

ارزیابی خواص مکانیکی و ویژگی‌های نوری فیلم خوراکی بر پایه ی ایزوله ی پروتئین نخود (*Cicer arietinum* L.) حاوی اسانس آویشن به کمک روش سطح پاسخ

سید محمد مشکانی^{۱*}، سید علی مرتضوی^۲، الناز میلانی^۳، محسن مختاریان^۱، لعیاسادات صادقیان^۱

^۱ دانش آموختگان دوره ی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار، سبزوار، ایران

^۲ استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ی کشاورزی، مشهد، ایران

^۳ عضو هیات علمی جهاد دانشگاهی مشهد، پژوهشکده ی اقبال، گروه پژوهشی علوم و فناوری مواد غذایی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹ / ۸ / ۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹ / ۱۰ / ۳

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تولید فیلم خوراکی حاوی ایزوله پروتئینی نخود و تعیین اثر غلظت ایزوله پروتئینی نخود و غلظت نرم کننده و درصد اسانس آویشن بر خصوصیات مکانیکی و ویژگی رنگ و شفافیت فیلم خوراکی است. بدین منظور، ایزوله ی پروتئینی نخود در محدوده ی ۴ تا ۱۰ گرم و گلیسرول به عنوان نرم کننده در غلظت‌هایی بین ۴۰ تا ۶۰ درصد و اسانس آویشن در غلظت‌هایی بین ۰ تا ۱ درصد با استفاده از روش سطح پاسخ، مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، آزمون خواص مکانیکی توسط دستگاه بافت سنج و مقایسه ی رنگ فیلم‌ها توسط دستگاه هانتربل برای هر نمونه در ۶ تکرار انجام گرفت. نتایج، نشان داد که مقاومت کشش با افزایش میزان ایزوله ی پروتئین نخود، افزایش و با افزایش درصد گلیسرول و اسانس آویشن، کاهش داشت و برای کشش‌پذیری عکس این نتایج مشاهده گردید. همچنین گلیسرول، هیچ تاثیری بر رنگ فیلم‌ها نداشت اما به طور معنی‌داری شفافیت فیلم خوراکی را افزایش داد و به طور کلی افزایش میزان ایزوله ی پروتئینی نخود و اسانس آویشن باعث تیره رنگ شدن فیلم‌ها و کاهش فاکتور شفافیت شد ($p < 0.01$). در ادامه، نتایج بهینه‌سازی فیلم خوراکی بر پایه ی ایزوله ی پروتئینی نخود، نشان داد که به جهت داشتن مقاومت کششی مطلوب و معادل ۳/۹۵۰۳ مگا پاسکال، کشش‌پذیری تا حد پارگی بالا و برابر ۶۲/۱۹۹۰ درصد، شفافیت بالا و معادل ۶/۵۱ (AV/mm) و حداقل اختلاف رنگ تا سفیدی و معادل ۶۱/۲۹۸؛ پارامترهای غلظت ایزوله پروتئینی نخود ۴ گرم، گلیسرول ۶۰ درصد و اسانس آویشن ۰/۱۳ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: نخود، ایزوله ی پروتئینی، خواص مکانیکی، رنگ، شفافیت.

مناسب بسیاری از بسته‌بندی‌های پلاستیکی معطوف گردد (۱۴ و ۷،۵).

رنگ و شفافیت فیلم‌های خوراکی یکی از شاخص‌های بسیار مهم در افزایش میزان بازارپسندی محصول است که به طور کلی امروزه از آن‌ها به عنوان یکی از فاکتورهای اصلی در بسته‌بندی‌های محصولات غذایی مختلف یاد می‌شود. رنگ نتیجه‌ی فرایندی پیچیده شامل پدیده‌های فیزیکی انتقال، تجزیه، جذب و پراکنش است. مراحل اصلی ایجاد رنگ فیزیکی است اما مراحل بعدی آن علائم شیمیایی را در بر می‌گیرد که به پاسخ‌های عصبی تغییر شکل یافته و توسط مغز به شکل رنگ تفسیر خواهد شد. از این رو، با توجه به اهمیت بسیار زیاد رنگ به خصوص در فرآورده‌های غذایی و در افزایش میزان بازارپسندی محصول ضروری به نظر می‌رسد (۳).

هدف از انجام این تحقیق، بررسی امکان تولید فیلم خوراکی بر پایه‌ی پروتئین نخود حاوی اسانس آویشن^۱ (تیموس ولگاریس) می‌باشد که در ادامه به بررسی خصوصیت مقاومت کشش، کشش‌پذیری تا حد پارگی، رنگ و شفافیت فیلم خوراکی از طرح آماری مرکب مرکزی و روش سطح پاسخ استفاده گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد شیمیایی

آرد نخود واریته فیلیپ چربی‌زدایی شده با خلوص پروتئینی در حدود ۲۴ درصد جهت تهیه‌ی ایزوله پروتئینی نخود استفاده شد و سایر مواد شیمیایی مصرفی از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

۲-۲- تجهیزات

بافت‌سنج کیو تی اس^۲ ساخت انگلستان، میکرومتر دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر، هانتر لب کالرفلکس^۳ ساخت امریکا، اسپکتروفوتومتر بیوکروم^۴ ساخت انگلستان، سانتریفوژ سیگما^۵ ساخت

نخود Chickpea، با نام علمی *Cicer arietinum*، گیاهی است یک‌ساله که بلندی بوته‌ی آن به حدود ۳۰ سانتی‌متر می‌رسد. ساقه‌ی این گیاه، پوشیده از تارهای غده‌ای است. برگ‌های آن مرکب از ۱۳ تا ۱۷ برگچه‌ی کوچک و دنداندار می‌باشد. گل‌های آن سفید رنگ مایل به قرمز یا آبی به طور تک‌تک بر روی ساقه قرار دارد. میوه‌ی آن به صورت نیام و غلاف آن کوچک، متورم و نوک تیز به طول ۲ تا ۳ سانتیمتر است که در آن یک دانه‌ی نخود به رنگ نخودی تا سیاه قرار دارد (۲).

نخود از مهم‌ترین حبوبات بوده که بسته به نوع واریته و گونه‌ی آن دارای میزان پروتئینی در حدود ۲۰-۳۵ درصد می‌باشد که می‌توان آن را به عنوان منبع پروتئینی مناسب گیاهی محسوب کرد. همچنین اهمیت آن به گونه‌ای است که ۶۴ درصد زیر کشت حبوبات در ایران چیزی در حدود ۷۵۱۷۰۶ هکتار را به خود اختصاص داده است. نخود در بین سایر محصولات از نظر سطح زیر کشت دارای سومین رتبه در کشور می‌باشد که به لحاظ سطح زیر کشت این محصول، چهارمین رتبه را در دنیا به خود اختصاص داده است. عملکرد گیاه نخود حدود ۳۵۸ کیلوگرم در هکتار است که نسبت به میانگین عملکرد جهانی ۷۸۰ کیلوگرم در هکتار و کشورهای مهم تولید کننده‌ی نخود بسیار پایین می‌باشد (۱ و ۲۳ و ۲۴).

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از منابع گوناگون طبیعی همچون پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و یا ترکیبی از این مواد قابل تهیه می‌باشند (۵ و ۱۴). ویژگی فیلم‌های خوراکی در برابر نفوذ رطوبت، گازها و خواص مطلوب مکانیکی اعم از مقاومت کششی و درصد ازدیاد طول تا حد پارگی و همچنین توانایی آن‌ها به عنوان حامل مواد معطر، مواد ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدان‌ها و رنگ‌ها (۵) زیست تخریب‌پذیر بودن و نقش موثر آن‌ها در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی همگی سبب شده تا در سال‌های گذشته توجه بسیاری از محققین به سوی مطالعه ویژگی‌های فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی گوناگون به عنوان مواد بسته‌بندی جدید و جایگزین

1- Thymus vulgaris(Thyme)

2- QTS Texture Analyzer

3- ColorFlex

4- Biochrom

5- Sigma

سرعت ثابت ۱۴۰۰ دور بر دقیقه منتقل شد. سپس، محلول تا دمای آزمایشگاه خنک گردید و اسانس آویشن به میزان ۰ تا ۱ درصد به آن اضافه و هم‌زده شد. حدود ۱۵ سی سی از محلول فیلم به پلیت‌های آلومینیومی با قطر ۱۰ سانتی متر منتقل شد و در دمای آزمایشگاه با رطوبت نسبی ۳۰-۳۵٪ برای مدت زمان ۴۸ ساعت فیلم‌ها خشک شدند و جهت آزمون‌های رنگ و شفافیت از کف پلیت‌ها به آهستگی جداسازی گردیدند (۱۶ و ۲۱).

۲-۵- تعیین ضخامت فیلم خوراکی

ضخامت فیلم خوراکی، توسط میکرومتر دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی متر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در ۱۰ نقطه از فیلم انجام و میانگین در محاسبات مربوط به آزمون شفافیت، مورد استفاده قرار گرفت (۱۱ و ۱۸).

۲-۶- آزمون خواص مکانیکی

پارامترهای مقاومت به کشش و کشش پذیری تا حد پارگی بر اساس استاندارد ASTM D882-01 (ASTM b) 2002 و به وسیله دستگاه بافت‌سنج مدل QTS Texture Analyzer, CNS Farnell, Essex, UK اندازه‌گیری گردید. جهت انجام این آزمون، قطعاتی از فیلم در اندازه‌های ۱×۸ سانتی متر بریده شدند و به مدت ۲۴-۴۸ ساعت در دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیترات منیزیم با رطوبت نسبی ۵۰-۵۵ درصد جهت مشروط‌سازی قبل آزمون قرار گرفتند. سپس از هر دو انتها فیلم به اندازه‌ی ۱۵ میلی‌متر بین فک‌ها قرار گرفته و سفت شدند. فاصله‌ی بین دو فک قبل از آزمون ۵ سانتی‌متر بود. فک^۵ بالایی با سرعت ۴۰ میلی‌متر بر دقیقه شروع به فاصله گرفتن کرد و در لحظه‌ی پاره شدن آزمون پایان یافت. مقدار مقاومت به کشش بر حسب مگاپاسکال (MPa) بیان می‌شود. مقاومت به کشش^۶ با فرمول ۱، و کشش‌پذیری تا حد پارگی^۷ با فرمول ۲، تعیین شدند (۶).

$$TS = \frac{\text{Maximum load}}{\text{Orginal. minimum cross sectional area}} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

آلمان، همزن مغناطیسی گرم‌کن‌دار هیدولف^۱ ساخت آلمان، pH متر جنوی^۲ ۳۰۲۰ ساخت آلمان خشک کن انجمادی مارتین کریست^۳ ساخت آلمان، ترازوی ۰/۰۰۱ کرن^۴ آلمان.

۲-۳- تهیه‌ی ایزوله پروتئین نخود

ایزوله پروتئینی نخود از آرد بدون چربی (چربی‌گیری شده با هگزان نرمال) با استفاده از استخراج قلیایی و ترسیب اسیدی، تهیه شد. آرد به نسبت ۱:۱۰ با آب مقطر مخلوط و به کمک محلول سود یک نرمال به pH=۹/۵ رسانده شد. این سوسپانسیون به مدت ۳۰ دقیقه توسط همزن مخلوط شد. سپس مخلوط حاصل توسط سانتریفوژ با ۷۰۰۰ دور بر دقیقه برای مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. محلول شفاف رویی جداسازی گردید و با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال به pH=۴/۵ که نقطه ایزوالکتریک پروتئین نخود می‌باشد، رسانده شد. سوسپانسیون حاصل، دوباره برای جداسازی به سانتریفوژ با ۷۰۰۰ دور بر دقیقه منتقل شد. پس از انجام سانتریفوژ، محلول رویی جدا و دور ریخته شد و رسوبات پروتئینی حاصل با استفاده از آب مقطر شست و شو گردید تا pH آن به محدوده‌ی خنثی برسد. ایزوله مرطوب نخود به وسیله‌ی خشک کن انجمادی خشک شد و در ظروف درب دار در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگه داری گردید (۹).

۲-۴- تهیه فیلم خوراکی از ایزوله‌ی پروتئین نخود

جهت تهیه‌ی فیلم خوراکی محدوده، مقداری از پروتئین نخود (۱۰-۴ گرم) در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر حل گردید و یک نرم کننده به نام گلیسرول در محدوده‌ی (۶۰-۴۰٪) به محلول فیلم پروتئینی افزوده شد. مخلوط حاصل، توسط همزن مغناطیسی با دور بالا برای ۵ دقیقه هم زده شد و در طی فرآیند هم زدن pH محلول توسط سود ۰/۱ نرمال به محدوده‌ی ۹/۵ رسانده شد. سپس، محلول فیلم خوراکی به حمام آب داغ با دمای ۸۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و طی هم‌زدن مداوم با

- 1- Heidolph
- 2- Jenway
- 3- Martin Christ
- 4- Kern & Sohn Gmbh

- 5- Grip
- 6- Tensile Strength
- 7- Elongation

۲-۹- تجزیه و تحلیل آماری

بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورهای غلظت ایزوله پروتئینی نخود، درصد گلیسرول و درصد اسانس آویشن بر مقاومت کششی و درصد ازدیاد طول تا حد پارگی، رنگ و شفافیت فیلم خوراکی اهداف اصلی این پژوهش بودند. روش سطح پاسخ به جهت یافتن حالت بهینه فاکتورها انتخاب شد که نشان دهنده ی چگونگی تاثیر فاکتورها بر نتایج آزمایش هاست. این در حالی است که آثار متقابل فاکتورهای مزبور را نیز در بر می گیرد. در این طرح ابتدا بر اساس آزمایش های مقدماتی، دامنه ی تغییرات فاکتورها برای غلظت ایزوله پروتئینی ۴ تا ۱۰ گرم، گلیسرول ۴۰ تا ۶۰ درصد و میزان اسانس آویشن ۰ تا ۱ درصد هر یک در سه سطح انتخاب گردیدند. در این طرح، غلظت ایزوله ی پروتئینی نخود با نماد X_1 ، گلیسرول با نماد X_2 و اسانس آویشن با نماد X_3 سه فاکتور موثر و مقاومت کشش و درصد ازدیاد طول تا حد پارگی، شفافیت و اختلاف رنگ تا سفیدی متغیرهای وابسته بودند (جدول ۱).

جدول ۱- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها

کد و سطح مربوطه			نماد	متغیرهای مستقل
+	۰	-	ریاضی	
۱۰	۷	۴	X_1	ایزوله ی پروتئینی نخود (g)
۶۰	۵۰	۴۰	X_2	گلیسرول (%)
۱	۰/۵	۰	X_3	اسانس آویشن (%)

در روش سطح پاسخ (RSM) برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر، جداگانه بیان می نماید که در فرمول ۵ قابل مشاهده می باشد.

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j \quad (5)$$

در معادله ی ذکر شده Y پاسخ پیش بینی شده، b_0 ضریب ثابت، b_i اثرات خطی، b_{ii} اثر مربعیات و b_{ij} اثرات متقابل، x_i ، x_j متغیرهای مستقل کدبندی شده هستند. در جدول ۲، متغیرهای مستقل مورد آزمون در فرایند تهیه ی فیلم خوراکی بر پایه ی ایزوله پروتئینی نخود، مشاهده می شود.

در این فرمول، F حداکثر نیروی لازم برای پاره شدن فیلم برحسب نیوتن؛ A مساحت فیلم درگیر شده در فک دستگاه برحسب متر مربع و TS برحسب مگاپاسکال می باشد.

$$\%E = \frac{\text{Extension at moment of Rupture}}{\text{Initial gage length}} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

در این فرمول، ΔL میزان کشش تا لحظه پارگی بر حسب میلیمتر؛ L مقدار طول اولیه فیلم یا فاصله اولیه بین دو فک برحسب میلیمتر بوده و E بدون بعد می باشد.

۲-۷- اندازه گیری رنگ فیلم خوراکی

رنگ فیلم ها به وسیله ی دستگاه هانتربل مدل ColorFlex ساخت امریکا قرائت شد و مقیاس CIE برای اندازه گیری L^* (سیاه صفر تا سفید ۱۰۰)، a^* (قرمز ۶۰ تا سبز -۶۰) و b^* (زرد ۶۰ تا آبی -۶۰) به کار گرفته شد. به این ترتیب ابتدا دستگاه با کاشی سفید و سیاه کالیبر شد سپس فیلم ها در قطر ۴ سانتیمتر بریده شدند؛ نمونه های فیلم دایره ای بریده شده در کف سل هانتربل قرار گرفت. تغییر رنگ کلی (ΔE) بر اساس مقایسه ی فیلم ها با کاشی سفید استاندارد به کمک فرمول (۳)، محاسبه شد (۱۱).

$$\Delta E = [(L^* - L_s)^2 + (a^* - a_s)^2 + (b^* - b_s)^2]^{1/2} \quad (3)$$

در این فرمول، L^* شاخص استاندارد شفافیت، a^* شاخص استاندارد سبزی و قرمزی و b^* شاخص استاندارد آبی و زردی است، همچنین فاکتورهای L, a, b مربوط به نمونه های مورد آزمون بود.

۲-۸- اندازه گیری شفافیت فیلم خوراکی

فیلم ها به صورت نوارهایی با ابعاد 5×9 سانتی متر بریده شد و داخل سل اسپکتروفتومتر قرار گرفتند و سل خالی هم به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. میزان جذب در دامنه ی طول موج ۴۰۰-۸۰۰ نانومتر در شش تکرار انجام گردید. با استفاده از فرمول (۴) میزان شفافیت فیلم تعیین گردید (۱۰).

$$\text{Transparency} = A_{600} / X \quad (4)$$

در این فرمول، A_{600} میزان جذب در ۶۰۰ نانومتر و X ضخامت فیلم خوراکی می باشد.

جدول ۲- نمایش متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر آنها در تهیه ی فیلم خوراکی بر پایه ی پروتئین نخود

Run	پروتئین نخود(گرم)	گلیسرول(%)	اسانس آویشن(%)	Run	پروتئین نخود(گرم)	گلیسرول(%)	اسانس آویشن(%)
۱	۷	۵۰	۰/۵	۱۱	۷	۵۰	۱
۲	۴	۵۰	۰/۵	۱۲	۴	۶۰	۱
۳	۷	۵۰	۰/۵	۱۳	۷	۵۰	۰/۵
۴	۱۰	۴۰	۱	۱۴	۴	۴۰	۱
۵	۷	۵۰	۰/۵	۱۵	۱۰	۴۰	۰
۶	۷	۵۰	۰/۵	۱۶	۴	۶۰	۰
۷	۴	۴۰	۰	۱۷	۷	۴۰	۰/۵
۸	۱۰	۵۰	۰/۵	۱۸	۱۰	۶۰	۱
۹	۷	۰	۰/۵	۱۹	۷	۶۰	۰/۵
۱۰	۷	۵۰	۰	۲۰	۱۰	۶۰	۰

همان طور که در جدول ۳(الف) ، مشاهده می‌شود ، عبارت‌های مدل که برای مقاومت کششی معنی دار شد شامل ایزوله ی پروتئینی، درصد گلیسرول ، درصد اسانس ، عبارت درجه ی دوم درصد گلیسرول و درصد اسانس بودند. همچنین در جدول ۳(ب) ، عبارت‌های مدل که برای ازدیاد طول تاحد پارگی معنی دار بوده اند ، شامل غلظت ایزوله پروتئینی ، درصد گلیسرول ، درصد اسانس ، عبارت درجه ی دوم درصد گلیسرول و درصد اسانس بودند.

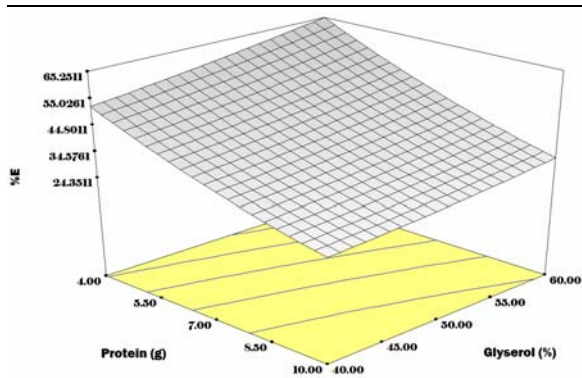
از نرم افزار Design Expert 6.0.2 جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای مربوط به روش سطح پاسخ ، استفاده گردید(۲۰).

۳- نتایج و بحث

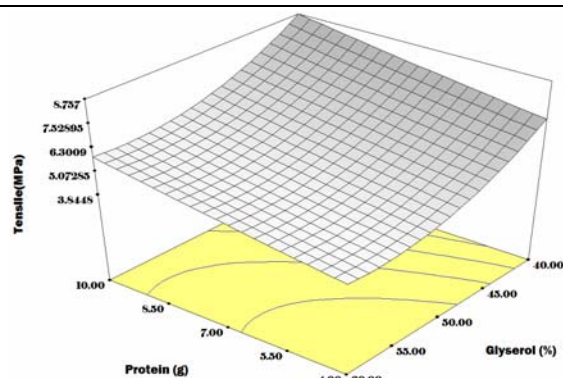
۳-۱- تشکیل فیلم

فیلم‌ها به راحتی از ظروف آلومینیومی جداسازی شدند فیلم‌ها شفاف ، انعطاف پذیر و تاحدودی محکم بودند به طوری که به آسانی قابل جابجایی بودند. ضخامت فیلم‌ها در محدوده ی آزمایش ، بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرومتر بود.

۳-۲- آزمون خواص مکانیکی



(ب)



(الف)

شکل ۱- نمایش نمودار سه بعدی، اثر همزمان دو متغیر ایزوله ی پروتئینی نخود - درصد گلیسرول بر روی مقاومت کششی(الف) و درصد ازدیاد طول(ب) فیلم خوراکی بر پایه ی ایزوله پروتئینی نخود

جدول ۳- آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه ی دوم برای مقاومت کششی (الف) و درصد ازدیاد طول واحد پارگی (ب)

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	احتمال P	منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	احتمال P
مدل	۳۵/۳۲	۹	<۰/۰۰۰۱	مدل	۲۷۸۲/۴۲	۹	<۰/۰۰۰۱
A*	۹/۳۷	۱	<۰/۰۰۰۱	A*	۲۳۴۰/۹	۱	<۰/۰۰۰۱
B**	۲۱/۲۹	۱	<۰/۰۰۰۱	B**	۲۶۵/۲۲	۱	<۰/۰۰۰۱
C***	۰/۵۴	۱	<۰/۰۰۰۱	C***	۱۲۲/۵	۱	<۰/۰۰۰۱
A ²	۰/۰۰۰۹	۱	۰/۲۲۶۷	A ²	۱۶/۸۸	۱	۰/۰۰۰۱
B ²	۲/۶۱	۱	<۰/۰۰۰۱	B ²	۱/۴۵	۱	۰/۱۰۵
C ²	۰/۱	۱	۰/۰۰۱۹	C ²	۰/۷۵	۱	۰/۲۲۹
AB	۰/۰۰۰۰۲	۱	۰/۸۵۸۴	AB	۱۶/۵۳	۱	۰/۰۰۰۱
AC	۰/۰۰۰۴۱	۱	۰/۴۲۹۲	AC	۱/۵۳	۱	۰/۰۹۷۳
BC	۰/۰۱۸	۱	۰/۱۱۲۶	BC	۰/۲۸	۱	۰/۴۵۱۳

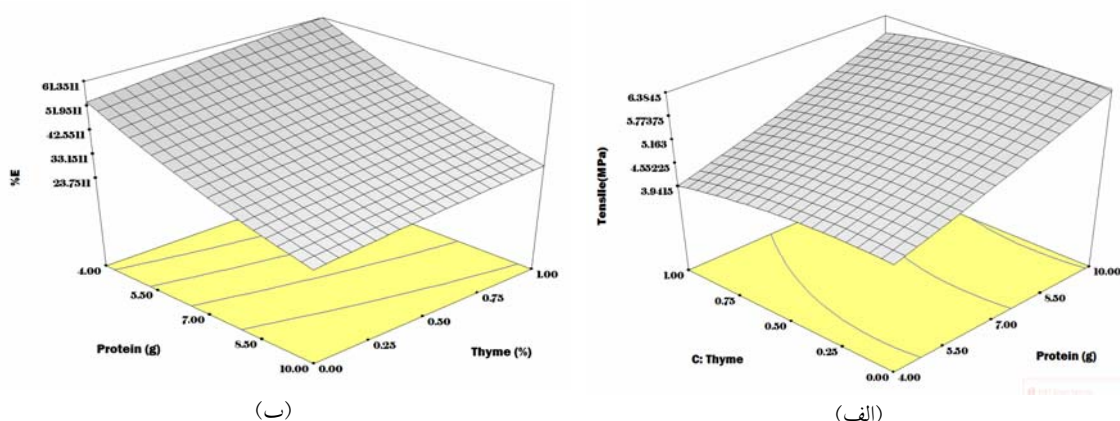
غلظت ایزوله پروتئین نخود؛ در صد گلیسرول؛ در صد اسانس آویشن (ب)

غلظت ایزوله پروتئین نخود؛ در صد گلیسرول؛ در صد اسانس آویشن (الف)

همچنین با توجه به شکل ۲، مشاهده می شود زمانی که درصد گلیسرول مقدار ثابت (۵۰ درصد) می باشد، با افزایش درصد اسانس مقاومت کششی تاحدودی کاهش پیدا می کند و درصد ازدیاد طول نیز تاحدودی افزایش نشان می دهد. دلیل آن را می توان به ماهیت این ماده ربط داد و این که با تغییر در سطح مولکولی پروتئین که این تغییرات به علت تخریب شبکه فیلم در اغلب موارد در جهت کاهش مقاومت فیلم ها در برابر کشش و افزایش در میزان کشیدگی می شود (۱۶).

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که هر سه متغیر مستقل میزان غلظت ایزوله ی پروتئینی نخود، درصد گلیسرول و درصد اسانس آویشن در سطح $P < 0.01$ معنی دار شد. همچنین فاکتورهایی که برازش مناسب مدل را نشان داد، نتایج مدل سازی و بهینه سازی فیلم خوراکی بر اساس این آزمون در جدول ۴ آورده شده است.

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود در غلظت ثابت اسانس آویشن (۵/۰ درصد)، اثر همزمان ایزوله پروتئینی نخود - درصد گلیسرول، بر میزان مقاومت و درصد ازدیاد طول نشان داده شده است. با افزایش میزان گلیسرول میزان مقاومت کششی به طور معنی داری کاهش یافت و میزان درصد ازدیاد طول نیز به طور معنی داری افزایش پیدا کرد. دلیل این پدیده را می توان به نقش گلیسرول در کاهش پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره های پروتئینی و افزایش فضاهای بین مولکولی نسبت داد که توسط محققین زیادی به اثبات رسیده است (۸ و ۲۲). همچنین ملاحظه می شود که با افزایش درصد ایزوله پروتئینی نخود نیز میزان مقاومت کششی فیلم ها افزایش و درصد ازدیاد طول کاهش معنی داری پیدا می کند که می تواند ناشی از بر همکنش مولکولی پروتئین - پروتئین در اثر شرایط قلیایی محلول تهیه ی فیلم و یا دناتوره شدن پروتئین ها تحت شرایط دمایی بالا باشد (۱۹ و ۵).



شکل ۲- نمایش نمودار سه بعدی، اثر همزمان دو متغیر ایزوله ی پروتئینی نخود - درصد اسانس آویشن بر روی مقاومت کششی (الف) و درصد ازدیاد طول (ب) فیلم خوراکی بر پایه ی ایزوله پروتئینی نخود

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس و بهینه سازی فیلم خوراکی در آزمون مقاومت کشش (TS) و درصد ازدیاد طول تا حد پارگی (%E)

Model	Press	R ²	R ² adj	R ² pred	C.V
TS=35/4+0/21X ₁ -1/13X ₂ -0/27X ₃ +9/75 × 10 ⁻³ X ₁ ² -0/78X ₃ ²	0/29	0/9983	0/9968	0/9918	1/35
%E=59/03-6/4X ₁ +0/142X ₂ +13/01X ₃ +0/28X ₁ ² -0/048X ₁ X ₂	41/47	0/9984	0/9969	0/9851	1/63

روی رنگ ایجاد نمی‌شود که به دلیل بی‌رنگ و شفاف بودن آن بود (۱۵)، همچنین با افزایش میزان ایزوله ی پروتئینی نخود میزان اختلاف رنگ تا سفیدی افزایش می‌یابد که دلیل این امر، طبق یافته‌های سایر محققین مانند رهنما (۱۳۸۸) عنوان شده که با افزایش غلظت پروتئین ضخامت افزایش یافته و فیلم به تیرگی گرایش می‌یابد. همچنین صارم نژاد و همکاران (۱۳۸۸) نیز بیان کردند که تیره شدن فیلم بر پایه پروتئین سویا در اثر pH بالای قلیایی و استخراج بیش تر رنگدانه‌ها توسط حلال‌های قلیایی بود، جنگچاد و همکاران (۱۹۹۹) نیز با بررسی فیلم خوراکی بر پایه ی بادام زمینی به همین نتیجه رسیدند. (۴ و ۵ و ۱۷).

همچنین با توجه به شکل ۳ (ب)، ملاحظه می‌شود که با افزایش میزان درصد اسانس آویشن احتمالاً به دلیل این که اسانس آویشن ترکیبی رنگی است و دارای رنگ زرد یا قهوه‌ای مایل به قرمز می‌باشد، میزان اختلاف رنگ تا سفیدی افزایش می‌یابد که این نتایج مشابه دیو و همکاران (۲۰۰۹) بود آن‌ها نشان دادند که با افزایش میزان درصد اسانس‌ها به دلیل رنگی

در پایان فرآیند بهینه سازی با توجه به شکل ۳ و براساس خصوصیات مکانیکی مطلوب برای داشتن مقاومت کششی مطلوب و معادل ۸/۸؛ میزان بهینه ی غلظت ایزوله ی پروتئینی نخود ۹/۹ گرم و برای گلیسرول ۴۰٪ و برای درصد اسانس آویشن ۰/۰۹٪ و برای درصد ازدیاد حداکثر طول فیلم ۶۸٪؛ ۴/۰۳ گرم ایزوله ی پروتئینی نخود، ۵۹/۷۱ درصد گلیسرول و ۱ درصد اسانس تعیین گردید.

۳-۳- اختلاف رنگ فیلم خوراکی

همانطور که در جدول ۵، مشاهده می‌شود، عبارت‌های مدل که برای رنگ فیلم خوراکی معنی دار شد؛ شامل ایزوله پروتئینی و درصد اسانس آویشن بودند.

رنگ فاکتوری مهم در بسته بندی مواد غذایی و بالا بردن میزان بازارپسندی محصولات غذایی بسته بندی شده می‌باشد و به طور کلی از لحاظ دیداری تأثیر بسزایی روی رضایت مشتری گذاشته و می‌تواند محصول را قابل رقابت در صحنه بازارهای جهانی کند. همان طور که در شکل ۳ (الف)، ملاحظه می‌شود مشاهده می‌شود که با افزایش میزان گلیسرول تأثیری بر

بودن اسانس ها رنگ فیلم حاصل از پوره گوجه فرنگی تیره شد (۱۲).

طبق آنالیز واریانس انجام گرفته ، مشاهده شد که دو متغیر مستقل میزان غلظت ایزوله ی پروتئینی و درصد اسانس در سطح $P < 0.01$ بر میزان اختلاف رنگ تا سفیدی فیلم خوراکی معنی دار شد. در ادامه عواملی که برآزش مناسب مدل را نشان داد، نتایج مدل سازی و بهینه سازی فیلم خوراکی بر اساس آزمون رنگ در جدول ۶ نشان داده شده است.

در پایان فرآیند بهینه سازی برای آزمون رنگ فیلم خوراکی، برای داشتن حداقل اختلاف رنگ تا سفیدی و معادل ۶۰/۷۷؛ میزان بهینه غلظت ایزوله ی پروتئینی نخود ۴/۱۳ گرم و برای گلیسرول ۴۸/۷٪ و برای اسانس آویشن ۰/۰۶٪ بود.

۳-۴- شفافیت فیلم خوراکی

همان طور که در جدول ۷ مشاهده می شود ، عبارت های مدل که برای شفافیت فیلم خوراکی معنی دار شد شامل ایزوله ی پروتئینی ، درصد گلیسرول ، درصد اسانس ، عبارت درجه ی دوم غلظت ایزوله ی پروتئینی نخود ، اثر متقابل ایزوله ی پروتئینی - گلیسرول و اثر متقابل ایزوله ی پروتئینی - اسانس بودند.

همان طور که در شکل ۴ (الف) مشاهده می شود ، عبارت خطی ایزوله ی پروتئین و گلیسرول ، عبارت درجه ی دوم ایزوله ی پروتئینی و اثر متقابل آن ها در سطح آماری $P < 0.01$ معنی دار شد. به طوری که با افزایش میزان پروتئینی نخود فیلم خوراکی به دلیل افزایش مواد جامد محلول کدورت افزایش پیدا کرد در حالی که با افزایش گلیسرول بر میزان شفافیت فیلم خوراکی افزوده شد که احتمالاً به دلیل ایجاد فاصله بین مولکول های پروتئین بود. این نتایج ، مشابه نتایج گونگا و همکاران (۲۰۰۷) بود . آن ها نشان دادند که با افزایش گلیسرول میزان شفافیت افزایش یافته و با افزایش پروتئین از میزان شفافیت کاسته می شود (۱۵).

همچنین با توجه به شکل ۴ (ب) مشاهده می شود ، عبارت خطی اسانس آویشن همچنین اثر متقابل ایزوله ی پروتئینی نخود و اسانس آویشن در سطح $p < 0.01$ معنی دار شد. به طوری که با افزایش میزان اسانس آویشن از میزان شفافیت فیلم خوراکی کاسته شد که دلیل آن احتمالاً به خاطر رنگی

بودن اسانس آویشن می باشد . این نتایج مشابه فابرا و همکاران (۲۰۰۹) بود . آن ها نشان دادند که استفاده از موم در محلول تهیه ی فیلم خوراکی منجر به تیرگی فیلم ها شد . همچنین دیو و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که با افزایش اسانس میزان رنگ افزایش یافته و از میزان شفافیت ، کاسته می شود (۱۲ و ۱۳).

طبق آنالیز واریانس انجام گرفته ، مشاهده شد که هر سه متغیر مستقل میزان غلظت ایزوله ی پروتئینی و درصد گلیسرول ، درصد اسانس آویشن ، درجه ی دوم ایزوله ی پروتئینی و اثر متقابل ایزوله ی پروتئینی نخود با درصد گلیسرول و درصد اسانس آویشن در سطح $P < 0.01$ بر میزان شفافیت فیلم خوراکی ، معنی دار شد. در ادامه ، عواملی که برآزش مناسب مدل را نشان داد ، نتایج مدل سازی و بهینه سازی فیلم خوراکی بر اساس آزمون شفافیت در جدول ۸ نشان داده شده است.

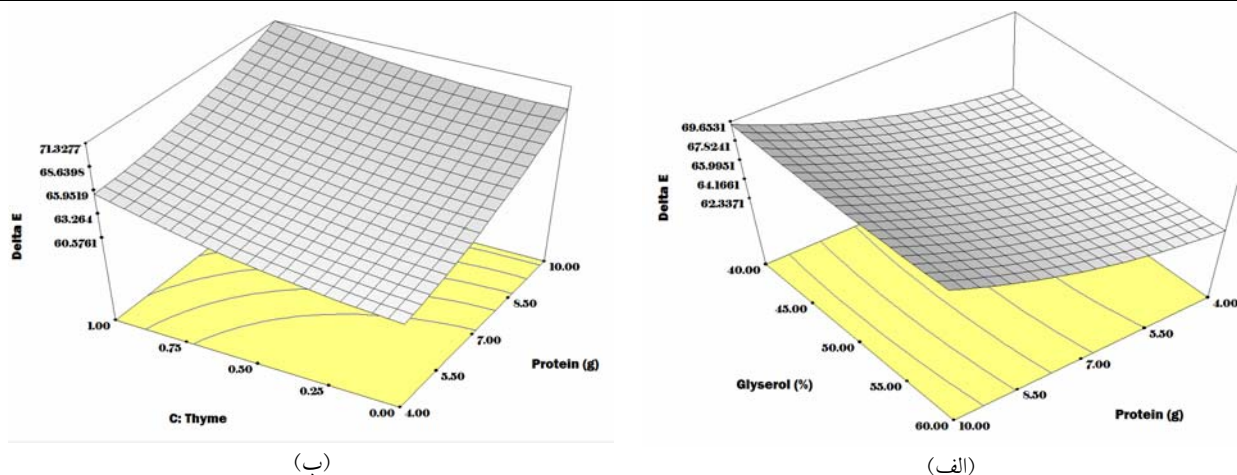
در پایان فرآیند بهینه سازی برای آزمون شفافیت فیلم خوراکی، برای داشتن شفافیت حداکثر و معادل ۶/۷ ، میزان بهینه ی غلظت ایزوله ی پروتئین نخود ۴ گرم و برای گلیسرول ۶۰٪ و صفر درصد اسانس بود.

جدول ۵- آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه ی دوم اختلاف رنگ فیلم خوراکی تا سفیدی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	احتمال P
مدل	۱۷۷/۵۳	۹	<۰/۰۰۰۱
A*	۱۲۱/۱۴	۱	<۰/۰۰۰۱
B**	۰/۰۴۴	۱	۰/۸۳۲۹
C***	۳۵/۹۲	۱	۰/۰۰۰۱
A ²	۳/۵۰	۱	۰/۰۸۲۳
B ²	۰/۱۵	۱	۰/۶۹۶۸
C ²	۱/۶۸	۱	۰/۲۱۱۲
AB	۰/۰۲۴	۱	۰/۸۷۷۲
AC	۳/۳۴	۱	۰/۰۸۸۶
BC	۰/۴۰	۱	۰/۵۲۸۳

*غلظت ایزوله پروتئین نخود؛ **درصد گلیسرول؛ ***درصد

اسانس آویشن



شکل ۳- نمایش نمودار سه بعدی، اثر همزمان دو متغیر ایزوله پروتئینی نخود - درصد گلیسرول (الف) و ایزوله پروتئینی نخود - درصد اسانس آویشن بر روی تغییرات رنگ فیلم خوراکی

جدول ۶- نتایج آنالیز واریانس و بهینه سازی فیلم خوراکی در آزمون رنگ فیلم خوراکی بر پایه ایزوله پروتئینی نخود

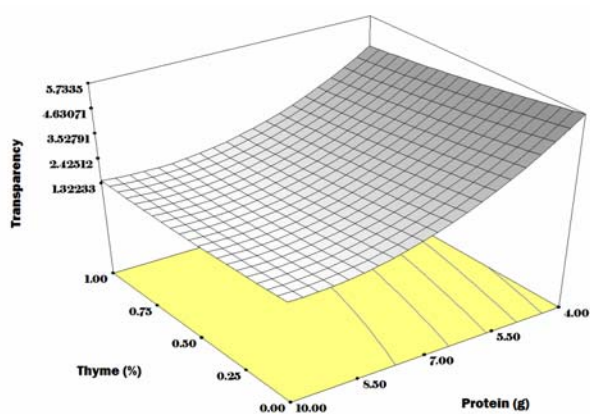
Model	Press	R ²	R ² adj	R ² pred	C.V
$\Delta E = 65/13 - 0/47X_1 + 0/92X_2$	53/72	0/95	0/91	0/71	1/47

جدول ۷- آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم اختلاف رنگ فیلم خوراکی تا سفیدی

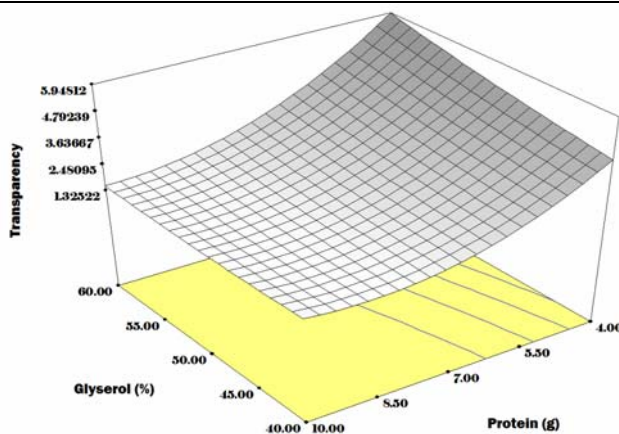
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	احتمال P
مدل	44/87	9	<0/0001
A*	31/47	1	<0/0001
B**	2/03	1	<0/0001
C***	1/33	1	<0/0001
A ²	3/33	1	<0/0001
B ²	0/036	1	0/1040
C ²	0/038	1	0/0953
AB	1/51	1	<0/0001
AC	0/73	1	<0/0001
BC	0/000023	1	0/9640

*غلظت ایزوله پروتئین نخود؛ **درصد گلیسرول؛ ***درصد

اسانس آویشن



(ب)



(الف)

شکل ۴- نمایش نمودار سه بعدی ، اثر همزمان دو متغیر ایزوله ی پروتئینی نخود - درصد گلیسرول (الف) و ایزوله ی پروتئینی نخود - درصد اسانس آویشن (ب) بر روی میزان شفافیت فیلم خوراکی

جدول ۸- نتایج آنالیز واریانس و بهینه سازی فیلم خوراکی در آزمون شفافیت

Model	Press	R ²	R ² adj	R ² pred	C.V
Transparency= $8.92-1.7 X_1+0.3 X_2-2.6 X_3+0.12 X_1^2-0.14 X_1 X_2+0.2 X_1 X_3$	0.91	0.9975	0.9953	0.99797	3.86

جدول ۹- جدول مربوط به بهینه سازی نهایی تهیه فیلم خوراکی بر پایه ایزوله پروتئینی نخود

شماره	ایزوله پروتئینی نخود (g)	گلیسرول (%)	اسانس آویشن (%)	شفافیت (AV/mm)	اختلاف رنگ	مقاومت کشش (MPa)	کشش پذیری (%)	درجه مطلوبیت
۱	۴/۰۰	۶۰/۰۰	۰/۰۰	۶/۷۳	۶۱/۰۴۷	۳/۹۱۶۲	۶۰/۹۷۳۶	۰/۹۴۹
۲	۴/۰۰	۶۰/۰۰	۰/۰۰	۶/۷۲	۶۱/۰۵۴	۳/۹۱۷۸	۶۱/۰۲۵۲	۰/۹۴۸
۳	۴/۰۰	۵۹/۷۵	۰/۰۰	۶/۷۱	۶۱/۰۲۹	۳/۹۰۵۵	۶۰/۷۷۰۶	۰/۹۴۶
۴	۴/۰۸	۶۰/۰۰	۰/۰۰	۶/۶۰	۶۱/۱۰۲	۳/۹۳۹۵	۶۰/۳۸۰۲	۰/۹۳۴
۵	۴/۰۰	۶۰/۰۰	۰/۱۳	۶/۵۱	۶۱/۲۹۸	۳/۹۵۰۳	۶۲/۱۹۹۰	۰/۹۳۰

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، نشان داده شد که می‌توان از پروتئین نخود، فیلم خوراکی تهیه کرد. همچنین غلظت مناسب نرم کننده در فیلم حاصل از ایزوله پروتئینی نخود، می‌تواند کارایی و خواص مکانیکی آن را به نحو مطلوب و مورد نظر بهبود بخشد. در آزمون خواص مکانیکی اثر هر سه پارامتر روی مقاومت کششی و درصد ازدیاد طول تا حد پارگی در سطح $P < 0.01$ معنی‌دار شد. به طوری که با افزایش درصد گلیسرول و اسانس آویشن و کاهش غلظت پروتئین، مقاومت کششی کاهش پیدا کرده، درصد ازدیاد طول افزایش یافت. به طور کلی، فیلم‌های خوراکی در قیاس با فیلم‌های سنتزی دارای کدورت بیش تری هستند و تولید فیلم خوراکی با حداقل میزان رنگ می‌تواند صنعت غذا را تا حد زیادی متحول کرده و به علت افزایش استفاده از آن‌ها در بسته‌بندی، سهم آلودگی محیط زیست توسط بسته‌بندی‌های سنتزی مربوط به مواد غذایی را تا حد زیادی کاهش دهد. ویژگی‌های فیلم پروتئین نخود در بسیاری از موارد مشابه با منابع پروتئینی نظیر سویا، کلاژن، کازئین و آب پنیر می‌باشد (۷، ۹، ۱۱ و ۱۳). پس از بهینه‌سازی نهایی تولید فیلم خوراکی بر پایه ی ایزوله پروتئینی نخود جدول ۹، جهت داشتن حداقل اختلاف رنگ و معادل ۶۱/۲۹۸، حداکثر شفافیت معادل (AV/mm) ۶/۵۱ و مقاومت کششی مطلوب و معادل (MPa) ۳/۹۵۰۳ در کنار کشش‌پذیری حداکثر و معادل ۶۲/۱۹۹۰ درصد، با درجه‌ی مطلوبیت ۰/۹۳ برای غلظت ایزوله ی پروتئینی نخود ۴ گرم، گلیسرول ۶۰ درصد و برای اسانس آویشن ۰/۱۳ درصد بود.

۵- سپاس‌گزاری

از کلیه ی همکاران و کارکنان جهاد دانشگاهی مشهد پژوهشکده ی اقبال که امکانات، تجهیزات و شرایط لازم برای به سرانجام رسیدن این تحقیق را در اختیار ما قرار دادند بویژه سرکار خانم مهندس الناز میلانی، خانم

مهندس شکوری، مسوول آزمایشگاه آکرو دیته صنایع غذایی آن پژوهشکده و سرکارخانم مهندس هنگوال که کمال همکاری را با ما داشتند و همچنین از جناب آقای مهندس سید مهدی مشکانی که در ویرایش این مقاله کمک شایانی به ما کردند، بسیار سپاس‌گزاریم.

۶- منابع

- ۱- باقری، ع.ر.، نظامی، ا. ۱۳۷۶. گنجعلی و پارسا، م. زراعت و اصلاح نخود (ترجمه) انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- ۲- باقری، ع.ر.، نظامی، ا. و سلطانی، م. ۱۳۷۹. اصلاح حبوبات سرما دوست برای تحمل به تنش‌ها، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- ۳- حسینی، ف. ۱۳۸۹. شناسایی ویژگی‌ها، کاربردها و روش‌های تولید رنگ‌های طبیعی خوراکی. طرح پژوهشی. پژوهشکده ی علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد، گروه پژوهشی افزودنی‌های غذایی. تعداد صفحات: ۳۰۷.
- ۴- رهنما، ف. ۱۳۸۸. ارزیابی خواص فیزیکی مکانیکی فیلم خوراکی بر پایه ژلاتین. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد صنایع غذایی. دانشگاه آزاد اسلامی سبزوار.
- ۵- صارم نژاد، س.، عزیزی، م. ح.، برزگر، م.، وعباسی، س. ۱۳۸۸. بررسی اثر pH و غلظت پلاستی سایزر روی ویژگی‌های فیلم تهیه شده از ایزوله پروتئین باقلا، دانشگاه تربیت مدرس، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، دوره ۶، شماره ۲.

6- ASTM. 2002b. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting (D 882-01). In: Annual book of ASTM Standards (pp. 162–170). Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials.

7- Barreto, P. L. M., Pires, A. T. N. and Soldi, V. 2003. Thermal degradation of edible films based on milk proteins and gelatin in inert atmosphere. *Polymer Degradation and Stability*, 79, 147-152.

8- Brody LA. Packaging. Food Technol. 2005; 59(2):65-66.

- films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 503–510.
- 19- Liu, Ch., Tellez-Garay, A. M. and Castell-Perez, M. E. 2004. Physical and mechanical properties of peanut protein films. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 37, 731-738.
- 20- Myers, R.H. and Montgomery, D.C. 2002. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. 2nd Edition. Wiley, New York.
- 21- Ou, S., Kwok, K. C. and Kang, Y. 2004. Changes in invitro digestibility and available lysine of soy protein isolate after formation of film. *Journal of Food Engineering*. 64, 301-305.
- 22- Park, H.J., Weller, C.L., Verrgano, P.J. and Testin, R.F. 1993. Permeability and mechanical properties of cellulosebased edible films. *J. Food Sci.* 58(6): 1361-1364, 1370.
- 23- Sabaghpour, S. H., Sadeghi, E. and Malhotra R.S. 2003. Present status and future prospects of chickpea cultivation in Iran. *International chickpea Conference*. 20-22 Jan, 2003, Raipur, India.
- 24- Sabaghpour, S. H., Safihkni M. and Sarker, A. 2004. Present status and future prospects of lentil cultivation in Iran. *Proceedings of the Fifth European Conference on Grain Legume*. 7-11 June 2004, Dijon, France.
- 9- Cho, S. Y., and Rhee, C. 2002. Sorption characteristics of soy protein films and their relation to mechanical properties. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 35(2), 151–157.
- 10- Choi, W.S., and Han, J.H. 2002. Film-forming mechanism and heat denaturation effects on the physical and chemical properties of pea-protein-isolate edible films. *J. Food Sci.* 67(4)1399-1406.
- 11- Denavi, G., Tapia-Blacido, D.R., Anon, M.C., Sobral, P.J.A., Mauri, A.N., Menegalli, F.C. 2009. Effects of drying conditions on some physical properties of soy protein films. *Journal of Food Engineering* 90:341–349.
- 12- Du, W-X., Olsen, C, W., Avena-Bustillos, R, J., McHugh, T, H., Levin, T, H., Mandrel, R., and Friedman, M., 2009. Antibacterial Effects of Allspice, Garlic, and Oregano Essential Oils in Tomato Films Determined by Overlay and Vapor-Phase Methods. *JFS M: Food Microbiology and Safety*, 74:M390-M397.
- 13- Fabra, M. J., Talens, P., and Chirat, A. 2009. Microstructure and Optical Properties of Sodium Caseinate Films Containing oleic Acid-Bees Wax Mixtures, *Food Hydrocolloids*, No.23, PP.676-683.
- 14- Gontard, N. and Guilbert, S. 1994. Biopackaging: Technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. In M. Mathouthi, *Food Processing and Preservation*; chapter 9. Glassgow: Blackie Academic and Professional.
- 15- Gounga, M. E., Xu, S. Y., Wang, Z. 2007. Whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan addition in film formation. *Journal of Food Engineering*. 83:521–530.
- 16- Hosseini, M. H., Razavi, S. H., & Mousavi, M. A. 2009. Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosanbased films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 727–743.
- 17- Jangchud, A., and Chinnan, M. S. 1999. Peanut protein film as affected by drying temperature and pH of film forming solution. *Journal of Food Science*, 64(1), 153–157.
- 18- Kokoszka, S., Debeaufort, F., Hambleton, A., Lenart, A. and Voilley, A. 2010. Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible