مقاله ترویجی

مروری بر تأثیر نرم‌کننده‌های مختلف بر عملکرد فیلم‌های بر پایهٔ پروتئین آب پنیر

فروغ عباسی شهیر [1*]، زاهد احمدی [2]، سمیّه محمدی [3]

تاریخ دریافت مقاله:آذرماه ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش مقاله: فروردین ماه ۱۳۹۸

چکیده

در طی سال‌های اخیر، به دلیل اهمیت توجّه به محیط‌زیست تلاش‌های بسیاری در جهت جایگزینی مواد بر پایهٔ نفتی با مواد زیستی به عنوان مواد دوستدار محیط‌زیست و تجدیدپذیر صورت گرفته است. در این راستا، پروتئین‌ها از جایگاه ویژه‌ای به منظور استفاده در زمینه‌های مختلف از قبیل: بسته‌بندی مواد غذایی، دارویی و کشاورزی برخوردار می‌باشند. کاربرد گستردهٔ این مواد بر پایهٔ زیستی، هنوز به علت محدودیت‌های ذاتی آن‌ها از قبیل: فرآیندپذیری ضعیف، شکنندگی، ممانعت‌کنندگی ضعیف در مقابل گاز و رطوبت و ویژگی‌های گرمایی و فیزیکی ضعیف، با چالش روبرو است. اضافه کردن افزودنی‌هایی از قبیل: نرم‌کننده‌ها به درون پلیمرهای زیستی، یک روش متداول برای بهبود محدودیت‌های ذاتی آنها می‌باشد. به طورکلی، نرم‌کننده‌ها به منظور ایجاد انعطاف‌پذیری، بهبود چقرمگی و کاهش دمای انتقال شیشه‌ای به مواد پلیمری و زیستی افزوده می‌شوند. فضاهای خالی ایجاد شده در نتیجهٔ افزودن نرم‌کننده به درون ماتریس پلیمری، ویژگی‌های نفوذپذیری آن را افزایش می‌دهد. هدف این مقالهٔ مروری، بررسی نرم کننده‌های مختلفی است که در زمینهٔ بسته‌بندی مواد غذایی به منظور نرم کردن پروتئین آب پنیر؛ ماده‌ای با ممانعت‌کنندگی بسیار خوب در برابر اکسیژن و با ویژگی‌های مکانیکی مناسب، به‌کار گرفته شده است.

واژه‌های کلیدی

پروتئین آب پنیر، ترموپلاستیک، نرم‌کنندگی، فیلم‌های خوراکی، بسته‌بندی مواد غذایی

۱- مقدمه

در طی گذار از جامعهٔ خودکفای روستایی به جامعه صنعتی شدهٔ امروز، اهمیت بسته‌بندی مواد غذایی در ۷۰ سال گذشته به شدّت افزایش یافته است. تمرکز اساسی بر حفاظت مواد غذایی از فساد ناشی از بخار آب و اکسیژن، آسیب‌های مکانیکی و در نتیجه بهبود عمر مفید کالاهای بسته‌بندی شده معطوف شده است[۲و۱]. بر این اساس، تمایل به استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های پروتئینی در سال‌های اخیر به علت مزایای آن‌ها نسبت به مواد پایه‌نفتی و سایر مواد بیولوژیکی نظیر: پلی‌ساکاریدها و لیپیدها، به

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشتهٔ شیمی کاربردی، لیسانس، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(× نویسنده مسئول:foroughas@aut.ac.ir)

۲- استادیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر(za_ahmadi@yahoo.com).

۳- دانشجوی دکتری رشتهٔ شیمی کاربردی، فوق لیسانس، دانشگاه صنعتی امیرکبیر(sm.rima@aut.ac.ir).

میزان قابل توجّهی افزایش یافته است [۳]. مواد بر پایهٔ پروتئین معمولاً زیست‌تخریب‌پذیر بوده و از منابع تجدیدپذیر استخراج می‌شوند؛ علاوه بر این، پروتئین‌ها نسبت به پلی‌ساکاریدها قابلیت بیشتری برای ساخت فیلم‌هایی با خواص مکانیکی مناسب و ممانعت‌کنندگی [1] بالا دارند و ارزش غذایی بیشتری را فراهم می‌کنند [٤،٥]. از این‌رو، مطالعات بسیاری برای تولید فیلم‌ها از منابع مختلف پروتئینی از جمله آب پنیر صورت گرفته است [٩-٦]. پروتئین آب پنیر یک محصول جانبی در طول فرآیند تولید پنیر می‌باشد که از ترسیب(خشک کردن آب جدا شده از شیر) پروتئین‌های شیر به دست می‌آید [۱۱و۱۰]. بسته به مقدار پروتئین، پودر پروتئین آب پنیر در دو نوع کنسانتره (WPC [2] ٪۸۰-٪۲۵) و ایزوله (WPI)[3] موجود می‌باشد که مقدار پروتئین موجود در نوع ایزولهٔ آن، بیش از ۹۰ درصد از وزن کل را تشکیل می‌دهد [۱۲]. پروتئین‌های عمدهٔ موجود در محصولات آب پنیر عبارتند از: آلفالاکتالبومین‌ها[4]، بتالاکتوگلوبولین‌ها[5]، سرم آلبومین گاوی[6] و ایمونوگلوبولین‌ها[7]. بتالاکتوگلوبولین، متداول‌ترین پروتئین در پروتئین آب پنیر می‌باشد که در حدود ۵۷ درصد از پروتئین کل آب پنیر را تشکیل می‌دهد [۱۷-۱۳]. به دلیل نوع ساختار پروتئین آب پنیر، به‌کارگیری آن در صنعت بسته‌بندی مستلزم فرآیندپذیر شدن آن به منظور تشکیل فیلم با ویژگی‌های مطلوب می‌باشد. یکی از روش‌های مهم فرآیندپذیری پروتئین‌ها، افزودن نرم‌کننده‌ها به بستر پروتئین به منظور ایجاد فضاهای خالی بیشتر و افزایش انعطاف‌پذیری فیلم آنها می‌باشد. از این رو، در این مقاله به بررسی ویژگی فیلم‌های تشکیل شده از پروتئین آب پنیر نرم‌شده با نرم‌کننده‌های مختلف پرداخته شده است.

۲- فیلم‌های پروتئین آب پنیر ترموپلاستیک

برهم‌کنش‌های قوی زنجیرهای پروتئین_پروتئین در فیلم‌های پروتئین آب‌پنیر منجر به تشکیل فیلم‌های سخت و شکننده همراه با ازدیاد طول بسیار اندک می‌باشد. ویژگی‌های کششی مانند: استحکام کششی، مدول الاستیک[8]، درصد ازدیاد طول و انعطاف‌پذیری که نشانگر برهم‌کنش‌های پروتئین-پروتئین می‌باشد، می‌تواند با افزودن نرم‌کنندهٔ مناسب بسته به مقدار و نوع آن، به میزان قابل توجّهی بهبود یابد [۱۸]. در اصل، نرم‌کننده‌ها[9] با ایجاد اختلال در ارتباطات مولکولی و متعاقباً کاهش T_f [10] و T_g [11] این مشکل را حل می‌کنند. افزایش تحرک زنجیره با دناتوره کردن[12] پروتئین‌های تشکیل‌دهندهٔ فیلم، برای فرآیند نرم کردن[13] ضروری می‌باشد که تحرک زنجیره‌ها با افزودن نرم‌کننده‌ها، به دلیل جایگزینی برهم‌کنش‌های پروتئینی با برهم‌کنش‌های پروتئین - نرم‌کننده افزایش می‌یابد. [۱۹]

۲-۱- فیلم‌های پروتئین آب پنیر ایزولهٔ نرم‌شده با گلیسرول و سوربیتول[14]

مک هیوج و کروچا[15] (۱۹۹٤)، خواص مکانیکی و ممانعت‌کنندگی فیلم‌های پروتئین آب پنیر ایزوله را که با استفاده از گلیسرول و سوربیتول نرم شده بودند، بررسی نموده و با یکدیگر مقایسه کردند [۱۹]. فیلم‌های مذکور به روش محلولی[16] تهیه شدند. ۱۵ و ۳۰٪ وزنی از گلیسرول و سوربیتول نسبت به وزن پروتئین آب پنیر ایزوله به محلول اضافه شد. خواص مکانیکی فیلم‌های تهیه شده در (جدول ۱) آمده است.

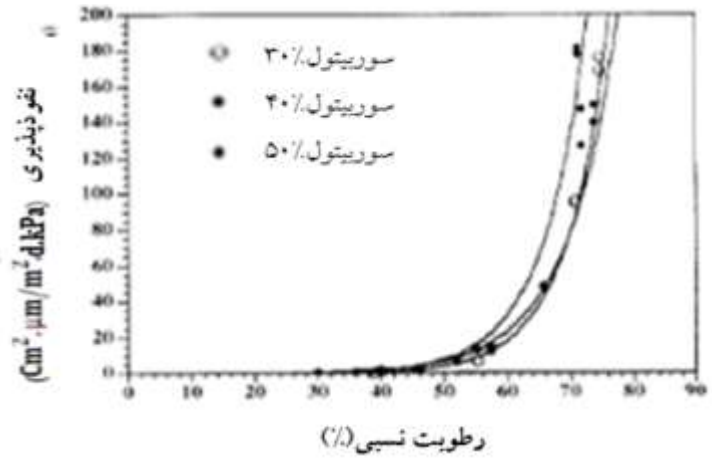
1-Barrier Properties
2- Whey Protein Concentrate
3- Whey Protein Isolate
4- α-lactalbumins
5- β-lactoglobulins
6- Bovine Serum Albumin
7- Immunoglobulins

8- Elastic Modulus
9- Plasticizer
10- Flow Temperature
11- Glass Transition
12 - Denaturation
13 -Thermoplastic Process
14- Sorbitol
15- Tara Habig McHught and John M. Krochta
16- Solution Casting

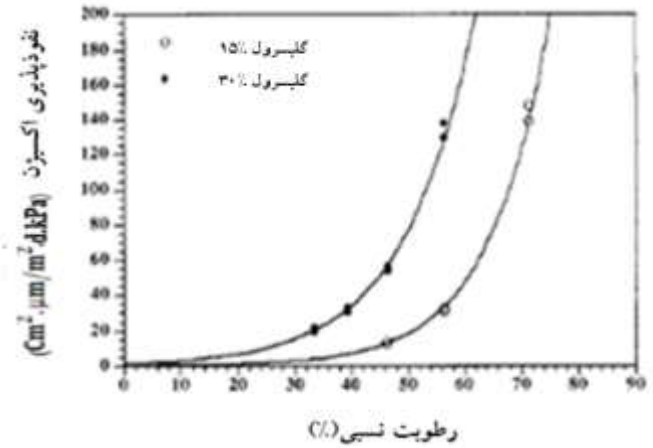
طبق (جدول ۱) افزودن نرم‌کننده‌های مذکور، باعث بهبود خواص عملکردی فیلم پـروتئین آب پنیـر از طریـق افـزایش استحکام و انعطاف‌پذیری آن شد. همچنین تأثیر غلظت نرم‌کننده بر روی نفوذپذیری اکسیژن مورد بررسی قرار گرفت (اشکال ۱و ۲).

جدول ۱- مقادیر نفوذپذیری اکسیژن، استحکام کششی و درصد ازدیاد طول تا نقطهٔ پارگی فیلم‌های بر پایهٔ پروتئین آب پنیر [۱۹].

	فیلم	شرایط آزمون برای نفوذپذیری اکسیژن	نفوذپذیری اکسیژن ($Cm^2.\mu m/m^2.d.kPa$)	استحکام کششی (Mpa)	ازدیاد طول (٪)
مک هیوج(۱۹۹٤)	WPI:Gly(5.7:1)	۲۳° C ،٪۵۰ RH	۱۸/۵	۲۹/۱	٤/۱
مک هیوج(۱۹۹٤)	WPI:Gly(2-3:1)	۲۳° C ،٪۵۰ RH	۷٦/۱	۱۳/۹	۳۰/۸
مک هیوج(۱۹۹٤)	WPI:Sor(2.3:1)	۲۳° C ،٪۵۰ RH	٤/۳	۱٤/۰	۱/٦
مک هیوج(۱۹۹٤)	WPI:Sor(1:1)	۲۳° C ،٪۵۰ RH	۸/۳	۱٤/۷	۸/۷
مک هیوج(۱۹۹٤)	WPI:BW:Sor(3.5:1.8:1)	۲۳° C ،٪۵۰ RH	۱۱/٦		

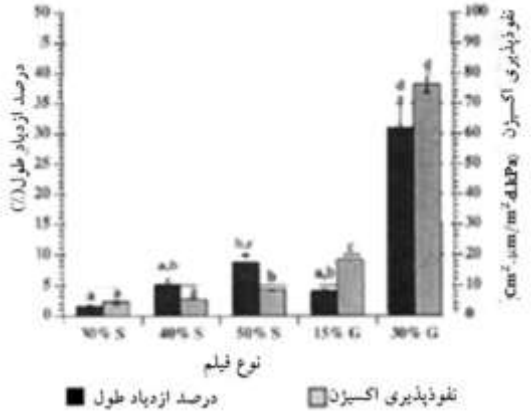


شکل۱- تأثیر غلظت سوربیتول بر رابطهٔ بین رطوبت نسبی و نفوذپذیری اکسیژن در فیلم‌های پروتئین آب پنیر در ۲۳°C [۱۹].



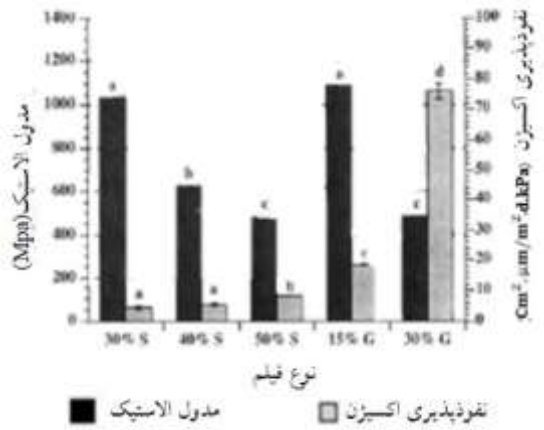
شکل۲- تأثیر غلظت گلیسرول بر رابطهٔ بین رطوبت نسبی و نفوذپذیری اکسیژن در فیلم‌های پروتئین آب پنیر در ۲۳°C [۱۹].

فیلم‌های سوربیتول (در همهٔ رطوبت‌های نسبی) نفوذپذیری اکسیژن پایینی را نسبت به فیلم‌های گلیسرول نشان دادند. در مورد گلیسرول فرض بر این بوده که با آب برای سایت‌های فعال[1] رقابت کرده و باعث خوشه‌بندی آب[2] و افزایش حجم آزاد پلیمرها در سطوح رطوبت پایین می‌شود [۲۰]. همچنین نظریه انتقال شیشه‌ای می‌تواند برای توضیحات تأثیرات نرم‌کننده بر خواص نفوذپذیری مورد استفاده قرار گیرد [۲۱]. آب با افزایش حجم آزاد پروتئین و به دنبال آن افزایش نفوذپذیری و تحرک زنجیره‌های پروتئین، دمای گذار شیشه‌ای پروتئین را کاهش می‌دهد [۲۲]. مقادیر T_g پایین به دست آمده برای فیلم‌های حاوی گلیسرول در مقایسه با فیلم‌های حاوی دیگر نرم‌کننده‌ها، به دلیل آبدوستی بالای گلیسرول می‌باشد. در غلظت‌های مساوی، فیلم‌های پروتئین آب پنیر نرم شده با سوربیتول ۳۰٪، استحکام کششی برابری با فیلم‌های نرم شده با گلیسرول دارند و با افزایش غلظت نرم‌کننده استحکام کششی برای گلیسرول کاهش می‌یابد (شکل ۳).



شکل۳- تأثیر نوع و غلظت نرم‌کننده بر استحکام کششی و نفوذپذیری اکسیژن فیلم‌های بر پایهٔ پروتئین آب پنیر در رطوبت نسبی ۵۰٪ [۱۹].

درصد ازدیاد طول تا نقطهٔ پارگی به طور قابل توجّهی با افزایش غلظت نرم‌کننده در هر دو نوع فیلم افزایش یافت. در غلظت‌های نرم‌کنندهٔ ۳۰٪ فیلم‌های گلیسرول مقادیر ازدیاد طول بیشتری را نسبت به فیلم‌های نرم شده با سوربیتول نشان دادند (شکل٤).



شکل٤- تأثیر نوع و غلظت نرم‌کننده بر درصد ازدیاد طول و نفوذپذیری اکسیژن فیلم‌های بر پایهٔ پروتئین آب پنیر در رطوبت نسبی ۵۰٪ [۱۹].

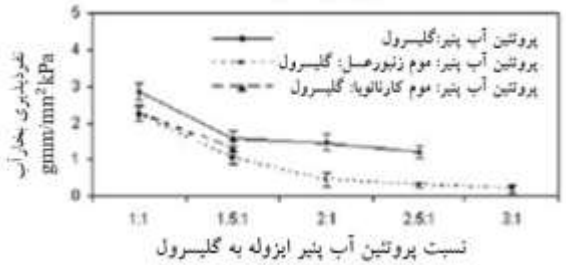
۲-۲- بررسی اثر نرم‌کنندگی موم زنبورعسل[3] و کارنائوبا[4] بر خواص استحکامی و نفوذپذیری فیلم‌های پروتئین آب پنیر نرم شده با گلیسرول

در مطالعهٔ دیگری که توسط جان م.کروچا و پاوتلنس[5] (۲۰۰۵) صورت گرفت، سه گروه از فیلم‌های پروتئین آب پنیر با نسبت‌های مختلف[6] WPI:Gly(۱:۱، ۱:۱/۵، ۱:۲، ۱:۲/۵، ۱:۳) تهیه شد [۲۳]. در گروه اول فیلم بدون افزودن موم آماده شد، در دو گروه دوم و سوم با افزودن موم‌های کارنائوبا (CW) و زنبورعسل (BW) آماده شد. نسبت WPI:wax برای دو گروه آخر از فیلم‌ها یک به یک بود و این نسبت در طول بررسی ثابت باقی ماند. (اشکال ۵ و٦) مقادیر نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های اندازه‌گیری شده در درصدهای رطوبت به ترتیب ۵۰ ، ۲۰ و ٤۰ را نشان می‌دهد. مقادیر بالای نفوذپذیری بخار آب در درجهٔ رطوبت ۵۰ تا ۲۰ درصد نسبت به ٤۰ تا ۲۰ درصد نشانگر این قضیه است که توانایی عملکرد فیلم‌های پروتئینی به عنوان ممانعت‌کنندگ رطوبت، با افزایش مقدار

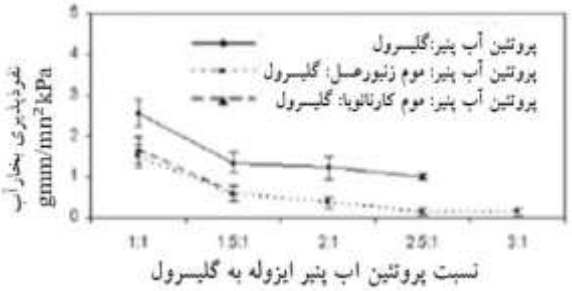
1- Active Site
2- Clustering

3- Beeswax
4- Carnauba Wax
5- John M. Krochta and Pau Talens
6- Glycerol

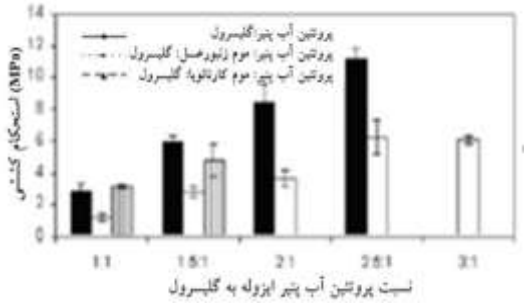
نرم‌کنندهٔ آب دوست کاهش می‌یابد. زمانی که مقدار گلیسرول در فیلم‌های پروتئینی تهیه شده به نسبت WPI:Gly، ۳:۱ بود، فیلم‌ها در هنگام فرآیند خشک شدن، خشک، شکننده و پیچ‌خورده بودند و اندازه‌گیری نفوذپذیری بخارآب آن‌ها غیرممکن بود. اشکال(۵ و٦) نشانگر این موضوع است که فیلم‌های پروتئین آب پنیر به دلیل افزایش خاصیت آبگریزی ناشی از افزودن موم[1]، به طور قابل توجّهی نفوذپذیری بخار آب کاهش می‌یابد و در این زمینه، تفاوت چندانی بین فیلم‌های امولوسیونی موم‌های زنبورعسل و کارنائوبا با نسبت‌های یکسان از WPI:wax.Gly دیده نمی‌شود. در نسبت‌های WPI:Gly بالا، فیلم‌های امولوسیونی نفوذپذیری بخار آب تقریبا پایین‌تری از فیلم‌های پروتئینی بدون موم داشتند [۲۳].



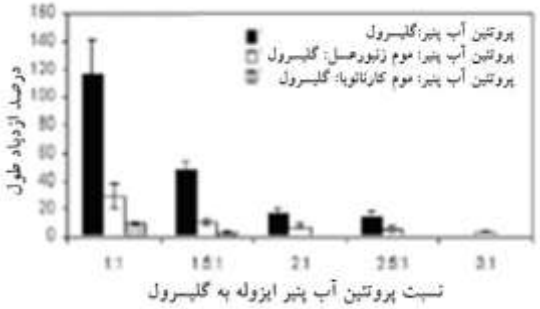
شکل۵- تأثیر مقدار گلیسرول بر مقدار نفوذپذیری پروتئین آب پنیر ایزوله و فیلم‌های امولوسیونی WPI:wax در درجه رطوبت ۵۰ به۲۰٪ RH. (برای فیلم‌های امولوسیونی، مقدار موم برابر با مقدار WPI می‌باشد) [۲۳].



شکل٦- تأثیر مقدار گلیسرول بر مقادیر نفوذپذیری پروتئین آب پنیر ایزوله و فیلم های امولوسیونی WPI:wax در درجه رطوبت ٤٠ به ۲۰٪ RH. (برای فیلم‌های امولوسیونی، مقدار موم برابر با مقدار WPI می‌باشد) [۲۳].



شکل۷- تأثیر مقدار گلیسرول بر استحکام کششی فیلم‌های امولوسیونی WPI:wax و پروتئین آب پنیر ایزوله (مقدار موم برابر با مقدار WPI می‌باشد) [۲۳].



شکل۸- تأثیر مقدار گلیسرول بر ازدیاد طول فیلم‌های امولوسیونی WPI:wax و پروتئین آب پنیر ایزوله (مقدار موم برابر با مقدار WPI می‌باشد) [۲۳].

هیچ داده‌ای برای فیلم‌های امولوسیونی با نسبت‌های WPI:CW:Gly ۲/۵:۲/۵:۱ و۳:۳:۱ نمی‌توان به دست آورد؛ زیرا در حین فرآیند خشک شدن روی صفحات ریخته‌گری ترک برداشته می‌شوند. فیلم‌های امولوسیونی WPI:BW:Gly دارای استحکام کششی و مدول الاستیکی[2] پایین‌تری نسبت به فیلم‌های امولوسیونی WPI:CW:Gly می‌باشند. به نظر می‌رسد که موم زنبورعسل تأثیر نرم‌کنندگی بیشتری برروی پروتئین آب پنیر نسبت به موم کارنائوبا دارد. این نتایج را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که CW مادهٔ الاستیک سخت با ویسکوزیتهٔ پایین می‌باشد؛ این درحالی است که موم زنبورعسل، دارای الاستیسیتهٔ کم و ویسکوزیتهٔ بالا بوده و به راحتی تغییر شکل می‌یابد. فیلم‌های امولوسیونی WPI:CW:Gly نسبت به فیلم‌های WPI:Gly دارای استحکام کششی مشابه و مدول

1- Emulsion

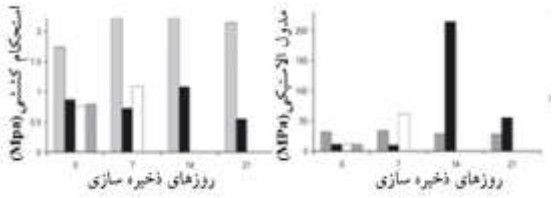
2- Elastic Modulus

الاستیک بالاتری بودند. در کل، موم کارنائوبا دارای تأثیر ضدنرم‌کنندگی روی فیلم‌های WPI:Gly بود؛ اما برای فیلم‌های امولوسیونی WPI:BW:Gly، همهٔ خواص مربوط به استحکام در مقایسه با فیلم‌های WPI:Gly در همهٔ نسبت‌ها کمتر و تهیهٔ فیلم‌های امولوسیونی WPI:BW:Gly با نسبت ۳:۱ WPI:Gly امکان‌پذیر بود. در حقیقت تهیهٔ فیلم‌های WPI:Gly ۳:۱ بدون حضور موم زنبورعسل غیرممکن می‌باشد.

۲-۳- فیلم‌های پروتئین آب پنیر ایزولهٔ نرم شده با ساکارز

در تحقیق دیگر انجام گرفته توسط کریستن ال.دنگاران و جان‌ام.کروچا[1] (۲۰۰۶)؛ پروتئین با ساکارز[2] به نسبت جرمی ۱:۳ نرم شد [۲٤]. برای آزمایش این فرضیه که کریستالیزاسیون[3] ساکارز باعث از بین رفتن خواص ظاهری، ممانعت‌کنندگی و استحکام فیلم تهیه شده می‌شود، آزمایشی با استفاده از گلیسرول به عنوان نرم‌کننده با نسبت WPI:Gly ۱:۱ انجام گرفت؛ دلیل این مسئله نزدیک بودن خواص مربوط به استحکام فیلم‌های WPI:Gly با این نسبت به خواص فیلم‌های با نسبت WPI:Sucrose ۱:۳ بود. برای فرمولاسیون‌های شامل بازدارنده‌های کریستالیزاسیون، لاکتوز[4] و رافینوز[5] جایگزین ۱۰ درصد از جرم ساکارز شد. تبدیل مناطق آمورف به کریستالی ساکارز در طی زمان فیلم‌های شکننده‌ای تولید می‌کند که ضعیف بوده و ترک بر می‌دارند. گزارشات داده شده توسط دنگاران[6] حاکی از تخریب شدگی همهٔ فیلم‌های پروتئین آب پنیر نرم شده با ساکارز بعد از گذشت ۲۱ روز بود، اما فیلم‌های حاوی رافینوز نسبت به سه فیلم دیگر حاوی ساکارز، بیشترین طول عمر بدون تخریب را داشتند. خواص استحکامی سه فیلم پروتئین آب پنیر نرم شده با ساکارز در (جدول۲) مشاهده می‌شود.

شکل‌های (۹ و۱۰) مقادیر نفوذپذیری متوسط اکسیژن را برای چهار فیلم تهیه شده در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. افزودن بازدارنده‌های کریستالی ساکارز، فقدان ممانعت‌کنندگی و خواص مربوط به استحکام فیلم-های پروتئین آب پنیر نرم شده با ساکارز را بهبود بخشید.

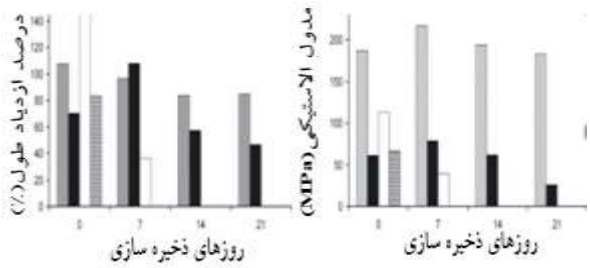


شکل ۹- تغییر در خواص استحکامی فیلم‌های پروتئین آب پنیر ایزوله در طول نگهداری فیلم‌ها [۲٤].

جدول ۲- مقایسهٔ نفوذپذیری اکسیژن فیلم‌های پروتئین آب پنیر ایزوله در طول ذخیره‌سازی در رطوبت نسبی ۵۳٪ و دمای ۲۵ °C [۲٤].

	نفوذپذیری	اکسیژن (cc m k/Pa d m^2)				
فرمولاسیون فیلم	روز ۰	روز ۷	روز۱٤	روز۲۸	روز٤۲	روز٥٦
WPI/Sucrose	۰/۰٥›	تخریب فیلم				
WPI/Sucrose-Lactose	۰/۰٥›	۰/۰٥›	تخریب فیلم			
WPI/Sucrose-Raffinose	۰/۰٥›	۰/۰٥›	۰/۰٥›	۰/۰٥›	تخریب فیلم	
WPI/Glycerol	۰/۲٥۰	۰/۰٥›	۰/۲۱٤	۰/۱۹۳	۰/۱۷۲	۰/۱۹۸

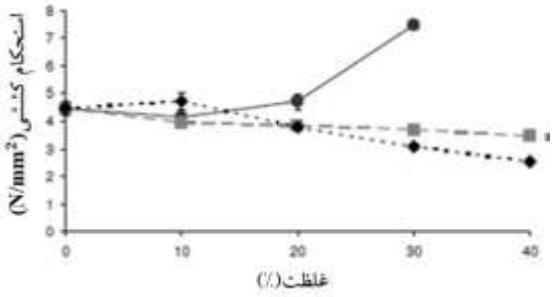
1- Kirsten L. Dangaran & John M. Krochta
2- Sucrose
3- Crystallization
4 - Lactose
5- Raffinose
6- Dangaran



شکل ۱۰- تغییر در خواص استحکامی فیلم‌های پروتئین آب‌پنیر ایزوله در طول نگهداری فیلم‌ها [۲٤].

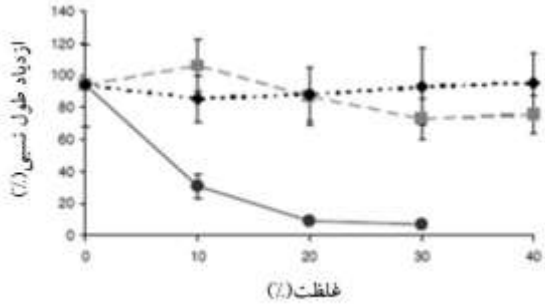
۲-٤- بررسی اثر نرم‌کنندگی اسیدهای چرب مختلف بر فیلم پروتئین آب پنیر ایزولهٔ نرم‌شده با گلیسرول

در مطالعهٔ دیگر انجام گرفته توسط فرناندز و همکاران[1](۲۰۰٦)، به محلول پروتئین آب پنیر ایزولهٔ نرم شده با گلیسرول، اسیدهای چرب (استئاریک اسید[2]، لینولئیک اسید[3] و اولئیک اسید[4]) اضافه شد [۲۵]. همچنین تأثیر غلظت و درجهٔ غیراشباعیت اسیدهای چرب بر فیلم‌های بر پایهٔ پروتئین آب پنیر ایزوله بررسی شد. استئاریک اسید در محلول WPI/Glycerol در دمای ۷۰°C ذوب شد. در مورد اولئیک اسید و لینولئیک اسید به دلیل مایع بودن این چربی‌ها در دمای اتاق، امولوسیون در دمای اتاق تشکیل شد. در همهٔ موارد ۱۰، ۲۰، ۳۰ یا ٤۰ ٪ وزنی از چربی‌ها نسبت به وزن پروتئین اضافه شد. خواص مکانیکی فیلم‌های تهیه شده (استحکام کششی، ازدیاد طول نسبی و نفوذپذیری بخار آب) مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش مقدار استئاریک اسید شکنندگی فیلم‌ها افزایش یافت؛ به این صورت که خواص مکانیکی فیلم‌های حاوی ٤۰٪ از استئاریک اسید به دلیل شکنندگی زیاد قابل بررسی نبودند؛ ولی این رفتار در مورد دو اسید چرب دیگر صادق نبود. دلیل مشاهدهٔ این رفتار در مورد استئاریک اسید، جامد بودن آن در دمای اتاق بود. نتایج کمی مربوط به خواص کششی فیلم‌ها در اشکال (۱۱ و۱۲) آمده است.



شکل ۱۱- اثر نوع و مقدار اسیدهای چرب بر استحکام کششی فیلم‌های WPI/Gly.

● استئاریک اسید، ■ اولئیک اسید، ◆ لینولئیک اسید [۲۵].

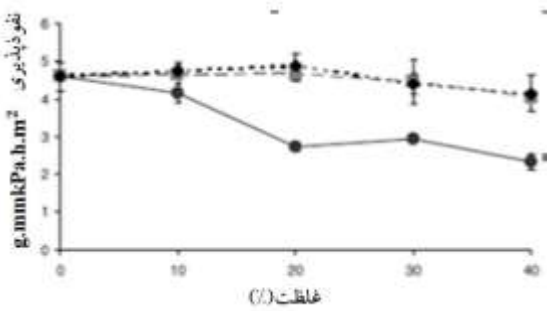


شکل۱۲- اثر نوع و غلظت اسیدهای چرب بر ازدیاد طول نسبی فیلم‌های WPI/Gly.

● استئاریک اسید، ■ اولئیک اسید، ◆ لینولئیک اسید [۲۵].

نتایج بررسی‌های انجام گرفته بر روی ازدیاد طول تا نقطهٔ پارگی فیلم‌ها، حاکی از کاهش ازدیاد طول با افزایش غلظت‌های استئاریک اسید در فرمولاسیون‌ها بود. عدم وابستگی ازدیاد طول به غلظت اسیدهای غیراشباع در فیلم، نشانگر نداشتن اثر نرم‌کنندگی اسیدهای چرب بر فیلم پروتئین آب پنیر است. نتایج مربوط به نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های پروتئین آب پنیر در (شکل ۱۳) آمده است؛ افزودن اسیدهای چرب (بسته به نوع و غلظت آن) باعث کاهش نفوذپذیری بخار آب شد. طبق مشاهدات فرناندز و همکاران، تأثیر اسید چرب اشباع در کاهش نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های پروتئین آب پنیر ایزوله بیشتر از اسیدهای چرب غیراشباع بود.

1- Laura Fern´Andez et al
2- Stearic Acid
3- Linoleic Acid
4- Oleic Acid



شکل۱۳- اثر نوع و مقدار اسیدهای چرب بر نفوذپذیری بخار آب فیلم‌های WPI/Gly [۲۵].

۲-۵- فیلم‌های پروتئین آب پنیر ایزولهٔ اصلاح شده با روغن‌های بادام[1] و گردو[2]

سابینا گالوس و همکاران[3](۲۰۱٦) محلول پروتئین آب پنیر ایزولهٔ نرم‌شده با گلیسرول را تهیه کردند؛ سپس روغن بادام و روغن گردو با پروتئین آب پنیر ایزوله و با استفاده از دستگاه اولتراسونیک[4] همگن شدند و بدین صورت امولوسیون تشکیل شد[۲٦]. نتایج مربوط به خواص مکانیکی(استحکام کششی، مدول یانگ و ازدیاد طول در نقطهٔ پارگی) فیلم‌های بررسی شده در (جدول۳) مشاهده می‌شود. اضافه کردن ۰/۵٪ از روغن بادام، استحکام کششی فیلم را افزایش داد در حالی که با افزایش درصد روغن بادام استفاده شده، استحکام کششی فیلم کاهش یافت (این روند در مورد روغن گردو نیز صادق است). دلیل این رفتار مربوط به تأثیر نرم‌کنندگی روغن بادام در مقادیر بالای مورد استفاده است که ازدیاد طول تا نقطهٔ پارگی برای فیلم حاوی ۱/۰ ٪ روغن بادام از ۲۹/۸ به ۵۳/۷ ٪ افزایش یافت.

در مورد روغن بادام به دلیل مقادیر بالای لینولئیک اسید و اولئیک اسید موجود در ساختار، اثر نرم‌کنندگی بالایی مشاهده شد. نفوذپذیری بخار آب واکسیژن پروتئین‌های آب پنیر ایزولهٔ عامل‌دار شده با روغن در (جدول٤)آمده است. حضور فاز آبگریز[5] در روغن بادام و گردو، باعث کاهش نفوذپذیری بخار آب فیلم پروتئین آب

جدول ۳- مقادیر استحکام کششی، مدول یانگ و ازدیاد طول برای فیلم‌های پروتئین آب پنیر ایزولهٔ اصلاح شده با روغن بادام و گردو [۲٦].

فیلم	استحکام کششی(Mpa)	مدول یانگ(Mpa)	ازدیاد طول(٪)
AO-0/5	۱۰/۲ ±۱/۹	۳/٦±۰/۷	۲۱/۹±۲/٦
AO-1/0	۵/٤±۰/۸	۱/٤±۰/۲	۵۳/۷±۷/۷
WO-0/5	۱۱/۸±۰/۹	۳/۸±۰/٦	۱٤/۵±٤/۵
WO-1/0	٦/۹±۱/۵	۲/۳±۰/٦	۲٤/۹±٤/۹

جدول ٤- مقادیر نفوذپذیری بخار آب و اکسیژن فیلم‌های امولوسیونی پروتئین آب پنیر ایزولهٔ حاوی روغن بادام وگردو [۲٦].

فیلم	نفوذپذیری بخار آب (g mm/ m d kPa)	نفوذپذیری اکسیژن (Cm^3 m μ m/ m^2d kPA)
AO-0/5	۱۳/۵±۰/۵	۱۳٤/۲±۱/۲
AO-1/0	۱۱/۰±۱/٦	۱۵۷/۰±۲/۳
WO-0/5	۱۱/٤±۱/٦	۱۱٤/۰±۱/٤
WO-1/0	۸/۸±۰/۸	۱۳۱/۵±۵/۷

1- Almond Oil
2- Walnut Oil
3 - Sabina Galus *et al*
4- Ultrasonic
5- Hydrophobic Phase

پنیر ایزوله شد؛ که روغن بادام تأثیر بیشـتری در کـاهش ایـن شاخص داشت.

۳- نتیجه گیری

بررسی تأثیر نرم‌کننده‌های مختلف بر ویژگی‌های مکانیکی، انعطاف‌پذیری، ممانعت‌کنندگی در برابر گازها و ویژگی‌های ظاهری فیلم‌های تشکیل شده از پروتئین آب پنیر، امکان مقایسهٔ نتایج حاصل از آن‌ها به منظور یافتن نرم‌کنندهٔ مناسب برای استفاده در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی را فراهم می‌کند. کارایی نرم کننده‌ها بسته به اندازه، شکل و سازگاری آنها با پروتئین آب پنیر، متفاوت می‌باشد. در میان نرم‌کننده‌های اشاره شده در این مقاله، بیشترین اثر نرم‌کنندگی بر روی فیلم‌های پروتئین آب پنیر هنگام استفاده از گلیسرول به عنوان نرم‌کننده مشاهده شد؛ هرچند که در غلظت‌های برابر، سوربیتول نفوذپذیری اکسیژن کمتری را نسبت به گلیسرول نشان داد. افزودن موم‌های زنبورعسل و کارنائوبا باعث کاهش قابل توجّه نفوذپذیری بخار آب فیلم‌ها شد، در حالی که موم زنبورعسل تأثیر نرم‌کنندگی بیشتری نسبت به کارنائوبا نشان داد. روغن بادام اثر نرم‌کنندگی بیشتر و کاهش نفوذپذیری بخار آب بیشتری را در مقایسه با روغن گردو نشان داد. اسیدهای چرب ذکر شده، اثر نرم‌کنندگی بر فیلم پروتئین آب پنیر نداشتند و تنها باعث کاهش نفوذپذیری بخار آب شدند.

٤- منابع

1. Multon, J., 1996. **"The role of packaging in preserving foodstuffs."** Food Package Technology., 1: 3–23.
2. Buchner, N., 1999. **"Lebensmitteltechnologische, Verpackungstechnische und Mikrobiologische Grundlagen,"** Springer, Germany, Heidelberg.
3. Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J.-L., Guilbert, S., 1994. **"Edible composite films of wheat gluten and lipids: Water vapour permeability and other physical properties."** International Journal of Food Science and Technology., 29: 39–50.
4. Cuq, B., Gontard, N., Guilbert, S., 1998. **"Proteins as agricultural polymers for packaging production."** Journal of Cereal Chemistry, 75: 1–9.
5. Khwaldia, K., Perez, C., Banon, S.; Desobry, S., Hardy, J., 2004. **"Milk proteins for edible films and coatings. Crit. Rev."** Journal of Food Sciences and Nutrition., 44: 239–251.
6. Galietta, G., di Gioia, L., Guilbert, S., Cuq, B., 1998. **"Mechanical and thermomechanical properties of films based on whey proteins as affected by plasticizer and crosslinking agents."** Journal of Dairy Science., 81: 3123–3130.
7. Mahmoud, R., Savello, P.A., 1992. **"Mechanical properties of and water vapor transferability through whey protein films."** Journal of Dairy Science., 75: 942–946.
8. Maté, Juan I., Frankel, E.N., Krochta, J.M., 1996. **"Whey protein isolate edible coatings: Effect on the rancidity process of dry roasted peanuts."** Journal of Agricultural and Food Chemistry., 44: 1736–1740.
9. Schmid, M., Held, J., Hammann, F., Schlemmer, D., Noller, K., 2015. **"Effect of UV-radiation on the packaging-related properties of whey protein isolate based films and coatings."** Journal of Packaging Technology and Science., 28: 883–899.
10. De Wit, J., 1989. **"Functional properties of whey proteins. In Developments in Dairy Chemistry—4."** Functional milk proteins., Elsevier Applied Science, Elsevier, New York, USA, 285–321 pp.
11. Morr, C.; Ha, E. **"Whey protein concentrates and isolates:**

Processing and functional properties. Crit. Rev." Journal of Food Science and Nutrition. 1993, 33, 431–476.

12. Kilara, A., Vaghela, M., Yada, R. 2004. **"Whey proteins., In Proteins in Food Processing, Woodhead Publishing Limited,"** Cambridge, England, 72–99 p.
13. Dybing, S., Smith, D., 1991. **"Relation of chemistry and processing precedures to whey protein functionality: A review. Cult."** Dairy Prod. J.
14. Brunner, J., 1977. **"Milk proteins.,"** In Food Proteins, Avi Publishers Inc, Westport, USA, 175–208 p.
15. Pérez-Gago, M.B., Krochta, J.M., 2002. **"Formation and properties of whey protein films and coatings., In Protein-Based Films and Coatings,"** CRC Press, New York, USA, Vol 6, 159–180 p.
16. Alexandrescu, A.T., Evans, P.A., Pitkeathly, M., Baum, J., Dobson, C.M., 1993. **"Structure and dynamics of the acid-denatured molten globule state of α-lactalbumin: A two-dimensional NMR study."** Journal of Biochemistry, 32: 1707–1718.
17. Brown, J.R., 1977. **"Serum albumin: Amino acid sequence. In Albumin Structure, Function and Uses,"** Pergamon Press Inc, Oxford, England, 27–51 p.
18. Sothornvit, R., Krochta, J.M., 2001. **"Plasticizer effect on mechanical properties of α-lactoglobulin films."** Journal of Food Engineering., 50: 149–155.
19. McHugh, T.H., Krochta, J.M., 1994. **"Sorbitol- vs. glycerol-plasticized whey protein edible films: Integrated oxygen permeability and tensile property evaluation."** Journal of Agricultural and Food Chemistry., 42; 841–845.
20. Lieberman, E. R., Gilbert, S. G., 1973. **"Gas permeation of collagen films as affected by cross-linkage, moisture, and plasticizer content."** Journal of Polymer Science., 41; 33-43.
21. Slade, L., Levine, H., 1991. **"Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety."** Crit. Rev. Journal of Food Science and Nutrition., 30: 115-360.
22. Gontard, N., Guilbert, S., Cuq, J.-L., 1993. **"Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film."** Journal of Food Sciences.,58: 206- 211.
23. Pau, T., John, M., 2005. **"Plasticizing Effects of Beeswax and Carnauba Wax on Tensile and Water Vapor Permeability Properties of Whey Protein Films."** Journal of Food Science., 70: 3.
24. Kirsten, L., John M., 2007. **"Preventing the loss of tensile, barrier and appearance properties caused by plasticiser crystallisation in whey protein films."** 42: 1094–1100.
25. Laura, F et al., 2007. **"Effect of the unsaturation degree and concentration of fatty acids on the properties of WPI-based edible films."** 224: 415–420.
26. Sabina, G., Justyna K., 2016. **"Whey protein edible films modified with almond and walnut oils."** Journal of Food Hydrocolloids, 52: 78-86.

آدرس نویسنده

آذربایجان غربی- تبریز، جاده ایل گلی، کوی حافظ ۲، پلاک ۵۴