2nd National Food Safety Specialists Congress
Tehran-November 2013

۴ و ۵ آذر ماه ۱۳۹۲- تهران

ایمنی غذا و توسعه پایدار

WWW.SFOOD.IR

دومین کنگره ملی پژوهشگران ایمنی غذا

گواهینامه

بدینوسیله گواهی می شود جناب آقای احمد احتیاطی

در دومین کنگره ملی پژوهشگران ایمنی غذا که در تاریخ ۴ و ۵ آذر ماه برگزار گردید حضور داشته و مقاله خود را تحت عنوان بررسی اثر فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا بر ایمنی بسته بندی مواد غذایی به صورت پوستر ارائه نموده است.

ریاست شورای سیاست گذاری و مشورتی
دکتر مجید حاجی فرجی

ریاست کمیته علمی کنگره
دکتر کیتی کریم

ریاست راهبردی
دکتر انعام شکری

دبیر کنگره
دکتر مسعود

به نام خدا

دومین کنگره ملی پژوهشگران ایمنی غذا

2nd National Food Safety Specialists Congress

Tehran-November 2013

تهران : ۴و۵ آذر ۱۳۹۲

با همکاری نهاد ریاست جمهوری اسلامی ایران

بررسی اثر فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا بر ایمنی بسته بندی مواد غذایی

نویسنده مسئول: احمد احتیاطی

(دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد)

mahvid@live.com

سایر نویسندگان:

ناصر صداقت(عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد)

کدمقاله: ۱۰۸۵۹۹۵۱۳۲۴۰۱

خلاصه- فشار هیدرواستاتیک بالا از روش های نوین فراوری مواد غذایی است که در سال های اخیر برای تولید مواد غذایی با کیفیت بکار رفته است و محققان نیز در تلاش هستند تا شناخت بهتری در رابطه با تاثیر این روش بر مواد غذایی و عوامل فساد محصولات غذایی کسب کنند. عموما این فرایند، در مواد غذایی بسته‌بندی شده اعمال میگردد و با توجه به اینکه رابطه مستقیم بین ایمنی ماده غذایی و کیفیت بسته بندی وجود دارد، تغییر ویژگی های مهم مواد بسته‌بندی طی فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا بایستی مورد توجه قرار گیرد. طی سال‌های اخیر توجه زیادی به بررسی تاثیر فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا روی خواص مکانیکی، ساختاری و دوخت پلاستیک‌های رایج ایجاد شده است که این خواص رابطه مستقیم با ایمنی بسته بندی و ایمنی ماده غذایی بسته بندی شده دارد. مقاله حاضر مروری بر تحقیقات اخیر انجام شده در زمینه تغییر ویژگی های مواد بسته بندی طی فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا است که در سه حوزه خواص مکانیکی، ممانعت کنندگی و مهاجرت تفکیک شده است. مهاجرت ترکیبات مضر به محصول بسته بندی شده از مسائل مهم در ایمنی بسته بندی مواد غذایی است و در جهت کنترل این پدیده از جانب تولید کنندگان مواد بسته بندی، قوانین گسترده ای وضع شده است مطالعات نشان می‌دهد تغییر شدت و کیفیت مهاجرت تحت تاثیر تیمار فشار هیدرواستانیک بالا تابع تغییرات ماده بسته بندی است.

کلمات کلیدی: ایمنی، بسته بندی، فشار هیدرواستاتیک بالا، مهاجرت، نفوذ پذیری.

۱- مقدمه

فشار هیدرواستاتیک بالا از روش های نوین فراوری مواد غذایی است که در سال های اخیر در صنعت مواد غذایی برای تولید مواد غذایی سالم تر و با کیفیت تر بکار رفته است و محققان نیز در تلاش هستند تا شناخت بهتری در رابطه با تاثیر این روش بر مواد غذایی و عوامل فساد محصولات غذایی مورد کسب کنند. در این فرایند، مواد غذایی عموما چند مرحله در حد چند ثانیه تا چند دقیقه در معرض فشار هیدرواستاتیک قرار می‌گیرد. این تیمار باعث غیر فعالسازی میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها شده و نیاز به افزودن نگهدارنده‌ها را برطرف می‌کند. فرایند فشار بالا یکی از فرایندهای قابل توجه در تیمار مواد غذایی است که کمترین افت کیفیت مواد غذایی را به همراه دارد. مواد غذایی که در این روش تیمار می‌شوند ابتدا بسته‌بندی شده و سپس تیمار فشار بالا با اعمال فشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال در مدت زمان۵ تا ۲۰ دقیقه انجام می‌شود [۱-۳]. عموما این فرایند به منظور استریلیزاسیون و گند زدایی روی مواد غذایی بسته‌بندی شده اعمال شود و با توجه به اینکه حفظ کیفیت محصول بسته‌بندی شده به میزان زیادی به بسته‌بندی وابسته است و رابطه مستقیم بین ایمنی ماده غذایی و کیفیت بسته بندی وجود دارد، تغییر ویژگی های مهم مواد بسته‌بندی مانند خواص مکانیکی و ممانعت کنندگی طی فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا بایستی مورد توجه قرار گیرد. رفتار فیلمی که به عنوان ماده بسته‌بندی طی تیمار فشار بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد مسئله مهمی در توسعه فرایندهای فشار بالا است[۴]. در این فرایند بایستی از بسته‌بندی‌های انعطاف پذیر با قابلیت دوخت حرارتی استفاده شود زیرا طی این فرایند بسته‌بندی به شدت تغییر شکل می‌دهد. از این‌رو انتخاب ماده بسته‌بندی صحیح، نیازمند دانش کافی از رفتار مواد بسته‌بندی مختلف تحت فشار است. بسته‌بندی باید پیوستگی فیزیکی و ویژگی‌های ممانعت کنندگی خود را حفظ کند[۴]. بنابر این در طی سال‌های اخیر توجه زیادی به بررسی تاثیر فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا روی خواص مکانیکی، ساختاری و دوخت پلاستیک‌های رایج ایجاد شده است که رابطه مستقیم با ایمنی

بسته بندی دارد. مسئله مهم دیگر مهاجرت ترکیبات از مواد بسته‌بندی به ماده غذایی طی نگهداری است و بایستی اثر تیمار فشار هیدرواستاتیک بالا بر شدت مهاجرت مورد توجه قرار گیرد. در مقاله حاضر مروری بر اثرات فشار هیدرواستاتیک بالا بر ویژگی های مواد بسته بندی که مرتبط با ایمنی بسته بندی می باشد، ارایه شده است.

۲- تاثیر فشار هیدرواستاتیک بالا بر ویژگی های ساختاری و مکانیکی مواد بسته بندی

با توجه به آنچه در تحقیقات بیان شده است[۵-۷]، به نظر می‌رسد فشار هیدرواستاتیک بالا به طور معنی‌داری خصوصیات مکانیکی مواد پلیمری تک لایه و چند لایه بسته‌بندی‌های معمول را که امروزه برای فرایند هیدرواستاتیک بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد، تغییر نمی‌دهد. اخیرا فلکستاین و همکاران[۸] مروری جامع بر تغییرات پلیمرها، به ویژه نفوذ پذیری و ویژگی‌های ظاهری، تحت تیمار فشار بالا انجام داده و این تغییرات را به لحاظ اثر مستقیم و غیر مستقیم فرایند دسته بندی کردند. فشار هیدرواستاتیک بالا ممکن است باعث آسیب بعضی از بسته‌های پلاستیکی شود. بسته‌هایی که حساس به شکست هستند، امکان دارد تخریب شوند یا در بسته‌بندی‌های چند لایه سبب جداشدن لایه‌ها گردد. جدا شدن لایه‌ها سبب می‌گردد حباب‌های هوا بین لایه‌ها تشکیل شده و به‌خصوص زمانی اتفاق می افتد که هر لایه از ساختار چند لایه، تحمل به فشار متفاوتی داشته باشد[۹]. لی بیل و همکاران[۷] در مطالعه ای جامع روی تاثیر فشار هیدرواستاتیک بالا بر خواص مکانیکی چند ماده بسته‌بندی (PA-PE، PET/BOA/PE، PET/PVDC/PE، PA/SY LDPE و EVA/PE) مشاهده کردند که فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا بر مقاومت مکانیکی این مواد به طور معنی‌داری تاثیر گذار نیست. یو و همکاران[۱۰] تاثیر تیمار فشار بالا (۲۰۰، ۴۰۰ و ۸۰۰ مگاپاسکال به مدت ۵ و ۱۰ دقیقه در دمای‌های ۲۵ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد) را روی خواص مکانیکی فیلم‌های LDPE مورد بررسی قرار دادند. بر طبق نتایج حاصل، می‌توان گفت فشار هیدرواستاتیک بالا باعث افزایش سختی نمونه‌های تیمار شده گردید و با افزایش شدت فشار ویژگی‌های الاستیکی نمونه کاهش یافت و دلیل این پدیده احتمالا افزایش درجه کریستالی پلیمر می باشد. لوپز-روبیو و همکاران[۱۱] دریافتند که فشار هیدرواستاتیک بالا (۴۰۰ و ۸۰۰

مگاپاسکال طی ۵ و ۱۰ دقیقه در ۴۰ و ۷۵ درجه) به طور معنی‌داری ساختار EVOH را تغییر نمی‌دهد و حتی به میزان کمی ساختمان کریستالی EVOH با اتیلن کم را (حدود ۲۶ درصد) بهبود می‌بخشد. با وجود این نتایج، تعدادی از محققین نیز صدمه ساختاری در بسته‌بندی‌های چند لایه و به خصوص بسته‌بندی‌های دارای لایه فلزی و همچنین تغییر در دوخت پذیری را مشاهده کردند. برای مثال کانر و همکاران [۶] با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی و تصویر برداری التراسوند، مشاهده کردند که پس از فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا، ۶۰۰ تا ۸۰۰ مگاپاسکال به مدت ۲ تا ۵ دقیقه در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد، لایه فلزی فیلم چند لایه metal-PET/EVA/LLDPE از فیلم جدا شده است. این پدیده به دلیل تفاوت ساختاری بین لایه فلزی و پلیمری به ویژه تفاوت در تحمل به فشار و ظرفیت گرمایی ویژه این دو لایه است. لارگتو و همکاران[۱۲] دو فیلم تجاری بر پایه PA/PE و با ضخامت‌های مختلف را تحت تیمارهای فشار ۴۰۰ و ۵۰۰ مگاپاسکال در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه و فشار ۲۰۰ مگاپاسکال در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵ دقیقه مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند عامل مهمی که در جدا شدن لایه‌ها موثر است، فضای خالی درون بسته است. گوئتس و ویسر[۱۳] با استفاده از میکروسکوپ الکترونی، لایه لایه شدن، گسستگی، ایجاد ترک و جمع شدگی را در بسته‌های PA/PE پس از فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا (۵۰۰ مگاپاسکال) مشاهده کردند و دلیل این پدیده را تفاوت در الاستیسیته بین لایه‌ها می‌دانند. دوبیاس و همکاران[۱۴] دریافتند که مهمترین تاثیر تیمار فشار بالا، تغییر استحکام دوخت قبل و بعد از فرایند است. این آزمایش روی هفت نوع ماده بسته انجام شد و نتایج نشان داد که در چهار ماده، دو نوع از PE و دو نو ع از PP کاهش معنی‌داری در قدرت دوخت طی شرایط اعمال شده به وجود آمده است.

۲-۱- فیلم های زیست تخریب پذیر

پاستوریزاسیون با استفاده از تیمار فشار هیدرواستتیک بالا در دمای ۲۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد و استریلیزاسیون با تیمار فشار بالا در دمای ۹۰ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود [۱۵] و نکته مهم این است که با توجه به دمای پایینی که برای

پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون در فرایند فشار هیدرواستاتیک بالا اعمال می‌شود این امکان را فراهم می آورد تا از پلیمرهای زیست تخریب پذیر و طبیعی برای بسته‌بندی استفاده شود. زیرا این بسته‌بندی‌ها نسبت به پلاستیک‌های نفتی مقاومت کمتری در برابر فرایند گرمایی دارند[۱۵]. احمد و همکاران [۱۶] سه ایزومر پلی لاکتیک اسید را تحت تیمار فشار بالا ۳۵۰، ۴۵۰ و ۶۵۰ مگاپاسکال به مدت ۱۵ دقیقه و محدوده دمایی ۲۲ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد مورد مطالعه قرار دادند. بررسی خواص حرارتی این فیلم‌ها نشان داد که نقطه گذار شیشه ای کاهش یافت ولی ساختار کریستالی تغییر پیدا نکرد. همچین نقطه ذوب در ایزومر L کاهش یافت. این محققان بیان کردند پلی‌لاکتیک اسید ماده مناسبی برای تحقیقات بیشتر برای تولید ماده بسته‌بندی برای تیمارهای فشار بالا است. بررسی خصوصیات مکانیکی، گرمایی و نفوذ به گاز دو نوع فیلم ترکیبی با اعمال فرایند فشار ۵۰۰ مگاپاسکال به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد توسط گالاتو و همکاران [۱۷]انجام شد. تغییرات در فیلم زیست تخریب پذیر PLASiOx/PLA در حضور آب افزایش یافت. ایجاد سوراخ و ترک در فیلم سنتزی PET-AlOx نیز مشاهده شد که کلیه خواص فیلم را تغییر داد.

۳- تاثیر فشار هیدرواستاتیک بالا بر تعامل مواد بسته بندی و ماده غذایی

سه فرایند اصلی که ممکن است بین ماده غذایی و مواد بسته‌بندی اتفاق افتد و باعث تغییر کیفیت مواد غذایی می‌شود، جذب، نفوذ و مهاجرت است [۱۲].

۳-۱- ممانعت کنندگی و نفوذ به بخار ها و گاز ها

تاثیر تیمار فشار هیدرواستاتیک بالا روی خصوصیات ممانعت کنندگی به آب و اکسیژن در مواد بسته‌بندی تک لایه و چند لایه به طور وسیع مطالعه شده است. بر اساس نتایج چندین کار تحقیقاتی [۷, ۹, ۱۱] به طور کلی می توان گفت ویژگی‌های ممانعت کنندگی به آب و اکسیژن به طور معنی‌داری به واسطه تیمار فشار هیدرواستاتیک بالا تغییر نمی‌کند. در بین یازده

فیلم تجاری مختلف و دارای ممانعت مناسب که توسط بل و همکاران [۱۸] تحت شرایط فشار ۶۰۰ مگاپاسکال و ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد آزمایش شد، با وجودی که ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی به عبور اکسیژن و بخار آب در سه فیلم حاوی فویل آلومنیوم و فیلم PVDC-MA/CCP حفظ شد اما شواهد ایجاد ترک خوردگی و جداشدن لایه‌ها روی سطح خارجی فیلم، استفاده از این فیلم‌ها را برای فراوری محدود می سازد. لوپز روبیو و همکاران [۱۱] مشاهده کردند که در تمام تیمارهای فشار بالا که مورد آزمایش قرار گرفت (۴۰۰ تا ۸۰۰ مگاپاسکال در مدت زمان‌های ۵ تا ۱۰ دقیقه) ویژگی ممانعت به عبور اکسیژن در فیلم EVOH به میزان کمی بهبود یافت. این محققان این پدیده را ناشی از افزایش در درجه کریستالی نمونه بعد از اعمال فرایند دانستند. از طرف دیگر، کانر و همکاران [۱۹] دریافتند که تیمار فشار بالا روی فیلم چند لایه metal-PET/EVA/LLDPE باعث می‌شود که نفوذپذیری به اکسیژن، دی اکسید کربن و بخار آب به میزان ۱۵۰ درصد افزایش یابد. بررسی‌های بیشتر نشان می‌دهد که دلیل افزایش نفوذ پذیری تغییرات ساختاری و جداشدن لایه فلزی است. کوچاما و همکاران [۲۰] نیز مشاهده کردند فرایند فشار بالا همراه با دمای بالا (یا استریلیزاسیون با فشار هیدرواستاتیک بالا) باعث افزایش نفوذپذیری به اکسیژن در فیلم‌های nylon/coextruded ethylene-vinyl alcohol ، polyethylene terephthalate /aluminum oxide/casted PP،nylon/polypropylene ، PET/polyethylene و دو فیلم پوشش داده شده با فویل آلومنیوم، nylon/Al/PP، PET/aluminum/CPP شده و دلیل این پدیده را به آسیب ناشی از افزایش دمای اولیه مرتبط دانستند. اما میزان نفوذ پذیری کمتر از زمانی بود که از تیمار حرارتی استفاده شد. کانر و همکاران [۲۱] گزارش کردند که در بین هشت فیلم با ممانعت کنندگی بالا، PET/SiOx/PU، PE/Nylon/EvOH/PE ، PET/PVdC/Nylon/HDPE/PP ، PET/Al2O3/PU adh/LDPE ، adh/LDPE ، PE/Nylon/PE و PET/EVA و PP، فیلم PET دارای لایه فلزی تنها فیلمی است که پس از اعمال تیمار فشار ۶۰۰ تا ۸۰۰ مگاپاسکال، افزایش معنی‌داری در نفوذ پذیری به اکسیژن ، دی اکسید کربن و بخار آب در آن ایجاد شد. تیمار فشار بالا در ۵۰۰ مگاپاسکال به مدت ۳۰ دقیقه باعث تغییر ۲۵ درصد در نفوذپذیری به اکسیژن در فیلم PA/PE و ۱۶ درصدی در

فیلم PA/surlyn گردید همچنین نتایج این تحقیق نشان داد تغییر در نفوذپذیری به بخار آب در مواد مورد مطالعه نسبت به تغییر در نفوذ پذیری به اکسیژن معنی دار تر بود و همچنین تغییر معنی‌داری در ساختار مواد بسته‌بندی مشاهده نشد[۱]. در مجموع فشار بالا باعث می‌شود انتشار در زمینه پلیمر کاهش یابد. پس از آنکه فشار برداشته می‌شود، این اثر از بین میرود. اما ساختارهای چند لایه و ترکیبی ممکن است دچار تغییر شکل شدید شود که منجر به شکستگی، جدا شدن لایه‌ها و ایجاد سوراخ می‌شود و در این حالت ویژگی‌های ممانعت کنندگی فیلم شدیدا کاهش می‌یابد. در خصوص ویژگی‌های ممانعت به آروما تحقیقات کمی انجام شده است [۱۳, ۲۲-۲۳]. گوئتر و ویسر [۱۳] شدت نفوذ پارا سیامین[۳] را در طی تیمار فشار بالا (۵۰ مگاپاسکال و ۲۵ دقیقه) در دو فیلم LDPE/HDPE/LDPE و PET/Al/LDPE بررسی کردند. این محققان بیان کردند که به دلیل تغییرات ساختاری در پلیمر، شدت نفوذ به این ترکیب با افزایش فشار، کاهش پیدا کرد. نتایج این محققان با نتایج کوبل و همکاران [۲۳] در رابطه با جذب استوفنون و پاراسیامین در سه فیلم LDPE/HDPE/LDPE، PET/Al/LDPE و HDPE همسویی و مطابقت دارد. کائر و همکاران [۲۲] مشاهده کردند، جذب دی لیمونن در فیلم‌های PP و PE/nylon/EVOH/PE در اثر تیمار فشار بالا، در حد معنی‌داری تغییر نمی‌کند. تغییر وضعیت فیلم‌های پلاستیکی به حالت شیشه ای در اثر فشارهای بالا، دلیلی است که برای کاهش جذب آروما پیشنهاد شده است.

۳-۲- مهاجرت

مهاجرت کلی از طریق کمیت سنجی موادی از بسته‌بندی که به ماده غذایی یا شبیه ساز[۴] غذا پس از طی مدت زمان معین مهاجرت می‌کنند، تعیین می‌گردد. این شاخص همچنین برای توصیف یکپارچگی ماده بسته‌بندی کاربرد دارد. روش استاندارد برای تعیین مهاجرت کلی اندازه گیری مقدار مواد بسته‌بندی است که پس از ده روز در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بر حسب

میلی گرم در دسی متر مربع سطح ماده بسته‌بندی به ماده غذایی مهاجرت نماید. بر حسب بخشنامه اتحادیه اروپا مواد غذایی که در تماس با مواد غذایی هستند نباید مهاجرت بیشتر از ۱۰ میلی گرم در دسی متر مربع به ماده غذایی داشته باشد [۱۴]. جولیانو و همکارن [۲۴] در مقاله مروری خود علاوه بر بیان واکنش‌ها و مکانیسم فشار بالا، ویژگی‌های فیلم‌های تجاری موجود را به لحاظ مناسب بودن برای این فرایند مورد بررسی قرار داده و مهاجرت را در فیلم‌های مختلف مورد مقایسه قرار دادند. لمبرت و همکاران [۹] مهاجرت کلی را از پنج نوع PA/PE و یک نوع پوشش PET/PVDC/PE، در حضور شبیه سازهای غذایی آب، اسید استیک و اتانول به مدت ۱۰ روز در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار دادند. تیمار فشار بالا (۵۰۰ مگاپاسکال به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) مهاجرت کل را افزایش نداد و تمام بسته‌بندی‌ها حد مجاز را رعایت کردند. دوبیاس و همکاران [۱۴] مهاجرت کل به الکل نود و پنج درصد و ایزواکتان را برای هفت فیلم تک لایه (سه فیلم بر پایه پلی پروپیلن، دو فیلم بر پایه پلی اتیلن، و دو فیلم کوپلیمر اتیلن) و هفت فیلم پوشش دار (سه فیلم بر پایه EVOH و چهار فیلم بر پایه PA/PE) مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. اگرچه مهاجرت کل حتی برای گروه‌های مشابه تغییر پیدا کرد ، اما در مجموع مهاجرت کل از حد مجاز استاندارد اروپا بالاتر نبود. نتایج یک مطالعه [۲۵] در رابطه با مهاجرت اجزا از مایع تحت تیمار فشار بالا به بسته‌بندی، تایید کرد که لایه آلومنیوم در بسته‌بندی PE/PA/AL/PP در برابر 1,2-propanediol که در مایع درون بسته‌بندی قرار دارد نفوذ ناپذیر است. مایع مورد آزمایش الکل ۹۵ درصد بوده و شرایط تیمار فشار بالا شامل ۴۰۰ تا ۸۲۷ مگاپاسکال در دمای ۳۰ تا ۵۰ درجه و ۶۰۰ تا ۸۲۷ مگاپاسکال در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد هر دو به مدت ۱۰ دقیقه بود؛ اما در همین آزمایش فیلم بسته‌بندی PA/EVOH/PE تغییر معنی دار در مهاجرت 1,2-propanediol را نشان داد.

۴- نتیجه گیری کلی

ساختارهای پلاستیکی چون دارای رفتار الاستیک هستند مناسب ترین مواد برای بسته‌بندی مواد غذایی هستند که تحت تیمار فشار بالا قرار می‌گیرد. در صورت که پلاستیک‌ها با لایه فلزی مانند آلومنیوم ترکیب شود، به دلیل تفاوت در الاستیسیته بین دو لایه خواص ممانعت کنندگی و مکانیکی فیلم طی فرایند ممکن است تغییر کند. این امکان وجود دارد فیلم‌های دارای لایه‌های اکسید الومنیوم و اکسید سیلیسیم دچار اسیب‌های سطحی مانند پارگی پوشش‌ها، جداشدن لایه‌ها و چروک شده و به همین دلیل مواد بسته‌بندی که برای تیمار فشار هیدرواستاتیک بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد اصولا بایستی فیلم‌های پلیمری چند لایه باشد. تغییر نفوذ پذیری به تغییر ساختاری فیلم بسته بندی طی فرایند بستگی دارد به طوری با تغییر ساختار کریستالی و ایجاد شکاف در فیلم ها ممانعت کنندگی تغییر خواهد کرد. مهاجرت ترکیبات نیز تابع ساختار فیلم بسته بندی است و وجود لایه های فلزی مهاجرت را کاهش میدهد.

۵- منابع

1) Ozen, B.F. and J.D. Floros, Effects of emerging food processing techniques on the packaging materials. Trends in Food Science & Technology, 2001. 12(2): p. 60-67.
2) Raso, J. and G.V. Barbosa-Cánovas, Nonthermal Preservation of Foods Using Combined Processing Techniques. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2003. 43(3): p. 265-285.
3) Rastogi, N.K., et al., Opportunities and Challenges in High Pressure Processing of Foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007. 47(1): p. 69-112.
4) Ludwig, H., H. Marx, and B. Tauscher, Interaction of food packaging material and selected food components under high pressure. High Pressure Research, 1994. 12(4-6): p. 251-254.
5) Galotto, M.J., et al., Mechanical and thermal behaviour of flexible food packaging polymeric films materials under high pressure/temperature treatments. Packaging Technology and Science, 2008. 21(5): p. 297-308.

6) Caner, C., et al., The use of mechanical analyses, scanning electron microscopy and ultrasonic imaging to study the effects of high-pressure processing on multilayer films. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003. 83(11): p. 1095-1103.
7) Le-Bail, A., N. Hamadami, and S. Bahuaud, Effect of high-pressure processing on the mechanical and barrier properties of selected packagings. Packaging Technology and Science, 2006. 19(4): p. 237-243.
8) Fleckenstein, B.S., J. Sterr, and H.C. Langowski, The Effect of High Pressure Processing on the Integrity of Polymeric Packaging–Analysis and Categorization of Occurring Defects. Packaging Technology and Science, 2013.
9) Lambert, Y., et al., Packaging for high-pressure treatments in the food industry. Packaging Technology and Science, 2000. 13(2): p. 63-71.
10) Yoo, S., et al., Effect of High Pressure Processing on the Thermal and Mechanical Properties of Polyethylene Films Measured by Dynamical Mechanical and Tensile Analyses. Packaging Technology and Science, 2013.
11) López-Rubio, A., et al., Effect of high pressure treatments on the properties of EVOH-based food packaging materials. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2005. 6(1): p. 51-58.
12) Largeteau, A., et al. Evaluation of films for packaging applications in high pressure processing. in Journal of Physics: Conference Series. 2010: IOP Publishing.
13) Götz, J. and H. Weisser, Permeation of aroma compounds through plastic films under high pressure: in-situ measuring method. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2002. 3(1): p. 25-31.
14) Dobiáš, J., et al., Changes of properties of polymer packaging films during high pressure treatment. Journal of Food Engineering, 2004. 61(4): p. 545-549.
15) Mensitieri, G., et al., Processing and shelf life issues of selected food packaging materials and structures from renewable resources. Trends in Food Science & Technology, 2011. 22(2–3): p. 72-80.
16) Ahmed, J., et al., Effect of high pressure treatment on thermal properties of polylactides. Journal of Food Engineering, 2009. 93(3): p. 308-312.
17) Galotto, M., et al., Effect of High-Pressure Food Processing on the Physical Properties of Synthetic and Biopolymer Films. Journal of food science, 2009. 74(6): p. E304-E311.

18) Bull, M., et al., Packaging under pressure: effects of high pressure, high temperature processing on the barrier properties of commonly available packaging materials. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010. 11(4): p. 533-537.
19) Caner, C., R.J. Hernandez, and M.A. Pascall, Effect of high-pressure processing on the permeance of selected high-barrier laminated films. Packaging Technology and Science, 2000. 13(5): p. 183-195.
20) Koutchma, T., et al., PACKAGING EVALUATION FOR HIGH-PRESSURE HIGH-TEMPERATURE STERILIZATION OF SHELF-STABLE FOODS. Journal of Food Process Engineering, 2010. 33(6): p. 1097-1114.
21) Caner, C., et al., Effect of high pressure processing on high barrier multi-layered flexible packaging materials: Mechanical properties and permeability to oxygen, carbon dioxide and water vapor. Ann. Mtg., Inst. of Food Technologists, Dallas, TX, 2000: p. 10-14.
22) Caner, C., et al., The effect of high-pressure food processing on the sorption behavior of selected packaging materials. Packaging Technology and Science, 2004. 17(3): p. 139-153.
23) Kübel, J., et al., Diffusion of Aroma Compounds into Packaging Films under High Pressure. Packaging Technology and Science, 1996. 9(3): p. 143-152.
24) Juliano, P., et al., Polymeric-Based Food Packaging for High-Pressure Processing. Food Engineering Reviews, 2010. 2(4): p. 274-297.
25) Schauwecker, A., et al., Influence of high-pressure processing on selected polymeric materials and on the migration of a pressure-transmitting fluid. Packaging Technology and Science, 2002. 15(5): p. 255-262.