JRIFST

www.rifst.ac.ir/jrifst.aspx
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال 1393، جلد 3، شماره 3، صفحات 244-227
DOI: 10.22101/JRIFST.2014.10.23.333

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

سمانه فرجی کفشگری[1]، مهران اعلمی[2*]، مرتضی خمیری[2]، علی معتمدزادگان[3]، محمد جواد اکبریان میمند[4]

1. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
2. دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*نویسنده مسئول (mehranalami@yahoo.com)

3. دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
4. دانشجوی دکتری گروه میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه ملایر

تاریخ دریافت: 93/01/20
تاریخ پذیرش: 93/07/20

واژه‌های کلیدی
آنزیم ترانس‌گلوتامینازمیکروبی
ایزوله پروتئین سویا
بستنی کم‌چرب وانیلی
جایگزین چربی برپایه پروتئین
کنسانتره پروتئین آب‌پنیر

چکیده

در این پژوهش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (در سطوح 0، 2 و 4 درصد)، ایزوله پروتئین سویا (در سطوح 0، 1 و 2 درصد) و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (در سطوح 0 و 1 و 2 درصد) در فرمولاسیون بستنی کم‌چرب (4 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 (34 درصد). طبق نتایج، فرمولاسیون‌های حاوی کنسانتره پروتئین آب‌پنیر نسبت به نمونه شاهد (10 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 به‌ترتیب 0/06، 1/37 و 1/19 درصد بود. همچنین در سطوح بهینه میزان گرانروی، مقاومت به ذوب، ضریب افزایش حجم، اسیدیته و پذیرش کلی به‌ترتیب 1700 سانتی‌پواز، 52 درصد، 49/54 درصد، 28/5 درجه دورنیک و 4/25 به دست آمد.

مقدمه

بستنی ماده جامد یا خمیری شکل است که در اثر انجماد بدست آمده و حداقل حاوی 8 درصد چربی و 32 درصد ماده خشک است (چگنی و مشکوه، 1384). 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 5 درصد وزنی باشد (همایونی‌راد و همکاران، 1383). 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

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[1] 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[2]، پودر آب پنیر و بسیاری از فرآورده‌های آن نیز می‌توانند به‌طور موفقیت‌آمیزی به عنوان جایگزین چربی و ماده خشک شیر بدون چربی[3] 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 دآمیناسیون 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[4] 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 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، 1385).

جایگزینی 6 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 (2012) MTG را به بستنی‌هایی با محتوی چربی 4، 6 و 8 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 4 و 6 درصد که حاوی MTG بودند نیز رفتاری مشابه با نمونه‌های بستنی بدون MTG با سطح چربی 8 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.

مواد و روش‌ها

مواد

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

مواد اولیه‌ای که در این پژوهش استفاده شد، شامل شیرخشک پس‌چرخ، خامه استریل با 25 درصد چربی و شیر استریل کم‌چرب 1 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 (2008) تهیه شدند. تمامی نمونه‌های بستنی دارای 34 درصد ماده خشک، 4 درصد چربی، 30 درصد ماده خشک بدون چربی (SNF)[1]، 15 درصد شیرین‌کننده (شکر) و 0/4 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 45 درجه سانتی‌گراد و حل شدن خامه در شیر، مخلوط مواد خشک شامل شکر، پایدار کننده، 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 5 دقیقه به وسیله هموژنایزر هیدولف با سرعت 7000 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 45 دقیقه در دمای 40 درجه سانتی‌گراد فعالیت نمود. جهت پاستوریزاسیون مخلوط حاصل، از دمای 75 درجه سانتی‌گراد به مدت 25 دقیقه استفاده گردید. در طی فرآیند پاستوریزاسیون، MTG نیز غیرفعال شد، پس از پایان عملیات پاستوریزاسیون، مخلوط حاصل بلافاصله به وسیله حمام آب و یخ سرد گردید و جهت رسانیدن به مدت 24 ساعت در یخچال با دمای 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. عملیات انجماد بستنی به وسیله دستگاه بستنی‌ساز موسو به مدت 20 دقیقه انجام شد. سپس نمونه‌های بستنی در ظروف پلاستیکی درپوش‌دار بسته‌بندی و سطح آن‌ها به وسیله قاشق صاف شد. نمونه‌های آماده شده در فریزر 18- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. تولید نمونه‌ها با دو تکرار در روزهای مختلف انجام شد. در این پژوهش نمونه شاهد بستنی با 10 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 کجلدال (AOAC، 2008)، اندازه‌گیری چربی شیر خشک پس‌چرخ و WPC و SPI به روش سوکسله (پروانه، 1385)، اندازه‌گیری ماده خشک تمامی مواد اولیه موجود در فرمولاسیون بستنی (AOAC، 2005- شماره 941/08) بود.

آزمایشات

اندازه‌گیری ضریب افزایش حجم

در اندازه‌گیری ضریب افزایش حجم، از ظروفی 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 (1) محاسبه گردید (استاندارد ملی ایران، شماره 2450).

رابطه (1)

ضریب افزایش حجم = وزن نمونه قبل از انجماد) - وزن نمونه بعد از انجماد 100 × (وزن نمونه بعد از انجماد)

اندازه‌گیری گرانروی

گرانروی مخلوط بستنی قبل از انجماد و پس از مرحله رساندن توسط دستگاه ویسکومتر بروکفیلد DVII در دمای 5 درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

1-Solid Non- Fat (SNF)

حجم ظرف مورد استفاده 250 میلی‌لیتر بود و کنترل دما به کمک مخلوط آب و یخ انجام گرفت. بعد از انجام آزمایشات مقدماتی، اسپیندل شماره 6 به عنوان مناسب‌ترین اسپیندل انتخاب شد. اندازه‌گیری گرانروی در 100 دور در دقیقه انجام شد (Akalin *et al.*, 2008).

اندازه‌گیری اسیدیته

جهت اندازه‌گیری اسیدیته، 10 میلی‌لیتر از مخلوط بستنی قبل از انجماد برداشته و توزین شده و سپس هم‌وزن آزمونه به آن، آب مقطر و 0/5 میلی‌لیتر معرف فنل‌فتالئین افزوده و با هیدروکسید سدیم 0/1 نرمال عیارسنجی شد. این عمل تا ظهور رنگ صورتی کم‌رنگ که حداقل به مدت 5 ثانیه پایدار ماند، انجام شد. اسیدیته بر حسب درجه دورنیک با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Akalin & Erisir, 2008)

رابطه (2)

10 x میلی‌لیتر سود مصرفی = اسیدیته (بر حسب دورنیک)

در این معادله، N نرمالیته سود مصرفی و M وزن نمونه بستنی، جهت عیارسنجی است.

اندازه‌گیری میزان ذوب شدن

یک قالب بستنی با وزن 1±30 گرم روی الکی با حفره‌های 2 میلی‌متری، در انکوباتور با دمای 25 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از مدت 30 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، 10 نفر از دانشجویان رشته صنایع غذایی شامل 5 پسر و 5 دختر پس از آموزش اولیه جهت آشنایی با خصوصیاتی مانند سختی، گرانروی، 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 5 نقطه‌ای از نظر پذیرش کلی ارزیابی نمودند که در این روش به نمونه عالی نمره 5، خوب 4، متوسط 3، بد 2 و خیلی بد 1 تعلق گرفت (Akalin و همکاران، 2008).

طرح آماری

طرح مرکب مرکزی در قالب روش سطح پاسخ، با استفاده از نرم افزار Design Expert[1] طراحی و بهینه‌سازی متغیرهای مستقل با استفاده از نرم‌افزار Minitab16 Statistical انجام گردید. این طرح آزمایشی شامل 8 نقطه فاکتوریل، 6 نقطه محوری و 6 تکرار در نقطه مرکزی بود. کلیه تیمارها در 2 تکرار صورت پذیرفتند. هم‌چنین محدوده متغیرهای مستقل شامل SPI، WPC و MTG، از آزمون‌های اولیه استنتاج گردید (جدول 1).

تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD)[2] با استفاده از نرم‌افزار Design Expert انجام گرفت. برای نشان دادن رابطه هر یک از متغیرهای تابع (گرانروی، 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 2 آورده شده است.

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

جدول 1- متغیرهای مستقل و سطوح مورد استفاده آنها در فرمولاسیون بستنی کم‌چرب

متغیرهای مستقل	سطوح و حدود متغیرها		
	+1	0	-1
SPI (درصد)	2	1	0
WPC (درصد)	4	2	0
MTG (درصد)	2	1	0

جدول 2- ترکیبات شیمیایی مواد اولیه مصرفی در فرمولاسیون بستنی کم‌چرب

مواد اولیه	رطوبت (درصد)	پروتئین (درصد)	چربی (درصد)
SPI	7/36	87/5	0/2
WPC	6/17	35	0/4
شیر خشک پس‌چرخ	4/532	37	0/4
شیر	90/37	3	1
خامه	68/659	3/2	25

*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 اسیدیته مخلوط بستنی

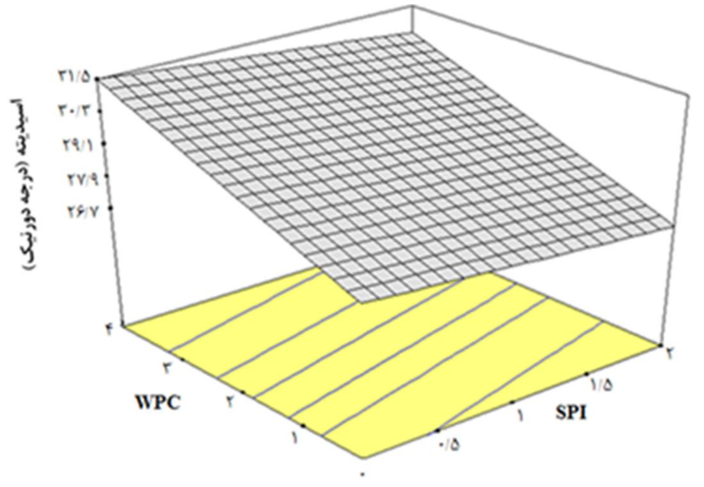
همان طور که از شکل 1 پیداست، با افزایش WPC درغلظت‌های ثابت SPI، اسیدیته به طور معنی‌داری افزایش یافت (P<0/01). این افزایش در محدوده غلظت‌های SPI کمتر از 0/5و WPC بالاتر از 3 درصد بیشتر بوده است؛ Athetron و همکاران (1997) بیان کردند اسیدیته قابل تیتر در فرآورده‌های لبنی به مقدار آلبومین، فسفات، سیترات و دی‌اکسیدکربن موجود در آنها بستگی دارد. افزودن WPC به مخلوط بستنی، مقدار MSNF و پروتئین و به دنبال آن آلبومین در مخلوط افزایش یافته و این امر موجب افزایش اسیدیته مخلوط می‌گردد.

اثر متقابل افزودن SPI و MTG بر میزان اسیدیته مخلوط بستنی

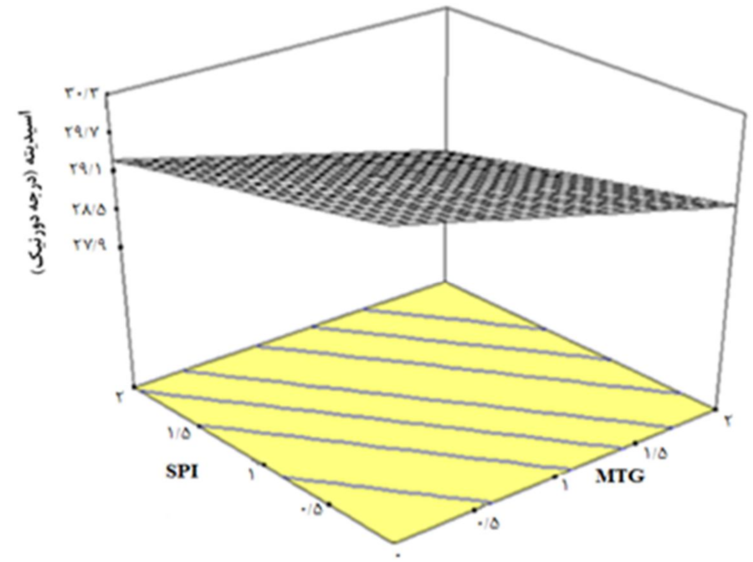
از شکل 2 پیداست که با افزایش مقدار SPI در غلظت‌های ثابت MTG و با افزایش مقدار MTG در غلظت‌های ثابت SPI، میزان اسیدیته مخلوط‌های بستنی کاهش یافت که این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است (P>0/05).

اثر متقابل افزودن SPI و WPC بر میزان گرانروی مخلوط بستنی

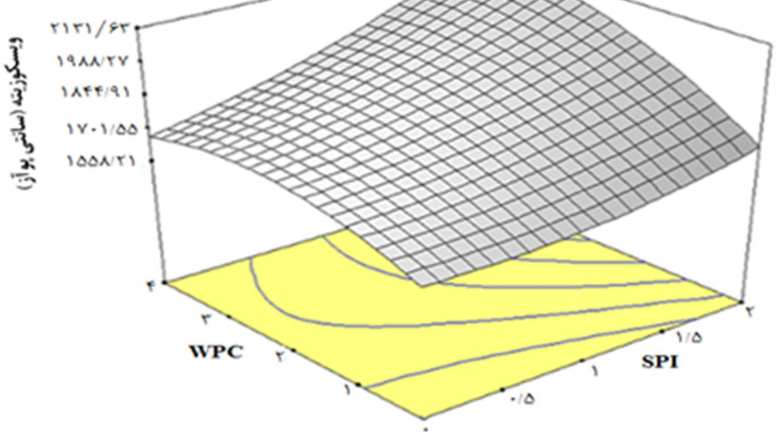
در این پژوهش، میزان گرانروی در نمونه شاهد 1500 سانتی‌پوآز گزارش شد و افزودن همزمان WPC و SPI موجب افزایش معنی‌دار گرانروی در مخلوط بستنی شد (P<0/01)؛ طوری که میزان گرانروی در بالاترین سطح SPI و WPC، 2131/63 سانتی‌پوآز بوده است که نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی‌داری از خود نشان داد (P<0/01). از شکل 3 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).



شکل 1- تغییرات اسیدیته نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و SPI



شکل 2- تغییرات اسیدیته نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار MTG و SPI

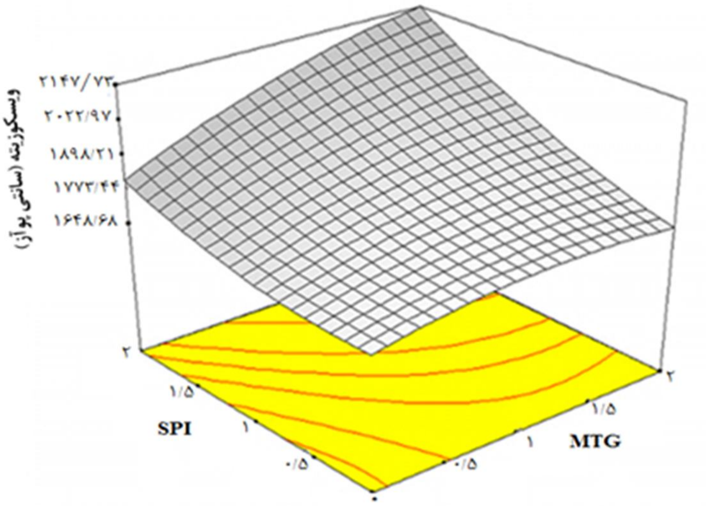


شکل 3- تغییرات گرانروی نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و WPC

در پژوهش دیگری Friedeck و همکاران (2003) در غنی‌سازی بستنی‌های کم‌چرب با SPI، مشاهده کردند که با افزایش SPI، گرانروی مخلوط بستنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، زیرا SPI با داشتن بیش از 90 درصد پروتئین، جایگزین شیرخشک بدون چربی (35 تا 36 درصد پروتئین، 51 تا 52 درصد کربوهیدرات) شد. از طرفی افزایش گرانروی در اثر افزودن WPC می‌تواند به این خاطر باشد که در اثر حرارت پاستوریزاسیون، ممکن است بخشی از پروتئین‌های موجود در WPC دناتوره شده، ظرفیت اتصال با آب آنها افزایش یابد و در نتیجه با افزایش WPC در نمونه‌های بستنی، گرانروی ظاهری افزایش یابد (Ruger *et al.*, 2002)؛ Ohem و همکاران (1997) گزارش کردند که استفاده از 4/8 درصد از سه نوع متفاوت از جایگزین‌های چربی بر پایه پروتئین آب‌پنیر (دیری لو، پرولو 11 و سیمپلس) اثرات معنی‌داری بر افزایش گرانروی نمونه‌های بستنی کم‌چرب داشتند (P<0/05)، Clark و Bringe (1993) نیز بیان کردند که وجود اختلاف معنی‌دار بین گرانروی نمونه‌های کم‌چرب، بدون چربی و چربی کاهش یافته حاوی سیمپلس، ناشی از ظرفیت نگهداری و جذب آب سیمپلس باشد؛ Thampson و همکاران (1983) گزارش کردند که جایگزینی NFDM با WPC در سطوح پائین (10درصد) باعث کاهش گرانروی می‌شود اما با افزایش میزان جایگزینی به 30 درصد، گرانروی افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات Lee و White (1991) نشان داد که WPC در سطوح جایگزینی 25 و 50 درصد باعث افزایش گرانروی مخلوط می‌گردد، اما در سطوح بالاتر مصرف (75 و 100 درصد)، گرانروی را کاهش می‌دهد.

اثر متقابل افزودن SPI و MTG بر میزان گرانروی مخلوط بستنی

همان‌طور که از شکل 4 مشخص است، با افزایش MTG در غلظت‌های ثابت SPI، میزان گرانروی افزایش یافت که این افزایش در سطوح بالاتر SPI و MTG چشمگیرتر بود. افزودن همزمان SPI و MTG، سبب افزایش گرانروی مخلوط بستنی شد، طوری که در محدوده SPI و MTG به ترتیب کمتر از 1 و 0/5 درصد، گرانروی مخلوط بستنی پایین و حدود1700 سانتی‌پوآز بود، در حالی که در محدوده SPI و MTG به ترتیب بالاتر از 1/5 و 1 درصد، گرانروی مخلوط بستنی به 2050 سانتی‌پوآز رسید.



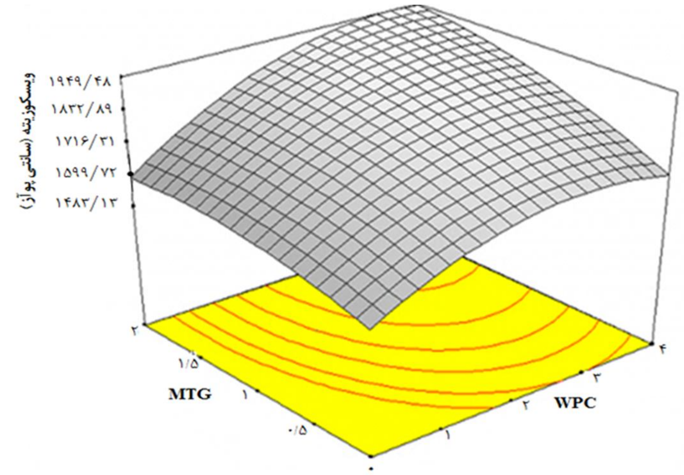
شکل 4- تغییرات گرانروی نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و MTG

تأثیر افزودن MTG بر افزایش گرانروی نمونه‌ها نیز با احتمال 99٪ معنی‌دار گزارش شد (P<0/01) که این افزایش گرانروی را می‌توان به توانایی MTG در ایجاد اتصالات عرضی درون مولکولی در پروتئین‌های موجود در مخلوط بستنی و تشکیل پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا که موجب مقاومت بیشتر به جریان می‌شوند، نسبت داد، از طرفی این افزایش گرانروی را می‌توان به تشکیل یک شبکه

سه‌بعدی از پروتئین‌ها و به‌دام‌انداختن آب در این شبکه نیز نسبت داد (Lorenzen, 2000; Hinz *et al.*, 2007; Wilcox *et al.*, 2002)؛ در پژوهشی که Rossa و همکاران (2011) انجام دادند، تمامی نمونه‌های بستنی که حاوی MTG بودند در مقایسه با نمونه شاهد (بدون MTG) به طور معنی‌داری گرانروی ظاهری بالاتری داشتند که این امر به علت توانایی MTG جهت تشکیل پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا از پروتئین‌های مونومری بود که موجب افزایش گرانروی مخلوط بستنی شده بود. این محققان بیان کردند که افزودن MTG می‌تواند یک روش مؤثر برای افزایش گرانروی بستنی‌های با محتوی چربی پایین‌تر شود؛ Rossa و همکاران (2011) نیز در بهینه‌سازی فعالیت MTG در بستنی به نتایج مشابهی دست یافتند. آن‌ها مشاهده کردند که در تمامی نمونه‌های حاوی MTG، شاخص قوام و گرانروی به طور معنی‌داری افزایش یافت و بستنی‌ها، رفتار سودوپلاستیک از خود نشان دادند.

اثر متقابل افزودن WPC و MTG برمیزان گرانروی مخلوط بستنی

با توجه به شکل 5 مشخص می‌شود که افزودن هم‌زمان WPC و MTG به مخلوط بستنی نیز سبب افزایش گرانروی مخلوط بستنی شده است طوری که در بالاترین مقادیر WPC و MTG به ترتیب 4 و 2 درصد، مقدار گرانروی 1949/48 سانتی‌پوآز می‌باشد که تغییرات مقدار WPC نسبت به تغییرات مقدار MTG، تاثیر بیشتری بر گرانروی مخلوط بستنی گذاشت. تاثیر افزایش مقدار WPC و MTG بر گرانروی نمونه‌ها با احتمال 99 درصد معنی‌دار گزارش شد ($P<0/01$). همان‌طور که در مباحث قبلی عنوان شد اثر حمایتی WPC و MTG در افزایش گرانروی 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 (1989) نیز گواه بر این مدعاست که استفاده از MTG موجب افزایش گرانروی محلول‌های پروتئین آب‌پنیر شد. Gauche (2008) 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 MTG با برقراری اتصالات عرضی درون مولکولی بین مولکول‌های پروتئین موجب تشکیل پلی‌مرهایی با وزن مولکولی بالایی تشکیل داد.

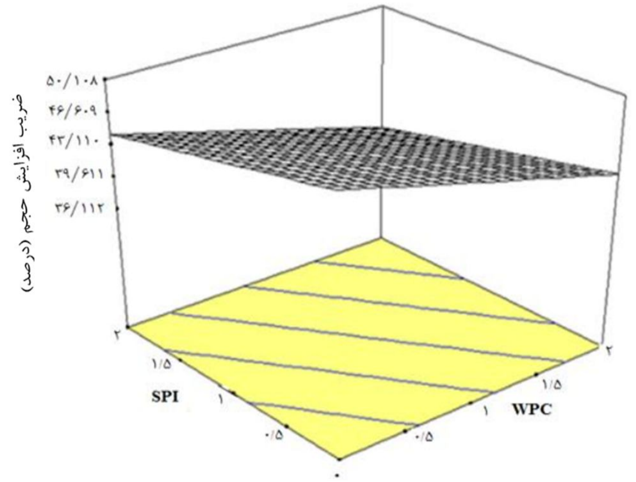


شکل 5- تغییرات گرانروی نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و MTG

اثر متقابل افزودن WPC و SPI برمیزان ضریب افزایش حجم مخلوط بستنی

همان طور که در شکل 6 مشخص است با افزایش WPC در مقادیر ثابت SPI، ضریب افزایش حجم

کاهش یافت که میزان این کاهش در غلظت‌های WPC بالاتر از 3 درصد به ویژه در غلظت‌های بالاتر SPI شدیدتر بود. اثرات WPC و SPI بر کاهش ضریب افزایش حجم نمونه‌ها با احتمال 99 درصد معنی‌دار گزارش شد (*P*<0/01) و تغییرات مقدار WPC نسبت به تغییرات غلظت SPI تاثیر بیشتری بر کاهش ضریب افزایش حجم نمونه‌ها داشت. کاهش ضریب افزایش حجم در اثر افزودن WPC و SPI را می‌توان 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 در نتیجه هوا نمی‌تواند به طور مناسب وارد بافت شده در نتیجه ضریب افزایش حجم کاهش می‌یابد. Yilsay و همکاران (2006) همچنین گزارش کردند که جایگزینی چربی شیر با جایگزین‌های چربی بر پایه پروتئین، ضریب افزایش حجم را در مخلوط‌های بستنی کاهش می‌دهد. نتایج فوق با نتایج به دست آمده توسط Thampson و همکاران (1983) نیز مطابقت دارد. این محققین در مقاله خود بیان کرده‌اند که با افزایش نسبت جایگزینی پروتئین‌های آب‌پنیر، گرانروی افزایش و ضریب افزایش حجم کاهش یافت.



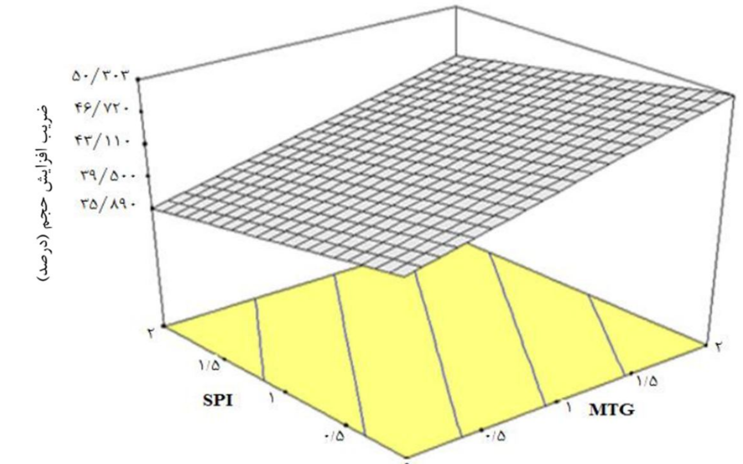
شکل 6- تغییرات ضریب افزایش حجم نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و WPC

اثر متقابل افزودن SPI و MTG برمیزان ضریب افزایش حجم مخلوط بستنی

در شکل 7 اثرات ترکیبی SPI و MTG بر میزان ضریب افزایش حجم نمونه‌های بستنی نمایش داده شده است. ملاحظه می‌گردد که افزایش مقدار SPI و MTG به ترتیب موجب کاهش و افزایش ضریب افزایش حجم در نمونه‌های بستنی گردید. با افزایش غلظت MTG در غلظت‌های ثابت SPI، بر میزان ضریب افزایش حجم افزوده می‌گردد و این روند افزایشی در محدوده‌ی غلظت‌های MTG بالاتر از1/5 و SPI کمتر از 1 درصد شدیدتر بود که با میزان ضریب افزایش حجم در محدوده‌ی غلظت MTG کمتر از 0/5 و SPI بالاتر از 1 درصد قابل مقایسه است.

اثرات MTG و SPI بر ضریب افزایش حجم نمونه‌ها با احتمال 99 درصد معنی‌دار گزارش شد (*P*<0/01). همچنین تغییرات MTG نسبت به تغییرات SPI اثر بیشتری بر میزان ضریب افزایش حجم داشت، همان‌طور که در موارد قبلی به آن اشاره شد، کاهش ضریب افزایش حجم در اثر افزودن SPI را می‌توان ناشی از افزایش گرانروی و اثر نامطلوب گرانروی‌های بالا بر ورود هوا در طی انجماد دانست، اما با وجود گزارش‌های قبلی مبنی بر رابطه عکس بین گرانروی و میزان ضریب افزایش حجم و افزایش گرانروی نمونه‌های بستنی در اثر افزایش MTG، علت افزایش ضریب افزایش حجم در اثر افزودن MTG را می‌توان به پلیمریزاسیون پروتئین‌های WPC و SPI و کازئین‌های موجود در بستنی توسط MTG مربوط دانست که موجب درگیری حباب‌های هوا و افزایش حجم مخلوط بستنی شده است. در این رابطه مطالعات بسیار اندکی انجام شده است. در راستای

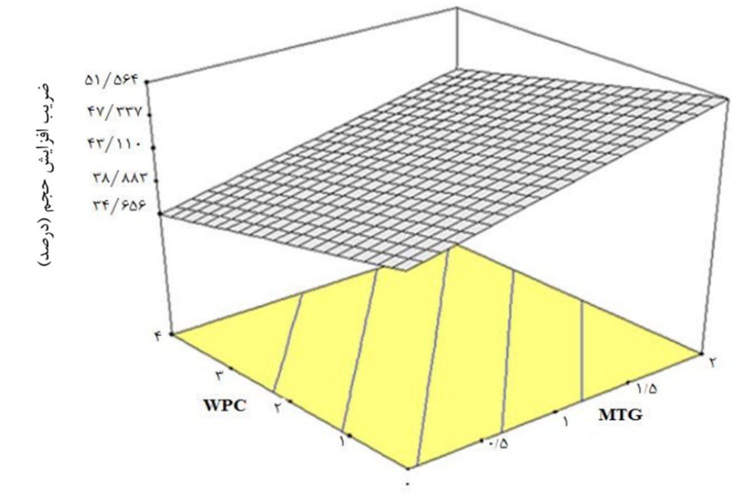
همین موضوع، مطابق با نظر Faergemand و همکاران (1999)، MTG از طریق برقراری پیوندهای درون مولکولی بین کازئین‌ها، موجب پلیمریزاسیون کازئین‌ها و درگیری حباب‌های هوا در آن‌ها شده که از این طریق تشکیل امولسیون و کف، پایدار شده است که نظیر این مسأله می‌تواند پاسخگوی افزایش حجم و پایداری حباب هوا در نمونه‌های بستنی در این پژوهش باشد.



شکل 7- تغییرات ضریب افزایش حجم نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار MTG و SPI

اثر متقابل افزودن WPC و MTG برمیزان ضریب افزایش حجم مخلوط بستنی

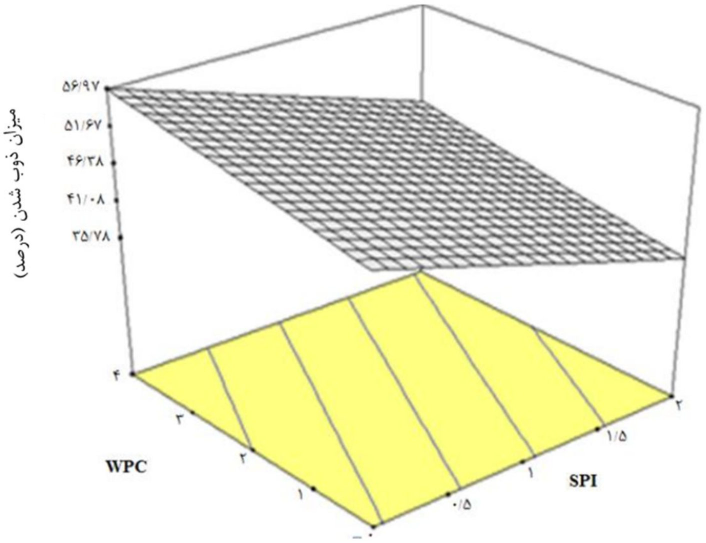
در شکل 8 اثرات ترکیبی WPC و MTG بر میزان ضریب افزایش حجم نمونه‌های بستنی نمایش داده شده است؛ با افزایش غلظت MTG در غلظت‌های ثابت WPC، میزان ضریب افزایش حجم زیادتر شد و میزان این افزایش در محدوده غلظت‌های MTG بالاتر از 1 درصد و WPC کمتر از2 درصد، شدیدتر و حدود 47 درصد بود که با میزان ضریب افزایش حجم در غلظت MTG کمتر از 1 و WPC بالاتر از 2 درصد قبل که 38 درصد است قابل مقایسه می‌باشد. اثرات MTG و WPC بر ضریب افزایش حجم نمونه‌ها با احتمال 99 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).



شکل 8- تغییرات ضریب افزایش حجم نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار MTG و WPC

اثر متقابل افزودن WPC وSPI بر میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی

در شکل 9 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 1/5 و WPC کمتر از 2 درصد، شدیدتر بوده که با میزان ذوب شدن در غلظت‌های کمتر از 0/5 درصد SPI و بیش‌تر از 2 درصد WPC ، قابل مقایسه است. میزان ذوب شدن نمونه‌ها به ترتیب با احتمال 99 و 95 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، 1379). Khalfalla و Mahran (1975) در مقاله خود بیان کردند که با افزایش نسبت جایگزینی مواد جامد آب‌پنیر در مخلوط، زمان لازم برای ذوب، کاهش می‌یابد. Lee و White (1991) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. اما نتایج مخالف دیگری نیز وجود دارد. Ohem و همکاران (1997) گزارش کردند که بستنی‌های حاوی دیری لو (نوعی جایگزین چربی بر پایه پروتئین آب‌پنیر)، 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 (2002) 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.

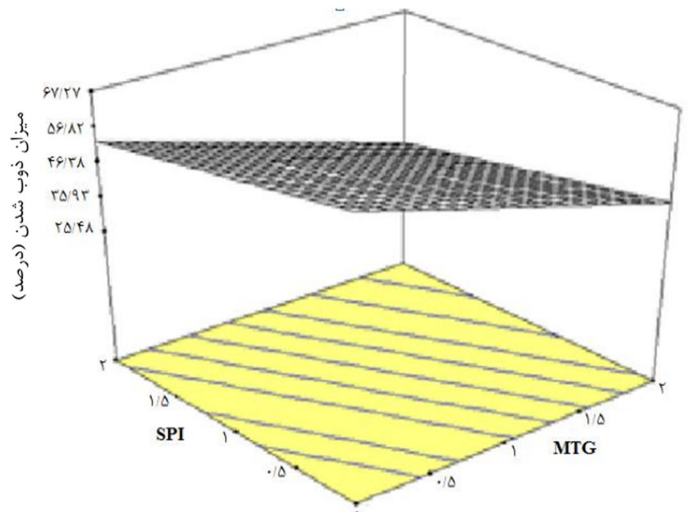


شکل 9- تغییرات ذوب شدن نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و WPC

اثر متقابل افزودن MTG وSPI بر میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی

در شکل 10 مشاهده می‌گردد که افزایش غلظت MTG در غلظت‌های ثابت SPI موجب کاهش میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی شد و این روند کاهشی در محدوده غلظت‌های SPI بالاتر از 1 و MTG بالاتر از 1/5 درصد شدیدتر است که این مسأله بیانگر مناسب بودن این محدوده غلظت از SPI و MTG در

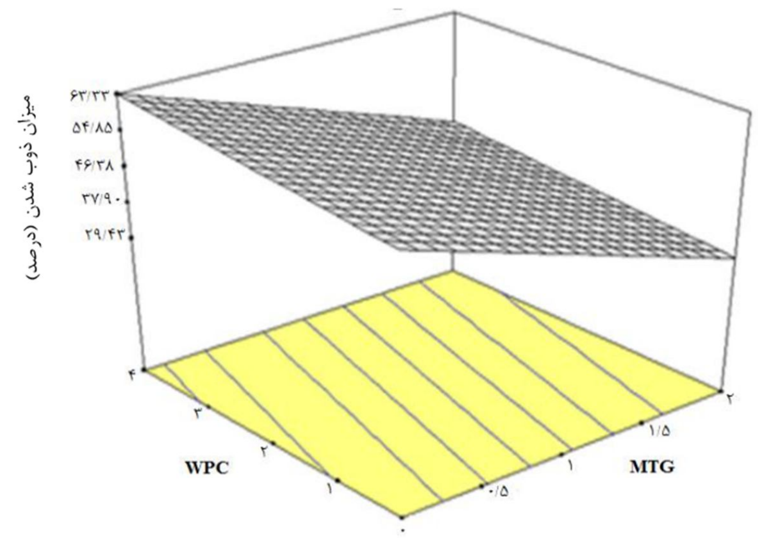
افزایش مقاومت به ذوب بستنی می‌باشد. علت افزایش مقاومت به ذوب در اثر افزایش مقدار MTG، به واسطه پلیمریزاسیون پروتئین‌های موجود در مخلوط بستنی شامل WPC و SPI و پروتئین‌های شیر از طریق فعالیت MTG و درگیری حباب‌های هوا در این شبکه پروتئینی که منجر به کاهش میزان انتقال حرارت و ذوب شدن می‌شود قابل توجیه است که با نتایج Rossa و همکاران (2011) نیز مطابقت دارد. اثرات MTG و SPI بر میزان ذوب شدن نمونه‌ها با احتمال 99 درصد معنی‌دار گزارش شد.



شکل 10- تغییرات میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار SPI و MTG

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

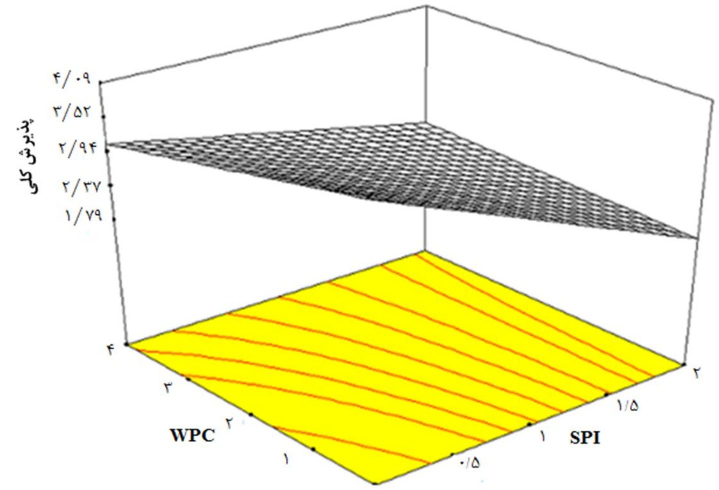
در شکل 11 ملاحظه می‌گردد که افزایش مقدار WPC و MTG به ترتیب موجب افزایش و کاهش میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی گشته است و افزایش غلظت MTG در غلظت‌های ثابت WPC، موجب کاهش میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی شده است و این روند کاهشی در غلظت‌های MTG بالا تر از 1/5و WPC کمتر از 3 درصد شدیدتر بوده که این مسأله بیان‌گر مناسب بودن این محدوده غلظت، در مورد میزان ذوب شدن می‌باشد. اثرات MTG و WPC بر میزان ذوب شدن نمونه‌ها به ترتیب با احتمال 99 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).



شکل 11- تغییرات میزان ذوب شدن نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و MTG

پذیرش کلی

با توجه به شکل 12 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). Akesowan (2009) در بررسی اثر SPI بر ویژگی‌های فیزیکی و پذیرش کلی بستنی بیان کرد که SPI موجب ایجاد 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.

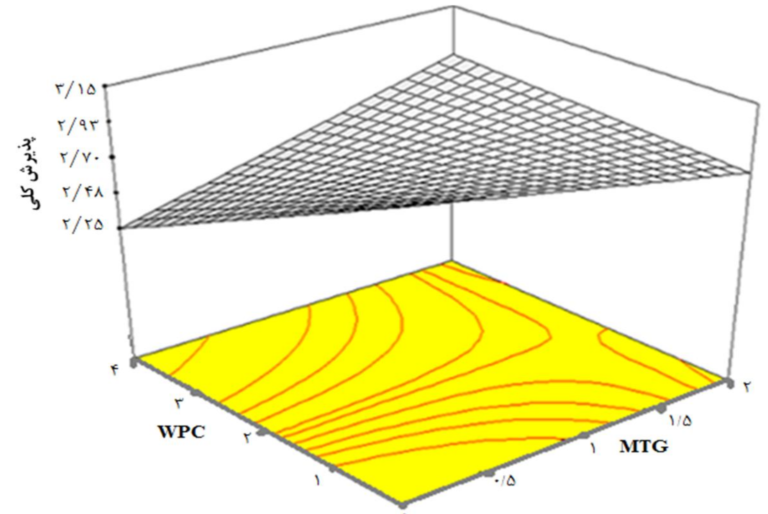


شکل 12- تغییرات پذیرش کلی نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و SPI

همان طور که از شکل 13 مشاهده می‌شود، افزایش غلظت WPC در مخلوط بستنی در غلظت‌های ثابت MTG، به‌طور 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 منعکس شده است. پروتئین‌های آب‌پنیر، پروتئین‌هایی با وزن مولکولی بالا می‌باشند که قادرند با ترکیبات شیمیایی مختلف نظیر آلدئیدهای‌آلیفاتیک و متیل‌کتون‌ها واکنش دهند. وانیل نیز یک ماده طعم دهنده و آلدئید آلیفاتیک است. در حضور WPC در مخلوط بستنی، پروتئین‌های آب پنیر موجود در آن با

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 2 درصد، با افزایش MTG در غلظت ثابت WPC، پذیرش کلی افزایش یافت و در محدوده‌ای که غلظت‌های WPC کمتر از 2 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 2 درصد، سوبسترای بیشتری در اختیار MTG قرار می‌گیرد، در نتیجه پیوندهای کووالانت 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 2 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).



شکل 13- تغییرات پذیرش کلی نمونه‌های بستنی در اثر تغییرات مقدار WPC و MTG

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 به‌ترتیب 0/06، 1/37 و 1/19 درصد بود. همچنین در سطوح بهینه، میزان گرانروی، مقاومت به ذوب، ضریب افزایش حجم، اسیدیته و پذیرش کلی به ترتیب 1700 سانتی‌پواز، 52 درصد، 49/54 درصد، 28/5 درجه دورنیک و 4/25 بدست آمدند.

نتیجه‌گیری

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

حاصل از بهینه‌سازی هم‌زمان پذیرش کلی، گرانروی، میزان ذوب شدن، ضریب افزایش حجم نیز نشان داد که بهترین سطوح متغیرهای مستقل SPI، WPC و MTG به ترتیب 0/06، 1/37 و 1/19 درصد بود. بنابراین به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که بستنی‌های کم‌چرب حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نسبت به نمونه‌های کم‌چرب حاوی کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و ایزوله پروتئین سویا ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بهتری از خود نشان دادند. بنابراین، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی می‌تواند به تولیدکنندگان بستنی به خصوص در تولید مخلوط‌هایی که چربی آنها کاهش یافته، پیشنهاد شود.

منابع

1. پروانه، و. 1385. کنترل کیفی و آزمایش‌های شیمیایی مواد غذایی. چاپ سوم. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران. صفحه 332.
2. چگنی، ب. و مشکوه، آ. 1385. تاریخچه پیدایش بستنی در دانش و تکنولوژی بستنی. آییژ، تهران، ایران، 2.
3. خشایار، پ. 1385. غنی‌سازی بستنی کم‌چرب با سویا. شانزدهمین کنگره ملی صنایع غذایی ایران. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
4. رضوی، س. م.، حبیبی نجفی، م. ب. و نایب زاده، ک. 1379. تاثیر جایگزین‌های لبنی و نوع پایدارکننده بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی بستنی سویا. مجله علوم کشاورزی ایران. 32(3): 624-615.
5. همایونی‌راد، ع.، احسانی، م.ر.، ابراهیم‌زاده موسوی، م.ع.، ولی‌زاده، م.، و امام جمعه، ز. 1383. بهبود کیفیت بستنی کم‌چرب به کمک هیدرولیز نسبی پروتئین‌های مخلوط بستنی با کیموزین (II). مجله علوم کشاورزی ایران، جلد 36 (6): 1509- 1515.
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. Simplesse ® 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 fims 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 whit 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 gelationproperties through enzymatic modifi cation 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. Thampson, 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 Kafshgari[1], Mehran Alami[2*], Morteza Khomeiri[2], Ali Motamedzadegan[3], Mohammad Javad Akbarian Meymand[4]

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 (0.1and 4%), soy protein isolate (SPI) at levels (0.1and 2%) and microbial transglutaminase (MTG) at levels (0.1and 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