابطه (۱)

$$\text{جذب آب} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

در رابطه (۱)  $w_2$ ، وزن نمونه پس از پخت و  $w_1$ ، وزن نمونه اولیه می باشد.

میزان از دست دادن مواد جامد در آب پخت (افت پخت) ۵ گرم از اسپاگتی با طول ۳/۵ سانتی متر در زمان بهینه پخت تهیه شدند. نمونه ها با آب مقطر شسته و آب شست و شو و آب حاصل از پختن جمع شده و در آن ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شدند و ماده خشک حاصل به صورت درصد نسبت به وزن اولیه اسپاگتی خام گزارش شد (Aravind et al., 2012b).

#### تعیین شاخص تورم

شاخص تورم پس از زمان بهینه پخت اسپاگتی عبارت از وزن بخش آبی موجود در اسپاگتی پخته شده است و از طریق خشک کردن اسپاگتی پخته در دمای ثابت ۱۰۵ درجه سانتی گراد اندازه گیری شد (Aravind et al., 2012b).

#### رنگ

ابتدا تصاویر رشته های اسپاگتی خشک و پخته (در زمان بهینه) توسط اسکنر (HP، مدل Scanjet-3770، ساخت آمریکا) اسکن شدند. سپس از نرم افزار ImageJ (نسخه ۱.۴۸a) برای اندازه گیری فاکتورهای رنگ استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا قسمت های مورد نظر توسط نرم افزار انتخاب شد. سپس تغییرات رنگ نمونه ها در فضای رنگی Lab مورد بررسی قرار گرفت. \*L درخشندگی و روشنایی جزء است که دامنه آن بین صفر تا ۱۰۰ می باشد. پارامترهای \*a از سبز به قرمز و \*b از آبی به زرد است که مقدار این دو مؤلفه رنگی از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ متغیر است. در

نمونه ها بسته بندی و تا زمان انجام آزمون در جای خشک نگهداری شدند.

مقادیر جایگزینی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد برای سبوس جو و غلظت های ۱ و ۲ درصد برای صمغ زانتان انتخاب شد. نمونه اسپاگتی تهیه شده با آرد گندم و بدون زانتان به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد.

#### آزمون ها

##### رطوبت

میزان رطوبت نمونه های اسپاگتی خشک بر اساس استاندارد شماره ۹۲۵/۱۰ (AOAC, 2005b) ارزیابی شد. بدین منظور نمونه ها در آون (Memmert، ساخت آلمان) در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. نمونه ها پس از خروج از آون در دسیکاتور سرد و میزان رطوبت بر مبنای افت وزن محاسبه و به صورت درصد گزارش گردید (AOAC, 2005b).

##### خاکستر

مقدار خاکستر بر اساس استاندارد شماره ۹۲۳/۰۳ (AOAC, 2005a) تعیین شد. جهت اندازه گیری میزان خاکستر، ۳ گرم از نمونه اسپاگتی را در کروزه ای با وزن مشخص ریخته و روی آتش تا خروج کامل دود قرار گرفت. سپس در کوره (Excitation، ساخت آلمان) در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد تا سفید شدن کامل نمونه حرارت داده شد. افت وزنی پس از سرد شدن نمونه در دسیکاتور محاسبه و میزان خاکستر بر مبنای درصد گزارش گردید (AOAC, 2005a).

##### تعیین زمان پخت بهینه

جهت تعیین زمان پخت بهینه نمونه ها، ۵ گرم از رشته های اسپاگتی به طول تقریبی ۳/۵ سانتی متر برش داده شدند و در ۲۰۰ میلی لیتر آب جوش (۹۹ درجه سانتی گراد) قرار گرفتند. زمان بهینه پخت بر اساس زمان ناپدید شدن مرکز نشاسته ای رشته ها مشخص گردید. جهت اطمینان از پخته بودن، حداقل سه رشته اسپاگتی برای تأیید پخت کامل با عمل فشردن مورد آزمون قرار گرفتند. پارامترهای افت پخت، جذب آب، شاخص تورم، بافت، رنگ و ارزیابی حسی پس از تهیه در شرایط بهینه پخت مورد ارزیابی قرار گرفت (Aravind, Sissons, )

<sup>1</sup> Loss factor

### آزمون حسی

ارزیابی حسی نمونه‌های اسپاگتی پس از پخت در شرایط بهینه پخت انجام شد. خصوصیات حسی شامل رنگ، عطر و طعم، نشاسته‌ای شدن، الاستیسیته، سفتی، فیبری شدن، قابلیت جویدن، توده‌ای شدن، صمغی شدن، چسبندگی، یکپارچگی و پذیرش کلی با همکاری ۱۵ نفر داور چشایی انجام شد. داوران از بازه سنی ۲۴ تا ۳۰ سال و از دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته علوم و صنایع غذایی انتخاب شدند. آموزش لازم در خصوص فاکتورهای حسی مورد بررسی به داوران داده شد و نمونه‌ها از سوی داوران مورد ارزیابی قرار گرفت. به داوران توصیه شد برای رفع اثر هر نمونه بر نمونه دیگر، در میان صرف هر دو نمونه مقداری از نوشیدنی گرمی که در اختیار آنها قرار گرفته بود، بنوشند. به منظور ارزیابی نمونه‌ها از مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد (Padalino et al., 2014).

### تجزیه و تحلیل آماری

تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام شدند. داده‌ها از طریق طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب نسخه ۱۶ تجزیه و تحلیل شدند. نتایج توسط تجزیه واریانس دوطرفه (ANOVA<sup>۵</sup>) و اختلاف بین میانگین‌ها به روش آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم منحنی‌ها از نرم‌افزار Microsoft Excel 2013 استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مواد اولیه

جدول (۱) ویژگی‌های آرد و سایر مواد اولیه مصرفی در این پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار رطوبت و کربوهیدرات آرد به‌طور مشخص و قابل توجهی بالاتر از سایر مواد اولیه است در حالی که محتوای پروتئین، چربی، خاکستر و فیبر رژیمی آن نسبت به سایر مواد اولیه مورد استفاده بسیار کمتر است. از دیگر موارد شاخص در جدول (۱)، مقدار پایین فیبر رژیمی در سبوس جوی فراوری شده و مقدار متمایز و بالای آن در زانتان است که به تفاوت در مقدار کربوهیدرات آنها منتهی شده است.

مقایسه با مدل‌های رنگ دیگر مانند RGB، در  $L^*a^*b^*$  فضای ادراک رنگ یکنواخت است و بنابراین، تفاوت دو رنگ اغلب با تفاوت رنگی درک شده توسط چشم انسان مطابقت دارد (Pedreschi, Leon, Mery, & Moyano, 2006).

### ارزیابی بافت

تک‌رشته اسپاگتی قبل و بعد از پخت (در زمان بهینه) توسط دستگاه بافت‌سنج (TA-XT Plus Texture Analyser، ساخت انگلستان) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون برش توسط پروب تیغه‌ای شکل (BLADE, HDP/BSW) با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه و تغییر شکل ۵۰ درصد انجام گردید. پارامترهای سفتی<sup>۱</sup>، قوام<sup>۲</sup> و چسبندگی<sup>۳</sup> در آزمون بافت‌سنجی برای نمونه‌های پخته شده و پارامتر سختی (به روش مشابه سفتی نمونه پخته شده) برای اسپاگتی خام مورد ارزیابی قرار گرفتند. تمام آزمایش‌ها در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شد (Irie, Horigane, Naito, Motoi, & Yoshida, 2004).

### ریزساختار

تصاویر عرضی نمونه‌های اسپاگتی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۴</sup> مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا رشته‌های اسپاگتی با اندازه ۵ سانتی‌متر تا زمان بهینه پخته شدند. سپس آبکشی شده و بلافاصله در مجاورت نیتروژن مایع منجمد شدند. نمونه‌های منجمد شده با استفاده از خشک‌کن انجمادی خشک شده و تا زمان تصویربرداری در دسیکاتور نگهداری شدند. جهت تصویربرداری رشته‌های خشک شده به اندازه مشخصی برش داده شده و با لایه‌ای از طلا پوشش‌دهی شدند و با استفاده از دستگاه SEM (Tescan، مدل Mira3، ساخت چک) در ولتاژ ۱۰ کیلوولت با بزرگ‌نمایی ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ مورد مطالعه قرار گرفتند (Kim, Kim, Bae, 2017; Chang, & Moon, 2017).

<sup>1</sup> Hardness

<sup>2</sup> Consisten

<sup>3</sup> Adhesiveness

<sup>4</sup> Scanning Electron Microscopy (SEM)

<sup>5</sup> Analysis of Variance

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی مواد اولیه مورد استفاده (برحسب درصد وزن مرطوب)

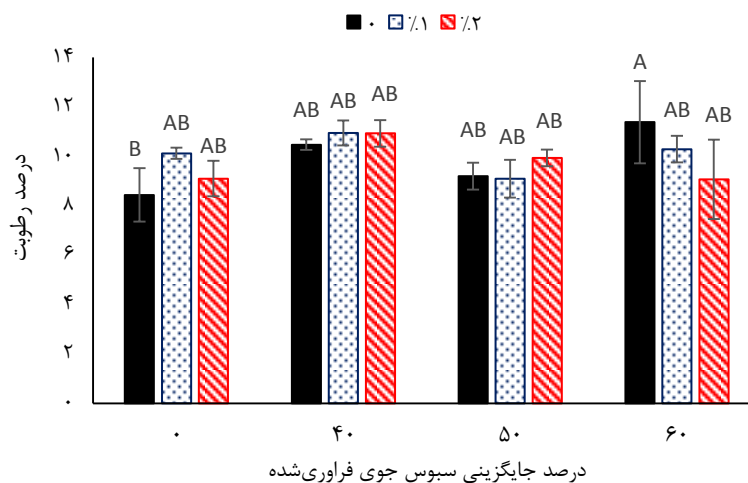
ماده اولیه	رطوبت	خاکستر	پروتئین	فیبر رژیمی	چربی	کربوهیدرات
آرد	۱۱/۲۸±۰/۵۳	۰/۵۶±۰/۰۲	۹/۵۰±۱/۱۲	۱/۴۷±۰/۳۴	۰/۲۰±۰/۰۲۱	۷۶/۹۹
سبوس جوی فراوری شده	۷/۲۱±۰/۴۸	۵/۸۴±۰/۱۹	۱۷/۱۵±۱/۱۶	۲۰/۴۰±۱/۶۷	۴/۰۰±۰/۳۱	۴۵/۴۱
زانتان	۴/۴۷±۰/۲۱	۴/۶۹±۰/۰۵	۰/۰۰	۹۰/۰۱±۲/۶۵	۰/۱۰±۰/۰۲	۰/۰۰

\* اعداد نشانگر انحراف معیار

### رطوبت

شکل (۱) مقدار رطوبت نمونه‌های اسپاگتی حاوی درصد‌های مختلف سبوس و زانتان را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از این مطلب بود که تنها رطوبت نمونه فاقد سبوس جو و زانتان و نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس جو و فاقد زانتان با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند ( $P < 0.05$ ) که به ترتیب کمترین (۸/۴ درصد) و بیشترین (۱۱/۴ درصد) مقدار رطوبت را نیز به نمایش گذاشتند. بین رطوبت سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). افزایش غلظت سبوس جوی فراوری شده و همچنین افزایش مقدار زانتان تغییر معنی‌داری در رطوبت نمونه‌های اسپاگتی به همراه نداشت. عدم تغییر معنی‌دار رطوبت

نمونه‌های اسپاگتی می‌توان به این امر مرتبط باشد که رشته‌های اسپاگتی پس از تولید طی زمان مشخصی خشک می‌شوند و طی این مدت رطوبت خود را تا حد زیادی از دست می‌دهند و تقریباً به رطوبت یکسان و تعادلی می‌رسند. به همین دلیل مشاهده شده که تنها در سطح ۶۰ درصد سبوس که میزان فیبر بالاست به دلیل قابلیت بالای فیبر در نگهداری آب، رطوبت اندکی افزایش یافته است. Musavi, Mohammadzadeh Milani و Ruzbeh Nasiraie (۲۰۱۶) نشان دادند که افزایش میزان سبوس گندم تا ۲۰ درصد تأثیر معنی‌دار بر رطوبت پاستای پیکولی نداشت، اما در مقدار سبوس ۳۰ درصد، رطوبت اندکی افزایش یافت که علت آن را ظرفیت بالای نگهداری آب توسط فیبر سبوس گندم اعلام کردند.



شکل ۱- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و صمغ زانتان بر رطوبت نمونه‌های اسپاگتی؛ ■: صفر، □: ۱ و ▨: ۲ درصد زانتان

حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ). میله‌های رسم شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

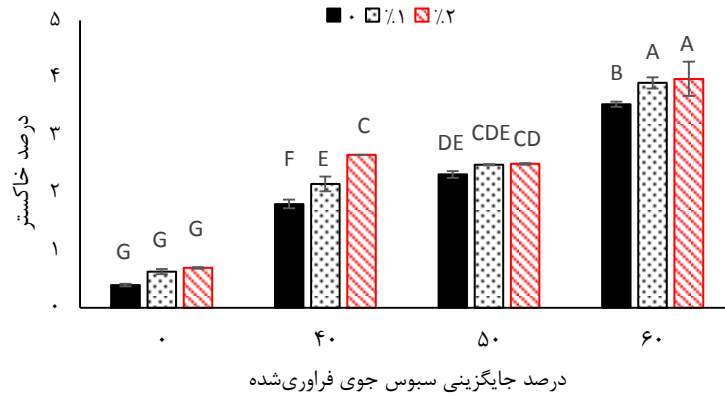
### خاکستر

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار حضور زانتان و جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر مقدار خاکستر نمونه‌های اسپاگتی بود ( $P < 0.05$ ). شکل (۲) اثر درصد‌های مختلف سبوس جوی فراوری شده و صمغ زانتان را بر مقدار خاکستر نمونه‌های اسپاگتی نشان می‌دهد.

نتایج حاکی از این مطلب بود که به طور کلی حضور سبوس جوی فراوری شده با افزایش قابل توجه و معنی‌دار میزان خاکستر نمونه‌های اسپاگتی نسبت به نمونه‌های فاقد آن همراه بود ( $P < 0.05$ ). همچنین حضور زانتان نیز به افزایش مقدار خاکستر نمونه‌های اسپاگتی منجر گردید. این نتایج با توجه به مقدار بالای خاکستر در سبوس جو و

نمونه‌ها به صورت معنی‌دار افزایش یافت. بیشترین مقدار خاکستر (۳/۹ درصد) به نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس جو و ۲ درصد زانتان و کمترین آن (۰/۴ درصد) به نمونه فاقد سبوس و زانتان مربوط بود.

زانتان (جدول ۱) قابل انتظار بود. افزایش غلظت زانتان از ۱ به ۲ درصد، فقط در نمونه ۴۰ درصد سبوس جوی فراوری شده با تغییر معنی‌دار خاکستر همراه بود ( $P < 0/05$ ). در نمونه‌های فاقد زانتان با افزایش مقدار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده، مقدار خاکستر



شکل ۲- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و صمغ زانتان بر خاکستر نمونه‌های اسپاگتی: ■: صفر، ▨: ۱ و ▩: ۲ درصد زانتان

حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0/05$ ). میله‌های رسم شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

با افزایش مقدار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده روند نزولی در میزان جذب آب نمونه‌های حاوی و فاقد زانتان مشاهده شد درحالی‌که حضور و افزایش مقدار زانتان در تمام نمونه‌های اسپاگتی (حاوی و فاقد سبوس جوی فراوری شده) با تغییر معنی‌دار در میزان جذب آب آنها همراه نبود ( $P > 0/05$ ). کمترین مقدار جذب آب (۹۲/۱ درصد) در نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس جوی فراوری شده و فاقد زانتان و بیشترین آن (۱۹۱/۱ درصد) در نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان مشاهده شد. Manthey و de la Peña (۲۰۱۴) اثر نسبت‌های مختلف سمولینا: آب (۴۰۰:۴۸، ۴۰۰:۲۷، ۴۰۰:۱۳) و اجزاء غیرسنتی (۲۰ درصد از آردهای ذرت، دانه کتان، عدس، جوی دوسر، سویا و لوبیاجیتی) روی ویژگی‌های پخت اسپاگتی بررسی کردند. طبق نتایج آنها بالاترین مقدار جذب آب به جوی دوسر مربوط بود که بالاترین مقدار فیبر را نیز داشت.

#### اُفت پخت

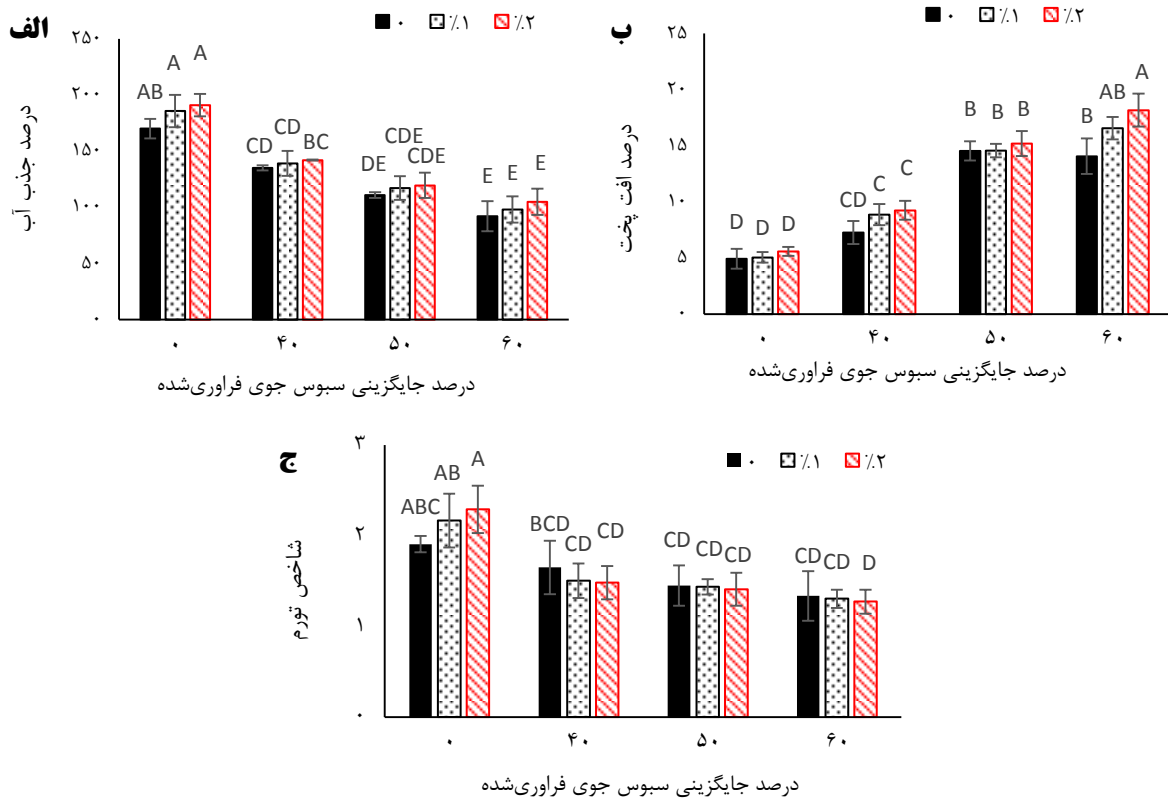
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر درصد اُفت پخت نمونه‌های اسپاگتی

#### جذب آب

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و همچنین افزودن زانتان بر درصد جذب آب نمونه‌های اسپاگتی بود ( $P < 0/05$ ). اثر مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری شده و زانتان بر جذب آب نمونه‌های اسپاگتی در شکل (۳-الف) نشان داده شده است. به‌طور کلی نتایج حاکی از کاهش معنی‌دار جذب آب در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری شده در مقایسه با نمونه‌های فاقد آن بود. Kurek, Wyrwiz, Piwińska و Wierzbicka (۲۰۱۵) ویژگی‌های فیزیکی و جذب آب پاستای سمولینای گندم دوروم خشک شده تحت‌خلأ با پودر جوی دوسر با فیبر بالا در مقادیر صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که بالاترین میزان جذب آب در نمونه‌های حاوی ۱۲ درصد مشاهده شد. علت کاهش جذب آب در مقادیر بالاتر (۱۶ و ۲۰ درصد) می‌تواند به اِزهم‌گسیختگی ماتریس نشاسته-پروتئین در حضور پودر جوی دوسر مربوط باشد. جذب آب بیشتر به تعداد بیشتر گروه‌های هیدروکسیل در فیبر نسبت به سمولینا مربوط می‌شود که امکان برهمکنش‌های آب بیشتر را با گروه‌های هیدروکسیل فراهم می‌کند.

تراوش مواد جامد بیشتر از پاستا به داخل آب پخت منتهی می‌شوند. اُفت پخت ممکن است به تراوش آمیلوز و حلالیت برخی پروتئین‌های محلول مربوط باشد (Piwińska *et al.*, 2015). به‌طور کلی نتایج گویای این مطلب بود که جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد گندم در فرمول همهٔ نمونه‌های اسپاگتی (فاقد و حاوی زانتان) منجر به افزایش معنی‌دار اُفت پخت نسبت به نمونه شاهد گردید ( $P < 0.05$ ). نتایج Piwińska و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داد با افزایش مقدار فیبر جوی دو سر به بیش از ۱۲ درصد اُفت پخت افزایش می‌یابد.

اثر معنی‌دار داشت ( $P < 0.05$ ). شکل (۳-ب) اثر متقابل جایگزینی مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری‌شده و صمغ زانتان را بر درصد اُفت پخت نمونه‌های اسپاگتی نشان می‌دهد. به‌دلیل حضور فیبر، ازهم‌گسیختگی فیزیکی ماتریس گلوتن ممکن است نفوذ آب به داخل پاستا را تسهیل کند. پروتئین گندم شامل گلیادین و گلوتنین است که پیوندهای داخل و خارج مولکولی دی‌سولفید را طی فرایند تشکیل می‌دهند که به تشکیل شبکهٔ گلوتن منتهی می‌شود. این شبکه مسئول ویژگی‌های بافتی پاستاست. افزودن مواد غیرگلوتنی ممکن است استحکام گلوتن را کمتر و ساختار کلی را تضعیف کنند، در نتیجه به



شکل ۳- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد و صمغ زانتان بر ویژگی‌های پختی پخت نمونه‌های اسپاگتی (■: صفر، □: ۱ و ▨: ۲ درصد زانتان)؛ الف: جذب آب، ب: اُفت پخت، ج: شاخص تورم (حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ )). میله‌های رسم‌شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

جوی فراوری‌شده و ۲ درصد زانتان و کمترین آن (۴/۹ درصد) در نمونهٔ فاقد سبوس و فاقد زانتان مشاهده شد. به نقل از Bustos و همکاران (۲۰۱۱b) وقتی غلظت سبوس جوی دوسر پایین است فیبرها ممکن است پراکنده شوند و در داخل ماتریس نشاسته مخلوط شوند درحالی‌که در مقادیر بالا ماتریس می‌تواند توسط ذرات سبوس از

در نمونهٔ فاقد سبوس حضور و افزایش غلظت زانتان با تغییر معنی‌دار در مقدار اُفت پخت همراه نبود درحالی‌که در نمونه‌های حاوی ۶۰ درصد سبوس جوی فراوری‌شده افزایش غلظت زانتان از صفر به ۲ درصد مقدار اُفت پخت را به ترتیب ۱۴/۱ به ۱۸/۲ درصد افزایش داد. بیشترین اُفت پخت (۱۸/۲ درصد) به نمونهٔ حاوی ۶۰ درصد سبوس



شاهد (۱۰ دقیقه) افزایش یافت. این امر می‌تواند به دلیل کاهش نفوذ آب در ماتریس اسپاگتی در حضور صمغ گوار باشد که به دنبال آن زمانی که نیاز است آب به مرکز اسپاگتی برسد را طی فرایند پخت افزایش می‌دهد. همچنین بررسی روند تغییرات حاکی از این است که در نمونه حاوی ۵۰ درصد سبوس جوی فراوری شده نسبت به نمونه فاقد سبوس زمان پخت از ۱۵ به ۱۰ دقیقه کاهش یافت و در ادامه ثابت مانده است که می‌تواند به علت تضعیف شبکه گلوآنی و در نتیجه تسهیل نفوذ آب به داخل بافت باشد. در تأیید نتایج پژوهش حاضر de la Peña و Manthey (۲۰۱۴) نیز نشان دادند که با افزایش نسبت جوی دوسر در فرمول پاستا زمان پخت کاهش می‌یابد.

جدول ۲- زمان پخت (دقیقه) نمونه‌های اسپاگتی حاوی مقادیر مختلف زانتان و سبوس جو

تیمار	درصد زانتان			درصد سبوس
	۰	۱	۲	
سبوس جوی	۱۵	۱۵	۱۴/۵	۰
فراوری شده	۱۲	۱۰	۱۰	۴۰
	۱۰	۱۰	۱۰	۵۰
	۱۰	۱۰	۱۰	۶۰

این محققین بیان کردند که زمان پخت به مقدار گلوتن وابسته است و با کاهش مقدار گلوتن زمان پخت نیز کاهش می‌یابد. کاهش زمان پخت به افزایش نفوذ آب به دلیل حضور اجزای غیرآردی (گلوآنی) نسبت داده می‌شود. حضور این اجزاء باعث تضعیف و از هم گسیختگی ماتریس گلوتن شده و نفوذ آب را تسهیل می‌کند و در نتیجه زمان پخت کاهش می‌یابد. زمان پخت به طور مثبت با محتوای کربوهیدراتی و به طور منفی با محتوای لیپیدی همبستگی دارد ( de la Peña & Manthey, 2014).

#### پارامترهای رنگی

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار جایگزینی مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری شده با آرد و حضور زانتان بر شاخص‌های رنگی رشته‌های اسپاگتی پخته بود ( $P < 0.05$ ). شکل (۴) پارامترهای  $a^*$ ،  $b^*$  و  $L^*$  اسپاگتی پخته را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که شاخص  $b^*$  در تمام نمونه‌های حاوی سبوس و فاقد زانتان نسبت به انواع فاقد سبوس افزایش معنی‌دار یافت ( $P < 0.05$ ). همچنین

هم‌گسیخته شود که تورم و پارگی گرانول‌های نشاسته را تسهیل کرده و آفت پخت را افزایش می‌دهند. افزودن صمغ گوار به اسپاگتی‌های تهیه‌شده با ۱۵ درصد آرد نخود، مقدار آفت پخت را کاهش داد که علت آن تشکیل شبکه در اطراف گرانول‌های نشاسته توسط صمغ گوار است که آنها را طی پخت پوشانده و از تورم مازاد جلوگیری کرده و نفوذ آمیلوز را محدود می‌کند ( Padalino et al., 2014).

#### شاخص تورم

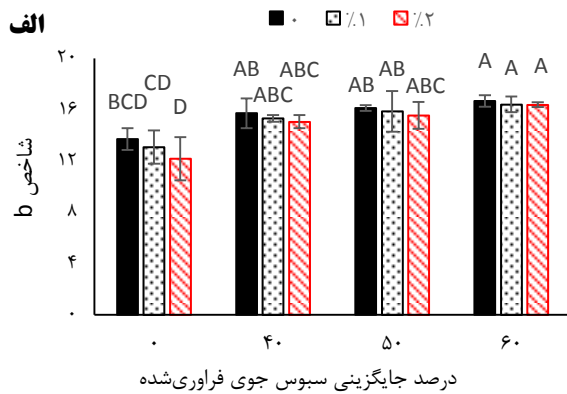
نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد بر شاخص تورم نمونه‌های اسپاگتی بود ( $P < 0.05$ ). شکل (۳-ج) شاخص تورم را در نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری شده و صمغ زانتان نشان می‌دهد. شاخص تورم در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری شده کمتر از نمونه‌های فاقد آن بود که این کاهش در نمونه ۵۰ و ۶۰ درصد سبوس جو معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). حضور زانتان در نمونه‌های حاوی سبوس تأثیر معنی‌داری بر شاخص تورم نداشت ( $P > 0.05$ ). اما حضور زانتان در نمونه‌های شاهد باعث افزایش میزان تورم شد که این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ( $P > 0.05$ ). گزارش شده است که حضور صمغ گوار به افزایش شاخص تورم اسپاگتی‌های حاوی ۱۵ درصد آرد نخود منتهی شد که علت آن به ظرفیت بیشتر صمغ گوار برای جذب و حفظ آب طی تشکیل شبکه توسعه‌یافته نشاسته-پروتئین-پلی‌ساکارید مربوط است (Padalino et al., 2014).

بیشترین شاخص تورم (۲/۳) در نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان و کمترین آن (۱/۳) در نمونه‌های حاوی ۶۰ درصد سبوس و ۲ درصد زانتان مشاهده شد.

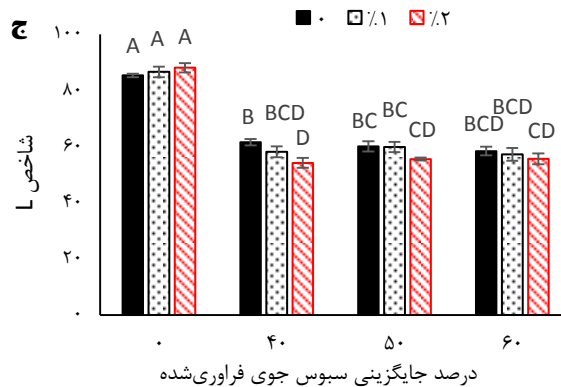
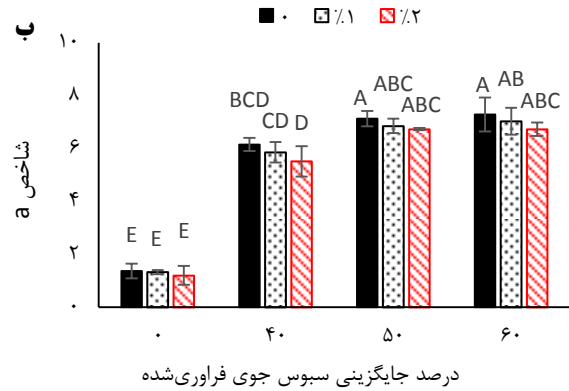
#### زمان پخت

اثر جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و افزودن زانتان بر زمان پخت نمونه‌های اسپاگتی در جدول (۲) ارائه شده است. بیشترین زمان پخت (۱۵ دقیقه) در نمونه‌های فاقد سبوس جو و زانتان مشاهده شد. نتایج بیانگر عدم تأثیر زانتان بر زمان پخت بود. در مغایرت با نتایج پژوهش حاضر، Padalino و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که در اسپاگتی‌های تهیه‌شده با ۱۵ درصد آرد نخود، زمان پخت با افزودن صمغ گوار (۱۲ دقیقه) در مقایسه با

نمونه‌های فاقد سبوس مقدار شاخص  $b^*$  را کاهش داد که از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ( $P > 0.05$ ). بیشترین شاخص  $b^*$  (۱۶/۷) به نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس و فاقد درصد زانتان و کمترین آن (۱۲/۲) به نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان مربوط بود.



افزایش میزان جایگزینی سبوس جوی فراوری شده (شکل ۴-الف) به افزایش شاخص  $b^*$  منجر شد، اگرچه این افزایش معنی‌دار نبود ( $P > 0.05$ ). حضور زانتان در نمونه‌های دارای سبوس تأثیر معنی‌داری نداشت ( $P > 0.05$ ). افزایش غلظت زانتان از ۱ به ۲ درصد در



شکل ۴- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و صمغ زانتان بر پارامترهای رنگی نمونه‌های اسپاگتی پخته: ■: صفر، □: ۱ و ▨: ۲ درصد زانتان  
حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ). میله‌های رسم‌شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

بیانگر این مطلب بود که افزایش مقدار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده و همچنین حضور و افزایش غلظت زانتان (شکل ۴-ج) بر شاخص  $L^*$  تأثیر معنی‌داری نداشت ( $P > 0.05$ ). اگرچه حضور صمغ زانتان در غلظت ۲ درصد در نمونه ۴۰ درصد سبوس باعث کاهش معنی‌دار شاخص  $L^*$  شد ( $P < 0.05$ ). بیشترین شاخص  $L^*$  (۸۸/۱) به نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان و کمترین شاخص  $L^*$  (۵۴/۲) به نمونه حاوی ۴۰ درصد سبوس و ۲ درصد زانتان مربوط بود.

تغییرات رنگی اسپاگتی‌ها علاوه بر حضور فیبرهای تیره، می‌تواند به واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد که طی

به‌طور کلی طبق شکل (۴-ب) جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد در همه نمونه‌ها با افزایش چشمگیر و معنی‌دار شاخص  $a^*$  همراه بود ( $P < 0.05$ )، درحالی‌که با افزایش میزان جایگزینی سبوس جو از ۵۰ به ۶۰ درصد و همچنین حضور و افزایش غلظت زانتان تغییر معنی‌داری در شاخص  $a^*$  مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). کمترین شاخص  $a^*$  (۱/۲) به نمونه فاقد سبوس و بیشترین آن (۷/۳) به نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس و فاقد زانتان مربوط بود.

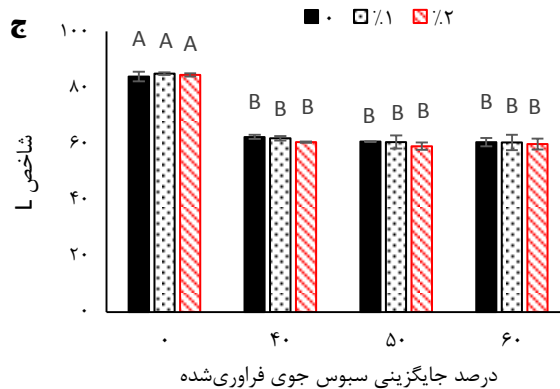
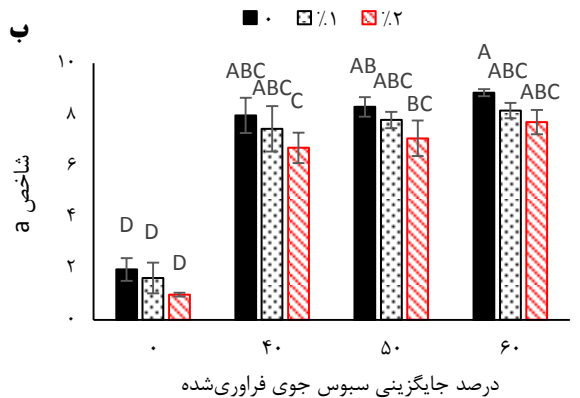
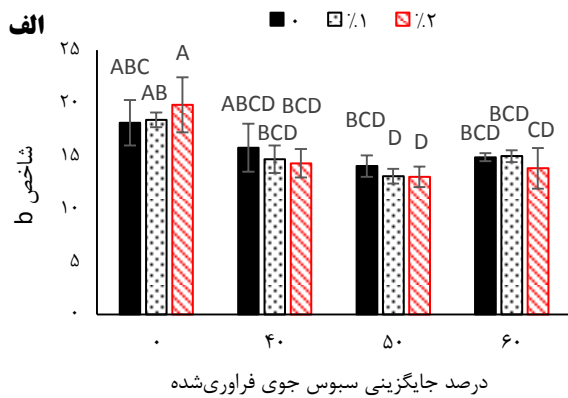
به‌طور کلی نتایج نشان داد که جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد به کاهش معنی‌دار شاخص  $L^*$  نمونه‌های اسپاگتی پخته همراه بود ( $P < 0.05$ ). نتایج

بر پارامترهای رنگی اسپاگتی خام بود ( $P < 0.05$ ). شکل (۵) پارامترهای رنگی نمونه‌های اسپاگتی خام را نشان می‌دهد. به‌طور کلی نتایج بیانگر کاهش غیرمعنی‌دار شاخص  $b$  در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری شده فاقد زانتان بود ( $P < 0.05$ ). در صورتی که با افزایش درصد سبوس در نمونه‌های حاوی صمغ، کاهش معنی‌دار در میزان شاخص  $b^*$  مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). حضور زانتان و افزایش غلظت آن با تغییر معنی‌دار در شاخص نمونه‌های فاقد و یا حاوی سبوس (شکل ۵-الف) همراه نبود ( $P > 0.05$ ). کمترین شاخص  $b^*$  (۱۳) در نمونه‌های با ۵۰ درصد جایگزینی سبوس جوی فراوری شده و حاوی ۱ و ۲ درصد زانتان مشاهده شد.

فرایند اکستروژن رخ می‌دهد نیز مربوط باشد (Gajula, Alavi, Adhikari, & Herald, 2008).

در مطالعه اثر صمغ‌های CMC، زانتان و گوار روی ویژگی‌های نودل‌های برنج تخمیرشده طبیعی خشک‌شده، Srikao, Laothongsan, و Lerdluksamee (۲۰۱۸) بیان کردند که با افزودن صمغ رنگ نودل‌ها نسبت به نمونه شاهد روشن‌تر شد چون شاخص  $L^*$  بالاتری را نشان دادند. علاوه بر این حضور صمغ‌ها باعث شد که رنگ نودل به سمت سبزی و زردی شیفت پیدا کند به استثنای نمونه حاوی CMC که زردی کمتری نسبت به شاهد داشت.

نتایج تجزیه واریانس گویای اثر معنی‌دار جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و همچنین حضور زانتان



شکل ۵- اثر مقادیر مختلف جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد و صمغ زانتان بر پارامترهای رنگی نمونه‌های اسپاگتی خام؛ ■: صفر، □: ۱ و ▨: ۲ درصد زانتان

حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد می‌باشد ( $P < 0.05$ ). میله‌های رسم‌شده روی نمودارها نشانگر انحراف معیار داده‌هاست.

نمونه‌ها تغییر معنی‌داری در شاخص  $a^*$  مشاهده نشد. همچنین افزایش جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با آرد از ۴۰ به ۶۰ درصد نیز تغییر معنی‌داری را در شاخص  $a$  ایجاد نکرد ( $P > 0.05$ ). بیشترین شاخص  $a^*$  (۸/۹) به

طبق نتایج شاخص  $a^*$  به‌طور قابل‌توجه و معنی‌دار در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری شده در مقایسه با نمونه‌های فاقد سبوس افزایش یافت ( $P < 0.05$ ). با حضور و افزایش غلظت زانتان (شکل ۵-ب) در هیچ‌یک از

حاوی سبوس همگام با افزایش مقدار آن شد که با نتایج پژوهش de la Peña و Manthey (۲۰۱۴) هم‌راستا بود. برخلاف نمونه‌های فاقد سبوس در نمونه‌های حاوی سبوس افزایش مقدار زانتان بر سفتی رشته‌های اسپاگتی تأثیر مثبت افزایشی داشت ( $P < 0.05$ ). نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس جو و ۲ درصد زانتان بیشترین مقدار سفتی ( $28/6$ ) و نمونه فاقد زانتان و حاوی ۵۰ درصد سبوس کمترین میزان سفتی ( $15/1$ ) را به نمایش گذاشتند. سبوس اندازه ذرات بزرگ‌تری نسبت به سایر ترکیب دانه‌ها مانند پروتئین و نشاسته دارد. بنابراین اثر فیبر در ازهم‌گسیختگی ماتریس گلوتن بسیار بیشتر است و منجر به تولید محصولی با قدرت پروتئینی ضعیف می‌شود که ممکن است طی فرایند پخت مقداری ازهم‌گسیخته شود (de la Peña & Manthey, 2014). Padalino و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی ویژگی‌های اسپاگتی بر پایه ذرت غنی‌شده با آرد خلر در حضور صمغ‌های پکتین، گوار و آگار (۲ درصد) توضیح دادند که سختی اسپاگتی‌ها در حضور هیدروکلوئید افزایش یافت، درحالی‌که چسبندگی آنها کمتر از نمونه شاهد بود. به نظر می‌رسد وجود ترکیبات زبر سلولزی و لیگنینی در سبوس باعث افزایش سفتی نمونه‌های اسپاگتی شده است و حضور صمغ زانتان با افزایش جذب آب، بافت را منعطف‌تر کرده و سفتی را کاهش می‌دهد اما این اثر معنی‌دار نیست.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد بر چسبندگی رشته‌های اسپاگتی پخته‌شده معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ), درحالی‌که حضور صمغ زانتان در فرمول تأثیر معنی‌داری بر چسبندگی رشته‌های اسپاگتی پخته‌شده نداشت ( $P > 0.05$ ). در تمام نمونه‌ها جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده تفاوت معنی‌داری در چسبندگی نمونه‌ها ایجاد نکرد ( $P > 0.05$ ). کمترین چسبندگی در نمونه شاهد ( $0.46$  گرم ثانیه) و بیشترین آن در نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس و فاقد زانتان ( $1/3$  گرم ثانیه) مشاهده شد. هیدروکلوئیدها به نشاسته محلول در آب اتصال یافته و در نتیجه باعث بهبود بافت و کاهش چسبندگی می‌شوند. همچنین هیدروکلوئیدها شبکه پایدار تشکیل داده که گرانول‌های نشاسته در این شبکه به‌دام‌افتاده و به رهاپس

نمونه حاوی ۶۰ درصد سبوس و فاقد زانتان و کمترین آن ( $0.98$ ) به نمونه فاقد سبوس و حاوی ۲ درصد زانتان مربوط بود. Wang و همکاران (۲۰۱۸) فیبر سبوس برنج<sup>۱</sup> را در مقادیر ۵ تا ۲۵ درصد (براساس وزن خشک) با آرد برنج جهت تهیه پاستای برنج مخلوط کردند. نتایج آنها حاکی از تیره، قرمزتر و زردتر شدن پاستای برنج بود. همان‌طور که مقدار RBF از ۵ به ۲۵ درصد افزایش یافت،  $L^*$  با شیب تند از  $85/45$  به  $77/74$  کاهش یافت درحالی‌که  $a^*$  و  $b^*$  از  $2/54$  و  $7/9$  به  $4/37$  و  $10/3$  افزایش یافت. همچنین نتایج آنها نشان داد که رنگ پاستای برنج خشک با افزایش RBF تیره‌تر شد.

نتایج نشان داد که شاخص  $L^*$  در نمونه‌های حاوی سبوس جوی فراوری‌شده به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از نمونه‌های فاقد سبوس بود ( $P < 0.05$ ), درحالی‌که افزایش میزان جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده و همچنین حضور و افزایش غلظت زانتان (شکل ۵-ج) تغییر معنی‌داری در شاخص  $L^*$  نمونه‌های اسپاگتی خام ایجاد نکرد ( $P > 0.05$ ). Piwińska و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی ویژگی‌های پاستای سمولینای گندم دوروم خشک‌شده تحت‌خلأ با پودر جوی دوسر با فیبر بالا (۴ تا ۲۰ درصد) گزارش کردند که غنی‌سازی پاستا با فیبر جوی دوسر به‌طور معنی‌دار روشنی پاستای خشک را کاهش داد. افزایش معنی‌دار در قرمزی و کاهش در زردی در نمونه‌های حاوی بیش از ۴ درصد فیبر جوی دوسر مشاهده شد.

#### بافت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر حضور صمغ زانتان و جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد بر سفتی رشته‌های اسپاگتی پخته‌شده معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). جدول (۳) اثر جایگزینی با سبوس جوی فراوری‌شده و زانتان را بر ویژگی‌های بافتی رشته‌های اسپاگتی پخته و خام نشان می‌دهد. در نمونه‌های فاقد زانتان جایگزینی سبوس جو به کاهش معنی‌دار سفتی رشته‌های اسپاگتی پخته‌شده منجر شد ( $P < 0.05$ ), درحالی‌که حضور ۲ درصد زانتان باعث افزایش معنی‌دار سفتی نمونه‌های

<sup>1</sup> Rice Bran Fiber (RBF)

افزایش درصد جایگزینی سبوس با افزایش قوام رشته‌های اسپاگتی پخته همراه بود. همچنین نتایج نشان داد که برخلاف نمونه‌های فاقد سبوس، در اسپاگتی‌های حاوی ۶۰ درصد سبوس افزایش مقدار زانتان از ۱ به ۲ درصد با افزایش معنی‌دار قوام همراه بود ( $P < 0.05$ ). بیشترین و کمترین قوام رشته‌های اسپاگتی به ترتیب به نمونه‌های حاوی ۶۰ درصد سبوس و ۲ درصد زانتان (۱۲/۱) گرم (ثانیه) و حاوی ۴۰ درصد سبوس و فاقد زانتان (۵/۰) گرم (ثانیه) مربوط بود.

آهسته آملوز طی پخت منجر می‌شود (Padalino et al., 2015).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر حضور صمغ زانتان و جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد بر قوام رشته‌های اسپاگتی پخته‌شده معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). در نمونه‌های فاقد زانتان، جایگزینی سبوس تا ۴۰ درصد با کاهش معنی‌دار قوام رشته‌های اسپاگتی همراه بود اما در درصدهای بالاتر تغییر معنی‌داری مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ), درحالی‌که در نمونه‌های حاوی ۲ درصد زانتان

جدول ۳- ویژگی‌های بافتی اسپاگتی‌های تهیه‌شده با سبوس جوی فراوری‌شده

اسپاگتی خام		اسپاگتی پخته		درصد سبوس	درصد زانتان
سختی (گرم)	قوام (گرم ثانیه)	چسبندگی (گرم ثانیه)	سفتی (گرم)		
۳۶۳۴/۲۵±۷۲/۴۰ <sup>ABCD</sup>	۷/۸۰±۰/۴۵ <sup>BCD</sup>	۰/۴۶±۰/۱۰ <sup>AB</sup>	۲۱/۱۱±۰/۰۷ <sup>BC</sup>	.	.
۳۲۳۳/۸۶±۲۰/۲/۱ <sup>DE</sup>	۷/۰۳±۰/۹۰ <sup>BCDE</sup>	۰/۴۹±۰/۰۷ <sup>AB</sup>	۲۰/۳۹±۰/۸۲ <sup>BCD</sup>	۱	.
۳۵۲۰/۸۰±۱۳۳/۴۸ <sup>BCDE</sup>	۵/۵۳±۰/۳۷ <sup>CDE</sup>	۰/۵۰±۰/۲۱ <sup>AB</sup>	۱۶/۴۵±۰/۵۵ <sup>CDE</sup>	۲	.
۳۵۴۷/۰۲±۱۴۴/۱۱ <sup>BCDE</sup>	۵/۰۱±۰/۱۷ <sup>E</sup>	۰/۹۵±۰/۰۴ <sup>BC</sup>	۱۵/۵۳±۱/۲۱ <sup>DE</sup>	.	.
۳۷۶۳/۶۴±۳۶۵/۸۴ <sup>ABC</sup>	۶/۸۵±۰/۵۵ <sup>BCDE</sup>	۰/۹۶±۰/۱۲ <sup>BC</sup>	۱۹/۹۷±۰/۱۳ <sup>BCDE</sup>	۱	۴۰
۴۰۵۳/۴۵±۳۵/۹۰ <sup>A</sup>	۸/۲۸±۰/۸۳ <sup>B</sup>	۱/۰۰±۰/۳۸ <sup>BC</sup>	۲۲/۳۱±۳/۴۴ <sup>B</sup>	۲	.
۳۰۸۸/۷۸±۲۰/۹/۰ <sup>E</sup>	۶/۰۶±۰/۰۳ <sup>BCDE</sup>	۰/۹۰±۰/۱۸ <sup>ABC</sup>	۱۵/۱۱±۰/۱۶ <sup>E</sup>	.	.
۳۷۹۶/۷۵±۲۰/۷/۷۵ <sup>ABC</sup>	۷/۷۲±۲/۶۰ <sup>ABCD</sup>	۰/۸۱±۰/۴۵ <sup>ABC</sup>	۲۲/۳۲±۲/۵۲ <sup>AB</sup>	۱	۵۰
۳۵۰۹/۶۴±۳۷/۵۶ <sup>BCDE</sup>	۱۱/۲۳±۰/۹۹ <sup>A</sup>	۰/۹۱±۰/۴۰ <sup>BC</sup>	۲۹/۷۰±۳/۲۵ <sup>A</sup>	۲	.
۳۲۰۸/۷۶±۳۸/۷۹ <sup>DE</sup>	۵/۰۸±۰/۶۳ <sup>DE</sup>	۱/۳۲±۰/۳۶ <sup>C</sup>	۱۶/۶۶±۱/۶۳ <sup>CDE</sup>	.	.
۳۹۴۳/۱۱±۱۳۷/۴۶ <sup>AB</sup>	۸/۱۸±۰/۶۴ <sup>BC</sup>	۰/۹۵±۰/۲۷ <sup>BC</sup>	۲۳/۰۵±۱/۴۵ <sup>B</sup>	۱	۶۰
۳۴۹۹/۶۸±۱۰/۹/۴۴ <sup>BCDE</sup>	۱۲/۱۵±۰/۶۰ <sup>A</sup>	۰/۹۵±۰/۵۱ <sup>BC</sup>	۲۸/۵۶±۱/۰۷ <sup>A</sup>	۲	.

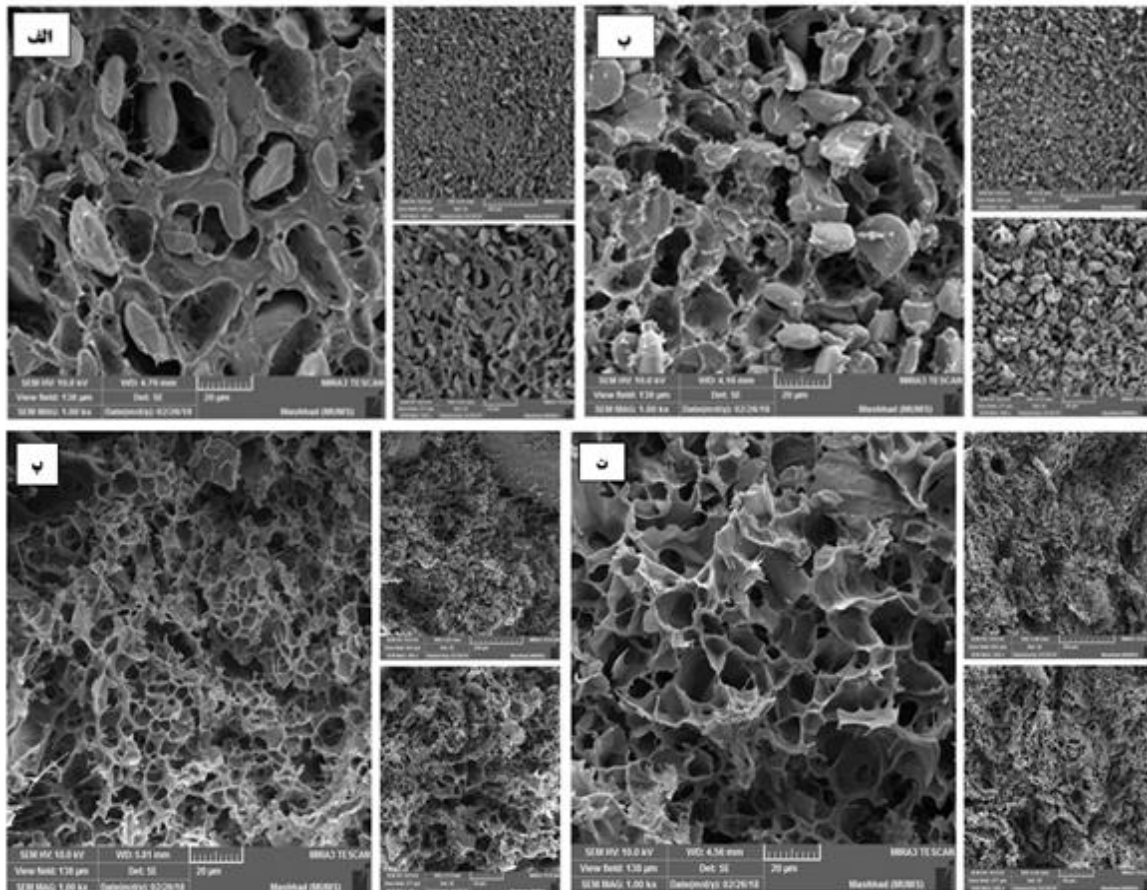
\* اعداد±انحراف معیار

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

### ریزساختار

شکل (۶) تصاویر عرضی نمونه‌های اسپاگتی تهیه‌شده با سبوس جوی فراوری‌شده در مقایسه با آرد گندم را نشان می‌دهد. ماکارونی آرد گندم شبکه به هم پیوسته با بسته‌های نامنظم هوا را نشان می‌دهد (شکل ۶-الف). افزودن زانتان (شکل ۶-ب)، تعداد بسته‌های هوا و فضای خالی را کاهش داده که علت آن را می‌توان به جذب آب زانتان و تورم نشاسته حین پخت نسبت داد که با افزایش حجم و به دنبال آن پرشدن فضاهای خالی همراه است. همچنین مشاهده گرانول‌های دست‌نخورده نشاسته در این نمونه‌ها بیانگر رقابت بین نشاسته و زانتان طی پخت برای جذب آب می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر حضور صمغ زانتان و جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده با آرد بر سختی رشته‌های اسپاگتی خام معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). در نمونه‌های فاقد زانتان، افزایش جایگزینی سبوس جوی فراوری‌شده از ۴۰ به ۵۰ درصد با کاهش سختی رشته‌های اسپاگتی همراه بود درحالی‌که در ۶۰ درصد جایگزینی، مقدار سختی افزایش یافت اما هیچ‌یک از این تغییرات معنی‌دار نبود ( $P > 0.05$ ). در نمونه‌های حاوی ۱ و ۲ درصد زانتان بیشترین سختی به ترتیب به جایگزینی ۵۰ و ۴۰ درصد سبوس جوی فراوری‌شده مربوط بود. نتایج حاکی از این مطلب بود که مقدار ۱ درصد زانتان تأثیر مثبت در استحکام رشته‌های اسپاگتی حاوی سبوس داشت.



شکل ۶- تصاویر عرضی میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌های اسپاگتی پخته تا زمان بهینه پخت: الف: نمونه حاوی آرد گندم (شاهد)، ب: نمونه حاوی آرد گندم و ۲ درصد زانتان، پ: نمونه حاوی ۵۰ درصد سبوس جوی فراوری شده و فاقد زانتان، ت: نمونه حاوی ۵۰ درصد سبوس جوی فراوری شده و ۲ درصد زانتان (در هر نمونه شکل سمت چپ: بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ میکرومتر، شکل سمت راست بالا: بزرگ‌نمایی ۲۰۰ میکرومتر و شکل سمت راست پایین: بزرگ‌نمایی ۵۰۰ میکرومتر)

#### ارزیابی حسی

جدول (۴) نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های اسپاگتی حاوی مقادیر مختلف سبوس جوی فراوری شده و زانتان را نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که با جایگزینی سبوس جوی فراوری شده پذیرش رنگ اسپاگتی کاهش یافت. با افزودن زانتان پذیرش رنگ تقریباً در همه نمونه‌های فاقد و حاوی سبوس کاهش یافت.

در تصاویر مربوط به نمونه‌های حاوی سبوس جوی (شکل ۶-پ و ت) شبکه ساختاریافته<sup>۱</sup> و بسته‌های هوا با شکل و اندازه تقریباً یکنواخت شبیه کندوهای عسل مشاهده می‌شود. افزودن زانتان دیواره‌های بسته‌های هوا را متورم‌تر کرده و به بزرگ‌تر شدن بسته‌های هوا منتهی شد. گرانول‌های نشاسته کمتر و حالت فلس مانند و زبری در این ساختار مشهود بود. Kim و همکاران (۲۰۱۷) نیز مشاهده کردند که افزودن ۲ درصد ضایعات کیمچی (حاوی ۶۲/۶۳ درصد فیبر) به آرد گندم در نودل تازه شبکه پروتئینی را بازیابی کرده و بسته‌های هوا با شکل و اندازه یکنواخت را تشکیل داد. اما با افزایش نسبت آن شبکه پروتئینی ضعیف و بسته‌های بزرگ هوا مشاهده شد.

<sup>1</sup> Organized network

جدول ۴- ارزیابی حسی اسپاگتی‌های تهیه‌شده با سیبوس جوی فراوری‌شده

پدیرش کلی	یکپارچگی	چسبندگی	صمغی شدن	توده‌ی شدن	قالیبت جویدن	فیبری شدن	سفتی	الاستیسیته	نشاسته‌ای‌شدن	عطر و طعم	رنگ	درصد زانتان	درصد سیبوس
۴/۳۰±۰/۷۰ <sup>A</sup>	۴/۳۰±۰/۵۰ <sup>A</sup>	۴/۱۰±۰/۹۰ <sup>A</sup>	۴/۲۰±۰/۶۰ <sup>A</sup>	۴/۲۰±۰/۷۰ <sup>A</sup>	۲/۴۰±۰/۸۰ <sup>A</sup>	۴/۵۰±۰/۷۰ <sup>A</sup>	۴/۶۰±۰/۷۰ <sup>A</sup>	۴/۶۰±۰/۵۰ <sup>A</sup>	۴/۴۰±۰/۵۰ <sup>A</sup>	۴/۲۰±۰/۶۰ <sup>A</sup>	۴/۳۰±۰/۶۰ <sup>A</sup>	۰	
۴/۱۰±۰/۷۰ <sup>A</sup>	۴/۱۰±۰/۷۰ <sup>AB</sup>	۳/۸۰±۰/۸۰ <sup>AB</sup>	۳/۸۰±۰/۸۰ <sup>AB</sup>	۳/۸۰±۰/۸۰ <sup>AB</sup>	۳/۹۰±۰/۷۰ <sup>AB</sup>	۴/۳۰±۰/۶۰ <sup>A</sup>	۴/۲۰±۰/۷۰ <sup>AB</sup>	۴/۱۰±۰/۵۰ <sup>AB</sup>	۴/۱۰±۰/۰۰ <sup>AB</sup>	۴/۲۰±۰/۰۰ <sup>AB</sup>	۴/۳۰±۰/۵۰ <sup>A</sup>	۱	۰
۲/۶۰±۰/۸۰ <sup>BCD</sup>	۳/۱۰±۰/۷۰ <sup>CD</sup>	۲/۷۰±۰/۱۰ <sup>BC</sup>	۲/۹۰±۰/۷۰ <sup>BC</sup>	۲/۳۰±۰/۱۰ <sup>CD</sup>	۳/۵۰±۰/۸۰ <sup>ABC</sup>	۳/۵۰±۰/۸۰ <sup>AB</sup>	۳/۴۰±۰/۸۰ <sup>BCD</sup>	۳/۵۰±۰/۷۰ <sup>BC</sup>	۳/۵۰±۰/۹۰ <sup>ABC</sup>	۳/۳۰±۰/۶۰ <sup>ABC</sup>	۳/۳۰±۰/۵۰ <sup>ABC</sup>	۲	
۳/۳۰±۰/۷۰ <sup>AB</sup>	۳/۴۰±۰/۹۰ <sup>ABC</sup>	۳/۳۰±۰/۱۰ <sup>ABC</sup>	۳/۳۰±۰/۸۰ <sup>ABC</sup>	۳/۳۰±۰/۷۰ <sup>ABC</sup>	۳/۳۰±۰/۷۰ <sup>ABC</sup>	۳/۱۰±۰/۸۰ <sup>BC</sup>	۳/۵۰±۰/۷۰ <sup>ABC</sup>	۳/۲۰±۰/۸۰ <sup>BCD</sup>	۳/۳۰±۰/۱۰ <sup>ABCI</sup>	۳/۹۰±۰/۵۰ <sup>AB</sup>	۳/۹۰±۰/۵۰ <sup>AB</sup>	۰	
۱/۷۰±۰/۸۰ <sup>D</sup>	۱/۸۰±۰/۹۰ <sup>E</sup>	۲/۲۰±۰/۹۰ <sup>C</sup>	۲/۶۰±۰/۲۰ <sup>C</sup>	۱/۹۰±۰/۱۰ <sup>D</sup>	۲/۱۰±۰/۱۰ <sup>E</sup>	۲/۵۰±۰/۱۰ <sup>BC</sup>	۲/۹۰±۰/۲۰ <sup>CD</sup>	۲/۱۰±۰/۱۰ <sup>E</sup>	۲/۲۰±۰/۸۰ <sup>D</sup>	۲/۶۰±۰/۲۰ <sup>CD</sup>	۲/۴۰±۰/۱۰ <sup>CD</sup>	۱	۴۰
۲/۷۰±۰/۹۰ <sup>BCD</sup>	۲/۴۰±۰/۷۰ <sup>CDE</sup>	۲/۴۰±۰/۱۰ <sup>C</sup>	۲/۸۰±۰/۶۰ <sup>BC</sup>	۲/۷۰±۰/۷۰ <sup>BCD</sup>	۲/۷۰±۰/۵۰ <sup>CDE</sup>	۲/۳۰±۰/۵۰ <sup>C</sup>	۲/۸۰±۰/۸۰ <sup>CD</sup>	۲/۲۰±۰/۷۰ <sup>DE</sup>	۲/۳۰±۰/۸۰ <sup>CD</sup>	۲/۶۰±۰/۸۰ <sup>CD</sup>	۲/۶۰±۰/۷۰ <sup>CD</sup>	۲	
۲/۳۰±۰/۹۰ <sup>BCD</sup>	۲/۸۰±۰/۸۰ <sup>CDE</sup>	۲/۵۰±۰/۱۰ <sup>BC</sup>	۲/۹۰±۰/۹۰ <sup>BC</sup>	۲/۸۰±۰/۹۰ <sup>BCD</sup>	۲/۶۰±۰/۷۰ <sup>CDE</sup>	۲/۳۰±۰/۹۰ <sup>C</sup>	۲/۹۰±۰/۹۰ <sup>CD</sup>	۲/۳۰±۰/۵۰ <sup>DE</sup>	۲/۲۰±۰/۴۰ <sup>D</sup>	۲/۲۰±۰/۶۰ <sup>CD</sup>	۲/۲۰±۰/۱۰ <sup>D</sup>	۰	
۲/۸۰±۰/۶۰ <sup>BC</sup>	۳/۲۰±۰/۷۰ <sup>BCD</sup>	۳/۳۰±۰/۱۰ <sup>ABC</sup>	۳/۴۰±۰/۸۰ <sup>ABC</sup>	۳/۳۰±۰/۱۰ <sup>ABC</sup>	۳/۴۰±۰/۷۰ <sup>ABC</sup>	۲/۴۰±۰/۷۰ <sup>C</sup>	۳/۳۰±۰/۸۰ <sup>BCD</sup>	۲/۸۰±۰/۹۰ <sup>CDE</sup>	۲/۹۰±۰/۱۰ <sup>BCD</sup>	۲/۸۰±۰/۹۰ <sup>BCD</sup>	۲/۵۰±۰/۰۰ <sup>CD</sup>	۱	۵۰
۲/۷۰±۰/۸۰ <sup>CD</sup>	۲/۶۰±۰/۱۰ <sup>CDE</sup>	۲/۸۰±۰/۱۰ <sup>BC</sup>	۲/۸۰±۰/۹۰ <sup>BC</sup>	۲/۵۰±۰/۲۰ <sup>CD</sup>	۲/۷۰±۰/۲۰ <sup>CDE</sup>	۲/۲۰±۰/۸۰ <sup>C</sup>	۲/۷۰±۰/۱۰ <sup>CD</sup>	۲/۳۰±۰/۹۰ <sup>DE</sup>	۲/۳۰±۰/۹۰ <sup>CD</sup>	۲/۵۰±۰/۱۰ <sup>CD</sup>	۲/۳۰±۰/۱۰ <sup>CD</sup>	۲	
۲/۳۰±۰/۷۰ <sup>BCD</sup>	۲/۴۰±۰/۷۰ <sup>CDE</sup>	۲/۸۰±۰/۹۰ <sup>BC</sup>	۲/۷۰±۰/۷۰ <sup>BC</sup>	۲/۶۰±۰/۷۰ <sup>CD</sup>	۳/۳۰±۰/۱۰ <sup>BCD</sup>	۲/۵۰±۰/۱۰ <sup>BC</sup>	۲/۸۰±۰/۹۰ <sup>CD</sup>	۲/۱۰±۰/۷۰ <sup>E</sup>	۳/۱۰±۰/۹۰ <sup>BCD</sup>	۲/۴۰±۰/۸۰ <sup>CD</sup>	۳/۱۰±۰/۰۰ <sup>BCD</sup>	۰	
۲/۳۰±۰/۶۰ <sup>CD</sup>	۲/۲۰±۰/۷۰ <sup>DE</sup>	۲/۱۰±۰/۸۰ <sup>C</sup>	۲/۴۰±۰/۹۰ <sup>C</sup>	۲/۳۰±۰/۱۰ <sup>CD</sup>	۲/۴۰±۰/۹۰ <sup>CDE</sup>	۲/۳۰±۰/۹۰ <sup>C</sup>	۲/۳۰±۰/۹۰ <sup>D</sup>	۱/۸۰±۰/۶۰ <sup>E</sup>	۲/۳۰±۰/۱۰ <sup>D</sup>	۲/۱۰±۰/۶۰ <sup>D</sup>	۲/۳۰±۰/۰۰ <sup>CD</sup>	۱	۶۰
۲/۴۰±۰/۸۰ <sup>BCD</sup>	۲/۲۰±۰/۸۰ <sup>DE</sup>	۲/۳۰±۰/۸۰ <sup>C</sup>	۲/۶۰±۰/۷۰ <sup>C</sup>	۲/۴۰±۰/۵۰ <sup>CD</sup>	۲/۳۰±۰/۵۰ <sup>DE</sup>	۲/۱۰±۰/۷۰ <sup>C</sup>	۲/۴۰±۰/۹۰ <sup>CD</sup>	۲/۵۰±۰/۸۰ <sup>CDE</sup>	۲/۷۰±۰/۹۰ <sup>CD</sup>	۲/۷۰±۰/۹۰ <sup>CD</sup>	۲/۵۰±۰/۰۰ <sup>CD</sup>	۲	

اعداد با حروف مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

زانتان در این نمونه به کاهش پذیرش کلی منجر شد. در نمونه‌های حاوی مقادیر بالاتر سبوس (۵۰ و ۶۰ درصد) پذیرش کلی پایین بود و افزودن زانتان با جلب نظر ارزیابان همراه نبود. نتایج Padalino و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی ویژگی‌های اسپاگتی بر پایه ذرت غنی شده با ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد آرد خمر حاکی از کاهش امتیاز پذیرش کلی همگام با افزایش مقدار آرد خمر بود. در حقیقت امتیاز الاستیسیته و یکنواختی با افزایش آرد خمر کاهش یافت. همچنین افزایش آرد خمر باعث افزایش شدت رنگ شد. این محققین اعلام کردند که اسپاگتی‌های غنی شده با ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد آرد خمر به دلیل الاستیسیته کم، طعم غیرقابل قبول، رنگ قهوه‌ای و بوی ناخوشایند زیر حد پذیرش بودند.

#### نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر جایگزینی سبوس جوی فراوری شده در مقادیر ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد و همچنین حضور صمغ زانتان در سه سطح صفر، ۱ و ۲ درصد بر ویژگی‌های اسپاگتی بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان خاکستر نمونه‌ها با افزایش مقدار سبوس و صمغ افزایش یافت. جذب آب و آفت پخت نمونه‌های اسپاگتی با افزایش سبوس جوی فراوری شده به ترتیب کاهش و افزایش نشان داد درحالی که تغییرات افزودن صمغ زانتان در مقایسه با سبوس جو معنی دار نبود. ضعف شبکه گلوتنی در این نمونه‌ها کاهش زمان پخت به ۱۰ دقیقه را نیز به همراه داشت. همچنین جایگزینی سبوس جوی فراوری شده با افزایش جزئی زردی، افزایش قابل توجه قرمزی و کاهش روشنایی رنگ اسپاگتی‌های پخته همراه بود. این روند در نمونه‌های اسپاگتی خام (به استثنای افزایش شاخص  $b^*$ ) نیز مشاهده شد. حضور سبوس جوی فراوری شده با کاهش سفتی رشته‌های اسپاگتی پخته همراه بود اما افزایش درصد جایگزینی سبوس تأثیر معنی دار بر بافت نداشت. حضور صمغ زانتان بهبود جزئی سفتی را در رشته‌های اسپاگتی پخته حاوی سبوس جو به همراه داشت. نتایج ارزیابی حسی بیانگر پذیرش کلی کمتر نمونه‌های حاوی سبوس

به طور کلی نمونه‌های سبوس دار از پذیرش عطر و طعم کمتری نسبت به شاهد برخوردار بودند. همچنین نتایج ارزیابی حسی گویای عدم تأثیر معنی دار زانتان بر پذیرش عطر و طعم نمونه‌ها بود ( $P > 0.05$ ).

حضور زانتان در نمونه شاهد به ایجاد حالت نشاسته‌ای و پذیرش کمتر از سوی ارزیابان منجر شد که البته این کاهش از لحاظ آماری معنی دار نبود ( $P > 0.05$ ). به طور کلی نمونه‌های سبوس دار از امتیاز نشاسته شدن کمتری نسبت به شاهد برخوردار بودند. همچنین نتایج ارزیابی حسی گویای عدم تأثیر معنی دار زانتان بر حالت نشاسته‌ای نمونه‌ها بود ( $P > 0.05$ ).

جایگزینی ۵۰ و ۶۰ درصد سبوس جوی فراوری شده در نمونه‌های اسپاگتی فاقد زانتان به طور معنی دار الاستیسیته و سفتی آنها را تضعیف کرد ( $P < 0.05$ ). الاستیسیته و سفتی نمونه‌های فاقد و حاوی سبوس در حضور زانتان تغییر معنی دار نشان نداد ( $P > 0.05$ ).

با جایگزینی سبوس جوی فراوری شده میزان فیبری شدن و قابلیت جویدن نمونه‌های اسپاگتی به طور معنی دار افزایش یافت که با کسب امتیاز کمتر از سوی ارزیابان همراه بود ( $P < 0.05$ ) درحالی که حضور زانتان تأثیر معنی داری بر این پارامتر را نداشت ( $P > 0.05$ ).

به طور کلی افزودن سبوس باعث کاهش امتیاز توده‌ای شدن، صمغی شدن، چسبندگی و یکپارچگی شد. مقدار آمیلوز بر چسبندگی تأثیر دارد. با کاهش محتوای آمیلوز اسپاگتی چسبندگی آن افزایش می‌یابد. در نمونه شاهد حضور ۲ درصد زانتان به کاهش معنی دار امتیاز این پارامترها منجر شد ( $P < 0.05$ )، درحالی که در نمونه‌های حاوی سبوس، حضور زانتان تأثیر معنی داری بر این پارامترها را به همراه نداشت ( $P > 0.05$ ).

بیشترین پذیرش کلی به نمونه شاهد (بدون سبوس و زانتان) مربوط بود. افزودن زانتان به نمونه فاقد سبوس سبب کاهش امتیاز پذیرش کلی شد که در حضور ۲ درصد زانتان این کاهش معنی دار بود ( $P < 0.05$ ). در بین نمونه‌های حاوی سبوس، بهترین پذیرش کلی به نمونه حاوی ۴۰ درصد سبوس و بدون زانتان مربوط بود. افزودن



بدون زانتان بود. به نظر می‌رسد وجود ترکیبات زیر در ترکیبات سبوس جو به کیفیت نامناسب اسپاگتی‌ها به‌ویژه در درصدهای جایگزینی بیشتر منجر می‌شود. پیشنهاد می‌شود در تحقیق‌های آتی از فیبر جو به‌منظور بهبود کیفیت محصول استفاده شود.

جوی فراوری‌شده به‌دلیل کاهش امتیازهای رنگ، عطر و طعم، الاستیسیته، سفتی، توده‌ای شدن، صمغی شدن، چسبندگی و یکپارچگی بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که بهترین نمونه از لحاظ کلیه خصوصیات موردبررسی اسپاگتی با ۴۰ درصد جایگزینی سبوس جو و

## منابع

- Aghakeshipour, Z., Azadnard-Demirchi, S., Peighambarpust, S. H., & Oladghaffari, A. (2015). some qualitative properties of functional macaroni with flaxseed powder. *Journal of Food Research (Agricultural Science)*, 24(4), 559-567. (in Persian)
- AOAC. (2005a). Ash of Flour (Direct Method), Method 923.03. In: Official Methods of Analysis, 18th Edition, AOAC International Publisher, Gaithersburg.
- AOAC. (2005b). Solids (Total) and Moisture in Flour, Method 925.10. In: Official Methods of Analysis, 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg.
- Aravind, N., Sissons, M. J., Fellows, C. M., Blazek, J., & Gilbert, E. P. (2012a). Effect of inulin soluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 132(2), 993-1002. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.085>
- Aravind, N., Sissons, M., & Fellows, C. M. (2012b). Effect of soluble fibre (guar gum and carboxymethylcellulose) addition on technological, sensory and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 131(3), 893-900. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.073>
- Bergman, C. (1994). Development of a high-temperature-dried soft wheat pasta supplemented with cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Cooking quality, color, and sensory evaluation. *Cereal Chemistry*, 71(6), 523-527.
- Bustos, M., Pérez, G., & León, A. (2011a). Effect of four types of dietary fiber on the technological quality of pasta. *Food Science and Technology International*, 17(3), 213-221. doi:<https://doi.org/10.1177/1082013210382303>
- Bustos, M. C., Perez, G. T., & León, A. E. (2011b). Sensory and nutritional attributes of fibre-enriched pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1429-1434. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.02.002>
- de la Peña, E., & Manthey, F. A. (2014). Ingredient composition and pasta: water cooking ratio affect cooking properties of nontraditional spaghetti. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(10), 2323-2330. doi:<https://doi.org/10.1111/ijfs.12549>
- El Rabey, H. A., Al-Seeni, M. N., & Amer, H. M. (2013). Efficiency of barley bran and oat bran in ameliorating blood lipid profile and the adverse histological changes in hypercholesterolemic male rats. *BioMed Research International*, 2013. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2013/263594>
- Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K., & Herald, T. (2008). Precooked bran-enriched wheat flour using extrusion: Dietary fiber profile and sensory characteristics. *Journal of Food Science*, 73(4), S173-S179. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00715.x>
- Garcia-Ochoa, F., Santos, V., Casas, J., & Gomez, E. (2000). Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, 18(7), 549-579. doi:[https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00050-1)

- Giacco, R., Vitale, M., & Riccardi, G. (2016). *Pasta: Role in Diet*. In: Caballero, B. Finglas, P. and Toldrá, F. (eds.) *The Encyclopedia of Food and Health* (Vol. 4, pp.242-245.): Oxford: Academic Press.
- Holopainen-Mantila, U. (2015). *Composition and structure of barley (*Hordeum vulgare L.*) grain in relation to end uses*. (Doctoral dissertation), Department of Biosciences, Faculty of Biological and Environmental Sciences, Plant Biology, VTT Technical Research Centre of Finland, University of Helsinki, Retrieved from <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/153489/S78.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Irie, K., Horigane, A. K., Naito, S., Motoi, H., & Yoshida, M. (2004). Moisture distribution and texture of various types of cooked spaghetti. *Cereal Chemistry*, 81(3), 350-355. doi:<https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.3.350>
- Keenan, J. M., Goulson, M., Shamliyan, T., Knutson, N., Kolberg, L., & Curry, L. (2007). The effects of concentrated barley  $\beta$ -glucan on blood lipids in a population of hypercholesterolaemic men and women. *British Journal of Nutrition*, 97(6), 1162-1168. doi:<https://doi.org/10.1017/S0007114507682968>
- Kim, B.-R., Kim, S., Bae, G.-S., Chang, M. B., & Moon, B. (2017). Quality characteristics of common wheat fresh noodle with insoluble dietary fiber from kimchi by-product. *LWT-Food Science and Technology*, 85, 240-245. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.027>
- Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Schmidt, Š. (2009). Significance of emulsifiers and hydrocolloids in bakery industry. *Acta Chimica Slovaca*, 2(1), 46-61 .
- Mosharraf, L., Kadivar, M., & Shahedi, M. (2009). Effect of hydrothermally bran on physicochemical, rheological and microstructural characteristics of Sangak bread. *Journal of Cereal Science*, 49(3), 398-404. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.01.006>
- Musavi, S. Z., Mohammadzadeh Milani, J., & Ruzbeh Nasiraie, L. (2016). Quality features of piccolli pasta, which enriched with wheat bran. *Journal of Food Research (Agricultural Science)*, 26(1), 1-11. (in Persian)
- Nasehi, B., Jooyandeh, H., & Nasehi, R. (2011). Quality attributes of soy-pasta during storage period. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(4), 307-312. doi:<https://doi.org/10.3923/pjn.2011.307.312>
- Nasehi, B., Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A., & Mazaheri Tehrani, M. (2016). Textural characteristics of pasta enriched with full fat soy flour, an optimization study using response surface methodology. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 11(6), 719-728. (in Persian)
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Spinelli, S., Conte, A & Alessandro Del Nobile, M. (2015). Optimization and characterization of gluten-free spaghetti enriched with chickpea flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(2), 148-158. doi:<https://doi.org/10.3109/09637486.2014.959897>
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Spinelli, S., Contò, F., & Del Nobile, M. A. (2014). Chemical composition, sensory and cooking quality evaluation of durum wheat spaghetti enriched with pea flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(6), 1544-1556. doi:<https://doi.org/10.1111/ijfs.12453>
- Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., & Moyano, P. (2006). Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International*, 39(10), 1092-1098. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.009>
- Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2000). *Handbook of Hydrocolloids*: CRC Press.
- Pins, J., & Kaur, H. (2006). A review of the effects of barley beta-glucan on cardiovascular and diabetic risk. *Cereal Foods World*, 51(1), 8-11. doi:<https://doi.org/10.1094/CFW-51-0008>
- Piwińska, M., Wyrwisz, J., Kurek, M., & Wierzbicka, A. (2015). Hydration and physical properties of vacuum-dried durum wheat semolina pasta with high-fiber oat powder. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 647-653. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.022>

- Srikaeo, K., Laothongsan, P., & Lerdluksamee, C. (2018). Effects of gums on physical properties, microstructure and starch digestibility of dried-natural fermented rice noodles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 517-523. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.121>
- Wang, L., Duan, W., Zhou, S., Qian, H., Zhang, H., & Qi, X. (2018). Effect of rice bran fibre on the quality of rice pasta. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(1), 81-87. doi:<https://doi.org/10.1111/ijfs.13556>

## Evaluation of Physicochemical, Textural and Cooking Characteristics of Enriched Spaghetti with Barley Bran and Xanthan Gum

Razieh Niazmand<sup>1\*</sup>, Sara Naji-Tabasi<sup>2</sup>, Atena Modiri<sup>3</sup>, Moslem Jahani<sup>4</sup>

1- Associate Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

\* Corresponding author (r.niazmand@rifst.ac.ir)

2- Assistant Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

3- Master Degree, Azad University, Quchan Branch, Quchan, Iran

4- Assistant Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

### Abstract

Dietary fibers have beneficial physiological and metabolic effects and the enrichment of high-consumption products such as spaghetti with fibers can increase the health and reduce the risk of various diseases in the community. In this study, the effect of processed barley bran (at 40, 50 and 60% levels replacement), xanthan gum (at 1 and 2% levels) and their interactions on cooking properties (water absorption, cooking loss, optimum cooking time and swelling index), microstructural, texture and sensory of spaghetti were evaluated. With increasing barley bran content, the water absorption and cooking loss of spaghetti samples significantly decreased and increased, respectively ( $P < 0.05$ ). The gluten network was weakened by adding fiber by adding fiber, which reduced the cooking time to 10 min. The red value (a index) increased and the brightness (L index) decreased with the increase in the amount of the bran. Increment of barley bran increased the hardness of spaghetti texture noticeably, while the presence of xanthan gum improved the textural properties. The electron microscopy images showed that by adding xanthan, the walls of the air bags become more swollen, and in the presence of the bran caused rough structure. Sensory evaluation results indicated lower total acceptance of bran containing samples. Although the sample containing 40% barley bran and no xanthan gum had the highest overall acceptance among the fiber enriched samples.

**Keywords:** Barely Bran, Dietary Fiber, Hydrocolloid, Spaghetti