تاثیر افزودن اینولین بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر ماکارونی

رضا افشین‌پژوه*[1]، محمدرضا سعیدی اصل[2]، ابوالقاسم عبدالله‌زاده[3]، عبدالقادر عنایتی[4]، مهدی امینی[4] و امین سید یعقوبی[4]

[1] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی علوم صنایع غذایی، دانشگاه آزاداسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

[2] دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

[3] عضو هیات علمی گروه علوم وصنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

[4] مشاور تحقیقاتی، واحد تحقیق و توسعه‌ی گروه صنعتی و پژوهشی زر ،کرج، ایران

تاریخ دریافت : ۹۰/۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۰

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، تاثیر 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 کشش پذیری 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 باد کردگی 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 کم تر روی ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر، تیمارهای برتر انتخاب گردید. تیمار ۲/۵٪ به عنوان بهترین مقدار افزودن اینولین به ماکارونی، پیشنهاد می گردد.

واژه‌های کلیدی: ماکارونی، اینولین، ویژگی‌های رئولوژیکی.

* مسوول مکاتبه: research@zarmacaron.ir

۱- مقدمه

اینولین ترکیبی قندی (از نوع الیگوساکارید[1]) و غیر قابل هضم یا با قابلیت هضم اندک، در بیش از ۳۰۰۰۰ گیاه مختلف یافت می شود (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 ۶٪، و 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[2] (باکتری های مفید روده‌ای حاوی لاکتوباسیلوس و بیفیدوباکتریوم)، می‌شود (۳،۴،۵). پری‌بیوتیک‌ها، 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[3] (۸)، کاهش گلوکز خون، درمان عفونت‌های روده ای(۵) و کاهش pH محیط روده که در نتیجه سبب کاهش باکتری‌های روده می گردد (۴ و ۵) از موارد ذکر شده در مورد خواص سلامت‌بخش پری‌بیوتیک‌ها 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 پری‌بیوتیک‌ها به ویژه اینولین در جهت افزایش سطح سلامتی بدن و نیز کاهش خطر ابتلا به امراض مختلف بهره گرفت (۶و۹). با توجه به دمای فرایند مورد استفاده در پروسه تولید ماکارونی که حدود ۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد، اینولین به عنوان یک پری‌بیوتیک نسبتاً مقاوم، حرارت‌های بالا تا دماهای ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد را تحمل نموده، لذا در طول فرایند تولید از بین نمی رود (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 افزودنی هایی مانند اسید آسکوربیک، آنزیم پروتئیناز، امولسیفایرها و نیز خصوصیات هر آرد را اندازه‌گیری نمود (۱۱). کنترل کیفیت گندم (نرمی، سختی)، بهینه سازی 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[4] (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 آلوئوگراف و کاهش کشش‌پذیری، مقاومت به کشش و مقاومت نسبی در اکستنسوگراف را گزارش کردند (۱۳). کالجو و همکاران[5] (۲۰۰۹)، با اضافه نمودن آرد چاودار به آرد گندم مشاهده کردند که فشار و نسبت فشار/طول افزایش و طول و انرژی آلوئوگراف کاهش می یابد (۱۴). مریت و بایلی[6] (۱۹۴۵)، با اضافه کردن چربی به آردهای قوی، زمان توسعه‌ی خمیر و مقدار انرژی خمیر را کاهش دادند (۱۵). تائو و پومراز[7] (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[8] (۲۰۰۷)، با اضافه نمودن آنزیم گلوتامیناز بر خمیر، مشاهده کردند که باعث افزایش چسبندگی و الاسیسته خمیر می‌شود (۱۷). گورفان سعید و همکاران[9] (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

[1] Oligosaccarides
[2] Prebiotics
[3] Colon
[4] Wu *et al.*
[5] Callejo *et al.*
[6] Merritt & Bailey
[7] Tao & Pomeranz
[8] Caballero *et al.*
9 Ghufran Saeed *et al.*

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 الاسیسته خمیر کاهش یافت (۱۸). مپبا و همکاران[1] (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[2] (۲۰۰۷)، با استفاده از بهبود دهنده‌ی ال-اسید اسکوربیک به آرد گندم نشان‌دادند 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 می شود. همچنین باعث افزایش انرژی، مقاومت به کشش پس از ۵ دقیقه، حداکثر مقاومت به کشش و مقاومت نسبی گردید. آن ها نتیجه گرفتند که پارامترهای اکستنسوگراف برای پیش‌بینی ویژگی‌های آرد بسیار مناسب می‌باشد (۲۰). آمار و همکاران (۲۰۰۹) در آزمایشی با افزودن آرد تارو[3] 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 می یابد (۲۱). ماجیرانگ و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی آرد گندم های 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 ۰/۶۵۰٪ و رطوبت ۱۴/۳٪، تهیه شده در کارخانه‌ی آرد زر کرج، گلوتن‌خشک تهیه شده از شرکت رخشنده با مقدار جذب آب ۱/۶٪ به ازای هر گرم و خاکستر ۱/۳۲٪ و اینولین حاصل از ریشه‌ی کاسنی شرکت کاسوکرای[4] 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 سانتی گراد 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.

جدول۱- ترکیبات شیمیایی و خصوصیات فیزیکی ترکیب اینولین

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

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 دستگاه های فارینوگراف و اکستنسوگراف مطابق با استاندارد بین المللی انجمن شیمی غلات آمریکا[5] (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 آزمایش ها در

[1] Mepba *et al.*
[2] Horvat *et al.*
[3] Taro
[4] Cosucra
[5] American Association of Cereal Chemistry (AACC)

قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام و تجزیه و تحلیل واریانس داده‌های حاصل با کمک نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح ۱٪)، صورت گرفت (۲۴).

جدول ۲- فرمولاسیون تولید ماکارونی با درصدهای مختلف اینولین

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

۳- نتایج و بحث

۳-۱-تاثیر افزودن اینولین بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیرماکارونی در دستگاه فارینوگراف

نتایج تجزیه‌ی واریانس صفات مورد بررسی حاصل از فارینوگرام در جدول شماره ۳ آمده است. از نظر آماری کلیه‌ی پارامترها تفاوت معنی‌داری در سطح ۱٪ نشان دادند. ویژگی‌های خمیر از قبیل میزان جذب آب، زمان گسترش، مقاومت، درجه‌ی نرم‌شدن خمیر پس از ۱۰ و ۱۲ دقیقه و نیز عدد کیفی فارینوگراف (FQN[1])، به وسیله‌ی 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 می‌باشد. بررسی ها حاکی از آن است که وجود گروه های هیدروکسیل در ساختار فیبر اینولین سبب ایجاد اتصالات هیدروژنی بیش تر و در نتیجه‌ی تبادل بیش تر آب می‌گردد و به همین دلیل، جذب آب افزایش می‌یابد (۲). اضافه کردن بارهنگ نیز در آزمایش های مپ‌با و همکاران باعث افزایش ظرفیت جذب آب گردیده بود که علت را افزایش میزان کربوهیدرات و قندهای 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 می‌باشد که مطابق با یافته‌های سایر پژوهشگران است (۱۸، ۱۹ و ۲۱). اثر مقادیر مختلف اینولین بر زمان توسعه‌ی خمیر در فارینوگراف نشان داد که با افزایش مقدار اینولین، زمان توسعه‌ی خمیر کاهش می‌یابد. بیش ترین زمان توسعه (۵دقیقه) در نمونه‌ی شاهد مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با نمونه‌ی ۱٪ (۴/۷ دقیقه) نداشت اما با نمونه‌های ۲/۵٪ و ۵٪ اختلاف معنی‌داری داشت. افزایش مقادیر ۱٪، ۲/۵٪ و ۵٪ اینولین به ترتیب باعث کاهش۶٪، ۱۱٪ و ۲۹٪ زمان توسعه‌ی خمیر نسبت به شاهد گردید (شکل ۲). مپ‌با و همکاران (۲۰۰۷)، علت کاهش زمان توسعه‌ی خمیر را کاهش محتوای گلوتن دانستند (۱۹).

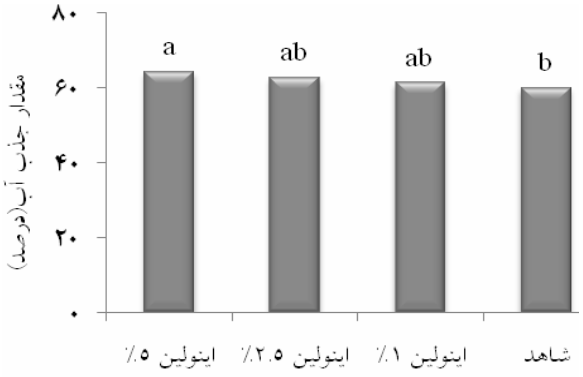
بررسی اثر افزودن اینولین بر پایداری خمیر نشان می‌دهد که نمونه‌ی اینولین ۱٪ (۷/۹۲ دقیقه) از سایر نمونه‌ها پایداری بیش تری داشت. اینولین ۲/۵٪ (۶/۹ دقیقه)، تاثیر مثبتی در خواص تغذیه‌ای خواهد داشت که این مقدار با نمونه‌ی شاهد، اختلاف معنی‌داری نشان نمی‌دهد اما پایداری نمونه‌ی ۵٪ نسبت به شاهد ۲۶٪ و نسبت به نمونه‌ی ۲/۵٪، ۹٪ کم تر بود (شکل۳). درجه‌ی نرمی خمیر پس از ۱۰ دقیقه نشان داد که با افزایش مقدار اینولین، میزان نرم شدن کاهش یافت به طوری که نمونه‌ی شاهد و نمونه‌ی ۱٪، اختلاف معنی‌داری با همدیگر و سایر نمونه‌ها داشتند (شکل ۴). افزودن مقادیر ۱٪ و ۲/۵٪ اینولین باعث تغییرات ناچیزی در ساختار نشاسته‌ی خمیر ماکارونی می‌گردد 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 نمونه‌ی شاهد اختلاف معنی‌داری با نمونه‌ی ۱٪ نداشته ولی نسبت به نمونه‌های ۲/۵٪، ۲۰٪ و نسبت به نمونه‌ی ۵٪ ۳۹٪ بیش تر بوده و اختلاف معنی‌داری دارد (شکل ۵). در بررسی اثر درصدهای مختلف اینولین بر عدد کیفی فارینوگراف نیز مشاهده گردید که نمونه‌ی شاهد (۱۳۸) اختلاف معنی‌داری با سایر نمونه‌ها داشته و نسبت به نمونه‌ی۱٪ (۲۲٪) و ۲/۵٪ (۳۱٪) بیش‌تر می‌باشد(شکل ۶).

[1]- Farinograph Quality Number

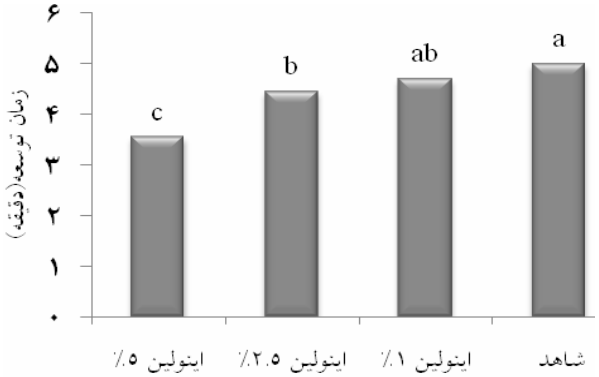
جدول ۳- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثرات اینولین بر ویژگی‌های خمیر ماکارونی در دستگاه فارینوگراف

	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 ۱۲دقیقه	عدد کیفی فارینوگراف
تکرار	۳	۱۱/۹	۰/۲۱	۰/۵۱	۵/۰٤	٤۱/۳	٤۰/۵
تیمار	۳	۱۲/۹**	۱/۵٦**	٤/۱۵**	۲۳۸/٤**	۵٤۹/٤**	۳۵۰٤/٤**
خطای‌آزمایشی	۹	۳/۱	۰/۰۸	۰/۲۳	۱۲/٦۲	۳۵/۷	۷۸/٦
ضریب تغییرات		٪۲/۸٤	٪٤/٤٦	٪٦/۸۱	٪۹/۹۲	٪۱۰/۳٦	٪۸/۷۲

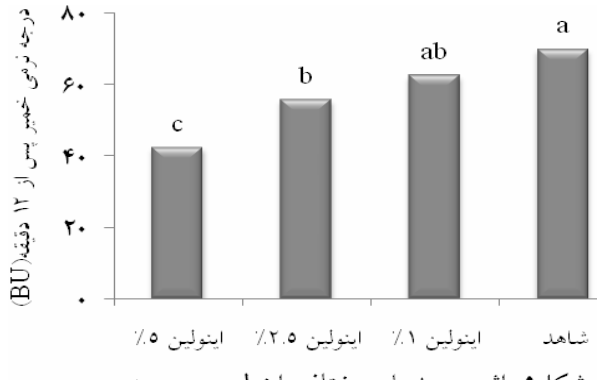
** معنی‌دار در سطح ۱٪



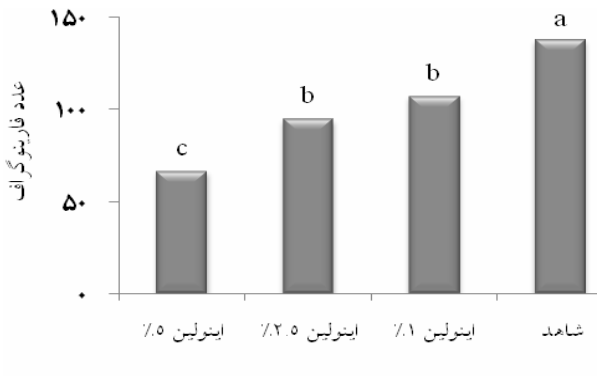
شکل ۱. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار جذب آب در فارینوگراف



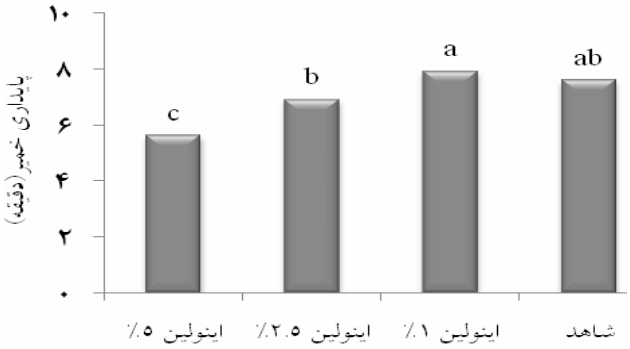
شکل۲. اثر درصدهای مختلف اینولین بر زمان توسعه خمیر در فارینوگراف



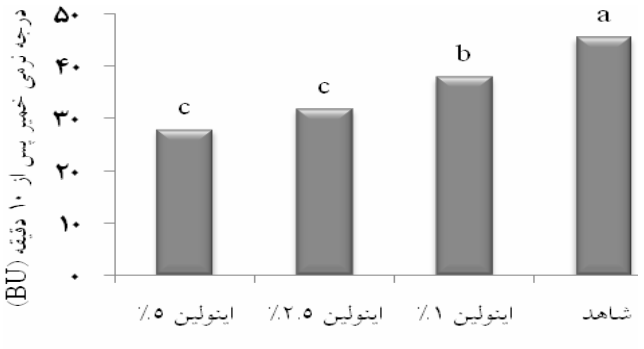
شکل۵. اثر درصدهای مختلف اینولین بر درجه نرمی خمیر پس از ۱۲ دقیقه در فارینوگراف



شکل٦. اثر درصدهای مختلف اینولین بر عدد فارینوگراف



شکل۳.اثر درصدهای مختلف اینولین بر پایداری خمیر در فارینوگراف



شکل٤. اثر درصدهای مختلف اینولین بر درجه نرمی خمیر پس از ۱۰ دقیقه در فارینوگراف

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 گلوتنی موجود در میر می باشد (۱۳، ۱۶، ۱۸، ۱۹ ، ۲۰ و۲۱). 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 می‌دهد که مقادیر مختلف اینولین بر کلیه‌ی 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 معنی‌داری داشته است. شاخص مقاومت به کشش پس از ۵ دقیقه در اکستنسوگراف نشان می‌دهد که نمونه‌ی شاهد هیچ اختلاف معنی داری با نمونه‌ی ۱٪ اینولین نداشته اما با تیمارهای ۲/۵٪ و ۵٪ اختلاف معنی‌داری 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 معنی‌داری داشت. تیمار ۵٪ اینولین با کم ترین مقدار انرژی (۲۳٪ کم تر نسبت به نمونه‌ی شاهد)، در پایین‌ترین سطح تیمارها در این صفت قرار 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 گلوتن خمیر ترکیبی تولید شده دانستند که باعث محدودیت در اضافه نمودن آرد تارو می گردد(۲۱).

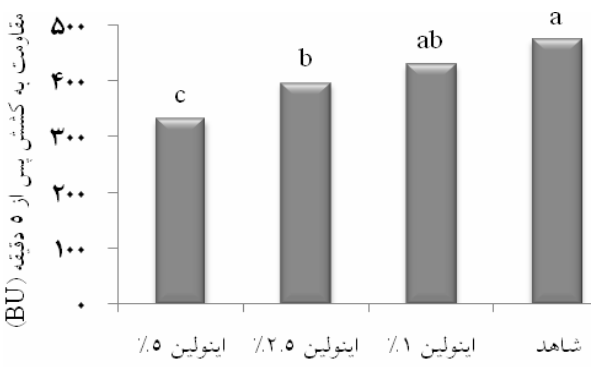
افزودن اینولین بر ویژگی قابلیت کشش در نتایج، نشان داد که نمونه‌ی شاهد اختلاف معنی‌داری با نمونه‌ی اینولین ۱٪ و ۲/۵٪ نداشته و اما بین نمونه‌های ۱٪ و ۲/۵٪ و ۵٪ اختلاف معنی‌داری دیده می‌شود (شکل۹). در بررسی افزودن مقادیر مختلف اینولین بر حداکثر مقاومت به کشش مشاهده گردید که نمونه‌ی شاهد به نسبت ۱٪، ۲/۵٪ و 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 نمونه‌ی۱٪ اینولین ارتباط معنی‌داری دیده نشد (شکل ۱۱). گرچه تاثیر افزودن اینولین در مقادیر ۱٪ تیمار مناسبی می‌باشد اما چون این تیمار با تیمار ۲/۵٪ اختلاف معنی داری ندارد می‌توان تیمار ۲/۵٪ را نیز به عنوان تیمار موثر در نظر گرفت. با افزایش مقدار اینولین، مقدار مقاومت نسبی حداکثر در کلیه‌ی تیمارها نسبت به شاهد کاهش یافت. بین مقادیر افزوده شده اینولین بر این خصوصیت اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ۱۲).

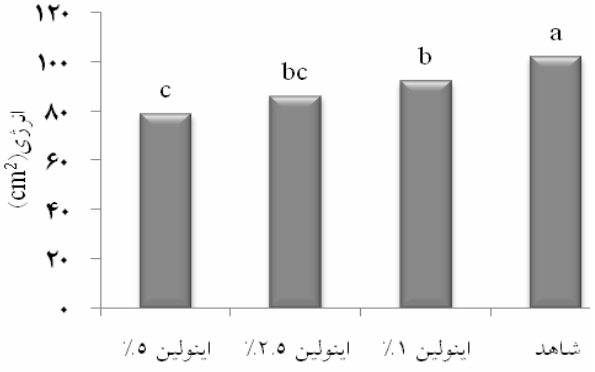
جدول ٤- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثرات اینولین بر ویژگی های خمیر ماکارونی در دستگاه اکستنسوگراف

میانگین مربعات ویژگی‌های خمیر ماکارونی							
منبع تغییرات	درجه‌ی آزادی	انرژی	مقاومت به کشش	کشش پذیری	حداکثرمقاومت به کشش	مقاومت نسبی استاندارد	حداکثر مقاومت نسبی
تکرار	۳	٤٦/۷	۱۹۰	۱۱۰	۱۸۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲
تیمار	۳	۳۸٦/۹**	۱٤۳۹۰**	۳۲٤**	۷۱٦۰**	۰/۳۱۱**	۰/۰۹۵**
خطای‌آزمایشی	۹	۳٦/۹	۱۲۵۱	۲۱	۸۰۰	۰/۰۵۸	۰/۰۲۲
ضریب تغییرات		٪٦/۸	٪۸/۷	٪۳/۳	٪۵/٦٤	٪۸/۲۳	٪٤/۲

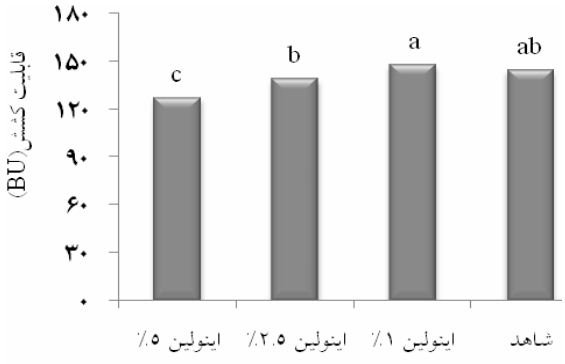
** معنی‌دار در سطح آماری ۱٪



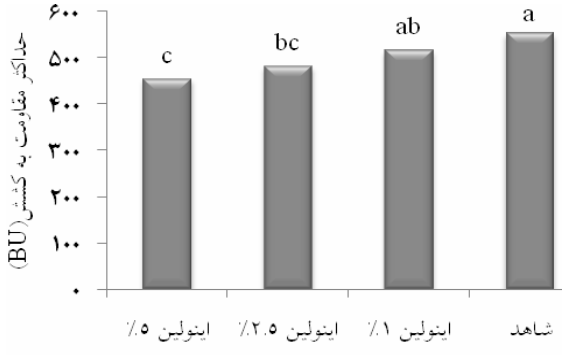
شکل۷. اثر درصدهای مختلف اینولین برمقاومت به کشش پس از ۵ دقیقه در اکستنسوگراف



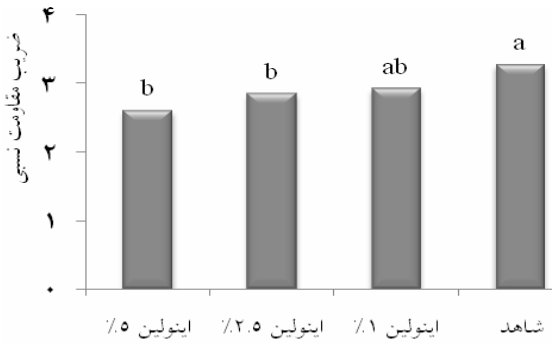
شکل۸. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار انرژی در اکستنسوگراف



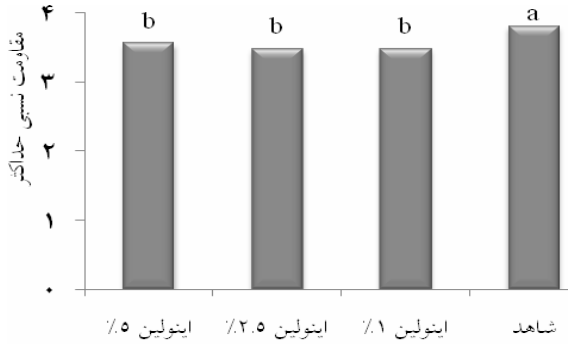
شکل۹. اثر درصدهای مختلف اینولین بر قابلیت کشش در اکستنسوگراف



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



شکل۱۱. اثر درصدهای مختلف اینولین برضریب مقاومت نسبی در اکستنسوگراف



شکل ۱۲. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقاومت نسبی حداکثر در اکستنسوگراف

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-تاثیر افزودن اینولین بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر ماکارونی در آلوئوگراف

نتایج تجزیه‌ی واریانس حاصل از صفات آلوئوگراف شامل فشار[1] (P)، طول[2] (L)، اندیس بادکردگی[3] (G)، انرژی[4] (W)، فشار/طول[5] (P/L) و اندیس کشش‌پذیری[6] (I_e) در جدول ۵ آمده است. نتایج، نشان می‌دهد که تیمار اینولین بر کلیه‌ی صفات مورد مطالعه، اثر معنی‌دار داشته است.

با افزایش مقدار اینولین، مقدار فشار خمیر کاهش یافت. بیش ترین مقدار فشار در نمونه‌ی شاهد و کم ترین 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 کلیه‌ی تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت(شکل ۱۳).

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 گلوتنی آرد ترکیبی و کاهش الاسیسته 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 معنی دار داشت. بین تیمار ۲/۵٪ و ۵٪ اینولین نیز اختلاف معنی داری 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 گلوتن و در نتیجه الاستیسیته خمیر را عامل آن دانست (۱۸).

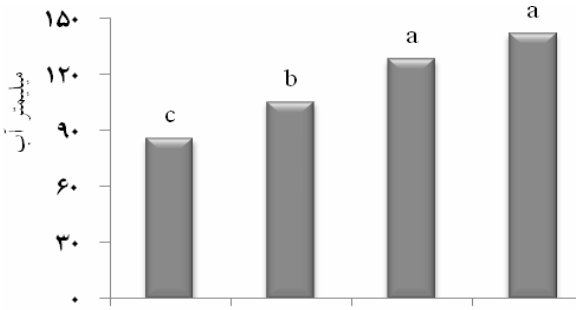
بررسی افزودن مقادیر مختلف اینولین بر شاخص بادکردگی، نتایج نشان داد که نمونه‌ی شاهد اختلاف معنی‌دار با نمونه‌ی ۲/۵٪ و ۵٪ داشته (به ترتیب ۲۴ و ۳۸٪ کم تر)اما با نمونه‌ی ۱٪ اختلاف آماری ندارد واین،نشان دهنده‌ی این است که هر چه اندیس بادکردگی کم تر باشد، مناسب‌تر است (شکل ۱۵). بنابراین، نمونه‌ی ۱٪ اینولین، 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.

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

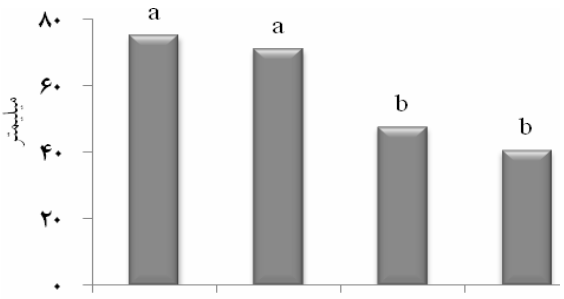
جدول ۵- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثرات اینولین بر ویژگی های رئولوژیکی خمیر ماکارونی در دستگاه آلوئوگراف

		میانگین مربعات ویژگی‌های خمیر ماکارونی					
منبع تغییرات	درجه آزادی	P	L	G	W	P/L	Ie
تکرار	۳	۳۰/۹	۲۵/۷	٦/٤	٤٦٥/٨	۰/۰۹	۲۲/۹
تیمار	۳	۲٤٦٦**	۱۱٦٤/۷**	۲۳/۷**	۳۱۲/۸**	٤/۸**	۸۹**
خطای‌آزمایشی	۹	۱۱۲/۲	۲۰/۲	٤/۲	۹۲/۹	۰/۱۵	۸/۳
ضریب تغییرات		٪۹/۲	٪۷/٦	٪۱۲/۲	٪٤/٤	٪۱۷/۵	٪٦/۱

** معنی دار در سطح آماری ۱٪



شکل ۱۳. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار فشار آلوئوگراف

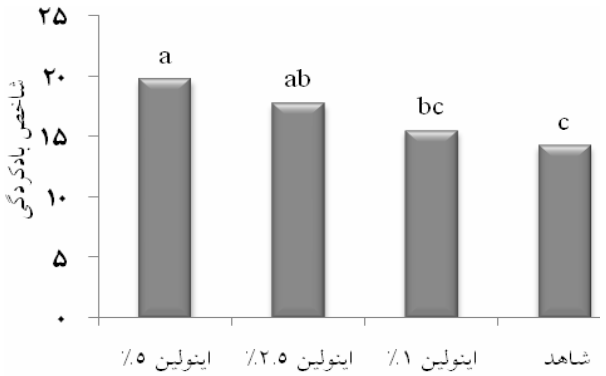


شکل ١٤. اثر درصدهای مختلف اینولین بر طول آلوئوگراف

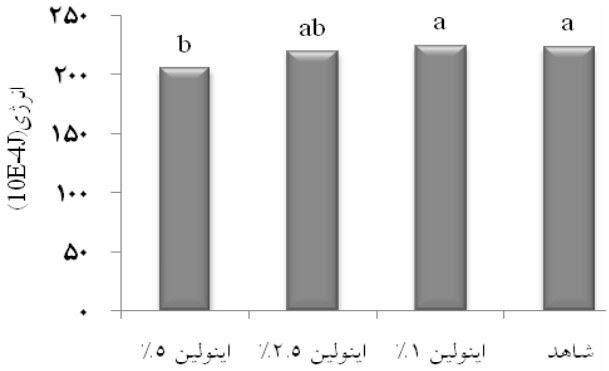
لذا افزودن مقادیر بالای ۲/۵٪ سبب افزایش بادکردگی شده و مقادیر بالاتر از نظر خواص فیزیکی مطلوب نمی‌باشد. افزودن مقادیر مختلف اینولین بر انرژی آلوئوگراف، تاثیرات مختلفی از خود نشان داد به طوری که نمونه‌ی ۱٪ اینولین نسبت به شاهد انرژی (۰/۰۵٪) بیش تری داشت اما این اختلاف، بسیار ناچیز و غیرمعنی‌دار بود. تنها نمونه‌ی ۵٪ اختلاف معنی‌دار 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، مناسب‌تر می‌باشد.افزودن اینولین باعث کاهش شاخص فشار/طول گردید و این کاهش، بسیار معنی‌دار بود به طوری‌که 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 (شکل۱۷). اثرات متفاوتی در رابطه با افزودن اینولین بر شاخص کشش‌پذیری مشاهده شد. ابتدا با افزایش اینولین در مقدار ۱٪ اندیس کشش‌پذیری کاهش ۱۱درصدی نسبت به شاهد نشان داد. اما افزودن ۲/۵٪ اینولین باعث افزایش ۱۳درصدی اندیس کشش‌پذیری شد که این افزایش نسبت به نمونه‌ی شاهد نیز بسیار معنی‌دار بود (شکل ۱۸).

۳-٤-تاثیر افزودن اینولین بر ماده‌ی خشک خمیر ماکارونی

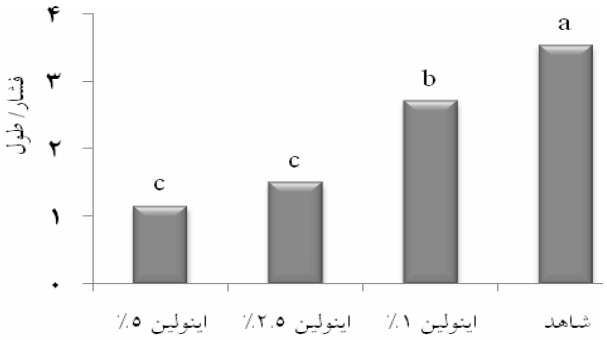
نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های حاصل از افزودن اینولین (جدول ۶)، نشان می‌دهد که این تیمار بر روی مقدار پروتئین و خاکستر موجود، تاثیر معنی‌داری نداشته است. در مجموع چنین بر می‌آید که گرچه اینولین بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر ماکارونی اثر گذار می‌باشد اما بر خصوصیات ماده‌ی خشک ماکارونی تاثیری نشان نداده است.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



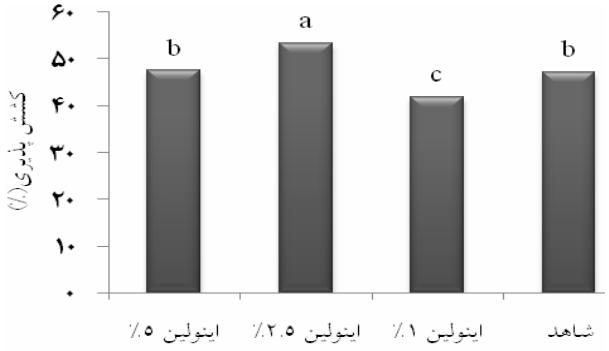
شکل۱۵. اثر درصدهای مختلف اینولین بر شاخص بادکردگی در آلوئوگراف



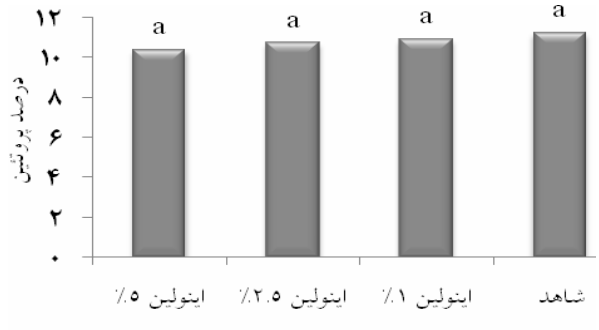
شکل ۱٦. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار انرژی در آلوئوگراف



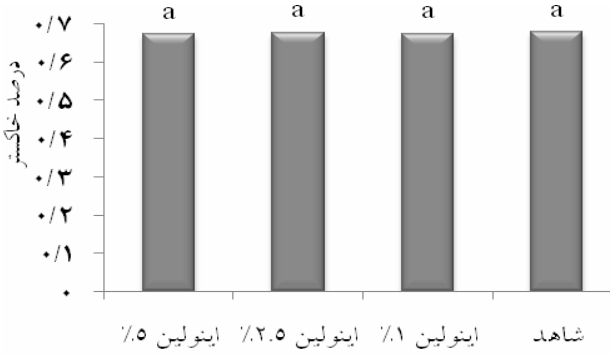
شکل ۱۷. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار فشار/ طول در آلوئوگراف



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



شکل ۱۹. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار پروتئین ماکارونی



شکل ۲۰. اثر درصدهای مختلف اینولین بر مقدار خاکستر ماکارونی

جدول٦- نتایج تجزیه‌ی واریانس اثرات اینولین بر ماده‌ی خشک ماکارونی

میانگین مربعات ویژگی‌های خمیر ماکارونی			
منبع تغییرات	درجه‌ی آزادی	پروتئین	خاکستر
تکرار	۳	۰/۱٤۱	۰/۰۰۷
تیمار	۳	۰/۵۰۲ ns	۰/۰۰۳ ns
خطای‌آزمایشی	۹	۰/۲۸٤	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات		٤/۹٤	۵/۹٤

ns غیرمعنی‌دار از لحاظ آماری

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سعی شد با توجه به بهینه‌سازی فرآیند تولید از فرمولاسیونی استفاده شود که جنبه‌ی کیفی محصول را حفظ نماید ، بنابر 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- سپاس گزاری

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

٦-منابع

1. Kim, Y., Faqih, M. N. and Wang, S. S. 2001. Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers*, 46, No. 2, 135-145.
2. Silva, R. F. 1996. Use of inulin as a natural texture modifier. *Cereal Foods World*, 41, No. 10, 792-795.
3. Ozer, D., Akin, S. and Ozer, B. 2005. Effects of inulin and lactulose on survival of Lactobacillus Acido philus LA-5 and Bifidobacterium Bifidum BB- 02 in Acidophilus- Bifidus yogurt. *Food science and Technology International,* 11-19.
4. Olieira, 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.
5. Probert, M., Apajaiahti, 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.
6. Schrezenmeir, J. and Derese, M. 2001. Probiotics, Prebiotics and synbiotics-approaching a definition. *American Society for Clinical Nutrition*, 73: 361-364.
7. Coudray, C., Bellanger, J., Castiglia-Delavaud, C., Rémésy, C., Vermorel, M. and Rayssignuier, 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Shuey, W. C. 1975. Practical instruments for rheological measurements on wheat products. *Cereal Chemistry*. 52: 42-81.
12. Alami, M., Leelavathi, K. and Prasada, R. 2007. Spaghetti making potential of indian

durum wheat species in relation to their protein, yellow pigment and enzyme content. *Food Chem*istry, 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.
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.