بررسی امکان استفاده از فنّاوری ازن در صنعت بسته‌بندی محصولات غذایی

محمدحسن کمانی[1*]، مونا فلاح شجاعی[2]، صادق ریگی[3]، حبیب اله میرزایی[4]

تاریخ دریافت مقاله: مهرماه ۱۳۹۳
تاریخ پذیرش مقاله: مردادماه ۱۳۹٤

چکیده

امروزه، استفاده از فنّاوری ازن به عنوان یک روش کارآمد جهت حذف میکروارگانیسم‌ها و استرلیزاسیون مواد بسته‌بندی به میزان زیادی مورد توجّه صنعتگران غذا قرار گرفته است. در این میان برهم کنش گاز ازن و مواد بسته‌بندی بسیار حائز اهمیت بوده و شناخت این عوامل در کیفیت مواد غذایی بسته‌بندی شده و ایمنی غذایی آن نقش بسزایی دارد. به طوری که حضور این گاز در مجاورت مواد بسته‌بندی می‌تواند سبب تغییراتی در برخی از خصوصیات پلیمرهای پلاستیکی مورد استفاده در بسته‌بندی نظیر تغییر در خصوصیات بازدارندگی، مکانیکی، فیزیکی، ساختاری و یا تجزیه شیمیایی پلیمرهای آن گردد. از مهم‌ترین تغییرات مشاهده شده در این پلیمرها می‌توان به تغییر در میزان کشش سطحی و چسبندگی پلیمرهایی نظیر پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترفتالات، تغییر در ساختار حلقه‌های آروماتیک فیلم‌های پلی‌استایرن و کاهش پایداری آن‌ها، افزایش میزان و سرعت اکسیداسیون در بخش آمورف پلیمرها و شکل‌گیری و حضور برخی فرآورده‌های اکسیداسیون نظیر استرهای پلاستیک، آلکان، آلکن‌ها، کتون‌ها و پراکسیدها اشاره کرد. کلیه تغییرات ایجاد شده در پلیمرها می‌توانند سبب تغییر در خواص کیفی مواد غذایی بسته‌بندی شده و کاهش ایمنی غذایی آن شود. بنابراین جهت استفاده بهینه از این فنّاوری، درک صحیح از مکانیزم و عوامل مؤثر بر این واکنش‌ها، ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه، نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه کاربردهای گاز ازن در صنعت غذا، تغییرات ایجاد شده در مواد بسته‌بندی تحت تأثیر تیمار با ازن و نیز تأثیر این مواد بر خواص کاربردی ازن بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی:
ازن، بسته‌بندی مواد غذایی، استرلیزاسیون[5]، پلیمر، خصوصیات مکانیکی

۱- مقدمه

مواد مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی، از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در ماندگاری مواد غذایی محسوب می‌شود. به طوری که، ماده مورد استفاده در

۱- کارشناس ارشد صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، سبزوار، ایران.
*(نویسنده مسئول: Mohammadh.kamani@gmail.com)
۲- کارشناس ارشد صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران (mona_falahshojaee@yahoo.com).
۳- کارشناس ارشد صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، سبزوار، ایران (rigisadegh94@yahoo.com).
٤- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران (habibmirzaei@yahoo.com).

5- Sterility

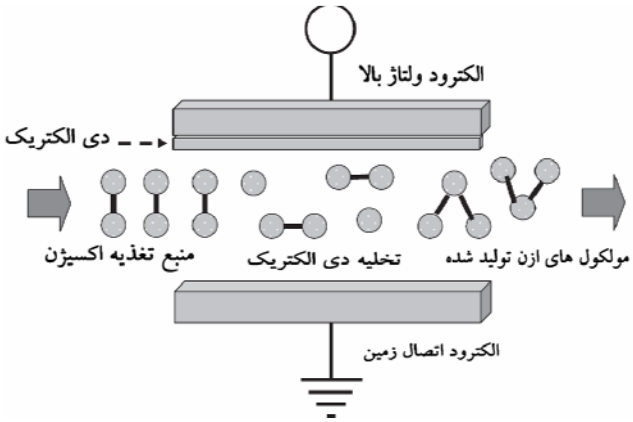
بسته‌بندی، به عنوان یک عامل حفاظتی در برابر فساد میکروبی، شیمیایی و ضربات مکانیکی عمل کرده و محصول را در برابر فساد ناشی از ضربات مکانیکی، شیمایی و میکروبی مصون می‌دارد [۱]. در میان عوامل تشکیل‌دهنده فساد مواد غذایی، میکروارگانیسم‌ها مهم‌ترین نقش را در بروز تغییرات نامطلوب ایفا کرده و سبب تغییر در خواص کیفی محصول بسته‌بندی شده می‌گردند. به همین جهت، استفاده از روش‌های اطمینان بخش جهت کنترل کیفیت مواد غذایی بسته‌بندی شده بیش از پیش مورد توجّه قرار گرفته است[۲]. امروزه گرایش به سمت استفاده از فنّاوری‌های جدید جهت حذف میکروارگانیسم‌ها و افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی توسط صنعتگران افزایش یافته است. از مهم‌ترین روش‌های متداول مورد استفاده جهت استریل‌سازی مواد بسته‌بندی می‌توان به استفاده از هیدروژن پراکساید[1]، الکل، اشعه[2] UV و هوای داغ اشاره نمود که هر کدام می‌تواند بسته به میزان کارایی خود سبب کاهش میکروارگانیسم‌های سطوح مختلف مواد بسته‌بندی شوند؛ اما این روش‌ها دارای معایب خاصی بوده که از جمله آن‌ها می‌توان به عدم کارآمدی آن‌ها بر روی کلیه میکروارگانیسم‌ها و اثرات باقی‌مانده آن‌ها اشاره نمود[۳]. از جمله روش‌های نوین مورد استفاده در ضدعفونی کردن مواد بسته‌بندی، استفاده از فنّاوری ازن می‌باشد که نسبت به سایر ضدعفونی‌کننده‌ها داری قدرت کشندگی بیشتری می‌باشد. به طوری که علاوه بر باکتری‌ها، می‌تواند بر محدودهٔ گسترده‌تری از کپک‌ها، مخمرها و ویروس‌های باقی‌مانده بر روی بسته‌بندی تأثیرگذار باشد. همچنین میزان قدرت ضدعفونی‌کنندگی آن در مقایسه با کلر بیشتر بوده و دارای اثرات باقی‌مانده جانبی کمتری می‌باشد[٤ و ٥]. از آنجایی که استریل‌سازی بسته‌بندی مورد استفاده در مواد غذایی نقش مهمی در پیشگیری از فساد آن‌ها طی زمان نگهداری دارد، استفاده از این فنّاوری و نقش آن در غیرفعالسازی میکروارگانیسم‌ها و واکنش با اجزای تشکیل‌دهنده ماده بسته‌بندی بسیار، حائز اهمیت می‌باشد.

۲- ازن و روش‌های تولید آن

ازن یا اکسیژن فعال مولکولی، متشکل از سه اتم اکسیژن است که شکل تغییر یافته اکسیژن بوده و از سه پیوند ناپایدار اتم اکسیژن تشکیل شده است. این گاز بی‌رنگ نخستین بار توسط اسکونبین[3] کشف شد و برای اولین بار در سال ۱۸۹۳ برای ضدعفونی کردن آب آشامیدنی و سپس برای سایر مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفت. این گاز ناپایدار، در محل تولید شده و توسط سازمان‌های FDA[4]، EPA[5]، OSHA[6]، ADEC[7] و معاونت غذا و دارو وزارت بهداشت- درمان و آموزش پزشکی ایران تأیید شده است [٦ و ٧]. تولید این ماده در صنعت، توسط ژنراتور ازن انجام می‌شود که متداول‌ترین روش تولید آن روش کرونا[8] یا جرقه داغ می‌باشد. در این روش، اکسیژن از فضای مابین دو الکترود که توسط مواد دی الکتریک شیشه مانند جدا شده، عبور داده می‌شود. الکترودها اغلب به شکل دو صفحه می‌باشند که به یک منبع با ولتاژ بالا متصل‌اند. در اثر اعمال ولتاژ بالا به الکترودها تخلیه الکتریکی بین دو الکترود رخ می‌دهد که باعث تبدیل اکسیژن به ازن در فضای تخلیه می‌شود که به آن تخلیه دی الکتریک می‌گویند. به طوری که بعضی از مولکول‌های اکسیژن به اتم اکسیژن تفکیک می‌شوند و سپس اتم اکسیژن با باقی‌مانده مولکول، واکنش نشان داده و تولید مولکول ازن را می‌نماید[۸] (شکل۱).

1- Hydrogen peroxide (H_2O_2)
2- Ultraviolet

3- Schonbein
4- Food and drug administration
5- Environmental protection agency
6- Occupational safety and health administration
7- Australian drug evaluation committee
8- Corona discharge method



شکل۱- روش تولید ازن به روش کرونا [۹]

تیمار محصول به دو روش گازی و محلول صورت می‌گیرد که در روش گازی، گاز ازن توسط ژنراتور ازن تولید و به طور مستقیم به سمت محصول هدایت می‌شود. این روش بیشتر در سیستم‌های تهویه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش محلول، ازن ابتدا توسط ژنراتور تولید شده و سپس در آب انتشار می‌یابد و محلول ازن را به وجود می‌آورد. این روش بیشتر برای شستشوی محصولات و ابزارها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹].

۳- کاربردهای گاز ازن در صنایع مختلف غذایی

استفاده از گاز ازن به عنوان مادهٔ ضدمیکروبی، در صنایع غذایی به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. از جمله می‌توان به کاربرد آن در صنایع مختلفی نظیر فرآورده‌های گوشتی، ماهی، میوه و سبزیجات و حتّی پنیر اشاره کرد. علاوه بر این، یکی از کاربردهای مهم ازن، ضدعفونی کردن سطوح در تماس با غذا و مواد بسته‌بندی می‌باشد. از جمله کاربردهای گاز ازن در صنایع گوشتی می‌توان به استفاده از آن به عنوان یک ماده ضدعفونی‌کننده گوشت، شستشو و ضدعفونی کردن لاشه‌های گاو و گوسفند با آب محتوی اکسیژن فعال جهت کاهش میکروب‌های روی سطح پوست، شستشوی دیوارها، کف، سطوح، لباس کار و لوازم مانند تیغه‌ها و ضدعفونی کردن ضایعات اشاره کرد. گاز ازن را می‌توان جهت کاهش بار میکروبی محصولات شیلاتی و بهبود وضعیت ایمنی محصولات، استفاده در نظافت، گندزدایی، شستشوی وسایل و تجهیزات و تصفیه ضایعات فرآورده‌های شیلاتی استفاده نمود. همچنین می‌توان از یخ حاوی ازن برای خنک‌سازی ماهی استفاده نمود که منجر به کاهش بار میکروبی و افزایش زمان ماندگاری می‌شود [۱۰ و ۱۱]. این گاز در انبارهای نگهداری غلّات جهت جلوگیری از رشد قارچ‌ها و کپک‌ها به جای آفت‌کش‌هایی که دارای اثرات جانبی مضر می‌باشند، استفاده می‌شود که این عمل با استفاده از سامانه هوادهی صورت گرفته و با کاهش ضایعات حاصل از دپوی غلّات، مدّت زمان ماندگاری آن‌ها را در انبار افزایش می‌دهد. همچنین استریل کردن و ضدعفونی کردن سالن‌های سردخانه میوه‌جات و سبزیجات توسط ازن موجب حفظ طعم، مزه، رنگ، بو و کاهش بار میکروبی آن‌ها می‌گردد. در یک مطالعه، سیب‌های درختی تلقیح شده با *E. coli*[1]، با حباب‌های گاز ازن که به هنگام شستشو، ضدعفونی شده بود و نتایج اثرات مثبت گاز ازن را جهت کنترل *E. coli* نشان داد [٦ و ۹].

1- Escherichia coli

نتایج مطالعه بر روی تأثیر گاز ازن بر میزان سوش سودوموناس[1] بر روی بسته‌بندی کارتن چند لایه و ضدزنگ در مقایسه با آب معمولی در (جدول ۱) نشان داده شده است. مطابق این نتایج گاز ازن می‌تواند به عنوان یک استریل‌کننده قوی جهت شستشوی پلاستیک‌های چند لایه و بسته‌بندی‌های فلزی در مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد.

جدول۱- تأثیر گاز ازن بر میزان باکتری سودوموناس فلورسنس بر روی بسته‌بندی کارتن چند لایه و ضد زنگ در مقایسه با آب معمولی

نوع مواد بسته‌بندی	میزان باکتری سودوموناس فلورسنس برحسب کلنی در هر میلی‌لیتر	
	آب	ازن
بسته‌بندی چند لایه	۶/۶×۱۰[۱۱]	۱×۱۰[۷]
فولاد ضدزنگ	۶/۴×۱۰[۸]	۲/۲×۱۰[۳]

همچنین سایر بررسی‌ها نشان داده است که گاز ازن می‌تواند، رشد باکتری‌های موجود در برخی از فیلم‌های پلاستیکی را به میزان ۵ لگاریتم پرگنه کاهش دهد[۳].

استفاده از گاز ازن جهت افزایش ایمنی و کیفیت محصولات به عنوان یک عامل مؤثر در مواد غذایی بسته‌بندی شده می‌باشد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ضدعفونی سطوح و ماشین‌آلات بسته‌بندی، ضدعفونی هوای کلیه سالن‌های تولید و بسته‌بندی، شستشوی بطری‌ها و ظروف بسته‌بندی اشاره کرد؛ اما ازن ممکن است باعث تغییر در برخی از خصوصیات پلیمرهای پلاستیکی مورد استفاده در بسته‌بندی نظیر تغییر در خصوصیات بازدارندگی، مکانیکی، فیزیکی و یا ساختاری آن شود که شناخت آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۸].

٤- تأثیر ازن بر مواد مورد استفاده در بسته‌بندی و عوامل مؤثر بر آن

یکی از عوامل مهم در میزان تأثیر ازن بر مواد بسته‌بندی، ترکیب ماده مورد استفاده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی می‌باشد. به طوری که واکنش ترکیبات مختلف مورد استفاده در بسته‌بندی‌های گوناگون نسبت به گاز ازن متفاوت می‌باشد. مواد پلاستیکی نظیر PTEE[2]– PVDF[3] – PVC[4]– ECTEF[5] از جمله مواد متداول مورد استفاده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی می‌باشند که مقاومت مناسبی نسبت به خوردگی ناشی از تماس با ازن دارند؛ اما بعضی از مواد نظیر کائوچو (لاستیک طبیعی) در مجاورت گاز ازن حساسیت خاصی از خود نشان می‌دهند، به طوری که در اثر تماس ازن با این مواد، به طور کامل تجزیه می‌شوند. ترکیبات سیلیکونی نیز در بازهٔ زمانی کوتاه مدّت دارای مقاومت خوبی در برابر ازن هستند ولی در اثر تماس مداوم و پیوسته با گاز ازن اکسید می‌شوند. پایداری کمتر فیلم‌های پلی‌استایرن در برابر ازن به حلقه‌های آروماتیک[6] موجود در ساختار آن نسبت داده می‌شود که به عنوان محل هدف برای اثرگذاری ازن عمل می‌کنند [۱۲].

به طور کلی ازن با سطح پلیمر مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی واکنش نشان می‌دهد و منجر به تخریب زنجیره‌های پلیمری و تغییر برخی از خواص مهم آن‌ها نظیر تغییر در کشش سطحی می‌گردد. به طور معمول، فیلم‌های پلاستیکی با کشش سطحی پایین، دارای خواص چسبندگی ضعیفی هستند و تیمار ازن می‌تواند به میزان قابل توجّهی سبب افزایش کشش سطحی این دسته از پلیمرها نظیر پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترفتالات شوند و خاصیت چسبندگی آن‌ها را افزایش دهند. از طرف دیگر، پلیمرهای مختلف بسته به ساختار

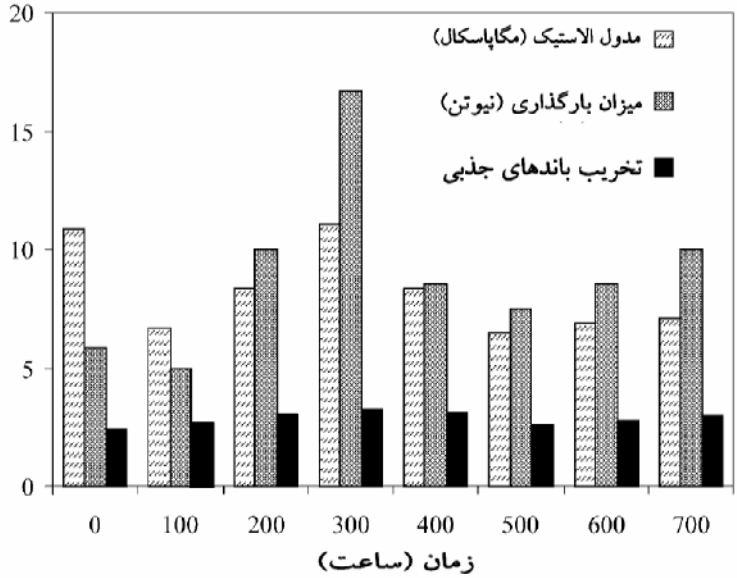
1- Pseudomonas fluorescens

2- Polytetrafluoro ethylene
3- Poly vinilydene fluoride
4- Polyvinyl chloride
5- Ethylene chloro tri fluoro ethylene
6- Aromatic

شیمیایی‌شان رفتار متفاوتی در میزان اکسیداسیون[1] ناشی از ازن نشان می‌دهند. به عنوان مثال، فیلم‌های پلی‌استایرن در مقایسه با سایر فیلم‌ها دارای مقاومت و پایداری کمتری در مقابل تیمار با ازن می‌باشند که این پدیده ممکن است به دلیل تغییر در ساختار حلقه‌های آروماتیک پلیمرها در اثر حمله این گاز به آن‌ها باشد. به طور کلی، نتایج بیشتر پژوهش‌ها نشان داده است که تغییر خواص مکانیکی فیلم‌های پلاستیکی تیمار شده با ازن بستگی به شرایط تیماری نظیر غلظت ازن و درجه حرارت دارد. شکل(۲) نتایج بررسی خواص مکانیکی فیلم‌های پلی‌اتیلن تیمار شده با ازن را نشان می‌دهد که تیمار این ماده سبب تخریب ماکرومولکول‌های پلیمری گردیده است. همچنین با افزایش زمان تیمار این پلیمر در مقابل ازن، مدول الاستیک و بلورینگی[2] آن افزایش یافته است در حالی که میزان تخریب باندهای جذبی[3] این پلیمرها طی فرآیند تیمار ازن به میزان اندکی مشاهده شد[٤].

برخی از محققین عنوان کرده‌اند که ماهیت قطبی پلی‌اتیلن ترفتالات می‌تواند منجر به تسریع اکسیداسیون در اثر تیمار با ازن شود[۱۳]. مکانیزم و سرعت اکسیداسیون پلیمرهای مختلف طی تیمار با ازن نیز متفاوت می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که اکسیداسیون به طور عمده در بخش آمورف پلیمرها اتّفاق می‌افتد و ساختار و تحرک مولکولی پلیمرها، به نوعی تعیین‌کنندهٔ سرعت و شدّت اکسیداسیون می‌باشد. معمولاً ازن قابلیت نفوذ به بخش کریستالی را نداشته و اکسیداسیون فقط در سطح قسمت کریستالی اتفاق می‌افتد[١٤].

تجزیه شیمیایی پلیمرها توسط ازن، نیز نوعی تجزیه پلیمری است که سبب تغییر در خصوصیات پلیمری می‌شود که این تغییر به سبب یک واکنش شیمیایی با محیط پلیمر به وجود می‌آید. تجزیه لاستیک توسط ازن یکی از مثال‌های متداول تجزیه به کمک روش شیمیایی است. برای انجام این واکنش، لازم است که غلظت ازن به ppm ۵ -۳ برسد، زمانی که این غلظت، تولید شد



شکل۲- تغییر در خواص مکانیکی فیلم‌های پلی‌اتیلن تیمار شده با ازن [٤]

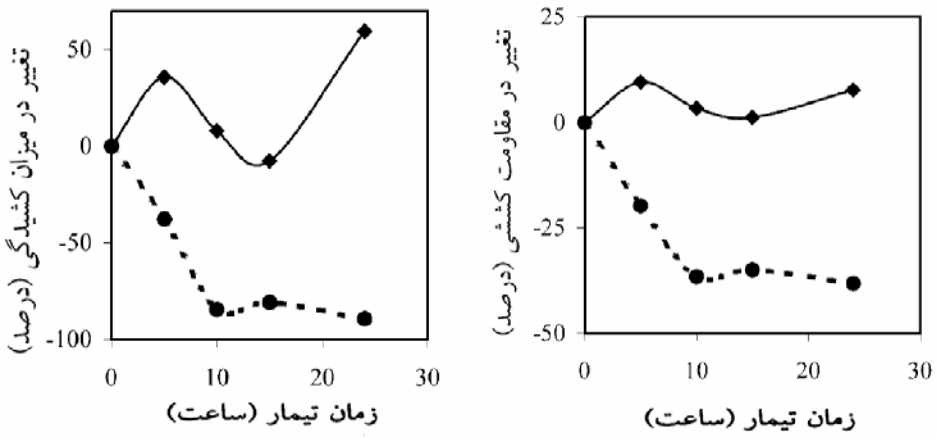
1- Oxidation
2- Crystallinity
3- Absorption Band

واکنشی با لایه سطحی نازک ماده اتّفاق می‌افتد. در این شرایط مولکول‌های ازن با ترکیب اشباع نشده لاستیک (دارای باند دوگانه) واکنش می‌دهد. زمانی که واکنش انجام شد، شکسته شدن زنجیره‌های پلیمری باعث به وجود آمدن محصولات حاصل از تجزیه می‌شود و برش زنجیره‌ها با حضور مولکول‌های هیدروژن فعال افزایش می‌یابد. بر اثر این واکنش‌ها، شکل‌گیری زنجیره‌های جانبی و اتصالات عرضی در اثر واکنش باندهای دو گانه اتّفاق می‌افتد که این امر، موجب افزایش شکنندگی مواد لاستیکی می‌شود. بازدارنده‌های شیمیایی و فیزیکی می‌توانند به عنوان یک عامل حفاظتی جهت جلوگیری از تجزیه شیمیایی پلیمرها مورد استفاده قرار گیرند. این بازدارنده‌ها بایستی شامل ویژگی هایی نظیر محافظت پیوسته از پلیمر، قابلیت انعطاف‌پذیری بوده و همچنین هیچ‌گونه واکنشی با محیط پیرامون پلیمر[1] نداشته باشد[۱۵].

شرایط عملیات نظیر غلظت ازن، دما و نیز زمان تیمار از دیگر عوامل تأثیرگذار بر کارایی و تغییرات شکل گرفته در مواد بسته‌بندی می‌باشد. اوزن[2] و همکاران به بررسی اثر ازن در غلظت و زمان‌های مختلف تیمار بر خصوصیات مکانیکی و نفوذپذیری مواد بسته‌بندی پرداختند. فیلم‌های مورد استفاده شامل OPP[3] و BON[4] بودند. مقاومت کششی OPP بعد از تیمار با ازن ۷۵ درصد روند کاهشی نشان داد؛ اما در فیلم‌های BON، افزایش ۳۰ درصدی این شاخص مشاهده گردید. در مجموع، دما مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تغییر خصوصیات مکانیکی پلیمرها بود(شکل ۳)[۱۶].

خصوصیات نفوذپذیری پلیمرها نیز ممکن است تحت تأثیر تیمار با ازن قرار گیرد. بررسی شانبهاگ و سیرکار[5] (۱۹۹۸) نشان داد که ازن موجب تغییر ساختار و افزایش نفوذپذیری سیلیکون به ازن و نیز اکسیژن گردید.

محققین علت این افزایش نفوذپذیری را تشکیل پراکسیدها در داخل و سطح پلیمر بیان کردند[٤]. شکل‌گیری گروه‌های قطبی و تجزیه زنجیرهٔ پلیمرها نیز از عوامل دیگر تغییر در میزان نفوذپذیری پلیمرهایی نظیر پلی‌اتیلن عنوان شده است. نوع ساختار پلیمر (آمورف یا منظم[6]) و میزان فضای آزاد بین مولکولی آن‌ها نیز می‌تواند در میزان نفوذپذیری پلیمرها نقش عمده‌ای داشته باشد. به طوری که پلیمرهایی با ساختار مولکولی منظم دارای فضای آزاد کمتری نسبت به پلیمرهایی با



شکل۳- تأثیر دما بر تغییر خصوصیات مکانیکی پلی‌اتیلن طی تیمار با ازن [٤]

1- Polymer's environment or polymer's surroundings
2- Ozen
3- Oriented polypropylene
4- Biaxially oriented nylon film
5- Shanbhag and Sirkar
6- Ordered or amorphous structure

ساختار آمورف می‌باشند و به دلیل وجود این فضاهای آزاد بین مولکولی، میزان نفوذپذیری و انتشار گاز ازن در ساختارهای آمورف بیشتر خواهد بود [۱۶].

ویم[1] و همکاران نیز به بررسی تأثیر مواد مختلف با گاز ازن پرداختند. آن‌ها عنوان نمودند که به طور تقریبی ازن قابلیت اکسیداسیون کلیه فلزات به جز طلا، پلاتینیوم و ایریدیوم[2] را دارد. بطوریکه این گاز می‌تواند به ترتیب اکسیدها، سولفید و کربن را به پراکسید، سولفات و دی اکسید کربن تبدیل نماید. مواد مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی بایستی دارای سازگاری بالایی با این گاز داشته باشند. به عنوان مثال، فولاد ضدزنگ ۳۱۶ L دارای سازگاری بیشتر و خوردگی کمتری با گاز ازن در مقایسه با کلر می‌باشد. به طوری که محلول آبی ازن با غلظت ppm ۰/۱ الی ۰/۲ هیچ گونه تأثیری منفی بر روی این فلز نخواهد داشت. در(جدول ۲) میزان سازگاری مواد مختلف مورد استفاد شده در بسته‌بندی مواد غذایی با گاز ازن نشان داده شده است[۵].

جدول ۲ - میزان سازگاری مواد مختلف مورد استفاده شده در بسته‌بندی مواد غذایی با گاز ازن [۵]

ماده	میزان سازگاری
فولاد ضد زنگ ۳۰٤	خوب
فولاد ضد زنگ ۳۰٤	عالی
آلومینیوم	خوب
مس	عالی
پلی‌اتیلن با دانسیته کم	مناسب
پلی‌کربنات	عالی
پلی‌پروپیلن	خوب
پلی‌تترافلوئور و اتیلن (تفلون)	عالی
سیلیکون	عالی
نایلون	ضعیف
کائوچو	ضعیف
پلی‌کلروپرن (پلاستیک)	مناسب

1- Wim
2- Iridium

یکی از نگرانی‌های مطرح شده در ارتباط با تماس ازن با فیلم‌های پلاستیکی مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی، افزایش مهاجرت افزودنی‌ها یا مونومرها[3] از این فیلم‌ها می‌باشد. استینر[4] در سال ۱۹۹۱ به بررسی اثر ازن بر پلی‌اتیلن با دانسیته پایین و آنتی اکسیدان‌های رایج مورد استفاده در پلاستیک‌ها BHA[5] و BHT[6] پرداخت. نتایج بیانگر شکل‌گیری و حضور برخی فرآورده‌های اکسیداسیون نظیر: استرهای پلاستیک، آلکان[7]، آلکن‌ها[8]، کتون‌ها[9] و پراکسیدها بوده است که همگی قادر به تغییر در طعم مواد غذایی هستند. علاوه بر این، شکل‌گیری کربونیل‌ها، کربوکسیلیک اسیدها و هیدروپراکسیدها نیز در طی تیمار پلاستیک‌های مختلف با ازن گزارش شده است [۱۲، ۱۷ و ۱۸]. بنابراین انتخاب صحیح بسته‌بندی در تیمار با ازن نقش مهمی در کیفیت فرآورده‌های غذایی دارد.

برای دستیابی به یک شرایط ایمن در فرآورده‌های غذایی بسته‌بندی شده با گاز ازن، میزان غلظت گاز مورد استفاده و زمان القای آن، ممکن است بسته به نوع ماده بسته‌بندی تغییر کرده و میزان دوز آن در برخی از مواد موارد افزایش یابد. بنابراین درک عوامل تأثیرگذار بر میزان انتشار ازن از طریق بسته‌بندی مواد غذایی، جهت افزایش کارایی فرآیند نیز از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. از عوامل مؤثر در انتشار گاز ازن در مواد بسته‌بندی می‌توان به عواملی نظیر خصوصیات اجزای تشکیل‌دهنده، قابلیت تبلور، درجه حرارت، دانسیته و سایر ویژگی‌های آن و یا غلظت گاز ازن تولید شده در محیط اشاره کرد [۸]. میزان انتشار گاز ازن در مواد بسته‌بندی با ترکیبات مختلف متفاوت است که این

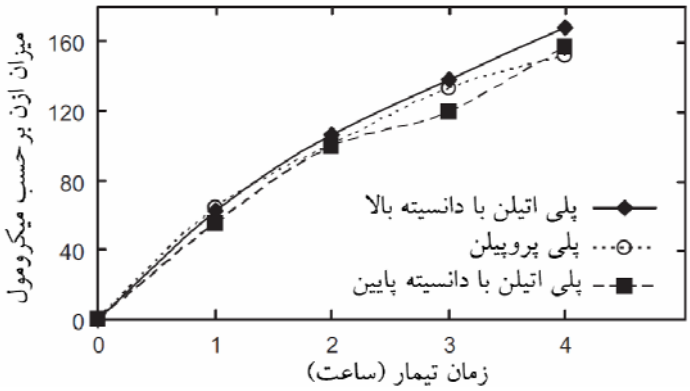
3- Monomer
4- Steiner
5- Butylated hydroxyanisole
6- Butylated hydroxytoluene
7- Alcan
8- Alkenes
9- Ctone

تفـاوت ممکـن اسـت ناشـی از خـصوصیات اجـزای تشکیل‌دهنده، قابلیت تبلور، دانسیته و دیگر ویژگـی‌هـای آن و یـا ناشـی از عـدم انتـشار کـافی گـاز ازن در مـواد بسته‌بندی باشد. در یک بررسی، میزان نفـوذ گـاز ازن در سه مادهٔ فیلم‌های پلی‌اتیلن بـا دانـسیته پـایین، فـیلم‌هـای پلی‌اتیلن دانسیته بالا و پلی‌پروپلین بررسـی شـده اسـت. نتایج آزمایش نشان داد که میزان انتشار ازن را در فـیلم[1] LDPE کم‌ترین و در فیلم[2] HDPE بیشتر از همـه بـوده است(LDPE<PP<HDPE). نتایج این بررسی نشان داده بود که میزان نفوذ ازن درون ایـن ترکیبـات، یـک رابطـه مستقیم با زمان ازن‌زنی داشته است ولی میزان انتشار گـاز ازن در میـان ایـن سـه مـاده از نظـر آمـاری اخـتلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته است (شکل ٤) [۱۹].

صورت حـضور آب همـراه بـا گـاز ازن، ایـن میـزان ۳۰ درصد دیگر نیز افزایش می‌یابد[۲۰].

۵- نتیجه گیری

استفاده از ازن به دلایل قدرت و سرعت بالا به عنوان یک ماده ضدمیکروبی مؤثر، سبب افزایش عمر مانـدگاری محصول در فراوری مواد غذایی و بسته‌بندی آن می‌شـود و از آن می‌توان بـه عنـوان یـک روش غیرحرارتـی مـؤثر برای طیف وسیعی از مواد غذایی اسـتفاده نمـود. بررسـی شرایط استفاده از گاز ازن در بسته‌بندی‌های مختلف مـواد غذایی به صورت تخصصی بسیار حائز اهمیت اسـت. بـه طوری که حضور این گاز در مجاورت مـواد بـسته‌بنـدی، ممکن است باعث تغییر در برخی از خصوصیات



شکل ٤- میزان نفوذ ازن در پلی اتیلن با دانسیته‌ی بالا (HDPE)، پروپیلن (PP) و پلی اتیلن با دانسیته کم (LDPE)

مشخص شده است که میزان نفـوذ ازن در میـان یـک ماده، عمدتاً به میزان خلل و فرج[3] آن بـستگی دارد. یکـی دیگر از عوامل مؤثر و مهم در میـزان انتـشار گـاز ازن در مواد متخلخل، اندازه مولکول گاز می‌باشد. به طـوری کـه میزان انتشار گازهـای بـا وزن مولکـولی پـایین‌تـر، دارای انتشار سریع‌تری در مواد متخلخل هستند. همچنین ثابـت شـده اسـت کـه قابلیـت نفـوذ ازن در لاسـتیک‌هـای سیلیکونی[4] چهـار برابـر بیـشتر از اکـسیژن اسـت کـه در

پلیمرهای پلاستیکی مورد استفاده در بسته‌بندی نظیـر تغییـر در خـصوصیات بازدارنـدگی، مکـانیکی، فیزیکـی، ساختاری و یـا تجزیـه شـیمیایی پلیمرهـای آن گـردد. از مهم‌ترین تغییرات مکانیکی و بازدارنگی ناشی از این گاز، می‌توان به افزایش میزان شکنندگی، افزایش ماتی و تغییـر در میزان کشیدگی مولکول‌های پلیمر اشاره کرد. فیلم‌های پلاسـتیکی بـا کـشش سـطحی پـایین دارای خـواص چسبندگی ضعیفی هستند و تیمار ازن می‌تواند بـه میـزان قابل توجّهی سبب افزایش کـشش سـطحی ایـن دسـته از پلیمرها نظیر پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتـیلن ترفتـالات شـوند و خاصـیت چـسبندگی آن‌هـا را افـزایش دهنـد.

1- Low density polyethylene
2- High density polyethylene
3- Porosity
4- Silicone rubber

فیلم‌های پلی‌استایرن نیز در مقایسه با سایر فیلم‌ها دارای مقاومت و پایداری کمتری در مقابل تیمار با ازن می‌باشند که این پدیده به دلیل تغییر در ساختار حلقه‌های آروماتیک پلیمرهاست که در اثر حمله ازن به آن‌ها اتّفاق می‌افتد. از دیگر تغییرات ایجاد شده در پلیمرهای بسته‌بندی تیمار شده با ازن می‌توان به تغییر در نفوذپذیری و میزان اکسیداسیون آن‌ها اشاره کرد. به طوری که پژوهش‌ها نشان داده‌اند که اکسیداسیون در بخش آمورف پلیمرها اتفاق می‌افتد و ساختار و تحرک مولکولی پلیمرها، به نوعی تعیین‌کنندهٔ سرعت و شدّت اکسیداسیون می‌باشد. همچنین ازن می‌تواند سبب شکل‌گیری و حضور برخی فرآورده‌های اکسیداسیون نظیر استرهای پلاستیک، آلکان، آلکن‌ها، کتون‌ها و پراکسیدها شود که همگی قادر به تغییر در طعم مواد غذایی هستند. به طور کلی در استریلیزاسیون مواد غذایی بسته‌بندی شده با ازن، برای دستیابی به شرایط اطمینان بخش از لحاظ سلامتی فرآورده، شناخت غلظت و زمان تیمار با ازن و همچنین میزان مقاومت مواد مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی و پتانسیل‌های اکسیداسیون آن‌ها بایستی مورد بررسی قرار گیرد و با شناسایی این قبیل مواد بتوان بهترین ترکیب را جهت استفاده در صنعت بسته‌بندی همراه با ازن بکار برد و گام‌های بزرگ‌تری را در جهت ایمنی بیشتر مواد غذایی برداشت.

٦- منابع

1. Marsh, K., Bugusu, B., (2007). "Food packaging-roles, materials, and environmental issues", Journal of food science, 72, 3, R39-R55..
2. Gram, L., Ravn, L., Rasch, M., Bruhn, J. B., Christensen, A. B., Givskov, M., (2002). "Food spoilage-interactions between food spoilage bacteria", International journal of food microbiology, 78, 1, 79-97, (2002).
3. Khadre, M. A., Yousef, A. E., (2001). "Decontamination of a multilaminated aseptic food packaging material and stainless steel by ozone", Journal of food safety, 21,1, 1-13.
4. Ozen, B.F., Mauer, L.J., Floros, J.D., (2001). "Effects of emerging food processing techniques on the packagingmaterials", Trends in Food science & technology, 12, 2, 60–67.
5. Wim, J. G., Yousef, A. E., Khadre, M. A., (2003). "Ozone and its current and future application in the food industry", Advances in food and nutrition research, 45, 167-218.
6. Dunne, P., Farkas, C., Yuan, (2011). "Ozone fact sheet for Agri-food processors", Journal non thermal processing technologies for food, 813-816.
7. Rice, G., Graham, DandMatt, L., (2002). "Recent ozone applications in Food Processing and Sanitation", Journal od food safety magazine, 8,5, 10-17.
8. Pirani, S., (2010). "Application of ozone in food industries" Doctoral program in animal nutrition and food safety".Universita degli studidi milano.
9. Yousef, A. E., Vurma, M., Rodriguez-Romo, L. A., Zhang, H. Q., barbosa-cánovas, G. V., balasubramaniam, V. M., Yuan, J. T. C., (2011). "Basics of ozone sanitization and food applications", nonthermal processing technologies for food, 45, 289-313.
10. Mohtasham, H., Kamani, M. H., Safari, O., and Mazlom, S., (2012). "Investigate the optimum use of ozone in improving the quality of fishery products", Proceeding of the national conference on aquaculture. Bushehr.
11. Rice, R.G., Farquahr, J.W., Bollyky, L.J., (1982), "Review of the applications of ozone for increasing storage times of perishable foods in ozone, Journla of Sci. and Eng, 4,3, 147–163.
12. Peeling, J., Clark, D.T., (1983). "Surface ozonation and Photooxidation of polyethylene film". Journal of polym. Sci. Polym. Chem. Ed 21,7, 2047–2055.

آدرس نویسنده

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، سبزوار، ایران.

13. Berends, CL., (1996). "Stability of aseptically packaged food as a function of oxidation initiated by a polymer contact surface", PhD thesis, Virginia polytech. Inst., Blacksburg, VA.
14. Karpova, S.G., Popov, A.A., Zaikov, G.Y., Barabash, K. and Mesko, M., (1991). "Influence of external effects on the structure and molecular dynamics of oriented copolymers and blends on the basis of polypropylene and polyethylene in polym". Sci., USSR 33, 2435–2444,
15. Wikipedia, (2012). Chemically assisted degradation of polymers. free encyclopedia. [Online].Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Chemically_assisted_degradation of polymers . [Accessed Novembre 2012].
16. Ozen, B.F., Mauer, L.J., Floros, J.D., (2002). "Effects of ozone exposure on the structural, mechanical and barrier properties of selected plastic packaging films", Packaging technol Sci. 15,6, 301–311.
17. Gatenholm, T. A., Ashida, T., Nabeshima, Y., Hoffman, A. S., (1992). "Novel biomaterials prepared by ozone induced polymerization in polymeric materials science and Engineering", Proceedings of ACS division of polymeric materials science and engineering, pp. 445–446, American chemical society, washington, DC.
18. Peeling, J., Jazzar, M. S., & Clark, D. T., (1982). "An ESCA study of the surface ozonation of polystyrene film", Journal of polymer science: polymer chemistry edition, 20, 1797-1805.
19. Karaca, H., Smilanick, J., (2011). "The influence of plastic composition and ventilation area on ozone diffusion through somefood packaging materials", Journal of postharvest biology and tchnology, 62, 1, 85-88.
20. Clough, R., Gillen, K.T., (1989). "Polymer degradation under ionizing radiation: The role of ozone", Journal polymer science,27,7, 2313-2324.