

تأثیر افزودن اینولین بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر ماکارونی

رضا افشین پژوه*^۱، محمدرضا سعیدی اصل^۲، ابوالقاسم عبدالله زاده^۳، عبدالقادر عنایتی^۴، مهدی امینی^۴ و امین سید یعقوبی^۴

^۱ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی علوم صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

^۳ عضو هیات علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

^۴ مشاور تحقیقاتی، واحد تحقیق و توسعه‌ی گروه صنعتی و پژوهشی زر، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۹

چکیده

ماده‌ی غذایی فراسودمند، حاوی ترکیباتی با فعالیت بیولوژیکی است که توانایی ارتقاء سلامت و کاهش خطر ابتلا به امراض را دارا می‌باشد. افزودن این ترکیبات به رژیم غذایی انسان‌ها می‌تواند تحول بزرگی را در صنعت غذایی به همراه داشته باشد. ماکارونی به عنوان یک ماده‌ی غذایی سالم و با ارزش مورد استفاده‌ی بسیاری از اقشار جامعه قرار دارد. در این تحقیق، تأثیر افزودن مقادیر صفر (به عنوان شاهد)، ۱٪، ۲/۵٪ و ۵٪ اینولین روی ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر ماکارونی، شامل جذب آب آرد، زمان توسعه، پایداری و درجه‌ی نرم شدن خمیر و عدد کیفی با دستگاه فارینوگراف، انرژی، مقاومت به کشش، قابلیت کشش‌پذیری و مقاومت نسبی با اکستنسوگراف، حداکثر فشار حباب، طول آلوئوگراف و اندیس بادکردگی، انرژی تغییر شکل، نسبت فشار/طول و اندیس کشش‌پذیری خمیر با دستگاه آلوئوگراف و میزان خاکستر و پروتئین خمیر ماکارونی به روش استاندارد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، نشان داد که با افزایش مقادیر اینولین، زمان توسعه، پایداری و عدد کیفی در فارینوگراف کاهش و مقدار جذب آب و درجه‌ی نرم شدن خمیر، افزایش یافت. همچنین انرژی، مقاومت به کشش، قابلیت کشش و مقاومت نسبی خمیر در اکستنسوگراف کاهش یافت. در دستگاه آلوئوگراف نیز افزایش مقدار اینولین، سبب افزایش مقدار اندیس بادکردگی و طول آلوئوگراف و کاهش سایر پارامترها گردید. همچنین با افزایش اینولین، اگرچه کاهش بسیار اندکی در مقدار پروتئین‌ها و خاکستر نمونه‌ها دیده شد اما این تغییرات در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار نبود. استفاده از مقادیر ۱٪ و ۲/۵٪ به دلیل اثرات کم‌تر روی ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر، تیمارهای برتر انتخاب گردید. تیمار ۲/۵٪ به عنوان بهترین مقدار افزودن اینولین به ماکارونی، پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ماکارونی، اینولین، ویژگی‌های رئولوژیکی.

۱- مقدمه

پری بیوتیک نسبتاً مقاوم، حرارت‌های بالا تا دماهای ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد را تحمل نموده، لذا در طول فرایند تولید از بین نمی‌رود (۲ و ۱۰). از دیگر خصوصیات اینولین فعالیت مشابه آن در pH آرد می‌باشد (۴). pH بین ۶ تا ۷ بهترین تاثیر را در فعالیت اینولین در طول پروسه تولید ماکارونی خواهد داشت. دستگاه فارینوگراف شاخص‌های مقدار جذب آب، زمان توسعه، پایداری، درجه‌ی نرم شدن و میزان مقاومت خمیرها و همچنین اثر مواد افزودنی و بهبود دهنده‌ها را نشان می‌دهد (۱۱). با دستگاه اکستنسوگراف می‌توان تاثیر افزودنی‌هایی مانند اسید آسکوربیک، آنزیم پروتیناز، امولسیفایرها و نیز خصوصیات هر آرد را اندازه‌گیری نمود (۱۱). کنترل کیفیت گندم (نرمی، سختی)، بهینه‌سازی مخلوط گندم و آرد، اصلاح و بررسی کیفیت آرد (از لحاظ افزودنی‌ها و بهبود دهنده‌ها)، ارزیابی آرد با توجه به پتانسیل آبگیری، آنالیز آردهای مختلف از موارد کاربرد این دستگاه می‌باشد (۱۲). وو و همکاران^۴ (۲۰۰۹) در اضافه نمودن خمیر سیب‌زمینی شیرین به خمیر آرد، کاهش جذب آب و افزایش زمان توسعه خمیر در فارینوگراف، کاهش فشار، طول و نسبت فشار/طول آلونوگراف و کاهش کشش پذیری، مقاومت به کشش و مقاومت نسبی در اکستنسوگراف را گزارش کردند (۱۳). کالجو و همکاران^۵ (۲۰۰۹)، با اضافه نمودن آرد چاودار به آرد گندم مشاهده کردند که فشار و نسبت فشار/طول افزایش و طول و انرژی آلونوگراف کاهش می‌یابد (۱۴). مریت و بایلی^۶ (۱۹۴۵)، با اضافه کردن چربی به آردهای قوی، زمان توسعه‌ی خمیر و مقدار انرژی خمیر را کاهش دادند (۱۵). تائو و پومراز^۷ (۱۹۶۸)، گزارش کردند که با اضافه کردن روغن ذرت به آردها، زمان توسعه‌ی خمیر افزایش یافته، اما بر روی جذب آب اثری نداشته است (۱۶). کابالرو و همکاران^۸ (۲۰۰۷)، با اضافه نمودن آنزیم گلوتامیناز بر خمیر، مشاهده کردند که باعث افزایش چسبندگی و الاستیسته خمیر می‌شود (۱۷). گورفان سعید و همکاران^۹ (۲۰۰۹)، اثر اضافه نمودن سبوس برنج به خمیر را بررسی و گزارش نمودند که در دستگاه فارینوگراف جذب آب، زمان توسعه و پایداری خمیر کاهش ولی درجه‌ی نرمی خمیر افزایش می‌یابد که علت آن

اینولین ترکیبی قندی (از نوع الیگوساکارید^۱) و غیر قابل هضم یا با قابلیت هضم اندک، در بیش از ۳۰۰۰۰ گیاه مختلف یافت می‌شود (۱،۲)، از جمله ریشه‌ی کاسنی که در کشورهای بلژیک، هلند و فرانسه کشت، تولید، فرآوری و صادر می‌گردد (۱). دلیل اصلی استفاده از ریشه‌ی کاسنی به عنوان منبع اینولین، وجود گلوکز و فروکتوزهای بلند زنجیر می‌باشد (۳). اینولین ترکیبی محلول در آب بوده و حلالیت آن وابسته به دما است چنان که حلالیت آن در دمای ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ۰/۶٪ و در در دمای ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ۳۵٪ است (۱،۲،۳). اینولین پس از رسیدن به محیط روده به عنوان منبع کربن یا انرژی به طور انتخابی سبب رشد و یا فعالیت پروبیوتیک‌ها^۲ (باکتری‌های مفید روده‌ای حاوی لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم)، می‌شود (۳،۴،۵). پری بیوتیک‌ها، به عنوان افزودنی خوراکی با ارزش تغذیه‌ای بالا و همچنین به عنوان یک عامل افزایش فعالیت باکتری‌های مفید روده‌ای (بیفیدوباکتریوم و لاکتوباسیلوس) محسوب می‌شوند (۳، ۴ و ۵). کاهش سطح کلسترول خون (۶)، پیشگیری از یبوست و اسهال عفونی (۳،۶)، مقاومت در برابر عفونت‌هایی مثل سالمونلا (۴)، افزایش جذب عناصر معدنی نظیر منگنز، منیزیم و کلسیم (۷)، کاهش ریسک ابتلا به پوکی استخوان، جلوگیری از سرطان روده‌ی بزرگ^۳ (۸)، کاهش گلوکز خون، درمان عفونت‌های روده‌ای (۵) و کاهش pH محیط روده که در نتیجه سبب کاهش باکتری‌های روده می‌گردد (۴ و ۵) از موارد ذکر شده در مورد خواص سلامت‌بخش پری بیوتیک‌ها می‌باشد. در سال‌های اخیر، فرمولاسیون مواد غذایی با ترکیبات فراسودمند به ویژه پری-بیوتیک‌ها مد نظر قرار دارد (۶). در این میان، محصول ماکارونی به دلیل سهولت مصرف، ارزش تغذیه‌ای و ماندگاری بالای آن، موضوع اخیر دانشمندان و محققین قرار گرفته است (۹ و ۱۰). محققین بر این باورند که می‌توان در کنار اثرات مفید ماکارونی در تغذیه و تامین انرژی از خصوصیات ماکارونی‌های غنی شده با پری بیوتیک‌ها به ویژه اینولین در جهت افزایش سطح سلامتی بدن و نیز کاهش خطر ابتلا به امراض مختلف بهره‌گرفت (۹ و ۶). با توجه به دمای فرایند مورد استفاده در پروسه تولید ماکارونی که حدود ۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد، اینولین به عنوان یک

⁴ Wu *et al.*

⁵ Callejo *et al.*

⁶ Merritt & Bailey

⁷ Tao & Pomeranz

⁸ Caballero *et al.*

⁹ Ghufan Saeed *et al.*

¹ Oligosaccharides

² Probiotics

³ Colon

حاصل از ریشه‌ی کاسنی شرکت کاسوکرای^۴ بلژیک با نام تجاری Fibruline Instant، با مشخصات شیمیایی و فیزیکی جدول شماره‌ی ۱، تهیه و تا روز آزمایش در انبار مخصوص نگه داری مواد اولیه‌ی حساس شرکت، با دمای ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد نگه داری شدند. از دستگاه‌های فارینوگراف (Brabender Farinograph^E) و اکستنسوگراف (Brabender Extansograph^E)، ساخت کشور آلمان و دستگاه آلوئوگراف شوپن (Alveograph, chopin)، ساخت کشور فرانسه برای اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر ماکارونی استفاده شد.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی و خصوصیات فیزیکی ترکیب اینولین

ترکیبات موجود در اینولین	میزان ترکیبات
رطوبت	کم تر از ۳/۵ درصد
ماده‌ی خشک	۹۶±۱ درصد
خاکستر	حداکثر ۰/۳ درصد
کربوهیدرات	حداقل ۹۹/۷ درصد
الیاف رژیمی	حداقل ۹۰ درصد
قندها(گلوکز، فروکتوز، ساکارز)	حداکثر ۱۰ درصد
رنگ	سفید
طعم	کمی شیرین
pH	۶
درجه‌ی پلیمریزاسیون	۱۰
دانه‌بندی	کمتر از ۵۰۰ میکرون
پایداری	پایدار به حرارت

۲-۲- روش‌ها

جهت تهیه‌ی خمیر ماکارونی پری‌بیوتیک از فرمولاسیون‌های ۱/، ۲/۵/ و ۵/ اینولین مطابق جدول ۲ استفاده گردید. برای اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی خمیر ماکارونی از دستگاه‌های فارینوگراف و اکستنسوگراف مطابق با استاندارد بین‌المللی انجمن شیمی غلات آمریکا^۵ (AACC، ۲۰۰۰)، به ترتیب با روش استاندارد شماره‌ی (۲۱-۵۴) و (۱۰-۵۴)، دستگاه آلوئوگراف شوپن با روش استاندارد شماره‌ی (۰۲-۳۰-۵۴) و آزمون‌های خاکستر و پروتئین به ترتیب با استانداردهای شماره‌ی (۰۱-۰۱-۰۸) و (۰۱-۳۰-۴۶)، انجام شد (۲۳). این آزمایش‌ها در

را محدودیت جذب آب توسط فیبرهای سبوس برنج بیان کردند که در نتیجه باعث جذب آب کم تر و نرم شدن خمیر می‌گردد. فشار در آلوئوگراف با افزایش سبوس برنج افزایش یافت، اما طول آلوئوگراف به دلیل کاهش گلوتن و در نتیجه‌ی کاهش الایسته خمیر کاهش یافت (۱۸). مپ‌با و همکاران^۱ (۲۰۰۷)، در بررسی اثر افزودن آرد بارهنگ مشاهده کردند که با افزایش آرد بارهنگ، ظرفیت جذب آب و روغن افزایش می‌یابد که علت را افزایش میزان کربوهیدرات و قندهای ترکیب آرد و کاهش محتوای گلوتن آرد دانستند. با افزایش بارهنگ به بیش از ۵٪، فشار، طول و انرژی آلوئوگراف کاهش یافت (۱۹). هوروات و

همکاران^۲ (۲۰۰۷)، با استفاده از بهبود دهنده‌ی ال-اسید اسکوربیک به آرد گندم نشان دادند که هیچ تاثیری بر روی جذب آب، زمان توسعه و پایداری خمیر در فارینوگراف نداشته اما باعث افزایش درجه‌ی نرمی خمیر و کاهش عدد کیفی فارینوگراف می‌شود. همچنین باعث افزایش انرژی، مقاومت به کشش پس از ۵ دقیقه، حداکثر مقاومت به کشش و مقاومت نسبی گردید. آن‌ها نتیجه گرفتند که پارامترهای اکستنسوگراف برای پیش‌بینی ویژگی‌های آرد بسیار مناسب می‌باشد (۲۰). آمار و همکاران (۲۰۰۹) در آزمایشی با افزودن آرد تارو^۳ به آرد گندم، خواص رئولوژیکی آرد را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که با افزایش مقدار آرد تارو، جذب آب، زمان توسعه و درجه‌ی نرمی خمیر افزایش یافته اما انرژی، مقاومت به کشش و مقاومت نسبی کاهش می‌یابد (۲۱). ماجیرانگ و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی آرد گندم‌های بهاره و زمستانه مشاهده کردند که در آردهای قوی، زمان توسعه‌ی خمیر، پایداری خمیر بیش تر از آردهای ضعیف است (۲۲). هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر مقادیر مختلف اینولین بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر ماکارونی بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

آرد نول حاصل از گندم قرمز رقم N-80-19 استان اردبیل، با خاکستر حدود ۰/۶۵٪ و رطوبت ۱۴/۳٪، تهیه شده در کارخانه‌ی آرد زر کرج، گلوتن خشک تهیه شده از شرکت رخشنده با مقدار جذب آب ۱/۶٪ به ازای هر گرم و خاکستر ۱/۳۲٪ و اینولین

¹ Mepba et al.

² Horvat et al.

³ Taro

⁴ Cosucra

⁵ American Association of Cereal Chemistry (AACC)

کربوهیدرات و فندهای ترکیب آرد بیان کردند (۱۹). اگرچه افزایش جذب آب یک آرد از لحاظ تکنولوژیکی مناسب است اما این افزایش جذب آب سبب شل شدن خمیر و افت کیفیت پخت ماکارونی خواهد شد که به دلیل ظرفیت جذب آب بیش تر اینولین می باشد که مطابق با یافته های سایر پژوهشگران است (۱۸)، ۱۹ و ۲۱. اثر مقادیر مختلف اینولین بر زمان توسعه ی خمیر در فارینوگراف نشان داد که با افزایش مقدار اینولین، زمان توسعه ی خمیر کاهش می یابد. بیش ترین زمان توسعه (۵ دقیقه) در نمونه ی شاهد مشاهده گردید که اختلاف معنی داری با نمونه ی ۱٪ (۴/۷ دقیقه) نداشت اما با نمونه های ۲/۵٪ و ۵٪ اختلاف معنی داری داشت. افزایش مقادیر ۱٪، ۲/۵٪ و ۵٪ اینولین به ترتیب باعث کاهش ۶٪، ۱۱٪ و ۲۹٪ زمان توسعه ی خمیر نسبت به شاهد گردید (شکل ۲). مپ با و همکاران (۲۰۰۷)، علت کاهش زمان توسعه ی خمیر را کاهش محتوای گلو تن دانستند (۱۹).

بررسی اثر افزودن اینولین بر پایداری خمیر نشان می دهد که نمونه ی اینولین ۱٪ (۷/۹۲ دقیقه) از سایر نمونه ها پایداری بیش تری داشت. اینولین ۲/۵٪ (۶/۹ دقیقه)، تاثیر مثبتی در خواص تغذیه ای خواهد داشت که این مقدار با نمونه ی شاهد، اختلاف معنی داری نشان نمی دهد اما پایداری نمونه ی ۵٪ نسبت به شاهد ۲۶٪ و نسبت به نمونه ی ۲/۵٪، ۹٪ کم تر بود (شکل ۳). درجه ی نرمی خمیر پس از ۱۰ دقیقه نشان داد که با افزایش مقدار اینولین، میزان نرم شدن کاهش یافت به طوری که نمونه ی شاهد و نمونه ی ۱٪، اختلاف معنی داری با همدیگر و سایر نمونه ها داشتند (شکل ۴). افزودن مقادیر ۱٪ و ۲/۵٪ اینولین باعث تغییرات ناچیزی در ساختار نشاسته ی خمیر ماکارونی می گردد در صورتی که افزودن مقادیر بالای آن سبب تغییرات زیادی در ساختار خمیر ماکارونی شده و باعث تضعیف باندهای پروتئین-نشاسته در خمیر می گردد (۲) و (۱۰). با بررسی اثر درصدهای مختلف اینولین بر میزان نرم شدن خمیر پس از ۱۲ دقیقه در فارینوگراف مشخص گردید که نمونه ی شاهد اختلاف معنی داری با نمونه ی ۱٪ نداشته ولی نسبت به نمونه های ۲/۵٪، ۲۰٪ و نسبت به نمونه ی ۵٪ ۳۹٪ بیش تر بوده و اختلاف معنی داری دارد (شکل ۵). در بررسی اثر درصدهای مختلف اینولین بر عدد کیفی فارینوگراف نیز مشاهده گردید که نمونه ی شاهد (۱۳۸) اختلاف معنی داری با سایر نمونه ها داشته و نسبت به نمونه ی ۱٪ (۲۲٪) و ۲/۵٪ (۳۱٪) بیش تر می باشد (شکل ۶).

قالب طرح بلوک های کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام و تجزیه و تحلیل واریانس داده های حاصل با کمک نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه ی میانگین ها با آزمون چند دامنه ای دانکن (در سطح ۱٪)، صورت گرفت (۲۴).

جدول ۲- فرمولاسیون تولید ماکارونی با درصدهای مختلف اینولین

فرمول (شاهد)	آرد	گلو تن خشک	اینولین	ترکیب کل
۱	۹۵/۹	۴/۱	-	۱۰۰٪
۲	۹۴/۹	۴/۱	۱٪	۱۰۰٪
۳	۹۳/۴	۴/۱	۱/۵٪	۱۰۰٪
	۹۰/۹	۴/۱	۵٪	۱۰۰٪

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر افزودن اینولین بر ویژگی های رئولوژیکی خمیر ماکارونی در دستگاه فارینوگراف

نتایج تجزیه ی واریانس صفات مورد بررسی حاصل از فارینوگرام در جدول شماره ۳ آمده است. از نظر آماری کلیه ی پارامترها تفاوت معنی داری در سطح ۱٪ نشان دادند. ویژگی های خمیر از قبیل میزان جذب آب، زمان گسترش، مقاومت، درجه ی نرم شدن خمیر پس از ۱۰ و ۱۲ دقیقه و نیز عدد کیفی فارینوگراف (FQN)^۱، به وسیله ی دستگاه فارینوگراف مشخص شد.

نتایج حاصل، نشان داد که با افزودن اینولین به آرد، میزان جذب آب افزایش یافت. بیشینه مقدار جذب آب در اثر اعمال تیمار ۵٪ اینولین مشاهده شد که مقدار جذب آب در این تیمار ۶۴/۰۳ بود که نسبت به شاهد ۷٪ افزایش دارد (شکل ۱).

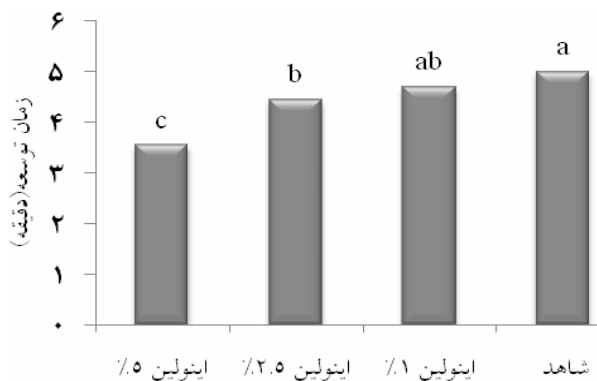
اگرچه افزایش جذب آب یک آرد از لحاظ تکنولوژیکی مناسب است اما این افزایش جذب آب سبب شل شدن خمیر و افت کیفیت پخت ماکارونی خواهد شد که به دلیل ظرفیت جذب آب بیش تر اینولین می باشد. بررسی ها حاکی از آن است که وجود گروه های هیدروکسیل در ساختار فیبر اینولین سبب ایجاد اتصالات هیدروژنی بیش تر و در نتیجه ی تبادل بیش تر آب می گردد و به همین دلیل، جذب آب افزایش می یابد (۲). اضافه کردن بارهنگ نیز در آزمایش های مپ با و همکاران باعث افزایش ظرفیت جذب آب گردیده بود که علت را افزایش میزان

^۱- Farinograph Quality Number

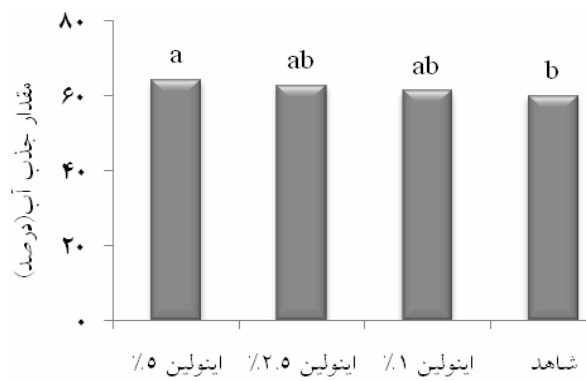
جدول ۳- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثرات اینولین بر ویژگی‌های خمیر ماکارونی در دستگاه فارینوگراف

میانگین مربعات ویژگی‌های خمیر ماکارونی							
منبع تغییرات	درجه آزادی	جذب آب	زمان رسیدن	پایداری خمیر	نرم شدن پس از ۱۰ دقیقه	نرم شدن پس از ۱۲ دقیقه	عدد کیفی فارینوگراف
تکرار	۳	۱۱/۹	۰/۲۱	۰/۵۱	۵/۰۴	۴۱/۳	۴۰/۵
تیمار	۳	۱۲/۹**	۱/۵۶**	۴/۱۵**	۲۳۸/۴**	۵۴۹/۴**	۳۵۰۴/۴**
خطای آزمایشی	۹	۳/۱	۰/۰۸	۰/۲۳	۱۲/۶۲	۳۵/۷	۷۸/۶
ضریب تغییرات		٪۲/۸۴	٪۴/۴۶	٪۶/۸۱	٪۹/۹۲	٪۱۰/۳۶	٪۸/۷۲

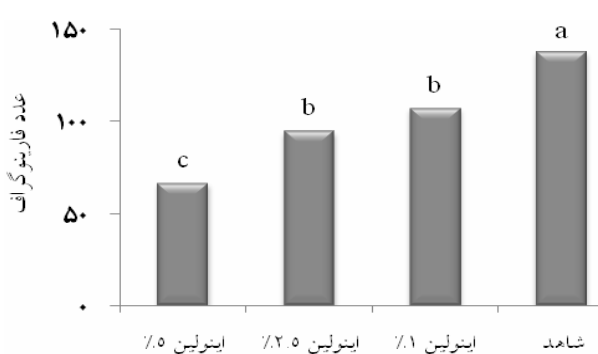
** معنی‌دار در سطح ٪۱



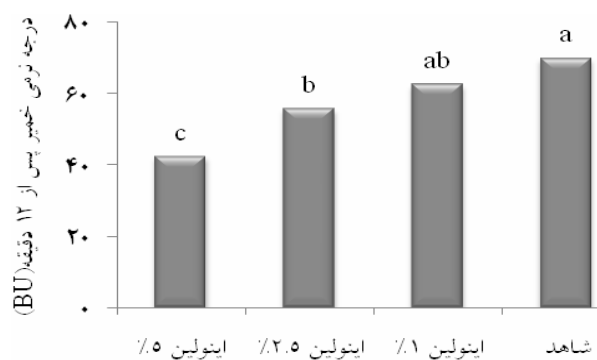
شکل ۲. اثر درصد‌های مختلف اینولین بر زمان توسعه خمیر در فارینوگراف



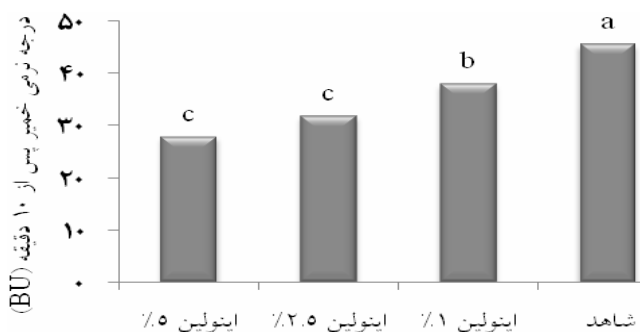
شکل ۱. اثر درصد‌های مختلف اینولین بر مقدار جذب آب در فارینوگراف



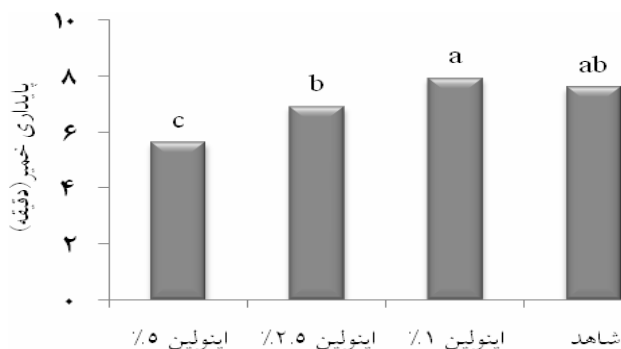
شکل ۶. اثر درصد‌های مختلف اینولین بر عدد فارینوگراف



شکل ۵. اثر درصد‌های مختلف اینولین بر درجه نرمی خمیر پس از ۱۲ دقیقه در فارینوگراف



شکل ۴. اثر درصدهای مختلف اینولین بر درجه نرمی خمیر پس از ۱۰ دقیقه در فارینوگراف



شکل ۳. اثر درصدهای مختلف اینولین بر پایداری خمیر در فارینوگراف

گرفت (شکل ۸). مطابق با مشاهدات آمار و همکاران (۲۰۰۹) با افزودن آرد تارو به آرد گندم، مقاومت به کشش و انرژی خمیر کاهش یافت. علت کاهش انرژی خمیر را افزایش مقدار جذب آب و در نتیجه افزایش گرانروی خمیر و کاهش مقدار محتوای گلوکن خمیر ترکیبی تولید شده دانستند که باعث محدودیت در اضافه نمودن آرد تارو می گردد (۲۱).

افزودن اینولین بر ویژگی قابلیت کشش در نتایج، نشان داد که نمونه‌ی شاهد اختلاف معنی داری با نمونه‌ی اینولین ۱٪ و ۲.۵٪ نداشته و اما بین نمونه‌های ۱٪ و ۲.۵٪ و ۲.۵٪ و ۵٪ اختلاف معنی داری دیده می شود (شکل ۹). در بررسی افزودن مقادیر مختلف اینولین بر حداکثر مقاومت به کشش مشاهده گردید که نمونه‌ی شاهد به نسبت ۱٪، ۲.۵٪، ۵٪ دارای ۷٪، ۱۳٪ و ۱۸٪ مقاومت بیش تر می باشد (شکل ۱۰).

با افزایش مقدار اینولین، ضریب مقاومت نسبی کاهش یافت. بیش ترین مقاومت نسبی در نمونه‌ی شاهد و کم ترین مقاومت نسبی در تیمار ۵٪ (۲۱٪ کاهش نسبت به شاهد) مشاهده گردید. بین نمونه‌ی شاهد و نمونه‌ی ۱٪ اینولین ارتباط معنی داری دیده نشد (شکل ۱۱). گرچه تاثیر افزودن اینولین در مقادیر ۱٪ تیمار مناسبی می باشد اما چون این تیمار با تیمار ۲.۵٪ اختلاف معنی داری ندارد می توان تیمار ۲.۵٪ را نیز به عنوان تیمار موثر در نظر گرفت. با افزایش مقدار اینولین، مقدار مقاومت نسبی حداکثر در کلیه تیمارها نسبت به شاهد کاهش یافت. بین مقادیر افزوده شده اینولین بر این خصوصیت اختلاف معنی داری دیده نشد (شکل ۱۲).

نتایج فارینوگراف نشان داد که با افزایش مقدار اینولین در خمیر ماکارونی، مقاومت یا ثبات خمیر، زمان توسعه‌ی خمیر و عدد کیفی خمیر ماکارونی کاهش یافت که علت آن تاثیر آب جذب شده توسط خمیر حاصله و کاهش قدرت پیوستگی شبکه‌ی گلوکنی موجود در میر می باشد (۱۳، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱). در ارتباط با ویژگی‌های خمیر ماکارونی در دستگاه فارینوگراف بین سه نمونه‌ی ۱٪، ۲.۵٪ و ۵٪، از لحاظ کیفیت فارینوگرافی، نمونه‌ی ۵٪ به دلیل مشکلات نرم شدن خمیر و همچنین کاهش مقاومت خمیر در برابر مخلوط کردن مناسب نبود.

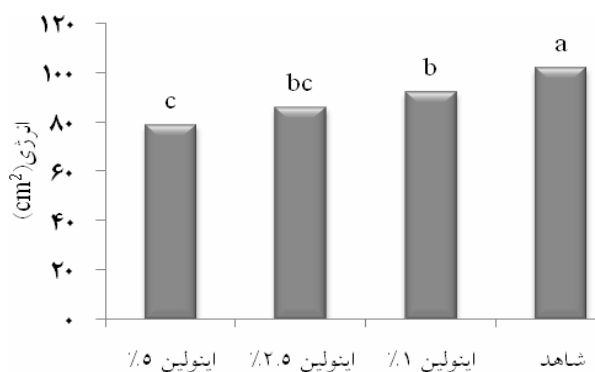
۳-۲- تاثیر افزودن اینولین بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر ماکارونی در دستگاه اکستنسوگراف

جدول تجزیه‌ی واریانس اثر درصدهای مختلف تیمار اینولین در جدول ۴، آمده است. نتایج، نشان می دهد که مقادیر مختلف اینولین بر کلیه صفات اکستنسوگراف شامل انرژی، مقاومت به کشش بعد از ۵ دقیقه، قابلیت کشش، حداکثر مقاومت به کشش، ضریب مقاومت نسبی و مقاومت نسبی حداکثر اثر معنی داری داشته است. شاخص مقاومت به کشش پس از ۵ دقیقه در اکستنسوگراف نشان می دهد که نمونه‌ی شاهد هیچ اختلاف معنی داری با نمونه‌ی ۱٪ اینولین نداشته اما با تیمارهای ۲.۵٪ و ۵٪ اختلاف معنی داری دارد. افزودن اینولین به ترتیب باعث کاهش ۹/۵٪، ۱۶٪ و ۳۰٪ در مقادیر ۱٪، ۲.۵٪ و ۵٪ اینولین گردید (شکل ۷). افزایش مقدار اینولین باعث کاهش مقدار انرژی خمیر در آزمون اکستنسوگراف گردید. نمونه‌ی شاهد دارای بیش ترین مقدار انرژی بوده و با سایر تیمارها اختلاف معنی داری داشت. تیمار ۵٪ اینولین با کم ترین مقدار انرژی (۲۳٪ کم تر نسبت به نمونه‌ی شاهد)، در پایین ترین سطح تیمارها در این صفت قرار

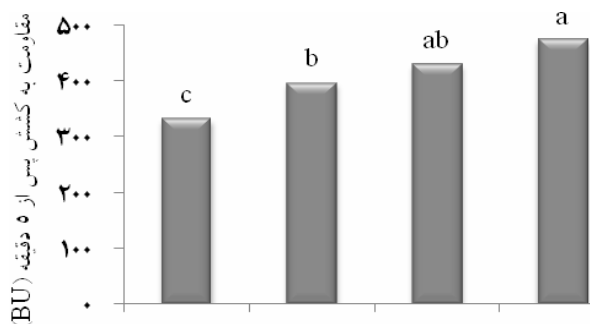
جدول ۴- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثرات اینولین بر ویژگی های خمیر ماکارونی در دستگاه اکستنسوگراف

میانگین مربعات ویژگی‌های خمیر ماکارونی							
منبع تغییرات	درجه‌ی آزادی	انرژی	مقاومت به کشش	کشش پذیری	حداکثر مقاومت به کشش	مقاومت نسبی استاندارد	حداکثر مقاومت نسبی
تکرار	۳	۴۶/۷	۱۹۰	۱۱۰	۱۸۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲
تیمار	۳	۳۸۶/۹**	۱۴۳۹۰**	۳۲۴**	۷۱۶۰**	۰/۳۱۱**	۰/۰۹۵**
خطای آزمایشی	۹	۳۶/۹	۱۲۵۱	۲۱	۸۰۰	۰/۰۵۸	۰/۰۲۲
ضریب تغییرات		٪۶/۸	٪۸/۷	٪۳/۳	٪۵/۶۴	٪۸/۲۳	٪۴/۲

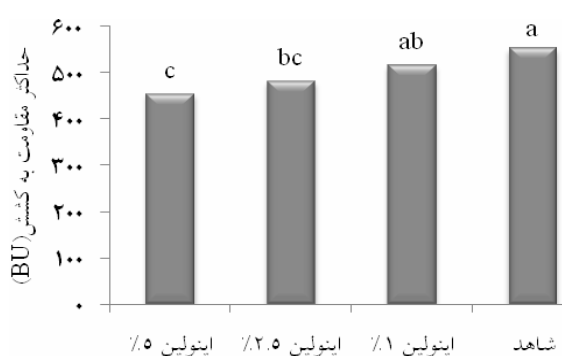
** معنی‌دار در سطح آماری ٪۱



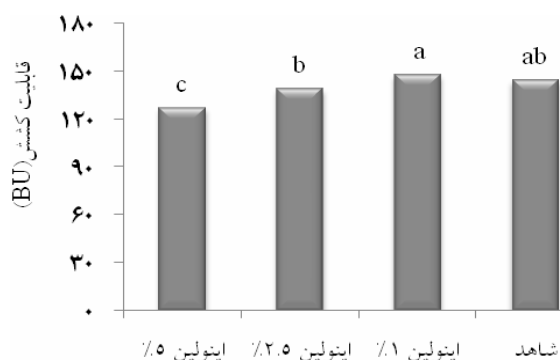
شکل ۸. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار انرژی در اکستنسوگراف



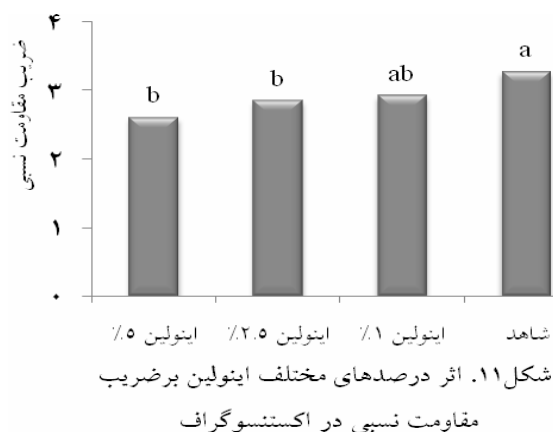
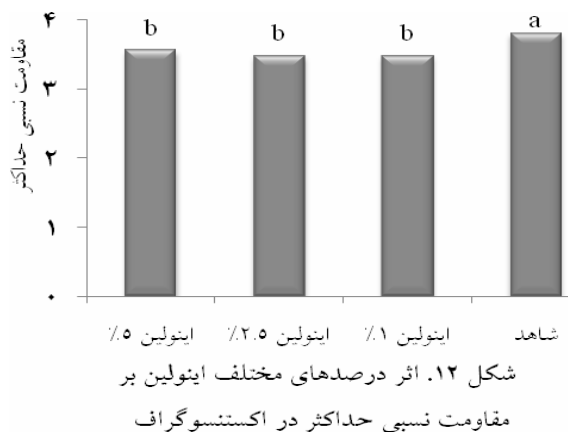
شکل ۷. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقاومت به کشش پس از ۵ دقیقه در اکستنسوگراف



شکل ۱۰. اثر درصدهای مختلف اینولین بر حداکثر مقاومت به کشش در اکستنسوگراف



شکل ۹. اثر درصدهای مختلف اینولین بر قابلیت کشش در اکستنسوگراف



بنابراین، چنین به نظر می‌رسد که مقدار ۱٪ اینولین تیمار مناسبی جهت حصول فشار مناسب در دستگاه آلوئوگراف می‌باشد. کالجو و همکاران نیز در سال ۲۰۰۹ گزارش کردند که اضافه نمودن آرد چاودار به آرد گندم باعث کاهش فشار در آلوئوگراف می‌گردد که علت را کاهش محتوای گلوتهی آرد ترکیبی و کاهش الاستیسته خمیر دانستند (۱۴). با افزایش مقدار اینولین، طول آلوئوگراف افزایش یافت (شکل ۱۴). بین تیمار شاهد و تیمار ۱٪ اینولین از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. بین تیمار ۲.۵٪ و ۵٪ اینولین نیز اختلاف معنی‌داری دیده نشده، بنابراین، در این ویژگی آلوئوگراف نیز نمونه‌ی ۱٪ اینولین به عنوان تیمار برتر انتخاب می‌گردد. مپ‌با و همکاران (۲۰۰۷)، علت کاهش فشار، طول و انرژی آلوئوگراف را افزایش مقدار کربوهیدرات و قندها بیان کردند. گورفان سعید و همکاران (۲۰۰۹) نیز با مشاهده کاهش طول آلوئوگراف، کاهش گلوتهی و در نتیجه الاستیسته خمیر را عامل آن دانست (۱۸).

بررسی افزودن مقادیر مختلف اینولین بر شاخص بادکردگی، نتایج نشان داد که نمونه‌ی شاهد اختلاف معنی‌دار با نمونه‌ی ۲.۵٪ و ۵٪ داشته (به ترتیب ۲۴ و ۳۸٪ کم‌تر) اما با نمونه‌ی ۱٪ اختلاف آماری ندارد و این نشان‌دهنده‌ی این است که هر چه اندیس بادکردگی کم‌تر باشد، مناسب‌تر است (شکل ۱۵). بنابراین، نمونه‌ی ۱٪ اینولین، به عنوان تیمار برتر انتخاب می‌گردد. در دستگاه آلوئوگراف با توجه به این که هر چه خمیر اندیس بادکردگی بالاتری داشته باشد زودتر دچار ترکیدگی خواهد شد (۱۳)، بنابراین، بین افزایش مقدار اینولین و افزایش میزان ترکیدگی همبستگی وجود داد.

در ارتباط با نتایج به دست آمده از دستگاه اکستنسوگراف، قدرت کشش و سایر ویژگی‌های خمیر، با افزایش مقدار اینولین کاهش یافت (۱۳، ۲۰ و ۲۱). بنابراین، بین سه تیمار اعمال شده تیمار ۲.۵٪ بیش‌ترین قابلیت را به خود اختصاص داده و از نظر این ویژگی‌ها مطلوب‌تر از سایر تیمارها بود. نمونه‌ی اینولین ۵٪ نسبت به نمونه‌های ۱٪ و ۲.۵٪، به دلیل اثر منفی که بر روی بافت محصول نهایی ایجاد می‌کند، تیمار مناسبی نمی‌باشد.

۳-۳- تأثیر افزودن اینولین بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر ماکارونی در آلوئوگراف

نتایج تجزیه‌ی واریانس حاصل از صفات آلوئوگراف شامل فشار^۱ (P)، طول^۲ (L)، اندیس بادکردگی^۳ (G)، انرژی^۴ (W)، فشار/طول^۵ (P/L) و اندیس کشش‌پذیری^۶ (I_e) در جدول ۵ آمده است. نتایج، نشان می‌دهد که تیمار اینولین بر کلیه صفات مورد مطالعه، اثر معنی‌دار داشته است.

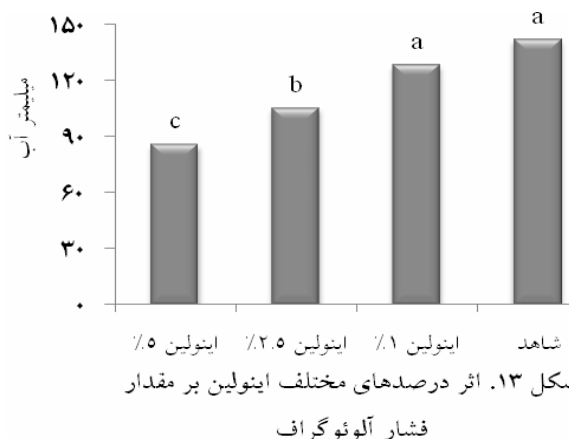
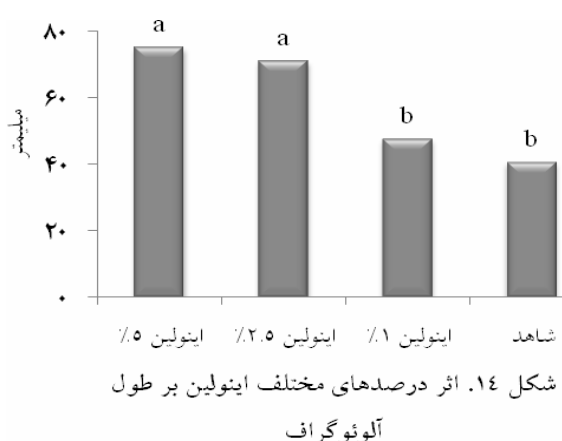
با افزایش مقدار اینولین، مقدار فشار خمیر کاهش یافت. بیش‌ترین مقدار فشار در نمونه‌ی شاهد و کم‌ترین مقدار فشار در تیمار ۵٪ مشاهده گردید که نسبت به شاهد ۳۸٪ کاهش داشت. نمونه‌ی ۱٪ اینولین با نمونه‌ی شاهد، اختلاف معنی‌دار نشان نداد. اما مقادیر ۲.۵٪ و ۵٪ اینولین با کلیه تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت (شکل ۱۳).

1 Tenacity
2 Extensibility
3 Swelling Index
4 Deformation Energy
5 Configuration Ratio
6 Elasticity Index

جدول ۵- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثرات اینولین بر ویژگی های رئولوژیکی خمیر ماکارونی در دستگاه آلوئوگراف

میانگین مربعات ویژگی های خمیر ماکارونی							
منبع تغییرات	درجه آزادی	P	L	G	W	P/L	Ie
تکرار	۳	۳۰/۹	۲۵/۷	۶/۴	۴۶۵/۸	۰/۰۹	۲۲/۹
تیمار	۳	۲۴۶۶**	۱۱۶۴/۷**	۲۳/۷**	۳۱۲/۸**	۴/۸**	۸۹**
خطای آزمایشی	۹	۱۱۲/۲	۲۰/۲	۴/۲	۹۲/۹	۰/۱۵	۸/۳
ضریب تغییرات		٪۹/۲	٪۷/۶	٪۱۲/۲	٪۴/۴	٪۱۷/۵	٪۶/۱

** معنی دار در سطح آماری ۱٪

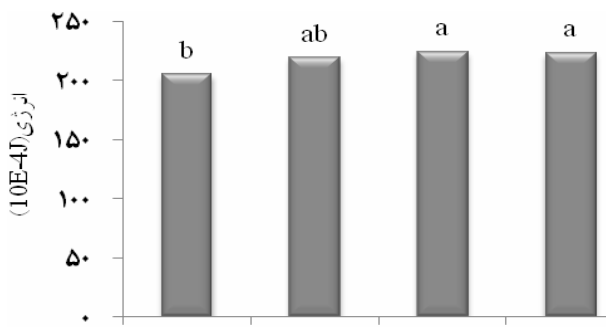


به نمونه‌ی شاهد نیز بسیار معنی دار بود (شکل ۱۸).

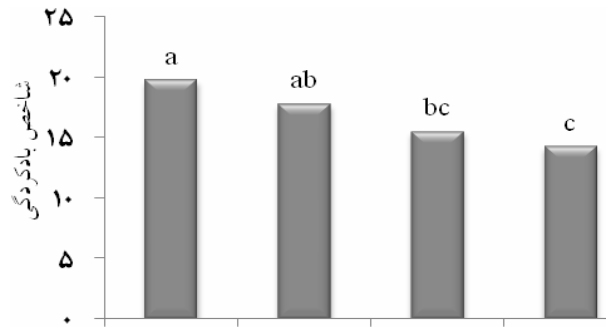
۳-۴- تأثیر افزودن اینولین بر ماده‌ی خشک خمیر ماکارونی

نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های حاصل از افزودن اینولین (جدول ۶)، نشان می‌دهد که این تیمار بر روی مقدار پروتئین و خاکستر موجود، تأثیر معنی داری نداشته است. در مجموع چنین بر می‌آید که گرچه اینولین بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر ماکارونی اثر گذار می‌باشد اما بر خصوصیات ماده‌ی خشک ماکارونی تأثیری نشان نداده است. با افزایش مقادیر اینولین از شاهد تا ۵٪ تنها ۸٪ پروتئین کاهش یافته اما این کاهش معنی دار نبوده است (شکل ۱۹). تأثیر اینولین بر مقدار خاکستر موجود، نشان داد که افزایش مقادیر مختلف اینولین، تأثیر معنی داری بر خاکستر خمیر نداشته است (شکل ۲۰). افزودن مقادیر بالاتر از ۱۰ درصد اینولین سبب کاهش معنی دار در مقدار پروتئین ماکارونی می‌گردد (۹) اما تحقیقات، نشان می‌دهد که افزایش اینولین در مقادیر ۱٪ تا ۵٪ تأثیر معنی داری در کاهش مقدار پروتئین ماکارونی نخواهد داشت.

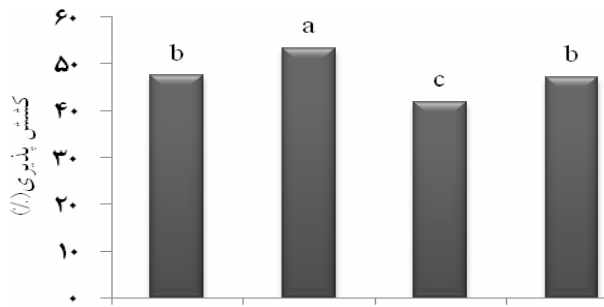
لذا افزودن مقادیر بالای ۲/۵٪ سبب افزایش بادکردگی شده و مقادیر بالاتر از نظر خواص فیزیکی مطلوب نمی‌باشد. افزودن مقادیر مختلف اینولین بر انرژی آلوئوگراف، تأثیرات مختلفی از خود نشان داد به طوری که نمونه‌ی ۱٪ اینولین نسبت به شاهد انرژی (۰/۰۵٪) بیش تری داشت اما این اختلاف، بسیار ناچیز و غیرمعنی دار بود. تنها نمونه‌ی ۵٪ اختلاف معنی دار با نمونه‌ی شاهد و ۱٪ اینولین (۸٪ کم تر) از خود نشان داد (شکل ۱۶). بنابراین، چنین بر می‌آید که نمونه‌ی ۲/۵٪ اینولین از نظر مقدار انرژی، مناسب تر می‌باشد. افزودن اینولین باعث کاهش شاخص فشار/طول گردید و این کاهش، بسیار معنی دار بود به طوری که بیش ترین مقدار این شاخص در نمونه‌ی شاهد (۳/۵۲) مشاهده شد که نسبت به نمونه‌ی ۱٪ اینولین ۳۰٪ بیش تر بود. تنها نمونه‌های ۲/۵٪ و ۵٪ از نظر آماری اختلافی نداشتند (شکل ۱۷). اثرات متفاوتی در رابطه با افزودن اینولین بر شاخص کشش پذیری مشاهده شد. ابتدا با افزایش اینولین در مقدار ۱٪ اندیس کشش پذیری کاهش ۱۱ درصدی نسبت به شاهد نشان داد. اما افزودن ۲/۵٪ اینولین باعث افزایش ۱۳ درصدی اندیس کشش پذیری شد که این افزایش نسبت



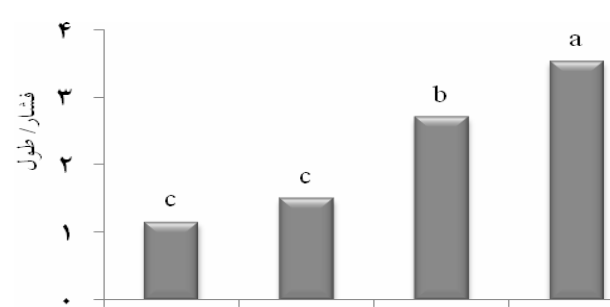
شکل ۱۶. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار انرژی در آلوتوگراف



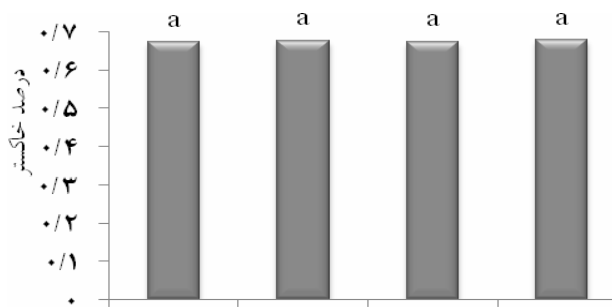
شکل ۱۵. اثر درصدهای مختلف اینولین بر شاخص بادکردگی در آلوتوگراف



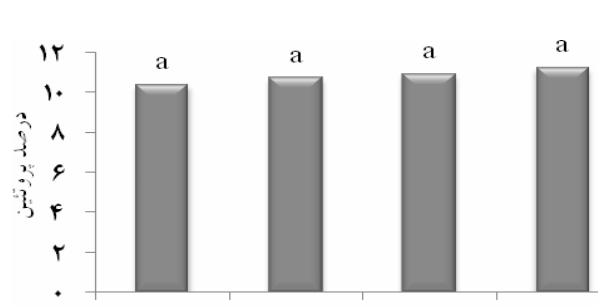
شکل ۱۸. اثر درصدهای مختلف اینولین بر میزان کشش پذیری در آلوتوگراف



شکل ۱۷. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار فشار/طول در آلوتوگراف



شکل ۲۰. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار خاکستر ماکارونی



شکل ۱۹. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار پروتئین ماکارونی

جدول ۶- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثرات اینولین بر ماده‌ی خشک ماکارونی

میانگین مربعات ویژگی‌های خمیر ماکارونی			
منبع تغییرات	درجه‌ی آزادی	پروتئین	خاکستر
تکرار	۳	۰/۱۴۱	۰/۰۰۷
تیمار	۳	۰/۵۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
خطای آزمایشی	۹	۰/۲۸۴	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات		۴/۹۴	۵/۹۴

^{ns} غیرمعنی‌دار از لحاظ آماری

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سعی شد با توجه به بهینه‌سازی فرآیند تولید از فرمولاسیونی استفاده شود که جنبه‌ی کیفی محصول را حفظ نماید، بنابراین نتایج آماری به دست آمده، برتری نسبی تیمار ۲/۵٪ نسبت به سایر تیمارها بیش تر مشهود بوده است. بنابراین، توصیه می‌گردد در فرمولاسیون تولیدی از مقدار اینولین ۲/۵٪ استفاده گردد.

۵- سپاس‌گزاری

نویسندگان از گروه صنعتی و پژوهشی زر به خاطر مهیا کردن وسایل و امکانات آزمایشگاهی و حمایت مالی از این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۶- منابع

- Probert, M., Apajaihti, H. A., Rautonen, N., Stowelland, j. and Gibson, R. 2004. Polydextrose, Lactitol and Fructo-oligo saccharide Fermentation by colonic bacteria in a three-stage continuous culture system. *Applied and Environmental Microbiology*, 70: 4505-4511.
- Schrezenmeir, J. and Derese, M. 2001. Probiotics, Prebiotics and synbiotics-approaching a definition. *American Society for Clinical Nutrition*, 73: 361-364.
- Coudray, C., Bellanger, J., Castiglia-Delavaud, C., Rémesy, C., Vermorel, M. and Rayssiguier, Y. 1997. Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal Clinical. Nutrition*, 51,(6): 375-380.
- Gibson, G. R., Probert, H. M., Van Loo, J., Rastall, R. A. and Roberfroid, M. 2004. "Dietary modulation of the colonic microbiota: updating the concept of prebiotics." *Nutrition Research Reviews*, 17 pp. 259-275.
- Fuad, T. and Prabhasankar, P. 2010. Role of ingredients in pasta product quality: A Review on recent Development. *Critical Reviews in food science and nutrition*, 50(8): 787-798.
- Chimrov. J. I., Braudo, E. E. and Tolstoguzov, V. B. 1981. The manufacture and application of pasta as a food and as a food ingredient: A review. *Die Nahrung*, 25:719-729.
- Shuey, W. C. 1975. Practical instruments for rheological measurements on wheat products. *Cereal Chemistry*. 52: 42-81.
- Alami, M., Leelavathi, K. and Prasada, R. 2007. Spaghetti making potential of indian
- Kim, Y., Faqih, M. N. and Wang, S. S. 2001. Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers*, 46, No. 2, 135-145.
- Silva, R. F. 1996. Use of inulin as a natural texture modifier. *Cereal Foods World*, 41, No. 10, 792-795.
- Ozer, D., Akin, S. and Ozer, B. 2005. Effects of inulin and lactulose on survival of *Lactobacillus Acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium Bifidum* BB- 02 in *Acidophilus- Bifidus* yogurt. *Food science and Technology International*, 11-19.
- Oliveira, P. S., Florence, G. R., Silva, C., Perego, P., Converti, A. and Oliveira, N. 2009. Effects of different prebiotics on the fermentation kinetics, probiotic survival and fatty acids profiles in nonfat symbiotic. Fermented milk. *International Journal of food Microbiology*, 128: 467-472.

23. AACC. American association of cereal chemists approved methods. 2000. St. Paul, Minnesota, USA: AACC, *American Association of Cereal Chemists, Inc*:2000.
24. Der, G. and Everitt, B. S. 2002. *A handbook of statistical analyses using SAS*, second edition. Chapman & Hall/CRC.
- durum wheat species in relation to their protein, yellow pigment and enzyme content. *Food Chemistry*, 100:1243-1248.
13. Wu, K. L., Sung, W. C. and Yang, C. H. 2009. Characteristics of dough and bread as affected by the incorporation of sweet potato paste in the formulation. *Journal of Marine Science and technology*, 17(1): 13-22.
14. Callejo, M. J., Bujeda, C., Rodríguez, G. and Chaya, C. 2009. Alveoconsistograph evaluation of rheological properties of rye doughs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(3): 638-644.
15. Merritt, P. O. and Bailey, C. H. 1945. Preliminary studies whit the Extensigraph. *Cereal Chemistry*, 22:372.
16. Tao, R. P. C., and Pomeranz, Y. 1968. Functional breadmarking properties of wheat flour lipids. III. Effects of lipids on rheological properties of wheat flour doughs. *Food Technology, Chicago*. 22(9): 1145.
17. Caballero, P. A., Gómez, M. and Rosell, C. M. 2007. Bread quality and dough rheology of enzyme supplemented Wheat flour. *European Food Research and Technology*, 525-534.
18. Ghufran Saeed, SM., Saqib. A., Mubarak, A., Rashida, A. and Fred, S. 2009. Influence of rice bran on rheological properties of dough and in the new product development. *Journal of Food Science and Technology*, 46(1): 62-65.
19. Mepba Horsfall, D., Lucy, E. and Nwaojigwa, S. U. 2007. Chemical Composition, Functional And Baking Properties Of Wheat-Plantain Composite Flours. *African Journal of Food Agriculture Nutrition Development*, 7(1).
20. Horvat, D., Magdić, D., Drezner, G., Šimić, G., Dvojković, K., Brođanac, M. and Lukinac, J. 2007. The effect of improver on dough rheology and bread properties. *6th Croatian Congress of Cereal Technologists*.
21. Ammar, M. S., Hegazy, A. E. and Bedeir, S.H. 2009. Using of taro flour as partial substitute of wheat flour in bread making. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 4 (2): 94-99.
22. Maghirang, E. B., Lookhart, G. L., Bean, S. R., Pierce, R. O., Xie, F., Caley, M. S. and *et al.* 2006. Comparison of quality characteristics and breadmaking functionality of hard red winter and hard red spring wheat. *Cereal Chemistry*, 83(5):520-528.