

## بررسی تأثیر افزودن نشاسته مقاوم بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک برنجی بدون گلوتن

سوده ذوالفقاری<sup>۱</sup>، مهدی قیافه داودی<sup>۲\*</sup>، سید علی مرتضوی<sup>۳</sup>، احمد پدram نیا<sup>۴</sup>،  
فریبا نقی پور<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترای علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۳- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۴- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۱۴)

### چکیده

نشاسته مقاوم نوع سه به عنوان یک فیبر رژیمی در دسته ترکیبات پری بیوتیک جای دارد و می توان از آن در غنی سازی رژیم های کم کالری و بدون گلوتن مخصوص بیماران مبتلا به سلیاک استفاده نمود. در همین راستا هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان بهبود خصوصیات کمی و کیفی به همراه افزایش ارزش تغذیه ای کیک برنجی بدون گلوتن با جایگزینی آرد برنج با نشاسته مقاوم نوع سه در سطوح صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد و ارزیابی ویژگی های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی محصول تولیدی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی بود ( $P < 0.05$ ). نتایج نشان داد که با جایگزینی آرد برنج با نشاسته مقاوم در فرمولاسیون کیک برنجی بدون گلوتن، وزن مخصوص خمیر کاهش و میزان رطوبت محصول نهایی افزایش یافت. همچنین با جایگزینی آرد برنج با نشاسته مقاوم نوع سه تا سطح ۲۰ درصد، ارتفاع، حجم مخصوص و تخلخل محصول نهایی افزایش و پس از آن کاهش یافت. از سوی دیگر نمونه حاوی ۲۰ درصد نشاسته مقاوم از کمترین میزان سفتی بافت در بازه های زمانی ۲ ساعت، ۳ و ۷ روز پس از تولید برخوردار بود. علاوه بر این نتایج گویای آن بود که با جایگزینی نشاسته مقاوم در فرمولاسیون کیک برنجی بدون گلوتن تنها در سطوح ۲۵ و ۳۰ درصد جایگزینی، میزان مؤلفه  $L^*$  پسته و مغز محصول افزایش و از میزان مؤلفه های  $a^*$  و  $b^*$  آن کاسته شد. در نهایت داوران چشایی با ارزیابی خصوصیات از جمله فرم و شکل، رنگ، سفتی و نرمی بافت، طعم (مزه و آروما) و پذیرش کلی، نمونه حاوی ۸۰ درصد آرد برنج و ۲۰ درصد نشاسته مقاوم را به عنوان بهترین نمونه معرفی نمودند. بنابراین با توجه به نتایج ارزیابی ویژگی های فیزیکوشیمیایی و حسی، می توان با جایگزینی ۲۰ درصد نشاسته مقاوم با آرد برنج در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن، محصولی با کالری کمتر و مناسب برای افراد مبتلا به بیماری سلیاک تولید نمود.

**کلید واژگان:** کیک بدون گلوتن، بیماری سلیاک، نشاسته مقاوم، پری بیوتیک، غیر قابل هضم.

\* مسئول مکاتبات: mehdidavoodi@yahoo.com

## ۱- مقدمه

امروزه افزایش مصرف غلات به عنوان منبع اصلی فیبر غذایی توصیه می‌شود [۱]. در همین راستا مصرف کیک به عنوان یکی از محصولات صنایع پخت به دلیل سهولت در تولید، مصرف و نگهداری رواج یافته است. از طرفی به دلیل شیوع بیماری سلیاک، بخشی از افراد جامعه توانایی مصرف محصولات بر پایه آرد گندم را ندارند. بیماری مذکور از نوع خود ایمنی گوارشی می‌باشد که در اثر هضم گلوتن در افرادی که از لحاظ ژنتیکی مستعد آن هستند، وجود دارد [۲]. افراد مبتلا به این بیماری دارای التهاب مزمن روده کوچک بوده که این امر به صورت مسطح و پهن شدن پرزهای روده در اثر خوردن پروتئین‌های سرشار از پرولین و گلوتامین نظیر پروتئین موجود در گندم، جو، چاودار و یولاف، نمود پیدا می‌کند [۳]. با توجه به اینکه تنها راه درمان این بیماری استفاده از رژیم غذایی بدون گلوتن است، مطالعات پیرامون تولید مواد غذایی بدون گلوتن به ویژه محصولات صنایع پخت با ارزش تغذیه‌ای بالا، از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین جهت تولید کیک بدون گلوتن به گونه‌ای که قابلیت استفاده توسط این دسته از بیماران را داشته باشد، می‌توان از مواد نشاسته‌ای، آرد بعضی از غلات و شبه غلات که عاری از گلوتن هستند، استفاده نمود. از سوی دیگر به دلیل گرایش افراد جامعه به مصرف مواد غذایی رژیمی جهت جلوگیری از افزایش وزن و حفظ سلامت، ذهن بسیاری از محققان و تولیدکنندگان به سمتی جلب شده که محصولات صنایع پخت را به صورت رژیمی و حتی با کالری کمتر به بازار عرضه نمایند. بدین منظور، استفاده از فیبرهای رژیمی در فرمولاسیون مواد غذایی یکی از بهترین راهکارهاست. یکی از این فیبرهای رژیمی که امروزه مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است، نشاسته مقاوم<sup>۱</sup> می‌باشد. نشاسته‌های مقاوم در دسته نشاسته‌های غیرقابل هضم طبقه‌بندی شده‌اند که مقاومت بالایی در برابر آنزیم‌های هیدرولیز کننده دارند. در واقع نشاسته مقاوم، بخشی از نشاسته و محصولات نشاسته‌ای است که در اثر عملکرد آنزیم‌های هیدرولیز کننده در روده کوچک هضم نمی‌شوند ولی در روده بزرگ تحت تأثیر فعالیت باکتری‌ها تخمیر می‌گردند و محصولات مختلفی از جمله اسیدهای چرب کوتاه زنجیر نظیر اسید بوتیریک و اسید

پروپیونیک و گازهای دی اکسید کربن و هیدروژن و گاه‌آمتان تولید می‌کند. این ترکیب، مولکولی خطی با اتصالات آلفا ۱ به ۴ دی گلوکان می‌باشد که به‌طور خاص از بخش آمیلوز واگشته<sup>۲</sup> شده مشتق می‌شود و دارای وزن مولکولی  $10^6 \times 1/2$  دالتون می‌باشد [۴]. با توجه به علت غیر قابل هضم بودن نشاسته مقاوم، چهار دسته مختلف از آن وجود دارد: نشاسته مقاوم نوع یک، ساختار مولکولی فشرده و به دام افتاده نشاسته امکان دسترسی آنزیم‌های گوارشی به سوبسترا را با محدودیت روبرو می‌سازند مانند نشاسته موجود در دانه‌ها و غلات نیمه آسیاب شده. در نشاسته مقاوم نوع دوم خود گرانول‌های نشاسته دارای ساختاری هستند که از فعالیت آنزیم‌های گوارشی جلوگیری می‌کنند و در سیب‌زمینی خام، موزهای نارس و نشاسته ذرت آمیلوز بالا وجود دارند. نشاسته مقاوم نوع سوم، بعد از سرد کردن ژل‌های نشاسته‌ای تشکیل شده در حضور آب و حرارت، ایجاد شده و این کریستال‌های نشاسته تشکیل شده در برابر آنزیم‌های گوارشی مقاوم می‌باشند. نام دیگر نشاسته مقاوم نوع سه، نشاسته واگشته است و در مقادیر کمتر از ۵ درصد در چپس ذرت و سیب زمینی پخته سرد شده وجود دارد. نشاسته‌های مقاوم نوع چهارم، نشاسته‌هایی هستند که با روش‌های شیمیایی از قبیل استری شدن، اتری شدن و غیره اصلاح شده‌اند و توسط آنزیم‌های گوارشی هضم نمی‌شوند [۴]. با توجه به تولید بوتیرات، پروپیونات و استات در طی تخمیر نشاسته مقاوم که به عنوان محیط کشت و منبع انرژی برای رشد باکتری‌های پروبیوتیک‌ها می‌باشد، نشاسته مقاوم تحت عنوان محصولی پری‌بیوتیک معرفی می‌گردد [۵]. به‌طور کلی پری‌بیوتیک‌ها نظیر نشاسته مقاوم ترکیباتی غیرقابل هضم یا با قابلیت هضم اندک هستند که رشد یا فعالیت باکتری‌های پروبیوتیک‌ها را تشدید می‌کنند. در این راستا بونیک و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای نشان دادند که نشاسته مقاوم نوع سه در مقادیر ۲/۵ و ۵ گرم در روز در طول ۷ روز مصرف به‌طور قابل ملاحظه‌ای رشد بیفیدوباکترهای مدفوعی را افزایش می‌دهد. غذاهای محتوی نشاسته مقاوم سرعت گوارش و هضم را کاهش می‌دهند که در نتیجه آن، می‌توان کاربرد این ترکیب را در آزادسازی کنترل شده گلوکز، به‌ویژه در مورد بیماران دیابتی توجیه نمود [۶]. بنابراین نشاسته مقاوم می‌تواند به عنوان ترکیبی جذاب برای تولیدکنندگان مواد غذایی نظیر

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

آرد برنج با ۱۰/۱ درصد رطوبت، ۰/۳۲ درصد خاکستر، ۸۱ درصد نشاسته، ۷/۲۵ درصد پروتئین و ۱/۲۲ درصد چربی از شرکت خزر خوشه (تهران، ایران) خریداری گردید. شایان ذکر است که تمام آرد مورد نیاز برای انجام آزمایشات به صورت یکجا تهیه و در سردخانه با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. سایر مواد مورد نیاز در آزمایشات شامل شکر، وانیل، شربت اینورت، روغن نباتی مایع و بیکنینگ پودر از یک فروشگاه عرضه کننده مواد اولیه قنادی خریداری و تخم‌مرغ تازه نیز یک روز قبل از تولید روزانه کیک‌ها تهیه و در یخچال نگهداری شد. صمغ گوار (E412)، صمغ زانتان (E415) از شرکت رودیا (فرانسه) خریداری گردید.

### ۲-۲- روش‌ها

#### ۲-۲-۱- تولید نشاسته مقاوم نوع سه

به منظور تولید نشاسته مقاوم نوع سه از نشاسته ذرت تولید شده در شرکت زرین ذرت شاهرود (نشاسته ذرت خوراکی سپیدار) مطابق با روش دوندار و همکاران (۲۰۱۳) با کمی تغییرات استفاده گردید [۵]. به این ترتیب که سوسپانسیون ۱ به ۱۰ نشاسته معمولی ذرت و آب مقطر تهیه و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی هیتر هم‌زن‌دار (techno Kartell- TK22) ایتالیا) در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد پخته شد و بعد از خنک شدن در دمای آزمایشگاه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس اتوکلاو گردید. سپس نمونه نشاسته در دمای اتاق سرد شد و پس از تعادل دمایی با محیط، برای مدت زمان ۷۲ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس بدون هیدرولیز اسیدی نگهداری و نمونه در آن با دمای ۴۵ درجه سلسیوس خشک شد. زمانی که رطوبت نمونه‌ها به حدود ۱۲ درصد رسید، نمونه‌ها آسیاب شده و از الکی با مش ۱۰۰ عبور داده شدند.

#### ۲-۲-۲- تهیه خمیر و تولید کیک بدون گلوتن

فرمول پایه (شاهد) خمیر کیک حاوی ۱۰۰ درصد آرد برنج، ۲۵ درصد شکر، ۳۶ درصد تخم‌مرغ، ۳۶ درصد روغن، ۱۲ درصد شربت اینورت، ۲ درصد بیکنینگ پودر، ۰/۲ درصد وانیل، ۰/۶ درصد صمغ گوار، ۰/۳ درصد صمغ زانتان و ۸۰-۵۰ درصد آب بود (تمام درصدها بر اساس درصد وزن آرد گزارش شدند) [۱۱]. شایان ذکر است که نشاسته مقاوم نوع

نان، کیک و محصولات مشابه در نظر گرفته شود [۷]. شایان ذکر است که نشاسته مقاوم نوع سه، در دما و رطوبت بالا مقاومت کرده و در محصول نهایی باقی می‌ماند، از این‌رو گزینه مناسبی برای ارتقاء ارزش غذایی محصولات صنایع پخت می‌باشد. در راستای استفاده از نشاسته مقاوم در مواد غذایی، مقصودلو و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر فیبرهای نشاسته مقاوم نوع سه یا واگشته بر ویژگی‌های مختلف کیک را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند نمونه‌های محتوی نشاسته مقاوم ضمن اینکه می‌توانند رضایت مصرف‌کنندگان را جلب نمایند، از میزان انرژی‌زایی کمتری نیز برخوردار بودند [۸]. قابل ذکر است که نشاسته مقاوم دارای اندازه کوچک، ظاهر سفید، طعم شیرین مطلوب و عدم ایجاد پس طعم است و قابلیت افزایش ویسکوزیته، جذب آب، متورم شدن، تشکیل ژل و بهبود پایداری امولسیون‌ها را دارد [۷]. محبی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اثر پری‌بیوتیک‌های بتاگلوکان و نشاسته مقاوم به هضم را بر ویژگی‌های کیفی و حسی نان تست طی روزهای مختلف نگهداری مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد بتاگلوکان و نشاسته مقاوم اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی نان تست نداشت، در حالی که باعث افزایش زمان ماندگاری و کاهش بیاتی محصول شد [۹]. کوراس و همکاران (۲۰۰۹) نیز تأثیر افزودن نشاسته مقاوم حاصل از ذرت و تاپوکا را بر روی خصوصیات خمیر نان بدون گلوتن مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این محققان نشان داد که استفاده از نشاسته مقاوم منجر به افزایش زمان نگهداری شد و میزان سفتی بافت نمونه‌های تولیدی نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت. همچنین این محققین ادعان داشتند که افزودن نشاسته مقاوم ذرت تا سطح ۲۰ درصد، مقدار فیبر رژیمی کل را تا بیشتر از ۹۸ درصد در مقایسه با نمونه شاهد افزایش داد [۱۰].

بنابراین با توجه به مطالب بیان شده در خصوص غذاهای فاقد گلوتن و کاهش میزان کالری این مواد غذایی از یک سو و بهبود ارزش تغذیه‌ای آن‌ها از سوی دیگر، هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان تولید کیک برنجی بدون گلوتن عملگرا بر پایه آرد برنج با جایگزینی نشاسته مقاوم به‌عنوان یک ترکیب پری‌بیوتیک در سطوح صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد در فرمولاسیون و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی محصول نهایی بود.

ارتفاع کیک‌ها از بالاترین نقطه کیک تا قسمت انتهایی کاغذ کاپ کیک، بعد از دو ساعت خنک شدن در دمای محیط اندازه‌گیری شد [۱۴].

#### ۲-۳-۴- حجم مخصوص

برای اندازه‌گیری حجم مخصوص نمونه‌های کیک از روش جایگزینی حجم، با دانه کلزا<sup>۳</sup> مطابق با استاندارد AACC شماره ۷۲-۱۰ استفاده شد و از تقسیم حجم به وزن، حجم مخصوص محاسبه گردید [۱۳].

#### ۲-۳-۵- تخلخل

جهت اندازه‌گیری میزان تخلخل از مغز نمونه‌های کیک تولیدی به وسیله اسکنر (مدل: ScanjetG3010 HP) با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویربرداری شد، سپس تصویر تهیه شده در اختیار نرم‌افزار Image I قرار گرفت. تصاویر دودویی که مجموعه‌ای از نقاط روشن و تاریک است، تهیه گردید. در واقع محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به عنوان شاخص از میزان تخلخل نمونه‌ها برآورد می‌شود. بدیهی است که هر اندازه این نسبت بیشتر باشد بدین معناست که میزان حفرات موجود در بافت کیک (میزان تخلخل) بیشتر است [۱۵].

#### ۲-۳-۶- رنگ پوسته و مغز

آنالیز رنگ پوسته و مغز کیک، از طریق تعیین شاخص‌های  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  انجام شد. شاخص  $L^*$  معرف میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. شاخص  $a^*$  میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص  $b^*$  میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد را نشان می‌دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر می‌باشد. جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها ابتدا از پوسته و برش طولی (مغز) نمونه‌های کیک تولیدی به وسیله اسکنر تصویربرداری شد، سپس تصویر تهیه شده در اختیار نرم‌افزار Image I قرار گرفت و با فعال کردن فضای LAB در بخش Platings، شاخص‌های فوق محاسبه شد [۱۶].

#### ۲-۳-۷- سفتی بافت

ارزیابی بافت کیک در فواصل زمانی ۲ ساعت، ۳ و ۷ روز پس از پخت، با استفاده از دستگاه بافت‌سنج QTS (مدل CNS Farnell، ساخت کشور انگلستان) انجام گرفت [۱۷]. حداکثر

سه در سطوح صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد جایگزین آرد برنج موجود در فرمولاسیون گردید و به ترتیب ۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰، ۷۵ و ۸۰ درصد وزن آرد برنج، آب اضافه شد. به‌منظور تهیه خمیر کیک، روغن، شکر و تخم‌مرغ با استفاده از یک همزن برقی (Electra EK-230M، ژاپن) با سرعت ۱۲۸ دور در دقیقه و در مدت زمان ۶ دقیقه مخلوط گردید تا یک کرم حاوی حباب‌های هوا ایجاد شد. سپس آب و شربت اینورت به این کرم اضافه شده و عمل همزدن به مدت ۴ دقیقه ادامه یافت. در مرحله بعد بیکینگ پودر، وانیل و نشاسته مقاوم (با توجه به هریک از تیمارها) به آرد برنج اضافه گردید و مخلوط حاصل به صورت تدریجی به کرم افزوده شد. در ادامه صمغ گوار و گزانتان به مخلوط اضافه گردید. در نهایت با استفاده از یک قیف پارچه‌ای ۵۵ گرم از خمیر تهیه شده، درون کاغذهای مخصوص کیک درون قالب‌ها ریخته شد. سپس عمل پخت در فر آزمایشگاهی گردان با هوای داغ (Zuccihelli Froni، ساخت کشور ایتالیا) در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت زمان ۲۰ دقیقه انجام شد. پس از سرد شدن، هریک از نمونه‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی به‌منظور ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی، بسته‌بندی و در دمای محیط نگهداری گردید. لازم به ذکر است که نمونه شاهد فاقد نشاسته مقاوم بود که با سایر نمونه‌ها به لحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حسی مقایسه شدند [۱۱].

#### ۲-۳-۲- ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی خمیر و کیک برنجی بدون گلوتن

##### ۲-۳-۲-۱- وزن مخصوص خمیر

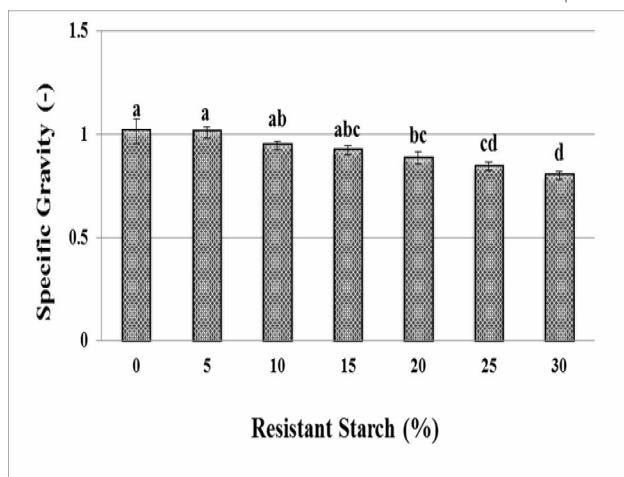
جهت اندازه‌گیری این ویژگی حجم یکسانی از خمیر کیک و آب دوبار تقطیر در یک درجه حرارت یکسان وزن گردید. با تقسیم وزن خمیر کیک به وزن آب دوبار تقطیر، وزن مخصوص خمیر کیک محاسبه شد [۱۲].

##### ۲-۳-۲-۲- رطوبت کیک

جهت ارزیابی میزان رطوبت نمونه‌های کیک برنجی بدون گلوتن تولیدی طی سه بازه زمانی ۲ ساعت، ۳ و ۷ روز پس از پخت، از روش‌های استاندارد AACC به شماره ۱۶-۴۴ استفاده گردید [۱۳].

##### ۲-۳-۲-۲- ارتفاع کیک

وزن مخصوص خمیر محصول با جایگزینی نشاسته مقاوم تا سطح ۳۰ درصد در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن کاهش یافت. در این بین، بیشترین و کمترین میزان وزن مخصوص خمیر به ترتیب در نمونه شاهد و نمونه حاوی ۳۰ درصد نشاسته مقاوم مشاهده گردید. در این راستا مجذوبی و همکاران (۲۰۱۴) اثر افزودن نشاسته مقاوم ذرت در سطوح صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیک را مورد بررسی قرار داده و نتایج ایشان نشان داد با افزودن نشاسته مقاوم وزن مخصوص محصول کاهش یافت [۱۹]. این محققان بیان داشتند ممکن است نشاسته مقاوم باعث ایجاد حباب‌های بزرگ هوا در خمیر شود که مطابق نظر آلیس و همکاران (۲۰۰۶) این حباب‌های در حین فرآیند پخت ترکیده و باعث تخریب ساختمان کیک می‌شود [۲۰]. همچنین در این خصوص نتایج مشابهی نیز توسط سانز و همکاران (۲۰۰۸) و بیکسولی و همکاران (۲۰۰۸ الف) در ارتباط با افزودن نشاسته مقاوم به خمیر مافین گزارش شده است [۱۴ و ۲۱].



**Fig 1** Effect of rice flour replacement by resistant starch on specific gravity of gluten free rice cake batter  
(Means with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

### ۳-۲-۲- رطوبت کیک

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با جایگزینی سطوح مختلف نشاسته مقاوم با آرد برنج موجود در فرمولاسیون کیک برنجی بدون گلوتن در هر سه بازه زمانی ۲ ساعت، ۳ و ۷ روز پس از پخت، میزان رطوبت محصول افزایش یافت و در این بین، بیشترین و کمترین میزان رطوبت به ترتیب در نمونه حاوی ۳۰ درصد نشاسته مقاوم و نمونه شاهد مشاهده گردید. در همین راستا مقصودلو و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر فیبرهای

نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب استوانه‌ای با انتهای صاف (۲ سانتی‌متر قطر در ۲/۳ سانتی‌متر ارتفاع) با سرعت ۶۰ میلی‌متر در دقیقه از مرکز کیک، به عنوان شاخص سفتی محاسبه گردید. شایان ذکر است که به منظور دستیابی دقیق به میزان سفتی بافت داخلی کیک، قله‌ی کیک با یک چاقوی اره‌ای جدا گردید.

### ۳-۲-۲-۸- خصوصیات حسی

به منظور ارزیابی خصوصیات حسی نظیر فرم و شکل، رنگ، طعم (مزه و آروما)، سفتی و نرمی بافت که به ترتیب دارای ضریب رتبه ۴، ۳، ۲ و ۱ بودند، از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (۱: بسیار نامطلوب، ۲: نامطلوب و ... ۵: بسیار مطلوب) استفاده شد. هریک از نمونه‌ها توسط ۱۰ داور آموزش دیده مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت میزان پذیرش کلی نمونه‌های تولیدی با استفاده از رابطه ۲-۱؛ گزارش گردید [۱۱].

رابطه ۲-۱:

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

که در این رابطه:  $Q$  = پذیرش کلی،  $P$  = ضریب رتبه صفات و  $G$  = ضریب ارزیابی صفات.

### ۳-۲-۲-۴- طرح آماری و روش آنالیز نتایج

تأثیر جایگزینی آرد برنج با سطوح مختلف نشاسته مقاوم بر خصوصیات کمی و کیفی کیک برنجی بدون گلوتن، با استفاده از نرم‌افزار SPSS بررسی شد. بدین منظور از یک طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. نمونه‌ها در سه تکرار تهیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن با سطح اطمینان ۹۵ درصد ( $P < 0.05$ ) مورد مقایسه قرار گرفتند. در انتها برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

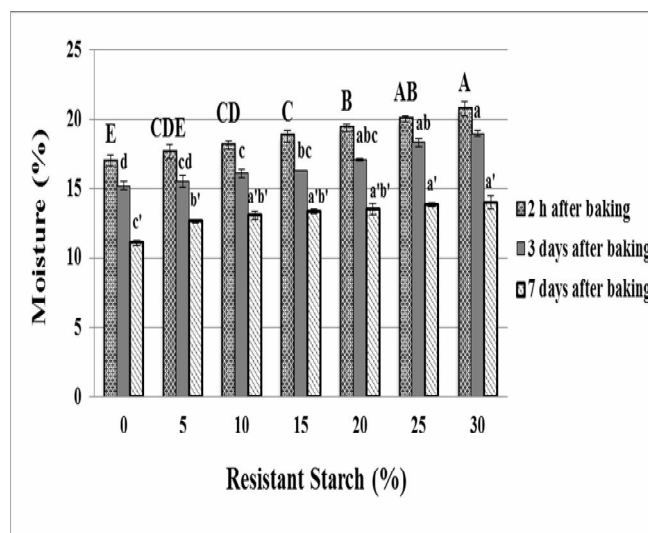
## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- وزن مخصوص خمیر

وزن مخصوص خمیر یک شاخص کلی برای نمایش ظرفیت کلی نگهداری هوا است، اما اندازه و یکنواختی حباب‌های هوا را نشان نمی‌دهد [۱۸]. در شکل ۱ اثر جایگزینی آرد برنج با سطوح مختلف نشاسته مقاوم نوع سه در فرمولاسیون کیک برنجی بدون گلوتن بر میزان وزن مخصوص خمیر نمونه‌های تولیدی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود

فرمولاسیون کیک بدون گلوتن افزایش و در سطوح بالاتر از آن کاهش یافت. در این راستا مجدوبی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی اثر افزودن فیبر جو بر ویژگی‌های خمیر و کیک اسفنجی، عنوان داشتند که با افزودن این فیبر تا ۳۰ درصد، ارتفاع محصول افزایش یافت. آنها تأثیر فیبر جو بر روی حجم و ارتفاع کیک را با افزایش در مقاومت و دانسیته خمیر توضیح دادند که سرعت انتشار گاز کاهش میابد و مقاومت کافی برای کیک را فراهم میکند تا سلولهای هوا را در طی پخت محافظت کند و در طی مراحل اولیه پخت آنها را نگه دارد. همچنین عنوان کردند که ممکن است فیبر جو با کاهش مقدار آب برای ژلاتیناسیون، دمای ژلاتیناسیون نشاسته را افزایش دهد که سبب به تاخیر افتادن تغییرات خمیر از یک حالت مایع امولسیوني هواهی شده به یک ساختار متخلخل و جامد شود. اجازه می-دهد تا قبل از اینکه کیک شکل گیرد، حباب هوا توسط گاز دی اکسید کربن و بخار آب، به خوبی گسترش یابد و به این ترتیب حجم و ارتفاع کیک در مدت زمان بیشتری افزایش میابد. علاوه بر این، فیبرها می‌توانند بر روی کیک تأثیر مثبت داشته باشند زیرا قادرند از دیواره‌های سلول حباب هوا داخل کیک حمایت کنند و از ریزش سریع آنها پس از خارج کردن کیک‌ها از فر و در حین نگهداری جلوگیری نمایند. [۲۲]. از طرفی مقصودلو و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر فیبرهای نشاسته مقاوم نوع سوم یا واگشته را بر میزان ارتفاع کیک مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند افزودن نشاسته مقاوم تأثیر معنی‌داری بر میزان ارتفاع محصول نداشت. ایشان اختلاف در نتایج بدست آمده با نتایج سایر محققان را به دلیل تفاوت در فرمول کیک و نوع فیبر دانستند و عنوان کردند این اثر می‌تواند با ویسکوزیته خمیر کیک در ارتباط باشد و دلیل آن این می‌باشد که به منظور حفظ هوا در هنگام مخلوط کردن خمیر و پایداری هوای تولید شده توسط عوامل تولید کننده گاز در اجزای فرمولاسیون در هنگام پخت، ویسکوزیته خمیر کیک باید در حد کافی بوده تا بتواند به حفظ گاز و در نتیجه افزایش حجم کیک کمک نماید. در مقابل، افزایش بیش از حد ویسکوزیته می‌تواند مشابه تأثیر درصد‌های بالای فیبر، مانع انبساط و سبب کاهش حجم گردد [۸].

نشاسته مقاوم نوع سوم یا در سطوح ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد (بر اساس وزن آرد) بر ویژگی‌های مختلف کیک شامل میزان رطوبت، ارتفاع، رنگ پوسته، رنگ مغز کیک و بافت مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند کیک‌های محتوی نشاسته مقاوم در مقایسه با شاهد از رطوبت بیشتری در هر دو بازه زمانی روز اول و روز هفتم نگهداری برخوردار بودند. ایشان دلیل چنین پدیده‌ای را قابلیت بالای فیبر نشاسته مقاوم در افزایش ظرفیت نگهداری آب برشمردند [۸]. همچنین محبی و همکاران (۱۳۹۲) اثر پری‌بیوتیک‌های بتاگلوکان به میزان ۰/۸، ۱ و ۱/۲ درصد (وزنی/وزنی) و نشاسته مقاوم به هضم به میزان ۵/۵، ۸ و ۱۰ درصد (وزنی/وزنی) بر ویژگی‌های کیفی و حسی نان تست طی روزهای مختلف نگهداری (روز اول، سوم و پنجم) را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که در روز پنج نگهداری افزودن نشاسته مقاوم باعث افزایش میزان رطوبت محصول نهایی گردید. ایشان دلیل این موضوع را اینگونه عنوان کردند که دو ماده بتاگلوکان و نشاسته مقاوم به دلیل دارا بودن ظرفیت نگهداری آب بالاتر سبب افزایش رطوبت و عمر ماندگاری نان می‌شود [۹].



**Fig 2** Effect of rice flour replacement by resistant starch on moisture content of gluten free rice cake (Means with different letters in each period time, differ significantly in  $p < 0.05$ )

### ۳-۳- ارتفاع کیک

در جدول ۱ تأثیر جایگزینی سطوح مختلف آرد برنج با نشاسته مقاوم نوع سه بر میزان ارتفاع کیک برنجی بدون گلوتن ملاحظه می‌گردد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود ارتفاع محصول با جایگزینی نشاسته مقاوم تا سطح ۲۰ درصد در

**Table 1** Effect of rice flour replacement by resistant starch on height, specific volume and porosity of gluten free rice cake

Resistant Starch (%)	Height (cm)	Specific volume (ml/g)	Porosity (%)
0	3.84±0.05 <sup>c</sup>	3.36±0.06 <sup>d</sup>	17.23±0.78 <sup>d</sup>
5	3.92±0.12 <sup>bc</sup>	3.59±0.03 <sup>bcd</sup>	18.78±0.56 <sup>c</sup>
10	4.07±0.08 <sup>b</sup>	3.73±0.02 <sup>bc</sup>	20.87±0.43 <sup>b</sup>
15	4.17±0.10 <sup>ab</sup>	3.87±0.02 <sup>b</sup>	22.91±0.34 <sup>a</sup>
20	4.25±0.05 <sup>a</sup>	4.14±0.03 <sup>a</sup>	22.94±0.66 <sup>a</sup>
25	4.06±0.03 <sup>b</sup>	3.80±0.02 <sup>b</sup>	20.85±0.14 <sup>b</sup>
30	3.91±0.06 <sup>bc</sup>	3.56±0.02 <sup>bc</sup>	18.42±0.37 <sup>c</sup>

(Means with different letters in each column differ significantly in p&lt;0.05)

**۳-۴- حجم مخصوص کیک**

همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می شود حجم مخصوص محصول با جایگزینی نشاسته مقاوم تا سطح ۲۰ درصد در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن افزایش و در سطوح بالاتر از آن کاهش یافت. در این بین، بیشترین و کمترین میزان حجم مخصوص به ترتیب در نمونه حاوی ۲۰ درصد نشاسته مقاوم و نمونه شاهد مشاهده گردید. به نظر می رسد نشاسته مقاوم از توانایی استحکام بخشیدن به دیواره سلول های گازی و ممانعت از پاره شدن آن ها در محصول بدون گلوتن برخوردار است. اما باید دقت نمود که استحکام بخشیدن به دیواره سلول های هوای ورودی چندان زیاد نباشد که از انبساط آن ها در طی پخت جلوگیری به عمل آورد و مانع از افزایش حجم و سبب فشردگی بیش از اندازه بافت محصول نهایی شود. در این راستا گومز و همکاران (۲۰۱۰) نیز اثر میزان فیبر بر کیفیت کیک های غنی شده از فیبر با درصد جانشینی ۱۲، ۲۴ و ۳۶ درصد را مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که با افزایش میزان فیبر تا سطح ۲۴ درصد، حجم کیک ها افزایش یافت اما درصدهای بالاتر فیبر روند مخالفی را نشان داد [۲۳]. همچنین فیمولسیریل و همکاران (۲۰۱۲) بهبود کیفیت نان بدون گلوتن بر پایه برنج با استفاده فیبر رژیمی سبوس برنج را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند حجم نان بدون گلوتن با افزودن ۱۰ درصد فیبر رژیمی سبوس برنج افزایش یافت [۲۴]. همچنین لسی و تیا (۲۰۱۱) اثر جایگزینی آرد گندم با فیبرهای رژیمی گندم، جو دوسر، جو و ذرت و سبوس غلاتی از قبیل گندم، جو دوسر و برنج بر ویژگی های خمیر کیک و خصوصیات کیفی محصول نهایی را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند تخلخل و حجم مخصوص محصول با افزودن فیبرهای رژیمی افزایش یافت [۲۵].

**۳-۵- تخلخل کیک**

تخلخل محصول با جایگزینی نشاسته مقاوم تا سطح ۲۰ درصد در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن افزایش و در سطوح بالاتر از آن کاهش یافت (جدول ۱). به طور کل میزان تخلخل در ارتباط مستقیم با تعداد سلول های گازی و مهم تر از آن توزیع یکنواخت آن ها در بافت محصول می باشد [۲۶]. با توجه به نتایج حجم مخصوص، این انتظار وجود داشت که میزان تخلخل در نمونه های تولیدی روند مشابهی را نشان دهد. در حقیقت بین حجم مخصوص و میزان تخلخل ارتباط مستقیم وجود دارد. در این راستا اوبرین و همکاران (۲۰۰۳) اثر جایگزینی چربی در نان گندم را با استفاده از ژل اینولین (فیبر رژیمی) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که افزودن ژل اینولین ضمن افزایش میزان جذب آب در افزایش حجم و تخلخل بافت مؤثر بود [۲۷]. تاتساراکو و همکاران (۲۰۱۴) نیز از روش سطح پاسخ جهت یافتن سطوح بهینه آرد خرنوب، نشاسته مقاوم و آب در نان بدون گلوتن بر پایه برنج استفاده نموده و بیان داشتند کاربرد ۱۵ درصد آرد خرنوب، ۱۵ درصد نشاسته مقاوم و ۱۴۰ درصد آب باعث بهبود تخلخل و کاهش سفتی محصول می شود [۲۸].

**۳-۶- رنگ پوسته و مغز کیک**

در جدول ۲ تأثیر جایگزینی آرد برنج با سطوح مختلف نشاسته مقاوم نوع سه بر میزان مؤلفه های رنگی پوسته و مغز کیک برنجی بدون گلوتن ملاحظه می گردد. همان گونه که مشاهده می شود با جایگزینی آرد برنج با نشاسته مقاوم در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن تنها در سطوح ۲۵ و ۳۰ درصد جایگزینی، میزان مؤلفه  $L^*$  پوسته و مغز افزایش یافت درحالی که در سطوح مذکور از میزان مؤلفه  $a^*$  و  $b^*$  پوسته و مغز محصول

کاسته شد. با توجه به نتایج بخش ارزیابی میزان رطوبت محصول به نظر می‌رسد نشاسته مقاوم به دلیل توانایی در حفظ رطوبت و خروج یکنواخت‌تر آن از بافت محصول در طی فرآیند پخت باعث می‌شود رطوبت به صورت آهسته و پیوسته‌تر از مغز به پوسته منتقل شود و در نتیجه سطحی صاف و با کمترین میزان چروکیدگی در محصول نهایی ایجاد شده که این سطح صاف و هموار در انعکاس نور و افزایش درخشندگی اثرگذار بوده است. لازاریدو و همکاران (۲۰۰۷) نیز با افزودن چند صمغ به فرمولاسیون نان حاوی آرد برنج و نشاسته ذرت به این نتیجه دست یافتند که استفاده از صمغ در محصولات خمیری سبب افزایش روشنایی رنگ پوسته شد [۲۹]. در این راستا مجذوبی و همکاران (۲۰۱۴) اثر افزودن نشاسته مقاوم ذرت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیک را مورد بررسی قرار داده و نتایج ایشان نشان داد با افزودن نشاسته مقاوم در سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد میزان مؤلفه  $L^*$  پوسته و مغز محصول افزایش یافت. ایشان علت این موضوع را به رنگ روشن نشاسته مقاوم نسبت دادند [۱۹]. همچنین در این خصوص نتایج مشابهی نیز توسط بیکسولی و همکاران (۲۰۰۸ ب) در ارتباط با افزودن نشاسته مقاوم به خمیر مافین گزارش شده است. این محققین عنوان کردند تفاوت در فرمولاسیون کیک‌ها می‌تواند رنگ آن را تحت تأثیر قرار دهد و بنابراین رنگ سفید نشاسته مقاوم، می‌تواند سبب روشنی رنگ

کیک‌ها گردد [۳۰]. از طرفی همان‌گونه که مشاهده می‌شود تنها در سطوح ۲۵ و ۳۰ درصد جایگزینی نشاسته مقاوم در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن از میزان مؤلفه‌های  $a^*$  و  $b^*$  پوسته و مغز محصول کاسته شد. در مورد رنگ محصول گفته شده است در طول تهیه کیک و در مراحل پخت آن در آون، واکنش‌های مایلارد به میزان زیادی صورت می‌گیرد. ترکیبات تشکیل شده از این واکنش‌ها مسئول تغییر رنگ و همچنین موثر بر طعم و خصوصیات بافتی می‌باشند [۳۱]. در طول فرایند پخت، کاهش رطوبت از درون به بیرون کیک‌ها انجام می‌شود [۳۲]. همان‌طور که دما افزایش می‌یابد محتوای رطوبت در لایه بیرونی سریعتر کاهش یافته و واکنش‌های مایلاردی با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد. این موارد به رنگ تیره‌تر پوسته منجر می‌شود. در قسمت‌های درونی‌تر کیک‌ها، افت کمتر رطوبت و فعالیت آبی بالاتری وجود دارد و دمای مغز کیک‌ها به بالاتر از ۱۰۵ درجه سلسیوس نمی‌رسد. تحت چنین شرایطی، واکنش‌های مایلاردی با سرعت کمتری پیشرفت کرده و بنابراین مغز کیک، تغییرات رنگی کمتری را به خود می‌بیند [۳۳]. در این راستا بیلگیلی و لونت (۲۰۱۳) نیز اثر افزودن جوانه گندم و نشاسته مقاوم بر ویژگی‌های کیک را مورد بررسی قرار داده و نتایج ایشان نشان داد با افزایش میزان نشاسته مقاوم در فرمولاسیون کیک از میزان مؤلفه‌های  $a^*$  و  $b^*$  پوسته و مغز محصول کاسته شد [۳۴].

**Table 2** Effect of rice flour replacement by resistant starch on crust and crumb color of gluten free rice cake

Resistant Starch (%)	Crust values (-)			Crumb values (-)		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	44.23±1.21 <sup>c</sup>	17.02±0.35 <sup>a</sup>	20.65±0.78 <sup>a</sup>	59.48±1.54 <sup>b</sup>	8.17±0.14 <sup>a</sup>	15.56±0.56 <sup>a</sup>
5	44.42±1.00 <sup>c</sup>	16.82±0.56 <sup>a</sup>	20.48±0.56 <sup>a</sup>	59.61±0.89 <sup>b</sup>	8.02±0.28 <sup>a</sup>	15.51±0.43 <sup>a</sup>
10	44.51±1.18 <sup>c</sup>	16.67±0.43 <sup>a</sup>	20.27±0.43 <sup>a</sup>	59.89±0.73 <sup>b</sup>	7.93±0.21 <sup>a</sup>	15.37±0.28 <sup>a</sup>
15	44.75±1.10 <sup>c</sup>	16.23±0.33 <sup>a</sup>	19.94±0.34 <sup>a</sup>	60.23±1.11 <sup>b</sup>	7.69±0.19 <sup>a</sup>	15.01±0.23 <sup>a</sup>
20	45.60±0.95 <sup>bc</sup>	16.01±0.52 <sup>a</sup>	19.71±0.66 <sup>a</sup>	60.42±1.35 <sup>b</sup>	7.11±0.22 <sup>a</sup>	14.73±0.14 <sup>a</sup>
25	47.02±0.83 <sup>b</sup>	15.79±0.09 <sup>ab</sup>	18.07±0.14 <sup>b</sup>	62.03±1.27 <sup>ab</sup>	6.97±0.23 <sup>ab</sup>	14.05±0.31 <sup>ab</sup>
30	49.87±0.86 <sup>a</sup>	14.89±0.37 <sup>b</sup>	17.89±0.37 <sup>b</sup>	63.56±1.07 <sup>a</sup>	6.54±0.37 <sup>b</sup>	13.45±0.35 <sup>b</sup>

(Means with different letters in each column differ significantly in  $p < 0.05$ )

یافت. در این بین، کمترین و بیشترین میزان سفتی بافت به ترتیب در نمونه حاوی ۲۰ درصد نشاسته مقاوم و نمونه شاهد مشاهده گردید. به‌طوری کلی وجود رابطه عکس بین محتوای رطوبتی نان و میزان بیاتی آن به اثبات رسیده است [۳۵]. در واقع آب می‌تواند با ایفای نقش پلاستیسایزری در کاهش سفتی مغز محصول مؤثر باشد. افزون بر این، با توجه به این که

### ۳-۷- سفتی بافت کیک

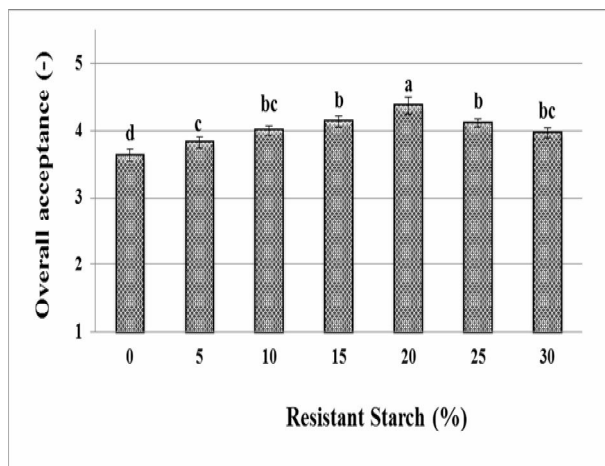
همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در هر سه بازه زمانی ۲ ساعت، ۳ و ۷ روز پس از پخت، سفتی بافت محصول با جایگزینی نشاسته مقاوم تا سطح ۲۰ درصد در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن کاهش و در سطوح بالاتر از آن افزایش



مجبی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اثر پری بیوتیک‌های بتاگلوکان و نشاسته مقاوم به هضم بر ویژگی‌های کیفی و حسی نان تست طی روزهای مختلف نگهداری (روز اول، سوم و پنجم) را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد افزودن دو ماده پری بیوتیک بتاگلوکان و نشاسته مقاوم باعث کاهش سفتی مغز نان‌ها نسبت به شاهد در طول پنج روز نگهداری در دمای اتاق شد [۹].

### ۳-۸- پذیرش کلی کیک

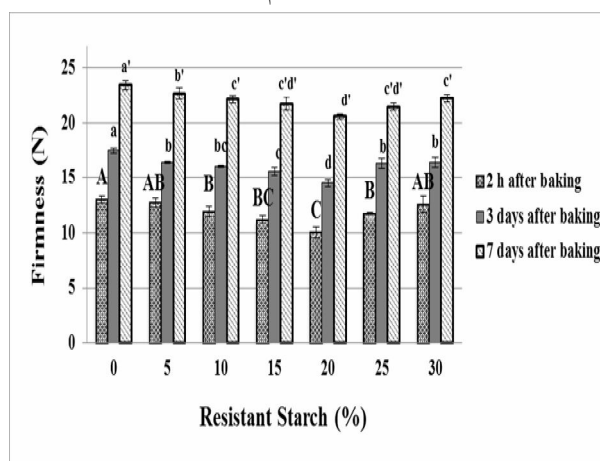
امتیاز خصوصیات حسی محصول همان گونه که انتظار می‌رفت با جایگزینی نشاسته مقاوم تا سطح ۲۰ درصد در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن افزایش و در سطوح بالاتر از آن کاهش یافت (شکل ۴).



**Fig 4.** Effect of rice flour replacement by resistant starch on overall acceptance of gluten free rice cake in sensory evaluation (Means with different letters differ significantly in  $p < 0.05$ )

به‌طور مثال در نمونه‌ای نظیر نمونه شاهد که امتیاز پائین‌تری را از جانب ارزیابان حسی کسب نموده است، پدیده تونلی شدن یا وجود حفره‌های بزرگ در بافت محصول را می‌توان عاملی بر این امر دانست. در این نمونه با توجه نتایج بخش ارزیابی تخلخل و حجم مخصوص احتمالاً حباب‌های هوای موجود در خمیر کیک نتوانستند در برابر انبساط در حین فرآیند پخت مقاومت نمایند و به موجب آن تعداد زیادی از این حباب‌ها با پاره شدن به یکدیگر ملحق شوند و حفره‌های بزرگی در بافت مغز کیک ایجاد نمودند که این خود نیز می‌تواند عاملی بر نامتقارن شدن فرم و شکل محصول نهایی باشد. از طرفی نمونه حاوی ۲۰ درصد نشاسته مقاوم به دلیل برخورداری از حجم مخصوص و تخلخل مناسب و به دنبال آن بافتی نرم میزان امتیاز بیشینه را به خود اختصاص داد. در این راستا مجذوبی و

افزایش میزان آب در دسترس نشاسته، افزایش احتمال کریستالیزاسیون آن را به همراه دارد، لذا تمایل قابل توجه ترکیبات جاذب الرطوبه به جذب آب و قابلیت بالای آن‌ها در نگهداری آب باعث می‌گردد که آب کمتری در دسترس نشاسته قرار گیرد و در نتیجه نشاسته کمتری متورم، ژلاتینه و در طی زمان نگهداری مجدداً کریستاله گردد که این فرآیند در نهایت کاهش سفتی و به تأخیر افتادن بیاتی محصول را به دنبال دارد [۳۶]. به نظر می‌رسد افزودن نشاسته مقاوم تا سطح ۲۰ درصد با ایجاد ساختاری سه‌بعدی باعث به دام انداختن مولکول‌های آب شده و در نتیجه مانع خروج رطوبت محصول در طی پخت می‌شود که این امر باعث جلوگیری از بیاتی و سفت شدن کیک بدون گلوتن می‌شود. اما در سطوح بالاتر استفاده از آن این ترکیب با ایجاد ساختمان گسترده و محکم باعث افزایش میزان سفتی محصول خواهد شد. در همین راستا مقصودلو و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر فیبرهای نشاسته مقاوم نوع سوم یا واگشته را بر ویژگی‌های مختلف کیک شامل میزان سفتی بافت، ارتفاع، رنگ پوسته، رنگ مغز کیک و بافت مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند کیک‌های محتوی ۱۵ و ۲۰ درصد نشاسته مقاوم در مقایسه با شاهد از سفتی بافت کمتری در هر دو بازه زمانی روز اول و روز هفتم نگهداری برخوردار بودند. ایشان در این خصوص عنوان کردند نشاسته مقاوم بر خلاف سایر فیبرها، تا سطوح مشخصی می‌تواند سبب نرم‌تر شدن بافت کیک گردد که دلیل چنین پدیده‌ای را شاید بتوان قدرت جذب آب زیاد نشاسته مقاوم برشمرد [۸].



**Fig 3** Effect of rice flour replacement by resistant starch on firmness of gluten free rice cake (Means with different letters in each period time, differ significantly in  $p < 0.05$ )

- [4] Tharanathan RN, 2002. Food-derived carbohydrates: Structural complexity and functional diversity. *Critical Reviews in Biotechnology* 22: 65-84.
- [5] Dundar, A.N., Gocmen, D. 2013 Effects of autoclaving temperature and storing time on resistant starch formation and its functional and physicochemical properties. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 97: 764-771.
- [6] Bouhnik, Y., Raskine, L., Simoneau, G., Vicaut, E., Neut, C., Flourié, B., et al. 2004. The capacity of nondigestible carbohydrates to stimulate fecal bifidobacteria in healthy humans: a double-blind, randomized, placebo-controlled, parallel-group, dose-response relation study. *clin Nutrition*, 80(6):1658-64.
- [7] Nugent, A.P. 2005. Health properties of resistant starch. *British Nutrition Foundation, Nutrition Bulletin*, 30: 27-54.
- [8] Maghsoudlou, Y., Ahmadi, E., Azizi, M.H., Alami, M., and Ghorbani, M. 2017. Effect of resistant starch on physical and organoleptic attributes of sponge cakes. *Journal of Food Industry Research*, 26(2): 161-174 [in Persian].
- [9] Mohebbi, Z., Homayouni, A., Azizi, M.H., and Asghari Jafarabadi, M. 2014. Influence of  $\beta$ -glucan and resistant starch on quality and sensory properties of sliced white bread. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8(4): 31-40 [in Persian].
- [10] Korusa, J., Witzczak, M., Ziobro, R., and Juszcak, L. 2009. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*, 23: 988-995.
- [11] Naghipour, F., Tabatabaei Yazdi, F., Karimi, M., Mortazavi, S.A., and Mohebbi, M. 2017. Effect of sorghum  $\beta$ -Glucan as fat replacer in low fat gluten-free cupcake production. *Journal of Food Science and Technology*, 61(13): 151-164 [in Persian].
- [12] Ashwini, A., Jyotsna, R., and Indrani, D. 2009. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. *Food Hydrocolloids*, 23: 700-707.
- [13] AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Ed., Vol. 2. *American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN*.
- [14] Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A., Fiszman, S.M. 2008. Muffins with resistant starch: baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*, 47: 502-509.

همکاران (۲۰۱۵) اثر افزودن فیبر جو بر ویژگی‌های خمیر و کیک اسفنجی را مورد بررسی قرار داده و نتایج بخش ارزیابی حسی ایشان نشان داد با افزودن این فیبر در سطح ۲۰ درصد میزان امتیاز بافت محصول بیشینه بود [۲۲]. همچنین مجذوبی و همکاران (۲۰۱۴) اثر افزودن نشاسته مقاوم ذرت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیک را مورد بررسی قرار داده و نتایج بخش ارزیابی حسی ایشان نشان داد با افزودن نشاسته مقاوم در سطح ۱۰ درصد میزان امتیاز پذیرش کلی محصول بیشینه بود [۱۹].

#### ۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر جایگزینی آرد برنج با نشاسته مقاوم نوع سه به منظور بهبود خصوصیات کمی و کیفی به همراه افزایش ارزش تغذیه‌ای کیک برنجی بدون گلوتن مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که با جایگزینی آرد برنج با نشاسته مقاوم تا سطح ۲۰ درصد، میزان ارتفاع، حجم مخصوص و تخلخل افزایش و پس از آن کاهش یافت. همچنین نمونه حاوی ۲۰ درصد نشاسته مقاوم نوع سه و ۸۰ درصد آرد برنج از کمترین میزان سفتی بافت در بازه‌های زمانی ۲ ساعت، ۳ و ۷ روز پس از پخت و بالاترین امتیاز خصوصیات حسی نزد داوران چشایی برخوردار بود. از این رو می‌توان از نشاسته مقاوم به عنوان یک فیبر رژیمی و ترکیب پری‌بیوتیک تا سطح ۲۰ درصد در فرمولاسیون کیک برنجی بدون گلوتن استفاده نمود و محصولی عملگرا با خصوصیات کمی و کیفی مطلوب جهت استفاده در رژیم غذایی افراد مبتلا به عدم تحمل گلوتن استفاده نمود.

#### ۵- منابع

- [1] Brites, C.M., Trigo, M.J., Carrapiço, B., Alviña, M., and Bessa, R.J. 2011. Maize and resistant starch enriched breads reduce postprandial glycemic responses in rats. *Nutrition Research*, 31 (4):302-8.
- [2] Elke, K.A., and Dal Bello, F. 2008. The gluten free cereal products and beverages, *Elsevier Inc*, pp: 1-394.
- [3] Smith, M.D. 2002. Going against the grain: How Reducing and Avoiding Grains Can Revitalize Your Health, *Mc Grow Hill Education*. pp: 121-125.

- [26] Ziobro, R., Korus, J., Witzak, M., and Juszczak, L. 2012. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29(1): 68-74.
- [27] O'Brien, C.M., Mueller, A., Scannell, A.G.M., and Arendt, E.K. 2003. Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. *Journal of Food Engineering*, 56: 265-267.
- [28] Tsatsaragkou, K., Gounaropoulos, G., and Man dala, I. 2014. Development of gluten free bread containing carob flour and resistant starch. *LWT – Food Science and Technology*, 58(1): 124-129.
- [29] Lazaridou, A., Duta, D., Pagageorgiou, M., Belc, N., and Biliaderis, C.G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten – free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79: 1033-1047.
- [30] Baixauli, R., Salvador, A., and Fiszman, S.M. 2008b. Textural and color changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*, 226: 523-530.
- [31] Pino, R., and Gonzalez, M.L. 2002. Effects of brown pigments on the texture properties of bakery products. *Meeting Cost*, 9-19.
- [32] Thorvasldsson, K., and Skjoldebrand, C. 1998. Water diffusion in bread during baking. *LWT - Food Science and Technology*, 31: 58-63.
- [33] Gonzalez, S., Gonzalez, M.L., and Muniz, P. 2009. Presence of Maillard products in Spanish muffins and evaluation of colour and antioxidant potential. *Food and Chemical Toxicology*, 47: 798-805.
- [34] Bilgiçli, N., and Levent, H. 2013. Improvement of nutritional properties of cake with wheat germ and resistant starch. *Journal of Food and Nutrition Research*, 52(4): 210-218.
- [35] Rogers, D.E., Zeleznak, K.J., Lai, C.S., and Hoseney, R.C. 1988. Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. *Cereal Chemistry*, 65: 398-401.
- [36] Vittadini, E., and Vodovotz, Y. 2003. Changes in the physicochemical properties of wheat and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. *Food Engineering and Physical Properties*, 68: 2022-2027.
- [15] Haralick, R.M., Shanmugam, K., and Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions of ASAE*, 45(6): 1995-2005.
- [16] Sun, D. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. *Academic Press, New York*.
- [17] Ronda, F., Gomes, M., Blanco, C.A., and Caballero, P.A. 2005. Effects of polyols and no digestible oligosaccharides on the quality of sugar free sponge cakes. *Journal of Food Chemistry*, 90: 549-55.
- [18] Zhou, J., Faubion, J.M., and Walker C. E. 2011. Evaluation of Different Types of Fat for Use in High-ratio Layer Cakes. *LWT Food Science and Technology*, 44: 1802-1808.
- [19] Majzoobi, M. Hedayati, S., Habibi, M., Ghiasi, F., and Farahnaky, A. 2014. Effects of Corn Resistant Starch on the Physicochemical Properties of Cake. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 16: 569-576.
- [20] Allais, I., Edoura-Gaena R.B., Gros, J.B., and Trystram, G. 2006. Influence of egg type, pressure and mode of incorporation on density and bubble distribution of a lady finger batter. *Journal of Food Engineering*, 74: 198- 210.
- [21] Sanz, T., Salvador, A., and Fiszman, S.M. 2008. Evaluation of Four Types of Resistant Starch in Muffin Baking Performance and Relationship with Batter Rheology. *European Food Research Technology*, 227: 813-819.
- [22] Majzoobi, M. Habibi, M., Hedayati, S., Ghiasi, F., and Farahnaky, A. 2015. Effects of Commercial Oat Fiber on Characteristics of Batter and Sponge Cake. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 17: 99-107.
- [23] Gomez, M., Moraleja, A., Oliete, B., Ruiz, E., and Caballero, P.A. 2010. Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. *LWT - Food Science and Technology*, 43: 33-38.
- [24] Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., and Schoenlechner, R. 2012. Quality improvement of rice-based gluten-free bread using different dietary fibre fractions of rice bran. *Journal of Cereal Science*, 56: 389-395.
- [25] Lebesi, D.M., Tzia, C. 2011. Effect of the Addition of Different Dietary Fiber and Edible. Cereal Bran Sources on the Baking and Sensory Characteristics of Cupcakes. *Food Bioprocess Technology*, 4:710-722.

## Evaluation the effect of resistant starch addition on physicochemical and sensory properties of gluten free rice cake

Zolfaghari, S.<sup>1</sup>, Ghiafeh Davoodi, M.<sup>2\*</sup>, Mortazavi, S. A.<sup>3</sup>, Pedram Nia, A.<sup>3</sup>,  
Naghypour, F.<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
2. Associate Prof. of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Mashhad, Iran.
3. Depaartment of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran
4. Seed and Plant Improvement Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO) Karaj, Iran

(Received: 2020/01/31 Accepted: 2020/07/04)

Resistant starch type III as a dietary fiber is included in the prebiotic composition. It can be used to enrich low-calorie, gluten-free diets for celiac patients. The aim of this study was to investigate the possibility of improving the quantitative and qualitative properties of gluten free rice cake via replacement rice flour by resistant starch type III at levels of 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30%. Physicochemical, textural and sensory properties of the product were evaluated in a completely randomized design ( $P < 0.05$ ). The results showed that replacing the rice flour by resistant starch in the gluten free rice cake formulation reduced the specific gravity of batter and increased the moisture content of the final product. Also, by replacing rice flour by resistant starch up to 20%, the height, specific volume and porosity of the final product increased and then decreased. On the other hand, the sample containing 20% resistant starch had the lowest firmness at 2h, 3 and 7 days after production. In addition, the results showed that 25 and 30% replacements of the resistant starch in gluten-free rice cake formulation by rice flour, the  $L^*$  value of the crust and crumb increased and the  $a^*$  and  $b^*$  were reduced. Finally, the panelists by evaluating the sensory properties such as shape, color, texture firmness and softness, taste and overall acceptance the sample containing 80% rice flour and 20% resistant starch type III introduced as the best sample. Therefore, according to the results of the physicochemical and sensory evaluation, replacement of 20% rice flour by resistant starch type III in gluten free cake formulation can produce a lower calorie product suitable for celiac patient.

**Keywords:** Gluten free cake, Celiac disease, Resistant starch, Prebiotic, Indigestible.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: mehdidavoodi@yahoo.com