مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بررسی امکان تولید میان‌وعده‌های غذایی سالم بر پایه غلات با افزودن نشاسته مقاوم نوع سه

مهدی قیافه داودی[۱]، مهدی کریمی[۱]، فریبا نقی‌پور[۲]، زهرا شیخ‌الاسلامی[۱]

۱- 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

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

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۸

کلمات کلیدی:

ذرت،

نشاسته مقاوم،

پری بیوتیک،

میان وعده،

فیبر

DOI: 10.22034/FSCT.20.138.133

DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.138.11.3

* مسئول مکاتبات:

Mehdidavoodi@yahoo.com

چکیده

نشاسته‌های مقاوم در دسته نشاسته‌های غیرقابل هضم طبقه‌بندی شده و تحت عنوان محصولی پری-بیوتیک معرفی می‌گردد که در مقایسه با سایر فیبرهای رژیمی کالری پائین‌تر داشته و ارزان‌تر می‌باشد. از این‌رو هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر استفاده از نشاسته مقاوم نوع سه تولید شده به روش حرارتی در سطوح صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد در یک طرح کاملاً تصادفی به عنوان جایگزین آرد گندم در فرمولاسیون بیسکوئیت، دونات و کلوچه بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی محصول نهایی بود. نتایج نشان داد با جایگزینی آرد گندم با نشاسته مقاوم در سطوح مصرفی بیش از ۲۰ درصد میزان رطوبت و فعالیت آبی بیسکوئیت، دونات و کلوچه به ترتیب افزایش و کاهش یافت. حجم مخصوص و تخلخل نمونه‌های دونات تولیدی نیز تا سطح ۱۵ درصد نشاسته مقاوم، ثابت و پس از آن روند کاهشی داشت. همچنین نمونه حاوی ۱۵ درصد نشاسته مقاوم در این محصولات از کمترین میزان سفتی بافت برخوردار بود. از سوی دیگر با جایگزینی نشاسته مقاوم در فرمولاسیون بیسکوئیت، دونات و کلوچه تنها در سطوح ۱۵ درصد جایگزینی و بالاتر، میزان مؤلفه L* افزایش و مؤلفه‌های a* و b* پوسته محصول نهایی کاهش یافت. داوران چشایی نیز با بررسی نمونه‌های بیسکوئیت، دونات و کلوچه، نمونه حاوی ۱۵ درصد نشاسته مقاوم را به‌عنوان بهترین نمونه معرفی نمودند. لذا با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر می‌توان بیان داشت با جایگزین نمودن ۱۵ درصد از آرد گندم با نشاسته مقاوم در هر سه محصول علاوه بر حفظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی محصول نهایی، امکان غنی‌سازی این میان وعده‌های غذایی وجود داشته و مصرف‌کننده می‌تواند از مزایای محصولات پری‌بیوتیکی در رژیم غذایی خود بهره‌مند گردد.

۱- مقدمه

به نشاسته‌هایی 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 بوتیریک و پروپیونیک اسید و گازهای دی‌اکسید کربن و هیدروژن و بعضی مواقع متان تولید می‌شود، نشاسته مقاوم اطلاق می‌شود. با توجه به تولید بوتیرات، پروپیونات و استات در طی تخمیر نشاسته مقاوم که به‌عنوان سوبسترا و منبع انرژی برای رشد پروبیوتیک‌ها[1] و سلول‌های کلون می‌باشد، نشاسته مقاوم تحت عنوان محصولی پری‌بیوتیک[2] معرفی می‌گردد [۱]. از جمله مهمترین آثار سلامت‌بخش نشاسته مقاوم می‌توان به اثرات مفید بر سلامتی روده‌ها و جلوگیری از سرطان کلون از طریق تخمیر توسط فلور میکروبی و تولید اندکی گاز، کاهش سطح پاتوژن‌های روده، افزایش تعداد دفعات و حجم مدفوع، کاهش نشانه‌های اسهال و جلوگیری از هموروئید و یبوست و غیره اشاره نمود. علاوه بر نقش مفید نشاسته مقاوم در سلامتی مصرف کننده، خصوصیات تکنولوژیکی مثبتی هم در فرمولاسیون مواد غذایی دارد [۲]. برخلاف فیبرهای رژیمی، نشاسته مقاوم موجب بهبود کیفیت مواد غذایی مانند افزایش تردی، کاهش روغن در محصولات سرخ شده و ... می‌گردد. ویژگی‌های منحصر به فرد نشاسته مقاوم، مانند منبع طبیعی آن، اندازه کوچک ذرات، رنگ سفید، عطر و طعم شیرین مطلوب، ظرفیت اتصال آب[3] پایین‌تر و ظرفیت نگهداری آب[4] بالاتر از فیبرهای رژیمی، دمای ژلاتینه شدن بالا و خصوصیات اکستروژن خوب آن‌را به یک مکمل ارزشمند در طیف گسترده‌ای از مواد غذایی تبدیل کرده است [۳ و ۴].

نشاسته مقاوم به روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و آنزیمی تولید می‌شود. روش‌های فیزیکی خود شامل روش حرارتی، آنزیمی، حرارتی-آنزیمی و اشعه‌دهی می‌باشد. فرایندهای حرارتی از قبیل اتوکلاو کردن، جوشاندن، بخارپز کردن، مایکروویو کردن، اکسترود کردن از روش‌های فیزیکی تولید نشاسته‌های مقاوم هستند [۲]. پخت یا فرایند حرارتی به شکل مرطوب با تسریع و تشدید فرایند رتروگرید شدن موجب افزایش تولید نشاسته مقاوم می‌شود. در همین راستا تساتسراکو و همکاران (۲۰۱۵)، تأثیر افزودن نشاسته مقاوم را بر کیک بدون گلوتن بر مبنای آرد برنج و نشاسته تاپیوکا بررسی نمودند و عنوان داشتند که حجم مخصوص کیک با افزایش مقدار نشاسته مقاوم بیشتر شده و بالاترین حجم مخصوص در سطح ۱۵ درصد مشاهده گردید. علاوه بر این آنالیز برش‌های کیک، کاهش در تخلخل سطح و تعداد منافذ و افزایش در میانگین قطر منافذ را همراه با افزایش غلظت نشاسته مقاوم نشان داد. در طی مدت زمان نگهداری کیک، در فرمولاسیون حاوی مقدار بیشتر نشاسته مقاوم پوسته کیک، نرم‌تر باقی ماند. داوران چشایی نیز به نمونه حاوی ۲۰ درصد نشاسته مقاوم بالاترین امتیاز را اختصاص دادند [۵]. علاوه بر این مجذوبی و همکاران (۲۰۱۴)، تأثیر نشاسته مقاوم ذرت را بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی کیک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش سطح نشاسته مقاوم، استقامت خمیر افزایش پیدا کرد در حالی‌که دانسیته آن کم شد. از سوی دیگر میزان دانسیته و حجم نمونه‌های کیک تولیدی به ترتیب افزایش و کاهش یافت. کیک حاصل نرم‌تر شده اما خاصیت چسبندگی، ارتجاعی و قابلیت جویدن آن کاهش پیدا کرد. همچنین رنگ کیک‌ها سفیدتر شد اما میزان قرمزی و زردی آنها کاهش یافت [۶]. لاگونا و همکاران (۲۰۱۱) نیز استفاده از نشاسته مقاوم بر کیفیت پخت

1- Probiotic
2- Prebiotic
3- Water-binding capacity
4- Water-holding capacity

بیسکوئیت‌های خمیر کوتاه مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش آرد گندم در سطوح صفر (نمونه شاهد)، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد با نشاسته مقاوم جایگزین گردید. نتایج نشان داد که افزودن نشاسته مقاوم بر روی استحکام خمیر خام و سهولت ورقه شدن و برش‌پذیری تأثیر داشت. در خصوص کیفیت خوراکی محصول نهایی نیز افزودن نشاسته مقاوم، نیروی لازم برای شکستن و خرد شدن را افزایش و مقاومت به نفوذ را کاهش داد [۷].

از این‌رو با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر استفاده از نشاسته مقاوم نوع سه تولید شده از ذرت، در سطوح مختلف بر خصوصیات کمی و کیفی برخی از محصولات صنایع پخت (دونات، بیسکوئیت و کلوچه) بود که به عنوان میان وعده‌های پرطرفدار در بین افراد جامعه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲- مواد و روش‌ها

آرد ستاره با درجه استخراج ۸۲ درصد، از کارخانه آرد تهران باختر (تهران، ایران) و نشاسته ذرت نیز شرکت فرآوری فروکتور ناب (نظرآباد، البرز) خریداری گردید. برای این منظور، نمونه آرد و نشاسته مورد نیاز برای انجام آزمایشات به صورت یکجا تهیه و در سردخانه با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. مخمر مورد استفاده (*ساکارومایسس سرویزیه*) که به شکل پودر مخمر خشک فعال و به‌صورت بسته‌بندی وکیوم بود از شرکت خمیرمایه رضوی (مشهد، ایران) تهیه گردید. سایر ترکیبات و مواد مورد نیاز به منظور تهیه هر سه محصول نیز از فروشگاه‌های معتبر لوازم قنادی و شیرینی‌پزی خریداری شد.

۲-۱- بررسی خصوصیات آرد گندم و نشاسته ذرت

ابتدا ویژگی‌های شیمیایی آرد گندم مورد استفاده در تولید دونات، بیسکوئیت و کلوچه و همچنین نشاسته ذرت به منظور تولید نشاسته مقاوم براساس روش‌های استاندارد AACC[1] (۲۰۰۰) اندازه‌گیری گردید [۸]. مقدار رطوبت با استفاده از روش آون به شماره ۱۶-۴۴، مقدار خاکستر با استفاده از روش پایه به شماره ۰۱-۰۸، مقدار پروتئین با استفاده از روش کلدال به شماره ۱۲-۴۶، مقدار چربی با استفاده از روش مصوب ۱۰-۳۰ و گلوتن آرد گندم با استفاده از روش مصوب ۱۱-۳۸ تعیین شد.

۲-۲- تولید نشاسته مقاوم

به‌منظور تولید نشاسته مقاوم در ابتدا نشاسته طبیعی به روش آسیاب مرطوب از دانه ذرت تولید گردید. سپس این نشاسته طبیعی، برای تولید نشاسته مقاوم نوع سوم به روش داندر و گاسمن (۲۰۱۳) استفاده گردید، به این ترتیب که سوسپانسیون ۱ به ۴ نشاسته و آب مقطر آماده شد، سپس برای مدت ۳۰ دقیقه بر روی هیتر همزن‌دار پخته و در ادامه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۴۵ دقیقه اتوکلاو شد. بعد از آن، نمونه‌ها در دمای اتاق سرد شدند و پس از تعادل دمایی با محیط، نشاسته‌ها برای مدت زمان ۷۲ ساعت در ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردیدند. در نهایت نمونه‌های نشاسته در آون ۴۵ درجه سلسیوس خشک شده و زمانی‌که رطوبت نمونه-ها به حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد رسید، نمونه‌ها آسیاب و از الکی با اندازه چشمه‌های ۱۰۰ عبور داده شدند [۱].

۲-۳- تولید میان‌وعده‌های غذایی بر پایه غلات

دونات: تهیه دونات به روش انتظاری و همکاران (۱۳۹۵) صورت گرفت. مواد اولیه دونات شامل ۵۵ درصد آرد گندم، ۵ درصد شکر، ۱۰ درصد تخم‌مرغ، ۵ درصد روغن، ۱۸/۵ درصد آب، ۳ درصد مخمر، ۰/۲ درصد وانیل، ۲/۸ درصد شیرخشک و ۰/۵ درصد نمک بود. در فرمولاسیون تیمارهای مختلف نشاسته مقاوم نوع سه تولیدی در سطوح صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد جایگزین آرد گندم جایگزین شد. پس از تهیه

1- American Association of Cereal Chemists (AACC)

خمیر، به ضخامت یک سانتی‌متر پهن و قالب‌زنی گردید. قطعات به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۴۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد در اتاقک تخمیر (Zuccihelli Froni، ساخت کشور ایتالیا)، مرحله دوم تخمیر را سپری نمودند. در انتها نمونه‌های دونات داخل سرخ‌کن (Beem، ساخت کشور آلمان) حاوی روغن سرخ کردنی سرخ شدند و پس از سرخ کردن، روغن اضافی آن توسط کاغذ جاذب روغن گرفته شد و در بسته‌های از جنس پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در دمای اتاق (خشک و خنک) تا زمان انجام هریک از آزمون‌ها نگهداری گردید [۹].

بیسکوئیت: تهیه بیسکوئیت به روش سودا و همکاران (۲۰۰۷) صورت گرفت. فرمولاسیون نمونه شاهد حاوی ۶۳ درصد آرد گندم (شاهد)، ۸ درصد شکر، ۱۰ درصد آب، ۱۱ درصد شورتنینگ، ۳ درصد دکستروز، ۲ درصد پودر شیر خشک، ۱ درصد نمک، ۰/۸ درصد بی‌کربنات سدیم، ۰/۹ درصد بی‌کربنات آمونیوم و ۰/۳ درصد اسانس بود. در فرمولاسیون تیمارهای مختلف نشاسته مقاوم نوع سه تولیدی در سطوح صفر (نمونه شاهد)، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد جایگزین آرد گندم جایگزین شد. پس از مخلوط نمودن مواد، خمیر بیسکوئیت به ضخامت ۸ میلی‌متر و به کمک وردنه بر روی سطح صاف داخل سینی پهن گردید و توسط قالب‌های فلزی دایره‌ای شکل به قطر ۷۰ میلی‌متر برش خورد. در ادامه عملیات پخت در فرگردان با هوای داغ (Zuccihelli Froni، ساخت کشور ایتالیا)، در دمای ۲۲۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۱۵ دقیقه انجام شد. در نهایت نمونه‌های بیسکوئیت پس از خنک سازی درون سینی‌ها و در دمای محیط، در بسته‌های از جنس پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در دمای اتاق (خشک و خنک) تا زمان انجام هریک از آزمون‌ها نگهداری گردید [۱۰].

کلوچه (کوکی): تهیه کلوچه به روش حقایق و زاوه‌زاد (۱۳۹۶) صورت گرفت. بدین منظور مواد اولیه کلوچه شامل ۵۲ درصد آرد گندم (شاهد)، ۲۵ درصد شکر، ۱۰ درصد روغن، ۷ درصد آب، ۵ درصد تخم‌مرغ، ۰/۶ درصد نمک ۰/۴ درصد بیکینگ پودر بود. در فرمولاسیون تیمارهای مختلف نشاسته مقاوم نوع سه تولیدی در سطوح صفر (نمونه شاهد)، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد جایگزین آرد گندم جایگزین شد. پس از مخلوط نمودن مواد، خمیر وارد مرحله برش شد و پس از عبور از غلتک‌ها (ضخامت ۱۵ میلی‌متر) و قالب‌زنی (قطر ۸ سانتی‌متر)، عملیات پخت در فرگردان با هوای داغ (Zuccihelli Froni، ساخت کشور ایتالیا)، در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۱۰ دقیقه انجام شد. کلوچه‌ها پس از خنک‌سازی در دمای محیط، در بسته‌های از جنس پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در دمای اتاق (خشک و خنک) تا زمان انجام هریک از آزمون‌ها نگهداری گردید [۱۱].

۴-۲- ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی میان‌وعده‌های غذایی

ویژگی‌های محصولات نهایی مطابق با روش‌های ذیل مورد ارزیابی قرار گرفت:

رطوبت: اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه‌های بیسکوئیت، دونات و کلوچه به کمک استاندارد AACC، ۲۰۰۰ شماره ۱۶-۴۴ با استفاده از آون (Jeto Tech، ساخت کشور کره جنوبی) انجام شد [۸].

فعالیت آبی: میزان فعالیت آبی هریک از محصولات تولیدی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فعالیت آبی (در دمای ۲۵ درجه سلسیوس مورد ارزیابی قرار گرفت.

روغن: اندازه‌گیری میزان روغن موجود در نمونه‌های دونات مطابق استاندارد AACC، ۲۰۰۰ شماره ۱۰-۳۰ انجام شد [۸].

حجم مخصوص و تخلخل: برای اندازه‌گیری حجم مخصوص نمونه‌های دونات از روش جایگزینی حجم با دانه کلزا مطابق با استاندارد AACC، ۲۰۰۰ شماره ۰۱-۰۸ استفاده شد [۸].

تخلخل: به منظور ارزیابی میزان تخلخل مغز نمونه‌های دونات از تکنیک پردازش استفاده شد [۱۲]. در ابتدا به منظور ارزیابی میزان تخلخل یک قطعه نمونه به ابعداد ۲۵ میلی‌متر توسط یک چاقوی اره‌ای جدا گردید و از هر سه مقطع آن با استفاده از اسکنر با وضوح ۶۰۰ پیکسل تصاویر تهیه و در اختیار نرم افزار Image J قرار داده شد و با فعال کردن قسمت ۸ بیت، تصاویر سطح خاکستری ایجاد شد. جهت تبدیل تصاویر خاکستری به تصاویر دودویی، قسمت دودویی نرم‌افزار فعال گردید. این تصاویر، مجموعه‌ای از نقاط روشن و تاریک است که محاسبه نسبت نقاط روشن به تاریک به عنوان شاخص از میزان تخلخل نمونه‌ها برآورد می‌شود. بدیهی است که هرچقدر این نسبت بیشترباشد بدین معناست که میزان حفرات موجود در بافت (میزان تخلخل) بیشتر است. در عمل با فعال کردن قسمت Analysis نرم افزار، این نسبت محاسبه و درصد تخلخل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت میانگین تخلخل محاسبه شده برای هر سه مقطع نمونه به‌عنوان عدد نهایی تخلخل گزارش گردید.

رنگ: آنالیز رنگ هریک از محصولات تولیدی از طریق تعیین سه شاخص *L، *a، *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 تصاویر تهیه شده از نمونه‌ها در اختیار نرم‌افزار Image J قرار گرفت. در ادامه با فعال کردن فضای LAB در بخش Plugins، شاخص‌های فوق محاسبه شدند [۱۳].

سفتی بافت: ارزیابی بافت هریک از محصولات با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (QTS (CNS Farnell)، ساخت کشور انگلستان) انجام شد. حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب با انتهای استوانه‌ای (۲ سانتی‌متر قطر در ۲/۳ سانتی‌متر ارتفاع) با سرعت ۳۰ میلی‌متر در دقیقه از بافت دونات و کلوچه، به عنوان شاخص سفتی محاسبه گردید [۱۴]. علاوه بر این جهت ارزیابی سفتی بافت بیسکوئیت نیز از آزمون خمش استفاده گردید و حداکثر نیروی ثبت شده برای خم کردن و شکستن نمونه، به عنوان شاخص سفتی گزارش شد [۱۵].

خصوصیات حسی: آزمون حسی با استفاده از روش پیشنهادی هاگلوند و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد [۱۶]. بدین منظور ۱۰ داور از بین افراد آموزش‌دیده انتخاب گردیدند و سپس خصوصیات حسی از جمله فرم و شکل، رنگ، طعم (مزه و آروما) و سفتی و نرمی بافت محصولات تولیدی که به ترتیب ضریب رتبه ۴، ۳، ۲ و ۱ بود، توسط این داوران چشایی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت پذیرش‌کلی از مجموع ضرایب ارزیابی و رتبه حاصل شد. ضریب ارزیابی صفات از بسیار بد (۱) تا بسیار خوب (۵) است.

۵-۲- طرح آماری و روش آنالیز نتایج

نتایج بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ مورد ارزیابی قرار گرفت و به منظور بررسی تأثیر جایگزینی سطوح مختلف آرد گندم با نشاسته مقاوم در هریک از محصولات دونات، بیسکوئیت و کلوچه (کوکی) از طرح کاملاً تصادفی به صورت جداگانه استفاده گردید. نمونه‌ها در سه تکرار تهیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد ($P<0.05$) مورد مقایسه قرار گرفتند. در انتها برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات کیفی آرد گندم و نشاسته ذرت

مشخصات فیزیکوشیمیایی آرد گندم و نشاسته ذرت مورد استفاده در تهیه نمونه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

Table 1. Physicochemical properties of wheat flour and corn starch

Physicochemical properties (%)	Wheat flour	Corn starch
Moisture	13.6±0.1	11.2±0.1
Protein	12.3±0.0	0.4±0.0
Fat	1.25±0.10	0.3±0.0
Ash	0.64±0.04	0.12±0.02
Wet gluten	29.7±0.5	-

۳-۲- خصوصیات کمی و کیفی میان وعده‌های غذایی

۳-۲-۱- رطوبت

در جدول ۲ تأثیر جایگزینی آرد گندم با سطوح متفاوت نشاسته مقاوم نوع سه بر میزان رطوبت بیسکوئیت، دونات و کلوچه طی دو بازه زمانی ۲ ساعت و ۵ روز پس از پخت نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با جایگزینی ترکیب فوق‌الاشاره در فرمولاسیون محصولات مذکور در هر دو بازه زمانی ۲ ساعت و ۵ روز پس از پخت، میزان رطوبت نهایی افزایش یافت. البته میزان افزایش رطوبت محصول تنها پس از جایگزینی سطح ۲۰ درصد و بیش از آن در محصول معنی‌دار بوده و در این بین، با توجه به نوع محصولات مورد بررسی بیشترین و کمترین میزان رطوبت به ترتیب در نمونه حاوی ۳۰ درصد نشاسته مقاوم و نمونه شاهد مشاهده گردید. در این خصوص به نظر می‌رسد نشاسته مقاوم از توانمندی جذب آب مناسبی برخوردار بوده و در ترکیب با آرد گندم در فرمولاسیون قابلیت حفظ رطوبت خمیر و محصول را تقویت نموده است. در همین راستا بابو و پریمالاوالی (۲۰۱۷) تأثیر جایگزینی نشاسته مقاوم با آرد گندم در سطوح صفر، ۱۰ و ۱۵ درصد بر ویژگی‌های کیفی نان را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند رطوبت محصول با افزایش نشاسته مقاوم از ۲۷/۳۵ به ۲۹/۸۳ رسید [۱۷]. همچنین لاگونا و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر جایگزینی نشاسته مقاوم با آرد گندم در سطوح صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد بر ویژگی‌های مختلف خمیر و محصول بیسکوئیت را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند بیسکوئیت‌های محتوی نشاسته مقاوم در مقایسه با شاهد از رطوبت بیشتری برخوردار بودند. ایشان علت این امر را به افزایش قابلیت نگهداری رطوبت خمیر حاوی نشاسته مقاوم نسبت دادند [۷]. مقصودلو و همکاران (۱۳۹۵) نیز تأثیر فیبرهای نشاسته مقاوم نوع سوم یا رتروگرید در سطوح صفر، 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 [۱۸].

Table 2. Effect of wheat flour replacement by resistant starch type III on moisture content of biscuit, doughnut and cookie

Resistant starch (%)	Moisture (%)					
	Biscuit		Doughnut		Cookie	
	2h after baking	5 days after baking	2h after baking	5 days after baking	2h after baking	5 days after baking
0 (Blank)	3.75±0.03^{c}	3.67±0.00^{c}	19.02±0.11^{c}	15.43±0.10^{c}	11.08±0.21^{c}	10.59±0.09^{c}

5	3.78±0.01^{c}	3.71±0.05^{c}	19.12±0.08^{c}	15.55±0.12^{c}	12.10±0.11^{c}	10.68±0.14^{c}
10	3.81±0.03^{c}	3.75±0.03^{c}	19.68±0.17^{bc}	15.98±0.10^{bc}	12.17±0.15^{c}	10.73±0.33^{c}
15	3.82±0.02^{c}	3.79±0.00^{c}	19.91±0.25^{b}	16.05±0.05^{bc}	12.35±0.26^{bc}	10.80±0.20^{bc}
20	3.91±0.00^{b}	3.85±0.04^{bc}	20.20±0.07^{ab}	16.19±0.14^{b}	12.62±0.34^{b}	11.06±0.11^{abc}
25	4.04±0.06^{ab}	3.92±0.02^{b}	20.29±0.41^{ab}	16.34±0.11^{ab}	12.83±0.17^{ab}	11.25±0.00^{ab}
30	4.13±0.02^{a}	4.01±0.01^{a}	20.42±0.66^{a}	16.95±0.06^{a}	13.07±0.52^{a}	11.42±0.37^{a}

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

۳-۲-۲- فعالیت آبی

در شکل ۱ تأثیر جایگزینی آرد گندم با نشاسته مقاوم نوع ۳ بر میزان فعالیت آبی سه محصول بیسکوئیت، دونات و کلوچه ملاحظه می‌گردد. همانگونه که مشاهده می‌شود با جایگزینی ترکیب فوق‌الاشاره در فرمولاسیون محصولات مذکور، میزان فعالیت آبی نهایی کاهش یافت. البته میزان کاهش فعالیت آبی محصول تنها پس از جایگزینی سطح ۲۰ درصد و بیش از آن در محصول معنی‌دار بوده و در این بین، با توجه به نوع محصولات مورد بررسی کمترین و بیشترین میزان فعالیت آبی به ترتیب در نمونه حاوی ۳۰ درصد نشاسته مقاوم و نمونه شاهد مشاهده گردید. با توجه به موارد مطروحه در بخش ارزیابی رطوبت به نظر می‌رسد نشاسته مقاوم از توانمندی اتصال به آب مناسبی برخوردار بوده و در ترکیب با آرد گندم در فرمولاسیون مانع افزایش فعالیت آبی محصول شده است [۱۹]. در همین راستا پوراحمدی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر جایگزینی نشاسته مقاوم با آرد گندم در سطوح صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بر ویژگی‌های کیفی و بافتی خمیر و محصول بیسکوئیت را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند بیسکوئیت‌های محتوی نشاسته مقاوم در مقایسه با شاهد از فعالیت آبی کمتری برخوردار بودند. ایشان علت این امر را به ویژگی‌های کریستالی نشاسته ارتباط دادند [۲۰]. همچنین این امر را می‌توان به تشکیل شبکه ژلی و محصور شدن آب در آن و بالطبع کاهش تماس با مولکولهای قطبی آب نسبت داد. در این حالت رطوبت (آب آزاد) ماده غذایی تولیدی افزایش و فعالیت آبی (آب باند شده) آن کاهش می‌یابد.

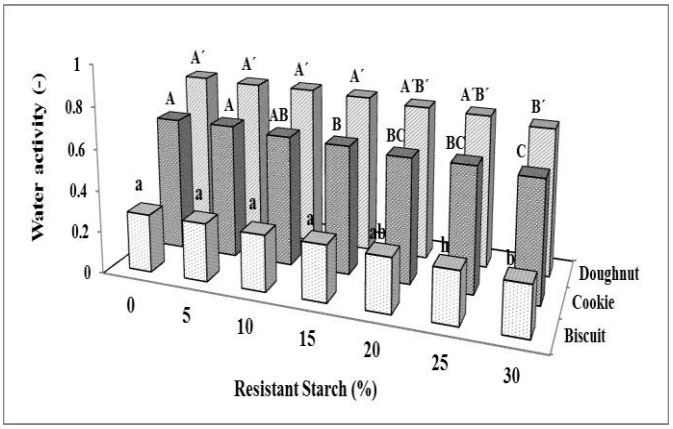

Fig 1. Effect of wheat flour replacement by resistant starch type III on water activity of biscuit, doughnut and cookie

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

۳-۲-۳- روغن

در شکل ۲ تأثیر جایگزینی آرد گندم با نشاسته مقاوم نوع ۳ بر میزان روغن سه محصول بیسکوئیت، دونات و کلوچه ملاحظه می‌گردد. همانگونه که مشاهده می‌شود با جایگزینی ترکیب فوق‌الاشاره در فرمولاسیون محصولات مذکور میزان روغن نهایی تنها در دونات کاهش یافت. البته میزان کاهش روغن محصول تنها پس از جایگزینی سطح ۲۰ درصد و بیش از آن در محصول معنی‌دار بوده و در این بین، با توجه به نوع محصولات مورد بررسی کمترین میزان روغن در نمونه دونات حاوی ۳۰ درصد نشاسته مقاوم مشاهده

گردید. در طول فرآیند سرخ کردن آب موجود در پوستهٔ مادهٔ غذایی تبخیر می‌شود، با ادامهٔ جریان تبخیر آب از مرکز به پوسته مهاجرت می‌کند و همچنان پوستهٔ مادهٔ غذایی مرطوب باقی می‌ماند. هنگامی که آب به صورت بخار مادهٔ غذایی را ترک می‌کند، روغن جای خالی آن را پر می‌کند؛ به همین دلیل میزان جذب روغن با محتوای رطوبت مادهٔ غذایی دارای رابطهٔ مستقیمی است؛ به طوری که بخش‌هایی از غذا که اُفت رطوبت شدیدتری داشته باشند، جذب روغن بیشتری خواهند داشت [۲۱]. به نظر می‌رسد نشاسته مقاوم به دلیل اینکه باعث افزایش رطوبت دونات می‌شود از توانایی کاهش میزان جذب روغن توسط دونات در حین فرآیند سرخ‌کردن برخوردار می‌باشد. نوری و همکاران (۲۰۱۷) نیز بهینه‌سازی اثرات افزودن صمغ فارسی و پودر پوست هویج بر روی ویژگی‌های دونات کم‌چرب را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند جذب روغن محصول با افزودن فیبرهای خوراکی کاهش یافت [۲۲]. همچنین برنان و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه مروری خود با عنوان اثر ترکیبات کاهنده جذب روغن طی فرآیند سرخ کردن بیان داشتند صمغ‌ها به دلیل توانایی جذب و نگهداری آب مانع جایگزینی آب با روغن طی فرآیند سرخ کردن می‌شوند [۲۳].

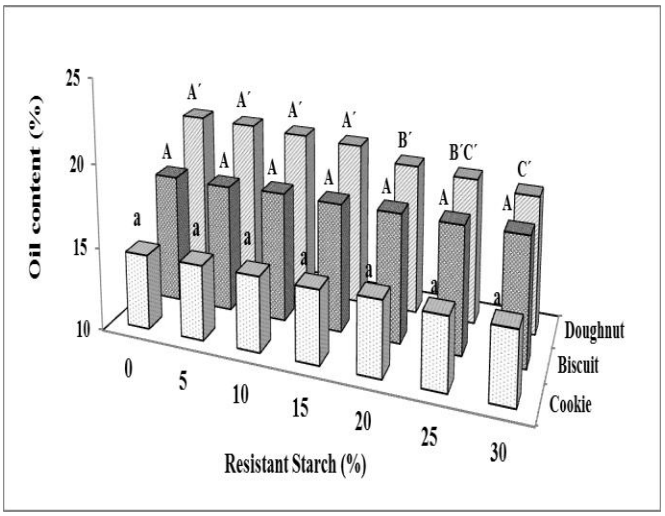

Fig 2. Effect of wheat flour replacement by resistant starch type III on oil content of biscuit, doughnut and cookie

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

۳-۲-۴- حجم مخصوص و تخلخل دونات

در شکل ۳ تأثیر جایگزینی آرد گندم با سطوح مختلف نشاسته مقاوم نوع ۳ بر میزان حجم مخصوص دونات ملاحظه می‌گردد. همانگونه که مشاهده می‌شود با جایگزینی ترکیب فوق‌الاشاره در فرمولاسیون دونات، میزان حجم مخصوص و تخلخل محصول نهایی کاهش یافت. البته کاهش میزان حجم مخصوص و تخلخل محصول تنها پس از جایگزینی سطح ۲۰ درصد و بیش از آن در محصول معنی‌دار بوده و در این بین کمترین میزان این پارامترها در نمونه حاوی ۳۰ درصد نشاسته مقاوم مشاهده گردید.

به‌طورکلی با افزودن ترکیبات غیرگلوتنی ویژگی‌های رئولوژیکی، قابلیت نگهداری هوا و تخلخل محصول نهایی تأثیر منفی می‌پذیرند [۲۴]. در این خصوص به نظر می‌رسد افزودن نشاسته مقاوم در سطوح بالاتر مانع از تشکیل شبکه کامل گلوتن که یکی از مهمترین عوامل نگهدارنده حباب-های هوا می‌باشد، می‌گردد. در همین راستا بابو و پریمالاوالی (۲۰۱۷) تأثیر جایگزینی نشاسته مقاوم با آرد گندم در سطوح صفر، ۱۰ و ۱۵ درصد بر ویژگی‌های کیفی نان را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند حجم مخصوص محصول با افزایش نشاسته مقاوم کاهش یافت [۱۷]. 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 را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که افزودن نشاسته مقاوم باعث کاهش میزان حجم مخصوص و قابلیت نگهداری حباب‌های هوا در محصول نهایی گردید. ایشان دلیل این موضوع را به تحمل فرایند ژلاتینه شدن طی پخت

توسط نشاسته مقاوم نسبت داده و عنوان داشتند در این حالت نشاسته به صورت گرانولی باقی مانده و تحت تأثیر آنزیم‌های آمیلولیتیک مخمرها قرار نمی‌گیرد و در فرآیند تخمیر، مخمرها توانایی تجزیه و استفاده از آن را ندارند [۲۵].

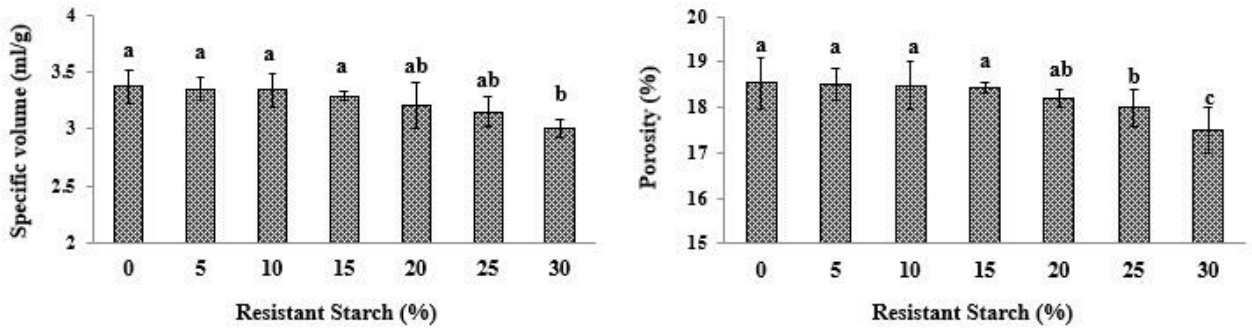

Fig 3. Effect of wheat flour replacement by resistant starch type III specific volume and porosity of doughnut (RS: Resistant Starch)

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

۳-۲-۵- سفتی بافت

در جدول ۳ تأثیر جایگزینی آرد گندم با نشاسته مقاوم نوع ۳ بر میزان میزان سفتی بافت سه محصول بیسکوئیت، دونات و کلوچه در دو بازه زمانی ۲ ساعت و ۳ روز پس از پخت ملاحظه می‌گردد. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش میزان جایگزینی ترکیب فوق‌الاشاره در فرمولاسیون محصولات مذکور در هر دو بازه زمانی ۲ ساعت و ۳ روز پس از پخت، میزان میزان سفتی بافت ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. البته میزان افزایش میزان سفتی بافت محصول تنها پس از جایگزینی سطح ۲۰ درصد و بیش از آن در محصولات مورد بررسی مشاهده شد. از طرفی با توجه به نتایج مشخص شد با گذشت زمان (روز سوم) بر میزان میزان سفتی بافت محصول افزوده شد. احتمالاً به دلیل تداخل نشاسته مقاوم در تشکیل شبکه گلوتنی و همچنین برخورداری از حجم مخصوص و تخلخل بیشتر و همچنین رطوبت بیشتر (غیر معنی‌دار) نمونه حاوی ۱۵ درصد نشاسته مقاوم دارای میزان سفتی کمتری در هر دو بازه زمانی ۲ و ۷۲ ساعت پس از پخت بود. در همین راستا پوراحمدی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر جایگزینی نشاسته مقاوم با آرد گندم در سطوح مختلف را بر ویژگی‌های کیفی و بافتی خمیر و محصول بیسکوئیت مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند بیسکوئیت‌های محتوی نشاسته مقاوم در مقایسه با شاهد از سفتی کمتری برخوردار بود. ایشان علت این موضوع را به تأخیر در ژلاتینه‌شدن گرانول‌های نشاسته و به دنبال آن افزایش دمای ژلاتینه‌شدن نشاسته نسبت داده که در نهایت منجر به کاهش سفتی در نمونه‌های حاوی نشاسته مقاوم می‌گردد [۲۰]. بیکسولی و همکاران (۲۰۰۸) نیز در تحقیقی به بررسی تأثیر جایگزینی آرد گندم با سطوح مختلف نشاسته مقاوم در مافین‌های تازه پرداختند. آنها مشاهده کردند که با افزایش سطوح فیبر، از میزان سفتی نمونه‌ها کاسته شد به صورتی که کمترین میزان سفتی مربوط به بالاترین سطوح نشاسته مقاوم بود [۲۶].

Table 3. Effect of wheat flour replacement by resistant starch type III on firmness of biscuit, doughnut and cookie

Resistant starch (%)	Firmness (N)		
	Biscuit	Doughnut	Cookie

	2h after baking	3 days after baking	2h after baking	3 days after baking	2h after baking	3 days after baking
0 (Blank)	124.7±3.2^{b}	129.2±0.6^{a}	25.1±0.4^{b}	31.7±0.2^{b}	48.5±0.1^{a}	55.6±0.1^{a}
5	124.1±1.7^{bc}	128.1±2.0^{ab}	24.9±0.3^{b}	31.6±0.2^{b}	48.1±0.2^{a}	55.5±1.4^{a}
10	122.4±2.3^{c}	128.5±1.3^{ab}	24.2±0.7^{bc}	30.5±0.3^{c}	47.0±0.5^{ab}	54.4±0.3^{a}
15	119.8±2.6^{d}	125.1±0.9^{c}	22.9±0.5^{c}	28.2±0.4^{d}	46.3±0.6^{b}	52.1±0.0^{b}
20	123.8±1.0^{bc}	126.6±0.4^{b}	23.7±0.3^{bc}	30.5±0.4^{c}	47.1±0.4^{ab}	53.2±1.1^{ab}
25	125.6±2.5^{b}	128.2±1.0^{ab}	24.7±0.4^{b}	31.8±0.1^{b}	47.9±0.0^{a}	54.8±0.9^{a}
30	129.5±2.5^{a}	130.1±1.2^{a}	26.7±0.6^{a}	33.2±0.6^{a}	49.1±1.7^{a}	55.6±1.0^{a}

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

۳-۲-۶- رنگ

در جدول ۴ تأثیر جایگزینی آرد گندم با نشاسته مقاوم نوع ۳ بر میزان مؤلفه‌های رنگی سه محصول بیسکوئیت، دونات و کلوچه ملاحظه می‌گردد. همانگونه که مشاهده می‌شود با جایگزینی ترکیب فوق‌الاشاره در فرمولاسیون محصولات مذکور میزان مؤلفه L* افزایش یافت. البته افزایش میزان مؤلفه L* محصول تنها پس از جایگزینی سطح ۱۵ درصد و بیش از آن در محصول معنی‌دار بود. این در حالی بود که از میزان مؤلفه‌های a* و b* کاسته شد و این کاهش در سطوح بالاتر از ۲۰ درصد معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۵). با توجه به بخش ارزیابی میزان رطوبت محصول به نظر می‌رسد نشاسته مقاوم به دلیل توانایی در حفظ رطوبت و خروج یکنواخت‌تر آن از بافت محصول در طی فرآیند پخت باعث می‌شود رطوبت به صورت آهسته و پیوسته‌تر از مغز به پوسته منتقل شود و در نتیجه سطحی صاف و با کمترین میزان چروکیدگی در محصول نهایی ایجاد شده که این سطح صاف و هموار در انعکاس نور و افزایش درخشندگی اثرگذار بوده است. تغییرات سطح مواد غذایی، مسئول روشنایی آن است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین‌دار توانایی بیشتری در انعکاس نور و افزایش میزان مؤلفه‌ی L* دارند. در این راستا پوراحمدی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر جایگزینی نشاسته مقاوم با آرد گندم بر ویژگی‌های کیفی و بافتی خمیر و محصول بیسکوئیت را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند بیسکوئیت‌های محتوی نشاسته مقاوم در مقایسه با شاهد از میزان مؤلفه L* بالاتری برخوردار بودند. ایشان علت این امر را از یکسو به کاهش میزان پروتئین موجود در محصول با افزایش میزان نشاسته مقاوم در فرمولاسیون و به دنبال آن کاهش شدت واکنش میلارد (از عوامل ایجاد رنگ) و از سویی دیگر به رنگ روشن نشاسته مقاوم مصرفی ارتباط دادند [۲۷]. مجذوبی و همکاران (۲۰۱۴) نیز اثر افزودن نشاسته مقاوم ذرت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیک را مورد بررسی قرار داده و نتایج ایشان نشان داد با افزودن نشاسته مقاوم در سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد میزان مؤلفه L* پوسته و مغز محصول افزایش یافت. ایشان علت این موضوع را به رنگ روشن نشاسته مقاوم نسبت دادند [۶]. علاوه بر این در طول تهیه محصولات صنایع پخت و سرخ کردن آن‌ها، واکنش‌های مایلارد به میزان زیادی صورت می‌گیرد. ترکیبات تشکیل شده از این واکنش‌ها مسئول تغییر رنگ و همچنین موثر بر طعم و خصوصیات بافتی می‌باشند [۲۷]. همانگونه که مشاهده می‌شود در سطوح ۲۰ درصد و بیشتر جایگزینی نشاسته مقاوم در فرمولاسیون محصولات مورد بررسی از میزان مؤلفه‌های a* و b* پوسته و مغز محصول به‌طور معنی‌داری کاسته شد و تا سطح ۲۰ درصد از این ترکیب اختلاف معنی‌داری در پارامترهای مذکور مشاهده نگردید ($P\leq$۰/۰۵). در این خصوص همانطور که در بخش ارزیابی میزان مؤلفه L* بیان شد، احتمالاً افزایش میزان نشاسته

مقاوم در فرمولاسیون محصولات مورد بررسی باعث کاهش میزان گلوتن (به نوعی پروتئین کل) محصـول مـی‌شـود کـه این امر از شدت واکنش میلارد مـی‌کاهـد، چراکـه واکـنش مذکور برای انجام شدن نیازمنـد آمینواسـید و کربوهیـدرات می‌باشد. در این راستا مجذوبی و همکاران (۲۰۱۴) نیـز اثـر افزودن نشاسته مقاوم ذرت بر ویژگـی‌هـای فیزیکوشـیمیایی کیک را مورد بررسی قرار داده و نتایج نشان داد بـا افـزودن نشاسته مقاوم در سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد میـزان مؤلفـه‌هـای a* و b* پوسته و مغز محصول کاهش یافت. ایشـان علـت این موضوع را چنین عنوان کردند که با افزودن این ترکیـب در فرمولاسـیون از میـزان سـایر ترکیبـات شـرکت‌کننـده در واکنش میلارد (قنـد و آمینواسـید) و کاراملیزاسـیون کاسـته شده که به دنبال این موضوع رنگ محصول نهایی روشن‌تـر می‌شود [۶].

Table 4. Effect of wheat flour replacement by resistant starch type III on color values of biscuit, doughnut and cookie

Products	Color values (-)	Resistant starch (%)						
		0 (Blank)	5	10	15	20	25	30
Biscuit	L*	53.42±2.12 b	53.45±1.16 b	53.51±1.08 b	54.95±1.10 ab	55.02±2.32 ab	56.45±0.74 a	56.95±1.32 a
	a*	17.54±0.33 a	17.48±0.14 a	17.39±0.75 a	17.28±0.07 a	15.98±0.15 b	15.33±0.33 bc	14.45±0.67 c
	b*	34.65±0.10 a	34.60±0.09 a	34.46±0.22 a	34.28±0.36 a	33.09±1.20 ab	32.27±0.50 b	31.06±0.13 c
Doughnut	L*	40.65±0.37 c	40.85±1.10 c	41.03±0.78 c	42.46±0.56 bc	43.18±1.17 bc	43.87±0.37 b	45.42±0.85 a
	a*	26.31±0.58 a	26.27±0.24 a	26.20±0.33 a	25.96±0.74 a	24.41±0.35 ab	24.03±0.00 b	23.39±0.06 c
	b*	21.72±0.65 a	21.69±0.47 a	21.53±0.33 a	21.38±1.01 a	20.87±0.12 ab	19.23±0.62 b	18.04±0.24 c
Cookie	L*	38.01±0.66 c	38.15±1.54 c	38.53±0.67 c	39.75±1.02 bc	40.44±0.88 b	41.65±0.76 ab	42.12±1.06 a
	a*	23.09±0.30 a	22.99±0.55 a	22.67±0.47 a	22.08±0.34 a	21.37±0.52 ab	19.84±0.20 b	19.12±0.22 c
	b*	24.37±0.05 a	24.33±1.01 a	24.25±0.21 a	24.02±0.19 a	23.02±0.75 ab	22.09±1.16 ab	21.76±0.83 b

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

۳-۲-۷- خصوصیات حسی

نتایج پذیرش‌کلی که گویای وضعیت کلی نمونه‌های تولیدی طی ارزیابی حسی مـی‌باشـد، نشـان داد کـه بـا جـایگزینی ترکیب نشاسته مقاوم نوع سـه در فرمولاسـیون بیسـکوئیت، دونات و کلوچه میزان امتیاز پذیرش‌کلی محصول تـا سـطح ۱۵ درصـد جـایگزینی افـزایش و در سـطوح بـالاتر از آن کاهش یافت. در این راستا بابو و پریمالاوالی (۲۰۱۷) تـأثیر جایگزینی نشاسته مقاوم با آرد گندم بر ویژگـی‌هـای کیفـی نان را مورد بررسی قـرار داده و بیـان داشـتند امتیـاز بافـت محصول با افـزایش نشاسـته مقـاوم ابتـدا افـزایش و سـپس کاهش یافت [۱۷]. در واقع این امر را می‌توان بـه تغییـرات بافت در سطوح بالای نشاسته مقاوم اشاره نمود کـه در ایـن صورت نه تنها فرم و شـکل و سـفتی و نرمـی بافـت کـه از خصوصیات مهم حسی می‌باشد را تحت تأثیر قرار می‌دهـد، بلکه بر طعم و مزه محصول نهایی نیز مـؤثر اسـت. زیـرا در بافت‌هایی با سختی مختلف، درک متفاوتی از میـزان شـدت

شیرینی گزارش شده است [۲۸] که بلند و همکاران (۲۰۰۶) علت این رخداد را برهمکنش‌های متفاوت بین مواد طعم‌زا و ساختار بافت بیان نمودند [۲۹]. همچنین مجذوبی و همکاران (۲۰۱۴) نیز 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 بافت محصول بیشینه بود [۶]. همچنین مجذوبی و 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 [۳۰].

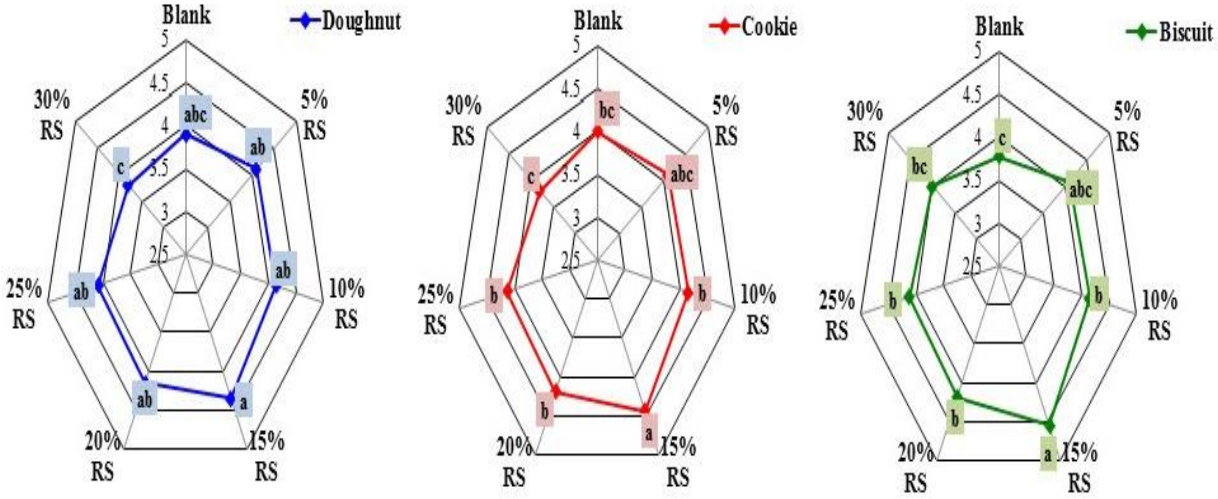

Fig 4. Effect of wheat flour replacement by resistant starch type III on overall acceptance of biscuit, doughnut and cookie

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

۴- نتیجه‌گیری

نشاسته مقاوم برخلاف سایر فیبرهای رژیمی، موجب بهبود کیفیت مواد غذایی و خصوصیات عملکردی مهم در محصول نهایی می‌گردند و قابلیت رقابت با نمونه‌های مشابه وارداتی را به آسانی دارد. این امر موجب می‌گردد تولیدکنندگان مواد غذایی، این ترکیب را به یک مکمل ارزشمند علاوه بر استفاده در فرمولاسیون میان وعده‌های غذایی بر پایه غلات، در طیف گسترده‌ای از مواد غذایی بکار برند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با جایگزین کردن ۱۵ درصد از آرد گندم با نشاسته مقاوم در فرمولاسیون بیسکوئیت، دونات و کلوچه، علاوه بر حفظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی محصول نهایی، امکان غنی‌سازی میان وعده‌های غذایی پرمصرف بر پایه غلات وجود داشته و مصرف‌کننده می‌تواند از مزایای استفاده از محصولات پری‌بیوتیکی بهره‌مند گردد.

۵- منابع

[1] Dundar, A.N., and 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.

[2] Sajilata, M.G., Singhal, R.S., and Kulkarni, P.R. 2006. Resistant starch- A Review. *Journal of Food Science and Food Safety*, 5: 1-17.

[3] Nebesny, E., Zyzelewicz, D., Moty, I., and Libudzisz, Z. 2006. Dark chocolates supplemented with Lactobacillus strains. *European Food Research Technology*, 225: 33-42.

[4] Muthukumarasamy, P., and Holley, R.A. 2006. Microbiological and sensory quality of dry fermented sausages containing alginate-microencapsulated Lactobacillus reuteri. *International Journal of Food Microbiology*, 111: 164-9.

[5] Tsatsaragkou, K., Papantoniou, M., Mandala, I., 2015. Rheological, physical, and sensory attributes of gluten-free rice cakes containing resistant starch. *Journal of Food Science*, 80(2): 341-348.

[6] 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.

[7] Laguna, L., Salvador, A., Sanz, T., Fiszman, S. 2011. Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 737-746.

[8] AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Ed., Vol. 2. *American Association of Cereal Chemists*, St. Paul, MN.

[9] Entezari, B., Garazhian, H., and Sharifi, A. 2017. Investigating the effect of Chubak extract on the antioxidant properties and shelf life of donuts. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 9(1): 27-40 [in Persian].

[10] Sudha, M.L., Vetrimani, R., and Leelavathi, K. 2007. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and biscuit quality. *Food chemistry*, 144: 1462-1469.

[11] Haghayegh, G.H., and Ataye Salehi, S. 2017. Enrichment of gluten free cookie by quinoa, amaranth and buckwheat flour as semi cereal. *Journal of Food Science and Technology*, 14(70): 47-56 [in Persian].

[12] Haralick, R.M., Shanmugam, K., and Dinstein, I. 1973. Textural features for image classification. *IEEE Transactions of ASAE*, 45(6): 1995-2005.

[13] Sun, D. 2008. Computer vision technology for food quality evaluation. Academic Press, New York.

[14] Purhagen, J. K., Sjöö, M.E., and Eliasson, A.-C. 2011. Starch affecting anti-staling agents and their function in freestanding and pan-baked bread. *Food Hydrocolloids*, 25(7): 1656-1666.

[15] Mildner -Szkudlarz, S., Bajerska, J., Zawirska - Wojtasiak, R. and Gorecka, D. 2012. White grape pomace as a source of dietary fibre and polyphenols and its effect on physical and nutraceutical characteristics of wheat biscuits. *Journal of Food Science*, 74 (8):362 -370.

[16] Haglund, A., Johansson, L., and Dahlstedt, L. 1998. Sensory evaluation of whole meal bread from ecologically and conventionally grown wheat. *Journal of Cereal Science*, 27: 199-207.

[17] Babu, A.S., Parimalavalli, R. 2017. Impact of the addition of RS-III prepared from sweet potato starch on the quality of bread. *Food Measure*, 11: 956–964.

[18] Maghsoudlou, Y., Ahmadi, E., Azizi, M.H., Alami, M., and Ghorbani, M. 2015. Effect of resistant starch on physical and organoleptic attributes of sponge cakes. *Journal of Food Industry Research*, 26(2): 161-174 [in Persian].

[19] Homayouni, A., Amini, A., Khodavirdivand Keshtiban, A., Mortazavian, A. M., Esazadeh, K., Pourmoradian, S. 2013. Resistant starch in food industry: A changing outlook for consumer and producer. *Starch*, 65: 1–13.

[20] Pourmohammadi, K., Abedi, E., and Farahmandi, Sh. 2018. Modeling the effects of corn and wheat resistant starch on texture properties and quality of resistant starch-enrichment dough and biscuit. *Journal of Food Process Engineering*, 1-12.

[21] Kester, J.J., and Fennema, O.R. 1986. Edible films and coating. *Food Technology*, 40: 47-59.

[22] Nouri, M., Nasehi, B., Samavati, V., and Abdanan Mehdizadeh, S. 2017. Optimizing the effects of Persian gum and carrot pomace powder for development of low-fat donut with high fibre content. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 9: 39-45.

[23] Brannan, R.G., Mah, E., Schott, M., Yuan, S., Casher, K.L., Myers, A., and Herrick, C. 2014. Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods. *European Journal Lipid Science Technology*, 116: 240–254.

[24] Arp, C.G., Correa, M.J., and Ferrero, C. 2021. Improving quality: Modified celluloses applied to bread dough with high level of resistant starch. *Food Hydrocolloids*, 112: 106302.

[25] Mohebbi, Z., Homayouni, A., Azizi, M.H., and Asghari Jafarabadi, M. 2014. Influence of β-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].

[26] Baixauli, R., Salvador, A., and Fiszman, S.M. 2008. Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*, 226: 23–30.

[27] Pino, R., and Gonzalez, M.L. 2002. Effects of brown pigments on the texture properties of bakery products. *Meeting Cost*, 9-19.

[28] Chai, E., Oakenfull, D.G., McBride, R.L., and Lane, A.G. 1991. Sensory perception and rheology of flavored gels. *Food Australia*, 43: 256-261.

[29] Boland, A., Delahunty, M., and Van Ruth, M. 2006. Influence of the texture of gelatin gels and pectin gels on strawberry flavor release and perception. *Food Chemistry*, 96: 452–460.

[30] 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.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Investigating on Production Healthy Snack Food Based on Cereal by Type III Resistant Starch Addition

Mehdi Ghiafeh Davoodi[1], Mahdi Karimi[1], Fariba Naghipour[2], Zahra Sheikholeslami[1]

1- Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Mashhad, Iran.
2- Seed and Plant Improvement Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

ABSTRACT

Resistant starches are classified in the category of indigestible starches and are introduced as a prebiotic product, which has lower calories and is cheaper compared to other dietary fibers. Therefore, the purpose of this research is to use type III resistant starch produced by thermal method at levels of 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30% in a completely random design as a substitute for wheat flour in biscuit, doughnut and cookie formulation. The results showed that by replacing wheat flour with resistant starch in the formulation more than 20%, the moisture content and water activity of the final product increased and decreased respectively. The specific volume and porosity of the doughnut were stable up to the level of 15% of resistant starch and then decreased. Also, the sample containing 15% resistant starch had the lowest amount of firmness in all the products. On the other hand, with the replacement of resistant starch in the formulation of the examined products on levels of 15% and above, the amount of L* value increased and the a* and b* values were decreased. The panelists also introduced the sample containing 15% resistant starch as the best sample. Therefore, it can be said that by replacing 15% of wheat flour with resistant starch, in addition to maintaining the physicochemical, textural and sensory characteristics of the final product, it is possible to enrich these snacks and the consumer can benefit from the benefits of using prebiotic products.

ARTICLE INFO

Article History:

Received:2023/2/28
Accepted:2023/6/18

Keywords:

Corn,

Resistant Starch,

Prebiotic,

Snack Food,

Fibre

DOI: 10.22034/FSCT.20.138.119
DOR:20.1001.1.20088787.1402.20.138.11.3

*Corresponding Author E-Mail:
Mehdidavoodi@yahoo.com