

تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی‌های بافتی سوریمی تهیه شده از ماهی کپور سرگنده (*Aristichthys nobilis*)

حمید جاوید^۱، سید علی جعفر پور^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی، ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۲- دانشیار، گروه شیلات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

دریافت: ۹۴/۰۶/۲۷ پذیرش: ۹۴/۱۲/۰۱

*نویسنده مسئول مقاله: a.jafarpour@gmail.com

چکیده:

در این پژوهش از گوشت ماهی کپور سرگنده به منظور تهیه سوریمی استفاده شد و تأثیر ۳ عامل مستقل آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد)، نمک (۰، ۱/۲۵ و ۲/۵ درصد) و دمای قوام‌یابی (۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) بر ویژگی‌های بافتی و رنگ سوریمی تهیه شده بررسی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد مقدار آنزیم ۰/۵ درصد به همراه مقدار نمک ۱/۲۵ درصد و تیمار دمایی ۴۵ درجه سانتی‌گراد به عنوان تیمار بهینه عمل کرد. به عبارتی استفاده از ۰/۵ درصد آنزیم بدون کاهش چشمگیر در ویژگی‌های بافتی نظیر سختی، به هم پیوستگی و کشسانی ژل سوریمی تولیدی به کاهش استفاده از نمک از مقدار ۲/۵ درصد به ۱/۲۵ درصد منجر شد. براساس نتایج، با افزایش مقدار آنزیم میزان ظرفیت نگهداری آب (WHC) به طور معناداری کاهش یافت ($p < 0.05$). از سویی دیگر با کاهش مقدار آنزیم و نمک شاخص سفیدی و روشنایی بافت ژل سوریمی افزایش یافت. تأثیر همزمان افزایش نمک و کاهش دمای قوام‌یابی منجر به افزایش معنادار عامل قرمزی (a^*) شد ($p < 0.05$). از سوی دیگر تأثیر آنزیم به تنهایی بر مقدار زردی (b^*) معنادار نبود درحالی‌که تأثیر همزمان افزایش مقدار آنزیم و دما منجر به افزایش معنادار عامل b^* شد ($p < 0.05$).

کلید واژگان: سوریمی، کپور سرگنده، آنزیم ترانس گلوتامیناز، ظرفیت نگهداری آب

۱- مقدمه

فراورده‌های تقلیدی همچون پای خرچنگ، اویستر و لابستر و دیگر محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع سوریمی به عنوان منبع بزرگی از مواد مغذی شناخته می‌شود که در پاسخ به افزایش تقاضا در

سوریمی واژه‌ای ژاپنی است که به گوشت ماهی استخوان‌گیری شده، چرخ شده و شسته شده با آب اطلاق می‌شود و به عنوان محصولی حد واسط در تولید

خصوص تولید محصولات غذایی با میزان کلسترول و چربی کم تولید می‌شود (Hajidoun and Jafarpour, 2013). تولید جهانی سوریمی در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۱ به حدود ۸۰۰ هزار میلیون تن رسید، در این بین سوریمی تولیدشده از ماهیان سردآبی ۲۵۰ هزار میلیون بود که سهم ماهی پولاک به عنوان اصلی‌ترین منبع مورد استفاده در صنعت سوریمی ۲۲۰ هزار میلیون بود (Park, 2013). با توجه به افزایش جمعیت جهان و کاهش و بعضاً تهی شدن ذخایر ماهیان و همچنین به دلیل وضع قوانین محدودکننده صید و در نتیجه کاهش تولید سوریمی تولیدشده از ماهی پولاک آلاسکا، تقاضا برای تولید سوریمی با کیفیت متوسط و ارزان‌تر افزایش یافته که این امر ضرورت استفاده از گونه‌های جدید را به امری مبرم مبدل کرده است. در این بین، پیشرفت‌های انجام‌شده در صنعت منجر به تولید و به‌کارگیری سوریمی با درجه کیفیت پایین در تولید گستره‌ای از محصولات مبتنی بر سوریمی شد (Park, 2013). همچنین با توجه به صید بی‌رویه ماهیان و تهی شدن صیدگاه‌های موجود در سرتاسر جهان، ناوگان‌های ماهیگیری باید سفرهای طولانی‌تری را به منظور صید ماهی در دستور کار خود قرار دهند که این امر منجر به تولید ماده خام با کیفیت پایین به عنوان ماده اولیه تولید سوریمی می‌شود (Benjakul et al., 2002). از این رو در این بین سهم گونه‌های جایگزین از قبیل گونه‌های مناطق گرمسیری مانند سیم باله نخعی (*Nemipterus virgatus*)، مارمولک ماهی (*Saurida spp*) به ۵۰۰ هزار میلیون تن رسیده است. همچنین سوریمی تولید شده از گونه‌های پرورشی مانند کپور و گربه ماهیان (*Pangasius*) نقش مهمی را در پاسخگویی به نیاز بازار

جهانی ایفا می‌کند. در این بین کشور چین که به عنوان یکی از کشورهای پیشرو در زمینه تولید سوریمی از گونه‌های آب شیرین به ویژه کپور شناخته می‌شود، تولید خود را در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۱ به حدود ۳۰ هزار میلیون تن رسانید که نشان‌دهنده پتانسیل این نوع از منابع در تأمین نیاز روزافزون بازار است (Park, 2013). با توجه به تحقیقات انجام شده و کاهش سریع منابع دریایی، بخش آبی‌پروری به منظور پوشش دادن خلأ موجود در بین عرضه و تقاضا در خصوص غذای دریایی رشد یافته و به سمت پرورش آبزیان از جمله ماهیان گرمابی، به صورت پرورش در محیط بسته و در استخرهای پرورش ماهی سوق یافته است (Hajidoun and Jafarpour, 2013). در این بین سوریمی تولید شده از ماهیان پرورشی مانند کپور ماهیان می‌تواند به عنوان منبعی مناسب تلقی شود (Park, 2013). در ایران میزان تولید ماهیان گرمابی از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱ از میزان ۵۴۸۰۱ تن به ۱۵۴۵۶۵ تن رسیده است، که با وجود سهم ۳ تا ۵ درصدی کپور سرگنده در سیستم کشت توأم، میزان تولید این ماهی رقم قابل توجهی را خواهد داشت (Iran Fisheries Organization, 2013). ماهی کپور سرگنده به عنوان یکی از ماهیان پرورشی کشور به علت رژیم غذایی کم‌هزینه و سطوح پایین زنجیره غذایی به مقدار قابل توجهی پرورش می‌یابد و از آنجایی که این ماهی در رقابت با ماهیان خوش خوراک‌تر، ماهی کم مصرفی محسوب می‌گردد؛ تولید فراورده‌های متنوع از این ماهی برای ترویج مصرف آن ضروری به نظر می‌رسد. درباره ژل سوریمی، افزایش ویژگی‌های بافتی نظیر رنگ، ظرفیت نگهداری آب (WHC)، رطوبت قابل قبول و استحکام ژل به منظور

افزایش کیفیت محصولات مبتنی بر سوریمی و در نتیجه میزان مقبولیت آن در نظر مصرف کنندگان بسیار حائز اهمیت است (Hajidoun and Jafarpour, 2013). با تمام این تفاسیر مشکل عمده در خصوص تولید سوریمی از ماهیان گرمابی کیفیت بافتی پایین تر ژل آنها در مقایسه با ماهیان تجاری از قبیل پولاک آلاسکا (*Theragra chalcogramma*) و سمیم باله نخسی (*Nemipterus virgatus*) است. خصوصیات بافتی، اولین عاملی است که ویژگی های کیفی نظیر رنگ، بافت، قدرت تشکیل ژل و قیمت سوریمی را مشخص می کند. به دلیل اینکه خمیر سوریمی مشتق شده از ماهیان آب شیرین توانایی تشکیل ژل متوسطی را از خود نشان می دهد و نگهداری آن به صورت منجمد بر ویژگی های پروتئینی آن تأثیر منفی می گذارد، از این رو اصلاح ویژگی های بافتی و تغییر پذیری آب آن نیاز است (Hajidoun and Jafarpour, 2013). به منظور بهبود ویژگی های کارکردی ژل، مانند بافت و رنگ سوریمی، برخی از افزودنی های غذایی مانند پروتئین های عضلانی و غیر عضلانی (مانند پروتئین آب پنیر، سفیده تخم مرغ، پروتئین پلاسما گاو) نشاسته (مانند نشاسته گندم، ذرت، سیب زمینی و غیره) هیدروکلوئیدها (کاراگینان، آلژینات) و آنزیم ها از جمله آنزیم ترانس گلوتامیناز به سوریمی اضافه می شود (Duangmal and Taluengpohl, 2010). افزودنی های پروتئینی با فعالیت بازدارندگی پروتئولیتیکی (مانند سیستماتین موجود در سفیده تخم مرغ) و یا تشکیل دهنده های باندهای عرضی مانند آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTGase) به صورت گسترده ای در سوریمی به کار گرفته شد (Kaewudom et al., 2012). از دیدگاه شیمیایی، آنزیم ها ترکیبات

پروتئینی هستند که در تمام موجودات زنده وجود دارند. این ترکیبات بدون آنکه در طول این فرایند دستخوش تغییرات قرار گیرند، متابولیسم سلولی را کنترل می کنند. امروزه آنزیم ها، از میکروارگانیسم ها و طی فرایند تخمیر به دست می آیند. این ترکیبات به طور مستقیم به مواد غذایی اضافه می شوند و با مقادیر بسیار جزئی، تأثیرهای خود را به جای می گذارند. آنزیم ترانس گلوتامیناز، مانند بیشتر آنزیم ها به عنوان یک عامل کمکی در فرایندها به کار برده می شود، بنابراین در دامنه قوانین و مقررات مواد افزودنی قرار نمی گیرد؛ به همین دلیل در قوانین جاری و فعلی نیازی به بحث درباره آن دیده نشده است. آنزیم ترانس گلوتامیناز با نام تجاری ۲،۳،۳،۱۳ EC جزء آنزیم های ترانسفراز بوده که واکنش انتقال آسیل را کاتالیز می کند و با ایجاد باندهای کووالانسی بین پروتئین ها منجر به بهبود ویژگی های بافتی و افزایش کیفیت محصولات غذایی می شود. گروه γ -carboxyamide اسید آمینه گلوتامین به عنوان دهنده آسیل عمل کرده، درحالی که گروه آمینو (ϵ -amino) اسید آمینه لیزین به عنوان گیرنده آسیل بوده و در نتیجه آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی با کاتالیز کردن این واکنش منجر به شکل گیری پیوند ϵ -(γ -Glutamyl)-Lysine شده و از این طریق سبب بهبود ویژگی های عملکردی پروتئین های غذایی می شود. این آنزیم نقش مهمی در تشکیل اتصالات عرضی در بین پروتئین های عضله ماهی ایفا می کند که منجر به بهبود کیفیت ژل تولیدی می گردد (Chanart and Benjakul, 2013).

پژوهش های مختلفی درباره تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر روی ویژگی های بافتی سوریمی تهیه شده از ماهیان مختلف انجام شده است که از جمله می توان به

پیژوهش‌های Hsieh و همکاران (۲۰۰۲)،
Yongsawatidgul و Piyadhamviboon (۲۰۰۵)،
Cardoso و همکاران (۲۰۱۰)، Cardoso و همکاران
(۲۰۱۱) و Kaewudom و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ مواد

آنزیم ترانس گلوتامیناز (Activia WM) از شرکت
آجینوموتو فرانسه با فعالیت ۱۰۰ واحد بر گرم که شامل
۹۹ درصد مالتو دکسترین و ۱ درصد آنزیم می‌باشد،
تهیه گردید.

۲-۲ آماده‌سازی خمیر سوریمی

آماده‌سازی سوریمی براساس دستورالعمل
Jafarpour and Gorczyca (۲۰۰۹) انجام شد. بدین
منظور ماهی کپور سرگنده از بازار ماهی‌فروشان ساری
تهیه شد و پس از قرارگیری در محفظه حاوی یخ،
بلافاصله به پابلوت فراوری دانشگاه کشاورزی و منابع
طبیعی ساری انتقال داده شد. پس از سرزنی، تخلیه
شکمی و شست‌وشو، پوست ماهی و استخوان‌های آن
به‌صورت دستی زدوده شد و گوشت آن با استفاده از
چرخ‌گوشت با منفذ ۲ میلی‌متر چرخ گردید. سپس
گوشت چرخ‌شده با آب سرد (۵ تا ۸ درجه سانتی‌گراد)
به مدت ۵ دقیقه شسته شد، بدین صورت که نسبت
گوشت چرخ‌شده به آب ۴:۱ (W/W) بود که در آن از ۱
قسمت گوشت و ۳ قسمت آب استفاده شد. عمل شستن
۳ مرتبه تکرار شد. به‌منظور خروج آب جذب شده
توسط پروتئین‌های میوفیبریل، در مرحله آخر
شست‌وشو مقدار ۰/۳ درصد نمک طعام به مخلوط آب
و گوشت اضافه شد. در پایان گوشت چرخ‌شده

شسته‌شده با استفاده از پارچه تنظیف با چشمه ۱
میلی‌متر فیلتر شد و در نهایت با استفاده از مولینکس
به مدت ۲ دقیقه چرخ گردید (Jafarpour and
Gorczyca, 2009).

۲-۳ آماده‌سازی ژل سوریمی

سوریمی پس از آماده‌سازی در دستگاه مولینکس به مدت
۲ دقیقه چرخ شد. سپس نمک سدیم کلرید (۰ تا ۲/۵
درصد) و آنزیم (۰/۵ تا ۱ درصد) به خمیر سوریمی
اضافه و به مدت ۳ دقیقه چرخ گردید. به‌منظور موازنه
جرم نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف آنزیم، مقادیر
مشخصی از آنزیم غیرفعال شده در دمای ۹۰ درجه
(به مدت ۵ دقیقه) به نمونه‌های دارای مقدار آنزیم کمینه
و حد متوسط اضافه شد. دمای خمیر در تمامی مراحل
زیر ۱۵ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. در حین چرخ
کردن مقداری آب و یخ به مخلوط اضافه شد تا علاوه
بر تنظیم دمای خمیر سوریمی میزان رطوبت نیز در حد
۸۰ درصد نگاه داشته شود. سپس نمونه خام در روکش
سوریمی با قطر ۳۰ میلی‌متر قرار داده شد و در دماهای
مورد نظر (جدول ۱) به مدت یک ساعت در آون قرار
گرفت و پس از آن به‌منظور پخت در دستگاه بن‌ماری
(دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه) قرار
گرفت. به‌منظور جلوگیری از تأثیر دما بر بافت، ژل‌های
سوریمی پس از پخت به سرعت در آب سرد قرار گرفت
و سپس پیش از انجام آنالیزهای مربوطه در دمای ۵ تا ۸
درجه سانتی‌گراد به مدت یک شبانه روز در یخچال
نگهداری شد (Yongsawatidgul and Piyadhamviboon, 2005).

۲-۴ آنالیز پروفیل بافت (TPA)

سرگنده تولید شده با غلظت‌های متفاوت آنزیم از رابطه زیر به دست آمد (Hajidoun and Jafarpour, 2013).

$$WHC \text{ g/kg} = [1 - Mw/Ms]1000$$

Mw = جرم ثانویه نمونه

Ms = جرم اولیه نمونه

۲-۷ آنالیز رنگ

بررسی ویژگی‌های رنگی با دستگاه رنگ‌سنج مدل IMG-Pardazesh Cam-System XI (شرکت ابزارکاران فن پویای شمال-ایران) انجام شد که در آن شاخص‌های روشنایی (L)، قرمزی (a)، زردی (b) اندازه‌گیری گردید، بدین صورت که رنگ ۵ نقطه از سطح نمونه اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از معادله زیر میزان سفیدی (W) نمونه‌ها به دست آمد. (Chanart et al., 2011).

$$100 - [100 - [L^2 + a^2 + b^{20}]]^{1/2}$$

۲-۸ آنالیز آماری

این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت (ورژن ۷) و به روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) (Central Composite Design) به صورت Rotatable در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد که در آن تعداد ۲۰ بلوک بررسی گردید و از این ۲۰ بلوک، ۶ نقطه به عنوان نقطه مرکزی در نظر گرفته شد.

در این آزمون مقادیر سختی (حداکثر ارتفاع نقطه اوج منحنی در اولین فشردگی و در اصطلاح کیفیت خوراکی، مقاومت ماده غذایی در اولین عمل گاز زدن ماده غذایی)، به هم پیوستگی (نرخ سطح منطقه مثبت منحنی دوم به اول و در اصطلاح کیفیت غذایی حفظ مقاومت ماده غذایی در طی جویدن)، کشسانی (نرخ ارتفاع مشخص ماده غذایی در مرحله دوم فشردگی به ارتفاع ابتدایی ماده غذایی و در واقع توانایی ماده غذایی در بازیابی شکل و اندازه اولیه خود در اولین عمل گاز زدن ماده غذایی) و قابلیت جویدن (عاملی است که از دو عامل خاصیت صمغی شدن (استحکام مورد نیاز در فرایند جویدن) و کشسانی به دست می‌آید و در واقع انرژی صرف شده در فرایند جویدن است)، نمونه (۲ سانتی‌متر × ۲ سانتی‌متر) توسط دستگاه بافت‌سنج مدل (TC3, Brookfield) با پروب استوانه‌ای با قطر ۵۰ میلی‌متر در سرعت ۱ mm/s و نیروی ۰/۱ N و لود سل^۱ ۱۰۰۰۰g در طی یک آزمون دو مرحله‌ای اندازه‌گیری شد که در آن نمونه به اندازه ۵۰ درصد طول اولیه فشرده گردید (Duangmal and Taluengpohl, 2010).

۲-۵- تعیین ظرفیت نگهداری آب

بررسی ظرفیت نگهداری آب براساس روش Hajidoun and Jafarpour (۲۰۱۳) انجام شد. برای هر تیمار ۵ گرم نمونه جدا و در کاغذ واتمن (شماره ۴۱) پیچیده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دور ۱۷۰۰×g سانتریفیوژ گردید. ظرفیت نگهداری آب سوریمی تهیه شده از ماهی کپور

1-Load cell

جدول ۱ نمایش متغیرهای مستقل فرایند و سطوح آنها

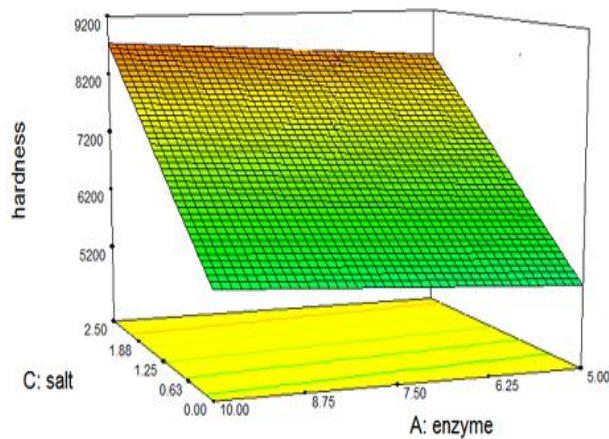
کمینه	حد وسط	بیشینه	-آلفا	+آلفا		
-۱	۰	+۱				
۰/۵	۰/۷۵	۱	-۲/۷۳۸۵۲	۱۳/۲۳۸۵	X۱	غلظت آنزیم
۰	۱/۲۵	۲/۵	-۰/۸۵۲۲۴۱	۳/۳۵۲۲۴	X۲	غلظت نمک
۳۵	۴۰	۴۵	۳۱/۵۹۱	۴۸/۴۰۹	X۳	دما

۳- نتایج

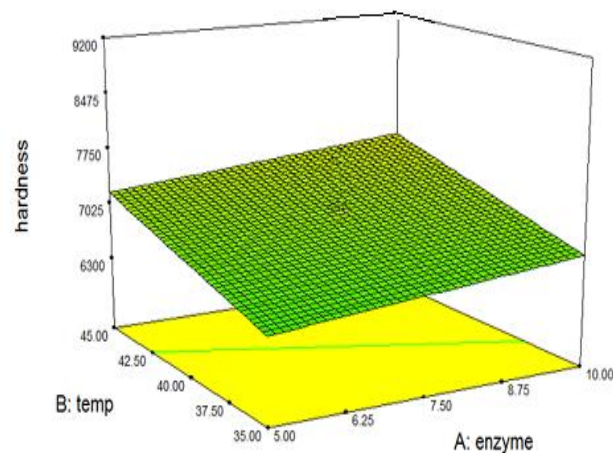
۳-۱- سختی

با توجه به اینکه در این پژوهش از غلظت صفر آنزیم در تیماربندی استفاده نشد، نتایج نشان داد با وجود اینکه با افزایش غلظت آنزیم میزان سختی ژل سوریمی افزایش یافت، اما این افزایش معنادار نبود ($p > 0/05$). با وجود این تأثیر نمک در تمامی تیمارها معنادار بود و افزایش آن منجر به افزایش سختی شد ($p < 0/05$). شکل ۱ بیانگر رابطه بین غلظت آنزیم و نمک و تأثیر معنادار نمک بر میزان سختی بافت ژل سوریمی است و نشان‌دهنده این مطلب است که با افزایش نمک، عملکرد آنزیم افزایش یافته و منجر به افزایش سختی می‌شود. تأثیر دما و آنزیم بر سختی ژل سوریمی در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل بیانگر این مطلب است که افزایش دما از ۳۵ درجه سانتی‌گراد به ۴۵ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش معنادار میزان سختی ژل سوریمی نشد ($p > 0/05$). توجه به این نکته حائز اهمیت است که نتایج حاصل از آزمون صورت

گرفته بر روی تیمار بهینه دارای آنزیم فعال و تیمار بهینه با همان غلظت نمک اما دارای آنزیم غیرفعال (به منظور مقایسه تأثیر آنزیم فعال) نشان داد که تأثیر آنزیم بر مقدار سختی نمونه بسیار معنادار بود، بدین صورت که مقدار سختی از ۳۱۰۹ گرم در نمونه حاوی آنزیم (در فرم غیرفعال) به ۶۵۳۶/۵ گرم در نمونه دارای آنزیم (در فرم فعال) افزایش یافت ($p < 0/05$). در این بین تیمار حاوی حداکثر مقدار نمک (۲/۵ درصد) که ۰/۵ درصد آنزیم بود دارای سختی معادل ۸۷۳۰/۵ بود که از مقایسه آن با مقدار سختی به دست آمده از تیمار بهینه (۶۵۳۶/۵) و با توجه به حفظ ساختار یکپارچه (بدون ایجاد شکاف و پارگی) موجود در ساختمان ژل سوریمی تیمار بهینه این چنین نتیجه‌گیری می‌شود که می‌توان با استفاده از حداقل مقدار نمک و ترکیب آن با آنزیم ترانس‌گلو تامیناز میکروبی، به سختی پذیرفته شده‌ای در سوریمی به دست آمده از کپور سرگنده دست یافت.



شکل ۱ رابطه آنزیم و نمک بر سختی سوریمی



شکل ۲ رابطه آنزیم و دما بر سختی ژل سوریمی

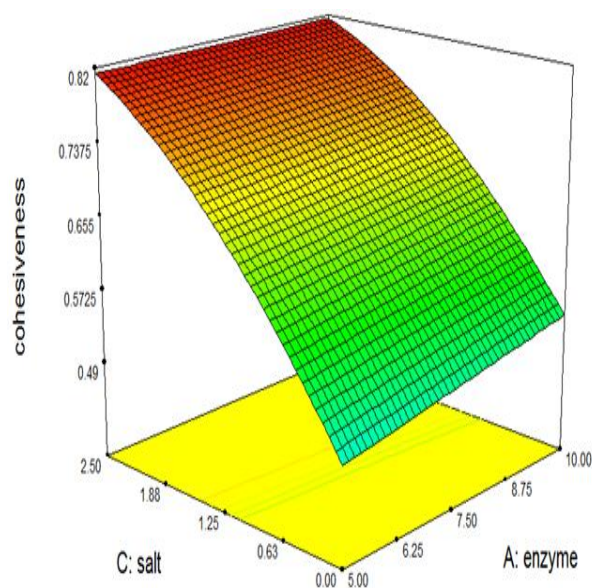
۲-۳ به هم پیوستگی

تأثیر افزایش نمک بر عامل به هم پیوستگی بسیار معنادار بود ($p < 0.05$)، اما با افزایش مقدار آنزیم از مقدار ۰/۵ درصد به ۱ درصد تأثیر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد ($p > 0.05$). این درحالی است که استفاده از نمک و افزایش آن، تأثیر قابل توجهی را بر عملکرد آنزیم و در نهایت بر به هم پیوستگی ژل سوریمی داشت. بدین صورت که در نمونه حاوی آنزیم ۰/۵ درصد (فاقد نمک) مقدار به هم

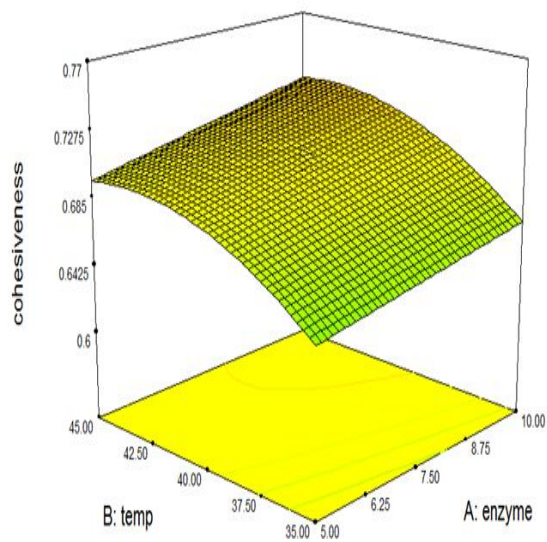
پیوستگی کمتر از ۰/۵ بود، این درحالی است که با افزایش مقدار نمک از صفر به ۲/۵ درصد مقدار به هم پیوستگی به حدود ۰/۸۲ رسید (شکل ۳). بررسی پروفیل بافت نمونه بهینه نشان داد که با کاهش مقدار نمک به ۱/۲۵ و به کارگیری حداقل غلظت آنزیم (۰/۵ درصد) مقدار به هم پیوستگی بافت به ۰/۷۷ رسید که این مقدار در مقایسه با تیمار بهینه حاوی آنزیم غیرفعال که در آن میزان به هم پیوستگی ۰/۶۳ بود، اختلاف چشمگیری را نشان می‌دهد

استفاده از نمک گردید. شکل ۴ نیز نشان‌دهنده رابطه بین آنزیم و دما می‌باشد و بیان‌کننده این مطلب است که افزایش دما از ۳۵ به ۴۵ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش معنادار به هم پیوستگی ژل سوریمی می‌شود.

که نشان از تأثیر آنزیم در بهبود پیوستگی ژل سوریمی دارد. همچنین با مقایسه این مقدار با تیمار حاوی حداکثر مقدار نمک (۲/۵ درصد) مشاهده می‌شود که استفاده از ۰/۵ درصد آنزیم در ترکیب با ۱/۲۵ درصد نمک، بدون کاهش چشمگیر در میزان به هم پیوستگی منجر به کاهش



شکل ۳ رابطه آنزیم و نمک بر به هم پیوستگی ژل سوریمی

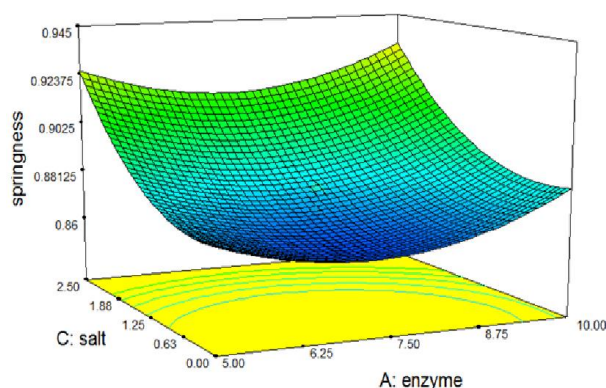


شکل ۴ رابطه آنزیم و دما بر به هم پیوستگی ژل سوریمی

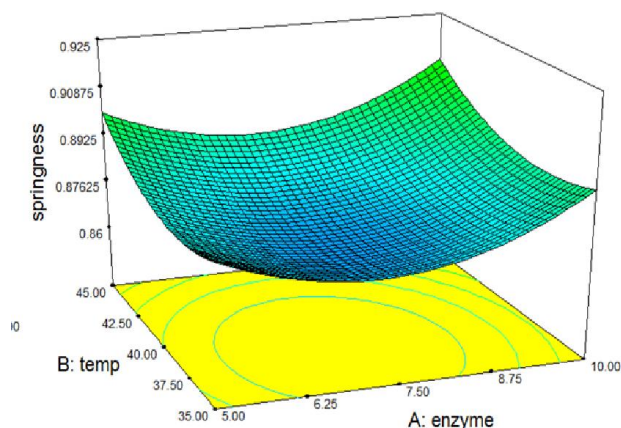
۳-۳ کشسانی

ژل سوریمی شد، اما این تأثیر معنادار نبود ($p > 0.05$). بررسی تیمار بهینه حاوی آنزیم فعال و غیرفعال نشان داد که مقدار کشسانی از ۰/۸۹۵ در نمونه حاوی آنزیم غیرفعال به ۰/۹۲ در نمونه حاوی آنزیم فعال افزایش یافت. همچنین با مقایسه مقدار عددی شاخص کشسانی تیمار بهینه با تیمار حاوی حداکثر مقدار نمک (۲/۵ درصد) که برابر با ۰/۹۴۵ است، مشاهده می‌شود که استفاده از حداقل مقدار نمک در ترکیب با آنزیم، بدون کاهش چشمگیر در خاصیت کشسانی منجر به کاهش استفاده از نمک گردید.

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، همانند شاخص‌های پیشین، افزایش آنزیم از مقدار ۰/۵ درصد به ۱ درصد منجر به افزایش خاصیت کشسانی شد اما این افزایش معنادار نبود ($p > 0.05$). در این بین تأثیر افزایش نمک بسیار معنادار بود ($p < 0.05$)، بدین صورت که همانند شاخص‌های قبلی، با افزایش مقدار نمک از صفر به ۲/۵ درصد و در نتیجه با افزایش عملکرد آنزیم، مقدار خاصیت کشسانی به بیش از ۰/۹۲ افزایش یافت. براساس شکل ۶ دما هم مانند نمک در دماهای بالاتر باعث افزایش کشسانی



شکل ۵ رابطه آنزیم و نمک بر خاصیت کشسانی

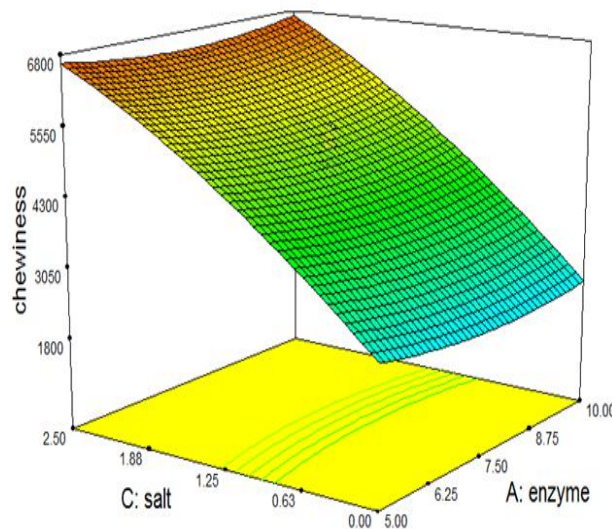


شکل ۶ رابطه آنزیم و دما بر خاصیت کشسانی

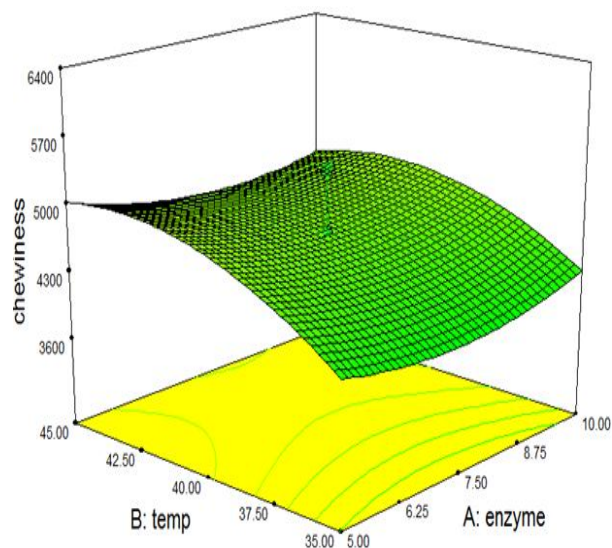
۳-۴ قابلیت جویدن

قابلیت جویدن شاخصه‌ای است که نشان‌دهنده کیفیت ویژگی‌های بافت محصول و یکی از شاخص‌های مؤثر در ارزیابی کیفیت بافت مواد غذایی است. شکل ۷ نشان می‌دهد که افزایش مقدار آنزیم بر قابلیت جویدن تأثیر چندانی نگذاشته است، اما با افزایش مقدار نمک این قابلیت افزایش چشمگیری را پیدا کرده است ($p < 0.05$). شکل ۸ بیانگر این مطلب است که با افزایش دما قابلیت جویدن در مقدار ثابت آنزیم افزایش یافت این در حالی بود که با افزایش مقدار آنزیم در دمای ثابت تفاوت

معناداری مشاهده نشد ($p > 0.05$). بررسی تیمار بهینه حاوی آنزیم فعال و غیرفعال نشان داد که مقدار قابلیت جویدن از ۱۷۶۶/۵ در نمونه حاوی آنزیم غیرفعال به ۴۶۱۸ در نمونه حاوی آنزیم فعال افزایش یافت که نشان از تأثیر آنزیم بر افزایش میزان قابلیت جویدن سوریمی تولیدی دارد. همچنین با مقایسه مقدار قابلیت جویدن تیمار بهینه با تیمار حاوی حداکثر مقدار نمک که برابر با ۶۸۴۰/۵ می‌باشد، مشاهده می‌شود که با کاهش مقدار نمک به ۱/۲۵ درصد می‌توان بدون کاهش چشمگیر در این شاخصه مقدار نمک را به نصف کاهش داد.



شکل ۷ رابطه آنزیم و نمک بر قابلیت جویدن



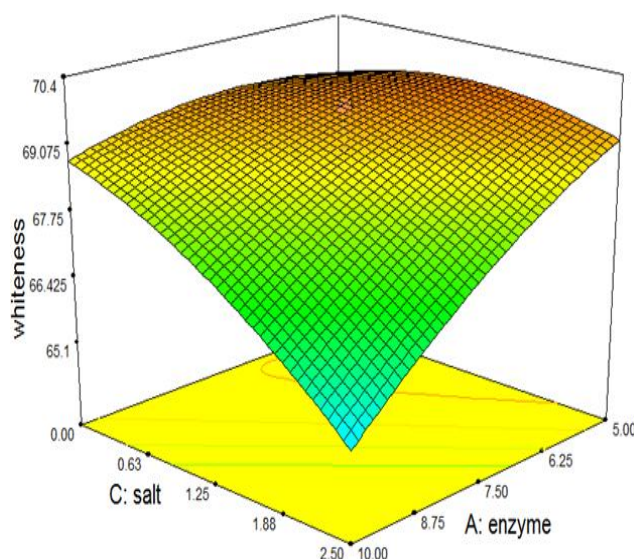
شکل ۸ رابطه آنزیم و دما بر قابلیت جویدن

۳-۵ شاخص‌های رنگ

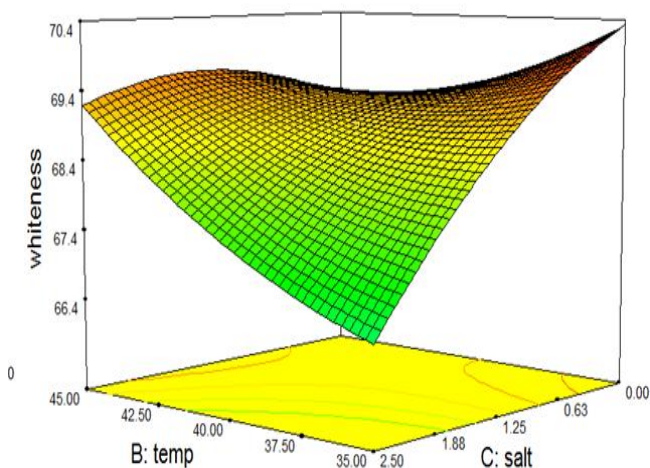
سفیدی (W)

نتایج نشان داد تأثیر آنزیم و نمک به طور جداگانه بر روی عامل سفیدی معنادار ($p < 0.05$) بود، اما تأثیر دما معنادار نبود ($p > 0.05$). در عین حال تأثیر همزمان آنزیم و نمک و همچنین نمک و دما بر روی عامل سفیدی معنادار بود ($p < 0.05$). تأثیر آنزیم و نمک بر میزان سفیدی نیز در شکل ۹ نشان داده شده است و بیانگر این مطلب است که با کاهش نمک و غلظت آنزیم، سفیدی افزایش یافت.

شکل ۱۰ نیز نشان‌دهنده تأثیر نمک و دما بر میزان سفیدی بافت ژل سوریمی است. این شکل نشان‌دهنده این مطلب است که با افزایش دما و کاهش درصد نمک میزان سفیدی نمونه افزایش یافت. همچنین نتایج به دست آمده از مقایسه میزان سفیدی تیمار بهینه حاوی آنزیم فعال و غیرفعال نشان داد که میزان سفیدی از ۷۱/۸۵ در نمونه حاوی آنزیم فعال به ۷۵/۲۷ در نمونه حاوی آنزیم غیرفعال افزایش یافت ($p < 0.05$) که نشان می‌دهد با حذف آنزیم میزان سفیدی نمونه افزایش می‌یابد.



شکل ۹ رابطه آنزیم و نمک بر عامل سفیدی



شکل ۱۰ رابطه نمک و دما بر عامل سفیدی

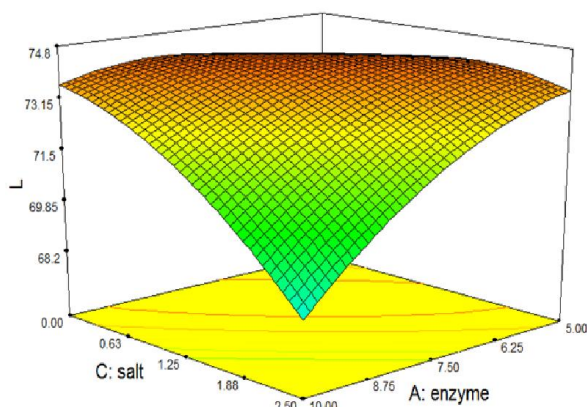
روشنایی (L)

نتایج حاکی از آن بود که تأثیر هر سه عامل مستقل آنزیم، نمک و دما بر میزان روشنایی ژل تولیدی معنادار بود و نتایج به دست آمده از برهم کنش همزمان عوامل مذکور نشان دهنده این مطلب بود که تنها تأثیر همزمان آنزیم و نمک معنادار گردید ($p < 0.05$). در شکل ۱۱ تأثیر همزمان

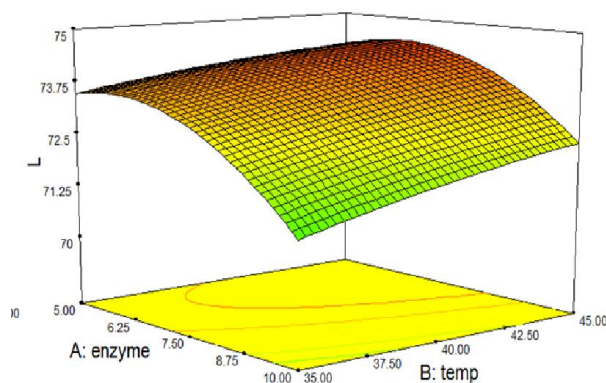
آنزیم و نمک نشان داده شد که براساس آن مشخص گردید که با افزایش مقدار نمک از مقدار عامل روشنایی نمونه کاسته می شود. شکل ۱۲ نشان دهنده تأثیر آنزیم و دما بر میزان روشنایی نمونه است. این شکل بیانگر آن است که با افزایش دما و کاهش غلظت آنزیم میزان روشنایی نمونه افزایش یافت. نتایج حاصل شده از مقایسه تیمار بهینه

حاصل از میزان سفیدی، نشان از کاهش میزان روشنایی در اثر افزایش آنزیم دارد.

حاوی آنزیم فعال و غیرفعال نشان داد که میزان روشنایی از ۷۴ در نمونه حاوی آنزیم فعال به ۷۷/۸ در نمونه حاوی آنزیم غیرفعال افزایش یافت ($p < 0.05$) که همانند نتایج



شکل ۱۱ رابطه آنزیم و نمک بر عامل روشنایی



شکل ۱۲ رابطه آنزیم و دما بر عامل روشنایی

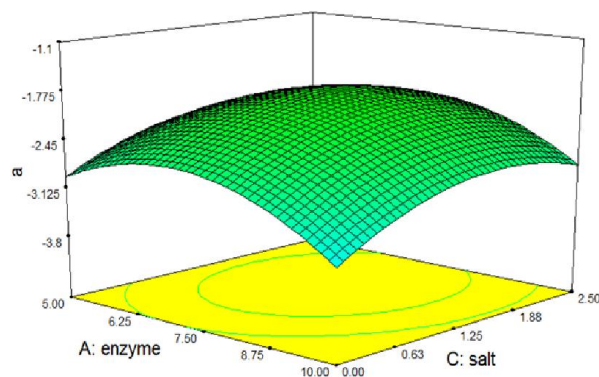
تأثیر توأم دما و نمک بر روی قرمزی بافت ژل سوریمی معنادار بود ($p < 0.05$). شکل ۱۳ بیانگر تأثیر آنزیم و نمک بر میزان قرمزی نمونه ژل تولیدی است و نشان‌دهنده این است که با افزایش مقدار نمک و کاهش آنزیم رنگ نمونه به سمت قرمز بودن سوق پیدا می‌کند. شکل ۱۴ بیانگر تأثیر نمک و دما بر روی عامل قرمزی ژل سوریمی است. آنچه

قرمزی (a)

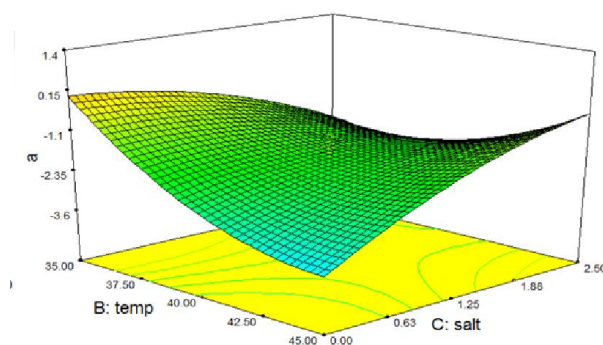
براساس نتایج به‌دست آمده هیچ یک از عوامل مستقل غلظت آنزیم، دما و نمک تأثیر معناداری بر میزان قرمزی ژل تولیدی نداشتند، اما باوجود معنادار نبودن هیچ‌کدام از عوامل مذکور با افزایش مقدار نمک، کاهش آنزیم و دما به میزان قرمزی ژل تولیدی افزوده شد. اگرچه در این بین

نمونه حاوی آنزیم فعال به $1/8$ - در نمونه بدون آنزیم افزایش یافت که این نتیجه نشان از تأثیر حذف آنزیم در افزایش میزان قرمزی نمونه‌های تولیدی دارد.

که از این شکل استنباط می‌شود نشان از افزایش مقدار قرمزی در هنگام کاهش دما و افزایش درصد نمک دارد. نتایج به دست آمده از مقایسه تیمار بهینه حاوی آنزیم فعال و غیرفعال نشان داد که میزان این شاخصه از $2/8$ - در



شکل ۱۳ رابطه آنزیم و نمک بر عامل قرمزی

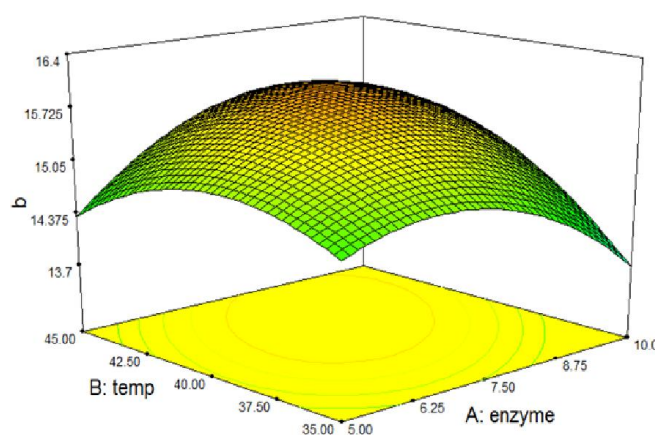


شکل ۱۴ رابطه نمک و دما بر عامل قرمزی

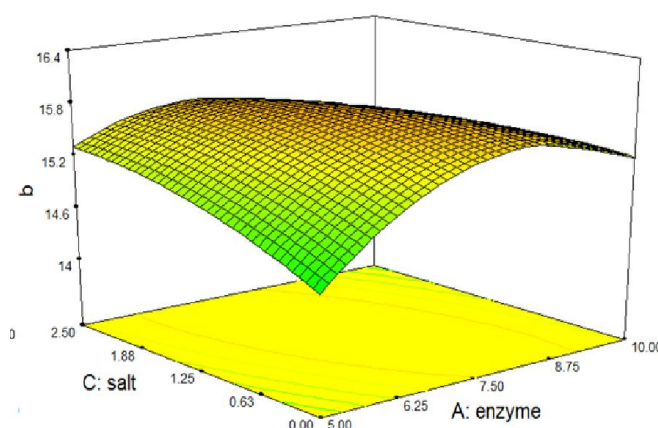
آنزیم و دما به صورت جداگانه منجر به کاهش عامل زردی می‌شود، درحالی‌که تأثیر همزمان این دو عامل منجر به افزایش معنادار عامل زردی می‌گردد. شکل ۱۶ نیز نشان می‌دهد با افزایش نمک مقدار زردی افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از بررسی تیمار بهینه حاوی آنزیم فعال و غیرفعال با روند کلی این شاخصه مغایرت داشت، از این رو از توصیف آن صرف‌نظر گردید.

زردی (b)

در این شاخصه با افزایش مقدار آنزیم و دما به طور همزمان مقدار زردی نمونه به طور معنادار افزایش یافت و همچنین از بین عوامل مستقل آنزیم، دما و نمک، تنها عامل دما دارای تأثیر معنادار بود. شکل ۱۵ بیانگر تأثیر همزمان آنزیم و دما بر روی مقدار زردی نمونه ژل سوریمی است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، افزایش مقدار



شکل ۱۵ رابطه آنزیم و دما بر روی عامل زردی

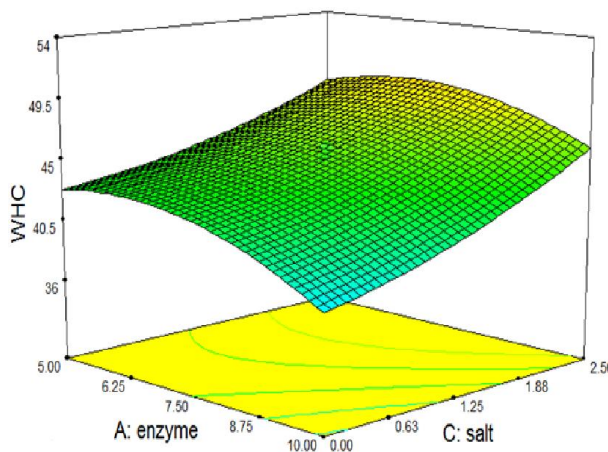


شکل ۱۶ رابطه آنزیم و نمک بر روی عامل زردی

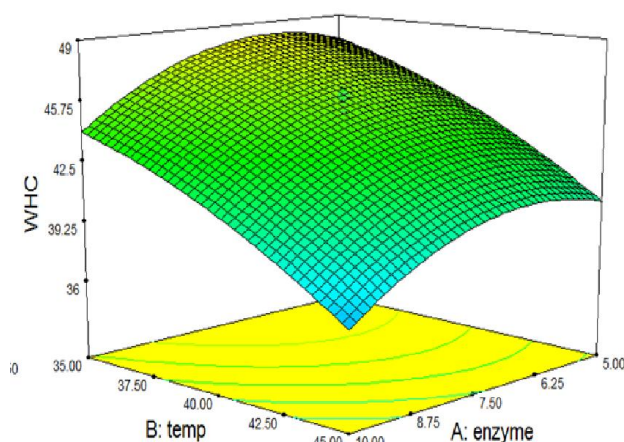
۳-۶ ظرفیت نگهداری آب (WHC)

بیشترین مقدار WHC مشاهده گردید. همان‌طور که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود با کاهش دما مقدار WHC افزایش یافت. نتایج حاصل شده از مقایسه تیمار بهینه حاوی آنزیم فعال و غیرفعال نشان داد که مقدار WHC از ۵۲/۶۶ در نمونه حاوی آنزیم فعال به ۷۷/۷۷ در نمونه حاوی آنزیم غیرفعال افزایش یافت ($p < 0.05$) که نشان از افزایش مقدار WHC در هنگام حذف آنزیم دارد.

نتایج نشان داد هر سه عامل مستقل آنزیم، دما و درصد نمک بر روی WHC تأثیر معناداری داشت ($p < 0.05$). شکل ۱۵ نشان‌دهنده تأثیر مقدار نمک و آنزیم بر WHC است. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار نمک از ۰ به ۲/۵ درصد و کاهش مقدار آنزیم از ۱۰ به ۰/۵ درصد مقدار WHC افزایش یافت. این شکل نشان‌دهنده وابستگی خطی مقدار WHC به میزان نمک است که در آن با افزایش نمک



شکل ۱۵ رابطه آنزیم و نمک بر عامل WHC



شکل ۱۶ رابطه آنزیم و دما بر عامل WHC

جدول ۲ مقایسه تیمار بهینه حاوی آنزیم فعال و تیمار بهینه حاوی آنزیم غیرفعال (

شاخصه	Coh	Hrd	Sprg	Chew	WHC	Whit	L*	a*
تیمار بهینه (آنزیم فعال)	۷۷	۶۵۳۶/۵	۰/۹۲	۴۶۱۸	۵۲/۶۶	۷۱/۸۵	۷۴	-۲/۸
تیمار بهینه (آنزیم غیرفعال)	۰/۶۳	۳۱۰۹	۰/۸۹۵	۱۷۶۶/۵	۷۷/۷۷	۷۵/۲۵	۷۷/۸	-۱/۸

شاخص‌ها در ژل تولیدشده گردید که نشان از تأثیر مثبت افزودن این آنزیم بر ساختار شبکه ژل سوریمی دارد.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در شاخص‌های آزمون TPA استفاده از آنزیم در حالت فعال در مقایسه با نوع غیرفعال آنزیم منجر به افزایش این

بحث

سختی

با توجه به نتایج بیان شده و با توجه به اینکه افزایش غلظت آنزیم منجر به افزایش معنادار سختی نشد، می‌توان بیان کرد که در واقع در غلظت کمینه آنزیم (۰/۵ درصد) تقریباً تمامی اتصالات عرضی زنجیره سنگین میوزین (MHC) تولید شده به وسیله آنزیم MTGase که منجر به ایجاد شبکه متراکم‌تر در پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش سختی می‌گردد، تشکیل شد. از سوی دیگر با توجه به تأثیر معنادار افزایش نمک در افزایش عملکرد آنزیم و متعاقب آن افزایش سختی می‌توان به این نکته اشاره کرد که آنزیم MTGase به‌منظور تأثیر مثبت بر سختی بافت ژل سوریمی به‌حداقل میزان نمک نیازمند است. بررسی‌های صورت گرفته نشان داده است که آنزیم MTGase برای تأثیر بر پروتئین‌های میوفیبریلی و افزایش اتصالات عرضی زنجیره سنگین میوزین در طی دوره قوام‌یابی به حداقل میزان نمک به‌منظور حل کردن این پروتئین‌ها و تشکیل باندهای کووالانسی ϵ -amino-(γ -glutamyl)-lysine نیاز دارد. در واقع همان‌طور که در پژوهش‌های دیگر به آن اشاره شده است، آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی به‌منظور تشکیل باندهای کووالانسی بین پروتئین‌ها نیاز دارد که این پروتئین‌ها حل (بازشدن ساختار پروتئین) شود، که این حالت در حین چرخ کردن گوشت ماهی حاوی نمک صورت می‌گیرد. در نهایت با توجه به پژوهش‌های انجام شده این پروتئین‌های حل شده به‌عنوان سوبسترای برای آنزیم ترانس گلوتامیناز به‌منظور تشکیل اتصالات عرضی عمل می‌کند (Uresti et al., 2004 و Cardoso et al., 2010). همچنین افزایش دما و تأثیر آن بر افزایش سختی مبین تأثیر آن بر بهبود فرایند باز شدن پروتئین‌های میوفیبریلی و در نتیجه تشکیل شبکه ژلی مستحکم‌تر است. به‌پیرو این

مطلب نتایج حاصل از آنالیز بافت ژل تهیه شده از گوشت خوک نشان داد که میزان سختی محصول با افزایش مقدار نمک و آنزیم MTGase افزایش یافت. در این بین آنزیم MTGase به‌تنهایی نتوانست میزان سختی بافت را افزایش دهد ولی در حضور نمک این عامل افزایش یافت (Pietrasik and Li-Chan, 2002). نتایج حاصل شده از تأثیر آنزیم و نمک بر ژل تولیدشده از اضافات به‌دست آمده از فیله ماهی کپور نقره‌ای نشان داد بیشترین میزان نمک منتج به بیشترین مقدار سختی در نمونه شد. زمانی که از ۱ درصد نمک استفاده شد تنها ۰/۳ درصد آنزیم برای به‌دست آوردن سختی مطلوب (۲۷۷۳ گرم) نیاز بود که این مقدار در مقایسه با نمونه بدون آنزیم (۶۷۱ گرم) افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد (Uresti et al., 2004). تأثیر توأم آنزیم MTGase و نمک بر ژل تولیدی از ماهی باس دریایی پرورشی (*Dicentrarchus labrax*) نشان داد تمام شاخص‌های TPA از جمله مقدار سختی افزایش چشمگیری را نسبت به نمونه بدون نمک دارا بودند که نتایج حاصل از پژوهش حاضر با این نتیجه در یک راستا بوده و نشان‌دهنده لزوم حداقل مقدار نمک به‌منظور تأثیر بهتر آنزیم بر ویژگی‌های بافتی است (Cardoso et al., 2010). نتایج حاصل شده از بررسی تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر ژل تهیه شده از ماهی باس دریایی نشان داد تأثیر این آنزیم (۰/۵ درصد) باعث افزایش سختی شد، بدین صورت که در حضور آنزیم سختی از ۱۰/۲ به ۱۷/۲ افزایش یافت که دلیل آن را با توجه به دیدگاه‌های مختلف موجود در پژوهش‌های انجام شده، شکل‌گیری باندهای دی‌سولفیدی و دیگر باندهای کووالانسی تحت تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز و در نتیجه افزایش سختی می‌دانند (Cardoso et al., 2011). نتایج

مشابه نیز در پژوهش‌های دیگر به‌دست آمده است (Cardoso et al., 2009; Moreno et al., 2008).

به‌هم پیوستگی

میزان به‌هم پیوستگی به‌دست آمده در این پژوهش به نحوی بود که در آن استفاده از تیمار بهینه حاوی نمک (۱/۲۵ درصد)، حداقل میزان آنزیم (۰/۵ درصد) و به‌کارگیری دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و در نهایت بررسی پروفیل بافت آن، منجر به تولید بافتی با میزان به‌هم پیوستگی ۰/۷۷ شد. این مقدار در تقابل با نمونه‌های بدون نمک اختلاف زیادی داشت و نشان از تأثیر متقابل نمک و آنزیم و لزوم به‌کارگیری حداقل مقدار نمک برای باز شدن ساختار پروتئین به‌منظور دسترسی به نقاط اعمال اثر آنزیم (لیزین و گلوتامین) دارد. همچنین این مقدار در مقایسه با تیمار حاوی مقدار یکسان آنزیم که در آن از حداکثر مقدار نمک (۲/۵ درصد)، که در واقع مقدار نمکی است که به‌طور معمول در تولید سوریمی فاقد ماده کمکی (آنزیم) استفاده می‌شود، استفاده شده بود و با در نظر گرفتن به‌هم پیوستگی حاصل شده از آن که معادل ۰/۸۱۵ بود، کیفیت بسیار قابل توجهی را نشان داد و بیانگر این مطلب است که با استفاده از آنزیم می‌توان بدون آنکه کاهش چشمگیری را در عامل به‌هم پیوستگی بافت ملاحظه کرد، مقدار استفاده از نمک را به نصف کاهش داد. همچنین افزایش دما و تأثیر آن بر افزایش سختی مبین تأثیر آن بر بهبود فرایند باز شدن پروتئین‌های میوفیبریلی و در نتیجه اعمال اثر مؤثر آنزیم در تشکیل شبکه ژلی مستحکم‌تر است. براساس نتایج مطالعه حاصل شده از بررسی تأثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر روی ژل تولیدشده از اضافات به‌دست آمده از فیله ماهی کپور نقره‌ای، صرف‌نظر از اینکه میزان به‌هم پیوستگی در ژل سوریمی تهیه شده از ماهی کپور نقره‌ای بسیار کم بود، اما

افزایش مقدار نمک به ۲ درصد به همراه ۰/۳ درصد آنزیم، میزان به‌هم پیوستگی را از ۰/۱۰۹ به ۰/۱۵۷ افزایش داد که نتیجه مطالعه حاضر با نتایج مطالعه مذکور همخوانی دارد و نشان‌دهنده ضرورت وجود حداقل میزان نمک به‌منظور باز شدن ساختار پروتئینی و در نتیجه افزایش نقاط اثر آنزیم و در نهایت دستیابی به ویژگی‌های بافتی مناسب است (Uresti et al., 2004). میزان به‌هم پیوستگی ژل سوریمی تهیه شده از ماهی باس دریایی پرورشی (*Dicentrarchus labrax*) که شاخص اصلی کیفیت ژل محسوب می‌شود در نمونه حاوی ۰/۵ درصد آنزیم از مقدار ۰/۵۶ به ۰/۶۱ افزایش یافت، این درحالی بود که افزایش مقدار نمک از ۰/۵ به ۲/۵ درصد تأثیر چندانی را بر به‌هم پیوستگی ژل نداشت، اما تأثیر همزمان نمک و آنزیم در مقایسه با نمونه شاهد بدون آنزیم منجر به افزایش ویژگی‌های بافتی شد (Cardoso et al., 2010 a). نتایج حاصل شده از بررسی تأثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی و فیبرهای غذایی (نخودفرنگی، اینولین ریشه کاسنی) بر روی سوریمی تهیه‌شده از ماهی ماکرل نشان داد که آنزیم مذکور به‌تنهایی توانست ویژگی به‌هم پیوستگی ژل سوریمی (شاخص اصلی و بنیادی کیفیت سوریمی) را از ۰/۲۷ به ۰/۷۲ شاهد به ۰/۷۲ در نمونه حاوی ۰/۵ درصد آنزیم برساند (Cardoso et al., 2009). در این باره پژوهش‌های دیگر با نتایج مشابه انجام شده است (Cardoso et al., 2011; Ramirez et al., 2007; Moreno et al., 2008).

کشسانی

نمک به‌دلیل در دسترس قرار دادن پروتئین‌ها از طریق تولید پروتئین‌های محلول در طی فرایند چرخ‌کردن و مخلوط‌سازی گوشت با نمک تأثیر مثبتی را بر ویژگی‌های مکانیکی بافت می‌گذارد و همچنین از این طریق باعث

می شود نقاط اثر آنزیم MTGase برای پدید آوردن اتصالات عرضی مهیا شود که در نتیجه منجر به افزایش کشسانی می شود. براساس پژوهش های انجام شده بر روی بررسی تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر محصولات مختلف، نتایج نشان داد که این آنزیم به دلیل افزایش تشکیل اتصالات عرضی بین پروتئین ها، منجر به شکل گیری مولکول های پروتئینی بزرگ و تشکیل ساختار ژلی بین این اجزا و در نتیجه باعث افزایش قابلیت ارتجاعی گردید. در واقع قابلیت ارتجاعی بیانگر خواص کشسانی ژل است (Ashrafi et al., 2015). در مقایسه با نمونه شاهد، استفاده از آنزیم باعث افزایش کشسانی ژل تهیه شده از ماهی کفال (*Mugil cephalus*) شد، اما تفاوت معناداری در هیچ یک از سطوح نمک (۱ درصد و ۲ درصد) مشاهده نشد ($p > 0.05$) (Ramirez et al., 2007). استفاده از غلظت ۰/۵ درصد آنزیم MTGase در ژل تولیدی از ماهی ماکرل منجر به افزایش کشسانی بافت از ۰/۵۲ به ۰/۸۵ شد که این نتیجه با نتایج حاصل از این پژوهش همخوانی دارد، بدین نحو که آنالیز نقطه بهینه حاوی ۰/۵ درصد آنزیم در مقایسه با نمونه دارای مقدار نمک مشابه و تیمار دمایی یکسان اما بدون حضور آنزیم ۰/۵ درصد نشان داد که میزان کشسانی از ۰/۸۸ به ۰/۹۲ افزایش یافت (Cardoso et al., 2009). پژوهش های مختلفی درباره بررسی تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر ژل تولیدی از گونه های مختلف ماهی صورت گرفته است که نشان از تأثیر مثبت آنزیم در هنگام به کارگیری حداقل مقدار نمک بر خاصیت کشسانی دارد (Cardoso et al., 2010 a; Cardoso et al., 2011; Uresti et al., 2004).

همان طور که اشاره شد ضرورت استفاده از نمک، نیازمند بودن آنزیم به حل شدن و باز شدن ساختمان پروتئین های میوفیبریلی است که این عمل با استفاده از نمک، حتی در مقادیر حداقل (۰/۲۵ درصد در پژوهش های دیگر و ۱/۲۵ درصد در پژوهش کنونی) و به علت وجود بارهای مثبت و منفی موجود در یون های نمک و تأثیر آن در شکل گیری هر چه بهتر شبکه پایدار سه بعدی پروتئینی امکان پذیر می شود. در مقدار ثابت نمک (۲/۵ درصد) میزان قابلیت جویدن ژل سوریمی تهیه شده از ماهی ماکرل حاوی ۰/۵ درصد آنزیم MTGase منجر به افزایش این عامل از ۰/۹ در نمونه شاهد به ۷ در نمونه حاوی آنزیم شد که با نتایج حاصل شده از آنالیز نقطه بهینه مطابقت دارد و نشان دهنده تأثیر مثبت وجود آنزیم MTGase بر قابلیت جویدن ژل سوریمی است (Cardoso et al., 2009). پژوهش های دیگر نیز حاکی از تأثیر مثبت و مؤثر این آنزیم بر روی عامل قابلیت جویدن نمونه ژل تولیدی بودند (Cardoso et al., 2010 a; Cardoso et al., 2011). در پژوهش دیگری که درباره بررسی تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر روی ویژگی های ژل تولیدی از گوشت خوک انجام شد، نتایج نشان داد که صرف نظر از مقادیر آنزیم، افزایش مقدار نمک منجر به افزایش قابلیت جویدن ژل تولیدی شد که این نتیجه با نتیجه حاصل شده از این پژوهش همخوانی دارد. همچنین درباره تأثیر همزمان نمک و دما نتایج این پژوهش نشان داد که در هنگام افزایش مقدار نمک، بالا رفتن دما از ۷۰ درجه به ۹۰ درجه سانتی گراد منجر به کاهش میزان عامل مذکور گردید (Pietrasik and Li-Chan, 2002).

سفیدی (W)

به طور کلی تقاضا درباره خصوصیات رنگی سوریمی به طوری است که تمایل به خرید سوریمی بامیزان عامل L

قابلیت جویدن

بالتر، b کمتر و W بیشتر وجود دارد (Duangmal and Taluengpohl, 2010).

نتایج حاصل شده از تأثیر عوامل مستقل به کار گرفته شده در این پژوهش با نتایج به دست آمده از پژوهش انجام شده بر روی ژل سوریمی تهیه شده از ماهی ماکرل شباهت داشت، بدین صورت که با افزودن آنزیم از میزان سفیدی نمونه کاسته شد. آنها اظهار داشتند که افزایش سفیدی می تواند با میزان دنا توره شدن رنگدانه های پروتئینی در ارتباط باشد. در این خصوص تأثیر خفیف کاهش سفیدی در اثر استفاده از آنزیم مذکور، نشان دهنده کاهش دنا توره شدن ژل های حاوی این آنزیم است، زیرا اتصالات عرضی ایجاد شده توسط این آنزیم در طی دوره قوام یابی ممکن است از دنا توره شدن در مرحله پخت جلوگیری کند (Cardoso et al., 2009). نتایج حاصل شده از تأثیر آنزیم ترانس گلو تامیناز میکروبی بر روی عوامل رنگ سوریمی حاصل شده از گوشت مارمولک ماهی (*Suarida tumbil*) نشان داد که با افزایش مقدار آنزیم، میزان سفیدی نمونه افزایش کمی را از خود نشان داد که دلیل آن ممکن است به دلیل وجود سایر ترکیبات موجود در پودر تجاری MTGase باشد که منجر به ایجاد رنگ سفید در اجزای ژل تولید شده می شود (Chanart and Benjakul, 2013). همچنین در پژوهشی که بر روی ژل حاصل شده از گوشت خوک انجام گرفت، نتایج حاکی از آن بود که افزودن آنزیم ترانس گلو تامیناز نتوانست تأثیر معناداری را بر عوامل رنگ ژل تولیدی بگذارد و همچنین تأثیر دما بر عوامل رنگ معنادار نبود که با نتایج حاصل شده از این پژوهش یکسان بود (Pietrasik and Li-Chan, 2002). نتایج حاصل شده از پژوهش های قبلی نشان داد برای جلوگیری از تأثیر آنزیم بر رنگ نمونه، باید محدوده دمایی بین ۵ تا ۴۸ درجه سانتی گراد باشد (Monteiro et al., 2015).

در بررسی ای که درباره تأثیر آنزیم ترانس گلو تامیناز میکروبی و فیبر غذایی (آرد کونیاک) بر روی ژل تهیه شده از ماهی سیم سرطایی انجام گرفت، نتایج حاکی از آن بود که با افزودن آنزیم مذکور به مقدار کم از میزان سفیدی نمونه کاسته شد که با نتیجه حاصل شده از این پژوهش در یک راستا می باشد و دلیل آن را تأثیر افزایش میزان اتصالات عرضی شکل گرفته شده توسط آنزیم دانسته اند (Cardoso et al., 2010 b). پژوهش انجام شده درباره بررسی تأثیر آنزیم ترانس گلو تامیناز میکروبی بر ژل تولید شده از ماهی مارمولک ماهی (*Saurida undosquamis*) نشان داد، میزان سفیدی نمونه در نمونه های دارای مقادیر بیشتر آنزیم افزایش نسبی یافت که این افزایش را به دلیل تأثیر وجود مالتودکسترین موجود در آنزیم و احتمال تأثیر آن بر پراکنده شدن روشنایی به ویژه در نمونه های دارای مقادیر بالای آنزیم دانستند (Benjakul et al., 2008). در پژوهش انجام شده درباره تأثیر آنزیم ترانس گلو تامیناز میکروبی و فیبرهایی نظیر نخودفرنگی، کاراجینان و ترکیب کاراجینان به همراه آرد کونیاک بر روی ژل تولیدی از ماهی باس دریایی (*Dicentrarchus labrax*) نتیجه ای متفاوت به دست آمد و بیانگر عدم تأثیر آنزیم بر روی عامل سفیدی بود. این امر نشان می دهد شرایط مختلف اعم از گونه و شرایط آزمایشگاهی می تواند نتایج متفاوتی را به دست آورد (Cardoso et al., 2011).

روشنایی (L)

نتایج حاصل شده از این پژوهش مبنی بر تأثیر عوامل مذکور بر میزان روشنایی ژل تولید شده با یافته های حاصل از پژوهش های پیشین مطابقت داشت. بدین صورت که با کاهش مقدار نمک از ۲/۵ به ۱/۵ در نمونه کم نمک سوسیس به منظور تولید فراورده کم نمک مقدار L افزایش

بر میزان قرمزی فرآورده بود (Moteiro et al., 2015). درباره تأثیر کاهش دما و افزایش مقدار نمک بر افزایش قرمزی ژل تولیدی از ماهی کپور سرگنده در این پژوهش، نتایج پژوهش صورت گرفته بر روی ژل تولید شده از گوشت خوک نشان داد که نتایج حاصل شده از این دو پژوهش منافات بسیار زیادی را با یکدیگر داشته که احتمالاً به دلیل ماهیت ساختاری متفاوت بافت مورد استفاده است. در این پژوهش با کاهش مقدار نمک مقدار قرمزی افزایش پیدا کرد که دلیل آن را احتمالاً افزایش خروج آب در نمونه کم نمک و در نتیجه افزایش غلظت پروتئین‌ها در بافت و تأثیر رنگدانه‌های باقی‌مانده موجود در ژل تولیدی دانستند (Pietrasik and Li-Chan, 2002). بررسی انجام شده بر روی ژل تولید از ماهی باس دریایی پرورشی نشان داد تأثیر مقادیر بالای نمک بر عامل a معنادار بود (Cardoso et al., 2010 a).

زردی (b)

در این پژوهش همان‌طور که در نتایج به آن اشاره شد از بین عوامل موجود تنها تأثیر عامل دما بر مقدار زردی ژل سوریمی معنادار بود، این در حالی است که این نتیجه با پژوهشی که بر روی ژل حاصل شده از گوشت خوک انجام گرفت، مطابقت نداشت که نشان از عدم تأثیر معنادار دما بر عوامل رنگ ژل تولیدی داشت. همچنین در این پژوهش نمک تنها عاملی بود که بر میزان زردی نمونه تأثیر گذاشت که این نتیجه نیز با نتیجه به‌دست آمده از این پژوهش مغایرت دارد (Pietrasik and Li-Chan, 2002). پژوهش‌های دیگر مبنی بر بررسی تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر ماهی باس دریایی پرورشی (*Dicentrarchus labrax*) نشان از این دارد که نمک تنها عاملی بود که بر میزان زردی ژل تولیدی تأثیرگذار بود که

یافت و از مقدار b کاسته شد (Pietrasik and Li-Chan, 2002). در پژوهش انجام شده درباره بررسی تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی‌های رنگی ژل تولید شده از ماهی مارمولک‌ماهی (*Saurida undosquamis*) نتایج نشان داد استفاده از دمای بالاتر (۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه) نسبت به دمای متوسط (۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت) به‌عنوان دمای قوام‌یابی منجر به افزایش نسبی در عامل L شد که با نتایج حاصل شده از این پژوهش در یک راستا می‌باشد که دلیل آن را دنا توره شدن بیشتر پروتئین‌ها، به‌ویژه رنگ‌دانه‌های (هموگلوبین و میوگلوبین) موجود در عضله در دمای بالاتر دانستند. همچنین این پژوهش نشان داد که برخلاف نتیجه حاصل شده از این پژوهش با افزایش مقدار آنزیم میزان روشنایی نمونه نیز افزایش یافت که دلیل آن را به‌ویژه در مقادیر بیشتر آنزیم احتمال تأثیر روشن کنندگی مالتودکسترین موجود در آنزیم به‌عنوان یک پایدار کننده دانستند (Benjakul et al., 2008). پژوهش‌های مختلف دیگر نتایج متفاوتی را به‌همراه داشتند، بدین نحو که در پژوهش انجام شده بر روی ژل تولیدی از ماهی باس دریایی پرورشی (*Dicentrarchus labrax*) نتایج حاکی از آن بود که به استثنای وجود مقادیر بالای نمک و نبود آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی، عامل a و W در مقادیر کم نمک تحت تأثیر قرار نگرفتند (Cardoso et al., 2010 a).

قرمزی (a)

درباره تأثیر آنزیم و دیگر عوامل مستقل به‌کار گرفته شده در این پژوهش تحقیقات متفاوتی صورت گرفته است. در این باره همانند یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر، نتایج حاصل شده از این پژوهش بر روی فرآورده به‌دست آمده از گوشت ماهی تیلاپیا نشان‌دهنده عدم تأثیر معنادار آنزیم

این نتیجه با نتایج حاصل از این پژوهش در یک راستا نیست (Cardoso et al., 2010 a). پژوهش‌های دیگر بیانگر عدم تأثیر آنزیم بر میزان زردی نمونه بود (Cardoso et al., 2015; Monteiro et al., 2009).

WHC

در بررسی نتایج حاصل از تأثیر افزایش آنزیم بر کاهش مقدار WHC می‌توان به این نکته اشاره کرد که این رفتار نشان می‌دهد مقادیر بیش از حد آنزیم MTGase باعث افزایش پیوندهای تصادفی پروتئین-پروتئین و در نتیجه پدیده انباشتگی پروتئین می‌شود که در نتیجه با کاهش تشکیل پیوند میان پروتئین و آب منجر به کاهش WHC گردید (Ramirez et al., 2002). همچنین درباره تأثیر دما می‌توان گفت که با کاهش دما، نیروی جنبشی مولکول‌های آب کاهش یافته و در نتیجه منجر به تسهیل به دام افتادن مولکول‌های آب در شبکه ایجاد شده توسط آنزیم گردید (Ashrafi et al., 2015). درباره تأثیر نمک و افزایش میزان آن بر افزایش شاخصه WHC، می‌توان گفت دلیل این پدیده افزایش یون‌های نمک و تأثیر بارهای مثبت و منفی این یون‌ها بر ایجاد پل‌های نمکی بین رشته‌های پروتئینی و به اصطلاح افزایش حلالیت پروتئین و در نتیجه تشکیل یک شبکه سه‌بعدی منسجم‌تر پروتئینی بوده که قادر به جذب و نگهداری بیشتر مولکول‌های آب است (Cardoso et al., 2010 a). نتایج حاصل شده از تأثیر آنزیم MTGase و دو نوع فیبر (فیبر نخودفرنگی و فیبر اینولین ریشه کاسنی) بر روی ژل سوریمی تولید شده از ماهی ماکرل نشان داد که استفاده از ۰/۵ درصد آنزیم بدون حضور فیبر منجر به افزایش مقدار WHC از ۳۶/۴ در نمونه شاهد به ۴۵/۵ در نمونه حاوی ۰/۵ درصد آنزیم شد که این نتایج با نتایج حاصل از این پژوهش (با در نظر گرفتن عدم استفاده از غلظت صفر آنزیم در این پژوهش) مطابقت دارد

و نشان‌دهنده این است که استفاده از غلظت ۰/۵ درصد آنزیم منجر به افزایش WHC بافت ژل سوریمی می‌شود (Cardoso et al., 2009). نتایج حاصل شده از بررسی عامل رطوبت قابل بیان ژل تولیدی از مارمولک‌ماهی (*Saurida undosquamis*) نشان داد با افزایش سطوح آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در نمونه‌هایی که به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (به عنوان دمای قوام‌یابی) قرار گرفتند، میزان رطوبت قابل بیان افزایش یافت و همچنین در نمونه‌های با دمای قوام‌یابی ۴۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش مقدار آنزیم از سطح صفر به ۰/۴ منجر به افزایش این عامل شد، به‌طور کلی مقدار کمینه رطوبت قابل بیان در نمونه ژل نشان از قدرت ژل در نگهداری هر چه بیشتر آب در فضای شبکه ژلی دارد. از این رو افزودن آنزیم مورد نظر ممکن است به دلیل انبوهی مولکول‌های پروتئینی منجر به بروز مشکل در گروه‌های قطبی آزاد و یا گروه‌های دارای باری که قادر به تشکیل باند با آب هستند شده و در نتیجه باعث افزایش عامل رطوبت قابل بیان شود. در واقع پروتئین‌های دارای اتصالات عرضی ممکن است تعداد گروه‌های آبدوست موجود در پروتئین‌ها را که توانایی ایجاد پیوند و یا نگهداری ژل در شبکه ژلی را دارند کاهش دهد (Benjakul et al., 2008). نتایج حاصل شده از تأثیر افزودنی‌های متفاوت از جمله آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر روی ژل ماهی تیلپیا قرمز (*Oreochromis niloticus* × *O. placidus*) نشان داد افزودن آنزیم مذکور در سطوح بالاتر و افزایش آن منجر به افزایش رطوبت قابل بیان شد که دلیل آن را احتمال تأثیر آنزیم بر شکل‌گیری شبکه ژلی غیریکپارچه و در نتیجه ایجاد ممانعت در قابلیت حفظ آب شبکه ژلی دانست (Duangmal and Taluengpohl, 2010). در پژوهش انجام شده بر روی ژل تولیدی از ماهی باس دریایی پرورشی

of textural properties and reduction the amount of salt of fish nugget by microbial transglutaminase. the 2nd national conference on optimization of production, distribution and consumption in the food industry, 2437- 2447.

Benjakul, S., Visessanguan, W., Riebroy, S., & Ishizaki, S. 2002. Gel-forming properties of surimi produced from bigeye snapper, *Priacanthus tayenus* and *P. macracanthus*, stored in ice. *Science of Food and Agriculture*, 82, 1442-1451.

Benjakul, S., Phatcharat, S., Tammattinna, A., Visessanguan, W., & Kishimura, H. 2008. Improvement of Gelling Properties of Lizardfish Mince as Influenced by Microbial Transglutaminase and Fish Freshness. *Journal of Food Science*, 73, 239-246.

Cardoso, C., Mendes, R., Van-Pires, P., & L. Nunes, M. 2009. Effect of dietary fibre and MTGase on the quality of mackerel surimi gels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 1648-1658.

Cardoso, C., Mendes, R., Vaz-Pires, P., & L. Nunes, M. 2010 a. Effect of salt and MTGase on the production of high quality gels from farmed sea bass. *Journal of Food Engineering*, 101, 98- 105.

Cardoso, C., Mendes, R., Vaz-Pires, P., & Nunes, M. L. 2010 b. Effect of MTGase, Dietary Fiber and UV Irradiation Upon Heat-Induced Gilthead Seabream (*Sparus aurata*) gels. *Food Science Technology*, 17, 155-165.

Cardoso, C., Mendes, R., Vaz-Pires, P., & L. Nunes, M. 2011. Production of high quality gels from sea bass: Effect of MTGase and dietary fibre. *Food Science and Technology*, 44, 1282-1290.

Chanarat, S., Benjakul, S., & H-Kittikun, A. 2011. Comparative study on protein cross-linking and gel enhancing effect of microbial transglutaminase on surimi from different fish. *Science of Food and Agriculture*, 92, 844-852.

Chanarat, S., & Benjakul, S. 2013. Effect of formaldehyde on protein cross-linking and gel forming ability of surimi from lizardfish induced by microbial transglutaminase. *Food Hydrocolloids*, 30, 704-711.

Duangmal, K., & Taluengpohl, A. 2010. Effect of protein additives, sodium ascorbate, and microbial transglutaminase on the texture and colour of red tilapia surimi gel. *Food Science and Technology*, 45, 48-55.

نتایج حاکی از عدم تأثیر آنزیم MTGase بر WHC ژل تولیدی داشت که این نتایج با برخی از پژوهش‌ها هم‌سو (Pietrasik et al., 2003) بود و با برخی دیگر از پژوهش‌های انجام شده مغایرت (Cardoso et al., 2009) داشت که دلیل آن را ویژگی‌های متفاوت ماده خام مورد استفاده دانستند، اما با این وجود با افزایش مقادیر نمک از ۰/۲۵ درصد به ۲/۵ درصد در نمونه‌های حاوی مقدار ثابت ۰/۵ درصد آنزیم، میزان WHC از ۵۱/۱ تا ۵۲/۵ به ۶۷/۸ تا ۶۹/۳ افزایش یافت که این نتیجه با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مطابقت دارد و نشان از تأثیر مؤثر نمک بر افزایش شکل‌گیری باندهای بین پروتئین و آب دارد (Cardoso et al., 2010 a). نتیجه مشابه و حاکی از عدم تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر روی عامل WHC در پژوهش انجام شده بر روی ژل تولیدی از باس دریایی به‌دست آمد (Cardoso et al., 2011).

براساس نتایج مطالعه حاضر مشخص شد که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در میزان کمینه خود منجر به بهبود ویژگی‌های بافتی از قبیل سختی، به هم پیوستگی و پایداری شبکه ژلی شد که نشان از تأثیر مثبت آنزیم بر ساختار شبکه‌ای ژل تولیدی از ماهی کپور سرگنده داشت. در واقع افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز باعث تولید شبکه‌ای مستحکم‌تر، سخت‌تر شد که بیشتر این تأثیر به‌دلیل شکل‌گیری پیوندهای غیر دی‌سولفیدی بین پروتئین‌های مجاور در دمای قوام‌یابی (۴۵ درجه سانتی‌گراد) بود که با باندهای کووالانسی و برهم‌کنش‌های هیدروفوبی در طی مرحله پخت (دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد) مستحکم‌تر و تقویت شد.

منابع

Ashrafi-Shahmirzadi, Sh., Motamedzadegan, A., Jafarpour, S. A., Shohreh, B. 2015. Optimization

- Park, J. W. 2014.** Surimi and Surimi SeaFood (3rd ed.). New York: Taylor & Francis Group, 629p.
- Pietrasik, Z., & Li-Chan, E. C. Y. 2002.** Response surface methodology study on the effects of salt, microbial transglutaminase and heating temperature on pork batter gel properties. *Food Research International*, 35, 387-396.
- Pietrasik, Z., & Jarmoluk, A. 2003.** Effect of sodium caseinate and kappa-carrageenan on binding and textural properties of pork muscle gels enhanced by microbial transglutaminase addition. *Food Research International*, 36, 285-294.
- Ramirez, J. A, Uresti, R., Tellez, S., & Vazquez, M. 2002.** Using Salt and Microbial Transglutaminase as Binding Agents in Restructured Fish Products Resembling Hams. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE*, 67, 1778-1784.
- Ramirez, J. A., Del Angel, A., Uresti, R. M., Velazquez, G., & Vazquez, M. 2007.** Low-salt restructured products from striped mullet (*Mugil cephalus*) using microbial transglutaminase or whey protein concentrate as additives. *Food Chemistry*, 102, 243-249.
- Uresti, R. M., Tellez-Luis, S. J., Ramirez, J. A., & Vazquez, M. 2004.** Use of dairy proteins and microbial transglutaminase to obtain low-salt fish products from filleting waste from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Food Chemistry*, 86, 257-262.
- Yongsawatdigul, J., & Piyadhamviboon, P. 2005.** Effect of microbial transglutaminase on autolysis and gelation of lizardfish surimi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1453-1460.
- Hajidoun, H. A., & Jafarpour, A. 2013.** The Influence of Chitosan on Textural Properties of Common Carp (*Cyprinus Carpio*) Surimi. *Journal Of Food processing technology*, 4, 1-5.
- Hsieh, J.-F., Tsai, G.-J., & Jiang, S.-T. 2002.** Microbial Transglutaminase and Recombinant Cystatin Effects on Improving the Quality of Mackerel Surimi. *Journal of Food Science*, 67, 3120-3125.
- Iran Fisheries Organization 2013.** Statistical Yearbook of the Iranian Fisheries Organization. Iran Fisheries Organization Press, 64p.
- Jafarpour, A., & Gorczyca, E. M. 2009.** Rheological Characteristics and Microstructure of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Surimi and Kamaboko Gel. *Food Biophysics*, 4, 172-179.
- Jafarpour, A., Hajidoun, H. A. and Rezai, M. 2013.** Improvement of quality properties of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi using isolated soy protein. *Iranian journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*. 1: 93-108.
- Kaewudom, P., Benjakul, S., & Kijroongrojana, K. 2012.** Effect of bovine and fish gelatin in combination with microbial transglutaminase on gel properties of threadfin bream surimi. *International Aquatic Research*, 4, 1-13.
- Monteiro, M. L. G., Marsico, E. T., & Lazaro, C. A. 2015.** Effect of transglutaminase on quality characteristics of a value-added product tilapia wastes. *Journal of Food Science and Technologists*, 52, 2598-2609.
- Moreno, H. M., Carballo, J., & Borderias, A. J. 2008.** Influence of alginate and microbial transglutaminase as binding ingredients on restructured fish muscle processed at low temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1529-1536.



Effect of microbial transglutaminase (MTGase) on textural properties of Big Head fish (*Hypophthalmichthys nobilis*) surimi

Hamid Javid¹, Ali Jafarpour^{*2}

1- M.S.c Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor, Department of Fishery, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Received: 18.09.2015 Accepted: 20.02.2016

*Corresponding author: a.jafarpour@gmail.com

Abstract:

In this study surimi was produced from big head (*Hypophthalmichthys nobilis*) carp and the effects of three independent factors including microbial transglutaminase (0.5%, 0.75% and 1%), salt (0%, 1.25% and 2.5%) and temperature (35°C, 40°C and 45°C), were examined on textural properties and color parameters of produced surimi was examined. The results showed that enzyme concentration of 0.5 % and 1.25 % of salt at 45°C temperature were as optimum treatment, thereby, reducing the salt percentage from 2.5 % to 1.25 % without significant reduction in textural properties such as Hardness (resistance of food at the first biting of the food), Cohesiveness (maintaining the strength of the food during chewing) and Springiness (ability of foos to recovery of its origin shape and size at the first biting). The increasing of the amount of enzyme also resulted in reduction of WHC, significantly ($p<0.05$). Moreover, when the enzyme and salt were used at low concentrations, the more whiteness and lightness of surimi gel wre produced. Simultaneous effect of salt increasing and setting temperature reduction, resulted in significant higher redness (a^*) ($p<0.05$). Besides, the effect of enzyme alone on yellow factor (b^*) was not significant, whereas the simultaneous effect of increasing in enzyme and temperature resulted higher b^* factor ($p<0.05$).

Keywords: Surimi, Big head carp, TGase, WHC