

بهینه‌سازی فرمولاسیون بستنی کم‌چرب با کاربرد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی و جایگزین‌های چربی بر پایه پروتئین

سمانه فرجی کفشگری^۱، مهران اعلمی^{۲*}، مرتضی خمیری^۲، علی معتمدزادگان^۳، محمد جواد اکبریان میمند^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
*نویسنده مسئول (mehranalami@yahoo.com)
۳. دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴. دانشجوی دکتری گروه میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه ملایر

چکیده

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۲۰
واژه‌های کلیدی
آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی
ایزوله پروتئین سویا
بستنی کم‌چرب وانیلی
جایگزین چربی بر پایه پروتئین
کنسانتره پروتئین آب‌پنیر

در این پژوهش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (در سطوح ۲، ۴ و ۶ درصد)، ایزوله پروتئین سویا (در سطوح ۱، ۲ و ۴ درصد) و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (در سطوح ۰ و ۱ و ۲ درصد) در فرمولاسیون بستنی کم‌چرب (۴ درصد چربی) استفاده و اثرات آنها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و پذیرش کلی بررسی و مقدار بهینه آنها با روش سطح پاسخ تعیین شد. مقدار ماده خشک در همه نمونه‌ها برابر بود (۳۴ درصد). طبق نتایج، فرمولاسیون‌های حاوی کنسانتره پروتئین آب‌پنیر نسبت به نمونه شاهد (۱۰ درصد چربی)، گرانروی و اسیدیته بیشتر اما ضریب افزایش حجم، مقاومت به ذوب و پذیرش کلی کمتری داشتند ($P < 0/01$). ایزوله پروتئین سویا موجب افزایش گرانروی و مقاومت به ذوب اما کاهش ضریب افزایش حجم و پذیرش کلی شد ($P < 0/01$). آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی موجب افزایش مقاومت به ذوب، ضریب افزایش حجم و گرانروی نمونه‌های بستنی در مقایسه با نمونه شاهد شد ($P < 0/01$). نتایج بهینه‌سازی نشان داد که بهترین سطوح ایزوله پروتئین سویا، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی به ترتیب ۰/۰۶، ۱/۳۷ و ۱/۱۹ درصد بود. همچنین در سطوح بهینه میزان گرانروی، مقاومت به ذوب، ضریب افزایش حجم، اسیدیته و پذیرش کلی به ترتیب ۱۷۰۰ سانتی‌پواز، ۵۲ درصد، ۴۹/۵۴ درصد، ۲۸/۵ درجه دورنیک و ۴/۲۵ به دست آمد.

مقدمه

درصد وزنی باشد (همایونی‌راد و همکاران، ۱۳۸۳). باتوجه به نقش چربی در بستنی، کاهش میزان آن در فرمولاسیون بستنی، منجر به ایجاد مشکلاتی در ساختار و بافت مانند درشتی و زبری، حالت یخی، خرد شدگی، کاهش حجم و طعم نامناسب در بستنی می‌شود (Berger, 1990; Marshall & Arbuckle, 1996). جهت رفع این مشکلات، استفاده از جایگزین‌های چربی در تولید بستنی‌های کم‌چرب

بستنی ماده جامد یا خمیری شکل است که در اثر انجماد بدست آمده و حداقل حاوی ۸ درصد چربی و ۳۲ درصد ماده خشک است (چگنی و مشکوه، ۱۳۸۴). به دلیل اثرات منفی ناشی از مصرف چربی، امروزه در رژیم غذایی مصرف فرآورده‌های دارای چربی کمتر مانند بستنی کم‌چرب رواج یافته است. بستنی کم‌چرب، بستنی است که میزان چربی آن کمتر از ۵

کم‌چرب با SPI نشان داد که با افزایش میزان SPI، گرانروی و رنگ سبز افزایش یافت (Friedeck *et al.*, 2003)؛ هم‌چنین بستنی کم‌چرب غنی‌شده با SPI، احساس دهانی، گرانروی و پوشش دهانی، دمای ذوب و ضریب افزایش حجم مناسب‌تری یافته، اما رنگ آن، کمی تیره‌تر و سبزتر شد (خشایار، ۱۳۸۵).

جایگزینی ۶ درصد پروتئین آب پنیر به عنوان جایگزین چربی در بستنی وانیلی کم‌چرب، اثرات قابل توجهی بر طعم وانیلی بستنی نداشته، در حالی که بافت آن را بهبود بخشید (Yilsay *et al.*, 2006). در پژوهشی که توسط (Karaca *et al.*, 2009) صورت گرفت، استفاده از جایگزین‌های چربی حاوی پروتئین‌های آب‌پنیر به‌طور معنی‌داری موجب بهبود خصوصیات پذیرش کلی بستنی‌های با چربی کاهش‌یافته و کم‌چرب و نیز کاهش سختی آن‌ها شد. در ارتباط با استفاده از MTG در بستنی تحقیقات اندکی انجام شده است؛ Rossa و همکاران (۲۰۱۲) MTG را به بستنی‌هایی با محتوی چربی ۴، ۶ و ۸ درصد اضافه کردند و ویژگی‌های رئولوژی، ضریب افزایش حجم، رفتار ذوب شدن و بافت آن‌ها مورد ارزیابی قرار دادند. بستنی‌های حاوی MTG در مقایسه با نمونه‌های بدون MTG، ضریب افزایش حجم بالاتری داشتند. هم‌چنین MTG موجب افزایش شاخص رفتار جریان و ویژگی‌های سودوپلاستیک نسبت به نمونه‌های فاقد MTG شد. بستنی‌هایی با محتوی چربی ۴ و ۶ درصد که حاوی MTG بودند نیز رفتاری مشابه با نمونه‌های بستنی بدون MTG با سطح چربی ۸ درصد داشتند. با وجود این‌که تحقیقات انجام شده بر ارزش تغذیه‌ای و درمانی بالای پروتئین سویا و عملکرد مناسب WPC به عنوان جایگزین چربی و نقش MTG در بهبود بافت مواد غذایی اذعان داشته‌اند، اما تاکنون در زمینه به‌کارگیری WPC، MTG و SPI به طور همزمان در بستنی کم‌چرب، پژوهشی انجام نگرفته است لذا در این مطالعه به تولید بستنی کم‌چرب با استفاده از WPC، SPI و MTG پرداخته شده است.

امری ضروریست. جایگزین‌های چربی که در بستنی به‌کار می‌روند، به‌طور عمده بر پایه کربوهیدرات و پروتئین هستند که به جای جایگزین‌های چربی بر پایه چربی به‌کار می‌روند. پروتئین‌ها، ترکیبات ایده‌آلی برای شبیه‌سازی خصوصیات چربی در مواد غذایی هستند. پروتئین‌ها نقش مهمی در ساختار بستنی داشته و موجب پایداری کف می‌شوند. پروتئین‌های سویا با داشتن خواص عملکردی گوناگون مانند نگهداری و جذب آب و ویژگی‌های امولسیفایری، بر کیفیت مواد غذایی تاثیر می‌گذارند (Arrese *et al.*, 1991)؛ با این وجود، طعم لوبیایی پروتئین‌های سویا، کاربرد گسترده آن را در صنایع غذایی محدود کرده است. از میان تمام فرآورده‌های پروتئین سویا، ایزوله پروتئین سویا^۱ ملایم‌ترین طعم و بیشترین محتوای پروتئین را دارد که می‌تواند به عنوان منبع پروتئینی مناسب در تهیه مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد. کنسانتره پروتئین آب پنیر^۲، پودر آب پنیر و بسیاری از فرآورده‌های آن نیز می‌توانند به‌طور موفقیت‌آمیزی به عنوان جایگزین چربی و ماده خشک شیر بدون چربی^۳ در بستنی استفاده شوند. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، آنزیمی است که با تشکیل پیوندهای □ - (γ - گلوتامیل) لایزین، قادر است بین پروتئین‌های مواد غذایی مانند کازئین، گلوبولین‌های سویا، گلوتن، اکتین و میوزین از طریق واکنش‌های آمیناسیون و دامیناسیون اتصالات عرضی برقرار کند و از این طریق خواص کاربردی پروتئین‌ها را اصلاح کند (Jong & Koppelman, 2002; Hinz *et al.*, 2007)؛ پلیمریزاسیون پروتئین‌ها توسط MTG^۴ موجب تشکیل فیلم پروتئینی با مقاومت بالا و بهبود ویژگی‌های کاربردی در بستنی می‌شود (Pinterits & Arntfield, 2008).

تحقیقات نشان داده است که افزودن ایزوله پروتئین آب پنیر در بستنی‌های کم‌چرب، به طور معنی‌داری موجب افزایش سختی و پایداری ذوب می‌شوند (Akalin *et al.*, 2008). غنی‌سازی بستنی

مواد و روش‌ها

مواد

- 1- Soy Protein Isolate (SPI)
- 2- Whey Protein Concentrate (WPC)
- 3- Milk Solids Non Fat (MSNF)
- 4- Microbial Transglutaminase (MTG)

پاستوریزاسیون، مخلوط حاصل بلافاصله به وسیله حمام آب و یخ سرد گردید و جهت رسانیدن به مدت ۲۴ ساعت در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. عملیات انجماد بستنی به وسیله دستگاه بستنی‌ساز موسو به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. سپس نمونه‌های بستنی در ظروف پلاستیکی درپوش‌دار بسته‌بندی و سطح آن‌ها به وسیله فاشق صاف شد. نمونه‌های آماده شده در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. تولید نمونه‌ها با دو تکرار در روزهای مختلف انجام شد. در این پژوهش نمونه شاهد بستنی با ۱۰ درصد چربی در نظر گرفته شد.

آزمون‌های مقدماتی

آزمایشاتی که روی مواد اولیه صورت گرفت شامل اندازه‌گیری چربی شیر و خامه (به روش حجمی ژربر)، اندازه‌گیری پروتئین مواد اولیه WPC و SPI و شیرخشک پس‌چرخ به روش کج‌دال (AOAC، ۲۰۰۸)، اندازه‌گیری چربی شیر خشک پس‌چرخ و WPC و SPI به روش سوکسله (پروانه، ۱۳۸۵)، اندازه‌گیری ماده خشک تمامی مواد اولیه موجود در فرمولاسیون بستنی (AOAC، ۲۰۰۵ - شماره ۹۴۱/۰۸) بود.

آزمایشات

اندازه‌گیری ضریب افزایش حجم

در اندازه‌گیری ضریب افزایش حجم، از ظرفی با حجم مشخص استفاده شد. پس از انجماد محصول در بستنی‌ساز، از مخلوط بستنی نمونه‌گیری انجام گرفت. نمونه مورد نظر توزین و ضریب افزایش حجم از رابطه (۱) محاسبه گردید (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۴۵۰).

رابطه (۱)

ضریب افزایش حجم = وزن نمونه قبل از انجماد - وزن نمونه بعد از انجماد $\times 100$ (وزن نمونه بعد از انجماد)

اندازه‌گیری گرانی

گرانی مخلوط بستنی قبل از انجماد و پس از مرحله رساندن توسط دستگاه ویسکومتر بروکفیلد DVII در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

مواد اولیه‌ای که در این پژوهش استفاده شد، شامل شیرخشک پس‌چرخ، خامه استریل با ۲۵ درصد چربی و شیر استریل کم‌چرب ۱ درصد چربی (شرکت پگاه شهرستان گرگان)، شکر، ثعلب و وانیل (از مراکز فروش لوازم قنادی شهرستان گرگان)، استابیلایزر تجاری پالسگارد (از شرکت بستنی کوه صحرای بندرگز)، WPC (شرکت بازرگانی سامان تهران)، SPI (محصول شرکت توس سویان مشهد)، MTG (شرکت بازرگانی سامان تهران) بودند.

روش‌ها

در این پژوهش، نمونه‌های بستنی بر اساس روش Akalin و همکاران (۲۰۰۸) تهیه شدند. تمامی نمونه‌های بستنی دارای ۳۴ درصد ماده خشک، ۴ درصد چربی، ۳۰ درصد ماده خشک بدون چربی (SNF) ۱، ۱۵ درصد شیرین‌کننده (شکر) و ۰/۴ درصد پایدارکننده بودند. جهت تهیه مخلوط بستنی، ابتدا هر یک از مواد اولیه توزین گردیدند. در این پژوهش مقادیر SPI، WPC و MTG با توجه به کارهای تحقیقاتی اولیه انتخاب شد. پس از توزین مواد اولیه، شیر و خامه با یکدیگر مخلوط و حرارت داده شدند. پس از رسیدن به دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و حل شدن خامه در شیر، مخلوط مواد خشک شامل شکر، پایدارکننده، شیر خشک به آن اضافه شد. در برخی از نمونه‌ها با توجه به نوع فرمولاسیون پیش‌بینی شده با استفاده از روش سطح پاسخ، WPC و SPI نیز همراه با سایر مواد خشک در همین مرحله به مخلوط بستنی اضافه گردیده؛ سپس نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه به وسیله هموژنایزر هیدولف با سرعت ۷۰۰۰ دور در دقیقه به‌طور کامل مخلوط شدند. در نمونه‌های حاوی MTG نیز، پس از اتمام عمل اختلاط و یکنواختی کامل توسط هموژنایزر، در این مرحله MTG اضافه شد و به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد فعالیت نمود. جهت پاستوریزاسیون مخلوط حاصل، از دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ دقیقه استفاده گردید. در طی فرآیند پاستوریزاسیون، MTG نیز غیرفعال شد، پس از پایان عملیات

۵ دختر پس از آموزش اولیه جهت آشنایی با خصوصیات مانند سختی، گرانی، سرعت ذوب شدن، عطر و طعم و رنگ و انجام آزمون مقدماتی، به‌عنوان داور ثابت انتخاب شدند. ارزیاب‌ها، نمونه‌های بستنی را بر اساس آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای از نظر پذیرش کلی ارزیابی نمودند که در این روش به نمونه عالی نمره ۵، خوب ۴، متوسط ۳، بد ۲ و خیلی بد ۱ تعلق گرفت (Akalin و همکاران، ۲۰۰۸).

طرح آماری

طرح مرکب مرکزی در قالب روش سطح پاسخ، با استفاده از نرم افزار^۱ Design Expert طراحی و بهینه‌سازی متغیرهای مستقل با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 Statistical انجام گردید. این طرح آزمایشی شامل ۸ نقطه فاکتوریل، ۶ نقطه محوری و ۶ تکرار در نقطه مرکزی بود. کلیه تیمارها در ۲ تکرار صورت پذیرفتند. همچنین محدوده متغیرهای مستقل شامل SPI، WPC و MTG، از آزمون‌های اولیه استنتاج گردید (جدول ۱).

تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD)^۲ با استفاده از نرم‌افزار Design Expert انجام گرفت. برای نشان دادن رابطه هر یک از متغیرهای تابع (گرانی، ضریب افزایش حجم، میزان ذوب شدن، اسیدیته و پذیرش کلی) در مدل رگرسیون با متغیرهای مستقل، نمودارهای سطح پاسخ آنها به وسیله نرم افزار Design Expert ترسیم شدند.

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی برخی از مواد اولیه مصرفی در فرمولاسیون بستنی کم‌چرب در این پژوهش، از نقطه نظر میزان رطوبت، پروتئین و چربی در جدول ۲ آورده شده است.

حجم ظرف مورد استفاده ۲۵۰ میلی‌لیتر بود و کنترل دما به کمک مخلوط آب و یخ انجام گرفت. بعد از انجام آزمایشات مقدماتی، اسپیندل شماره ۶ به عنوان مناسب‌ترین اسپیندل انتخاب شد. اندازه‌گیری گرانی در ۱۰۰ دور در دقیقه انجام شد (Akalin et al., 2008).

اندازه‌گیری اسیدیته

جهت اندازه‌گیری اسیدیته، ۱۰ میلی‌لیتر از مخلوط بستنی قبل از انجماد برداشته و توزین شده و سپس هم‌وزن آزمون به آن، آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فنل‌فالتین افزوده و با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال عیارسنجی شد. این عمل تا ظهور رنگ صورتی کم‌رنگ که حداقل به مدت ۵ ثانیه پایدار ماند، انجام شد. اسیدیته بر حسب درجه دورنیک با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Akalin & Erisir, 2008)

رابطه (۲)

$10 \times \text{میلی لیتر سود مصرفی} = \text{اسیدیته (بر حسب دورنیک)}$
در این معادله، N نرمالیت سود مصرفی و M وزن نمونه بستنی، جهت عیارسنجی است.

اندازه‌گیری میزان ذوب شدن

یک قالب بستنی با وزن 30 ± 1 گرم روی الکی با حفره‌های ۲ میلی‌متری، در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از مدت ۳۰ دقیقه وزن مایع ذوب شده بر حسب درصدی از وزن نمونه اولیه اندازه‌گیری و محاسبه شد (Lee & White, 1991).

ارزیابی پذیرش کلی

جهت ارزیابی پذیرش کلی نمونه‌های بستنی، ۱۰ نفر از دانشجویان رشته صنایع غذایی شامل ۵ پسر و

1- Design Expert, 8.0.7.1 Trial, Stat-Ease Inc.
2- Central Composite Design (CCD)

جدول ۱- متغیرهای مستقل و سطوح مورد استفاده آنها در فرمولاسیون بستنی کم چرب

سطوح و حدود متغیرها			متغیرهای مستقل
-۱	۰	+۱	
۰	۱	۲	SPI (درصد)
۰	۲	۴	WPC (درصد)
۰	۱	۲	MTG (درصد)

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی مواد اولیه مصرفی در فرمولاسیون بستنی کم چرب

مواد اولیه	رطوبت (درصد)	پروتئین (درصد)	چربی (درصد)
SPI	۷/۳۶	۸۷/۵	۰/۲
WPC	۶/۱۷	۳۵	۰/۴
شیر خشک پس چرخ	۴/۵۳۲	۳۷	۰/۴
شیر	۹۰/۳۷	۳	۱
خامه	۶۸/۶۵۹	۳/۲	۲۵

*رطوبت بر اساس وزن مرطوب و پروتئین و چربی بر اساس وزن خشک نمونه گزارش گردیده‌اند و نتایج میانگین سه تکرار است.

اثر متقابل افزودن SPI و WPC بر میزان گرانروی مخلوط بستنی

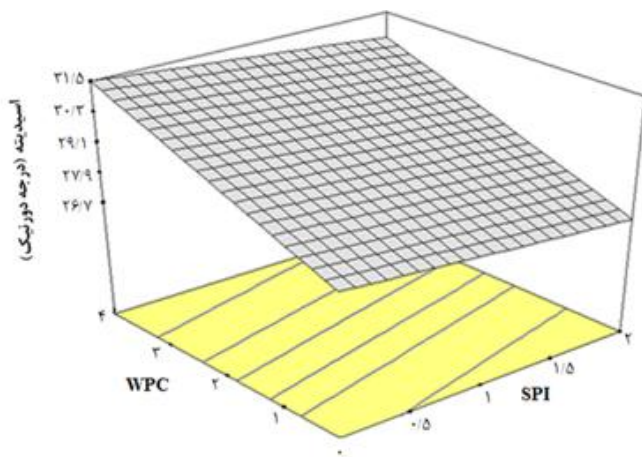
در این پژوهش، میزان گرانروی در نمونه شاهد ۱۵۰۰ سانتی‌پواز گزارش شد و افزودن همزمان WPC و SPI موجب افزایش معنی‌دار گرانروی در مخلوط بستنی شد ($P < 0.01$)؛ طوری که میزان گرانروی در بالاترین سطح SPI و WPC، ۲۱۳۱/۶۳ سانتی‌پواز بوده است که نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی‌داری از خود نشان داد ($P < 0.01$). از شکل ۳ مشاهده می‌شود که تغییرات مقدار SPI نسبت به تغییرات مقدار WPC تأثیر بیشتری بر گرانروی نمونه‌ها داشت که این مسأله، احتمالاً مربوط به قدرت جذب آب بیشتر SPI نسبت به WPC باشد. در میان ترکیبات مختلف، پروتئین و ماهیت آن مهم‌ترین نقش را در ایجاد گرانروی ایفا می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده در مورد گرانروی ظاهری نمونه‌ها، در این پژوهش و مقایسه آن با نتایج پژوهش‌های انجام شده در زمینه استفاده از پروتئین سویا و آب پنیر در بستنی، می‌توان چنین استنباط نمود که محتوی پروتئین بالاتر نمونه‌های حاوی SPI و WPC در مقایسه با نمونه شاهد و ظرفیت اتصال به آب آنها، دلیل بالاتر بودن مقدار گرانروی ظاهری در این نمونه‌ها باشد (Dervisoglu et al., 2005).

اثر متقابل افزودن SPI و WPC بر میزان اسیدیته مخلوط بستنی

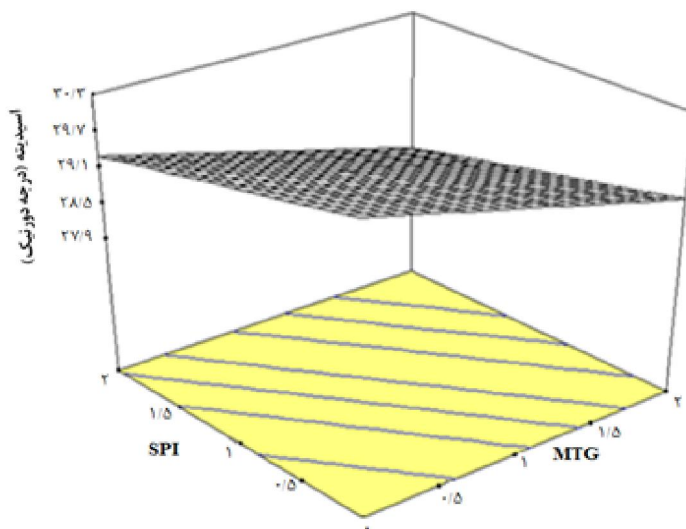
همان‌طور که از شکل ۱ پیداست، با افزایش WPC در غلظت‌های ثابت SPI، اسیدیته به طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.01$). این افزایش در محدوده غلظت‌های SPI کمتر از ۰/۵ و WPC بالاتر از ۳ درصد بیشتر بوده است؛ Athetron و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند اسیدیته قابل تیتراژ فرآورده‌های لبنی به مقدار آلومین، فسفات، سترات و دی‌اکسیدکربن موجود در آنها بستگی دارد. افزودن WPC به مخلوط بستنی، مقدار MSNF و پروتئین و به دنبال آن آلومین در مخلوط افزایش یافته و این امر موجب افزایش اسیدیته مخلوط می‌گردد.

اثر متقابل افزودن SPI و MTG بر میزان اسیدیته مخلوط بستنی

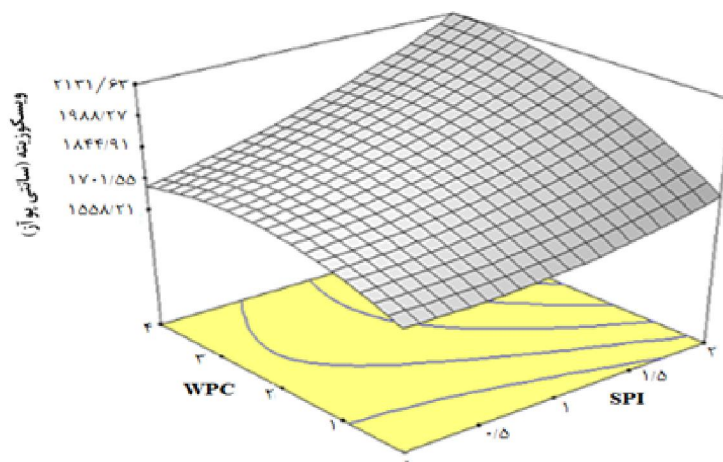
از شکل ۲ پیداست که با افزایش مقدار SPI در غلظت‌های ثابت MTG و با افزایش مقدار MTG در غلظت‌های ثابت SPI، میزان اسیدیته مخلوط‌های بستنی کاهش یافت که این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است ($P > 0.05$).



شکل ۱- تغییرات اسیدیته نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و SPI



شکل ۲- تغییرات اسیدیته نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و MTG



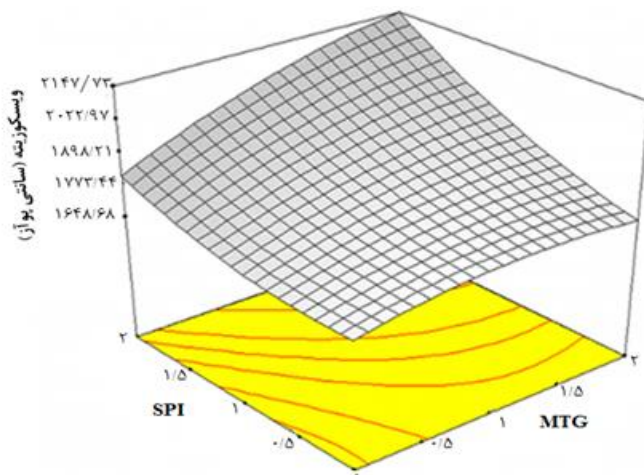
شکل ۳- تغییرات گرانروی نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و SPI

همکاران (۱۹۸۳) گزارش کردند که جایگزینی NFD با WPC در سطوح پائین (۱۰ درصد) باعث کاهش گرانی می شود اما با افزایش میزان جایگزینی به ۳۰ درصد، گرانی افزایش می یابد. نتایج تحقیقات Lee و White (۱۹۹۱) نشان داد که WPC در سطوح جایگزینی ۲۵ و ۵۰ درصد باعث افزایش گرانی مخلوط می گردد، اما در سطوح بالاتر مصرف (۷۵ و ۱۰۰ درصد)، گرانی را کاهش می دهد.

اثر متقابل افزودن SPI و MTG بر میزان گرانی مخلوط بستنی

همان طور که از شکل ۴ مشخص است، با افزایش MTG در غلظت های ثابت SPI، میزان گرانی افزایش یافت که این افزایش در سطوح بالاتر SPI و MTG چشمگیرتر بود. افزودن همزمان SPI و MTG، سبب افزایش گرانی مخلوط بستنی شد، طوری که در محدوده SPI و MTG به ترتیب کمتر از ۱ و ۰/۵ درصد، گرانی مخلوط بستنی پایین و حدود ۱۷۰۰ سانتی پواز بود، در حالی که در محدوده SPI و MTG به ترتیب بالاتر از ۱/۵ و ۱ درصد، گرانی مخلوط بستنی به ۲۰۵۰ سانتی پواز رسید.

در پژوهش دیگری Friedeck و همکاران (۲۰۰۳) در غنی سازی بستنی های کم چرب با SPI، مشاهده کردند که با افزایش SPI، گرانی مخلوط بستنی به طور معنی داری افزایش یافت، زیرا SPI با داشتن بیش از ۹۰ درصد پروتئین، جایگزین شیر خشک بدون چربی (۳۵ تا ۳۶ درصد پروتئین، ۵۱ تا ۵۲ درصد کربوهیدرات) شد. از طرفی افزایش گرانی در اثر افزودن WPC می تواند به این خاطر باشد که در اثر حرارت پاستوریزاسیون، ممکن است بخشی از پروتئین های موجود در WPC دناتوره شده، ظرفیت اتصال با آب آنها افزایش یابد و در نتیجه با افزایش WPC در نمونه های بستنی، گرانی ظاهری افزایش یابد (Ruger et al., 2002)؛ Ohem و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که استفاده از ۴/۸ درصد از سه نوع متفاوت از جایگزین های چربی بر پایه پروتئین آب پنیر (دیری لو، پرولو ۱۱ و سیمپلس) اثرات معنی داری بر افزایش گرانی نمونه های بستنی کم چرب داشتند ($P < 0.05$)، Clark و Bringe (۱۹۹۳) نیز بیان کردند که وجود اختلاف معنی دار بین گرانی نمونه های کم چرب، بدون چربی و چربی کاهش یافته حاوی سیمپلس، ناشی از ظرفیت نگهداری و جذب آب سیمپلس باشد؛ Thompson و



شکل ۴- تغییرات گرانی نمونه های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و MTG

پروتئین های موجود در مخلوط بستنی و تشکیل پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا که موجب مقاومت بیشتر به جریان می شوند، نسبت داد، از طرفی این افزایش گرانی را می توان به تشکیل یک شبکه

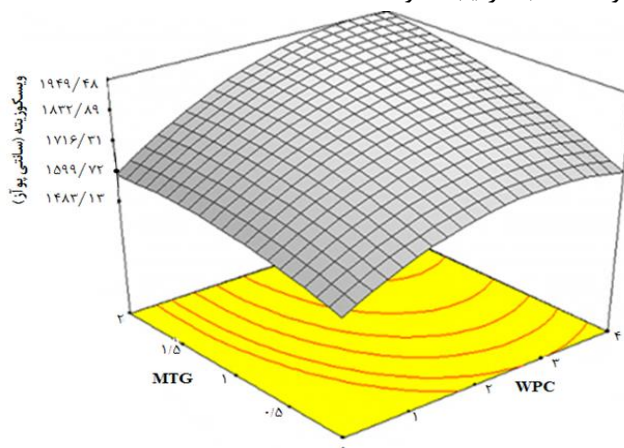
تأثیر افزودن MTG بر افزایش گرانی نمونه ها نیز با احتمال ۹۹٪ معنی دار گزارش شد ($P < 0.01$) که این افزایش گرانی را می توان به توانایی MTG در ایجاد اتصالات عرضی درون مولکولی در

درصد، مقدار گرانیوی ۱۹۴۹/۴۸ سانتی‌پواز می‌باشد که تغییرات مقدار WPC نسبت به تغییرات مقدار MTG، تاثیر بیشتری بر گرانیوی مخلوط بستنی گذاشت. تاثیر افزایش مقدار WPC و MTG بر گرانیوی نمونه‌ها با احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار گزارش شد ($P < 0.01$). همان‌طور که در مباحث قبلی عنوان شد اثر حمایتی WPC و MTG در افزایش گرانیوی مخلوط بستنی را می‌توان ناشی از عملکرد MTG و ایجاد پلیمریزاسیون در WPC موجود در مخلوط بستنی و تشکیل شبکه پروتئینی سه بعدی با قدرت نگهداری آب بالا دانست. پژوهش Ando و همکاران (۱۹۸۹) نیز گواهی بر این مدعاست که استفاده از MTG موجب افزایش گرانیوی محلول‌های پروتئین آب‌پنیر شد. Gauche (۲۰۰۸) نیز ایجاد اتصالات عرضی بین پروتئین آب‌پنیر تحت تاثیر عمل MTG را بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که رفتار سودوپلاستیک نمونه‌ها، به علت تشکیل پلی‌مرهایی با وزن مولکولی بالا ناشی از عمل MTG بوده است و با برقراری اتصالات عرضی درون مولکولی بین مولکول‌های پروتئین موجب تشکیل پلی‌مرهایی با وزن مولکولی بالایی تشکیل داد.

سه‌بعدی از پروتئین‌ها و به‌دام‌انداختن آب در این شبکه نیز نسبت داد (Lorenzen, 2000; Hinz *et al.*, 2002; Wilcox *et al.*, 2007); در پژوهشی که Rossa و همکاران (۲۰۱۱) انجام دادند، تمامی نمونه‌های بستنی که حاوی MTG بودند در مقایسه با نمونه شاهد (بدون MTG) به طور معنی‌داری گرانیوی ظاهری بالاتری داشتند که این امر به علت توانایی MTG جهت تشکیل پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا از پروتئین‌های مونومری بود که موجب افزایش گرانیوی مخلوط بستنی شده بود. این محققان بیان کردند که افزودن MTG می‌تواند یک روش مؤثر برای افزایش گرانیوی بستنی‌های با محتوی چربی پایین‌تر شود؛ Rossa و همکاران (۲۰۱۱) نیز در بهینه‌سازی فعالیت MTG در بستنی به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها مشاهده کردند که در تمامی نمونه‌های حاوی MTG، شاخص قوام و گرانیوی به طور معنی‌داری افزایش یافت و بستنی‌ها، رفتار سودوپلاستیک از خود نشان دادند.

اثر متقابل افزودن WPC و MTG بر میزان گرانیوی مخلوط بستنی

با توجه به شکل ۵ مشخص می‌شود که افزودن هم‌زمان WPC و MTG به مخلوط بستنی نیز سبب افزایش گرانیوی مخلوط بستنی شده است طوری که در بالاترین مقادیر WPC و MTG به ترتیب ۴ و ۲



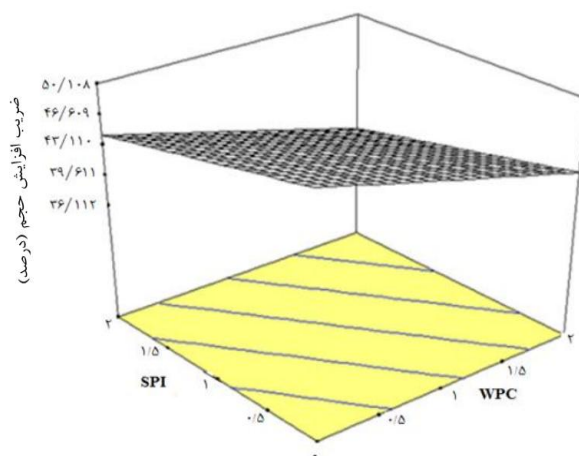
شکل ۵- تغییرات گرانیوی نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و MTG

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است با افزایش WPC در مقادیر ثابت SPI، ضریب افزایش حجم

اثر متقابل افزودن WPC و SPI بر میزان ضریب افزایش حجم مخلوط بستنی

در نتیجه هوا نمی تواند به طور مناسب وارد بافت شده در نتیجه ضریب افزایش حجم کاهش می یابد. Yilsay و همکاران (۲۰۰۶) همچنین گزارش کردند که جایگزینی چربی شیر با جایگزین های چربی بر پایه پروتئین، ضریب افزایش حجم را در مخلوط های بستنی کاهش می دهد. نتایج فوق با نتایج به دست آمده توسط Thampson و همکاران (۱۹۸۳) نیز مطابقت دارد. این محققین در مقاله خود بیان کرده اند که با افزایش نسبت جایگزینی پروتئین های آب پنیر، گرانروی افزایش و ضریب افزایش حجم کاهش یافت.

کاهش یافت که میزان این کاهش در غلظت های WPC بالاتر از ۳ درصد به ویژه در غلظت های بالاتر SPI شدیدتر بود. اثرات WPC و SPI بر کاهش ضریب افزایش حجم نمونه ها با احتمال ۹۹ درصد معنی دار گزارش شد ($P < 0.01$) و تغییرات مقدار WPC نسبت به تغییرات غلظت SPI تاثیر بیشتری بر کاهش ضریب افزایش حجم نمونه ها داشت. کاهش ضریب افزایش حجم در اثر افزودن WPC و SPI را می توان به اثر آنها در افزایش گرانروی مربوط دانست. یک دلیل برای این پدیده این است که افزایش گرانروی، موجب سفت شدن بیش از حد بافت در حین زدن و انجماد شده و



شکل ۶- تغییرات ضریب افزایش حجم نمونه های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و WPC

($P < 0.01$). همچنین تغییرات MTG نسبت به تغییرات SPI اثر بیشتری بر میزان ضریب افزایش حجم داشت، همان طور که در موارد قبلی به آن اشاره شد، کاهش ضریب افزایش حجم در اثر افزودن SPI را می توان ناشی از افزایش گرانروی و اثر نامطلوب گرانروی های بالا بر ورود هوا در طی انجماد دانست، اما با وجود گزارش های قبلی مبنی بر رابطه عکس بین گرانروی و میزان ضریب افزایش حجم و افزایش گرانروی نمونه های بستنی در اثر افزایش MTG، علت افزایش ضریب افزایش حجم در اثر افزودن MTG را می توان به پلیمریزاسیون پروتئین های WPC و SPI و کازئین های موجود در بستنی توسط MTG مربوط دانست که موجب درگیری حباب های هوا و افزایش حجم مخلوط بستنی شده است. در این رابطه مطالعات بسیار اندکی انجام شده است. در راستای

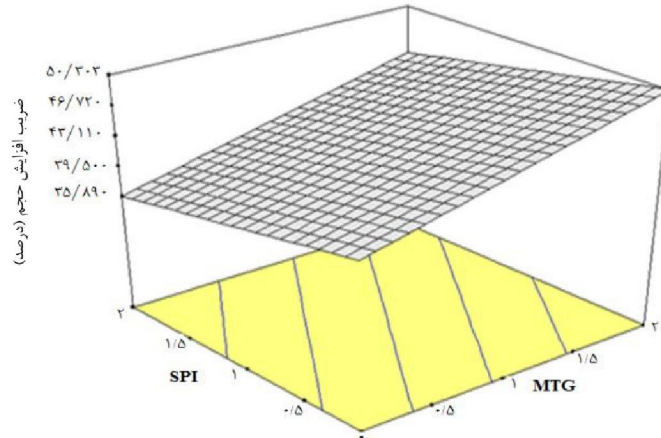
اثر متقابل افزودن SPI و MTG بر میزان ضریب افزایش حجم مخلوط بستنی

در شکل ۷ اثرات ترکیبی SPI و MTG بر میزان ضریب افزایش حجم نمونه های بستنی نمایش داده شده است. ملاحظه می گردد که افزایش مقدار SPI و MTG به ترتیب موجب کاهش و افزایش ضریب افزایش حجم در نمونه های بستنی گردید. با افزایش غلظت MTG در غلظت های ثابت SPI، بر میزان ضریب افزایش حجم افزوده می گردد و این روند افزایشی در محدوده ی غلظت های MTG بالاتر از ۱/۵ و SPI کمتر از ۱ درصد شدیدتر بود که با میزان ضریب افزایش حجم در محدوده ی غلظت MTG کمتر از ۰/۵ و SPI بالاتر از ۱ درصد قابل مقایسه است.

اثرات MTG و SPI بر ضریب افزایش حجم نمونه ها با احتمال ۹۹ درصد معنی دار گزارش شد

این طریق تشکیل امولسیون و کف، پایدار شده است که نظیر این مسأله می‌تواند پاسخگوی افزایش حجم و پایداری حباب هوا در نمونه‌های بستنی در این پژوهش باشد.

همین موضوع، مطابق با نظر Faergemand و همکاران (۱۹۹۹)، MTG از طریق برقراری پیوندهای درون مولکولی بین کارئین‌ها، موجب پلیمریزاسیون کارئین‌ها و درگیری حباب‌های هوا در آن‌ها شده که از

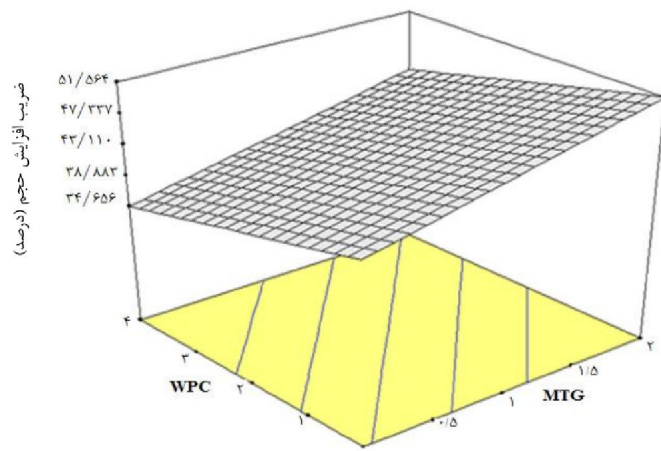


شکل ۷- تغییرات ضریب افزایش حجم نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار MTG و SPI

در غلظت MTG کمتر از ۱ و WPC بالاتر از ۲ درصد قبل که ۳۸ درصد است قابل مقایسه می‌باشد. اثرات MTG و WPC بر ضریب افزایش حجم نمونه‌ها با احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار گزارش شد ($P < 0.01$). با توجه به مباحث قبلی مانند اثر متقابل MTG و SPI، علت این پدیده را هم می‌توان به افزایش درگیری حباب‌های هوا در شبکه سه‌بعدی پروتئینی بزرگ تشکیل شده توسط MTG، مربوط دانست (Faergemand et al., 1999).

اثر متقابل افزودن WPC و MTG بر میزان ضریب افزایش حجم مخلوط بستنی

در شکل ۸ اثرات ترکیبی WPC و MTG بر میزان ضریب افزایش حجم نمونه‌های بستنی نمایش داده شده است؛ با افزایش غلظت MTG در غلظت‌های ثابت WPC، میزان ضریب افزایش حجم زیادتر شد و میزان این افزایش در محدوده غلظت‌های MTG بالاتر از ۱ درصد و WPC کمتر از ۲ درصد، شدیدتر و حدود ۴۷ درصد بود که با میزان ضریب افزایش حجم

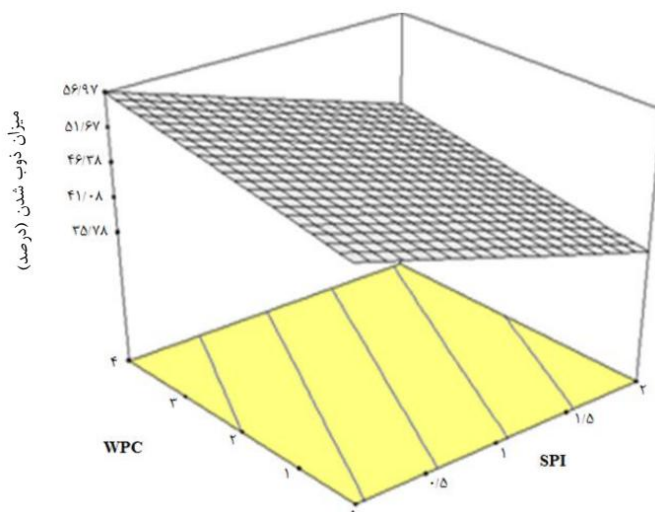


شکل ۸- تغییرات ضریب افزایش حجم نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و MTG

جایگزینی مواد جامد آب پنیر در مخلوط، زمان لازم برای ذوب، کاهش می‌یابد. Lee و White (۱۹۹۱) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. اما نتایج مخالف دیگری نیز وجود دارد. Ohem و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند که بستنی‌های حاوی دیری لو (نوعی جایگزین چربی بر پایه پروتئین آب پنیر)، میزان ذوب کم‌تری نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند. از طرف دیگر همان‌طور که از نمودار پیداست، با افزایش سطح جایگزینی SPI، از میزان ذوب نمونه‌های بستنی به طور معنی‌داری کاسته شد ($P < 0.05$). کاهش میزان ذوب نمونه‌های حاوی SPI می‌تواند به علت ویژگی اتصال آب SPI جهت تشکیل شبکه ژل باشد که مانع حرکت آزادانه مولکول‌های آب میان مولکول‌های مخلوط شده است؛ El-Nagar و همکاران (۲۰۰۲) در پژوهش خود گزارش کردند که اینولین ممکن است به عنوان یک پایدارکننده عمل کند، زیرا به دلیل داشتن ظرفیت جذب آب، موجب کاهش حرکت آزادانه مولکول‌های آب شده و در نتیجه موجب کاهش ویژگی‌های ذوب نمونه‌های بستنی شده است.

اثر متقابل افزودن WPC و SPI بر میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی

در شکل ۹ اثرات ترکیبی WPC و SPI بر میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی نمایش داده شده است. ملاحظه می‌گردد که افزایش غلظت SPI در غلظت‌های ثابت WPC موجب کاهش میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی می‌گردد این روند کاهشی در محدوده‌ای که غلظت‌های SPI بالاتر از ۱/۵ و WPC کمتر از ۲ درصد، شدیدتر بوده که با میزان ذوب شدن در غلظت‌های کمتر از ۰/۵ درصد SPI و بیش‌تر از ۲ درصد WPC، قابل مقایسه است. میزان ذوب شدن نمونه‌ها به ترتیب با احتمال ۹۹ و ۹۵ درصد، معنی‌دار گزارش شد. علت افزایش میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی در اثر افزایش WPC به نوع پروتئین آن بر-می‌گردد؛ زیرا به علت وجود قندهای محلول بیشتر در WPC، نقطه انجماد مخلوط حاوی WPC، کاهش بیشتر و لذا در زمان یکسان انجماد، بستنی نرم‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها تولید شده که مقاومت به ذوب مخلوط نسبت به شاهد کاهش بیشتری یافته بود (رضوی و همکاران، ۱۳۷۹). Mahran و Khalfalla (۱۹۷۵) در مقاله خود بیان کردند که با افزایش نسبت



شکل ۹- تغییرات ذوب شدن نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و WPC

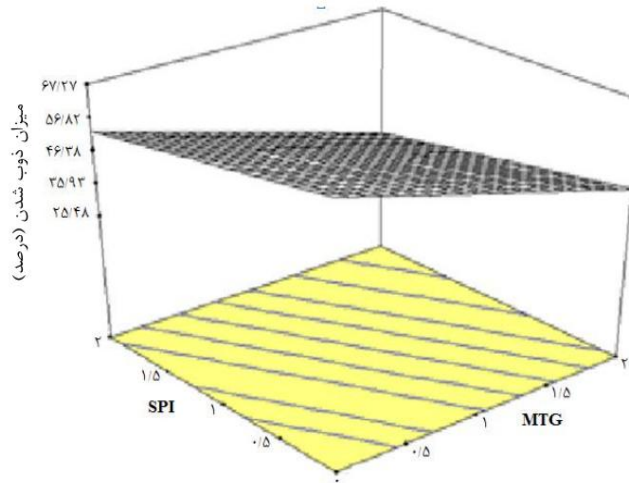
ذوب شدن نمونه‌های بستنی شد و این روند کاهشی در محدوده غلظت‌های SPI بالاتر از ۱ و MTG بالاتر از ۱/۵ درصد شدیدتر است که این مسأله بیانگر مناسب بودن این محدوده غلظت از SPI و MTG در

اثر متقابل افزودن SPI و MTG بر میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی

در شکل ۱۰ مشاهده می‌گردد که افزایش غلظت MTG در غلظت‌های ثابت SPI موجب کاهش میزان

پروتئینی که منجر به کاهش میزان انتقال حرارت و ذوب شدن می‌شود قابل توجه است که با نتایج Rossa و همکاران (۲۰۱۱) نیز مطابقت دارد. اثرات MTG و SPI بر میزان ذوب شدن نمونه‌ها با احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار گزارش شد.

افزایش مقاومت به ذوب بستنی می‌باشد. علت افزایش مقاومت به ذوب در اثر افزایش مقدار MTG، به واسطه پلیمریزاسیون پروتئین‌های موجود در مخلوط بستنی شامل WPC و SPI و پروتئین‌های شیر از طریق فعالیت MTG و درگیری حباب‌های هوا در این شبکه

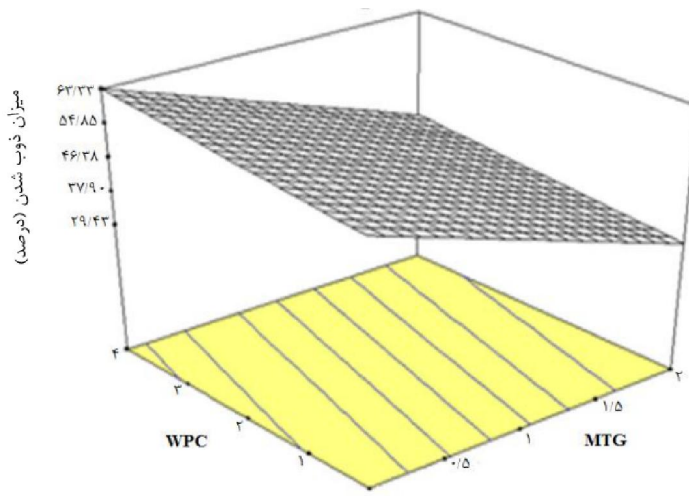


شکل ۱۰- تغییرات میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و MTG

با احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار گزارش شد. تاثیر MTG در کاهش میزان ذوب شدن، از تاثیر WPC در افزایش میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی بیشتر بوده است. با توجه به مباحث قبلی مانند اثر متقابل MTG و SPI، علت این پدیده را هم می‌توان ناشی از پلیمریزاسیون پروتئین‌های موجود در مخلوط بستنی شامل WPC و SPI و پروتئین‌های شیر از طریق فعالیت MTG و درگیری حباب‌های هوا در این شبکه پروتئینی دانست که منجر به کاهش میزان انتقال حرارت و ذوب شدن شده است، دانست (Rossa *et al.*, 2011).

اثر متقابل افزودن MTG و WPC بر میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی

در شکل ۱۱ ملاحظه می‌گردد که افزایش مقدار WPC و MTG به ترتیب موجب افزایش و کاهش میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی گشته است و افزایش غلظت MTG در غلظت‌های ثابت WPC، موجب کاهش میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی شده است و این روند کاهشی در غلظت‌های MTG بالا تر از ۱/۵ و کمتر از ۳ درصد شدیدتر بوده که این مسأله بیان‌گر مناسب بودن این محدوده غلظت، در مورد میزان ذوب شدن می‌باشد. اثرات MTG و WPC بر میزان ذوب شدن نمونه‌ها به ترتیب

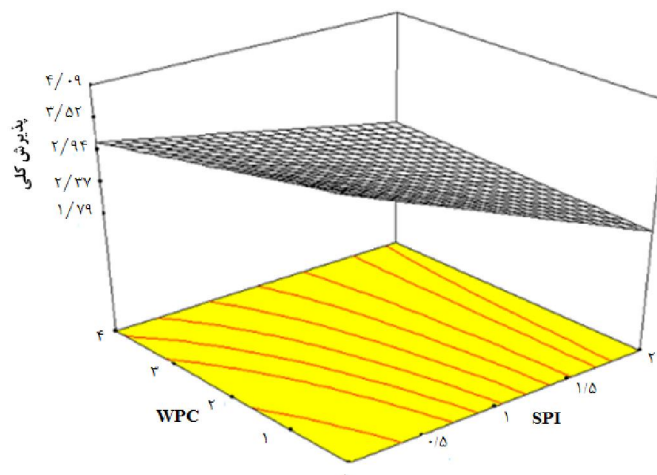


شکل ۱۱- تغییرات میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و MTG

بافت خشن و زبر در بستنی شده است و نمونه‌های حاوی SPI نسبت به نمونه شاهد، در ارزیابی پذیرش کلی امتیاز کمی را به خود اختصاص دادند. علاوه بر این SPI طعم نامطلوب لوبیای سویا و رنگ نامطلوب را به محصول القا کرده که عامل مهمی در ایجاد اثر منفی بر پذیرش مصرف کننده می‌باشد.

پذیرش کلی

با توجه به شکل ۱۲ و آنالیز آماری داده‌های حاصل از پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط داوران نشان داد که SPI به طور معنی‌داری موجب کاهش پذیرش کلی نمونه‌ها شد ($P < 0.01$). Akesson (۲۰۰۹) در بررسی اثر SPI بر ویژگی‌های فیزیکی و پذیرش کلی بستنی بیان کرد که SPI موجب ایجاد



شکل ۱۲- تغییرات پذیرش کلی نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و SPI

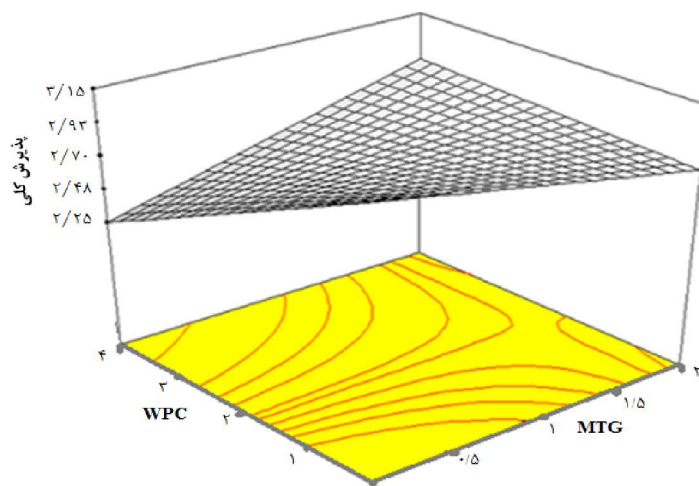
منعکس شده است. پروتئین‌های آب‌پنیر، پروتئین‌هایی با وزن مولکولی بالا می‌باشند که قادرند با ترکیبات شیمیایی مختلف نظیر آلدئیدهای آلیفاتیک و متیل‌کتون‌ها واکنش دهند. وانیل نیز یک ماده طعم دهنده و آلدئید آلیفاتیک است. در حضور WPC در مخلوط بستنی، پروتئین‌های آب‌پنیر موجود در آن با

همان طور که از شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، افزایش غلظت WPC در مخلوط بستنی در غلظت‌های ثابت MTG، به طور معنی‌داری موجب کاهش پذیرش کلی شده است ($P < 0.05$). علت این امر مربوط به اثرات نامطلوب WPC بر طعم، بافت و ضریب افزایش حجم بوده که در امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها نیز

بیشتری در اختیار MTG قرار می‌گیرد، در نتیجه پیوندهای کوالانت بیشتری بین آنزیم و پروتئین تشکیل می‌شود که اثرات منحصر به فردی روی ظرفیت تشکیل ژل، ظرفیت نگهداری آب پروتئین‌های مخلوط بستنی گذاشته و موجب بهبود این ویژگی‌ها می‌گردد؛ از طرفی دیگر در غلظت‌هایی که WPC بالاتر از ۲ درصد است، در واقع میزان بیشتری از WPC با MTG درگیر می‌شود در نتیجه از میزان واکنش WPC با طعم‌دهنده وانیل کاسته شده که این مسأله موجب دریافت طعم وانیلی بیشتر توسط حس چشایی می‌گردد (Kuraishi et al., 2001).

طعم‌دهنده وانیل واکنش داده و دریافت طعم وانیل توسط سیستم چشایی را کاهش می‌دهند (Hanson & Heinis, 1991).

همچنین در شکل مشخص است در محدوده‌ای که غلظت‌های WPC بالاتر از ۲ درصد، با افزایش MTG در غلظت ثابت WPC، پذیرش کلی افزایش یافت و در محدوده‌های که غلظت‌های WPC کمتر از ۲ درصد بود، افزایش MTG در غلظت‌های ثابت WPC، موجب کاهش پذیرش کلی در نمونه‌های بستنی شد؛ اما هیچ‌یک از اثرات MTG بر پذیرش کلی معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). علت این امر این است که در غلظت‌های WPC بالاتر از ۲ درصد، سوبسترای



شکل ۱۳- تغییرات پذیرش کلی نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و MTG

نسبت به اثرات نامطلوب چربی بر سلامت بدن، باعث گرایش جهانی مصرف‌کنندگان به سمت فرآورده‌های غذایی کم‌چرب شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از کنسانتره پروتئین آب‌پنیر در نمونه‌های بستنی موجب افزایش گرانروی، اسیدیته و کاهش ضریب افزایش حجم، مقاومت به ذوب و پذیرش کلی شد ($P < 0.01$). ایزوله پروتئین سویا نیز گرانروی و مقاومت به ذوب نمونه‌های بستنی را نسبت به نمونه شاهد افزایش، اما ضریب افزایش حجم و پذیرش کلی را به طور معنی‌داری کاهش داد ($P < 0.01$). آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی نیز به طور معنی‌داری موجب افزایش ضریب افزایش حجم، مقاومت به ذوب و گرانروی نمونه‌های بستنی در مقایسه با نمونه‌های فاقد آن شد ($P < 0.01$). نتایج

بهینه‌سازی متغیرهای مستقل

نتایج حاصل از بهینه‌سازی همزمان پذیرش کلی، گرانروی، میزان ذوب شدن و ضریب افزایش حجم نشان داد که بهترین سطوح متغیرهای مستقل SPI، WPC و MTG به ترتیب ۰/۰۶، ۱/۳۷ و ۱/۱۹ درصد بود. همچنین در سطوح بهینه، میزان گرانروی، مقاومت به ذوب، ضریب افزایش حجم، اسیدیته و پذیرش کلی به ترتیب ۱۷۰۰ سانتی‌پواز، ۵۲ درصد، ۴۹/۵۴ درصد، ۲۸/۵ درجه دورنیک و ۴/۲۵ بدست آمدند.

نتیجه‌گیری

تأکید روز افزون متخصصین تغذیه بر استفاده از مواد غذایی کم‌چرب و افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان

آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی بهتری از خود نشان دادند. بنابراین، آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی می‌تواند به تولیدکنندگان بستنی به خصوص در تولید مخلوط‌هایی که چربی آنها کاهش یافته، پیشنهاد شود.

حاصل از بهینه‌سازی هم‌زمان پذیرش کلی، گرانروی، میزان ذوب شدن، ضریب افزایش حجم نیز نشان داد که بهترین سطوح متغیرهای مستقل WPC، SPI و MTG به ترتیب ۰/۰۶، ۱/۳۷ و ۱/۱۹ درصد بود. بنابراین به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که بستنی‌های کم‌چرب حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز نسبت به نمونه‌های کم‌چرب حاوی کنسانتره پروتئین

منابع

۱. پروانه، و. ۱۳۸۵. کنترل کیفی و آزمایش‌های شیمیایی مواد غذایی. چاپ سوم. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۳۳۲.
۲. چگنی، ب. و مشکوه، آ. ۱۳۸۵. تاریخچه پیدایش بستنی در دانش و تکنولوژی بستنی. آبیژ، تهران، ایران، ۲.
۳. خشایار، پ. ۱۳۸۵. غنی‌سازی بستنی کم‌چرب با سویا. شانزدهمین کنگره ملی صنایع غذایی ایران. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۴. رضوی، س. م.، حبیبی نجفی، م. ب. و نایب زاده، ک. ۱۳۷۹. تاثیر جایگزین‌های لبنی و نوع پایدارکننده بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بستنی سویا. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۲(۳): ۶۲۴-۶۱۵.
۵. همایونی‌راد، ع.، احسانی، م. ر.، ابراهیم‌زاده موسوی، م. ع.، ولی‌زاده، م.، و امام جمعه، ز. ۱۳۸۳. بهبود کیفیت بستنی کم‌چرب به کمک هیدرولیز نسبی پروتئین‌های مخلوط بستنی با کیموزین (II). مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۶ (۶): ۱۵۰۹-۱۵۱۵.
6. Akalin, A.S. & Erisir, D. 2008. Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low fat probiotic ice cream. *Food Science and Technology*, 731: 184-188.
7. Akalinm, A. S., Karagozlu, C. & Unal, G. 2008. Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. *European Food Research and Technology*, 227: 889-895.
8. Akesowan, A. 2009. Influence of Soy protein isolate on physical and sensory properties of ice cream. *Agricultural Science*, 42: 1-6.
9. Ando, H., Adachi, M., Umeda, K., Matsuura, A., Nonaka, M., Uchio, Tanaka, H. & Motoki, M. 1989. Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53: 2613-17.
10. Arbuckle, W. S. 197. Ice cream. (3rd Ed.). Connecticut: Avi Publisher Company.
11. Arrese, E.L., Sorgentini, D.A., Wagner, J.R. & M.C, Anon. 1991. Electrophoretic, solubility and functional properties of commercial soy protein isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39 (6): 1029-1032.
12. Athetron, H. V. & Newlander, J.A. 1997. Chemistry and testing of dairy products, 4th Ed., AVI Publ., Westport, CT.
13. Berger, K. G. 1990. Ice cream in food emulsions, 2nd Ed.. In: Lars-son K, Friberg SE (eds) Marcel Dekker, Inc., New York, 367.

14. Bringe, N.A. & Clark, D.R. 1993. Simplese[®] formulation and properties of microparticulated whey protein. In: M Yalpani (Ed), Science for the food industry of the 21st Century, ATL Press, Mt. Prospect, IL: 51–68.
15. Dervisoglu, M., Yazici, F. & Aydemir, O. 2005. The effect of soy protein concentrate addition on the physical, chemical, and sensory properties of strawberry flavored ice cream, *European Food Research and Technology*, 221: 466-470.
16. El-Nagar, G., Clowes, G., Tudorica, C.M., Kuri, V. & Brennan, C.S. 2002. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *Dairy Technology*, 55: 89-93.
17. Faergemand, M., Murray, B.S., Dickinson, E. & Qvist, Q.B. 1999. Cross-linking of adsorbed casein films with transglutaminase. *International Dairy*, 9: 343-346.
18. Friedeck, K.G. & Karagul-Yuceer, Y. 2003. Soy protein fortification of a low –fat dairy-based ice cream. *Food Science and Technology*, 68: 2651-2657.
19. Gauche, C., Vieira, J.T.C., Ogliari, P.J. & Bordignon-Luiz, M.T. 2008. Crosslinking of milk whey proteins by transglutaminase. *Process Biochemistry*, 43: 788-794.
20. Gopalu, N.P., Rao, T.J., Ali, M.P. & Sastri, P.M. 1986. Effect of utilization of whey in ice cream. *Dairy Science*, 39: 94-95.
21. Hanson, A. P. & Heinis, J. J. 1991. Decrease of vanillin flavor perception in the presence of casein and whey proteins. *Dairy Science*, 74: 2936 –2940.
22. Hinz, K., Huppertz, T., Kulozik, U. & Kelly, A.L. 2007. Influence of enzymatic crosslinking on milk fat globules and emulsifying properties of milk proteins. *International Dairy Journal*, 17: 289- 293.
23. Jong, G. A. H. & Koppelman, S. J. 2002. Transglutaminase catalyzed reactions: impact on food applications. *Food Science and Technology*, 67: 2798- 2806.
24. Khalfalla, S. M. & Mahran, G. A. 1975. The Use of whey solids in ice cream. *Egyptain Journal of Dairy Science*, 3: 43-50.
25. Karaca, O.B., Guven, M., Yasar, K. & Kahyaoghlu, T. 2009. The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers. *Dairy Technology*, 62: 93-99.
26. Kuraishi, C., Yamazaki, K. & Susa, Y. 2001. Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Reviews International*, 17 (2): 221-246.
27. Lee, F.Y. & White, C.H. 1991. Effect of ultrafiltration retentates and whey protein concentrates on ice cream quality during storage. *Dairy Science*, 74: 1170–1180.
28. Lorenzen, P.C. 2000. Renneting properties of transglutaminase-treated milk. *Milchwissenschaft*, 55: 433–437.
29. Marshall, R. T. & Arbuckle, W.S. 1996. Ice cream. New York: Chapman and Hall.
30. Ohem, R.I., Marshal, R.T. & Heymann, H. 1997. Sensory and physical properties of ice cream containing milk fat or fat replacers. *Dairy Science*, 81: 1222-1228.
31. Pinterits, A. & Arntfield, S.D. 2008. Improvement of canola protein gelation properties through enzymatic modification with transglutaminase. *LWT-Food Science and Technology*, 41:128 138.

32. Rossa, N.R., Sá, E.M.F., Burin, V.M., & Bordignon-Luiz, M.T. 2011. Optimization of microbial transglutaminase activity in ice cream using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 44 (1): 29-34.
33. Rossa, P.N., Burin, V.M. & Bordignon, T. 2012. Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents. *LWT-Food Science and Technology*, 48 (2): 224-230.
34. Ruger, P.R., Baer, R.J. & Kasperson, K.M. 2002. Effect of double homogenization and whey protein concentrate on the texture of ice cream. *Dairy Science*, 85: 1684–1692.
35. Thompson, L.U., Reniers, D.J., Baker, L.M. & Siu, M. 1983. Succinylated whey protein concentrates in ice cream and instant puddings. *Dairy Science*, 66: 1630-1637.
36. Wilcox, C.P. & Swaisgood, H.E. 2002. Modification of the rheological properties of whey protein isolate through the use of an immobilized transglutaminase. *Agricultural and Food Chemistry*, 50: 5546–51.
37. Yilsay, T.O., Yilmaz, L. & Bayzit, A.A. 2006. The effect of using a whey protein fat replacer on textural and sensory characteristics of low-fat vanilla ice cream. *European Food Research Technology*, 222: 171-175.

Optimization of low fat ice cream formulation using microbial transglutaminase and protein based fat replacers

Samaneh Faraji Kafshgari¹, Mehran Alami^{2*}, Morteza Khomeiri², Ali Motamedzadegan³, Mohammad Javad Akbarian Meymand⁴

1. MSc. Graduated Student, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resource University of Gorgan, Iran
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resource University of Gorgan, Iran
- * Corresponding author (mehranalami@yahoo.com)
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resource University of Sari, Iran
4. PhD. Student, Department of Food Microbiology, Malayer University

Abstract

In this study whey protein concentrate (WPC) at levels (0.1 and 4%), soy protein isolate (SPI) at levels (0.1 and 2%) and microbial transglutaminase (MTG) at levels (0.1 and 2%) were used in low fat ice cream formulation (4% fat) and their effects were evaluated on the physicochemical and overall acceptance and their optimum amount was determined using response surface methodology. The amount of total solids in all samples was the same (34%). According to the results formulations containing WPC had higher viscosity and acidity but lower overrun, melting resistant and overall acceptance compared to the control sample ($P < 0.01$). SPI resulted in greater viscosity and melting resistance but lower overrun and overall acceptance ($P < 0.01$). MTG resulted in greater melting resistance, overrun and viscosity of the ice cream samples in comparison to control sample ($P < 0.01$). But had no significant effects on overall acceptance and acidity ($P > 0.05$). The result of optimization showed that the best levels of SPI, WPC and MTG were 0.06, 1.37 and 1.19 % respectively. Also in optimum levels, the amount of viscosity, melting resistance, overrun, acidity and overall acceptance were obtained 1700 cp, 52%, 49/54%, 28/5 dornik and 4.25, respectively.

Keywords: Low fat ice cream, Microbial transglutaminase, Protein-based fat replacer, Soy protein isolate, Whey protein concentrate