نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۹، ص. ۹۹ ۹۱

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 6, No. 2, Summer, 2010, p. 91-99

تأثیر اسید پالمیتیک بر ویژگی‌های مکانیکی، حرارتی و نفوذپذیری فیلم خوراکی گلوبولین پسته

یونس زاهدی[۱*] ناصر صداقت[۲] بابک قنبرزاده[۳]

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۱
تاریخ پذیرش:۸۹/۹/۸

چکیده

فیلم خوراکی مرکب با استفاده از پروتئین گلوبولین پسته و اسید چرب پالمیتیک (۲، ۴ و ۶ درصد وزنی پروتئین) و با افزودن امولسیفایر و هوموژنیزاسیون تهیه شد تا نفوذپذیری به بخار آب و حلالیت در آب فیلم پروتئینی را کاهش دهند. افزودن اسید چرب باعث شد نفوذپذیری به بخار آب به مقدار زیادی کاهش یابد (۳۷ تا ۴۰ درصد). غلظت اسید چرب اختلاف معنی داری ($P>0/05$) در نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های امولسیونی ایجاد نکرد. حلالیت در آب فیلم پروتئینی ۴۴/۸ درصد بود و به مقدار کمی‌کاهش یافت. نفوذپذیری به اکسیژن فیلم‌های امولسیونی کمتر از فیلم پروتئینی بوده ولی اختلاف معنی‌داری ($P>0/05$) در نفوذپذیری به اکسیژن فیلم‌ها وجود نداشت. مقاومت به کشش و ازدیاد طول فیلم‌ها توسط اسید چرب تضعیف گردید. اضافه کردن اسید چرب منجر به تولید فیلم‌های مات شده و کدورت فیلم‌ها به عنوان تابعی از غلظت اسید چرب افزایش یافت. کالریمتری روبشی افتراقی نشان داد دمای انتقال شیشه‌ای فیلم پروتئین گلوبولین پسته ۱۲۷/۱۹°C بود و افزودن اسید پالمیتیک تأثیری روی آن نداشت.

واژه‌های کلیدی: پروتئین گلوبولین پسته، اسید پالمیتیک، نفوذپذیری، ویژگیهای مکانیکی و حرارتی

مقدمه[۱]

مصرف جهانی مواد پلاستیکی در سال ۲۰۰۸ بیش از ۲۰۰ میلیون تن بود و آمارها حاکی از آن است که سالانه به اندازه ۵ درصد به مصرف این مواد افزوده می‌شود. بزرگترین بازار مواد پلاستیکی مربوط به بسته‌بندی است که حدود ۱۲ میلیون تن را در سال شامل می‌شود. این مواد به خاطر اینکه بعد از استفاده به مدت طولانی در طبیعت بوده و خیلی به کندی تجزیه می‌شوند مشکلات زیست محیطی ایجاد می‌نمایند (۳۲ و ۳۶). مشکل دیگر بسته‌بندی‌های پلاستیکی مهاجرت ترکیبات استفاده شده در فرمولاسیون مانند پلاستی سایزرها، مونومرها و باقیمانده حلال به داخل ماده غذایی می‌باشد که موجب کاهش ایمنی و ایجاد بد طعمی‌در ماده غذایی می‌گردد (۱۷). نگرانی در مورد مشکلات زیست محیطی ناشی از مواد بسته‌بندی پلاستیکی حاصل از فرآورده‌های نفتی و تجزیه‌ناپذیر و همچنین تقاضای مصرف کنندگان برای محصولات غذایی با کیفیت بالا باعث توسعه مواد بسته‌بندی زیست تخریب پذیر مانند فیلم‌های خوراکی شده است. اگرچه جایگزینی کامل این مواد با مواد بسته‌بندی زیست تخریب پذیر تقریباً غیرممکن است ولی می‌توان برای مواردی نظیر بسته‌بندی مواد غذایی حتی الامکان از بیوپلیمرها استفاده نمود (۳۲ و ۳۶).

فیلم‌ها و پوششهای خوراکی می توانند از انتقال رطوبت بین اجزاء موجود در درون بسته غذایی که فعالیت آبی متفاوتی دارند، ممانعت نمایند. همچنین فیلم‌های بیوپلیمری وسیله‌ای بسیار خوب برای افزودن موادی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها، مواد ضد میکروبی، رنگ‌ها و سایر مواد عملگرا هستند و بعد از مصرف غذا و وارد شدن اینها به طبیعت در کوتاه مدت به آب، دی‌اکسیدکربن و ترکیبات غیرآلی بدون هیچ بازمانده سمی‌تجزیه شده و مشکلی ایجاد نمی‌کنند (۱۴ و ۲۵). فیلم‌های تهیه شده از پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها دارای ویژگی‌های خوب مکانیکی هستند ولی به خاطر ماهیت آبدوستشان نفوذپذیری بالایی در مقابل رطوبت دارند. در مقابل، فیلم‌های حاصل از لیپیدها به دلیل طبیعت آبگریزشان از نفوذپذیری کمی در برابر رطوبت برخوردارند. ولی به دلیل اینکه مواد لیپیدی بصورت پلیمر نیستند این فیلم‌ها به تنهایی بسیار شکننده هستند. علت اصلی افزودن لیپیدها به فیلم‌ها و پوششهای خوراکی افزایش دادن آبگریزی است (۸).

مغز پسته دارای مقدار زیادی چربی، پروتئین ، کربوهیدرات، مواد معدنی و سایر ترکیبات می‌باشد. مقدار پروتئین و روغن رقم اوحدی به

---

۱ و ۲ به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(* نویسنده مسئول: Email: Yuones.zahedi77@gmail.com)

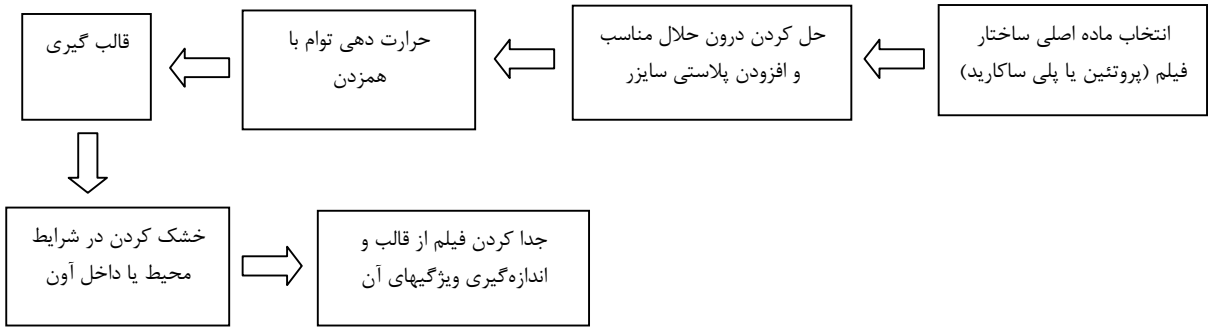
۳ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه تبریز

ترتیب در محدوده ۲۰/۸– ۱۹/۴۱ درصد و ۵۸/۳ – ۵۶/۵ درصد قرار دارد (۹، ۳۰ و ۳۴). پسته معمولاً به عنوان آجیل مصرف و مقدار خیلی کمی‌نیز روغن کشی می‌شود. بعد از روغن‌کشی حدود ۴۰ درصد وزن کنجاله را پروتئین تشکیل خواهد داد. بنابراین می توان کنجاله پسته را به عنوان یک منبع غنی از پروتئین تلقی کرد.

آیرانجی و ستین (۵) پروتئین پسته رقم *Terebinthus* را به فیلم خوراکی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز اضافه کرده و تأثیر آن را روی نفوذپذیری به بخار آب فیلم بررسی نمودند. نتایج نشان داد به دلیل ماهیت آبدوست پروتئین و زیاد بودن مقدار اسیدهای آمینه آبدوست، افزودن پروتئین پسته باعث افزایش نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها شد. آقایی (۱) موفق به تهیه فیلم خوراکی از پروتئین پسته گردید. این فیلم‌ها در برابر رطوبت نفوذپذیری بالایی داشتند.

فیلم‌های مرکب به دو صورت لایه‌ای و یا امولسیونی تهیه می‌شوند. در فیلم لایه‌ای ماده لیپیدی به صورت لایه‌ای در سطح فیلم بیوپلیمری است. ولی در فیلم امولسیونی ماده لیپیدی به صورت یکنواخت درون فیلم بیوپلیمری پخش شده است. مهم‌ترین عیب فیلم‌های لایه‌ای ۴ مرحله‌ای بودن فرایند تهیه آنها می‌باشد که شامل دو مرحله قالب‌گیری و دو مرحله خشک کردن می‌باشد. به خاطر همین عیب معمولاً فیلم‌های امولسیونی ترجیح داده می‌شوند با وجود اینکه فیلم‌های لایه‌ای بازدارندگی بهتری در برابر بخار آب دارند (۱۰). همچنین انرژی سطحی زیاد بین ماده آبدوست و آبگریز می‌تواند باعث جدا شدن لایه‌ها از همدیگر گردد (۲۹). افزودن لیپید به فیلم پروتئین آب پنیر باعث شد نفوذپذیری به بخار آب کاهش یابد بدین ترتیب که با افزایش غلظت تا ۵۰ درصد روند کاهش نفوذپذیری قابل ملاحظه بود ولی با ادامه افزایش غلظت ماده لیپیدی، نفوذپذیری تغییر چندانی نکرد (۲۹). نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های امولسیونی و لایه‌ای تهیه شده از پروتئین آب پنیر و مونوگلیسرید استیله شده به ترتیب ۲ و ۷۰ برابر کمتر از فیلم پروتئین آب پنیر بود (۲). پرزماتئوس و همکاران (۲۴) فیلم امولسیونی از ترکیب روغن آفتابگردان و ژلاتین تهیه نمودند. این فیلم‌ها در مقایسه با فیلم فاقد روغن نفوذپذیری کمتری به آب داشتند و نفوذپذیری با افزایش غلظت ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت.

نمودار جریان فرایند تولید فیلم خوراکی به روش مرطوب (تبخیر حلال):



هدف از انجام این پژوهش تهیه فیلم امولسیونی از ترکیب پروتئین گلوبولین پسته و اسید چرب پالمیتیک و سپس بررسی تأثیر این اسید چرب روی ویژگی‌های نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن، ویژگی‌های مکانیکی، حلالیت در آب، کدورت و دمای انتقال شیشه ای فیلم‌های تهیه شده بود.

مواد و روش‌ها

مواد

کنجاله پسته (رقم اوحدی) از کارخانه روغن کشی مانیلا واقع در رفسنجان تهیه شد. کلرید کلسیم بدون آب و سولفات پتاسیم از شرکت فلوکا خریداری شدند. امولسیفایر توئین ۸۰، گلیسیرول، اسید چرب پالمیتیک، سدیم آزید و نیترات کلسیم از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

استخراج پروتئین

استخراج پروتئین از کنجاله پسته با روش شکرائی و اسن (۳۱) انجام شد.

تهیه فیلم خوراکی از پروتئین پسته و اسید چرب

محلول پروتئینی ۶ درصد وزنی حجمی‌از پودر پروتئین پسته و آب مقطر تهیه شده و با سود یک نرمال pH آن روی ۱۱ تنظیم گردید. محلول روی هیتر مجهز به همزن مغناطیسی تا درجه حرارت ۸۰°C و تحت همزدن با دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه حرارت داده شد. پس از رسیدن به این دما گلیسیرول، به عنوان پلاستی سایزر، به مقدار ۱۰۰ درصد وزن پروتئین به محلول اضافه شده و به مدت ۲۵ دقیقه در درجه حرارت ۸۰±۲ °C و همزدن حرارت دهی ادامه یافت. برای تهیه فیلم خوراکی امولسیونی، اسید پالمیتک (در غلظتهای ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی پروتئین) به همراه امولسیفایر توئین ۸۰ (به مقدار ۱۰ درصد وزن اسید چرب) به محلول اضافه شده و به مدت یک دقیقه تحت همان شرایط حرارت دید.

سپس به مدت یک دقیقه دیگر توسط هوموژنایزر اولترا توراکس (مدل IKA T25 digital، ساخت آلمان) با دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه همگن گردید. برای جداسازی لخته‌های پروتئینی موجود، محلول توسط توری پارچه ای صاف شده و با نسبت ۳/۵ سی سی بر سانتیمتر مربع در قالبهای آلومینیومی‌ریخته شد. قالبهای حاوی محلول فیلم پروتئین و محلول فیلم امولسیونی به ترتیب به مدت ۴۰ و ۴۸ ساعت در شرایط آزمایشگاه (دمای ۲۵±۳ °C و رطوبت نسبی ۳۵ ±۲ درصد) قرار داده شدند تا رطوبتشان تبخیر شده و فیلم خوراکی تشکیل گردد.

مشروط کردن و اندازه‌گیری ضخامت فیلم خوراکی

قبل از انجام آزمون‌ها فیلم‌های خوراکی توسط دستگاه مشروط کننده هوا در درجه حرارت ۲۵ °C و رطوبت نسبی ۵۵ درصد به مدت ۴۸ ساعت مشروط شدند. ضخامت فیلم‌ها توسط میکرومتر دیجیتالی (مدل QLR digit-IP54، ساخت چین) و قبل از انجام آزمونها تعیین شد. برای فیلم‌هایی که به منظور تعیین نفوذپذیری به بخار آب تهیه شده بودند ضخامت در ۵ نقطه (۴ نقطه در پیرامون و یک نقطه در مرکز فیلم) اندازه‌گیری و میانگین گرفته شد. برای فیلم های آماده شده به منظور تعیین خواص مکانیکی ضخامت ۸ نقطه در امتداد فیلم اندازه گیری گردید.

اندازه‌گیری نفوذپذیری به بخار آب (WVP[1])

نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های خوراکی طبق استاندارد ASTM E 96-00(۴) و با روش دسیکانت[2] اندازه گیری شد. در این روش کلرید کلسیم بدون آب به عنوان یک ماده جاذب رطوبت داخل فنجانک‌های شیشه ای ریخته شد. فنجانک‌ها داخل محفظه‌ای قرار گرفتند که رطوبت نسبی داخل آن توسط محلول اشباع سولفات پتاسیم به ۱±۹۷ درصد رسیده بود. منحنی تغییرات وزن در برابر زمان رسم شده و شیب خط در قسمت خطی منحنی محاسبه گردید. نفوذپذیری به بخار آب توسط فرمول ۱ بدست آمد:

$$WVP = \frac{Slope \times x}{A \times S(R_1 - R_2)} \quad (۱)$$

WVP (g.mm/m^2.d.KPa)، نفوذپذیری به بخار آب، A، مساحت دهانه فنجانک بر حسب مترمربع، x میانگین ضخامت فیلم بر حسب میلیمتر، S، فشار بخار اشباع در دمای آزمایش بر حسب پاسکال، R_1، رطوبت نسبی موجود در محیط اندازه‌گیری و R_2، رطوبت نسبی در داخل فنجانک است.

اندازه‌گیری نفوذپذیری به اکسیژن (OP[3])

نفوذپذیری به اکسیژن به صورت مقایسه‌ای و طبق روش اُو و همکاران (۲۱)، که بر اساس اندازه‌گیری مقدار تغییر در عدد پروکسید روغن بدون آنتی‌اکسیدان می‌باشد، تعیین شد. در این آزمون مقدار ۱۰ میلی‌لیتر روغن تازه و حساس به اکسیداسیون آفتابگردان داخل ظروف شیشه‌ای ریخته شد. در دهانه این ظروف فیلم خوراکی قرار گرفت و به مدت ۴۵ روز در محیطی با رطوبت نسبی ۵۵ درصد و درجه حرارت ۱±۲۵ °C نگهداری شدند. برای تامین رطوبت نسبی از محلول اشباع نیترات کلسیم استفاده شد. بعد از این مدت عدد پروکسید روغن با روش شانتا و دکر (۲۸) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی

مقاومت به کشش و ازدیاد طول تا نقطه پارگی بر اساس استاندارد ASTM D882–02 (۳) و به وسیله دستگاه بافت سنج QTS (مدل CNS Farnell, Essex، ساخت انگلیس) اندازه‌گیری گردید. فاصله بین دو فک ۱۰ سانتیمتر و سرعت حرکت فک متحرک ۵۰ mm/min بود.

اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای[4]

تعیین دمای انتقال شیشه‌ای با دستگاه کالریمتری روبشی افتراقی[5] (مدل شیمادزو، ساخت ژاپن) انجام شد. حدود ۲ میلی‌گرم از هر نمونه برای آزمون استفاده شد. آزمون در محدوده دمایی ۲۰۰°C+_۴۰۰ و با آهنگ گرمایشی ۱۰°C/min انجام گردید.

اندازه‌گیری کدروت

مقدار کدورت فیلم‌های خوراکی طبق روش گونتارد و همکاران (۱۱) تعیین گردید. فیلم‌ها به ابعاد مناسب بریده شده و داخل سل اسپکتروفوتومتر UV-Vis (مدل شیمادزو UV-160A، ساخت ژاپن) قرار گرفتند. مقدار جذب فیلم در دامنه طول موج ۸۰۰ ۴۰۰ نانومتر اندازه‌گیری و طیف جذبی آن رسم شد. مساحت زیر منحنی "طول موج – جذب" توسط دستگاه مساحت سنج (مدل LI-3100C) تعیین شد و به عنوان کدورت فیلم بیان گردید.

اندازه‌گیری حلالیت در آب

حلالیت در آب فیلم‌های خوراکی توسط روش گونتارد و همکاران (۱۲) تعیین گردید. فیلم‌ها به ابعاد تقریبی ۲×۲ سانتیمتر مربع بریده و

1- Water vapor permeability
2- Desiccant method
3- Oxygen permeability
4- Glass transition temperature
5- Differential Scanning Calotimetry

توزین شدند. یک قطعه به عنوان نمونه شاهد به مدت ۲۴ ساعت در درجه حرارت ۱۰۳±۲°C آون گذاری شد. قطعه دیگر با وزنی برابر شاهد داخل ظرفی که حاوی ۵۰ میلی لیتر آب مقطر بود انداخته شد. مقدار ۰/۰۲ درصد وزنی- حجمی‌سدیم آزید برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها به آب مقطر اضافه گردید. سپس ظرف حاوی نمونه به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط و داخل شیکر مکانیکی با دور ملایم قرار داده شد. بعد از این مدت نمونه‌ها از داخل آب مقطر خارج شده و آب سطح آنها تا حد امکان خشک شد و به مدت ۲۴ ساعت در درجه حرارت ۱۰۳±۲°C آون گذاری گردیدند. نمونه‌ها بعد از سرد کردن داخل دسیکاتور توزین شدند. درصد حلالیت با رابطه ۲ تعیین گردید:

$$\%solubility = \frac{M_d - M_s}{M_d} \times 100 \qquad (۲)$$

که M_d، ماده خشک فیلم بعد از آون گذاری و M_s، ماده خشک فیلم بعد از حل کردن و آون گذاری است.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایشها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. آزمایش تعیین دمای انتقال شیشه‌ای بدون تکرار، آزمون کدورت سنجی در ۵ تکرار و بقیه آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام شد. آنالیز واریانس نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار MSTAT-C نسخه ۱/۴۲ صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها بوسیله آزمون LSD[1] و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نفوذ پذیری به بخار آب (WVP)

افزودن اسید پالمیتیک به فیلم پروتئین گلوبولین پسته سبب گردید WVP فیلم‌های امولسیونی حاصله ۳۷ الی ۴۰ درصد کاهش یابد و اختلاف ایجاد شده معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). چون اسیدهای چرب ترکیباتی آبگریز هستند افزودن آنها به فرمولاسیون فیلم خوراکی آبگریزی را افزایش خواهد داد. در بین اسیدهای کربوکسیلیک، اسیدهای استئاریک و پالمیتیک کمترین WVP را دارند (۱۶ و ۲۲). افزایش غلظت اسید پالمیتیک (شکل ۱) اختلاف معنی‌داری در WVP ایجاد نکرد (P>۰/۰۵). ولی به دلیل افزایش نسبت ترکیبات آبگریز در فیلم حاصل، WVP کاهش یافت. معمولاً با افزایش غلظت، بازدارندگی افزایش یافته و بعد از رسیدن به غلظت معینی بازدارندگی تغییر چندانی نمی‌کند (۲۰) و یا کاهش می یابد (۱۳ و ۱۶). افزودن ۱۰ درصد چربی شیر، WVP فیلم‌های کازئین را بصورت معنی‌داری کاهش نداد و در ادامه با افزایش مقدار تا ۳۰ درصد ، اثر منفی روی WVP گذاشت. علت این امر توزیع ناهمگن گلبولهای چربی درشت در داخل شبکه فیلم بود که روی پیوستگی ماتریکس و پایداری امولسیون تأثیر منفی گذاشت (۱۵). افزودن اسید پالمیتیک به فیلم پروتئین سویا باعث کاهش چشمگیری در WVP گردید. با افزایش غلظت تا ۲۰ درصد، کاهش WVP ادامه یافته اما اختلاف ایجاد شده بین ۲۰ و ۳۰ درصد معنی‌دار نبود (۳۵).

نفوذپذیری به اکسیژن

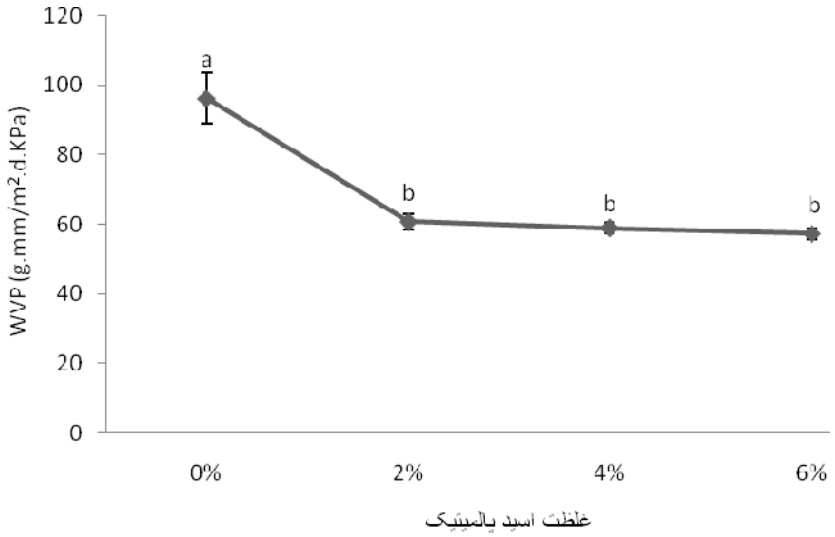
بخش عمده‌ای از اسیدهای آمینه پروتئین‌ها را اسیدهای آمینه قطبی (یونیزه و غیریونیزه) تشکیل می‌دهند. به همین دلیل پروتئین‌ها بازدارندگی خوبی در برابر اکسیژن و دی‌اکسید کربن دارند. افزودن اسید پالمیتیک سبب کاهش نفوذپذیری به اکسیژن فیلم‌های امولسیونی گردید (شکل ۲) ولی اختلاف ایجاد شده معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). احتمالاً با افزودن اسید چرب و انجام عمل هوموژنیزاسیون این اسید فضاهای باز موجود در شبکه پلیمری فیلم را پر کرده و در نتیجه سرعت انتشار اکسیژن کاهش می‌یابد. خوالدیا و همکاران (۱۵) گزارش کردند افزودن چربی شیر تا غلظت ۲۰ درصد باعث کاهش نفوذپذیری به اکسیژن شد. ولی از غلظت ۲۰ درصد به بالا نفوذپذیری اندکی افزایش یافت زیرا در غلظتهای بالا توزیع ناهمگن گلبولهای چربی درشت باعث کاهش پیوستگی ساختاری فیلم می‌شود. افزودن اسید لوریک به فیلم ژلاتین باعث افزایش نفوذپذیری به اکسیژن شد (۷).

ویژگی‌های مکانیکی

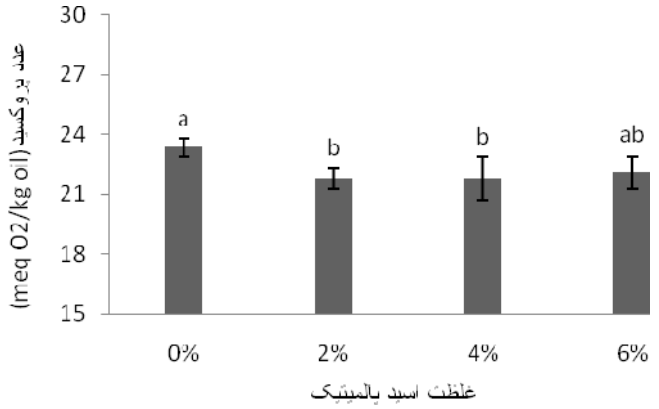
مقاومت به کشش

افزودن ۲ درصد اسید پالمیتیک باعث کاهش مقاومت به کشش فیلم‌های امولسیونی گردید ولی اختلاف ایجاد شده معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). با افزودن اسید چرب به دلیل تفاوت در قطبیت، برهم کنش ضعیفی بین آن و پروتئین ایجاد شده و مقاومت به کشش کاهش می‌یابد. بسیاری از پژوهشگران گزارش کرده‌اند افزودن ترکیبات لیپیدی به فیلم‌های خوراکی سبب کاهش مقاومت فیلم در برابر تنش کششی می‌گردد (۱۵، ۲۳، ۲۹، ۳۳ و ۳۷). با افزایش غلظت به ۴ درصد مقاومت به کشش افزایش پیدا کرد. ریم و همکاران (۳۵) گزارش کردند مقاومت به کشش فیلم امولسیونی پروتئین سویا و اسید چرب با افزودن ۱۰ درصد اسید پالمیتیک کاهش یافته و سپس با افزایش غلظت تا ۲۰ درصد ، افزایش پیدا کرد. آنها به این نتیجه رسیدند به دلیل جامد بودن این اسید چرب در دمای اتاق، افزایش در نسبت اسید چرب به پروتئین منجر به افزایش سفتی فیلم‌ها و افزایش مقاومت در برابر کشش می‌گردد.

1- Least Significant Difference



شکل ۱ تاثیر غلظت اسید پالمیتیک روی نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های خوراکی تهیه شده از پروتئین گلوبولین پسته

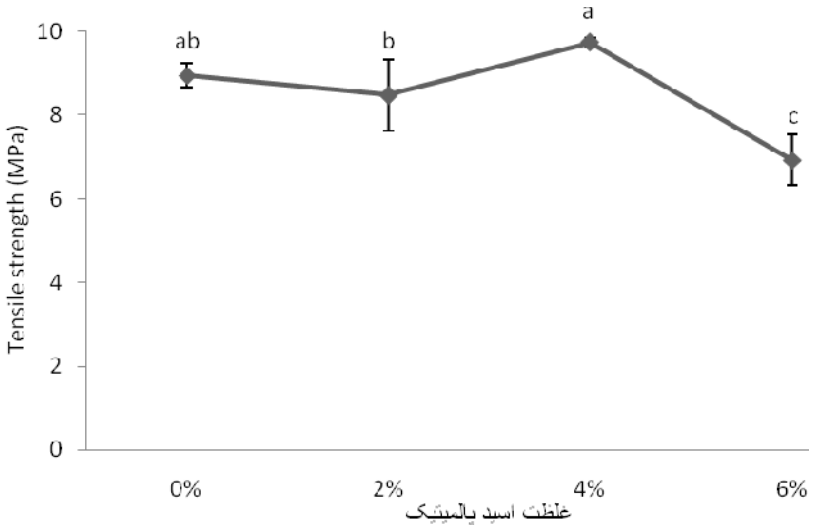


شکل ۲ تأثیر غلظت اسید پالمیتیک روی نفوذپذیری به اکسیژن فیلمهای خوراکی تهیه شده از پروتئین گلوبولین پسته

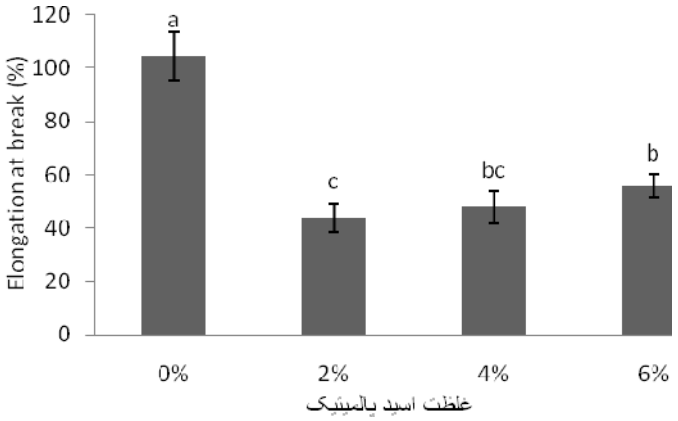
با افزایش غلظت اسید پالمیتیک تا ۶ درصد، مقاومت به کشش سریعاً کاهش یافت. زیرا با افزایش غلظت برهم کنش بین مولکول‌های اسید چرب و پروتئین‌ها افزایش یافته و سبب تضعیف هر چه بیشتر شبکه پلیمری گشته و سفتی ایجاد شده نیز تحت الشعاع تعداد زیاد این برهم کنشهای ضعیف قرار گرفته است و بدین ترتیب مقاومت به کشش کاهش پیدا کرد (شکل ۳).

ازدیاد طول تا نقطه پارگی

ازدیاد طول فیلم پروتئین گلوبولین پسته بیش از دو برابر بود و توسط اسید پالمیتیک بطور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت ($P<0/05$) و ۴۷ تا ۵۸ درصد کاهش یافت (شکل ۴). با وارد شدن اسید چرب به ماتریکسی که در آن انواع پیوندهای قوی کوالانسی و الکترواستاتیکی ساختمان اصلی فیلم را پایدار کرده‌اند، شبکه پلیمری تضعیف می‌گردد. زیرا خود اسید چرب ماهیت پلیمری نداشته و قرار گرفتن آن در شبکه منجر به ایجاد گسستگی در شبکه و پاره شدن سریعتر فیلم می‌گردد. اسیدهای چرب پالمیتیک و استئاریک به دلیل ممانعت از ایجاد یک ساختار پیوسته و یکپارچه باعث کاهش ازدیاد طول فیلم‌های آرابینوزایلان و کیتوزان شدند (۲۳ و ۳۳). با افزایش غلظت اسید پالمیتیک ازدیاد طول به عنوان تابعی از افزایش غلظت افزایش پیدا کرد. نقش اصلی اسیدهای چرب افزایش دادن آبگریزی فیلم می‌باشد ولی در کنار این، اسیدهای چرب نقش پلاستی سایزری نیز ایفا می‌کنند. با افزایش غلظت پلاستی سایزر برهم کنش بین زنجیرهای پروتئینی کاهش یافته و ازدیا طول افزایش می‌یابد.



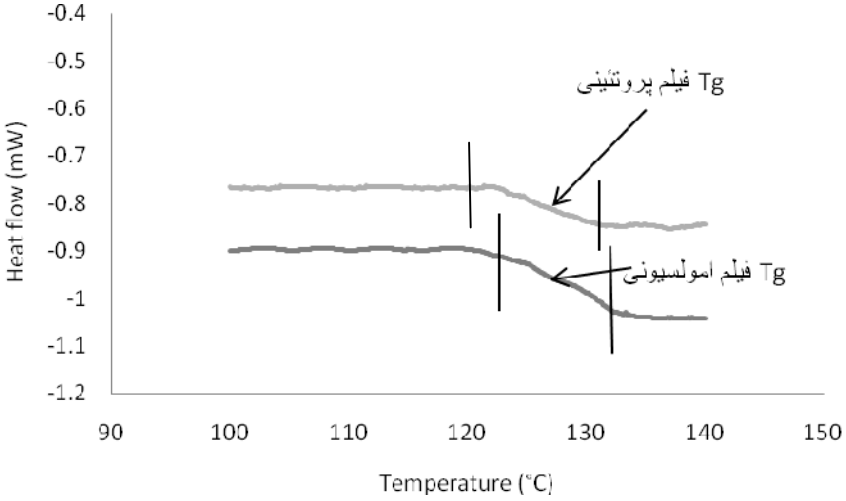
شکل ۳ تاثیر غلظت اسید پالمیتیک روی مقاومت به کشش فیلم‌های خوراکی تهیه شده از پروتئین گلوبولین پسته



شکل ٤ تاثیر غلظت اسید پالمیتیک روی ازدیاد طول فیلم‌های خوراکی تهیه شده از پروتئین گلوبولین پسته

دمای انتقال شیشه‌ای (T_g)

کالریمتری روبشی افتراقی نشان داد دمای انتقال شیشه‌ای فیلم پروتئینی ۱۲۷/۱۹°C بود. افزودن اسید پالمیتیک به مقدار ۶ درصد وزنی پروتئین، تأثیر مشخصی روی T_g فیلم ایجاد نکرد (شکل ۵). پومت و همکاران (۲۶) گزارش کردند در فیلم‌های تهیه شده از گلوتن و اسیدهای چرب اشباع ۶ تا ۱۶ کربنه، اسیدهای چرب کوتاه زنجیر کاپروئیک، کاپریلیک و کاپریک به صورت همگن در ماتریکس فیلم پخش شده و فقط یک دمای انتقال شیشه‌ای برای فیلم وجود دارد در حالیکه توزیع ناهمگن و کریستالیزاسیون جزئی اسیدهای لوریک، میریستیک و پالمیتیک باعث می‌شود برای این اسیدهای چرب یک دمای انتقال شیشه‌ای مجزا وجود داشته باشد. در دماهای بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای مواد پلیمری نرم و لاستیکی و در دماهای پایین تر از آن به صورت شیشه‌ای و سفت می‌باشند. اهمیت اندازه‌گیری T_g برای فیلم‌های خوراکی به این است که در دماهای بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای تحرک زنجیرها افزایش یافته و فضاهای خالی بیشتر شده و در نتیجه نفوذپذیری افزایش می‌یابد. بنابراین هر چقدر دمای انتقال شیشه‌ای فیلم خوراکی بالاتر باشد در محدوده دمایی وسیعتری به عنوان بازدارنده خوب عمل می‌کند (۱۸ و ۱۹).



شکل ۵ دمای انتقال شیشه ای فیلم پروتئین گلوبولین پسته و فیلم امولسیونی حاوی ٦ درصد اسید پالمیتیک

حلالیت در آب

حلالیت در آب فیلم پروتئین گلوبولین پسته در نتیجه وارد شدن اسید چرب کاهش یافت ولی اختلاف ایجاد شده معنی دار نبود (P>۰/۰۵). حلالیت فیلم پروتئین و فیلم‌های امولسیونی حاوی ۲، ۴ و ۶ درصد اسید پالمیتیک به ترتیب ۴۴/۸، ۴۱/۵، ۴۲/۲ و ۴۳/۵ درصد بود. مولکولهای اسید چرب تا حدودی اطراف پروتئین‌ها را احاطه کرده باعث کاهش نفوذ آب به شبکه پروتئین و کاهش حلالیت آن می‌گردند. از طرف دیگر، افزودن اسید چرب موجب می‌گردد بخشی از برهم کنشهای آب پروتئین و گلیسیرول پروتئین جای خود را به برهم کنشهای لیپید پروتئین بدهند و به صورت آزاد در شبکه فیلم قرار گیرند و به هنگام حل کردن، این مواد که دارای وزن مولکولی کم هستند وارد آب می‌شوند. در مجموع کاهش خروج پروتئین در مقایسه با افزایش خروج گلیسیرول بیشتر بوده و حلالیت کاهش یافت. نتایج تحقیق گونتارد و همکاران (۱۲) نشان داد اضافه کردن ۲۰ درصد ترکیبات لیپیدی به فیلم گلوتنی سبب افزایش حلالیت فیلم‌های امولسیونی گردید. آنها بیان کردند ترکیبات لیپیدی با قرار گرفتن در بین پروتئین‌ها، باعث کاهش برهم کنش بین پروتئین‌ها گشته و نیروهای بین مولکولی بین زنجیرهای پروتئینی کاهش می‌یابد و بدین ترتیب ماتریکس، که پروتئینی می‌باشد، تا حدودی ناپایدار شده و حلالیت افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت مواد آبگریز، حلالیت در آب فیلم‌های ژلاتین و روغن آفتابگردان کاسته شد دلیل این کاهش به برهم کنش بین مواد لیپیدی و پروتئین و کاهش حلالیت آن ارتباط داده شد (۲۴).

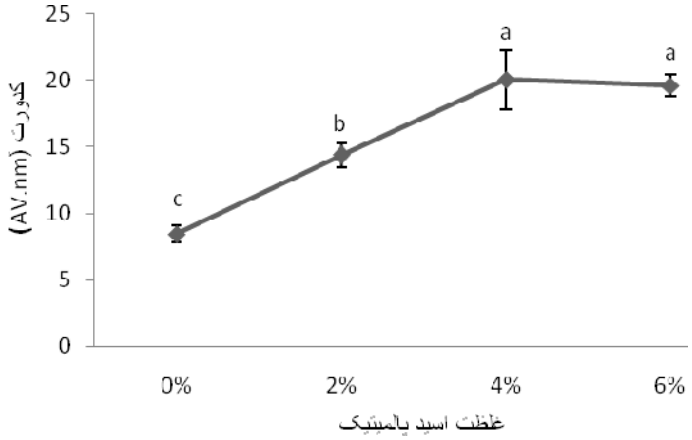
کدورت

فیلم پروتئین گلوبولین پسته زرد رنگ بود. افزودن اسید چرب باعث تولید فیلم‌هایی شد که نسبتاً مات بودند. مقادیر کدورت فیلم‌های امولسیونی اختلاف معنی‌داری با فیلم پروتئین گلوبولین پسته داشت (P<۰/۰۵). با افزایش غلظت اسید پالمیتیک کدورت فیلم‌ها افزایش یافت (شکل ۶) ولی کدورت فیلم‌های حاوی ۴ و ۶ درصد اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (P>۰/۰۵). علت مات شدن فیلم‌های امولسیونی در اثر افزودن اسید پالمیتیک احتمالاً مربوط به نقطه ذوب بالای این اسید چرب (۶۲/۹ °C) می‌باشد. محققین زیادی گزارش کرده‌اند که افزودن ترکیبات لیپیدی به فیلم‌های خوراکی سبب کدر شدن آنها می‌گردد (۶، ۷، ۱۲، ۲۴ و ۲۷). فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نه تنها باید خواص مکانیکی قابل قبول و بازدارندگی مناسبی در برابر رطوبت و گازها داشته باشند بلکه رنگ و براقیت آنها به خصوص در مواردی که به عنوان پوشش استفاده می‌شوند حائز اهمیت بوده و باعث جذاب دیده شدن ماده غذایی و جذب مشتری می‌گردد.

نتیجه گیری

افزودن اسید چرب پالمیتیک به فرمولاسیون فیلم خوراکی پروتئین گلوبولین پسته سبب ایجاد تغییراتی مطلوب و همچنین نامطلوب در ویژگیهای فیزیکی این فیلم گردید که البته در مقابل تغییرات مطلوب ایجاد شده قابل اغماض بوده و کاربرد فیلم امولسیونی به فیلم پروتئینی ترجیح داده می‌شود. بر اساس یافته‌های این تحقیق، زمانیکه ماده غذایی حساسیت زیادی در برابر اکسیژن و

رطوبت داشته باشد بهتر است از فیلم امولسیونی حاوی ۶ درصد اسید پالمیتیک استفاده گردد. زیرا این فیلم کمترین نفوذپذیری به بخار آب و اکسیژن را داشته ضمن اینکه از حلالیت در آب کمتری نیز برخوردار است. زمانیکه حفظ یکپارچگی (خواص مکانیکی) و ویژگیهای ظاهری فیلم خوراکی در طول تولید تا مصرف ماده غذایی از اهمیت بیشتری در مقایسه با ویژگیهای نفوذپذیری آن برخوردار است ترجیح داده می‌شود از ۲ درصد اسید پالمیتیک استفاده گردد تا ضمن رسیدن به این اهداف نفوذپذیری به بخار آب را نیز کاهش دهیم.



شکل ٦ تاثیر غلظت اسید پالمیتیک روی کدورت فیلم‌های خوراکی تهیه شده از پروتئین گلوبولین پسته

منابع

۱- آقایی، ف.، ۱۳۸۷. تولید فیلم خوراکی از پروتئین پسته و ارزیابی ویژگیهای فیزیکوشیمیایی آن. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

2- Anker, M., Berntsen, J., Hermansson, A. M., and M., Stading. 2002. Improved water vapor barrier of whey protein films by addition of an acetylated monoglyceride. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 3: 81-92.

3- ASTM, D882. 2002. Standard method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. In: Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials.

4- ASTM, E96. 2000. Standard method for water Vapor transmission of materials. In: Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials.

5- Ayranci, E., and E., Çetin. 1995. The Effect of Protein Isolate of Pistacia terebinthus L. on Moisture Transfer Properties of Cellulose-Based Edible Films. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 28: 241–244.

6- Bertan, L.C., Tanada-Palmu, P.S., Siani, A.C., and C.R.F., Grosso. 2005a. Effect of fatty acids and 'Brazilian elemi' on composite films based on gelatin. Food Hydrocolloids, 19: 73–82.

7- Bertan, L.C., Fakhouri, F.M., Siani, A.C., and C.R.F., Grosso. 2005b. Influence of the Addition of Lauric Acid to Films Made from Gelatin, Triacetin and a Blend of Stearic and Palmitic Acids. Weinheim, 229: 143–149.

8- Callegarin, F., Quezada Gallo, J.A., Debeaufort, F., and A., Voilley. 1997. Lipids and Biopackaging. Journal of American Oil Chemistry Society, 74(10): 1183-1193.

9- Daneshrad, A. 1971. Study of Pistachio oil (*Pistachio Vera* L.).

10- Debeaufort, F., and A., Voilley. 1995. Effect of surfactants and drying rate on barrier properties of emulsified edible films. International Journal of Food Science and Technology, 30: 183–190.

11- Gontard, N., Guilbert, S., and J.L., Cuq. 1992. Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties Using Response Surface Methodology. Journal of Food Science, 57: 190–199.

12- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, B., and S., Guilbert. 1994. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. Food Science and Technology, 29: 39–50.

13- Hagenmaier, R.D., and P.E., Shaw. 1990. Moisture Permeability of Edible Films Made with Fatty Acid and (Hydroxy propyl) methylcellulose. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 38: 1799-1803.

14- Haugaard, V.K., A.M., Udsen, G. Mortensen, Hoegh, L., K., Petersen, and F., Monahan. 2001. Potential Food Applications of Biobased Materials. An EU-Concerted Action Project. Starch, 53: 189–200.

15- Khwaldia, K., S., Banon, S., Desobry, and J., Hardy. 2004. Mechanical and barrier properties of sodium caseinate–

anhydrous milk fat edible films. International Journal of Food Science and Technology, 39: 403–411.

16- Koelsch, C.M., and T.P., Labuza. 1992. Functional, physical and morphological properties of methyl cellulose and fatty acid-based edible barriers. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 25: 404–411.
17- Mannheim, C.H., and N., Passy. 1990. Interaction Between Packaging Materials and Food. Packaging Technology and Science, 3: 127–132.
18- Madeka, H., and J.L., Kokini. 1996. Effect of glass transition and cross linking on rheological properties of zein: development of a preliminary state diagram. Cereal Chemistry, 73(4): 433-438.
19- Magoshi, J., S., Nakamura, and K.I., Murakamiki. 1992. Structure and physical properties of seed proteins, Glass transition and crystallization of zein protein from corn. Journal of Applied polymer Science, 45(11): 2043-2048.
20- McHugh, T.H., and J.M., Krochta. 1994. Milk-protein-based edible films and coatings. Food Technology, 48(1): 97–103.
21- Ou, S., Y., Wang, S., Tang, C., Huang, and M.G., Jackson. 2005. Role of ferulic acid in preparing edible films from soy protein isolate. Journal of Food Engineering, 70: 205-210.
22- Park, J.W., Testin, R.F., Park, H.J., Vergano, P.J., and C.L., Weller. 1994. Fatty acid concentration effect on tensile strength, elongation, and water vapor permeability of laminated edible films. Journal of Food Science, 59: 916–919.
23- Pearoval, C., F., Debeaufort, D., Despera, and A., Voilley. 2002. Edible Arabinoxylan-Based Films. 1. Effects of Lipid Type on Water Vapor Permeability, Film Structure, and Other Physical Characteristics. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 50: 3977-3983.
24- Perez-Mateos, M., P., Montero, and M.C., Gomez-Guillen. 2009. Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. Food Hydrocolloids, 23: 53–61.
25- Petersen, K., P.V., Nielsen, G., Bertelsen, M., Lawther, Olsen, M.B., Nilsson, N. H., and G., Mortensen. 1999. Potential of biobased materials for food packaging. Trends in Food Science and Technology, 10: 52-68.
26- Pommet, M., A., Redlb, M.H., Morela, and S., Guilbert. 2003. Study of wheat gluten plasticization with fatty acids. Polymer, 44: 115–122.
27- Quezada-Gallo, J.A., F., Debeaufort, F., Callegarin, and A., Voilley. 2000. Lipid hydrophobicity, physical state and distribution effects on the properties of emulsion-based edible films. Journal of Membrane Science, 180: 37–46.
28- Shantha, N.C., and E.A., Decker. 1994. Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. Journal of American Oil Chemistry Society, 77: 21–424.
29- Shellhammer, T.H., and J.M., Krochta. 1997. Whey Protein Emulsion Film Performance as Affected by Lipid Type and Amount. Journal of Food Science, 62(2): 390-394.
30- Shokraii, E.H. 1977. Chemical composition of the pistachio nuts (*Pistachio Vera* L.) of Kerman, Iran. Journal of food science, 42: 244-245.
31- Shokraii, E.H., and A., Esen. 1988. Composition, solubility, and electrophoretic patterns of proteins isolated from Kerman pistachio nuts (*Pistachio Vera* L.). Journal of agriculture and food chemistry, 36: 425-429.
32- Siracusa, V., P., Rocculi, S.,RomanI, and M., Dalla Rosa. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. Trends in Food Science & Technology, 19: 634-643.
33- Srinivasa, P.C., M.N., Ramesh, and R.N., Tharanathan. 2007. Effect of plasticizers and fatty acids on mechanical and permeability characteristics of chitosan films. Food Hydrocolloids, 21: 1113–1122.
34- Watt, R.F., and A.D., Merrill. 1963. USDA Handbook No. 8 Washington, D. C.
35- Rhim, J.W., Y., Wu, C.L., Weller, and M., Scenepf. 1999. Physical characteristics of emulsified soy protein-fatty acid composite films. Science des aliments, 19: 57-71.
36- Rhim, J.W. 2007. Natural Biopolymer-Based Nanocomposite Films for Packaging Applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 47: 411–433.
37- Yang, L., and A.T., Paulson. 2000. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. Food Research International, 33: 571-578.