نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 2، خرداد- تیر 1397 ص 449-439

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 2, June. July. 2018, p. 439-449

تاثیر پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم بر خواص رئولوژیکی خمیر نان باگت

ریحانه مقدسی[1]- سارا موحد[2*]- حسین احمدی چناربن[3]

تاریخ دریافت: 1395/10/23
تاریخ پذیرش: 1396/06/29

چکیده

نان به‌عنوان یک ماده غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و افزودن برخی پری‌بیوتیک‌ها نظیر اینولین و نشاسته مقاوم به آن می‌تواند سبب بهبود ارتقا سلامت افراد گردد. در پژوهش حاضر، تاثیر پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم بر خواص رئولوژیکی خمیر مورد بررسی قرار گرفتند. در این راستا از سطوح 2/5 و 5 درصد اینولین و نشاسته مقاوم استفاده گردید. با توجه به نتایج، در آزمون‌های فارینوگراف خمیر، مقدار جذب آب، زمان گسترش خمیر، زمان پایداری خمیر، افزایش و درجه نرم شدن خمیر پس از 10 و 12 دقیقه کاهش یافت. همچنین بر اساس نتایج حاصل از آزمون اکستنسوگراف، میزان انرژی خمیر، مقاومت به کشش خمیر، عدد نسبت خمیر، افزایش ولی قابلیت کشش آن کاهش نشان داد. در مجموع با لحاظ نمودن نتایج حاصل از کلیه آزمایش ها، تیمار ترکیبی D8 (حاوی 5 درصد اینولین و 5 درصد نشاسته مقاوم) به‌عنوان بهترین تیمار معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: اینولین، نشاسته مقاوم، پری‌بیوتیک، رئولوژیکی خمیر.

مقدمه

مطالعات رئولوژیکی یکی از روش‌های آسان برای اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت و بافت محصولات غذایی است. ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر، چگونگی تغییر شکل و جریان یافتن یا گسیختگی آن را تحت تنش به‌کار رفته توصیف می‌کنند و می‌توانند به‌عنوان ابزاری در انتخاب مواد خام اولیه مناسب استفاده شوند. خواص رئولوژیکی خمیر نان، بیانگر چگونگی رفتار آن در شرایط مختلف فرآیند است و از نظر فرمولاسیون محصول، بهینه‌سازی، کنترل کیفیت و افزایش ظرفیت فرآیند دارای اهمیت است. در واقع خواص رئولوژی خمیر شامل بخشی از خواص فیزیکی خمیر می‌باشد که هنگام حرکت یا تغییر حالت از خود نشان می‌دهد. استفاده از برخی افزودنی‌ها سبب بهبود خواص رئولوژیکی خمیر و نان‌های تولیدی می‌شود (Kulamarva, 2005). خمیر نانوایی یک شبکه پیوسته از گلوتن‌های هیدراته است که گرانول‌های نشاسته در آن پراکنده شده‌اند. آب در خمیر به‌صورت توده یا به‌صورت قطره‌های کوچک در شبکه پروتئین یا اطراف گرانول‌های نشاسته وجود داشته و حضور ترکیبات فیبری و پری‌بیوتیک‌ها در کنار گلوتن و نشاسته که تمایل زیادی به جذب آب آرد دارند، سبب تغییراتی در پراکندگی آب در ساختار خمیر می‌گردد (Skendi *et al.*, 2009). همچنین وجود گروه هیدروکسیل در ساختار فیبرها، در ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر و اتصال بیشتر با آب موثر بوده و به همین دلیل جذب آب در فارینوگراف افزایش پیدا می‌کند (Ziadul *et al.*, 2004 ; Cavallero *et al.*, 2002). افزایش جذب آب آرد سبب می‌شود تا شبکه گلوتنی با نظم بیشتری تشکیل شود و در نتیجه ساختار مناسب‌تری قبل از پخت نان حاصل گردد. افزایش جذب آب در فارینوگراف، سبب افزایش زمان نگهداری محصول، افزایش وزن نان، بهبود قابلیت پهن کردن خمیر، کاهش از دست رفتن رطوبت فرآورده حین پخت و بهبود جزئی طعم نان می‌گردد. آب جذب شده طی فرآیند پخت، سبب ایجاد بافت مرطوب در نان شده و آزاد شدن آن طی دوره نگهداری در کاهش سفتی و شکنندگی بافت نان موثر است (Abdel- Aal *et al.*, 2002). از سوی دیگر افزایش مقاومت به کشش در اکستنسوگراف، در افزایش پایداری خمیر نانوایی بسیار موثر است. در همین راستا وجود برخی ترکیبات نظیر لیپیدها، آمیلوز، ترکیبات نشاسته‌ای، پری‌بیوتیک‌ها و ترکیبات فیبری در افزایش مقاومت به تنش خمیر نانوایی موثر بوده به عبارتی دارای اثر پایدارکنندگی در خمیر هستند

1 و 2- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاداسلامی، ورامین، ایران.
3- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاداسلامی، ورامین، ایران.
(*مسئول مکاتبات: Email:movahed@iauvaramin.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1396i0.61764

(Jane *et al*., 1999). مجاری گوارشی انسان یکی از پیچیده‌ترین اکوسیستم‌های میکروبی شناخته شده می‌باشد که معمولا دارای 10^{11}-10^{10} عدد باکتری در هر گرم از محتوای خود می‌باشد. فعالیت و هم‌زیستی باکتری‌های موجود در دستگاه گوارش باعث جلوگیری از رشد انواع باکتری‌های پاتوژن، ارتقای سیستم ایمنی، اثرات مثبت بر روی سلامت کولون و بهبود تغذیه میزبان می‌شود. به همین دلیل در سال های اخیر تمایل زیادی به مصرف غذاهای پری‌بیوتیک پدید آمده است (Uyeno *et al*., 2008). پری‌بیوتیک‌ها کربوهیدرات‌هایی هستند که در دستگاه گوارش غیرقابل هضم بوده و در برابر تجزیه و جذب شدن در قسمت‌های فوقانی لوله گوارشی از خود مقاومت نشان می‌دهند و تنها به‌طور اختصاصی و حداقل به‌وسیله یک نوع از باکتری‌های پروبیوتیک موجود در کولون، متابولیزه و باعث تحریک رشد یا فعالیت آن شده و این امر باعث تقویت سیستم ایمنی میزبان می‌گردد (Gibson & Roberfroid, 1995) اینولین و نشاسته مقاوم جزء پری‌بیوتیک‌ها هستند. اینولین در بیش از 36000 گونه گیاهی نظیر موز، پیاز، کنگرفرنگی، مارچوبه، تره‌فرنگی، ریشه کاسنی، سیر، سیب‌زمینی ترشی وجود دارد اما منبع اصلی استخراج آن ریشه کاسنی می‌باشد. علت اصلی استفاده از گیاه کاسنی به‌عنوان منبع اصلی اینولین، وجود گلوکز و زنجیره‌های بلند فروکتوز در آن است (Ozer *et al*., 2005). اینولین نوعی فیبر محلول در آب و نوعی فیبر رژیمی است که توسط آنزیم‌های گوارشی بخش فوقانی دستگاه گوارش جذب نشده و کم و بیش توسط فلور میکروبی کولون تخمیر یا متابولیزه می‌گردد (Costin & Segal, 1999). فیبرهای رژیمی از نوع اینولین به‌عنوان پری‌بیوتیک در انسان عمل می‌کنند و به این دلیل که دارای باندهای (2 و1)B گلیکوزیدی می‌باشند، در دستگاه گوارش انسان قابل هضم نیستند در حالیکه توسط میکروفلورای روده بزرگ می توانند مورد استفاده قرار گیرند (Barclay *et al*.,2010). نشاسته مقاوم به هضم، نوعی دیگر از ترکیبات پری بیوتیک می‌باشد که به‌عنوان یک فیبر غذایی عملکرده و سبب افزایش ارزش تغذیه‌ای شده و در حال حاضر در صنایع غذایی کاربرد وسیعی داشته و می‌تواند بافت فرآورده نهایی را بهبود بخشد. نشاسته مقاوم به هضم که اصطلاحا آن را نشاسته مقاوم می‌گویند به‌عنوان سوبسترایی مناسب برای فلور میکروبی روده عمل کرده و منجر به تولید متابولیت‌هایی مانند اسیدچرب کوتاه زنجیر به‌خصوص اسید استیک، اسید پروپیونیک و اسید بوتیریک می‌شود. اسید بوتیریک توسط باکتری‌های روده متابولیزه شده و نقش مهمی در تامین غذا و انرژی سلول‌های روده ایفا می‌کند (Rodriguez-Cabezas *et al*., 2010). محبی و همکاران (1395) به بررسی اثر پری‌بیوتیک‌های بتاگلوکان و نشاسته مقاوم، بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر محصولات تخمیری پرداختند. در این پژوهش پری‌بیوتیک‌های بتا گلوکان در سطوح 0/8، 1 و 1/2 درصد و نشاسته مقاوم در سطوح 5/5، 8 و 10/5درصد استفاده گردیدند. طبق نتایج آزمون رئولوژی خمیر، میزان جذب آب خمیر با افزایش مقادیر بتاگلوکان و نشاسته مقاوم افزایش یافت، در حالیکه زمان گسترش خمیر و عدد کیفیت فارینوگراف بتاگلوکان شبیه نمونه شاهد بود ولی مقاومت خمیر آن کاهش نشان داد. همچنین عدد کیفیت فارینوگراف و مقاومت خمیر در تیمارهای دارای نشاسته مقاوم، کاهش پیدا کرد. به‌علاوه بتا گلوکان تاثیر بیشتری بر افزایش درجه سستی خمیر داشت در حالیکه استفاده از دو ترکیب مذکور، سبب افزایش مقاومت به کشش، مقدار انرژی و قابلیت کشش در مقایسه با نمونه کنترل گردید (محبی و همکاران، 1395). هگر و همکاران (2011) تاثیر فیبرهای محلول اینولین و بتاگلوکان را بر کیفیت خمیر و نان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بتاگلوکان باعث افزایش الاستیسیته خمیر می‌شود در حالیکه اینولین تاثیر قابل توجهی در ساختار خمیر نداشت. به‌علاوه با افزایش سطوح مصرف اینولین و بتا گلوکان، حجم نان‌های فاقد گلوتن کاهش یافت، به علاوه مشخص گردید که هر دو ترکیب مذکور سبب کاهش حجم مخصوص نان‌های فاقد گلوتن می‌شوند ضمن آن‌که اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های حسی، سفتی و بیاتی نان‌های تولیدی داشتند (Hager *et al*., 2011). اراویند و همکاران (2012) به بهینه‌سازی سطوح نشاسته مقاوم نوع دوم و سوم در گندم دوروم ماکارونی به‌منظور کاهش قابلیت هضم در شرایط آزمایشگاهی با حفظ فرآوری و خصوصیات حسی پرداختند. سطوح مصرفی شامل۱۰، ۲۰ و50 درصد سمولینا با نشاسته مقاوم نوع دوم و سطوح 10 و20 درصد جایگزینی با نشاسته مقاوم نوع سوم بودند. طبق نتایج، اثرات معنی‌داری بر میزان افت پخت، بافت و خصوصیات حسی محصول به وجود نیامد فقط اندکی رنگ زرد ماکارونی کاهش یافت. به علاوه افزودن نشاسته مقاوم در ماکارونی منجر به کاهش هضم نشاسته آزمایشگاهی نسبت به گندم دوروم گردید (Aravind *et al*., 2012). سکارا و همکاران (2013) به اثرات ترکیبی اینولین، پکتین و صمغ گوار بر کیفیت نان منجمد نیمه آماده پرداختند. با توجه به نتایج، نان‌های غنی شده با اینولین، از عطر و طعم بهتری نسبت به نان شاهد برخوردار بودند اما اثر متقابلی میان اینولین و پکتین مشاهده نشد در حالیکه این تاثیر میان اینولین و گوار معنی‌دار بود. همچنین پکتین و گوار سبب بهبود رطوبت و انسجام نان‌ها شدند ولی تعاملات قابل توجهی به‌منظورکاهش حجم، افزایش سختی و قابلیت جویدن داشتند. همچنین در نان‌های غنی شده، میزان حجم مخصوص و قابلیت جویدن بالاتر از نمونه شاهد گزارش گردید (Skara *et al*., 2013). افشین‌پژوه و همکاران (2014) به بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و رئولوژیکی خمیر پاستای حاوی اینولین پرداختند. سطوح مصرفی شامل صفر، 1، 2/5و 5 درصد بودند. با توجه به نتایج، با افزایش سطح مصرف اینولین، زمان تخمیر، پایداری خمیر، عدد کیفیت فارینوگراف، انرژی، مقاومت نسبت به کشش و نیز الاستیسیته خمیرکاهش یافت در حالیکه جذب آب، شاخص تورم و طول

آلوئوگراف با افزایش درصد اینولین افزایش پیدا نمود. قابل توجه این که تیمار حاوی 2/5% اینولین نسبت به سایر سطوح برتری نسبی نشان داد (Afshinpajouh *et al.*, 2014). ایران‌شاهی و همکاران (2014) به بررسی تاثیر اینولین و بتاگلوکان بر شدت بیات شدن نان بربری پرداختند. طبق نتایج، بتاگلوکان، آب بیشتری در مقایسه با نشاسته جذب نمود که این عمل سبب کاهش سفتی نان های تولیدی گردید. درحالیکه اینولین زنجیره بلند (HPX) در افزایش حجم، طعم و بهبود کیفیت نان‌های تولیدی بسیار موثرتر بود(Iranshahi *et al.*, 2014). بودریک و همکاران (2015) به بررسی تاثیر روش تخمیر و افزودن روغن گیاهی بر تشکیل نشاسته مقاوم در نان چاودار پرداختند. طبق نتایج، روغن پالم تاثیر قابل توجهی بر تشکیل نشاسته مقاوم در نان ها داشت. در حالیکه زمان تخمیر و دما تاثیر معنی‌داری بر آن نداشتند. همچنین تاثیر خمیرمایه در تشکیل نشاسته مقاوم در نان چاودار، بیشتر از تخمیر خالص نان‌های گندم و تخمیر مخلوط گندم بود که احتمالا دلیل آن را می‌توان به افزایش میزان اسیدهای آلی در فرآیند تخمیر نسبت داد (Buddrick *et al.*, 2015). در سال‌های اخیر به دلیل افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان به اثرات سلامت‌بخش مواد پری‌بیوتیک، تمایل زیادی به سمت مصرف غذاهای فراسودمند به‌خصوص در زمینه محصولات نانوایی پدید آمده است. به‌عبارتی غنی‌سازی نان با منابع پری‌بیوتیک می‌تواند نقش مهمی در دستیابی به مزایای سلامتی داشته باشد و آن را به غذایی فراسودمند تبدیل سازد. افزودن پلی‌ساکاریدای اینولین و نشاسته مقاوم به نان سبب می‌شود که این مواد یا به‌طور آهسته هضم شوند و یا غیرقابل هضم باشند که نتیجه آن تنظیم سطح گلوکز خون، تنظیم پاسخ‌های گلایسمیک و لیپیدمیک است. با توجه به موارد مطرح شده تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تاثیر استفاده از پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم بر خواص رئولوژیکی خمیر نان های باگت انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

ابتدا مواد اولیه جهت انجام آزمایش شامل آرد گندم (اتحاد کرج)، اینولین بلند زنجیر استخراج شده از گیاه کاسنی با درجه پلیمریزاسیون 10- 60 (آلمان، Beneo)، نشاسته مقاوم به هضم (Hi-maize260)، نشاسته ذرت با آمیلوز بالا که به‌صورت پودری نرم، سفید رنگ و بی بو می‌باشد (آلمان، National starch food innovation)، تهیه شدند. با توجه به تعداد تیمارهای مورد آزمون حدودا 20 کیلوگرم آرد گندم، 1 کیلوگرم نشاسته مقاوم به هضم و 1کیلوگرم اینولین خریداری شد. تیمارهای مورد استفاده در تحقیق در جدول 1 ارایه شده است.

جدول 1- تیمارهای مورد آزمون در تحقیق

تیمارها	کد تیمار
خمیر نانوایی فاقد اینولین و نشاسته مقاوم، شاهد	C
خمیر نانوایی حاوی 2/5 درصد اینولین بر حسب وزنی آرد	D1
خمیر نانوایی حاوی 5 درصد اینولین بر حسب وزنی آرد	D2
خمیر نانوایی حاوی 2/5 درصد نشاسته مقاوم بر حسب وزنی آرد	D3
خمیر نانوایی حاوی 5 درصد نشاسته مقاوم بر حسب وزنی آرد	D4
خمیر نانوایی حاوی 2/5 درصد اینولین + 2/5 درصد نشاسته مقاوم بر حسب وزنی آرد	D5
خمیر نانوایی حاوی 2/5 درصد اینولین +5 درصد نشاسته مقاوم بر حسب وزنی آرد	D6
خمیر نانوایی حاوی 5 درصد اینولین + 2/5 درصد نشاسته مقاوم بر حسب وزنی آرد	D7
خمیر نانوایی حاوی 5 درصد اینولین + 5 درصد نشاسته مقاوم بر حسب وزنی آرد	D7

آزمون‌های شیمیایی شامل رطوبت (AACC، شماره 16-44)، خاکستر (AACC، شماره 01-08)، پروتئین (AACC، شماره 12-46)، چربی (AACC، شماره 10-30)، گلوتن مرطوب (AACC، شماره 12A-38)، فیبر (AACC، شماره 10-32) و pH (AACC، شماره 2-52) بر روی نمونه آرد گندم انجام شدند (Anonymous, 2003). در ادامه نمونه‌های حاوی مخلوط آرد گندم، اینولین و نشاسته مقاوم و نیز نمونه شاهد، طبق جدول 1 آماده گردیدند و پس از آن تحت آزمون‌های رئولوژیکی توسط دستگاه فارینوگراف، که به‌منظور تعیین مقاومت خمیر در برابر زدن و پایداری خمیر، گسترش خمیر و درجه سست شدن خمیر پس از 10 و 12 دقیقه به‌کار می‌رود و دستگاه اکستنسوگراف که جهت بررسی قابلیت کشش خمیر در اثر نیروی وارد شده به آن، مقاومت در برابر کشش و نسبت این دو به یکدیگر (مقاومت کشش/ قابلیت کشش خمیر) استفاده می‌شود، قرار گرفتند. ابتدا کلیه مواد، به مقدار 300 گرم در داخل محفظه مخلوط‌کن فارینوگراف، ریخته شدند. سپس توسط همزن دستگاه فارینوگراف (برابندر، آلمان)، عمل مخلوط شدن انجام گردید و در ادامه خواص رئولوژیکی خمیر شامل درصد جذب آب خمیر، زمان گسترش خمیر، زمان پایداری خمیر، درجه نرم شدن خمیر پس از 10 و 12 دقیقه، عدد کیفیت فارینوگراف اندازه‌گیری

شدند. در ادامه خمیرها به‌صورت چونه گردی در آمده و در اتاق تخمیر با دمای حدود 30 درجه سلسیوس برای سه دوره زمانی 45، 90 و 135 دقیقه‌ای گرمخانه‌گذاری گردیدند و سپس با استفاده از دستگاه اکستنسوگراف (برابندر، آلمان)، انرژی خمیر، مقاومت به کشش خمیر، قابلیت کشش خمیر، عدد نسبت خمیر مورد سنجش قرار گرفتند (Anonymous,2000). آزمون‌های شیمیایی بر روی آرد و آزمون‌های رئولوژی خمیر در مرکز پژوهش‌های غلات واقع در شهر تهران انجام شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

با توجه به جدول 1، تعداد کل تیمارهای تحقیق 9 عدد در نظر گرفته شد و از آنجا که آزمون‌ها در سه تکرار انجام شدند، در مجموع 27 واحد آزمایشی تحت آزمون‌های شیمیایی و رئولوژیکی قرار گرفتند. در ادامه به‌منظور تجزیه و تحلیل داده های حاصل از آزمایش از طرح کاملا تصادفی استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال $\alpha=5\%$ و توسط نرم‌افزار SPSS نسخه 16 انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی نتایج حاصل از آزمون‌های شیمیایی آرد

نتایج مربوط به آزمون‌های شیمیایی انجام شده بر روی آرد گندم مصرفی در جدول 2 نشان داده شده است. با توجه به نتایج، آرد گندم مطابق استاندارد ملی ایران به شماره 103، جهت تولید خمیر نان باگت مناسب بود (بی‌نام، 1390).

جدول 2- ویژگی‌های شیمیایی آرد گندم مصرف شده در تولید خمیر

نوع ماده	رطوبت(%)	خاکستر(%)	پروتئین(%)	چربی (%)	pH	گلوتن مرطوب(%)	فیبر(%)
آرد گندم	13/02	0/680	11/93	1/255	5/9	29/65	0/63

ارزیابی نتایج آزمون‌های فارینوگراف نمونه‌های خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم

نتایج مقایسه میانگین تاثیر مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم بر ویژگی های فارینوگرافی نمونه‌های خمیر در جدول 3 نشان داده شده است.

جدول 3- نتایج مقایسه میانگین آزمون فارینوگراف در نمونه های خمیر نان باگت

تیمار	جذب آب(%)	زمان گسترش خمیر(min)	زمان پایداری خمیر(min)	درجه نرم شدن خمیر پس از 10 دقیقه(B.U)	درجه نرم شدن خمیر پس از 12 دقیقه(B.U)	عدد کیفیت (والوریمتری)
C	51/90±0/1^{e}	1/40±0/02^{f}	1/95±0/3^{f}	120± 5^{a}	153/50± 5^{a}	23±2^{g}
D1	53/73±0/2^{d}	1/46±0/01^{e}	2/15±0/45^{ef}	105±3^{b}	146/50± 4^{b}	26/50±1^{f}
D2	54/47±0/2^{c}	1/50±0/02^{d}	2/25±0/3^{ef}	99±0/1^{c}	123± 2^{d}	27/50±1^{f}
D3	53/90±0/1^{d}	1/46±0/01^{e}	2/25±0/3^{ef}	102±4^{bc}	130/50± 3^{c}	27±1^{f}
D4	54/37±0/3^{c}	1/60±0/01^{c}	2/80±0/3^{d}	67±4^{e}	90± 5^{f}	32± 2^{d}
D5	54/67±0/2^{c}	1/50±0/02^{d}	2/50±0/3de	91±2^{d}	116/30± 3^{e}	28± 3^{e}
D6	56/87±0/3^{b}	1/75±0/02^{b}	5/96±0/05^{b}	48/5±2^{g}	76± 3^{g}	69± 3^{b}
D7	56/57±20^{b}	1/70±0/03^{b}	4/10±0/04^{c}	64/5±2 ^{f}	89± 3^{f}	42/50± 2^{c}
D8	58/30±0/1^{a}	2/96±0/03^{a}	6/96±0/06^{a}	42±1^{h}	67/33± 3^{h}	77/50± 3^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال 5 درصداختلاف معنی‌دار ندارند.

تیمار شاهد (C)، تیمار حاوی 2/5 درصد اینولین(D1)، تیمار حاوی 5 درصد اینولین (D2)، تیمار حاوی 2/5 درصد نشاسته مقاوم (D3)، تیمار حاوی 5 درصد نشاسته مقاوم (D4)، تیمار حاوی حاوی 2/5 درصد اینولین + 2/5 درصد نشاسته مقاوم(D5)، تیمار حاوی حاوی 2/5 درصد اینولین +5 درصد نشاسته مقاوم (D6)، تیمار حاوی 5 درصد اینولین + 2/5 درصد نشاسته مقاوم (D7)، تیمار حاوی حاوی 5 درصد اینولین + 5 درصد نشاسته مقاوم (D8).

ارزیابی نتایج آزمون جذب آب خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم

با توجه به جدول 3، تیمار D8 از بیشترین مقدار جذب آب و تیمار C (شاهد) از کمترین مقدار صفت مذکور در مقایسه با سایر تیمارها برخوردار بودند ضمن آنکه بین دو تیمار مذکور اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید ($p\leq0.05$). به عبارت دیگر افزودن سطوح مختلف

پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم موجب افزایش معنی‌دار درصد جذب آب خمیر در مقایسه با نمونه شاهد گردید. علت این امر می‌تواند مربوط به حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختار پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم باشد که سبب ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر گردید و به همین دلیل درصد جذب آب در تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت (Zaidul *et al*., 2004). افزایش جذب آب در آرد موجب می‌شود تا شبکه گلوتنی منظم‌تر تشکیل شود و ساختار مناسب‌تری قبل از پخت حاصل شود. از سوی دیگر آب جذب شده طی فرآیند پخت، سبب ایجاد بافت مرطوب در نان تازه می‌گردد و آزاد شدن آن طی دوره نگهداری نان، سبب کاهش سفتی و شکنندگی بافت نان‌های حاصل می‌شود (Abdel-Aal *et al*., 2002). نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات محبی و همکاران (1395) بر ویژگی جذب آب خمیر مطابقت نشان داد.

ارزیابی نتایج آزمون زمان گسترش خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم

زمان گسترش خمیر عبارت است از زمان لازم برای عمل‌آوری خمیر که از لحظه ورود منحنی به خط 500 واحد برابندرتا رسیدن به بالاترین مقاومت خمیر را شامل می‌شود. با توجه به جدول 3، تمامی تیمارها از نظر زمان گسترش خمیر، نسبت به شاهد اختلاف آماری معنی‌دار نشان دادند. در همین راستا بیشترین زمان گسترش خمیر در تیمار D8 و کمترین مقدار آن در تیمار C (شاهد) مشاهده گردید($p\leq0.05$). به‌عبارت دیگر کاربرد اینولین و نشاسته مقاوم در سطوح مختلف، سبب افزایش معنی‌دار زمان گسترش خمیر نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد گردید. علت نتیجه حاصل می‌تواند مربوط به حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختار پری‌بیوتیک‌های مصرفی باشد که سبب ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر با آب گردیدند نیز سبب افزایش زمان گسترش خمیر گردید (Zaidul *et al*., 2004). اضافه کردن اینولین و نشاسته مقاوم به خمیر، برهمکنش‌های میان اجزای خمیر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به عبارتی افزودن فیبرها یا پری‌بیوتیک‌ها به آرد همواره با نتایج متفاوتی همراه بوده است. این تفاوت به خاطر فعل و انفعالات مختلف بین ترکیبات مذکور با پروتئین گلوتن خمیر است. علت افزایش زمان گسترش خمیر در تحقیق حاضر، حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختار اینولین و نشاسته مقاوم بوده که سبب ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر و متعاقبا اتصال بیشتر با آب می‌شود. در واقع پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های پیوندی H- با OH- بین گلوتن و اینولین و نشاسته مقاوم تشکیل می‌گردد (موحد، 1390). همچنین اینولین و نشاسته مقاوم، پراکندگی آب را در ساختار خمیر تغییر می‌دهند به‌گونه‌ای که حضور تعداد زیاد گروه‌های هیدروکسیل در ساختار آن‌ها در زمان تشکیل خمیر حاصل نقشی اساسی دارند. از سویی بین پری‌بیوتیک‌های نامبرده با گلوتن می‌تواند رقابت بر سر جذب آب صورت پذیرد که این مسئله احتمالا بر ساختار خمیر و زمان گسترش خمیر تاثیرگذار است (Skendi *et al*., 2009). Frutos و همکاران (2008) در تحقیقات خود عنوان نمودند که با افزودن اینولین به‌صورت پودر یا ژل، زمان گسترش خمیر زیاد می‌شود. از سوی دیگر Karolini و همکاران (2007) بیان نمودند که افزودن 1 تا 4 درصد اینولین، زمان گسترش خمیر را تا حد زیاد افزایش داده و این امر منجر به تقویت خمیر حاصل می‌گردد.

ارزیابی نتایج آزمون زمان پایداری خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم

طبق جدول 3، بیشترین زمان پایداری خمیر در تیمار D8 و کمترین مقدار آن در تیمار C (شاهد) محاسبه شد. قابل توجه این که اختلاف بین تیمارها معنی‌دار بود($p\leq0.05$). به عبارت دیگر افزودن پری‌بیوتیک‌های مذکور در سطوح مختلف، موجب افزایش معنی‌دار زمان پایداری خمیر نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد گردیدند. علت این نتیجه وجود اتصالات هیدروژنی و پیوندهای هیدروکسیل بین پروتئین گلوتن که اجزای آن گلوتنین و گلیادین می‌باشد، با پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم است که سبب افزایش پایداری و استحکام خمیرهای تولیدی شدند (Meyer & Peters, 2009). همچنین نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات Wang و همکاران (2002) مطابقت داشت که بیان نمودند اینولین بلند زنجیر در مقایسه با انواع کوتاه زنجیر یا متوسط زنجیر، در افزایش زمان پایداری خمیرهای حاصل در مقایسه با نمونه شاهد تاثیرگذارترند.

ارزیابی نتایج آزمون درجه نرم شدن خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم پس از 10 دقیقه

طبق جدول 3، تیمار شاهد از بیشترین درجه نرم شدن خمیر و تیمار D8 از کمترین مقدار آن برخوردار بودند ضمن آن که بین کلیه تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید ($p\leq0.05$). به عبارت دیگر با افزایش استحکام خمیر، به دلیل پیوند هیدروژنی ناشی از پیوندهای عرضی هیدروکسیل H– و OH– ، بین پروتئین گلوتن با نشاسته مقاوم و اینولین، درجه سست شدن خمیرهای مذکور کاهش یافت (Silva, 1996; Chimrov *et al*., 1981). نتایج حاصل با نتایج تحقیقات چیمرو و همکاران (1981) تطابق نشان داد که عنوان نمودند افزودن مقادیر کم اینولین، تغییرات ناچیزی در ساختار خمیر ایجاد می کند در حالیکه وجود سطوح بالای آن سبب پایداری و استحکام خمیر می‌شود که دلیل آن تشدید باندهای مختلف بین پروتئین و اینولین می‌باشد (Chimrov *et al*., 1981).

ارزیابی نتایج آزمون درجه نرم شدن خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم پس از 12 دقیقه

طبق جدول 3، به‌ترتیب تیمار شاهد و D8 از بیشترین و کمترین درجه نرم شدن خمیر پس از 12 دقیقه برخوردار بودند. همچنین بین کلیه تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید ($p\leq0.05$). دلایل مربوط به این بخش در راستای دلایل ارایه شده برای درجه نرم شدن خمیر پس از 10 دقیقه می‌باشد.

ارزیابی نتایج آزمون عدد کیفیت خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم

عدد کیفیت فارینوگراف برآیندی است از مجموع شاخص‌های موجود در منحنی فارینوگرام که توصیف‌کننده کیفیت کلی آرد است. این فاکتور در آردهای ضعیف پایین و در آردهای قوی، بالا می‌باشد(قمری و همکاران، 1388). طبق جدول 3، بیشترین عدد کیفیت خمیر در تیمار D8 و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد. از سوی دیگر اختلاف بین کلیه تیمارها معنی‌دار بود ($p\leq0.05$). همان‌گونه که گفته شد، مصرف اینولین و نشاسته مقاوم سبب افزایش استحکام و پایداری خمیرهای حاصل در مقایسه با خمیر شاهد گردید لذا عدد کیفیت افزایش یافت. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات ایران‌شاهی و همکاران (2014) مشابه بود. این محققان بیان نمودند که کاربرد اینولین با زنجیره بلند سبب افزایش ضریب یا عدد کیفیت فارینوگراف خمیر نان‌های حاصل می‌گردد.

ارزیابی نتایج آزمون‌های اکستنسوگراف نمونه‌های خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم

نتایج مقایسه میانگین تاثیر مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم بر ویژگی‌های اکستنسوگراف نمونه‌های خمیر در جدول 4 نشان داده شده است.

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین آزمون اکستنسوگراف در نمونه‌های خمیر نان باگت

تیمار	انرژی(cm^2)			مقاومت به کشش(B.U)			قابلیت کشش خمیر(mm)			عدد نسبت		
	زمان تخمیر(min)			زمان تخمیر(min)			زمان تخمیر(min)			زمان تخمیر(min)		
	٤٥	٩٠	١٣٥	٤٥	٩٠	١٣٥	٤٥	٩٠	١٣٥	٤٥	٩٠	١٣٥
C	٧٧±٣^{f}	٧٧/٣٣±٤^{g}	٧٩/٣±٢^{f}	٣٣٩/٥±٤^{h}	٦٠٥/٣±٨^{g}	٦٣٣/٥±٥^{h}	١٥٢/٥±٣^{a}	١٤٩±٣^{a}	١٣٣/٥±٤^{a}	٢/٢٢±٠/٢^{f}	٤/٠٦±٠/٣^{f}	٥/١٢±٠/٢^{g}
D1	٨٢±٣^{e}	١٠٠/٧±٣^{f}	٨٥/٣±٤^{e}	٣٨٣/٥±٣^{g}	٦٢٨/٣±٤^{f}	٦٣٨±٤^{g}	١٤٨±١^{b}	١٢٠±٥^{b}	١١٥±٣^{b}	٢/٥٩±٠/١^{e}	٥/٥٤±٠/١^{e}	٥/٥٤±٠/٢^{f}
D2	٩٢±٤^{d}	١٠٥/٣±٢^{e}	٩٨/٣±١^{cd}	٣٨٨/٥±٤^{ef}	٧٠٩±٩^{e}	٧٤٠/٥±٩^{e}	١٣٩±١^{c}	١٠٩/٧±٣^{c}	١١٠/٥±٢^{c}	٢/٧٩±٠/١^{d}	٦/٤٦±٠/٢^{d}	٦/٧٠±٠/٢^{e}
D3	٩١±٥^{d}	١٠٣±٣^{ef}	٩٧±١^{d}	٣٨٤/٣±٤^{fg}	٦٩٥±٨^{e}	٧٢٧/٥±٥^{f}	١٣٩/٥±١^{c}	١١٠/٣±٢^{c}	١١٤±٧^{b}	٢/٧٥±٠/١^{d}	٦/٣٠±٠/٣^{d}	٦/٣٨±٠/٤^{e}
D4	١٠١±٧^{bc}	١٢٠/٣±٤^{c}	١٢٠±٣^{b}	٥٤٢/٥±٤^{c}	٨٣٧/٥±٣^{c}	٧٧٢/٥±٨^{d}	١٣٧±١^{d}	١٠٤±٢^{c}	١٠٢±٢^{d}	٣/١٠±٠/١^{c}	٧/٦٨±٠/٣^{c}	٧/٤٢±٠/٤^{d}
D5	٩٤±٧^{cd}	١١٤/٣±٣^{d}	٩٩/٣±١^{c}	٤٤٣±٥^{d}	٧١٧±٥^{d}	٧٥١±٩^{e}	١٣٧/٥±١^{d}	١٠٩/٣±٣^{c}	١٠٦±٣^{d}	٣/٢٢±٠/١^{c}	٦/٥٥±٠/٢^{d}	٧/٠٨±٠/٤^{d}
D6	١٠٧/٧±٣^{b}	١٣٠/٣±٣^{b}	١٣٣±٢^{b}	٦٨١±٢^{a}	٩٠٨/٥±٣^{b}	٨٨٩/٥±٥^{b}	١٣٣/٥±٤^{f}	١٠٢±٢^{de}	١٠١±١^{e}	٥/٥١±٠/٣^{a}	٨/٩٠±٠/١^{a}	٨/٨٠±٠/٢^{b}
D7	١٠٣/٥±٤^{b}	١٢٩±٣^{b}	١٢٢±٢^{b}	٦٥٠/٣±٥^{b}	٨٣٩/٣±٢^{c}	٨٢٨/٥±٩^{c}	١٣٢±٥^{e}	١٠٤±٢^{d}	١٠١/٣±١^{e}	٤/٩٠±٠/١^{b}	٨/٠٧±٠/٣^{b}	٨/١٧±٠/٣^{c}
D8	١٢٧/٥±٧^{a}	١٣٦±٣^{a}	١٣٩±٥^{a}	٦٨٢±٢^{a}	٩١٦±٢^{a}	٩٠٣±٨^{a}	١١٦/٥±٣^{g}	١٠٠/٧±٢^{e}	٩٠±٥^{f}	٥/٨٥±٠/٢^{a}	٩/٠٩±٠/١^{a}	١٠/٠٣±٠/١^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصداختلاف معنی‌دار ندارند.

تیمار شاهد (C)، تیمار حاوی ۲/۵ درصد اینولین(D1)، تیمار حاوی ۵ درصد اینولین (D2)، تیمار حاوی ۲/۵ درصد نشاسته مقاوم (D3)، تیمار حاوی ۵ درصد نشاسته مقاوم (D4)، تیمار حاوی حاوی ۲/۵ درصد اینولین + ۲/۵ درصد نشاسته مقاوم(D5)، تیمار حاوی حاوی ۲/۵ درصد اینولین +۵ درصد نشاسته مقاوم (D6)، تیمار حاوی ۵ درصد اینولین + ۲/۵ درصد نشاسته مقاوم (D7)، تیمار حاوی حاوی ۵ درصد اینولین + ۵ درصد نشاسته مقاوم (D8).

ارزیابی نتایج آزمون انرژی خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم پس از 45، 90 و 135 دقیقه

ویژگی مساحت یا انرژی، همان سطح زیر منحنی است که نشان‌دهنده کل انرژی مصرفی به‌منظور کشیدن خمیر می‌باشد. مطابق جدول 4، تیمار D8 از بیشترین مقدار انرژی خمیر پس از 45 ، 90 و 135دقیقه و تیمار شاهد از کمترین مقدار آن در مقایسه با سایر تیمارها برخوردار بودند ضمن آنکه بین کلیه تیمارها و در تمام زمان‌های اندازه‌گیری اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید ($p\leq0.05$). علت نتیجه حاصل شده را می‌توان به ایجاد پیوندهای هیدروکسیل (OH) با اتصالات هیدروژنی بین گلوتن با پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم نسبت داد که سبب افزایش انرژی خمیر یا سطح زیر منحنی اکستنسوگرام در مقایسه با نمونه شاهد شدند (موحد، 1390). Wang و همکاران (2002) نیز در تحقیقات خود عنوان نمودند که اینولین به دلیل آب دوست بودن در شبکه گلوتنی بیشتر دخالت می‌کند و سبب بهبود رفتار پروتئینی آرد و خصوصیات رئولوژیک خمیر می گردد. همچنین Karolini و همکاران (2007) در تحقیقات خود عنوان نمودند که با افزایش سطوح مصرف اینولین در خمیر نان و ماکارونی، میزان انرژی خمیر افزایش می‌یابد.

ارزیابی نتایج آزمون مقاومت به کشش خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم پس از 45، 90 و 135دقیقه

ویژگی مقاومت به کشش، همان مقاومتی است که خمیر در مقابل کشش از خود نشان می‌دهد. با توجه به جدول 4، بین کلیه تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید. در همین راستا بیشترین مقاومت به کشش خمیر پس از 45 ، 90 و 135دقیقه، در تیمار D8 و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد ($p\leq0.05$). علت

نتیجه حاصل آن است که آمیلوز موجود در گرانول‌های نشاسته مقاوم به هضم، شبکه پیوسته و پایداری ایجاد نمود و این امر باعث استحکام خمیرهای تولیدشده در مقایسه با شاهد گردید (Vignaux *et al.*, 2004). همچنین افزایش مقاومت کشش خمیر در نتیجه افزایش سطوح مصرف اینولین و نشاسته مقاوم می‌تواند مربوط به برهمکنش بین اینولین و نشاسته مقاوم، با پروتئین‌های آرد باشد. در واقع برهمکنش‌های میان اینولین و نشاسته مقاوم به هضم و گلوتن می‌توانند تمایل برای جذب و پراکندگی آب را در ساختار خمیر تغییر دهند. همچنین در خمیر معمولا اینولین در مناطقی که آب توده وجود داشته باشد، حضور دارد (موحد، 1390). از سوی دیگر واحدهای آمیلوز در گرانول‌های نشاسته مقاوم، در ایجاد شبکه پایدار و پیوسته موثر هستند زیرا سبب افزایش اتصالات بین واحدهای آمیلوز با پروتئین گلوتن شده لذا مقاومت به کشش زیاد می‌شود. بررسی‌ها نشان داده که حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختار هرگونه فیبر رژیمی یا پری‌بیوتیک‌ها سبب ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر بین H– و OH– از دو کربن شده و متعاقبا اتصال بیشتر با آب می‌شود که این مسئله مقاومت به کشش را زیاد می‌کند (Wang *et al.*, 2002). در همین راستا فعل و انفعالات بین ساختار فیبرها و پلی‌ساکاریدها با پروتئین آرد نیز می‌تواند دلیلی بر افزایش مقاومت به کشش خمیر باشد (Jones & Erlander., 1967). Wang و همکاران (2002) در تحقیقی مشابه بیان نمودند که افزایش مقدار اینولین در خمیر، سبب افزایش مقاومت به کشش آن می‌شود. همچنین محبی و همکاران (1395) اعلام نمودند که استفاده از نشاسته مقاوم در خمیر در سطوح 5/5 و 8 درصد سبب افزایش مقاومت به کشش خمیر نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد شد (محبی و همکاران، 1395).

ارزیابی نتایج آزمون قابلیت کشش خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم پس از 45، 90 و 135دقیقه

با توجه به جدول 4، از نظر فاکتور قابلیت کشش، بین تیمارها و تیمار شاهد در هر سه بازه زمانی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. به‌گونه‌ای که پس از 45 ، 90 و 135دقیقه، تیمار شاهد از بیشترین قابلیت کشش خمیر و تیمار D8 از کمترین مقدار صفت مذکور در زمان‌های مورد نظر برخوردار بودند ($p\leq0.05$). دلیل افزایش استحکام و پایداری خمیر، وجود اتصالات قوی بین پروتئین گلوتن با ترکیبات اینولین و نشاسته مقاوم می‌باشد که سبب کاهش قابلیت کشش خمیر گردیدند (Silva, 1996). نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات Chimrov و همکاران (1981) مشابه بود. این محققان بیان نمودند که افزودن مقادیر کم اینولین، تغییرات ناچیزی در ساختار خمیر ایجاد می نماید در حالیکه وجود سطوح بالای آن سبب پایداری و استحکام خمیر و کاهش قابلیت کشش آن به دلیل تشدید باندهای مختلف بین پروتئین و اینولین می‌شود. همچنین Iranshahi و همکاران (2014) اعلام نمودند که مصرف اینولین سبب کاهش میزان قابلیت کشش خمیر می‌گردد.

ارزیابی نتایج آزمون عدد نسبت خمیر حاوی مقادیر مختلف اینولین و نشاسته مقاوم پس از 45، 90 و 135دقیقه

با توجه به جدول 4، بیشترین مقدار عدد نسبت خمیر پس از 45، 90 و 135دقیقه، در تیمار D8 و کمترین مقدار صفت مذکور در زمان‌های مورد نظر، در تیمار شاهد اندازه‌گیری شدند. قابل توجه این که اختلاف بین تیمارها معنی‌دار بود ($p\leq0.05$). علت نتیجه حاصل آن است که مصرف اینولین و نشاسته مقاوم در نمونه‌های خمیر، به دلیل افزایش استحکام و پایداری آن‌ها در مقایسه با خمیر شاهد، سبب افزایش عدد نسبت گردید (قمری و همکاران، 1388). همچنین گلوتن عامل اصلی تشکیل خمیر و ثبات آن می‌باشد وجود گروه‌های هیدروکسیل زیاد در ساختار اینولین و نشاسته مقاوم سبب تشکیل شبکه گلوتنی منظم‌تر و ساختار سه‌بعدی بیشتر آن گردیده و وجود برخی افزودنی‌ها مانند پری‌بیوتیک‌ها و فیبرها سبب بهبود خمیر گردد (Miyazaki *et al.*, 2006). موحد و همکاران (1392) در تحقیقات خود بیان داشتند که کاربرد پری‌بیوتیک پودر موز در خمیر سبب افزایش عدد نسبت در مقایسه با شاهد شد (موحد و همکاران، 1392).

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر تاثیر پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم بر خواص رئولوژیکی خمیر نان باگت مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج حاصل از تحقیق، افزودن اینولین و نشاسته مقاوم منجر به بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی شد. اینولین و نشاسته مقاوم پراکندگی آب را در ساختار خمیر تغییر می‌دهند که دلیل آن مربوط به حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختار پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم است که سبب ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر بین پروتئین گلوتن و پری‌بیوتیک‌های مذکور می‌شوند. به‌گونه‌ای که در آزمون‌های فارینوگراف، با افزایش درصد هریک از پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم، مقدار جذب آب، زمان گسترش خمیر، زمان پایداری خمیر، افزایش اما درجه نرم شدن خمیر پس از 10 و 12 دقیقه کاهش یافت. از سوی دیگر طبق آزمون‌های اکستنسوگراف، انرژی خمیر، مقاومت به کشش خمیر، عدد نسبت خمیر افزایش اما قابلیت کشش کاهش نشان داد. در بین تیمارها، تیمار ترکیبی D8 (حاوی 5 درصد اینولین و 5 درصد نشاسته مقاوم) اثر بیشتری نسبت به کاربرد جداگانه هر یک از پری‌بیوتیک‌های اینولین و نشاسته مقاوم داشت لذا می‌توان از این افزودنی‌ها به‌عنوان ترکیبات فراسودمند که ارزش غذایی و دارویی دارند بهره برد.

منابع

Abdel-Aal, E-S., Hucl, P., Chibbar, R., Han, H. and Demeke, T., 2002, Physicochemical and Structural Characteristics of Flours andStarches from Waxy and Nonwaxy Wheats 1. *Cereal Chemistry*, 79(3): 458-464.

Afshinpajouh, R., Heydarian, S., Amini, M., Saadatmand, E. and Yahyavi, M., 2014, Studies on physical, chemical and rheological characteristics of pasta dough influenced by inulin. *African Journal of Food*, 8(1): 9-13.

Anonymous, 2000, Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. (10th ed), St Paul, Minn, USA.

Anonymous, 2003, Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. (10th ed), St Paul, Minn, USA.

Anonymous, 2012, Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Wheat flour- Specifications and Test methods, Islamic Republic of Iran, NO 103.

Aravind, N., Sissons, M. and Fellows, C.M., 2012, 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.

Barclay, T., Ginic-Markovic, M., Cooper, P. and Petrovsky, N., 2010, Inulin A versatile polysaccharide with multiple pharmaceutical and food chemical uses. *Journal of Excipients and Food Chemistry*, 1(3): 27–50.

Buddrick, O., Jones, O., Hughes, J., Kong, I. and Small, D., 2015, the effect of fermentation and addition of vegetable oil on resistant starch formation in wholegrain breads. *Food Chemistry*, 180: 181–185

Barclay, T., Ginic-Markovic, M., Cooper, P. and Petrovsky, N., 2010, Inulin – A versatile polysaccharide with multiple pharmaceutical and food chemical uses. *Journal of Excipients and Food Chemistry*, 1(3): 27–50.

Cavallero, A., Empilli, S., Brighenti, F. and Stanca, A., 2002, High (1→3, 1→4)-betaglucan barley ractions in bread making and their effects on human glycemic response. *Journal of Cereal Science*, 36(1): 59-66.

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.

Costin, G. and Segal, R., 1999, Alimente functionale, Galaţi Ed. Academica, 323-348.

Frutos, M. J., Guilabert-Anton, L., Tomas-Bellido, A. and Hernandez-Herrero, J. A., 2008, Effect of artichoke (Cynara scolymus L.) fiber on textural and sensory qualities of wheat bread. *Food Science and Technology International*, 14(5): 49–55.

Ghamari, M., Peighambardoust, S. H. and Reshmeh Karim, K., 2009, Application of farinograph quality number (FQN) in evaluating baking quality of wheat. *Food Research*, 6(2): 23-33.

Gibson, G. and Roberfroid, M., 1995, Dietary modulation of the human colonic microbiotia: introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125: 1401-1412.

Hager, A., Ryan, L.A. Schwab, M.C., Jaenzle, M.G., O'Doherty, J. V. and Arendt, E.K., 2011, Influence of the soluble fibres inulin and oet beta-glucan on quality of dough and bread. *Journal of Europen Food Research and Technology*, 232(3): 405-413.

Iranshahi, M., Seyedain Ardebili, S. M. and Yasini Ardakani, S. A., 2014, Effect of inulin and β-glucan on the physicochemical, rheological, and sensory properties barbari bread. *Journal of Engineering Research and Applications*, 4(6): 90-97.

Iranshahi, M., Seyedain Ardebili, M. and Yasini Ardakani, A. 2014. Survey effect of inulin and β-glucan on barbari bread staling. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 9: 1039-1043.

Jane, J., Chen, Y., Lee, L., McPherson, A., Wong, K. and Radosavljevic, M., 1999, Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch[1]. *Cereal Chemistry*, 76(5): 629-637.

Jones, R. W. and Erlander, S. R., 1967, Interactions between wheat proteins and dextrans. *Cereal Chemistry*, 44: 447-453.

Karolini-Skaradzinska, Z., Bihuniak, P., Piotrowska, E. and Wdowik, L., 2007, Properties of dough and qualitative characteristics of wheat bread with addition of inulin. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57(4(B)): 267–270.

Kulamarva, A., 2005, Rheological and thermal properties of sorghum dough. MSc Thesis, Department of Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, Canada, pp.1-94.

Meyer, D. and Peters, B., 2009, enhancing the nutritional value of bread with inulin. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 20(3): 48–50.

Miyazaki, M., Van Hung, P., Maeda, T. and Morita, N., 2006, recent advances in application of modified starches for breadmaking.*Trends in Food Science and Technology*, 17(11): 591-599.

Mohebbi, Z., Homayouni, A., Azizi, M. H., Asghari Jafarabadi, M. and Afshinpajouh, R., 2016, Influence of β - glucan and resistant starch prebiotics on dough rheology. *Journal of Food Science and Technology*, 13(50): 183-193.

Movahhed, S., Zharfi, S. and Ahmadi Chenarbon, H., 2014, Investigation of rheological of dough and organoleptic properties of Toast bread containing Banana flour. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9(4): 359-365.

Movahed, S., 2011, The Science of Bread. Marz-e Danesh Press, PP. 31-35.

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(1): 19-24.

Rodriguez-Cabezas, M. E., Camuesco, D., Arribas, B., Garrido-Mesa, N., Comalada, M. and Bailon, E., 2010, the combination of fructooligosaccharides and resistant starch shows prebiotic additive effects in rats. *Clinical Nutrition*, 29(6): 832-839.

Silva, R. F., 1996, Use of inulin as a natural texture modifier. *Cereal Foods World*, 41(10): 792-795.

Skara, N., Novotni, D., Cukelj, N., Smerdel, B. and Curic, D., 2013, Combined effects of inulin, pectin and guar gum on the quality and stability of partially baked frozen bread. *Food Hydrocolloids*, 30(1): 428 - 436.

Skendi, A., Papageorgiou, M. and Biliaderis, C. G., 2009, Effect of barley β-glucan molecular size and level on wheat dough rheological properties. *Journal of Food Engineering*, 91(4): 594-601.

Uyeno, Y., Sekiguchi, Y. and Kamagata, Y., 2008, Impact of consumption of probiotic lactobacillicontaining yogurt on microbial composition in human feces. *International journal of Food Microbiology*, 122(1): 16-22.

Vignaux, N., Doehlert, D. C., Hegstad, J., Elias, E. M., McMullen, M. S. and Grant, L. A., 2004, Grain quality characteristics and milling performance of full and partial waxy durum lines. *Cereal Chemistry*, 81(3): 377-83.

Wang, R., Rosell, C. M. and Benedito de Barber, C., 2002, Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79(2): 221-226.

Zaidul, I. M., Karim, A. A., Manan, D., Ariffin, A., Norulaini, N. N. and Mohd Omar, A., 2004, A farinograph study on the viscoelastic properties of sago/wheat flour dough systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84: 616-22.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 2, June. July. 2018, p. 439-449

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 2، خرداد-تیر 1397 ص 449-439

The Effect of Inulin and Resistant Starch on Rheological Properties of Baguette Dough

R. Moghaddasi[1], S. Movahhed[2*], H. Ahmadi Chenarbon[3]

Received: 2017.01.12
Accepted: 2017.09.20

Introduction: The rheological properties of a bread dough describe its behavior under different process conditions. They are also central to its formulation, optimization, quality control, and better process capacity. A number of additives can improve the rheological properties of dough and breads. Fiber-based compounds and prebiotics in addition to gluten and starch, which have a large tendency to absorb the flour water, can affect the moisture distribution across the dough structure. Inulin and resistant starch are two types of prebiotics. Inulin is a water-soluble dietary fiber that is not absorbed by the enzymes at the upper section of he the digestive system and is partially fermented and metabolized by the microbial flora of the colon. Digestion-resistant starch is another prebiotic that acts as a food fiber and adds to the nutritional value. It can also improve the structure of the final product. In recent years, the rise in consumer awareness about health benefits of prebiotics has increased interests in functional foods particularly in bakery products. The present study qualitatively analyzed the effect of the prebiotics (*i.e.* inulin and resistant starch) on rheological properties of baguette bread doughs.

Materials and Methods: The study treatments are: Baking dough w/o inulin and resistant starch (Control); baking dough w 2.5% inulin (based on flour weight); baking dough w 5% inulin (based on flour weight); baking dough w 2.5% resistant starch (based on flour weight); baking dough w 5% inulin (based on flour weight); baking dough w 2.5% inulin + 2.5% resistant starch (based on flour weight); baking dough w 2.5% inulin + 5% resistant starch (based on flour weight); baking dough w 5% inulin + 2.5% resistant starch (based on flour weight); baking dough w 5% inulin + 5% resistant starch (based on flour weight). The treatments were rheologically tested by farinograph and extensograph after preparation. Study data were then analyzed using the completely randomized design. Means of data were also compared by Duncan's multiple-range test ($\alpha = 5\%$) in SPSS 16.

Results and Discussion: According to the results, the different levels of prebiotics (inulin and resistant starch) significantly improved dough water absorption compared to the control samples. This can be due to the presence of hydroxyl groups in the structure of the prebiotics, which increased the number of hydrogen bonds and thus water absorption in all treatments compared to the control. Moreover, these additives led to significantly higher dough development time than the control. This can be due to the hydroxyl groups in the structure of inulin and resistant starch, which increased the number of hydrogen bonds and thus cross-bonding with water. These additives also significantly increased the dough stability time compared to the control.This is a result of hydrogen attachments and hydroxyl bonding between gluten proteins (made up of glutenin and gliadin) and the prebiotics (inulin and resistant starch) that in turn improved the stability and strength of the doughs. As the dough stability increased, the dough softening degree after 10 and 12 minutes was also reduced, which was due to the hydrogen bonds resulting from hydroxyl cross-links of gluten with inulin and resistant starch. Note that the quality index increased when the stability and strength were improved compared to the control dough. According to the results, by adding different levels of inulin and resistant starch, the dough energy rised higher than the control sample after 45, 90 and 135 minutes. This is again due to (OH) hydroxyl bonds with hydrogen attachments between glutens and the prebiotics. In this regard, the highest resistance to extension after 45, 90 and 135 min was recorded for the treatments containing inulin and resistant starch whereas its lowest value was recorded for the control. This is due to the stable continuous lattice made by amylose in resistant starch granules, which led to the higher strength of other treatments than the control. Additionally, the increased dough resistance to extension can be due to the interaction of inulin and resistant starch with flour proteins. Regarding extensibility, significant differences were observed between the treatments and the control within all three time

1. M.Sc Student, Department of Food Science, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
2. Associated Professor, Department of Food Science, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Varamin - Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
(*Corresponding author's email: movahhed@iauvaramin.ac.ir)

intervals. Accordingly, after 45, 90 and 135 min, the control treatment had the highest extensibility whereas the treatment with 5% inulin + 5% resistant starch (based on flour weight) had the lowest level of this parameter within these times. The increases in strength and stability of the doughs were caused by strong links between glutens and these prebiotics, which reduced the dough extensibility. The results showed that the highest dough ratio number after 45, 90 and 135 min belonged to the treatment with 5% inulin + 5% resistant starch (based on flour weight). The lowest ratio number was recorded for the control in these time periods. The gluten was the main factor behind dough stability. The large amount of hydroxyl groups in the structure of inulin and resistant starch led to formation of a better structured three-dimensional gluten lattice. In general, by taking all parameters into account, the treatment with 5% inulin + 5% resistant starch was selected as the best treatment.

Keywords: Inulin, Resistant Starch, Prebiotics, Dough Rheology.