مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بهینه‌سازی فرمولاسیون بیسکویت پروبیوتیک حاوی آرد ذرت، آرد باکویت و اینولین به روش طرح مخلوط و ارزیابی خواص عملکردی و کیفی

آیناز قره باشی[۱]، راحیل رضایی[۱*]، حمید بخش آبادی[۲]

۱-گروه علوم و صنایع غذایی، واحد گنبد کاووس و مینودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، گنبد کاووس، ایران.

۲-گروه کشاورزی، مرکز آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۷

تاریخ داوری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۹

کلمات کلیدی:

بیسکویت،

بهینه‌یابی،

اینولین،

باکویت،

باکتری‌های پروبیوتیک

DOI: 10.48311/fsct.2026.119376.83069

* مسئول مکاتبات:

rezaei.rahil@yahoo.com

چکیده

غذاهای عملگرا، علاوه بر تأمین نیازهای تغذیه‌ای بدن، نقش مهمی در ارتقای سلامت و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌ها دارند. در همین راستا این مطالعه با هدف بهینه‌یابی فرمولاسیون بیسکویت پروبیوتیک بدون گلوتن صورت پذیرفت. در این پژوهش اثرات سه غلظت آرد باکویت (۰ تا ۱۰۰ درصد)، آرد ذرت (۰ تا ۱۰۰ درصد) و اینولین در محدوده‌ی ۰ تا ۳ درصد با کمک طرح آماری مخلوط بر پارامترهای ظرفیت نگهداری آب، مدول ذخیره و افت، سختی، حجم، شاخص L^*، تعداد باکتری‌های پروبیوتیک و پذیرش کلی آرد، خمیر و بیسکویت‌های تولیدی بررسی گردید. بر اساس نتایج این پژوهش کلیه ویژگی‌های مورد آزمایش تحت تأثیر اجزای مخلوط بود ($p<۰/۰۵$). نتایج به‌دست آمده نشان داد که برای دستیابی به بیسکویتی با بیشترین تعداد باکتری‌های پروبیوتیک، شاخص L^*، حجم، پذیرش کلی و کمترین میزان سفتی بایستی به‌ترتیب از ۲۳/۸۳، ۷۴/۱۶ و ۲/۰۲ درصد آرد باکویت، ذرت و اینولین در فرمولاسیون بیسکویت استفاده نمود تا مطلوبیت ۰/۷۶۹ حاصل گردد. از طرفی مشخص شد که در این شرایط میزان ظرفیت نگهداری آب ۹/۰ گرم بر گرم، مدول G' ۱/۳۹ ×۱۰^۶ پاسکال، مدول G'' ۴۱۴۰۹۰ پاسکال، سختی ۱۳/۳۹ نیوتن، حجم ۴/۱۶ سانتی متر مکعب، تعداد باکتری‌های پروبیوتیک ۹/۷۷ log cfu/g، شاخص L^* ۳۹/۸۵ و پذیرش کلی ۳/۹۱ بود. در نهایت می‌توان بیان داشت که فرمولاسیون بهینه پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان یک محصول عملگرای بدون گلوتن با ویژگی‌های تکنولوژیکی مطلوب و پتانسیل بالای پروبیوتیکی معرفی گردد.

۱-مقدمه

غذاهای عملگرا، علاوه‌بر تأمین نیازهای تغذیه‌ای بدن، نقش مهمی در ارتقای سلامت و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌ها دارند. در سال‌های اخیر با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به ارتباط میان رژیم غذایی و سلامتی، تقاضا برای این دسته از مواد غذایی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. این محصولات با تأثیر مثبت بر عملکرد فیزیولوژیکی بدن، می‌توانند به حفظ تعادل میکروبیوتای روده و پیشگیری از اختلالات مرتبط با آن کمک کنند. غذاهای عملگرا یا به‌طور طبیعی غنی از ترکیبات مفید هستند و یا از طریق افزودن اجزایی مانند ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبرها، پری‌بیوتیک‌ها و پروبیوتیک‌ها غنی‌سازی می‌شوند. بر اساس تعریف پذیرفته‌شده، یک ماده غذایی زمانی عملگرا تلقی می‌شود که علاوه‌بر نقش تغذیه‌ای اصلی، اثرات سودمندی بر یک یا چند عملکرد فیزیولوژیکی بدن داشته باشد و در بهبود سلامت عمومی و یا کاهش خطر بروز بیماری مؤثر باشد[۱, ۲]. پری‌بیوتیک‌ها کربوهیدرات‌های زنجیره کوتاه هستند که توسط آنزیم‌های گوارشی انسان قابل هضم نیستند که گاهی به آن‌ها الیگوساکاریدهای غیرقابل هضم گفته می‌شود که در اتانول ۸۰ درصد حل می‌شوند. پری‌بیوتیک‌ها ترکیبات غذایی غیر فعال بوده که به روده بزرگ منتقل می‌شوند و در آنجا به‌طور انتخابی تخمیر می‌شوند. فواید آن‌ها برای میزبان از طریق تحریک انتخابی رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید روده اعمال می‌شود. تعریف پری‌بیوتیک تا حدی با تعریف فیبر رژیمی همپوشانی دارد با این تفاوت که پری‌بیوتیک‌ها به‌طور انتخابی بر چند جنس یا گونه از باکتری‌های بومی روده اثر می‌گذارند. تاکنون، تنها مولکول‌های کربوهیدراتی غیرقابل هضم شامل طیفی از دی‌ساکاریدها، الیگوساکاریدها، پلی‌ساکاریدها، نشاسته‌های مقاوم و پلی‌ال‌های قندی به‌عنوان مواد دارای خاصیت پری‌بیوتیک معرفی شده‌اند [۳]. اینولین، یک فروکتان خطی و نوعی فیبر غذایی محلول است که در برابر هیدرولیز مقاوم بوده و تنها پس از تخمیر در روده بزرگ به اسیدهای چرب کوتاه‌زنجیر تبدیل می‌شود و سپس جذب می‌گردد. اینولین منبع غنی کربوهیدرات است که واحدهای فروکتوز آن توسط پیوندهای β-(۲→۱) به یکدیگر متصل شده‌اند. این نوع پیوند موجب مقاومت آن در برابر هضم در روده کوچک شده و ارزش انرژی بسیار پایینی معادل ۱–۲ کیلوکالری بر گرم دارد. پایین بودن ارزش انرژی ناشی از وجود واحدهای مونوساکاریدی است که بلوک‌های ساختمانی کربوهیدرات‌ها را تشکیل می‌دهند، باعث شده که از اینولین در فرمولاسیون محصولات نانوایی مختلف به‌منظور دستیابی به محصولات سالم‌تر و حاوی قند، چربی و کالری کمتر استفاده گردد [٤, ٥].

بیسکویت‌ها به‌دلیل سهولت تولید و نگهداری، کاربرد گسترده و قیمت مقرون‌به‌صرفه از پرمصرف‌ترین محصولات پخته‌شده به‌شمار می‌روند. این محصولات عمدتاً از آرد، شکر و روغن تهیه شده، دارای حدود ٤ درصد رطوبت هستند و در صورت بسته‌بندی مناسب، ماندگاری آن‌ها می‌تواند تا ٦ ماه افزایش یابد [٦]. از محققینی که از اینولین به‌منظور کاهش چربی یا شکر در فراورده‌های غلات استفاده کردند، می‌توان به مطالعات تساتساراگو و همکاران (۲۰۲۱) در کیک و بیسکویت، مختاری و همکاران (۲۰۲۵) در کیک بدون گلوتن حاوی بلوط و تولید خمیرهای سرخ‌شده‌ی غیر تخمیری منجمد سریع توسط لی و همکاران (۲۰۲٦) اشاره کرد که این محققین افزایش کیفیت محصولات پخته شده با استفاده از اینولین را گزارش نمودند [٤, ۷, ۸]. متأسفانه، برخی از افراد نمی‌توانند محصولات حاوی گلوتن را مصرف کنند، که اغلب به دلیل بیماری سلیاک، آلرژی به گندم یا حساسیت به گلوتن غیر سلیاکی است. سلیاک یک بیماری خودایمنی است که در افراد مستعد ژنتیکی توسط پروتئین‌های پرولامین موجود در گندم، جو و جو دو سر ایجاد می‌شود و مصرف گلوتن منجر به آسیب پرزهای ویلی روده کوچک، کمبود ویتامین D و کلسیم، اختلالات عصبی، گوارشی و مشکلات باروری می‌شود و تنها درمان مؤثر این بیماری، رعایت رژیم غذایی کاملاً فاقد گلوتن در طول عمر است[۹, ۱۰].

ذرت (*Zea mays* L.) علاوه‌بر نقش حیاتی در امنیت غذایی، به‌عنوان ماده اولیه صنایع نشاسته و فرآورده‌های غذایی متنوع نیز استفاده می‌شود که سرشار از نشاسته، پروتئین، چربی، فیبر، ویتامین‌ها و ترکیبات عملگرا مانند فنول‌ها و کاروتنوئیدها است. اخیرا استفاده از ذرت و سایر آردهای غیرگندمی در محصولات نانوایی افزایش یافته است. با این حال، ترکیب آردهای مختلف می‌تواند شبکه گلوتن را رقیق کرده و بافت، قوام، حجم و کیفیت نهایی نان را کاهش دهد [۱۱, ۱۲].

باکویت یک شبه غله از جنس *فاگوپیروم*[1] است آرد باکویت به‌عنوان یک افزودنی غذایی در تولید مواد غذایی مانند پنکیک، پاستا و رشته فرنگی استفاده می‌شود. پروتئین‌های باکویت به دلیل ترکیب متعادل اسید آمینه، ارزش بیولوژیکی بالایی دارند، اگرچه قابلیت هضم آنها نسبتاً کم است. آرد باکویت به دلیل محتوای بسیار کم α-گلیادین در دانه‌ها، می‌تواند یک ماده ارزشمند در رژیم‌های غذایی یا محصولات غذایی برای بیماران سلیاک باشد. باکویت یک ماده ارزشمند برای تولید محصولات نانوایی با ارزش غذایی بالا محسوب می‌شود، زیرا منبع ارزشمندی از فیبر، مواد معدنی و سایر ترکیبات فعال زیستی با فواید سلامتی است [۱۳, ۱۴].

طرح آماری مخلوط به‌عنوان یکی از رویکردهای پیشرفته طراحی آزمایشات، به بررسی اثر نسبت اجزای مختلف یک مخلوط و متغیرهای فرآیندی بر پاسخ‌های محصول نهایی می‌پردازد. این روش با تعریف ترکیبات اجزا، عوامل آزمایشی و پاسخ‌ها، امکان درک اثرات مؤثر و توسعه مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی و بهینه‌سازی تک‌پاسخی و چندپاسخی را فراهم می‌کند. طراحی مخلوط به‌طور گسترده در صنایعی مانند غذا، پلیمر و رنگ به‌کار می‌رود و با استفاده از طرح‌های مختلف به تولید محصولات با کیفیت کمک می‌کند [۱۵, ۱۶]. از محققینی که از این طرح در تولید محصولات بر پایه غلات استفاده کردند، می‌توان به محمدزاده و همکاران (۲۰۲۵) که روی کیک برنجی فاقد گلوتن و مددی و همکاران (۲۰۲۴) برای تولید کیک اسفنجی فاقد گلوتن بر پایه آرد سنجد، کینوا و آرد کدو حلوایی اشاره کرد [۹, ۱۷]. هدف از این مطالعه، بهینه‌سازی فرمولاسیون بیسکویت پروبیوتیک حاوی آرد ذرت، آرد باکویت و اینولین با استفاده از طرح آماری مخلوط و بررسی اثر نسبت اجزای فرمولاسیون بر خواص عملکردی و کیفی محصول نهایی است. در این راستا، با مدل‌سازی روابط بین اجزای مخلوط و پاسخ‌های مختلف، ترکیب بهینه به‌منظور دستیابی به کیفیت مطلوب و پایداری مناسب پروبیوتیک‌ها تعیین می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این مطالعه برای تهیه بیسکویت‌های پروبیوتیک از آرد ذرت (گلها، ایران)، آرد باکویت (OAB، ایران)، اینولین (پیشگامان شیمی، ایران)، باکتری‌های لیوفیلیزه *باسیلوس کوآگولانس* (تک ژن زیست، ایران) و سایر مواد مورد نیاز نیز از فروشگاه‌های سطح شهرستان آزادشهر استفاده گردید.

۲-۲- روش‌ها

۲- ۱- تهیه خمیر و پخت بیسکویت

ابتدا مواد اولیه تهیه بیسکویت که شامل اینولین، نمک، بیکینگ پودر، نشاسته، تخم‌مرغ، شیر، مارگارین، آرد باکویت و آرد ذرت تهیه و توزین گردید. جهت تهیه خمیر، روغن و شکر ابتدا به خوبی به مدت ۵ دقیقه توسط همزن (تک الکتریک، ایران) با دور متوسط مخلوط شدند. سپس باقی ترکیبات از جمله آب، شیر، تخم‌مرغ، مارگارین، اینولین، نمک و بیکینگ پودر اضافه شد و مجدداً به مدت ۵ دقیقه مخلوط شدند. مخلوط آرد باکویت و آرد ذرت و نشاسته (طبق فرمولاسیونی که در جدول ۱، آورده شده است) به صورت تدریجی و در سه مرحله به مخلوط قبلی اضافه شد به‌طوری که بعد از هر بار افزودن، مخلوط توسط دستگاه مخلوط کن به مدت ۲ دقیقه مخلوط شد و در نهایت باکتری‌های پروبیوتیک (10^{12}CFU/g) به آنها افزوده گردید

1- Fagopyrum

تا اینکه خمیر بیسکویت یکنواختی تهیه گردید. در این مرحله خمیر آماده شده در قالب‌ها مناسب و گرد (با قطر ۵۲ میلی‌متر) قرار گرفتند و به فر پخت (نوبل، ترکیه) با دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند و پس از خنک شدن در کیسه‌های ضد رطوبت پلاستیکی قرار گرفته شد و درب‌بندی شد [۱۸, ۱۹].

Table 1- Experimental treatments used in biscuit formulation

No	Corn flour (%)	Buckwheat flour (%)	Inulin (%)
1	74.625	24.625	0.75
2	24.625	73.125	2.25
3	0	97	3
4	0	98.5	1.5
5	98.5	0	1.5
6	48.5	48.5	3
7	24.625	74.625	0.75
8	100	0	0
9	0	100	0
10	0	97	3
11	50	50	0
12	97	0	3
13	0	100	0
14	98.5	0	1.5
15	100	0	0
16	97	0	3

۲- ۲- تعیین ظرفیت نگهداری آب آردهای تولیدی

۰/۳ گرم نمونه با ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیز در یک لوله سانتریفوژ ۱۰ میلی لیتری از قبل توزین شده به مدت ۱ دقیقه مخلوط گردیدو به مدت دو ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. سپس توسط سانتریفوژی (Heraeus Holding GmbH, Hanau، آلمان) با سرعت ۳۸۸ g به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ و بخش رویی آن دور ریخته شد و لوله مجدداً وزن گردید. ظرفیت جذب آب به عنوان میزان آب حفظ شده توسط آرد تقسیم بر وزن اولیه آرد محاسبه شد [۲۰].

۲- ۳- اندازه‌گیری مدول‌های ذخیره ('G) و افت ("G)

اثرات فرمولاسیون‌های مختلف روی برخی خصوصیات رئولوژیکی خمیر (مدول ذخیره و افت) مطابق با روش دمیرکسن و همکاران (۲۰۱۰)، به‌وسیله رئومتر (MCR301، Anton Paar، استرالیا) تعیین گردید. در این روش پس از آماده‌سازی نمونه‌ها با توجه به زمان آزمایشات، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه رئومتر از نوع صفحه-صفحه به قطر ۴۰ میلی‌متر و اسپیندل از نوع سمباده‌ای بود و فاصله بین دو صفحه معادل یک میلی‌متر در نظر گرفته شد. نمونه‌های تهیه شده بر روی صفحه زیرین قرار گرفته و به مدت ۵ دقیقه استراحت داده شد تا ساختار نمونه به طور مجدد بازیابی شود. جهت انجام روبش کرنش، فرکانس در مقدار ثابت یک هرتز تنظیم شد و مقدار کرنش از ۰/۰۱ تا ۱۰۰۰ تعیین گردید. با این آزمون ناحیه خطی ویسکوالاستیک تعیین شد. پس از تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی آزمون روبش فرکانس جهت تعیین مولفه‌های ویسکوز و الاستیک وابسته به فرکانس انجام شد و شاخص‌های مدول‌های ذخیره ('G) و افت ("G) به‌دست آمد [۲۱].

۲- ٤- تعیین سختی بیسکویت‌های تولیدی

سختی بافت داخلی نمونه‌های تهیه شده، در روز اول پس از پخت توسط دستگاه بافت سنج (model LFRA-4500، آمریکا) اندازه‌گیری و مورد ارزیابی قرارگرفتند. قطعات بیسکویت (۲×۲×۲ سانتی‌مترمکعب) در نواحی خاصی روی صفحه‌ای با فاصله ۳ سانتی‌متر روی دستگاه قرار داده شدند. نیروی بارگذاری با سرعت ۰/٤ میلی‌متر در دقیقه به مرکز هر قطعه اعمال شد. میانگین نیروی ثبت شده برای خم شدن و شکستن هر قطعه، به عنوان مقدار سختی گزارش شد [٦].

۲- ۵- اندازه‌گیری حجم بیسکویت‌های تولیدی

حجم بیسکویت‌های تولیدی با استفاده از روش جابه‌جایی دانه‌ی کلزا اندازه گیری شد [۲۲].

۲- ٦- تعیین شاخص L^* بیسکویت‌های تولیدی

ارزیابی رنگ سطح قطعات بیسکویت با استفاده از روش پردازش تصویر و عکس‌برداری با دوربین دیجیتال و تجزیه و تحلیل تصویر با استفاده از نرم‌افزار Adobe Photoshop CC (۲۰۱۹) انجام شد و در این مطالعه شاخص L^* گزارش گردید [٦].

۲- ۷- اندازه‌گیری باکتری‌های پروبیوتیک بیسکویت‌های تولیدی

۱۰ گرم بیسکویت با ۹۰ میلی‌لیتر محلول بافر سدیم سیترات استریل (pH 6.2، ۰/۱ مولار) مخلوط و به مدت ۱۵ دقیقه هم زده شد. سپس باکتری‌ها با استفاده از روش کشت سطحی روی محیط کشت تریپتیک سوی آگار [1] کشت داده شدند. پلیت‌ها به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرم‌خانه‌گذاری گردیدند و سپس تعداد باکتری‌های پروبیوتیک شمارش شد[۲۳].

۲- ۸- ارزیابی پذیرش کلی بیسکویت‌های تولیدی

این ارزیابی توسط ۱۰ نفر از افراد نیمه آموزش دیده آشنا با تکنیک‌های ارزیابی حسی انجام شد. نمونه‌های پخته شده بعد از ۲ ساعت در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفتند. ویژگی‌های حسی بیسکویت‌ها از نظر فرم و شکل، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن، بو، طعم و مزه که به‌ترتیب دارای ضریب رتبه ٤، ۲، ۳، ۲، ۲، ٤ و ٤ بودند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. ضریب ارزیابی ویژگی‌ها از بسیار بد (۱) تا بسیار خوب (۵) بود. با داشتن این معلومات، پذیرش کلی با استفاده ا ز رابطه ۱ محاسبه گردید [۲٤].

$$Q = \frac{\sum(P \times G)}{\sum P}$$ رابطه (۱)

Q= پذیرش کلّی (عدد کیفیت نمونه‌های تولیدی)، P= ضریب رتبه صفات و G= ضریب ارزیابی صفات.

۲-۹- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش به‌منظور بهینه‌یابی فرمولاسیون بیسکویت پروبیوتیک از طرح مخلوط D-optimal و نرم‌افزار Design Expert نسخه ۱۲استفاده شد که سه جزء فرمول شامل درصدهای مختلف آرد باکویت (A)، آرد ذرت (B) و اینولین (C) بود. ترکیب چندگلنه از این متغیرها منجر به یک طرح آزمایشی با ۱٦ تیمار (جدول ۱) گردید. . به این منظور از معادلات مناسب برای نشان دادن رابطه هر یک از متغیرهای وابسته در مدل رگرسیون با متغیرهای مستقل، استفاده و نمودارهای کانتور مخلوط آنها به‌وسیله این نرم افزار ترسیم شدند. در این نمودارها سه متغیر در سه ضلع مثلث مشخص شده و مقادیر به‌دست آمده برای هر پاسخ روی اضلاع مثلث نشان داده شدند. برای ارزیابی صحت مدل‌های برازش شده، مقادیر ضریب تبیین نیز تعیین گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر نوع فرمولاسیون بر ظرفیت نگهداری آب آردهای تولیدی

1 -Tryptic Soy Agar

نتایج نشان داد که ظرفیت جذب آب آردهای تولیدی در محدوده ۸/۵ تا ۹/۱ گرم بر گرم بود که بیشینه میزان ظرفیت جذب آب متعلق به نمونه حاوی ۷۳/۱۲ درصد آرد باکویت (A)، ۲٤/٦۳ درصد آرد ذرت (B) و ۲/۲۵ درصد اینولین (C) بود (شکل ۱). با توجه به ضرایب ارائه شده در مدل به دست آمده در جدول ۲، می‌توان بیان نمود که تاثیر متقابل میزان آرد ذرت و اینولین بیشترین تاثیر را بر این ویژگی داشت. ظرفیت نگهداری آب که به توانایی یک ماده در حفظ آب در شرایط سانتریفوژ گفته می‌شود و یک پارامتر مهم در فرآوری مواد غذایی است به عنوان مثال، ظرفیت نگهداری آب بالا به حفظ تازگی نان، کیک و سوسیس کمک می‌کند که به عوامل مختلفی از قبیل غلظت پروتئین‌ها، نوع و تعداد اسیدهای آمینه، میزان نشاسته و فیبر خام بستگی دارد [۲۵]. سینگ و همکاران (۲۰۱۹) گزارش نمودند که میزان پروتئین موجود در آرد باکویت بیشتر از آرد ذرت می‌باشد که این امر را می‌توان دلیل افزایش ظرفیت نگهداری بالاتر آب آردهایی که دارای آرد باکویت بیشتر هستند، دانست [۲٦]. تورکر و اسکیمن (۲۰۲۵) با بررسی تأثیر نسبت‌های آرد باکویت-ذرت بر خواص عملکردی و فیزیکی کراکرهای بدون گلوتن صورت دادند، بیان داشتند که افزودن آرد باکویت به‌علت بالا بودن ترکیبات آب دوست از قبیل میزان پروتئین نسبت به ذرت منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها می‌شود [۲۷]. از طرفی برهمکنش اینولین با مولکول‌های نشاسته منجر افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود و چنین عملکردهایی به افزایش انسجام خمیر، افزایش پایداری پخت و ویژگی‌های بافتی مانند سفتی و خاصیت ارتجاعی بیشتر منجر می‌شود [۲۸]. شیری و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی ویژگی‌های تکنولوژیکی نان بدون گلوتن غنی‌شده با اینولین، مشخص نمودند که افزودن اینولین منجر به جلوگیری از مهاجرت رطوبت در ژل و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب آن می‌شود [۲۹].

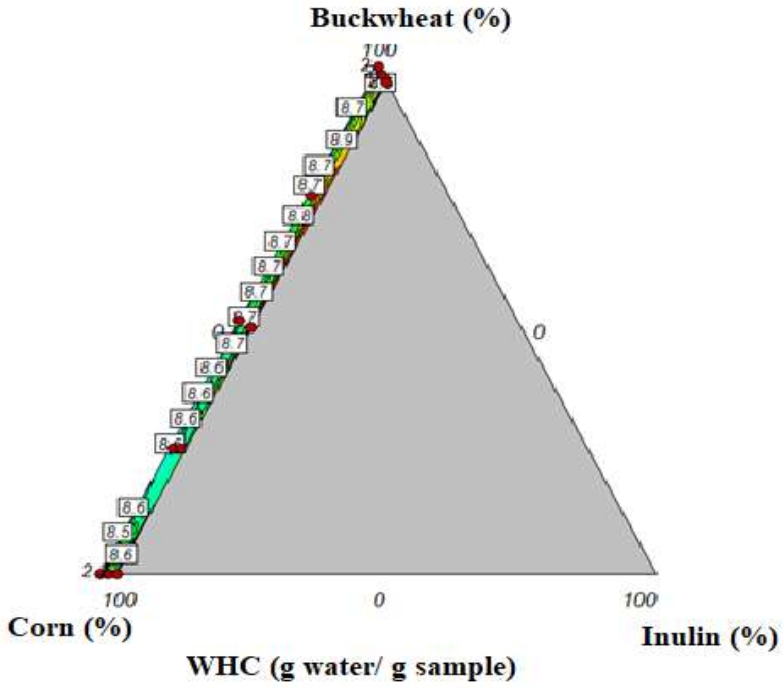
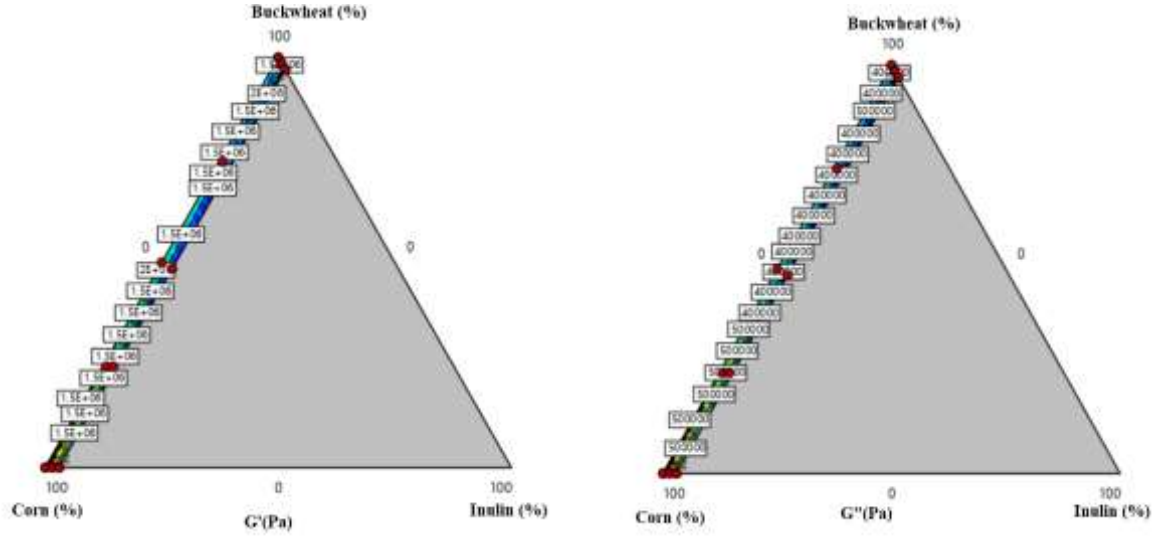


Figure 1- Effect of formulation type on the water holding capacity (WHC) of flours

۳-۲- تاثیر نوع فرمولاسیون بر مدول‌های ذخیره (G') و افت (G")

نتایج نشان که محدوده مدول ذخیره برای نمونه‌های تولیدی ۱/۱۹ ×۱۰^{۶} تا ۳ ×۱۰^{۶} پاسکال بود و محدوده مدول افت برای نمونه‌های تولیدی از ۳۸۷۰۰۰ تا ۸۳۰۰۰۰ بود که بیشترین میزان مدول ذخیره و افت به خمیر حاصل از ۹۸/۵ درصد آرد ذرت با ۱/۵ درصد اینولین تعلق داشت (شکل ۲). علت افزایش مدول ذخیره با افزایش آرد ذرت و باکویت احتمالا به اتصال پروتئین‌ها با یکدیگر و ایجاد حالت ویسکوز در خمیر و در نهایت بهبود مقاومت خمیر به کشش ارتباط دارد. همچنین اینولین به‌علت کاهش ظرفیت نگهداری گاز منجر به افزایش الاستیسیته خمیر می‌گردد. آردهای حاصل از مواد دارای کیفیت پایین از نظر رئولوژیکی دارای ویژگی‌های الاستیک کمتر و ویسکوز بالاتری هستند که این به تأثیر کمیت و کیفیت محتوی پروتئین آرد و نشاسته آن‌ها بر خصوصیات رئولوژیکی خمیر وابسته است [۳۰, ۳۱]. با افزایش محتـوی پروتئین و نشاسته، افزایش چشمگیری در پارامترهای الاستیک و ویسکوز خمیر به دلیل کاهش آب آزاد موجود در سیستم صورت می‌گیرد، ولی رفتار افزایشی یکسانی مشاهده نمی‌شود. برای مثال خمیرهای تهیه شده از آرد گندم‌های سخت در مقایسه با خمیرهای تهیه شده از آرد گندم‌های نرم مدول‌های الاستیک و ویسکوز بالاتر و تانژانت اختلاف فاز پایین‌تری دارند. با افزایش مدول الاستیک و کاهش تانژانت اختلاف فاز، عموماً خمیر سفت‌تر و خواص الاستیک بیشتری از خود نشان می‌دهند [۳۲]. از طرفی اینولین باعث حفظ ساختار و پایداری خمیر حاصله می‌گردد. آمبون و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که خمیر حاصل از آرد برنج در محدوده فرکانس‌های پایین (کمتر از ۲ هرتز) رفتار الاستیک ($G''<G'$) و در محدوده فرکانس‌های بالاتر رفتار ویسکوز ($G'>G''$) غالب است و علت غالب شدن رفتار ویسکوز را تاثیر فرکانس بر جدا شدن بخشی از زنجیره پلیمری بیان کردند. آن‌ها دریافتند که با افزودن سطوح مختلف هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به فرمولاسیون خمیر، رفتار الاستیک در محدوده فرکانس‌های اعمال شده غالب می‌شود. زیرا این ترکیب به عنوان یک هیدوکلوئید موجب پایداری ساختار و ایجاد پیوند بین مولکول‌ها می‌شود و به این ترتیب رفتار جریانی را کاهش می‌دهد [۳۳]. در مطالعه‌ای مشخص شد که مدول ذخیره از مدول افت در خمیر تهیه شده از آرد باکویت بزرگتر بود در نتیجه خمیر حاصله دارای دارای رفتار ویسکوالاستیک جامد می‌باشند [۳٤].



a) b)

Figure 2- The effect of formulation type on a) G' and b) G" of dough

Table 2- predictive models for dependent variable

No	Properties	Equation	R^2	Adjusted R^2
1	WHC	y= +8.57 A + 8.44 B – 1829.78 C + 0.87 AB + 1892.07 AC + 1897.96 BC – 232.26 A^2BC – 399.10 AB^2C +11980.17 ABC^2	0.94	0.91
2	G'	y= +1990980 A+1222610B +2.29×10^{11}C+42944.65AB- 3.48×10^{11}AC- 3.53×10^{11}BC+2.41×10^{11}ABC-385577AB(A-B)+ 1.18×10^{11}AC(A-C)+ 1.23×10^{11}BC(B-C)	0.97	0.93
3	G"	y= +577747 A+425189 B +6.18×10^{10}C+49812.4AB- 9.35×10^{10}AC- 9.48×10^{10}BC+6.48×10^{10}ABC-345819AB(A-B)+ 3.17×10^{10}AC(A-C)+ 3.31×10^{10}BC(B-C)	0.98	0.96
4	Hardness	y= +14.85 A+ 25.73B + 17151.93C-3.96AB-16908.31 AC-18315.39BC	0.71	0.58
5	Volume	y= +8.46 A + 4.77 B + 10754.12 C + 36 AB – 11076.53 AC – 10417.52 BC + 1419.52 A^2BC – 6921.55 AB^2C + 14902.27 ABC^2	0.97	0.94
6	L^*	y= +28.71 A+24.92B +12038100C-17.60AB- 0.00000018 AC- 0.00000018 BC+12606200ABC-152.37AB(A-B)+6299280 AC(A-C)+6307100BC(B-C)	0.99	0.98
7	Probiotic bacteria count	y= +2.40 A+3.14 B +230.07 C	0.93	0.92
8	Overall acceptance	y= +3.22 A+3.30 B -144.87 C + 2.85 AB + 143.12 AC +162.17 BC	0.79	0.68

Buckwheat flour (A), Corn flour (B), Inulin (C)

۳-۳- تاثیر نوع فرمولاسیون بر میزان سختی بیسکویت‌های تولیدی

نتایج نشان داد که میزان سختی نمونه‌های تولیدی از ۱۳/٤۳ تا ۳۹/۱۸ نیوتن متغیر بود که بیشترین سختی به نمونه حاصل از ۹۷/۰ درصد آرد باکویت و ۳/۰ درصد اینولین تعلق داشت (شکل ۳). با افزایش میزان اینولین اندازه حباب‌های خمیر بیش از حد کوچک شده و همین امر سبب خواهد شد تا بافت نمونه‌های تولیدی سفت‌تر و از میزان نرمی آن کاسته شود [۳۵]. از طرفی با افزایش میزان آردهای مصرفی در فرمولاسیون احتمالا به‌علت برهمکنش پروتئین‌های آنها در محصول منجر به افزایش سفتی بیسکویت می‌شود. حداکثر نیروی ثبت شده از منحنی نیرو/ فاصله (حداکثر نیروی مورد نیاز برای شکستن بیسکویت یا حداکثر مقاومت بیسکویت در هنگام شکستن) به عنوان سختی، استحکام و نیروی شکستن گزارش شده است[۳٦]. از طرفی مدل آورده شده در جدول ۲ (معادله ٤) نشان داد که بیشترین تاثیر بر میزان سفتی نمونه‌ها مربوط به اثر متقابل میزان آرد ذرت با اینولین بود. سفتی بیسکویت‌ها همبستگی بالایی با محتوای رطوبت، فعالیت آبی و افت پخت دارد. به غیر از شرایط پخت، نوع و مقدار ترکیبات تشکیل دهنده محصول به شدت بر سفتی و سایر ویژگی‌های بافت تأثیرگذار است [۳۷]. مواد اولیه بیسکویت را می‌توان از لحاظ ویژگی عملکردی، تقسیم‌بندی نمود. به‌عنوان مثال شورتنینگ یک تردکننده و آرد یک سفت

کننده بوده و پروتئین‌های تخم مرغ به ساخت یک ساختار سلولی پایدار کمک می‌کنند. سفتی بیسکویت‌ها وابسته به ساختار مرکب ماتریکس پروتئین، لیپید و قندها است که در گرانول‌های نشاسته ژلاتینه نشده تعبیه شده‌اند [۳۸-۴۰]. در این پژوهش احتمالاً با افزایش سطح جایگزینی آرد باکویت و افزایش مقدار پروتئین در بیسکویت‌ها، ماتریکس پروتئین در طی پخت تشکیل شده و باعث سفتی بافت بیسکویت شد. قائمی و همکاران (۲۰۲٤) نیز گزارش دادند که افزایش پروتئین‌ها و صمغ‌های مختلف در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن بر پایه آرد برنج منجر به افزایش سفتی می‌شود [٤١]. فتح الهی و همکاران (۲۰۲۵) سختی بالاتر بیسکویت را با افزودن کربوهیدرات‌های مختلف گزارش نمودند، این محققین علت افزایش سختی را به ویسکوزیته بالاتر در خمیر بیسکویت و تشکیل بافت متراکم‌تر نسبت دادند [٦].

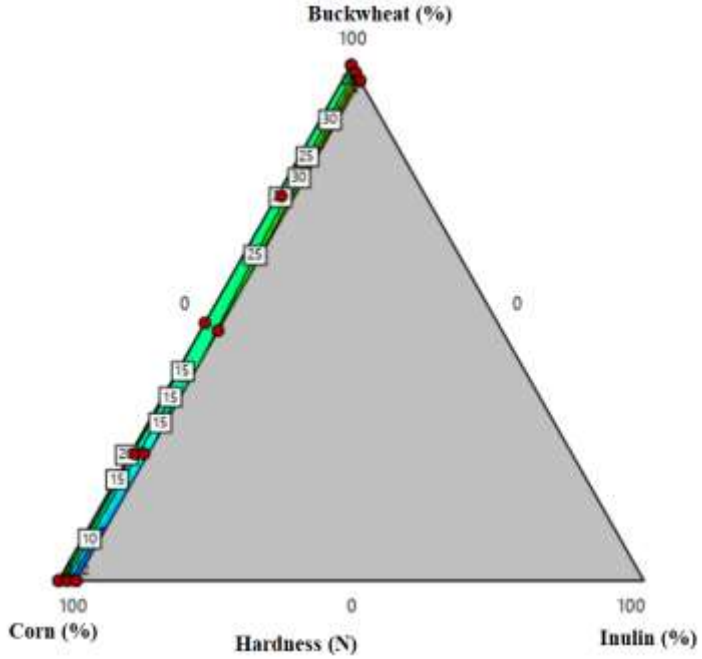


Figure 3- Effect of formulation type on the hardness of samples

۳-٤- تاثیر نوع فرمولاسیون بر شاخص حجم بیسکویت‌های تولیدی

نتایج نشان داد که میزان حجم نمونه‌های تولیدی از ٤/۸٦ تا ۲٤/٦۱ سانتی‌متر مکعب متغیر بود و بیشترین میزان حجم مربوط به نمونه حاوی ۹۷/۰ درصد آرد باکویت و ۳/۰ درصد اینولین بود (شکل ٤). با توجه به ضرایب ارائه شده در مدل به‌دست آمده برای میزان حجم نمونه‌ها (جدول ۲) می‌توان بیان نمود که تاثیر متغیر اینولین بیش از دو متغیر دیگر بود. حجم نشان دهنده میزان هوا، بخار آب تولید شده و دی اکسید کربن و میزان تغییرات آن در طول پخت در خمیر می‌باشد در نتیجه می‌توان گفت که با افزایش این مواد به علت تخمیر بهتر و ایجاد گاز بیشتر و محبوس شدن آن در ساختار آنها حجم افزایش یافت. قوام مناسب خمیر جهت حفظ حباب‌های هوا که در ضمن مخلوط کردن ایجاد می‌شوند و گاز دی اکسید کربن تولید شده توسط بیکربنات سدیم در ضمن پخت ضروری است و قوام زیاد یا کم خمیر محصولات نانوایی ممکن است سبب کاهش حجم آن‌ها شود [٤۲]. نتایج مطالعه عبداله و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که جایگزینی چربی با اینولین یا موسیلاژ چیا، حجم مخصوص بیسکویت را در مقایسه با نمونه شاهد کاهش داد که این محققین برای تهیه بیسکویت از آرد گندم استفاده کرده بودند [٤۳]. مطالعه‌ی دیگری نشان داد که اینولین می‌تواند میزان پخش شدن خمیر و وزن بیسکویت را تغییر دهد که این امر بر ابعاد و حجم محصول نهایی تأثیر می‌گذارد [٤٤]. وانگ و همکاران (۲۰۲٤) نیز مشخص نمودند که افزایش آرد پوسته باکویت به فرمولاسیون خمیر کیک برنجی بخارپز در ابتدا

منجر به افزایش و سپس کاهش حجم کیک‌های تولیدی می شود. این محققین نشان دادند که افزایش میزان آرد باکویت در فرمولاسیون خمیر کیک منجر به حفظ بیشتر گازهای تولیدی می شود در نتیجه میزان حجم کیک افزایش می‌یابد [۴۵]. ارن و آکایا (۲۰۲۴) نیز بیان داشتند که افزایش آرد باکویت در فرمولاسیون نان منجر به کاهش حجم مخصوص می‌گردد زیرا پروتئین این دانه که یک شبه غله می باشد همانند گلوتن توانایی نگهداری گاز را ندارد [۴۶].

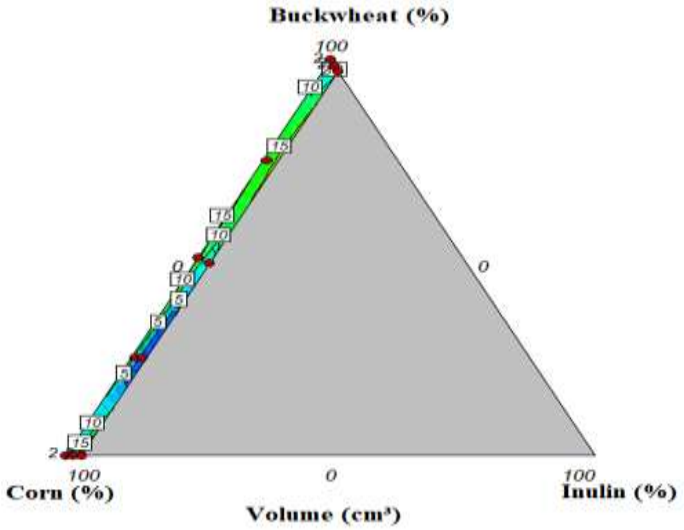


Figure 4- Effect of formulation type on the volume of samples

۳-۵- تاثیر نوع فرمولاسیون بر شاخص L^* بیسکویت‌های تولیدی

نتایج نشان داد که میزان شاخص L^* نمونه‌ها از ۲۲/۵۹ تا ۵۵/۴۰ متغیر بود از طرفی مشخص گردید که کمترین میزان این شاخص مربوط به نمونه تهیه شده با میزان برابر آرد ذرت و باکویت و بدون اینولین بود (شکل ۵). در اثر پخت تغییراتی در رنگ بیسکویت اتفاق می‌افتد که مربوط به انجام واکنش مایلارد (برهم کنش‌های میان قندهای احیا کننده و گروه آمینی پروتئین‌ها) و کاراملیزه شدن (برهم کنش میان قندها) می‌باشد که نتیجه چنین واکنش‌هایی ایجاد رنگ قهوه‌ای- طلایی است. ترکیبات پروتئینی موجود در فیبرها و فرمولاسیون بیسکویت می‌تواند بر شدت رنگ پوسته موثر باشد [۴۷, ۴۸]. این واکنش در بعضی موارد نامطلوب است و علاوه‌بر ایجاد ظاهر نامطلوب در مواد غذایی سبب کاهش ارزش تغذیه‌ای پروتئین (به ویژه لیزین) هم می‌شود. هرچه غلظت قندهای احیاءکننده موجود بیشتر باشد، رنگ‌های تیره‌تری ایجاد می‌شود. این واکنش در محیط‌های قلیایی رایج‌تر از محیط‌های اسیدی است [۴۹, ۵۰]. تساتساراگو و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی به بررسی کاربرد اینولین به‌عنوان جایگزین شکر در کیک و بیسکویت پرداختند و بیان داشتند که اینولین حاوی قندهای احیاکننده است و بنابراین، ممکن است قهوه‌ای شدن میلارد را در طول پخت در مقایسه با نمونه شاهد تسریع کرده باشد [۴]. نتایج مشابهی برای کیک‌های با پلی‌دکستروز به‌عنوان جایگزین شکر و اینولین به‌عنوان جایگزین چربی در کیک گزارش شده است [۳۵, ۵۱]. در مطالعه‌ای که باهدف بررسی تاثیر بخش‌های مختلف دانه باکویت بر ویژگی‌های نان صورت گرفته بود، مشخص گردید که افزایش آرد باکویت منجر به کاهش شاخص L^* نمونه‌ها گردید [۳۴].

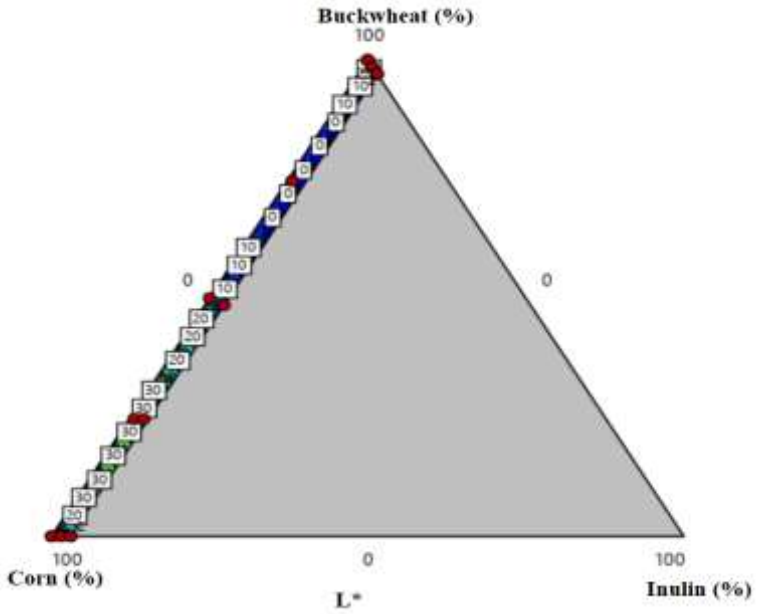


Figure 5- Effect of formulation type on the L* index of samples

۳-٦- تاثیر نوع فرمولاسیون بیسکویت بر تعداد باکتری‌های پروبیوتیک نمونه‌ها

تعداد باکتری‌های پروبیوتیک در نمونه‌های تولیدی از log cfu/g ۲/۲ در نمونه تهیه شده از ۵۰ درصد آرد ذرت و باکویت تا log cfu/g ۱۰/۲ در نمونه حاوی ۳/۰ درصد اینولین و ۹۷/۰ درصد آرد باکویت متغیر بود. نتایج نشان داد که تعداد باکتری‌ها با افزایش اینولین در فرمولاسیون بیسکویت‌های تولیدی افزایش یافت (شکل ٦). از طرفی مشخص گردید که بیشترین تاثیر بر تعداد باکتری‌های پروبیوتیک بیسکویت‌های تولیدی مربوط به میزان اینولین بود (جدول ۲). علت افزایش این باکتری‌ها با افزایش اینولین را می‌توان به تاثیر مثبت این ماده بر قابلیت زنده‌مانی آنها نسبت داد. سینباس و همکاران (۲۰۲٤) مشخص نمودند که مواد تشکیل‌دهنده و تکنیک‌های پخت بر زنده‌مانی اسپورهای *باسیلوس کوآگولانس* در طول پخت و شرایط هضم آزمایشگاهی فرارودهای حاصل از غلات موثر می‌باشد. اینولین کربوهیدراتی است که به دلیل تاثیر بر تخمیر و افزایش رشد باکتری‌ها، توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۵۲]. در مطالعاتی که از آن به‌عنوان سوبسترا در فرآیندهای تخمیری استفاده می‌کنند، اینولین توانایی تأمین انرژی برای میکروارگانیسم‌های مختلف، به ویژه باکتری‌های مفید، را نشان داده است که آن را به یک سوبسترای مفید برای باکتری‌های تولیدکننده اینولیناز تبدیل می‌کند. این آنزیم پیوندهای گلیکوزیدی را می‌شکند و مولکول‌های فروکتوز را آزاد می‌کند که به راحتی توسط این میکروارگانیسم‌ها متابولیزه می‌شوند. این فرآیند نه تنها محصولات جانبی تخمیر مانند اسیدهای چرب با زنجیره کوتاه را تولید می‌کند که به طعم‌ها و بافت‌های متمایز غذاهای تخمیر شده کمک می‌کنند، بلکه محیطی مساعد برای رشد و تکثیر باکتری‌های پروبیوتیک ایجاد می‌کند [۵۳]. رضایی و همکاران (۲۰۱٤) نیز نشان دادند که افزایش اینولین منجر به افزایش تعداد باکتری‌های پروبیوتیک در ماست منجمد می‌شود [٥٤]. ماتیچکووا و همکاران (۲۰۱۷) اقدام به تهیه محصولات پروبیوتیک فراسودمند بر پایه باکویت تخمیر شده با *لاکتوباسیلوس رامنوسوس* نمودند و گزارش دادند که استفاده از باکویت منجر به افزایش تعداد باکتری‌های لاکتیکی در محصولات گردید [۵۵].

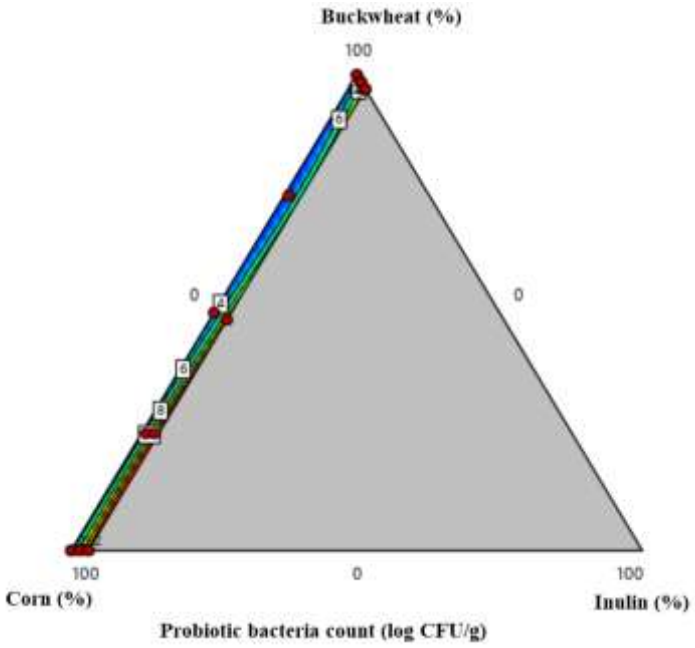


Figure 6- Effect of formulation type on the probiotic bacterial count of samples

۳-۷- تاثیر نوع فرمولاسیون بر پذیرش کلی بیسکویت‌های تولیدی

نتایج نشان داد که در بین متغیرهامیزان آرد ذرت و باک ویت بر خلاف اینولین، تاثیر مثبتی بر افزایش پذیرش کلی نمونه‌ها داشتند (شکل ۷ و جدول ۲). میزان پذیرش کلی بیسکویت‌های تولیدی در محدوده ۳ تا ٤ متغیر بود. با توجه به ضرایب ارائه شده در مدل به دست آمده، می‌توان بیان نمود که تاثیر متغیر اینولین بیش از ٤٣-٤٤ برابر دو متغیر دیگر بود (جدول ۲). به‌طور کلی، بیسکویت‌های با کیفیت بالا، دارای سفتی مطلوب (در طول حمل و نقل شکل خود را حفظ کنند، اما به راحتی هنگام جویدن در دهان خرد شوند)، گسترش پذیری بالا (قطر/ضخامت)، بی‌نظمی ظاهری کمتر، رنگ قهوه‌ای، ظاهر جذاب و عطر و طعم دلپذیر هستند. تحقیقات نشان داده است که در ارزیابی حسی بیسکوییت، عطر و طعم، بافت و سپس ظاهر به ترتیب بیشترین اهمیت را دارند [٥٦]. فرزانا و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که با افزایش غلظت آرد باکویت تا ۳۰ درصد، کیفیت و امتیاز پذیرش حسی کیک‌های تهیه شده افزایش یافت [٥٧]. امامی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که اختلاف آماری معنی‌داری بین پذیرش کلی بیسکویت‌های تهیه شده با ۲۵ درصد اینولین و دکسترین با نمونه شاهد وجود نداشت ولی رنگ و طعم این نمونه‌ها از نمونه شاهد بهتر بودند [۱۸].

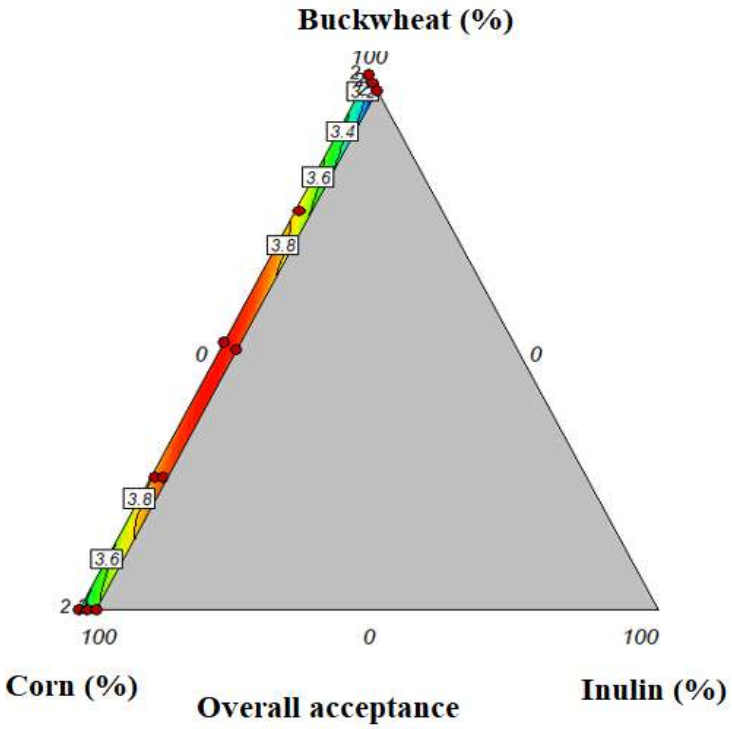


Figure 7- Effect of formulation type on the overall acceptance of samples

۳-۸- بهینه‌سازی فرمولاسیون بیسکویت

بهینه‌سازی فرمولاسیون تولید بیسکویت با هدف تولید بیسکویتی با بیشترین تعداد باکتری‌های پروبیوتیک، شاخص L^*، حجم، پذیرش کلی و کمترین میزان سفتی انجام گرفت. با توجه به اینکه در محصولات پروبیوتیک زنده مانی تعداد حداقلی از پروبیوتیک ها ضروری است لذا تعداد پروبیوتیک ها یکی از مهمترین فاکتورها جهت بهینه یابی در نظر گرفته شد. از طرفی، شاخص روشنی به عنوان عامل مهم پذیرش ظاهری محصول و سفتی و حجم از نظر پذیرش بافت محصول نسبت به سایر فاکتورها در الویت بهینه یابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بایستی برای دستیابی به فرمولاسیون بهینه به‌ترتیب از ۲۳/۸۳، ۷٤/۱٦ و ۲/۰۲ درصد آرد باکویت، ذرت و اینولین استفاده نمود تا مطلوبیت ۰/۷٦۹ حاصل گردد. از طرفی مشخص شد که در این شرایط میزان ظرفیت نگهداری آب ۹/۰ گرم بر گرم، مدول G' ×۱۰^{٦} ۱/۳۹ پاسکال، مدول G" ٤۱٤۰۹۰ پاسکال، سختی ۱۳/۳۹ نیوتن، حجم ٤/۱٦ سانتی متر مکعب، تعداد باکتری های پروبیوتیک log cfu/g ۹/۷۷ ، شاخص L^* ۳۹/۸۵ و پذیرش کلی ۳/۹۱ بود. لازم به ذکر است از مقایسه داده‌های حاصل از نرم‌افزار با داده‌های آزمایشگاهی، مشخص گردید که مدل‌های پیش‌بینی کننده در این مطالعه کارایی و دقت بالایی داشتند.

٤- نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری طرح مخلوط ابزار مؤثری برای بهینه‌سازی فرمولاسیون بیسکویت پروبیوتیک بدون گلوتن بر پایه آرد باکویت، آرد ذرت و اینولین است. نتایج بیانگر آن بود که نسبت اجزای فرمولاسیون تأثیر معناداری بر ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر، خصوصیات فیزیکی و بافتی، شاخص رنگ، زنده‌مانی پروبیوتیک و پذیرش حسی محصول نهایی دارد. اینولین علاوه‌بر ایفای نقش پری‌بیوتیکی، در بهبود ساختار و افزایش بقای باکتری‌های پروبیوتیک مؤثر بود، در حالی‌که ترکیب مناسب آردهای باکویت و ذرت نقش مهمی در ایجاد بافت مطلوب و افزایش مقبولیت مصرف‌کننده ایفا نمود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بایستی برای دستیابی به فرمولاسیون بهینه به‌ترتیب از ۲۳/۸۳، ۷٤/۱٦ و ۲/۰۲ درصد آرد باکویت، ذرت

و اینولین استفاده نمود تا مطلوبیت ۰/۷۶۹ حاصل گردد. این فرمولاسیون امکان تولید یک بیسکویت عملگرا با کیفیت تکنولوژیکی مناسب و بار میکروبی پروبیوتیک قابل قبول را فراهم می‌کند. بنابراین، محصول پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای توسعه محصولات نانوایی بدون گلوتن با ارزش افزوده سلامت‌محور در صنعت غذا مورد توجه قرار گیرد.

تامین مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی خاصی از نهادهای دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام فعالیت ها توسط نویسندگان انجام شده است.

منافع رقابتی

هیچ موردی برای اعلام وجود ندارد

۵- منابع

[1] Ballini, A., et al., *About functional foods: The probiotics and prebiotics state of art.* Antibiotics, 2023. **12**(4): p. 635.
[2] El-Sohaimy, S.A. and M.A. Hussain, *Functional probiotic foods development: Trends, concepts, and products*. 2023, MDPI. p. 249.
[3] Al-Sheraji, S.H., et al., *Prebiotics as functional foods: A review.* Journal of functional foods, 2013. **5**(4): p. 1542-1553.
[4] Tsatsaragkou, K., et al., *The functionality of inulin as a sugar replacer in cakes and biscuits; highlighting the influence of differences in degree of polymerisation on the properties of cake batter and product.* Foods, 2021. **10**(5): p. 951.
[5] Kheto, A., et al., *Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions.* Food Chemistry Advances, 2023. **3**: p. 100443.
[6] Fatollahi, M., M. Gharekhani, and H. Bakhshabadi, *Effects of Different Cereal Fibers on the Physicochemical and Sensory Properties of Rice-Based Gluten-Free Biscuits.* Research and Innovation in Food Science and Technology, 2025. **14**(4): p. 299-304.
[7] Mokhtari, Z., et al., *Development and characterization of gluten-free cakes: combined effects of acorn flour and inulin as functional ingredients.* Cereal Research Communications, 2025: p. 1-16.
[8] LI, H., X. WANG, and Y. ZHAO, *Effect of inulin with different degrees of polymerization on edible quality of non-fermented quick-frozen fried dough sticks.* Food & Machinery, 2026. **42**(1): p. 170-175.
[9] Mohammadzadeh, F., et al., *Optimizing the formulation of gluten-free sponge cake based on rice flour containing tragacanth gum and date pomace powder using mixed statistical design.* Journal of food science and technology (Iran), 2025. **22**(161): p. 229-243.
[10] Herrera-Quintana, L., et al., *Celiac disease: beyond diet and food awareness.* Foods, 2025. **14**(3): p. 377.
[11] Tariverdi, S. and M. Gharekhani, *Effect of Sourdough Made With Lactobacillus amylovorus and Lactobacillus brevis Starters on the Quality Characteristics of Gluten-Free Bread Based on Corn Flour.* Journal of Food Processing and Preservation, 2025. **2025**(1): p. 6662199.
[12] Mohr, A.E. and C.M. Whisner, *Effects of Corn Flour Consumption on Human Health Across the Lifespan: A Scoping Review.* The Journal of Nutrition, 2025. **155** :(٦)p. 1571-1582.
[13] Coţovanu, I., C. Mironeasa, and S. Mironeasa, *Insights into the potential of buckwheat flour fractions in wheat bread dough.* Applied Sciences, 2022. **12**(5): p. 2302.
[14] Wronkowska, M., M. Haros, and M. Soral-Śmietana, *Effect of starch substitution by buckwheat flour on gluten-free bread quality.* Food and bioprocess technology, 2013. **6**(7): p. 1820-1827.
[15] Piepel, G.F., *Mixture experiments.* Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability, 2008.
[16] Buruk Sahin, Y., E. Aktar Demirtaş, and N. Burnak, *Mixture design: A review of recent applications in the food industry Mixture design: A review of recent applications in the*

food industry Mixture design: A review of recent applications in the food industry. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 2016. **22**.(٤)
[17] Madadi, M., et al., *Optimization of a gluten-free sponge cake formulation based on quinoa, oleaster, and pumpkin flour using mixture design methodology.* Food Science & Nutrition, 2024. **12**(4): p. 2973-2984.
[18] Emami, N., et al., *Physicochemical, textural, and sensory evaluation of reduced fat gluten-free biscuit prepared with inulin and resistant dextrin prebiotic.* Journal of Agricultural Science and Technology, 2018. **20**(4): p. 719-731.
[19] Zhang, L., et al ,.*Effect of baking conditions and storage on the viability of Lactobacillus plantarum supplemented to bread.* Lwt, 2018. **87**: p. 318-325.
[20] Badia-Olmos, C., et al., *Techno-functional and rheological properties of alternative plant-based flours.* Foods, 2023 :(٧)١٢ .p. 1411.
[21] Demirkesen, I., et al., *Rheological properties of gluten-free bread formulations.* Journal of food Engineering, 2010. **96**(2): p. 295-303.
[22] Emojorho, E., T. Okonkwo, and J. Eze, *Chemical physical shelf-life and sensory properties of biscuits produced from defatted and undefatted debittered orange seed flours.* Fruits, 2023. **78**(1): p. 1-12.
[23] Payne, J., D. Bellmer, and R. Jadeja, *Determining the viability and stability of Bacillus in baked products.* LWT-Food Science and Technology, 20 :٢١٨ .٢٥p. 117519.
[24] Nemati, R., et al., *Production of microencapsulated cinnamon extract using spray drying and evaluation of its effects on bread quality.* Scientific Reports, 2025.
[25] Trejo Rodriguez, I.S., et al., *Physicochemical properties, antioxidant capacity, prebiotic activity and anticancer potential in human cells of jackfruit (Artocarpus heterophyllus) seed flour.* Molecules, 2021. **26**(16): p. 4854.
[26] Singh, J.P., et al., *Physicochemical evaluation of corn extrudates containing varying buckwheat flour levels prepared at various extrusion temperatures.* Journal of Food Science and Technology, 2019. **56**(4): p. 2205-2212.
[27] Türker, D.A. and E.M. İşçimen, *Effect of buckwheat–corn flour ratios on the functional and physical properties of gluten-free crackers.* Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 2025. **29**(4): p. 662-672.
[28] Oluwole, O.S., et al., *Next-generation gluten-free noodles: integration of hydrocolloids, fibers, and bioactive compounds: Oladeji Solomon Oluwole et al.* Food Science and Biotechnology, 2026: p. 1-19.
[29] Shiri, A., et al., *Technological characteristics of inulin enriched gluten-free bread: Effect of acorn flour replacement and fermentation type.* Food Science & Nutrition, 2021. **9**(11): p. 6139-6151.
[30] Iacovino, S., et al ,.*Combination of empirical and fundamental rheology for the characterization of dough from wheat flours with different extraction rate.* Food Hydrocolloids, 2024. **148**: p. 109446.
[31] Cui, Y., et al., *Effects of damaged starch on the rheological properties of starch–gluten dough.* International Journal of Food Science and Technology, 2025. **60**(1): p. vvaf122.
[32] Rao, V., S. Mulvaney, and J. Dexter, *Rheological characterisation of long-and short-mixing flours based on stress–relaxation.* Journal of Cereal Science, 2000. **31**(2): p. 159-171.
[33] Amboon, W., V. Tulyathan, and J. Tattiyakul, *Effect of hydroxypropyl methylcellulose on rheological properties, coating pickup, and oil content of rice flour-based batters.* Food and Bioprocess Technology, 2012. **5**(2): p. 6.٦٠٨-٠١
[34] Coţovanu, I. and S. Mironeasa, *Influence of buckwheat seed fractions on dough and baking performance of wheat bread.* Agronomy, 2022. **12**(1): p. 137.
[35] Kocer, D., et al., *Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar-and fat-replacer.* Journal of food engineering, 2007. **78**(3): p. 953-964.
[36] Rodriguez-Garcia, J., et al., *Soluble fibres as sucrose replacers: Effects on physical and sensory properties of sugar-reduced short-dough biscuits.* LWT, 2022. **1** :٦٧p. 113837.
[37] Ranasinghe, M., et al., *Valorizing date seeds through ultrasonication to enhance quality attributes of dough and biscuit, Part-1: Effects on dough rheology and physical properties of biscuits.* Ultrasonics sonochemistry, 2024. **109**: p. 10.٧٠١٥
[38] Mamat, H. and S. Hill, *Structural and functional properties of major ingredients of biscuit.* International food research journal, 2018. **25**.(٢)
[39] Mamat, H. and S.E. Hill, *Effect of fat types on the structural and textural properties of dough and semi-sweet biscuit.* Journal of food science and technology, 2014. **51**(9): p. 1998-2005.
[40] Zhang, B., et al., *Starch-based food matrices containing protein: Recent understanding of*

morphology, structure, and properties. Trends in Food Science & Technology, 2021. **114**: p. 212-231.
[41] Ghaemi, P., et al., *The Effect of Whey Protein Concentrate, Soy Protein Isolate, and Xanthan Gum on Textural and Rheological Characteristics of Gluten-Free Batter and Cake.* Journal of Food Processing and Preservation, 2024 :(١)٢٠٢٤ .p. 5571107.
[42] Majzoobi, M., et al., *Effect of different levels and particle sizes of wheat bran on the quality of flat bread.* Journal of Agricultural Science and Technology (JAST), 2013. **15**(1): p. 115-123.
[43] Abdalla, L.A., S. Helmy, and Y.M .Riyad, *The Impact of Inulin and Chia Mucilage on Biscuit Formula as a Fat Replacer.* Egyptian Journal of Chemistry, 2023. **66**(5): p. 261-271.
[44] Drakos, A., et al., *The effect of inulin on the physical and textural properties of biscuits containing jet milled barley flour.* Polysaccharides, 2021. **2**(1): p. 39-46.
[45] Wang, L., et al., *Effect of buckwheat hulls at cell-scale on physiochemical and textural properties of steamed rice cake.* LWT, 2024. **209**: p. 116818.
[46] Eren, E. and M.R. Akkaya, *Effect of different forms of buckwheat addition on the physicochemical and sensory properties of bread.* Czech Journal of Food Sciences, 2024. **42**.(٣)
[47] Adedara, O.A. and J.R. Taylor, *Roles of protein, starch and sugar in the texture of sorghum biscuits.* LWT, 2021. **136** :p. 110323.
[48] Fustier, P., et al., *Flour constituent interactions and their influence on dough rheology and quality of semi-sweet biscuits: A mixture design approach with reconstituted blends of gluten, water-solubles and starch fractions.* Journal of Cereal Science, 2008. **48**(1): p. 144-158.
[49] El Hosry, L., et al., *Maillard Reaction: Mechanism, Influencing Parameters, Advantages, Disadvantages, and Food Industrial Applications: A Review.* Foods, 2025. **14**(11): p. 1881.
[50] Qi, Y., et al., *Maillard reaction in flour product processing: mechanism, impact on quality, and mitigation strategies of harmful products.* Foods, 2025. **14**(15): p. 2721.
[51] Rodríguez-García, J., et al., *Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure ,physicochemical, and sensory properties.* Journal of food science, 2012. **77**(2): p. C189-C197.
[52] Cinbaş, G., S.A. Tontul, and N. Akin, *Effect of bread ingredients and baking techniques on Bacillus coagulans GBI-30 viability during baking and in vitro digestion.* Journal of Cereal Science, 2024. **117**: p. 103907.
[53] Pereira, W.A., et al., *Alternative fermented soy-based beverage: impact of inulin on the growth of probiotic strains and starter culture.* Fermentation, 2023. **9**(11): p. 961.
[54] Rezaei, R., et al ,.*Effect of inulin on the physicochemical properties, flow behavior and probiotic survival of frozen yogurt.* Journal of Food Science and Technology, 2014. **51**(10): p. 2809-2814.
[55] Matejčeková, Z., D. Liptáková, and Ľ. Valík, *Functional probiotic products based on fermented buckwheat with Lactobacillus rhamnosus.* LWT-Food Science and Technology, 2017. **81**: p. 35-41.
[56] Dapčević Hadnađev, T.R., A.M. Torbica, and M.S. Hadnađev, *Influence of buckwheat flour and carboxymethyl cellulose on rheological behaviour and baking performance of gluten-free cookie dough.* Food and Bioprocess Technology, 2013. **6**(7): p. 1770-1781.
[57] Farzana, T., et al., *Quality improvement of cakes with buckwheat flour, and its comparison with local branded cakes.* Current Research in Nutrition and Food Science Journal, 2021. **9**(2): p. 570-577.
[58] Karazhyan, R et al . *Optimizing the formulation of functional cake with date syrup and inulin.* Iranian Journal of Food Science and Technology, 2021. 111(18): p.147-157

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Optimization of Probiotic Biscuit Formulation Containing Corn Flour, Buckwheat Flour, and Inulin Using Mixture Design and Evaluation of Functional and Quality Properties

Aynaz Gharebashi, Rahil Rezaei[1*], Hamid Bakhshabadi[2]

1-Department of Food Science and Technology, GKM.C., Gonbad Kavoos & minoodasht Branch, Islamic Azad University, Gonbad Kavoos, Iran

2-Department of Agriculture, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2026/02/16

Review: 2026/04/26

Accepted: 2026/04/29

Keywords:

Biscuit,

Optimization,

Inulin,

Buckwheat,

Probiotic Bacteria

DOI: **10.48311/fsct.2026.119376.83069**

*Corresponding Author E-

rezaei.rahil@yahoo.com

ABSTRACT

Functional foods, beyond fulfilling nutritional requirements, contribute to health promotion and disease risk reduction. This study aimed to optimize the formulation of a gluten-free probiotic biscuit using a mixture design to evaluate the effects of buckwheat flour (0–100%), corn flour (0–100%), and inulin (0–3%) on water-holding capacity, storage and loss moduli, hardness, volume, L* index, probiotic viability, and overall acceptance of the flour, dough, and final product. All responses were significantly affected by the mixture components ($p < 0.05$). The optimal formulation for maximizing probiotic count, L* index, volume, and overall acceptance while minimizing hardness consisted of 23.83% buckwheat flour, 74.16% corn flour, and 2.02% inulin, with an overall desirability of 0.769. Under these conditions, water-holding capacity reached 9.0 g/g, G' 1.39 × 10^6 Pa, G" 414,090 Pa, hardness 13.39 N, volume 4.16 cm^3, probiotic count 9.77 log CFU/g, L* index 39.85, and overall acceptance 3.91. These findings highlight the potential of the optimized formulation for developing a gluten-free functional biscuit with desirable technological quality and enhanced probiotic stability.