نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌های خوراکی بر پایه کنسانترهٔ پروتئین آب پنیر و روغن زیتون

مجید جوانمرد[1*]، لیلا گلستان[2]

۱- تهران، سازمان تحقیقات علمی و صنعتی ایران، گروه صنایع غذایی، پژوهشکده صنایع شیمیایی

۲- آمل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، گروه صنایع غذایی

پیام‌نگار: **Javanmard@Irost.ir**

چکیده

در این تحقیق نفوذپذیری فیلم‌های امولوسیونی ساخته شده از کنسانترهٔ پروتئین آب پنیر نسبت به بخار آب مورد بررسی قرار گرفت. در تهیه فیلم‌ها از مخلوط ۱۰ درصد پروتئین آب در آب مقطر و مقادیر مختلف گلیسرول به عنوان نرم‌کننده (پلاستی سایزر) استفاده شد به طوری که نسبت‌های (گلیسرول/پروتئین)، ۰/۵ و ۰/۶ بود. روغن زیتون نیز به نسبت‌های مختلفی اضافه گردید (۰/۴ و ۰/۲ = (روغن/ پروتئین)). فیلم‌های امولسیونی تهیه شده از نظر ویژگی‌های مکانیکی، میزان نفوذپذیری نسبت به بخار آب و کدورت، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج نشان داد که افزایش مقادیر گلیسرول و یا روغن زیتون در فیلم، منجر به کاهش ضریب کشسانی و توان کششی می‌گردد. افزایش میزان گلیسرول در تمام سطوح روغن زیتون (۰/۲ و ۰/۴) منجر به افزایش جزئی در میزان کش آمدگی یا ازدیاد طول فیلم‌ها می‌شود. همچنین افزایش نسبت روغن به پروتئین باعث کاهش میزان کش آمدگی فیلم‌ها گردید.

هیچگونه اختلاف معنی‌داری در میزان نفوذپذیری نسبت به بخار آب و کدورت فیلم‌ها با افزایش میزان روغن زیتون در تمام سطوح پلاستی سایزر (گلیسرول) مشاهده نگردید.

با تعیین میزان نفوذپذیری فیلم‌های تولیدی از کنسانترهٔ پروتئین آب پنیر در این پژوهش، مشخص شد که این ویژگی در فیلم‌های تولیدی بیشتر تحت تاثیر مقادیر گلیسرول، در مقایسه با روغن زیتون افزوده شده، قرار می‌گیرد.

نتایج تحقیق نشان داد که با طراحی در تولید فیلم خوراکی بر پایه پروتئین آب پنیر علاوه بر قابلیت این مواد در تولید فیلم با قابلیت بسیار عالی در میزان بازدارندگی نسبت به عبور اکسیژن، با بکارگیری ترکیب یک چربی نظیر روغن زیتون، می‌توان میزان بازدارندگی نسبت به بخار آب را نیز با تولید فیلم‌های خوراکی مرکب، بهبود بخشید.

کلمات کلیدی: فیلم خوراکی، کنسانتره پروتئین آب پنیر، نفوذپذیری نسبت به بخار آب، روغن زیتون

۱- مقدمه

با توسعه صنایع غذایی، میزان ضایعات ناشی از فراوری فراورده‌های غذایی نیز افزایش یافته است. استفاده از این ضایعات هم از جنبه‌های اقتصادی و هم از نظر آلودگی‌های زیست محیطی، از دغدغه‌های صنایع غذایی و مراجع قانونی محیط زیست محسوب می‌گردد. استفاده از این ضایعات برای تهیه مواد اولیه مورد نیاز در بسته بندی‌های

زیست سازگار منجر به حل دشواری‌های زیست محیطی و ارتقای ارزش افزوده ضایعات مذکور می‌شود.

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، نوعی از مواد بسته بندی محسوب می‌گردند که از مواد تجدیدپذیر، زیست سازگار و زیست تخریب پذیر تهیه می‌شوند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از یکسو نوعی از مواد بسته بندی و از سوی دیگر جزیی از ترکیبات مواد غذایی، می‌باشند. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، به صورت بالقوه، می‌توانند عمر ماندگاری فراورده‌های غذایی را افزایش دهند و باعث بهبود کیفیت سیستم‌های غذایی با کنترل انتقال جرم، رطوبت، نفوذ روغن، نفوذپذیری گازهایی مانند اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و همچنین از دست رفتن طعم و رایحه شوند. فرمولاسیون پوشش‌ها می‌تواند به عنوان ماده چسبنده برای مزه دار کردن یا بهبود ظاهر غذاها به کار رود. برای مثال، پوشش‌های خوراکی می‌توانند اسپری شوند یا بر روی سطح اسنک‌ها[1] و کراکرها[2] از طریق غوطه‌وری مورد استفاده قرار گیرند تا به عنوان پایه و اساس یا مواد چسبنده، برای طعم دار کردن به کار روند. آب نبات‌ها اغلب با فیلم‌های خوراکی پوشش داده می‌شوند تا بافت‌شان با کاهش چسبندگی بهبود یابد[۱].

مواد اولیه مورد استفاده در تولید فیلم‌ها یا پوشش‌های خوراکی به سه دسته تقسیم می‌شوند: پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و ترکیبات لیپیدی.

پلی‌ساکاریدها (سبزیجات و صمغ‌های میکروبی، نشاسته‌ها، سلولوزها و مشتقات آن‌ها و غیره) ویژگی‌های خوبی برای تشکیل فیلم دارند. فیلم‌های تشکیل شده از این ترکیبات آب‌دوست، بازدارندگی مؤثری را در برابر روغن‌ها و چربی‌ها فراهم می‌آورند اما ویژگی‌های بازدارندگی آن‌ها در برابر رطوبت ضعیف است. علیرغم مطالعاتِ ناچیز صورت گرفته، فیلم‌های بر پایه پروتئین، ویژگی‌های بسیار جالبی دارند. مواد پروتئینی زیادی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند که می‌توان از کلاژن، زئین، گلوتن گندم، اُوالبومین، دانه سویا، کازئین و غیره را در این زمینه نام برد [۲]. ویژگی‌های مکانیکی و بازدارندگی این فیلم‌ها معمولاً بهتر از فیلم‌های بر پایه پلی‌ساکارید است که بیانگر این حقیقت است که بر خلاف پلی‌ساکاریدها که پلیمرهای یکنواختی هستند، پروتئین‌ها ساختار ویژه‌ای دارند که ویژگی‌های کاربردیِ بالقوه بیشتری را ایجاد می‌کنند[۳]. از بسیاری از ترکیبات لیپیدی، نظیر چربی‌های حیوانی و گیاهی (واکس‌های طبیعی و مشتقات آن‌ها، آستوگلیسریدها، عوامل فعال در سطح و غیره)، برای ساختن فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی استفاده شده است [۴و۲]. از آن‌ها معمولاً به دلیل دارا بودن ویژگی‌های بازدارندگی عالی در برابر رطوبت استفاده می‌شود اما در رابطه با پایداری‌شان(به ویژه اکسیداسیون)، بافت و کیفیت اُرگانولپتیکی (آزمون شفافیت و مومی بودن) دارای نارسایی هایی می‌باشند.

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی‌ای که از ترکیبات مختلف تهیه می‌شوند (فیلم‌های مرکب[3])، برای بهتر شدن ویژگی‌های کاربردی فیلم هایی که از یک نوع ترکیب تولید شده و همچنین غلبه بر مشکلات فناوری مربوطه، توسعه یافته اند. بیشترین فیلم‌های مرکبی که مورد مطالعه قرار گرفتند، آمیزه‌ای از ترکیب لیپیدی و ساختار هایی بر پایه هیدروکلوئیدها می‌باشند [۷و۶و۵و۳].

انتقال رطوبت اغلب مهمترین فاکتور برای ایجاد تغییرات در کیفیت غذا در مدت توزیع و انبارداری است. میزان بحرانی فعالیت آبی (a_w) در فراورده‌های غذایی بایستی به دلیل کیفیت بهینه فراورده‌ها و سلامت آنها در حد قابل قبول نگه داشته شود. بدیهی است که انتقال رطوبت در محصول نهایی می‌تواند به طور جدی بر کیفیت، پایداری و سلامت غذا در حین انبارداری و توزیع، تاثیر بگذارد. بازدارنده‌های رطوبتی می‌توانند برای کم کردن این مشکل مورد استفاده قرار گیرند. بازدارندگی در مقابل رطوبت بوسیله فیلم‌های خوراکی ساخته شده از چربی ویا دیگر انواع فیلم‌های خوراکی که چربی به صورت امولوسیون در آنها به کار رفته است می‌تواند به جلوگیری از خروج رطوبت از غذاهایی با رطوبت پائین ومتوسط کمک کند (خروج آب از غذا).

فیلم‌های پروتئینی به واسطه طبیعت آب دوستی شان در مورد جلوگیری از انتقال رطوبت، ضعیف عمل می‌کنند [۱۲-۸]. افزودن چربی می‌تواند نفوذپذیری این فیلم‌ها را به بخار آب از طریق قرار دادن یک لایه چربی روی فیلم آب دوست، بهبود بخشد [۱۴و۱۳] ویا از امولوسیون کردن چربی در داخل یک فاز آب دوست استفاده شود وسپس از این امولوسیون برای ساخت فیلم استفاده گردد[۱۵و۹]. خاصیت بازدارندگی چنین فیلم‌های ترکیبی به طور قابل توجهی به درجه قطبی بودن ترکیبات موجود در آن و نحوه توزیع (یکنواخت ویا پراکنده) ترکیبات آب گریز در آن بستگی دارد. در فیلم‌های مرکب از پروتئین آب پنیر وچربی، پروتئین آب پنیر به عنوان امولسیفایر عمل

1. Snacks
2. Crackers
3. Composite Films

می‌کند. مطالعات زیادی در زمینه تهیه فیلم‌های مرکب از چربی وپروتئین آب پنیر صورت گرفته و اثر فاکتورهایی مانند غلظت، اندازه ذرات و نوع چربی‌ها بر خواص فیزیکی وبازدارندگی فیلم‌های حاصل بررسی شده است [۲۵-۱۶] . در تمامی این پژوهش‌ها از ایزوله پروتئینی آب پنیر[1] استفاده شده است.

هدف از این پژوهش، استفاده از کنسانتره پروتئین آب پنیر[2] به جای ایزوله پروتئین آب پنیر در ترکیب باروغن زیتون جهت تولید فیلم خوراکی و بررسی میزان نفوذپذیری فیلم ترکیبی تولیدی نسبت به بخار آب بوده است. همچنین تاثیر افزودن گلیسرول و روغن زیتون بر ویژگی‌های مکانیکی و کدورت فیلم‌های حاصل بررسی گردید.

۲- مواد و روش کار

۲-۱ مواد لازم

کنسانتره پروتئین آب پنیر (۸۵ درصد) از شرکت آرلا[3] دانمارک و روغن زیتون از شرکت اتکای ایران (منجیل- ایران) خریداری شد. گلیسرول محصول شرکت مرک به عنوان پلاستی سایزر و نیز از سولفات منیزیم از همین شرکت جهت ایجاد رطوبت نسبی ۵۰ درصد استفاده گردید.

۲-۲ تهیه فیلم

۲-۲-۱ آماده سازی امولوسیون روغن زیتون درمحلول کنسانتره پروتئین آب پنیر

۳۰ گرم روغن زیتون به ۲۷۰ گرم محلول ۰/۱ درصد (وزن/ وزن) کنسانتره پروتئین آب پنیر اضافه شد. سپس این مخلوط با یک همزن قوی با دور ۲۰/۰۰۰ در دقیقه به مدت ۵ دقیقه بهم زده شد تا یک پیش امولوسیون ۱۰درصدی پروتئین آب پنیرحاصل شود. این مخلوط بوسیله یک همگن‌ساز دریچه‌ای با فشار ۵۰۰ بار و به تعداد ۷ مرتبه همگن گردید و سپس امولسیونی از روغن تهیه گردید که در تهیه فیلم‌های حاوی روغن از آن استفاده شد.

۲-۲-۲ تهیه فیلم

تهیه فیلم بر اساس روش ارائه شده در تحقیق شاو[4] و همکاران انجام گرفت[۲۵]. در این روش، نخست یک محلول ۱۰درصد از کنسانتره پروتئین آب پنیر در آب مقطر تهیه شد. جهت حل شدن بهتر کنسانتره این مخلوط به مدت۱ ساعت بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. سپس این محلول جهت دناتوره شدن پروتئین‌ها، بر روی حمام آب گرم۹۰درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. پس از آن تا دمای اتاق خنک گردید و به وسیله سود ۱ نرمال pH آن روی ۷ تنظیم شد.گلیسرول به محلول تهیه‌کننده فیلم به گونه‌ای اضافه شد که نسبت‌های (وزن/ وزن) (گلیسرول/پروتئین) برابر ۰/۵ و۰/۶حاصل گردد. آنگاه اضافه کردن امولوسیون روغن زیتون به محلول به نحوی که نسبت‌های (وزن/ وزن) (روغن/ پروتئین) به صورت صفر، ۰/۲و۰/۴به دست آید، انجام گرفت. قبل از قالب‌گیری، محلول نهایی توسط پمپ خلا تا آنجا که هیچ حبابی باقی نماند گاز زدایی شد و فیلم‌ها با ریختن ۱۲ گرم از این محلول در پلیت‌هایی پلاستیکی به قطر ۱۰۰ میلی متر و قرار دادن این پلیت‌ها بر روی یک سطح صاف، قالب‌گیری شدند، پس از ۲۴ تا ۴۸ ساعت در دمای اتاق خشک شدند و سپس از سطح پلیت مانند یک ورقه جدا شده ودر یک دسیکاتور بارطوبت ۵ ± ۵۰ درصد و دمای ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد برای ۲۴ ساعت ذخیره شدند تا آزمون‌های مورد نظر یعنی اندازه گیری ضخامت و نفوذپذیری نسبت به بخار آب و سایر ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی در مورد آنها انجام گیرد.

۲-۳ اندازه‌گیری ضخامت فیلم

ضخامت فیلم‌ها قبل از آزمایش نفوذپذیری نسبت به بخار آب با به کار بردن یک میکرومتر کولیس در ۶ وضعیت تصادفی بر روی فیلم، اندازه گیری شدند و میانگین هر شش ضخامت اندازه گیری شده در همه محاسبات نفوذپذیری نسبت به بخار آب مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۴ کدرورت فیلم

نمونه‌های فیلم به صورت چهار گوش بریده شدند و در سمت درونی سلول اسپکتروفوتومتر (طیف ـ نورسنج) قرار گرفتند. طیف جذب (۴۰۰-۸۸ نانومتر) برای هر نمونه با بکار گیری اسپکتروفوتومتر، ثبت شد. ماتی فیلم توسط جذب به ثبت رسیده محاسبه، و به عنوان طول موج جذبی بیان گردید.

1. Whey Protein Isolate (WPI)
2. Whey Protein Concentrate(WPC)
3. Arla Foods
4. Shaw

۲-۵ اندازه‌گیری خواص مکانیکی

معمولترین آزمون برای تعیین توان مکانیکی فیلم‌ها آزمون کشش[1] است. چهار ویژگی توان کششی[2]، ازدیاد طول[3]، تاب ارتجاعی[4] و ضریب کشسانی[5] می‌توانند از یک آزمون کششی مشتق شوند. برای اندازه گیری خواص مکانیکی فیلم‌ها بر اساس استاندارد عمل شد [۲۶]. در این مسیر، از ماشین آزمونگری به نام اینسترون یونیورسال[6] با لود سل[7] ۵ نیوتن وسرعت ۱۰۰میلی متر در دقیقه در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران استفاده گردید. فیلم‌ها به صورت نوارهایی با ابعاد ۸۰×۲۵ میلی متربریده شدند و هر دو انتهای طولی هر فیلم توسط گیره هایی با سطح لاستیکی پوشیده شدند و سپس میان دو بازوی دستگاه قرار گرفتند. یکی از بازوها ثابت و دیگری متحرک بود. با آغاز عملیات آزمون، فیلم میان دو بازو کشیده شد تا زمانی که پاره گردید و روند کار به صورت نموداری ظاهر شد. سپس داده‌های لازم از هر نمودار استخراج گردید.

۲-۶ روش اندازه گیری نفوذپذیری نسبت به بخار آب

۲-۶-۱ ملاحظات تئوری انتقال رطوبت به میان یک فیلم

مقاومت در برابر انتقال بخار آب اغلب توسط نفوذپذیری سنجیده می‌شود. پایه تئوری برای تعیین نفوذپذیری نسبت به بخار آب، قانون اول فیک[8] در نفوذپذیری و قانون هنری[9] در انحلال‌پذیری است. یک مدل ریاضی برای محاسبه نفوذپذیری نسبت به بخار آب از فیلم‌های مصنوعی پلیمری توسعه پیدا کرده است:

$$WVP = \frac{j_{Az}\Delta z}{P_{A1} - P_{A2}} \qquad (۱)$$

Δz ضخامت فیلم، j_{Az} جریان تند عبور بخار آب از فیلم که اغلب بر می‌گردد به سرعت انتقال بخار آب (WVTR) و ($P_{A1} - P_{A2}$) گرادیان فشار جزئی بخار آب بر روی دو طرف فیلم است که نیروی محرکه‌ای برای انتقال رطوبت است.

j_{Az} به طور آزمایشگاهی و با کمک معادله زیر تعیین می‌شود[۲۷].

$$j_{Az} = \frac{\Delta w}{A\Delta t} \qquad (۲)$$

که در اینجا Δw رطوبت جذب شده یا اتلاف رطوبت از طریق فیلم، Δt مدت انتقال رطوبت، و A سطحی است که نمونه فیلم آزمایش می‌شود.

اگرچه P_{A2} می‌تواند توسط کنترل شرایط محیطی (دما و رطوبت نسبی) و یک جریان هوای کافی و مستقیم در بالای نمونه فیلم (۲/۵۴ متر بر ثانیه) تضمین شود، P_{A1} باید برای بسیاری از فیلم‌های خوراکی به علت سرعت انتقال رطوبت بالا، تصحیح شود.

اگر P_{A1} تنظیم نشود، خطاهای بالاتر از ۳۵ درصد بوجود می‌آید.معادله زیر برای تنظیم فشار جزئی بخار آب توسعه پیدا کرده است.

$$P_{A1} = P - (P - P_{A0})\exp\left(\frac{RTLj_{Az}}{pD}\right) \qquad (۳)$$

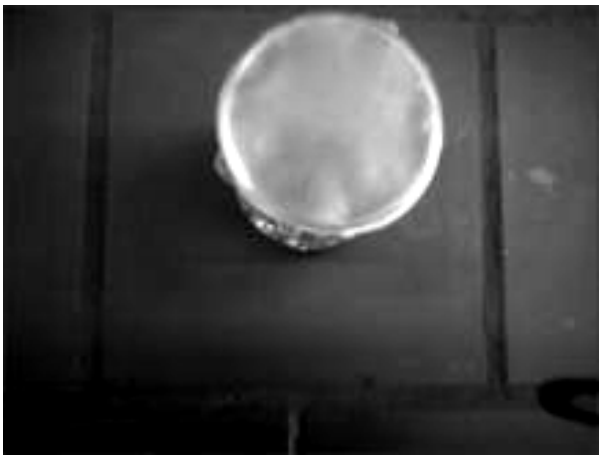
که در اینجا P فشار کلی هوا، P_{A0} فشار جزئی بخار آب محلول، R ثابت عمومی گازها، T دما، D ضریب پخش بخار آب در هوا و L فاصله بین فیلم و سطح محلول در یک فنجان آزمایشگاهی[10] است.

چندین روش آزمایشگاهی برای مشخص کردن میزان تراوایی نسبت به بخار آب بر پایه ورقه‌های باریک مصنوعی برای بررسی میزان این شاخص فیلم‌های خوراکی طراحی شده است. این روش‌ها شامل فناوری‌های ثقل سنجی، تکنیک‌های حسی مادون قرمز، سلول‌های کولومتری، تکنیک‌های طیف نورسنجی و سیستم‌های کروماتوگرافی گازی می‌باشند. روش ثقل سنجی ساده، قابلیت تنظیم رطوبت، کم خرج و بیشتر مناسب برای بررسی فیلم‌های خوراکی با طیف وسیعی از نفوذپذیری است که مانیز در این بررسی از آن استفاده کردیم.

یک روش اصلاح شده از استاندارد طراحی شده برای اندازه گیری نفوذپذیری نسبت به بخار آب در جهت انجام این آزمون به کار گرفته می‌شود[۱۰]. در این روش ازیک سری فنجان‌های آزمایشگاهی، حاوی ۱۲ میلی لیتر آب مقطر بدون یون، استفاده گردید. هر یک از فیلم‌های

1. Tensile
2. Tensile Strenth
3. Elongation
4. Yield Strenth
5. Modulus of Elasticity
6. Instron Universal
7. Load Cell
8. Henry
9. Fick
10. Test cup

مورد آزمایش بر دهانه یکی از این فنجان‌ها قرار گرفته و لبه آنها بوسیله پارافین مایع بر روی فنجان محکم گردید تا هیچ منفذی برای خروج بخار آب به جز سطح مقطع معینی از فیلم موجود نباشد. یکی از فاکتورهای مورد مطالعه در این تست جهت قرار گرفتن فیلم بود. با توجه به این که دو فازی شدن در فیلم‌های حاوی روغن رخ می‌داد این مسئله مطرح بود که آیا اگر سطح روغنی فیلم به طرف داخل فنجان یا همان محیط با رطوبت بالا قرار می‌گرفت با زمانی که این سطح به طرف هوای محیط بیرونی قرار می‌گرفت تفاوتی در نتیجه کار حاصل می‌شد یا خیر؟ در این پژوهش در فیلم، هر دو حالت بررسی شد. بر اساس روش الگو، این فنجان‌ها باید در محفظه‌ای با رطوبت، دما وجریان هوای کنترل شده‌ای قرار می‌گرفت (درجه حرارت ۲± ۲۳درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی۵±۵۰ درصد و سرعت جریان ۱۵۲ متر بر دقیقه) سپس کاهش وزن فنجان‌ها در فاصله‌های زمانی ۲ ساعته تا ۲۴ ساعت خوانده شد تا فنجان‌ها به وزن ثابتی برسند. معمول ترین واحدهای مورد استفاده برای بیان نفوذپذیری نسبت به بخار آب در منابع اخیر، (گرم. میلی لیتر بر متر مربع. روز. کیلوپاسکال) $(gr.ml/m^2.d.kpa)$ است.



شکل ۱- اندازه گیری میزان انتقال بخار آب در فیلم‌های پروتئین آب پنیر

۳- نتایج و بحث

۳-۱ تشکیل فیلم

از تمام فرمولهای به کار گرفته شده فیلم‌های مطلوبی که به راحتی از سطح پلیت جدا شدند، تشکیل گردید (شکل (۲)). سطح رویی تمام فیلم‌های حاوی روغن درخشان و پوشیده از قطرات روغن بود. در طی خشک شدن گاهی لکه‌های سفیدی بر روی کناره‌های فیلم‌ها بویژه فیلم‌های با نسبت گلیسرول پائین تر که سریع تر خشک شدند، پدیدار گردید. می‌توان دلیل این پدیده را در طی خشک شدن به تمایل ذرات چربی موجود در فیلم به مهاجرت به حاشیه فیلم به علت آب گریز بودن نسبت داد. حاشیه فیلم به علت نازکتر بودن، اولین منطقه‌ای است که شروع به خشک شدن می‌کند ولکه‌های سفید در اثر تجمع چربی ابتدا در این ناحیه ظاهر می‌شوند. پرز- گاگو[1] و همکاران در یافتند که دو فازی شدن در مورد فیلم هایی رخ می‌دهد که اندازه ذرات روغن موجود در آنها با توجه به نوع ترکیب شیمیایی شان در طی همگن کردن از یک حد کوچک تر نمی شوند و درشتی ذرات چربی به این حالت منجر می‌گردد [۲۳].

1. Pérez-Gago

۳-۲ ضخامت فیلم

نسبتهای مختلف گلیسرول به پروتئین ونیز روغن به پروتئین اثری بر ضخامت فیلم‌ها نداشت. به طور متوسط، ضخامت فیلم‌های تهیه شده ۲±۲۰ میکرو متر بود. تهیه فیلم‌های نازکتر در جداسازی فیلم از سطح پلیت ایجاد اشکال کرده و احتمال پاره شدن فیلم‌ها را باعث می‌گردد.

۳-۳ میزان کدورت

داده‌های حاصل از آزمون کدورت تفاوت معنی داری را در میزان این شاخص در فیلم‌های تولیدی با یکدیگر نشان داد (جدول (۱)) به عبارتی، شفافیت فیلم‌ها تحت تاثیر چربی موجود در کنسانتره پروتئین آب پنیر قرار گرفته و افزایش میزان چربی منجر به افزایش کدورت در فیلم‌های تولیدی گردید. شاو و همکاران تاثیر روغن سویا و گلیسرول را بر خواص فیلم‌های حاصل از ایزوله پروتئینی آب پنیر بررسی کرده و دریافتند که در هر سطحی از گلیسرول افزایش مقدار روغن منجر به افزایش قابل ملاحظه‌ای در کدورت فیلم می‌گردد [۲۵].

گونتارد[1] و همکاران در سال ۱۹۹۴ در یافتند که میزان کدورت فیلم‌ها در هفته اول نگهداری، متاثر از چربی موجود در این فیلم‌هاست. پس از هفته اول، همه فیلم‌ها کدرتر می‌شوند[۵]. یافته‌های حاصل از این پژوهش با نتایج بررسی این محققین همخوانی داشت.

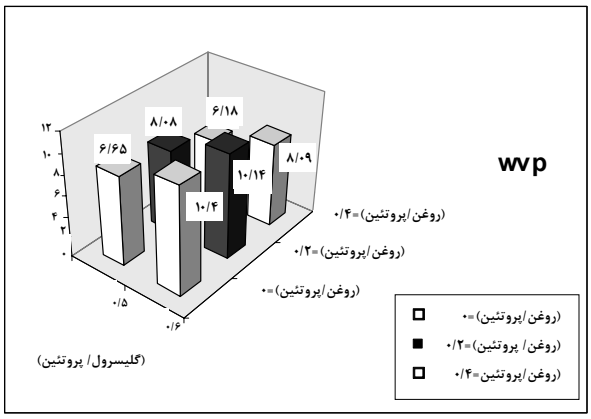
در این مطالعه به لحاظ کار بر روی کنسانتره پروتئینی آب پنیر به جای ایزوله پروتئینی آب پنیرکه دارای درصد چربی حدود ۵ درصد می‌باشد، تولید فیلم‌های کدرتر، در مقایسه با فیلم‌های تهیه شده از ایزوله پروتئینی آب پنیر، دور از انتظار نیست.

۳-۴ نفوذپذیری نسبت به بخار آب

نتایج داده‌های حاصل از تعیین نفوذپذیری فیلم‌های تهیه شده از کنسانتره پروتئین آب پنیر نسبت به بخار آب نشان داد که با افزایش میزان روغن در هر یک از نسبت‌های گلیسرول تغییر معنی داری از نظر آماری در این فاکتور رخ نداد، هر چند که در ظاهر در هر یک از سطوح گلیسرول با افزایش روغن کاهش درنفوذپذیری نسبت به بخار آب دیده شد و افزایش گلیسرول با افزایش سرعت انتقال بخار آب همراه بود [نمودار (۱)].

شکل ۲- فیلم حاصل از ترکیب کنسانتره پروتئین آب پنیر، گلیسرول و روغن زیتون

طبق مطالعات شاو و همکاران، نفوذپذیری فیلم‌ها نسبت به بخار آب بیشتر تحت تاثیر افزایش گلیسرول است تا روغن، یعنی در نسبت‌های به کار برده شده از گلیسرول به افزایش بیشتری از روغن زیتون نیاز بوده تا داده‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان بدهند [۲۵] . شل هاور و کروچتا[2] نشان دادند که فیلم‌های غنی از پلاستی سایزر آن چنان خاصیت بازدارندگی ضعیفی در مقابل نفوذ بخار آب دارند که با افزایش غلظت روغن در این فیلم‌ها کاهش اندکی در نفوذپذیری آنها نسبت به بخار آب رخ می‌دهد [۲۸].



نمودار ۱- نمودار نفوذپذیری نسبت به بخار آب

در بررسی‌های انجام شده کولش و لابوزا[3] یافته‌های مشابهی در مورد

1. Gontard

2. Shellhawer and Krochta
3 .Koelsh and Labuza

نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌های حاوی اسید چرب- متیل سلولوز به دست آمد[۲۲.]

مک هیو و کروچتا [1]اعلام کردند که تفاوت در نفوذپذیری نسبت به بخار آب می‌تواند مربوط به جهت فیلم بر روی فنجان آزمون باشد. به طوری که اگر یک فیلم از امولسیون نا مناسب قالب گیری شود فاز چربی و پروتئین در طی خشک شدن، شروع به جدا شدن خواهد کرد [۱۱]. در پژوهش حاضر نیز نتایج، این تغییر را نشان دادد که البته از نظر آماری معنی‌دار نبود [نمودار (۲)].

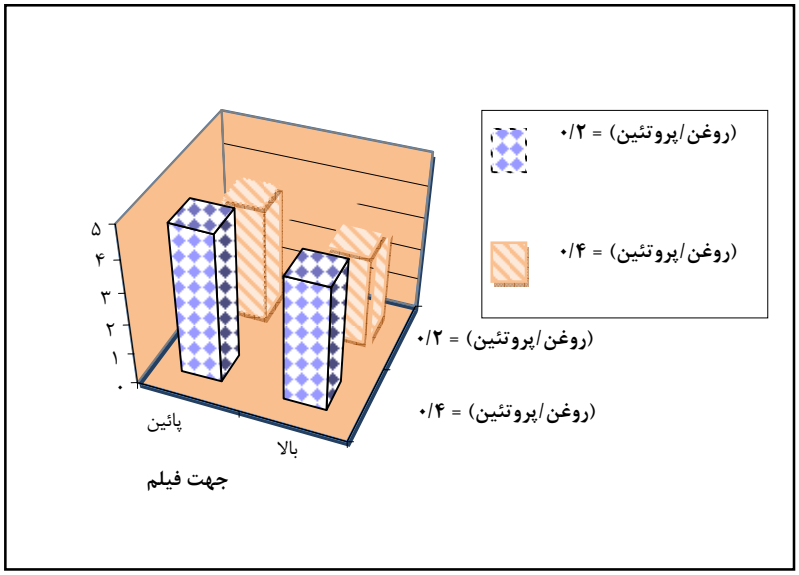
انواع مختلف چربی‌ها میزان نفوذپذیری را نسبت به بخار آب به اندازه‌های مختلف کاهش می‌دهند. چربی‌های حاوی زنجیره اسید چرب بلند در فیلم ها، می‌توانند به علت پایین بودن ضریب انحلال‌پذیری در آب، به میزان قابل توجهی میزان نفوذپذیری را نسبت به بخار آب کاهش دهند. اسیدهای چرب در کاهش نفوذپذیری نسبت به بخار آب نسبت به دیگر الکل‌های مشابه، تاثیر گذارترند. چربی‌ها با نقطه ذوب بالاتر نسبت به آنهایی که نقطه ذوب پایین‌تری دارند، در مقابل انتقال بخار آب، مقاومت بالاتری دارند[۶].

نرم کننده‌های مختلف ممکن است اثرات مختلفی را بر روی افزایش نفوذپذیری نسبت به بخار آب تحمیل کنند. افزایش نسبت پروتئین به نرم‌کننده در محلول و امولسیون فیلم منجر به ممانعت بهتر در برابر بخار آب، می‌گردد همچنین، وقتی که نسبت چربی به پروتئین افزایش پیدا می‌کند، میزان توسعه نفوذپذیری نسبت به بخار آب کاهش می‌یابد. نسبت پروتئین به نرم‌کننده نشان داد هنگامی که میزان نرم‌کننده در ترکیبات فیلم، غالب باشد، چربی بر روند نفوذپذیری نسبت به بخار آب تاثیری ندارد.

۳-۵ ویژگی‌های مکانیکی

افزایش مقادیر گلیسرول و یا روغن در فیلم‌ها باعث کاهش توان کششی و ضریب کشسانی گردید. افزایش میزان گلیسرول در مقادیر ۰/۲ و ۰/۱ باعث افزایش جزئی در ازدیاد طول فیلم‌های تولیدی شد.

آزمون‌های مقاومتی نشان داد که چربی به عنوان یک پلاستی سایزر، پایداری نسبت به شکستگی فیلم‌ها را افزایش می‌دهد. ازدیاد طول تا پارگی با افزایش مقدار روغن کاهش یافته و بدین ترتیب قابلیت ارتجاعی فیلم‌ها نیز کاهش می‌یابد. افزایش گلیسرول و روغن با هم باعث افزایش توان کششی و سختی فیلم‌های تولیدی گردید (جدول (۱)).



نمودار ۲- اثر جهت قرار گرفتن فیلم بر میزان انتقال بخار آب

1. McHugh and Krochta

جدول ۱ـ داده‌های حاصل از اندازه گیری خواص فیزیکی فیلم‌های حاصل از کنسانتره پروتئین آب پنیر، گلیسرول و روغن زیتون

فیلم تولیدی (پروتئین/گلیسرول/روغن)	نفوذپذیری نسبت به بخار آب ($g/m^2.h$)	کدورت (Abs nm)	کش آمدگی (%)	مدول کشسانی (Mpa)	قدرت کششی (Mpa)
(۱: ۰/۰ :۰/۵)	۵۰/۰۸±۶/۴^{ax}	۲۷۶/۶±۴۰/۵۴^{ax}	۴۶/۷۰۶±۱۹/۰۴^{ax}	۳۷/۲۱۶±۱۴/۵۶^{ax}	۱/۹۴۴±۰/۱۷^{ax}
(۱: ۰/۲ :۰/۵)	۴۷/۲±۵/۷^{ax}	۲۷۷/۵±۴۲/۷۲^{ax}	۴۸/۲۱۸±۲۲/۸۷^{ax}	۱۵/۳۹±۷/۳۳^{by}	۱/۱۱۲±۰/۲۴^{by}
(۱: ۰/۴ :۰/۵)	۳۶/۳±۳/۹۳^{az}	۲۷۹±۴۵/۶۳^{az}	۴۴/۸۳±۱۷/۸۹^{ax}	۱۲/۷۷۸±۶/۴۶^{by}	۰/۹۰۴±۰/۰۶^{by}
(۱: ۰/۰ :۰/۶)	۶۰/۰۹±۸/۷^{ay}	۲۷۶/۳±۳۹/۹۳^{ax}	۳۵/۶۲۴±۱۱/۸۹^{by}	۱۲/۴۲۶±۶/۳۴^{by}	۱/۰۴۴±۰/۱۳^{by}
(۱: ۰/۲ :۰/۶)	۵۸/۹±۸/۲^{ay}	۲۸۰/۱±۴۵/۸۷^{ax}	۴۹/۷۳۴±۲۲/۸۷^{ax}	۸/۳۱۴±۵/۴۷^{cz}	۰/۷۴۲±۰/۱۶^{cz}
(۱: ۰/۴ :۰/۶)	۴۷/۱۳±۵/۸ ^{ax}	۲۸۷/۲۵±۴۴/۱۳^{ax}	۴۵/۲۶±۱۸/۶۷^{ax}	۷/۰۹۸±۴/۱۷^{cz}	۰/۶۳۴±۰/۰۳^{cz}

مقادیر بالا میانگین ± انحراف معیارهای ناشی از داده‌های ۵ تکرار در هر آزمون است($P< 0/05$). a,b,c مربوط است به مقایسه بین نسبت‌های (روغن/پروتئین) در هر یک از نسبت‌های گلیسرول/پروتئین.xyz مربوط است به مقایسه بین نسبتهای گلیسرول /پروتئین در هر یک از نسبت‌های (روغن/ پروتئین).

۴- نتیجه گیری

تحقیق حاضر قابلیت تولید فیلم‌های خوراکی زیست تجزیه پذیر از کنسانتره پروتئین آب پنیر را به عنوان یک راهکار جهت رفع مشکلات زیستی ناشی از آب پنیر مازاد کارخانجات شیر وهمچنین در جهت جایگزینی پلیمرهای زیست تجزیه‌پذیر به جای پلیمرهای مصنوعی (در موارد ممکن) نشان داد. اما آن چه مهمتر می‌نماید تعیین خواص فیلم‌های حاصل است؛ ترکیب به کار گرفته شده در این مطالعه منجر به تولید فیلم هایی با انعطاف‌پذیری بالا و در مقابل، قدرت کششی و ضریب کشسانی پائین شد. با توجه به نتایج حاصله می‌توان گفت که فیلم‌های تولیدی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های مطلوب نسبت به عبور اکسیژن و بخار آب، توانایی کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی حساس به رطوبت و اکسیژن از جمله غذاهای خشک، مغزهای خوراکی و مواد چرب را دارا هستند. در ادامه وبرای تحقق این مهم یعنی استفاده از پروتئین آب پنیر در بسته بندی مواد غذایی باید اهداف کوچکتری را دنبال کردکه به صورت پیشنهاد آورده شده‌اند.

بطور کلی فیلم تهیه شده از کنسانتره پروتئین آب پنیر و روغن زیتون، واجد بالاترین درصد کش آمدگی و تطویل نسبت به سایر انواع فیلم‌های خوراکی مرسوم است و قابلیت بسیار عالی از نظرممانعت از نفوذ گاز اکسیژن و ویژگی مطلوبی نسبت به عبور بخار آب را نیز دارا می‌باشد.

دلیل استفاده از روغن زیتون به عنوان نوآوری در پژوهش حاضر را می‌توان به دلیل وجود آنتی اکسیدان‌های طبیعی فراوان در این ماده ذکر کرد که می‌توان از این ویژگی جهت افزایش ماندگاری فیلم‌های خوراکی حساس به اکسیداسیون کمک گرفت. بررسی هایی جهت تعیین میزان ماندگاری این فیلم‌ها در آینده توصیه می‌گردد. توسعه و تولید فیلم‌های ترکیبی حاوی پروتئین آب پنیر با سایر بیوپلیمرها از گروه لیپیدها و پلی ساکاریدها جهت دستیابی به ویژگی‌های جدید و مورد نیاز صنایع غذایی توصیه می‌گردد.

۵- تشکر و قدردانی

از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به خاطر حمایت مالی طرح پژوهشی کد ۱۰۱۰۲۸۴۰۰۷ سپاس گزاری می‌گردد.

مراجع

[1] McHugh T.H., Krochta J.M. "Milk protein based edible films and coatings. Food" Technology 97: 97–103, (1994a).

[2] Guilbert, S. and Biquet, B. "Edible films and coatings". In Bureau G. and Molton, J.L (Eds.), Food Packaging Technology. 1: 528, (1996).

[3] Guilbert, S. "Technology and application of edible protective films". Food Packaging and Preservation, 371-94, (1986).

[4] Kester J.J. and Fennema O., "Edible films and coatings a review", Food Technology, 40 (2):47–59, (1986). [5] Gontard, N. Duchez, C. Cuq J.L. and Guilbert S. "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, (1994).

[6] Kamper S.L. , Fennema O. "Water vapour permeability of an edible fatty acid bilayer film". Journal of Food Science 49: 1482–1485, (1984b).

[7] Kamper S.L., Fennema O. "Water vapour permeability of edible bilayer films", Journal of Food Science 4: 1478–1481, 1485. (1984a).

[8] McHugh T.H. and Krochta J.M., "water vapour permeability properties of edible whey protein –lipid emulsion films", Journal of the American Oil Chemists Society, 71 (3): 307-312, (1994c).

[9] McHugh T.H., Aujard,J.F. and Krochta J.M., "Plasticised whey protein edible films:water vapour permeability properties", Journal of Food Science, 59(2), 416-419,423, (1994).

[10] McHugh T.H., Avena-Bustillos R. and Krochta J.M., "Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapour permeability and explanation of thickness effects", Journal of Food Science 58 (4): 899–903, (1993).

[11] McHugh T.H., Krochta J.M. "Milk protein based edible films and coatings", Food Technology 97: 97–103, (1994a).

[12] MillerK.S. ChiangM.T. and Krochta J.M. "Heat curing of whey protein films", Jurnal of Food Science, 62(6):1189-1193, (1997).

[13] Debeaufort F., Martin-Polo, M.O., VoilleyA. Polarity, "Homogeneity and structure affect water vapor permeability of model edible films", Journal of Food Science.58:429-434, (1993).

[14] Martin-Polo,M., Mauguin,C. and Voilly,A. "Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. Influance of the film preparation technique", Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40:407-412, (1992).

[15] Debeaufort, F.and Voilley, A. "Effect of surfactant and drying rate on barrier properties of emulsified edible films", Inter.J.Food Sci. &Tech.30:183-190, (1995).

[16] Fennema,O.,Donhow,I.G.and Kestwr,J.J. "Lipid type and location of the relative humidity gradient influence on the barrier properties of lipids to water vapour", Journal of Agricultural and Food Chemistry, 22:225-239, (1994).

[17] Greener,I.K.,and Fennema,O. "Edible films and coatings: characteristic ,formation, definition and testing methods", In J.M. Krochta E.A.Baldwin,N. Nisperos-Carriedo (Eds.),Edible coatings and films to improve food quality(pp.1-24).PA,USA: Technomic Publishing, (1994).

[18] Greener, I.K. and Fennema,O. "The effect of relative humidity gradient on water vapour permeance of lipid and lipid –hydrocolloid bilayer films", Journal of the American Oil Chemists Society, 69(11), 1081-1087, (1992).

[19] Hagenmaier, R.D., and Shaw, P.E. "Moisture permeability of edible films made with fatty acid and methylcellulose", Journal of Agricultural and Food Chemistry, 38, 1799-1803, (1990).

[20] Jiancai L. and Hongda C. "Biodegradation of Whey Protein-based Edible Films", Journal of Polymers and the Environment 8(3) 135-143, (2000).

[21] Kester J.J. and Fennema O., "An edible film of lipids and cellulose ethers: barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation", Journal. of Food Sci. 54:1383-1389, (1989).

[22] Koelsch,C.M.and Labuza, T.P. "Functional,physical and morphological properties of milk of methyl cellulose and fatty acid-based edible films", Lebensm.Wiss.u.Technol. 25:404-411, (1992).

[23] Pérez-Gago, M.B. and Krochta, J.M., "Lipid particle size effect on water vapour permeability and mechanical properties of whey protein-bees wax emulsion films", J.Agric.food chem.49 (2):996-1002, (2001).

[24] Park, J.H., Testin ,R.F., Park, H.J., Vergano, P.J., and Weller, C.L. "Fatty acid concentration effect on tensile strength, elongation, and water vapour permeability of laminated edible films", Journal of food science, 62(2)390-394 (1994).

[25] Shaw N. B., Monahan F. J. O'Riordan E. D. and O'Sullivan M., "Effect of soya oil and glycerol on physical properties of composite WPI films", Journal food science.51 (4):299-304 (2002).

[26] Banerjee,R.and Chen,H., "Functional properties of edible films using whey protein concentrate", Journal of Dairy Science.78:1673-1683 (1995).

[27] ASTM. "Standard test method for water vapour transmission of materials", E96-95. In Annual Book of American standard testing methods (pp. 771-778). Philadelphia, USA: ASTM, (1980).

[28] Shellhammer, T.H. and Krochta, J.M., "Whey Protein Emulsion Film Performance as Affected by Lipid Type and Amount", Journal of Food Science, 62, (2): 390, (1997).