

ارزیابی اثر بتاگلوکان سورگوم به‌عنوان جایگزین چربی جهت تولید کیک برنجی بدون گلوتن کم‌چرب

فریبا نقی‌پور^۱، فریده طباطبایی یزدی^{۲*}، مهدی کریمی^۳، سید علی مرتضوی^۲،

محبّت محبّی^۲

۱- دانش آموخته دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد و عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان

تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۳۱)

چکیده

امروزه تقاضا جهت تولید محصولات رژیمی و کم‌چرب به دلیل اهمیتی که افراد جامعه به سلامت خود می‌دهند، رواج بسیاری یافته اما در این میان تولید مواد غذایی بدون گلوتن کم‌چرب کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو در این تحقیق از فیبر رژیمی بتاگلوکان سورگوم در سطوح ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱ درصد به‌ترتیب به‌عنوان جایگزین ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد چربی موجود در فرمولاسیون کیک برنجی بدون گلوتن استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش سطح مصرف بتاگلوکان در فرمولاسیون بر میزان رطوبت و مؤلفه رنگی a^* افزوده شد. این در حالی بود که نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان دارای بیش‌ترین میزان مؤلفه رنگی L^* بود. هم‌چنین نمونه حاوی ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد بتاگلوکان دارای میزان سفتی کمتری نسبت به سایر نمونه‌های تولیدی در بازه زمانی ۲ ساعت پس از پخت بودند. از سوی دیگر نتایج ارزیابی میزان سفتی بافت در بازه زمانی یک هفته پس از پخت بیانگر نرمی بیشتر بافت سه نمونه حاوی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد بتاگلوکان نسبت به نمونه شاهد بود. علاوه بر این براساس نتایج مشخص گردید که نمونه حاوی ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد بتاگلوکان (به‌خصوص نمونه حاوی ۰/۵ درصد از این فیبر رژیمی) دارای میزان تخلخل و حجم مخصوص بیشتری بودند. در نهایت داوران چشایی نمونه حاوی ۰/۵ بتاگلوکان (نمونه‌ای که در آن ۵۰ درصد روغن جایگزین شده بود) را به‌عنوان بهترین نمونه به لحاظ خصوصیات حسی جهت عرضه به بازار مصرف معرفی نمودند.

کلید واژگان: بتاگلوکان سورگوم، جایگزین چربی، کیک روغنی بدون گلوتن، خصوصیات تصویری، بافت.

۱- مقدمه

روغن‌ها و چربی‌ها یک منبع انرژی بزرگ و جزء غذایی ضروری هستند. مصرف زیاد چربی‌ها سبب به خطر افتادن سلامتی انسان می‌شود. بنابراین در سال‌های اخیر حساسیت به رعایت مسائل تغذیه‌ای و سلامتی، مصرف‌کنندگان را بر آن داشته است که از محصولات کم انرژی‌تر با محتوای روغن و چربی کمتر استفاده کنند. آمار به وضوح نشان می‌دهد که افزایش میزان مصرف چربی به خصوص انواع اشباع باعث افزایش ابتلا به سرطان، بالا رفتن سطح کلسترول خون و بیماری‌های قلبی-عروقی می‌شود. رژیم‌های غذایی تأمین‌کننده سلامتی پیشنهاد می‌کنند که باید کمتر از ۳۰ درصد از انرژی روزانه مورد نیاز بدن از چربی‌ها و کمتر از ۱۰ درصد آن از چربی‌های اشباع تأمین شود [۱]. مشکلی که برای علوم غذایی در این زمینه وجود دارد، تولید محصولی کم‌چرب با کیفیت مشابه با محصول اصلی است که اغلب رسیدن به این مهم بسیار مشکل است. در برخی موارد از نشاسته، صمغ و یا برخی مواد دیگر برای جایگزینی روغن در مواد غذایی استفاده می‌شود. بتاگلوکان یکی از مواردی است که به عنوان جایگزین چربی در بسیاری از غذاها استفاده شده است. این ترکیب پلی‌مری از واحدهای گلوکز است که به وسیله اتصالات بتا (۱-۳) (۱-۴) به هم متصل شده‌اند. با توجه به اینکه اتصالات نوع بتا توسط آنزیم‌های موجود در دستگاه گوارش انسان هضم نمی‌شوند، از این رو بتاگلوکان در ردیف فیبرهای رژیمی محلول در آب طبقه‌بندی می‌شود [۲]. پژوهش‌های اخیر نشان داده است که بتاگلوکان غلات از جمله بتاگلوکان جو، سورگوم و یولاف باعث کاهش کلسترول^۱ LDL خون شده و در کنترل میزان قند خون و پاسخ انسولین مؤثر است که همین امر باعث کاهش بیماری‌های قلبی و عروقی و دیابت نوع دوم می‌شود [۳]. هم‌چنین سازمان غذا و داروی آمریکا نیز اعلام نموده که مصرف فیبرهای رژیمی محلول از جمله بتاگلوکان نقش مؤثری در کاهش اندیس گلیسمی و کلسترول خون دارد به طوری که مصرف روزانه ۳ گرم بتاگلوکان در رژیم غذایی در کاهش کلسترول خون و بیماری‌های قلبی و عروقی مؤثر می‌باشد. علاوه بر این با توجه به اینکه بتاگلوکان باعث افزایش ویسکوزیته محلول‌ها شده و توانایی تشکیل ژل را نیز

دارد، می‌توان به عنوان عامل قوام‌دهنده جهت بهبود بافت و هم‌چنین به عنوان مقلد چربی در تولید فرآورده‌های کم‌چرب استفاده نمود [۴]. در این راستا مطالعات چندی صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. پینرا (Piñero) و همکاران (۲۰۰۸) بتاگلوکان استخراج شده از جو را به عنوان جایگزین چربی جهت تولید پای گوشت کم‌چرب مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش به وضوح نشان داد این جایگزینی بر ظاهر، تردی و رنگ نمونه تولیدی اثر معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد نداشت. هم‌چنین نتایج بیانگر آن بود که میزان آب‌اندازی نمونه حاوی بتاگلوکان بعد از خروج از انجماد (۶۰ روز) کاهش یافت. در کل این محققین اذعان داشتند که جایگزینی چربی با بتاگلوکان جهت تولید پای گوشت کم‌چرب با موفقیت انجام گردید [۵]. ساهانا (Sahana) و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر بتاگلوکان را به عنوان جایگزین چربی بر خصوصیات ماست فاقد چربی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج گویای آن بود که میزان اسیدیته و محتوای تیروزین در طی مدت زمان انبارمانی به طور چشمگیری افزایش یافت. علاوه بر این باید اشاره نمود که بر میزان ویسکوزیته افزوده و از میزان آب‌اندازی نمونه‌های حاوی بتاگلوکان نسبت به نمونه فاقد آن (شاهد) با گذشت زمان کاسته شد. در نهایت نتایج آزمون حسی بیانگر پذیرش نمونه‌های حاوی ۲۵ درصد و ۵۰ درصد بتاگلوکان بود [۶]. وراسینچای (Worrasinchai) و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی استفاده از بتاگلوکان استخراج شده از مخمر به عنوان جایگزین چربی در سس مایونز پرداختند. این محققین از بتاگلوکان به میزان صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به عنوان جایگزین چربی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش جایگزینی چربی با بتاگلوکان میزان pH نمونه‌های تولیدی در طی مدت زمان دو ماه پس از تولید کاهش یافت. هم‌چنین نتایج آزمون بافت‌سنجی نشان داد که نمونه‌های حاوی ۵۰ و ۷۵ درصد بتاگلوکان به لحاظ میزان سفتی و چسبندگی با نمونه شاهد مشابهت داشتند [۷]. ولیکاکیس (Volikakis) و همکاران (۲۰۰۴) به مطالعه جایگزینی بتاگلوکان استخراج شده از جو به عنوان جایگزین چربی در تولید پنیر سفید کم‌چرب پرداختند. نتایج به وضوح نشان داد که با این جایگزینی میزان رطوبت و نیتروژن کل افزایش یافت. این در حالی بود که میزان pH نمونه‌های تولیدی در فاصله زمانی ۶۰ و ۹۰ روز پس از تولید به طور

1. Low density lipoprotein

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تهیه خمیر و تولید کیک بدون گلوتن

خمیر کیک حاوی ۱۰۰ درصد آرد برنج، ۲۵ درصد پودر شکر، ۳۶ درصد روغن، ۳۶ درصد تخم مرغ، ۱۲ درصد شربت اینورت، ۲ درصد بیکنینگ پودر، ۰/۲ درصد وانیل و آب (۸۰-۵۰ درصد) بود [۹]. در ابتدا به منظور تهیه خمیر کیک، روغن، پودر شکر و تخم مرغ با استفاده از یک همزن برقی (Electra EK-230M، ژاپن) با سرعت ۱۲۸ دور در دقیقه و در مدت زمان ۶ دقیقه مخلوط شدند تا یک کرم حاوی حباب‌های هوا ایجاد گردد. سپس آب و شربت اینورت به این کرم اضافه شد و عمل همزدن به مدت ۴ دقیقه ادامه یافت. در مرحله بعد بیکنینگ پودر و وانیل به آرد سورگوم اضافه گردید و مخلوط حاصل به صورت تدریجی به کرم افزوده شد. در ادامه صمغ گوار به میزان ۰/۶ درصد و صمغ گزانتان به میزان ۰/۳ درصد به مخلوط اضافه گردید. در نهایت با استفاده از یک قیف پارچه‌ای ۵۵ گرم از خمیر تهیه شده، درون کاغذهای مخصوص کیک که درون قالب‌ها قرار گرفته بودند، ریخته شد. سپس عمل پخت در فر آزمایشگاهی گردان با هوای داغ (Zuccihelli Forni، ایتالیا) در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت زمان ۲۰ دقیقه انجام گردید. پس از سرد شدن، هر یک از نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی به منظور ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی، بسته‌بندی و در دمای محیط نگهداری شدند [۱۰ و ۱۱]. لازم به ذکر است که نمونه شاهد فاقد بتاگلوکان سورگوم و ۳۶ درصد روغن بود که با سایر نمونه‌ها (نمونه حاوی ۲۷ درصد روغن، ۰/۲۵ درصد بتاگلوکان و ۸/۷۵ درصد آب، نمونه حاوی ۱۸ درصد روغن، ۰/۵ درصد بتاگلوکان و ۱۷/۵ درصد آب، نمونه حاوی ۹ درصد روغن، ۰/۷۵ درصد بتاگلوکان و ۲۶/۲۵ درصد آب و نمونه فاقد روغن، ۱ درصد بتاگلوکان و ۳۵ درصد آب) به لحاظ خصوصیات تکنولوژیکی و حسی با نمونه شاهد مقایسه شدند.

۲-۲-۲- آزمون‌های کمی و کیفی کیک روغنی بدون

گلوتن

* آزمون رطوبت سنجی

جهت انجام این آزمایش از استاندارد AACC، ۲۰۰۰ شماره ۱۶-۴۴ استفاده گردید. برای این منظور نمونه‌ها در فاصله زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت در آون (Jeto

معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد کاهش پیدا کرد و نتایج بیانگر مشابهت بافت نمونه‌ی حاوی بتاگلوکان با نمونه شاهد (فاقد بتاگلوکان) بود [۸]. اما همان‌گونه که از مطالعات پیشین بر می‌آید تا به حال مشاهده‌ای حاکی بر کاربرد بتاگلوکان به‌عنوان جایگزین چربی در کیک به‌خصوص نوع بدون گلوتن موجود نیست. از طرفی لازم به ذکر است که چون در این تحقیق بر آن بودیم که از بتاگلوکان در محصولی بدون گلوتن استفاده کنیم، بنابراین غله‌ای بدون گلوتن (سورگوم) جهت استخراج بتاگلوکان در نظر گرفته شد و جهت ایجاد امنیت غذایی بتاگلوکان سورگوم بر بتاگلوکان جو برتری داده شد. بنابراین در این پژوهش از بتاگلوکان سورگوم به‌عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون کیک روغنی بدون گلوتن برنج استفاده گردید و خصوصیتی از جمله میزان رطوبت، حجم مخصوص، تخلخل، سفتی بافت، مؤلفه‌های رنگی پوسته و خصوصیات حسی نمونه‌های تولیدی مورد بررسی قرار گرفتند.

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 صفر درصد گلوتن از بازار محلی تهیه شد. بدین منظور، آرد مورد نیاز برای انجام آزمایشات یکجا تهیه و در سردخانه نگهداری گردید. سایر مواد مورد نیاز در آزمایشات شامل شکر، روغن نباتی مایع (لادن، مازندران) و بیکنینگ پودر از یک فروشگاه عرضه کننده مواد اولیه قنادی خریداری و تخم مرغ تازه نیز یک روز قبل از تولید روزانه کیک‌ها تهیه و در یخچال نگهداری شد. شربت اینورت نیز مطابق با دستورالعمل موجود در استاندارد ملی ایران به شماره ۲۵۵۳ تهیه گردید. صمغ گوار با نام تجاری MEYPROtm GUAR (E412)، صمغ گزانتان با نام تجاری RHODIGELTM (XANTHAN) GUM (E415) و وانیل با نام تجاری RHOVANILLA از شرکت رودیا (فرانسه) خریداری و بتاگلوکان سورگوم از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شد.

در دقیقه از مرکز کیک، به عنوان شاخص سفتی^۸ محاسبه گردید. نقطه شروع^۹ و نقطه هدف^{۱۰} به ترتیب ۰/۰۵ نیوتن و ۲۵ میلی متر بود [۱۴].

* آزمون ارزیابی رنگ پوسته

آنالیز رنگ پوسته کیک در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، از طریق تعیین سه شاخص L^* ، a^* و b^* صورت پذیرفت. شاخص L^* معرف میزان روشنی نمونه می باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. شاخص a^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ های سبز و قرمز را نشان می دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (سبز خالص) تا ۱۲۰+ (قرمز خالص) متغیر است. شاخص b^* میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ های آبی و زرد را نشان می دهد و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی خالص) تا ۱۲۰+ (زرد خالص) متغیر می باشد. جهت اندازه گیری این شاخص ها ابتدا برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی متر از کیک تهیه گردید و به وسیله اسکنر (مدل: HP Scanjet G3010) با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویر برداری شد، سپس تصاویر در اختیار نرم افزار Image J قرار گرفت. با فعال کردن فضای LAB در بخش Plugins، شاخص های فوق محاسبه شد [۱۵].

* آزمون ارزیابی خصوصیات حسی

آزمون حسی با استفاده از روش پیشنهادی رجبزاده انجام شد [۱۶]. بدین منظور ۱۰ داور از بین افراد آموزش دیده مطابق با آزمون مثلثی و روش گاسولا (Gacula) و سینگ (Singh) (۱۹۸۴) انتخاب گردیدند [۱۷] و سپس خصوصیات حسی کیک از نظر فرم و شکل، خصوصیات سطح بالایی، خصوصیات سطح پائینی، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن و بو، طعم و مزه که به ترتیب دارای ضریب رتبه ۴، ۲، ۱، ۲، ۲، ۳ و ۳ بودند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. ضریب ارزیابی صفات از بسیار بد (۱) تا بسیار خوب (۵) بود. با داشتن این معلومات، پذیرش کلی (عدد کیفیت کیک) با استفاده از رابطه ۲-۱ محاسبه گردید.

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

رابطه ۲-۱

Q = پذیرش کلی (عدد کیفیت کیک)، P = ضریب رتبه صفات و G = ضریب ارزیابی صفات.

Tech، مدل OF-O2G، کره جنوبی) با حرارت ۱۰۵-۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند [۱۲].

* آزمون ارزیابی حجم مخصوص

برای اندازه گیری حجم مخصوص از روش جایگزینی حجم با دانه کلزا^۲ مطابق با استاندارد AACC، شماره ۲۰۰۰، شماره ۷۲-۱۰ استفاده شد. برای این منظور در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، قطعه ای به ابعاد ۲×۲ سانتی متر از مرکز هندسی کیک تهیه گردید و حجم مخصوص آن تعیین شد [۱۲].

* آزمون ارزیابی میزان تخلخل

به منظور ارزیابی میزان تخلخل مغز کیک در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت، از تکنیک پردازش استفاده شد. بدین منظور برشی به ابعاد ۲ در ۲ سانتی متر از مغز کیک تهیه گردید و به وسیله اسکنر (مدل: HP Scanjet G3010) با وضوح ۳۰۰ پیکسل تصویر برداری شد. تصویر تهیه شده در اختیار نرم افزار Image J (ساخت مؤسسه ملی بهداشت^۳، ایالات متحده آمریکا) قرار گرفت. با فعال کردن قسمت ۸ بیت^۴، تصاویر سطح خاکستری^۵ ایجاد شد. جهت تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی^۶، قسمت دودویی نرم افزار فعال گردید. این تصاویر، مجموعه ای از نقاط روشن و تاریک است. که محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به عنوان شاخصی از میزان تخلخل نمونه ها برآورد می شود. بدیهی است که هرچه قدر این نسبت بیشتر باشد بدین معناست که میزان حفرات موجود در بافت کیک (میزان تخلخل) بیشتر است. در عمل با فعال کردن قسمت Analysis نرم افزار، این نسبت محاسبه و درصد تخلخل نمونه ها اندازه گیری شد [۱۳].

* آزمون ارزیابی بافت

ارزیابی بافت کیک در فاصله زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت، با استفاده از دستگاه بافت سنج QTS مدل CNS Farnell, UK ساخت کشور انگلستان و براساس روش روندا (Ronda) و همکاران (۲۰۱۱) انجام گرفت. حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب با انتهای استوانه ای (۲ سانتی متر قطر در ۲/۳ سانتی متر ارتفاع) با سرعت ۶۰ میلی متر

2. Rape seed displacement
3. Image Processing and Analysis in Java
4. National Institutes of Health
5. Bit
6. Gray level images
7. Binary Images

8. Hardness
9. Trigger Point
10. Target Value

۲-۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

نتایج بدست آمده از اثر جایگزینی روغن با بتاگلوکان سورگوم بر کمیت و کیفیت کیک روغنی بدون گلوتن در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار Mstat-c نسخه ۱/۴۲ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. بدین ترتیب میانگین سه تکرار با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) مقایسه گردید و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

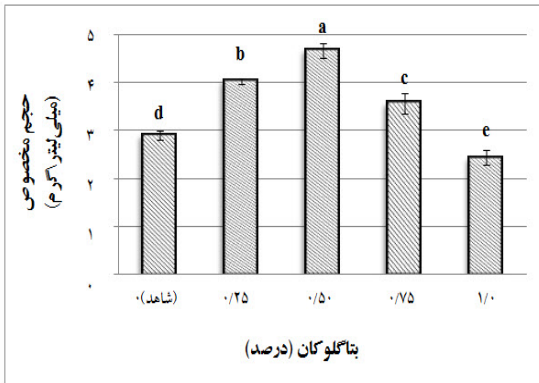
۳- نتایج و بحث

۳-۱- رطوبت

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با کاهش محتوای روغن در فرمولاسیون اولیه کیک (افزایش جایگزینی روغن با بتاگلوکان) میزان رطوبت کیک برنجی بدون گلوتن نسبت به نمونه شاهد (نمونه فاقد بتاگلوکان و حاوی ۳۶ درصد روغن براساس وزن آرد) در بازه زمانی ۲ ساعت پس از پخت به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) افزایش یافت. هم‌چنین نتایج میزان رطوبت نمونه‌های تولیدی در بازه زمانی یک هفته پس از پخت حاکی از محتوای بالاتر رطوبت در نمونه‌های حاوی سطوح بیشتر بتاگلوکان بود. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که هرچند روغن موجود در فرمولاسیون مواد غذایی قادرست با احاطه کردن مولکول‌های آب از تبخیر شدن آن‌ها به خصوص در حین فرآیند پخت جلوگیری به عمل آورد و خود به‌عنوان عامل محافظت‌کننده رطوبت عمل کند ولی به نظر می‌رسد که قدرت بتاگلوکان در حفظ و نگهداری آب بیش از روغن بوده است زیرا با کاهش محتوای روغن در فرمولاسیون اولیه کیک برنجی بدون بر میزان رطوبت محصول نهایی افزوده شد. هم‌چنین با توجه به اینکه بتاگلوکان یک فیبر رژیمی محلول در آب است [۲]، قابلیت برقراری پیوند با مولکول‌های آب موجود در فرمولاسیون را داشته و از این طریق در نگهداری رطوبت مؤثر عمل نموده است. از طرفی ذکر این نکته ضروری است که براساس تحقیق امیری عقدایی و همکاران که بررسی اثر بتاگلوکان به‌عنوان جایگزین روغن در سس مایونز پرداختند

و با کاهش میزان روغن فرمولاسیون در سطحی تقریباً برابر به فرمولاسیون اولیه سس مایونز آب افزودند [۱۹]، در پژوهش پیش‌رو نیز چنین امری لحاظ گردید به‌طوری که با کاهش روغن موجود در فرمولاسیون اولیه کیک برنجی بدون گلوتن از ۳۶ درصد (براساس وزن آرد) به ۲۷ درصد به میزان ۸/۷۵ درصد آب و ۰/۲۵ درصد فیبر رژیمی بتاگلوکان به فرمولاسیون اضافه گردید. بنابراین به طریقی ضمن بهره‌مندی از اثر مثبت بتاگلوکان در حفظ و نگهداری رطوبت در محصول تولیدی نسبت به نمونه شاهد، افزایش میزان آب در نمونه‌های حاوی بتاگلوکان خود عاملی بر افزایش میزان رطوبت کیک برنجی‌هایی بوده که در آن‌ها جایگزینی روغن صورت گرفت. در این راستا پینرا (Piñero) و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه خود از فیبر محلول جودوسر (بتاگلوکان) به‌عنوان جایگزین چربی در نان شیرینی حاوی گوشت استفاده نمودند. در طی تحقیق این پژوهشگران مشخص گردید که بتاگلوکان به‌عنوان یک فیبر محلول در آب سبب افزایش میزان رطوبت در نمونه حاوی این ترکیب (بتاگلوکان) شد به طوری که میزان رطوبت را حدود ۵ درصد افزایش داد و از ۴۳/۵۷ درصد در نمونه شاهد به ۴۸/۴۱ درصد (در نمونه حاوی ۱۳/۴ درصد بتاگلوکان) رساند [۵]. هم‌چنین لازاریدو (Lazaridou) و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهش خود بیان نمودند که از بتاگلوکان می‌توان به‌عنوان مقلد چربی در فرآورده‌های غذایی استفاده نمود زیرا با قابلیت افزایش ویسکوزیته و تشکیل ژل، قادرست در محصول کم‌چرب قوام و بافت ایجاد نماید و حتی محتوای رطوبت را جهت حفظ تازگی محصول در طول نگهداری نسبت به نمونه فاقد آن حفظ کند [۲۰]. از سوی دیگر ولیکاکیس (Volikakis) و همکاران (۲۰۰۴) که به مطالعه جایگزینی بتاگلوکان به‌عنوان جایگزین چربی در تولید پنیر سفید کم‌چرب پرداختند، مشاهده نمودند که میزان رطوبت محصول تولیدی با افزایش سطح بتاگلوکان در فرمولاسیون محصول نهایی افزایش می‌یابد [۱۹].

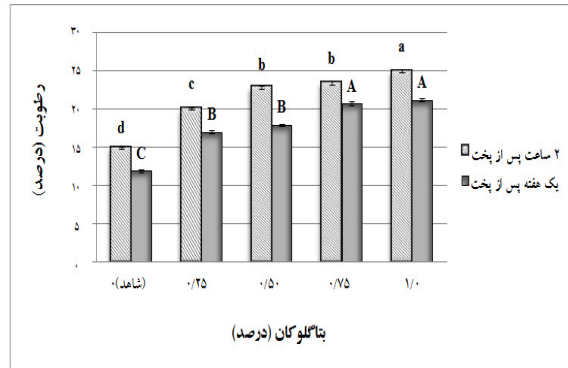
اثر انبساط در فر پخت ممانعت کرده و از این‌رو موجب افزایش حجم می‌گردد. هم‌چنین لازم به ذکر است که این احتمال وجود دارد که کاهش حجم مخصوص نمونه‌های تولیدی با افزایش بیش از ۰/۵ درصد ناشی از افزایش بیش از حد سلول‌های هوای موجود در خمیر کیک باشد به گونه‌ای که چنان ضخامت افزایش یافته که دمای فر قابلیت انبساط آن را نداشته است. در راستای استفاده از ترکیبات ژل‌دهنده و اثر آن‌ها بر حجم مطالعات چندی صورت گرفته است. در این راستا صحرائیان (Sahraiyian) و همکاران (۲۰۱۳) با افزودن صمغ شاهی به نان ترکیبی (گندم-برنج) به این نکته اشاره نمودند که حضور ترکیبات ژل‌دهنده در فرمولاسیون محصولات نانویی عاملی بر استحکام دیواره سلول‌های گازی بود که چنانچه سطح مصرف این ترکیبات صحیح انتخاب شود، می‌تواند بر افزایش حجم مؤثر باشد [۲۱].



شکل ۲ تأثیر سطوح مختلف افزودن بتاگلوکان سورگوم بر میزان حجم مخصوص کیک بدون گلوتن کم‌چرب (حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند)

۳-۳- تخلخل

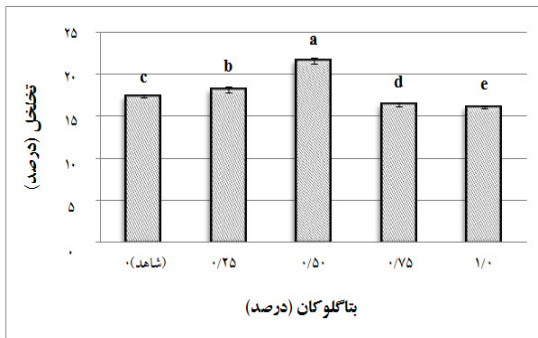
نتایج بدست آمده از ارزیابی تخلخل نمونه‌های تولیدی (شکل ۳) به وضوح نشان داد که با افزایش میزان بتاگلوکان تا سطح ۰/۵ درصد در فرمولاسیون کیک برنجی بدون گلوتن، میزان تخلخل بافت نمونه‌های تولیدی دارای روندی صعودی و پس از آن تا رسیدن به سطح ۱ درصد بتاگلوکان روند نزولی بود که در نهایت بالاترین میزان تخلخل در بین تمام نمونه‌های تولیدی در نمونه حاوی ۰/۵ درصد فیبر رژیمی بتاگلوکان (این نمونه حاوی ۱۸ درصد روغن، ۱۷/۵ درصد آب و ۰/۵ درصد بتاگلوکان بود) مشاهده شد. البته لازم به ذکر است که نمونه



شکل ۱ تأثیر سطوح مختلف افزودن بتاگلوکان سورگوم بر میزان رطوبت کیک بدون گلوتن کم‌چرب در فاصله زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت (حروف مشابه در هر بازه زمانی از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند)

۳-۲- حجم مخصوص

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۲ مشخص گردید که نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان (این نمونه حاوی ۱۸ درصد روغن، ۱۷/۵ درصد آب و ۰/۵ درصد بتاگلوکان بود) یعنی نمونه‌ای که در آن ۵۰ درصد روغن جایگزین شده دارای بالاترین میزان حجم مخصوص در بین سایر نمونه‌های تولیدی بود. البته لازم به ذکر است که به‌جز نمونه حاوی ۱ درصد فیبر رژیمی بتاگلوکان سایر کیک برنجی‌های تولیدی (دو نمونه حاوی ۰/۲۵ و ۰/۷۵ درصد) به‌طور معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد دارای حجم مخصوص بیشتری نسبت به نمونه شاهد بودند. به احتمال زیاد افزایش حجم مخصوص برخی از نمونه‌های حاوی بتاگلوکان (تمام نمونه‌ها به‌جز نمونه حاوی ۱ درصد از این فیبر رژیمی) نشأت گرفته از خاصیت ژل‌دهی این ترکیب باشد. از آنجا که محصولات بدون گلوتن نظیر کیک برنجی تولیدی در این تحقیق فاقد گلوتن هستند و شبکه‌ی مناسبی جهت حفظ حباب‌های هوای موجود ندارند پس هر عاملی که بتواند در حفظ این حباب‌های هوا مثبت عمل نماید در افزایش حجم مؤثر خواهد بود. در اینجا به نظر می‌رسد بتاگلوکان از دو طریق در افزایش حجم محصول نهایی نقش داشته است: عامل اول بهبود بافت جهت حفظ و نگهداری هرچه بیشتر حباب‌های هوای وردی به خمیر کیک در طی فرآیند به‌هم‌زدن و دومین عامل افزایش ضخامت این حباب‌ها (حباب‌های هوای ورودی) از طریق تشکیل ژل می‌باشد که این مورد نیز بسیار حائز اهمیت است زیرا از پاره شدن حباب‌ها بر



شکل ۳ تأثیر سطوح مختلف افزودن بتانولکان سورگوم بر میزان تخلخل کیک بدون گلو تن کم چرب (حروف مشابه از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی داری ندارند)

۳-۴- سفتی

براساس نتایج بدست آمده از این بخش (شکل ۴) نمونه‌ای که در آن ۵۰ درصد جایگزینی چربی صورت گرفته و شامل ۰/۵ درصد بتانولکان، ۲۷ درصد روغن و ۸/۷۵ درصد آب بود، به‌طور معنی داری ($P < 0.05$) دارای کم‌ترین میزان سفتی بافت در بین سایر نمونه‌های تولیدی در بازه زمانی ۲ ساعت پس از پخت بود. البته در نمونه حاوی ۰/۲۵ درصد بتانولکان، ۸/۷۵ درصد آب و ۲۷ درصد روغن (نمونه‌ای که در آن ۲۵ درصد جایگزینی روغن صورت گرفته است) نیز بافت نرم‌تری نسبت به نمونه شاهد مشاهده شد. این در حالی بود که در همین بازه زمانی بیش‌ترین میزان سفتی بافت در نمونه حاوی ۱ درصد بتانولکان و پس از آن در نمونه حاوی ۰/۷۵ درصد از این فیبر رژیمی مشاهده شد. علاوه بر این نتایج ارزیابی بافت در بازه زمانی یک هفته پس از پخت به وضوح نشان داد که نمونه حاوی ۱ درصد بتانولکان (نمونه‌ای که در آن ۱۰۰ درصد روغن با بتانولکان جایگزین شده بود) و نمونه شاهد دارای بیش‌ترین سفتی بافت و نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتانولکان دارای کم‌ترین میزان سفتی بافت در بین نمونه‌های تولیدی بودند. به‌طور کل روغن به دلیل دارا بودن خاصیت امولسیون‌کنندگی براحتی در خمیر پخش شده و بر ویژگی‌های محصول از جمله بافت اثر خوبی به‌جا می‌گذارد و ضمن بهبود ساختار مغز محصولات نانوائی تا حدود زیادی از بیاتی محصول تولیدی با ممانعت از خروج رطوبت بخصوص در طی مدت زمان نگهداری جلوگیری به عمل می‌آورد [۱۸]. بنابراین با حذف و یا جایگزینی بخشی از روغن موجود در محصولات صنایع پخت با سایر ترکیبات باید در نظر گرفت که

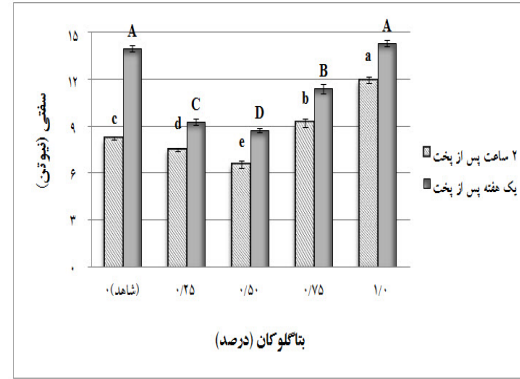
حاوی ۰/۷۵ بتانولکان (نمونه حاوی ۹ درصد روغن، ۲۶/۲۵ درصد آب و ۰/۷۵ درصد بتانولکان) و نمونه حاوی ۱ درصد از این ترکیب جایگزین چربی در فرمولاسیون اولیه کیک برنجی (نمونه فاقد روغن و حاوی ۳۵ درصد آب و ۱ درصد بتانولکان) به‌طور معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای میزان تخلخل کمتری نسبت به نمونه شاهد بودند. به‌طور کل میزان تخلخل مغز بافت محصولات صنایع پخت تحت تأثیر تعداد حفرات موجود در مغز بافت و همچنین نحوه توزیع و پخش این حفرات می‌باشد، که هر چه تعداد حفرات و سلول‌های گازی بیشتر باشد و توزیع و پخش آن‌ها یکنواخت‌تر صورت گرفته باشد، میزان تخلخل محصول نهایی بیشتر خواهد بود. از این رو براساس نتایج حاصله از این تحقیق بر می‌آید که تا ۵۰ درصد جایگزینی روغن (۱۸ درصد از ۳۶ درصد روغن موجود در فرمولاسیون) با بتانولکان (۰/۵ درصد بتانولکان به همراه ۱۷/۵ درصد آب) قابلیت بهبود تخلخل محصول تولیدی را داشت که به نظر می‌رسد این امر تحت تأثیر بهبود بافت و شبکه نگهدارنده حباب‌های هوا به دلیل خاصیت تشکیل ژل فیبر رژیمی بتانولکان باشد. اما به احتمال زیاد کاهش میزان تخلخل بافت در سطوح مصرفی ۰/۷۵ و ۱ درصد بتانولکان به دلیل افزایش بیش از حد ویسکوزیته و تشکیل ژل بود که در نتیجه آن بافت خمیر کیک جهت پذیرش بخشی از حباب‌های هوای ورودی در طی فرآیند به‌هم‌زدن و هم‌چنین پخش یکنواخت آن دچار اختلال شده و به موجب آن میزان تخلخل محصول نهایی کاهش یافته است. در این راستا زاوه‌زاد و همکاران (۱۳۹۴) که در مطالعه خود از آرد کامل دانه خربزه (مغز و پوسته) به‌عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون کیک روغنی استفاده نمودند به نتایج مشابهی دست یافتند. این محققین اذعان داشتند ترکیبات فیبری (نظیر پوسته دانه خربزه) در سطوح بالا اثر مثبت فرآیند هوادهی را از طریق افزایش بیش از اندازه قوام مختل می‌کند و به همین دلیل تخلخل کیک کم‌چرب تولیدی و حجم آن کاهش یافت [۲۲].

درصدی رطوبت نمونه تولیدی، میزان سفتی بافت را نسبت به نمونه شاهد کاهش داد [۵]. ساهاانا (Sahana) و همکاران (۲۰۰۸) نیز تأثیر بتاگلوکان را به عنوان یک منبع فیبری و جایگزین چربی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و حسی ماست فاقد چربی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این محققین نشان داد که با افزودن بتاگلوکان جهت جایگزینی با ۵۰ درصد از چربی فرمولاسیون (چربی موجود در شیر) میزان ویسکوزیته افزوده و از میزان آب‌اندازی نمونه‌های حاوی بتاگلوکان نسبت به نمونه فاقد آن کاسته شد و بافت محصول سفت‌تر و دل‌مه تشکیل شده مستحکم‌تر شد که این امر در محصولات لبنی بر خلاف محصولات نانوائی مطلوب تلقی شد البته همین نمونه با وجود بافت سفت‌تر از رطوبت بالاتری برخوردار بود [۶]. بلوریان و همکاران به بررسی اثر سطوح متفاوت پودر هسته خرما به عنوان یک منبع فیبری (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) بر ویژگی‌های عمل‌کنندگی و ارگانولپتیکی نان لواش پرداختند. براساس نتایج این پژوهشگران مشخص گردید که با افزایش میزان پودر هسته خرما در فرمولاسیون نان بر میزان رطوبت به صورت خطی افزوده شد و بافت نمونه‌های تولیدی نسبت به نمونه شاهد (فاقد پودر هسته خرما) بهبود یافت. به احتمال زیاد علت این امر تحت تأثیر توانایی ترکیبات فیبری نظیر پودر هسته خرما (به دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیل و قابلیت برهمکنش با مولکول‌های آب) در ممانعت از انتقال سریع رطوبت از مغز به پوسته (از درون به سطح نان) و خروج آن از بافت محصول در حین فرآیند پخت و خشک و شکننده شدن سطح محصول تولیدی بوده است. از طرفی براساس نتایج این محققین مشخص گردید که نمونه حاوی ۲۱ درصد پودر هسته خرما با وجود آنکه توانایی بالایی در نگهداری رطوبت داشت اما از بافت بسیار سفت‌تری نسبت به سایر نمونه‌های تولیدی حتی نمونه شاهد نمود که علت این امر اختلال در فرآیند تخمیر و شبکه نگهدارنده گاز و به طبع کاهش حجم و تخلخل و فشرده شدن بافت محصول نهایی گاز گردید که به موجب آن نیروی لازم جهت پاره شدن نمونه افزایش یافت [۲۴]. نتایج پژوهش پیش‌رو نیز گواهی بر این امرست.

صرفاً هدف تولید یک محصول رژیمی نیست بلکه بافت آن محصول جهت پذیرش از جانب مصرف‌کننده به لحاظ میزان سفتی بسیار حائز اهمیت است. از این‌رو باید موادی جایگزین شود که میزان سفتی بافت محصول رژیمی را نسبت به نمونه شاهد (که قابل قبول مصرف‌کننده است) تغییر ندهد و یا حتی بهبود بخشد. در اینجا به نظر می‌رسد بتاگلوکان بخصوص در سطوح مصرفی ۰/۵ و ۰/۲۵ درصد توانسته این امر را محقق سازد زیرا در هر دو بازه زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت این دو نمونه از میزان سفتی کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها برخوردار بودند که احتمال این امر با توجه به نتایج بدست آمده از بخش ارزیابی حجم مخصوص و میزان تخلخل وجود داشت. اما همان‌گونه که مشهود است افزایش میزان سفتی بافت در نمونه‌های حاوی بتاگلوکان با گذشت زمان یک هفته بسیار کمتر از نمونه شاهد بود به گونه‌ای که حتی نمونه حاوی ۰/۷۵ درصد بتاگلوکان که در فاصله زمانی ۲ ساعت پس از پخت بافت سفت‌تری نسبت به نمونه شاهد داشت، دارای بافت نرم‌تری نسبت به این نمونه (شاهد) در بازه زمانی یک هفته پس از پخت بود. این امر تحت تأثیر میزان رطوبت بیشتر نمونه‌های حاوی بتاگلوکان نسبت به نمونه شاهد می‌باشد.

در کل بیاتی یا سفت شدن بافت محصولات صنایع پخت در طول مدت زمان نگهداری، فرآیند پیچیده‌ای است که عوامل متعددی نظیر رتروگراداسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، کاهش مقدار رطوبت و یا توزیع رطوبت بین ناحیه آمورف و کریستالی در آن دخیل است [۲۳] و به احتمال زیاد علت اصلی بیاتی محصولات بدون گلوتن کاهش رطوبت و مهاجرت آسان‌تر آن از مغز به پوسته که در نتیجه عدم حضور گلوتن است، می‌باشد و عوامل نگهدارنده و افزایش‌دهنده رطوبت در محصول تولیدی می‌تواند اثر قابل توجهی در به تأخیر انداختن بیاتی داشته باشد. در راستای مصرف بتاگلوکان به عنوان جایگزین چربی و اثر آن بر سفتی بافت کیک بدون گلوتن مطالعه‌ای صورت نگرفته است اما تحقیقات چندی در زمینه مصرف این فیبر رژیمی (بتاگلوکان) به عنوان بخشی یا تمام روغن مصرفی در سایر مواد غذایی و همچنین کاربرد انواع فیبر در محصولات نانوائی موجود است. پینرا (Piñero) و همکاران (۲۰۰۸) با افزودن بتاگلوکان جو دوسر به نان شیرینی حاوی گوشت به این نتیجه دست یافتند که بتاگلوکان به عنوان یک فیبر محلول در آب با افزایش ۵

مشاهده گردید. به‌طور کل یکی از وظایف روغن در فرمولاسیون محصولات صنایع پخت ابراقیت یا درخشندگی در سطح نمونه (پوسته) می‌باشد که با کاهش میزان روغن، چربی و یا شورتینگ مصرفی در فرمولاسیون از میزان درخشندگی کاسته می‌شود حتی به گونه‌ای که ممکن است این محصول بازارپسندی خود را از دست دهد. از این رو این انتظار وجود داشت که با کاهش سطح روغن در فرمولاسیون کیک برنجی بدون گلوتن و جایگزین نمودن آن با بتاگلوکان از میزان مؤلفه رنگی L^* رنگی کاسته شود اما در نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان نه تنها کاهش این مؤلفه (L^*) مشاهده نگردید و از میزان درخشندگی نمونه کاسته نشد، بلکه بر میزان مؤلفه رنگی L^* پوسته این نمونه (نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان) به‌طور چشمگیری افزوده شد. در اینجا به نظر می‌رسد که بتاگلوکان در سطح ۰/۵ درصد نه تنها توانسته جایگزین مناسبی برای ۵۰ درصد از روغن موجود در فرمولاسیون باشد بلکه به احتمال زیاد با نگهداری و حفظ بیشتر رطوبت در محصول نسبت به نمونه شاهد، سطحی هموار و صاف در پوسته این نمونه (نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان) ایجاد نموده که به موجب آن انعکاس نور از سطح محصول تولیدی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته و میزان مؤلفه رنگی L^* بیشتری مشاهده گردیده است. در این زمینه پورلیس (Purilis) و سالوادوری (Salvadori) (۲۰۰۹) بیان نمودند که تغییرات سطح پوسته، مسئول روشنایی آن است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین‌دار توانایی بیشتری در افزایش میزان مؤلفه رنگی L^* پوسته دارد [۲۵]. بنابراین براساس گفته‌های این محققین ایجاد سطحی صاف در نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان می‌تواند دلیل محکمی بر درخشندگی این نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها باشد. از سوی دیگر لازم به ذکر است که در دو نمونه حاوی ۰/۷۵ و ۱ درصد بتاگلوکان که به‌ترتیب در این نمونه‌ها ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد جایگزینی روغن با بتاگلوکان صورت گرفته است، کاهش روغن چنان زیاد بوده است که بتاگلوکان با اثرات مثبت خود نتوانسته از کاهش میزان مؤلفه رنگی L^* پوسته ممانعت نماید. البته باید گفت که در همه موارد افزایش رطوبت منجر به ایجاد سطحی صاف نخواهد شد زیرا چنانچه رطوبت بیش از حد انتظار یک محصول (از محصولات صنایع آردبر) باشد خود



شکل ۴ تأثیر سطوح مختلف افزودن بتاگلوکان سورگوم بر میزان سفتی بافت کیک بدون گلوتن کم‌چرب در فاصله زمانی ۲ ساعت و یک هفته پس از پخت (حروف مشابه در هر بازه زمانی از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند)

۳-۵- مؤلفه‌های رنگی پوسته

نتایج بدست آمده از مؤلفه‌های رنگی پوسته کیک برنجی بدون گلوتن (جدول ۱) به وضوح نشان داد که تنها نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان به‌طور معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد دارای میزان مؤلفه رنگی L^* بیشتری نسبت به نمونه شاهد (فاقد بتاگلوکان و حاوی ۳۶ درصد روغن) بود. این در حالی بود که بین میزان مؤلفه رنگی L^* نمونه حاوی ۰/۲۵ درصد بتاگلوکان و نمونه شاهد هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده نشد و دو نمونه دیگر (نمونه حاوی ۰/۷۵ و ۱ درصد بتاگلوکان) دارای میزان مؤلفه رنگی L^* کمتری نسبت به نمونه شاهد بودند. هم‌چنین براساس نتایج مشخص گردید که افزایش میزان بتاگلوکان در فرمولاسیون اولیه کیک برنجی بدون گلوتن میزان مؤلفه رنگی a^* پوسته نمونه‌های تولیدی نسبت به نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) کاسته شد اما بین دو نمونه حاوی ۰/۷۵ و ۱ درصد بتاگلوکان هیچ‌گونه اختلاف قابل ملاحظه‌ای مشاهده نگردید و این دو نمونه مشترکاً دارای بیش‌ترین میزان مؤلفه رنگی a^* پوسته در بین سایر نمونه‌های تولیدی بودند. علاوه بر این با افزایش جایگزینی روغن با بتاگلوکان (از سطح صفر تا ۱ درصد) از میزان مؤلفه رنگی b^* کیک‌های برنجی بدون گلوتن به‌طور معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد کاسته شد به گونه‌ای که بیش‌ترین میزان مؤلفه رنگی b^* در نمونه شاهد و کم‌ترین میزان آن در نمونه حاوی ۱ درصد بتاگلوکان (نمونه‌ای که در آن ۱۰۰ درصد جایگزینی روغن صورت گرفته بود)

به احتمال زیاد این امر تحت تأثیر رنگدانه‌های موجود در روغن بوده است.

تا به حال مطالعه‌ای در زمینه اثر فیبر رژیمی بتاگلوکان به عنوان جایگزین چربی بر رنگ کیک برنجی بدون گلوتن مشاهده نشده است اما تا حدودی گزارشاتی مبنی بر بررسی سایر فیبری در فرمولاسیون محصولات بدون گلوتن و حتی سایر مواد غذایی و اثر آن‌ها بر رنگ نمونه‌های تولیدی موجود می‌باشد. در این زمینه گولارتا (Gularte) و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی جایگزینی ۲۰ درصد از آرد برنج با سبوس جو به عنوان یک منبع فیبری در کیک لایه‌ای بدون گلوتن به این نتیجه دست یافتند که کاربرد سبوس جو در این محصول ضمن کاهش میزان سفتی بافت و افزایش حجم سبب افزایش درخشندگی و براقیت (مؤلفه رنگی L^*) رنگ پوسته و مغز کیک لایه‌ای بدون گلوتن گردید [۲۷]. هم‌چنین سابانیس (Sabanis) و همکاران (۲۰۰۹) اثر چند نوع فیبر رژیمی (سبوس گندم، ذرت و جو) را بر خواص نان بدون گلوتن حاوی نشاسته ذرت، آرد برنج و صمغ هیدروکسی پروپیل متیل سلولز مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که حضور سبوس جو و ذرت در نان بدون گلوتن اثر مثبتی بر رنگ محصول تولیدی با افزایش جذب بیشتر آب داشت [۲۸].

منجر به ایجاد محصولی خمیری، چسبنده و نافرمان می‌شود که این خود در عدم ایجاد سطحی هموار نقش خواهد داشت. از سوی دیگر نتایج ارزیابی مؤلفه رنگی a^* پوسته بیانگر افزایش میزان این مؤلفه رنگی پوسته با افزایش سطح بتاگلوکان در فرمولاسیون اولیه کیک برنجی بدون گلوتن بود. در ارتباط با این مسئله و نقش روغن ابتدا ذکر این نکته ضروریست که چنانچه روغن بیش از حد نیاز به فرمولاسیون مواد غذایی منجمده محصولات نانوائی اضافه گردد، تا حدودی توانایی احاطه نمودن پروتئین موجود در فرمولاسیون را دارد و از این طریق می‌تواند از واکنش مایلارد که یکی از واکنش‌های مؤثره در ایجاد رنگ محصولات صنایع پخت است، جلوگیری به عمل آورد [۲۶]. از این رو هرچند که روغن حتی در سطوح بالا بر میزان مؤلفه رنگی L^* پوسته نقش دارد ولی می‌تواند عاملی ممانعت‌کننده در ایجاد رنگ قرمزی محصولات نانوائی باشد. البته افزایش بیش از اندازه مؤلفه رنگی a^* پوسته خود می‌تواند به لحاظ مصرف‌کننده حس سوختگی محصول را القا کند. بنابراین در پژوهش حاضر علت افزایش مؤلفه رنگی a^* پوسته می‌تواند تحت تأثیر افزایش بیشتر واکنش مایلارد در طی زمان پخت باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که کاهش مصرف روغن در فرمولاسیون منجر به کاهش مؤلفه رنگی b^* شد که

جدول ۱ تأثیر افزودن سطوح مختلف بتاگلوکان بر مؤلفه‌های رنگی پوسته کیک بدون گلوتن کم‌چرب

مؤلفه‌های رنگی پوسته (-)			بتاگلوکان
b^*	a^*	L^*	(درصد)
$21/27 \pm 0/40^c$	$1/43 \pm 0/12^d$	$38/73 \pm 0/25^b$	صفر (شاهد)
$20/67 \pm 0/15^d$	$1/63 \pm 0/06^c$	$37/87 \pm 0/32^b$	۰/۲۵
$20/10 \pm 0/10^c$	$2/03 \pm 0/06^b$	$40/33 \pm 0/49^a$	۰/۵۰
$19/20 \pm 0/26^b$	$2/23 \pm 0/06^a$	$32/30 \pm 0/06^c$	۰/۷۵
$18/13 \pm 0/21^a$	$2/30 \pm 0/10^a$	$29/13 \pm 0/40^d$	۱/۰

(حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند)

درصد بتاگلوکان) یا همان نمونه‌ای که در آن ۵۰ درصد روغن جهت تولید یک محصول رژیمی جایگزین شده بود، بالاترین امتیاز را در بین تمام نمونه‌های تولیدی به لحاظ فرم و شکل، خصوصیات سطح بالایی، پوکی و تخلخل، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن، مزه و بو و پذیرش کلی کسب نمود. هم‌چنین لازم به ذکر است که نمونه کیک‌های برنجی بدون گلوتن به لحاظ خصوصیات سطح پائینی با نمونه شاهد

۳-۶- خصوصیات حسی

براساس نتایج ارزیابی خصوصیات حسی کیک‌های برنجی بدون گلوتن (جدول ۲) مشخص گردید که نمونه‌های حاوی ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد بتاگلوکان در بسیاری از خصوصیات حسی دارای امتیاز بالاتری نسبت به نمونه شاهد (نمونه حاوی ۳۶ درصد روغن براساس وزن آرد) بودند. البته نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان (۱۸ درصد روغن، ۱۷/۵ درصد آب و ۰/۵

به‌خصوص مزه مطلوب برای مصرف‌کننده بسیار حائز اهمیت است که البته رجب‌زاده روغن موجود در محصولات صنایع پخت نظیر نان، کیک، کلوچه و غیره را عامل انتقال‌دهنده مواد آروماتیک و طعم‌دهنده دانسته است [۱۸]. اما چرا با کاهش روغن در دو نمونه حاوی ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد بتاگلوکان امتیاز عطر و مزه نسبت به نمونه شاهد تغییر نکرد که به نظر می‌رسد این رخداد تحت تأثیر دو عامل باشد یکی به دلیل واکنش مایلارد بیشتر در این دو نمونه و ایجاد مواد مولد عطر و مزه و دیگری بافت بهتر این نمونه‌ها (نمونه های ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد بتاگلوکان) است. در ایجاد طعم بهتر در ماده غذایی بافت محصول بسیار اهمیت دارد. در این زمینه مطالعات چندی صورت گرفته است. اغلب محققان معتقدند که درک شدت طعم و رهایش مواد طعم‌زا بستگی به نوع بافت محصول نهایی دارد [۲۹]. به‌طور مثال در بافت‌هایی که انسجام، پیوستگی و سفتی مطلوبی دارند، درک میزان شدت شیرینی بهتر گزارش شده است که بلند (Boland) و همکاران (۲۰۰۴) علت این رخداد را برهمکنش‌های متفاوت بین مواد طعم‌زا و ساختار بافت بیان نمودند [۳۰]. بنابراین بهبود بافت را به‌خصوص در نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان نباید نادیده گرفت.

اختلاف معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد نداشتند و امتیاز عطر و مزه دو نمونه حاوی ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد بتاگلوکان با نمونه شاهد برابری داشت. حصول چنین نتیجه‌ای با توجه به نتایج بدست آمده از سایر بخش‌ها (بررسی خصوصیات تکنولوژیکی) دور از انتظار نبود اما در مورد عطر و مزه شاید این انتظار از جانب پژوهشگران این تحقیق وجود داشت که داوران چشایی حداقل به نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان امتیاز بیشتری را نسبت به نمونه شاهد دهند که چنین نتیجه‌ای حاصل نگردید. علت اینکه محققین این پژوهش توقع امتیاز بالاتری برای نمونه‌های حاوی بتاگلوکان داشتند این بود که چون در سنجش مؤلفه‌های رنگی به‌خصوص مؤلفه رنگی a^* پوسته به این گمان رسیدند که علت افزایش این مؤلفه رنگی می‌تواند تحت تأثیر افزایش واکنش مایلارد باشد. بنابراین این انتظار ایجاد شد که همین واکنش به نوبه خود قادرست روی عطر و مزه محصولات نانویی اثر مثبت بگذارد چون در واقع یکی از عوامل مؤثره در ایجاد عطر و مزه این دسته محصولات همین واکنش مایلارد (در کنار واکنش کاراملیزاسیون) است. اما چون چنین نتیجه‌ای از جانب ارزیابان حسی گزارش نگردید این موضوع مطرح گردید که حضور روغن در فرمولاسیون مواد غذایی جهت انتقال عطر و مزه و حتی ایجاد عطر و

جدول ۲ تأثیر افزودن سطوح مختلف بتاگلوکان بر خصوصیات حسی کیک بدون گلوتن کم‌چرب

بتاگلوکان (درصد)	فرم و شکل	خصوصیات سطح بالایی	خصوصیات سطح پایینی ^{ns}	پوکی و تخلخل	سفتی و نرمی بافت	قابلیت جویدن	بو، طعم و مزه	پذیرش کلی
صفر (شاهد)	۳۲۷±۰/۱۳ ^c	۲/۸۰±۰/۲۰ ^{bc}	۳۳۷±۰/۱۲	۳۲۰±۰/۲۰ ^c	۳/۰۰±۰/۱۰ ^c	۳/۰۷±۰/۱۳ ^c	۳/۴۷±۰/۱۳ ^d	۳/۱۹±۰/۱۰ ^d
۰/۲۵	۳۹۷±۰/۰۳ ^b	۲/۹۷±۰/۱۵ ^b	۳۳۷±۰/۱۲	۳/۸۰±۰/۲۰ ^b	۴/۱۳±۰/۱۵ ^b	۳/۸۳±۰/۱۵ ^b	۳/۴۳±۰/۰۶ ^d	۳/۶۹±۰/۰۹ ^b
۰/۵۰	۴۵۳±۰/۱۵ ^a	۴/۰۳±۰/۱۵ ^a	۳/۸۳±۰/۱۲	۴/۳۳±۰/۰۳ ^a	۴/۷۰±۰/۱۰ ^a	۴/۱۷±۰/۱۵ ^a	۳/۴۰±۰/۱۰ ^a	۴/۱۴±۰/۰۹ ^a
۰/۷۵	۲/۸۰±۰/۲۰ ^d	۲/۵۰±۰/۱۰ ^c	۳/۳۷±۰/۱۲	۳/۱۳±۰/۱۳ ^c	۳/۲۰±۰/۲۰ ^c	۲/۸۰±۰/۱۰ ^d	۲/۳۳±۰/۲۱ ^b	۲/۸۷±۰/۰۶ ^d
۱/۰	۲/۰۳±۰/۰۶ ^e	۲/۰۳±۰/۱۵ ^d	۳/۶۰±۰/۱۰	۲/۲۷±۰/۱۳ ^d	۲/۲۰±۰/۲۰ ^d	۱/۵۷±۰/۱۵ ^e	۱/۷۷±۰/۲۵ ^e	۲/۰۲±۰/۱۰ ^e

(حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند)

(ns: از نظر آماری در سطح $P < 0.05$ تفاوت معنی‌داری ندارند)

در سطوح صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد به‌عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون اولیه استفاده شود و خصوصیات تکنولوژیکی، تصویری و حسی نمونه‌های تولیدی مورد ارزیابی قرار گیرد. براساس نتایج بدست آمده مشخص گردید که نمونه حاوی ۰/۵ درصد بتاگلوکان (این نمونه دارای ۱۸ درصد روغن، ۱۷/۵ درصد آب و ۰/۵ درصد بتاگلوکان

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق با توجه به اینکه به تولید محصولات رژیمی و با کالری کمتر برای بیماران سیلیاکی اهمیت چندانی داده نمی‌شود، تصمیم بر آن شد که سطح روغن مصرفی در کیک برنجی بدون گلوتن را کاهش داده و از فیبر رژیمی بتاگلوکان

- [9] Turabi, E., Sumnu, G., and Sahin, S. 2008. Rheological properties and quality of rice cake formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22: 305-312.
- [10] Naghipour, F., Karimi, M., Habibi Najafi, M.B., Haddad Khodaparast, M.H., Sheikholeslami, Z., Ghiafeh Davoodi, M., and Sahraiyani, B. 2013. Investigation on production of gluten free cake utilizing sorghum flour, guar and xanthan gums. *Journal of Food Science*, 41(10): 127-139 [in Persian].
- [11] Naghipour, F., Habibi Najafi, M.B., Karimi, M., Haddad Khodaparast, M.H., Sheikholeslami, Z., and Sahraiyani, B. 2012. Application sorghum flour in free gluten cake production. *National Conference of Iranian Agricultural Research Strategy*. Islamic Azad University, Takestan branch [in Persian].
- [12] AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2. *American Association of Cereal Chemists*, St. Paul, MN.
- [13] Haralick, R. M., Shanmugam, K., and Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions of ASAE*, 45(6): 1995-2005.
- [14] Ronda, F., Oliete, B., Gomez, M., Caballero, P., and Pando, V. 2011. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 112: 272-277.
- [15] Sun, D. 2008. *Computer vision technology for food quality evaluation*. Academic Press, New York.
- [16] Rajabzadeh, N. 1991. Iranian Flat Bread Evaluation. Pp. 1-50, *Iranian Cereal and Bread Research Institute*, Publication no.71, Tehran, Iran.
- [17] Gacula, J. R., and Singh. 1984. Statistical methods in food and consumer research. Academic press Inc. U.S.A. 360-366.
- [18] Rajabzadeh, N. 2010. Bread production technology and production management, Tehran Publication.
- [19] Amiri Aghdaie, S.S., Alami, M., Jafari, S.M., and Sadeghi Mahonak, A. 2012. Effect of hull-less barley beta-glucan as a fat mimetic on physicochemical, textural and sensory properties of low fat mayonnaise. (بود) که در آن ۵۰ درصد جایگزینی روغن صورت گرفته بود، نه تنها ویژگی‌های تکنولوژیکی و حسی کیک برنجی بدون گلوتن اولیه را حفظ نمود بلکه از کمیت و کیفیت بهتری نسبت به نمونه شاهد برخوردار بود. از این رو با توجه به نتایج حاصله از این پژوهش می‌توان گفت امکان تولید کیک برنجی بدون گلوتن کم‌چرب به گونه‌ای که قابلیت پذیرش برای مصرف‌کننده و عرضه به بازار را داشته باشد، مهیاست.

۵- منابع

- [1] Hui, Y.H. 2006. *Bakery products: science and technology*. Black well publishing, p.193-208.
- [2] Pourmohammadi, K., Alami, M., Shahedi, M., and Sadeghi Mahonak, A. 2010. The effect of microbial transglutaminase enzymes on the rheological properties of dough made from wheat flour and hullless barley flour. *Journal of Food Research*, 21: 269-279 [in Persian].
- [3] Inglett, G.E. 1992. *Method for making a soluble dietary fiber composition from cereals*. US Patent: 5082673.
- [4] FDA. 2005. 21CFR Part101. Food labeling: Health claims; soluble dietary fiber from certain foods and coronary heart disease. *Federal register*, 70 (246).
- [5] Piñero, M.P., Parra, K., Huerta-Leidenz, N., Arenas de Moreno, L., Ferrer, M., Araujo, S., and Barboza, Y. 2008. Effect of oat's soluble fibre (β -glucan) as a fat replacer on physical, chemical, microbiological and sensory properties of low-fat beef patties. *Meat Science*, 80: 675-680.
- [6] Sahana, N., Yasarb, K., and Hayaloglu, A.A. 2008. Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a β -glucan hydrocolloid composite during storage. *Food Hydrocolloids*, 22: 1291-1297.
- [7] Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S., and Jamnong, P. 2006. β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 20: 68-78.
- [8] Volikakis, P., Biliaderis, C.G., Vamvakas, C., and Zerfiridis, G.K. 2004. Effects of a commercial oat-[beta]-glucan concentrate on the chemical, physicochemical and sensory attributes of a low-fat white-brined cheese product. *Food Research International*, 37(1): 83-94.

- Nutrition*, Tabriz University of Medical Sciences and Health Services.
- [25] Purlis, E., and Salvadori, V. 2009. Modeling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42: 865-870.
- [26] Carr, L.G., and Tadini, C.C. 2003. Influence of yeast and Vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part baked French bread. *Lebensm Wiss u Technology*, 36: 609-614.
- [27] Gularte, M. A., Hera, E., Gomez., and Rosell, M. 2012. Effect of different fibers on batter and gluten free layer cake properties. *LWT- Food Science and Technology*, 48(2): 209-214.
- [28] Sabanis, D., Lebesi, D., and Tzia, C. 2009. Effect of dietary fiber enrichment on selected properties of gluten – free bread. *Food Science and Technology*, 42: 1380-1389.
- [29] Koliandris, A., Lee, A., Ferry, A., Hill, S., and Mitchell, J. 2008. Relationship between structure of hydrocolloid gels and solutions and flavor release. *Food Hydrocolloids*, 22: 623-630.
- [30] Boland, B., Buhr, K., Giannouli, P., and van Ruth, S.M. 2004. Influence of gelatin, starch, pectin and artificial saliva on the release of 11 flavor compounds from model gel systems. *Food Chemistry*, 86: 401-411.
- Journal of Food Research*, 22(2): 141-154 [in Persian].
- [20] Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., and Izydorczyk, M.S. 2007. *Cereal b-glucans: Structures, physical properties, and physiological functions*. In C. G. Biliaderis and M. S. Izydorczyk (Eds.), *Functional food carbohydrates* (pp. 1-72). Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [21] Sahraiyian, B., Naghipour, F., karimi, F., and Ghiafeh Davoodi, M. 2013. Evaluation of *Lepidium sativum* seed and guar gum to improve dough rheology and quality parameters in composite rice-wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 30: 698-703.
- [22] Zavehzad, N., and Haghayegh, Gh.H. 2016. Utilization of melon seed flour as fat replacer in production of low fat oil cake and evaluation quantitative and qualitative of final product. *Journal of Food Science and Technology*, 52(13): 15-23 [in Persian].
- [23] Ahlborn, G. J., Pike, O. A., Hendrix, S. B, Hess, W. M., and Huber, C, S. 2005. Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low protein and gluten free bread. *Cereal Chemistry*, 82: 328-335.
- [24] Boloriyan, Sh., Hadda Khodaparast, M.H., Afshari, M., and Karimi, M. 2006. The effect of date seed powder on the sensory properties of Iranian flat bread (Lavash) with the purpose of enriching it. *Proceedings of the Ninth International Congress of*

Effect of sorghum β -Glucan as Fat Replacer in Low Fat Gluten-Free Cup Cake Production

Naghipour, F. ¹, Tabatabaei Yazdi, F. ^{2*}, Karimi, M. ³, Mortazavi, S. A. ², Mohebbi, M. ²

1. Ph.D of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3. Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

(Received: 94/4/19 Accepted: 94/5/31)

Demanding for low-fat products was increased because of the importance of the health for the population. But the production of low-fat gluten-free food is not considered. Therefore, in this study, sorghum β -glucan as a dietary fiber in levels of 0.25, 0.5, 0.75 and 1.0% respectively used as an alternative to 25, 50, 75 and 100% of the fat in the formulation of gluten-free rice cake. The results showed that by increasing the levels of β -glucan in the formulation, the moisture content and a^* value were increased. However the highest amount of L^* value was observed in sample containing 0.5 β -glucan. Also the sample containing 0.25 and 0.5% of β -glucan had the lower firmness than the other samples in 2 hours after baking. On the other hand the results of the firmness in one week after baking showed the texture of samples containing 0.25, 0.5 and 0.75% β -glucan was softer than the control. In addition, the results showed that the samples containing 0.25 and 0.50% β -glucan (especially samples containing 0.5% of dietary fiber), had the highest porosity and specific volume. Finally, the panelists samples containing 0.5% β -glucan (an example in which the 50% fat was replaced) were introduced as the best example in terms of sensory properties to supply the market.

Keywords: Sorghum β -glucan, Fat replacer, Gluten-free cup cake, Visual characteristics, Texture.

* Corresponding Author E-Mail Address: tabatabai@um.ac.ir