مروری بر پلاستیک‌ها و کاربردشان در بسته‌بندی مواد غذایی به روش اتمسفر تغییر یافته

بهاره احمدی [۱]، بهجت تاج الدین [۲*]، حسین احمدی چناربن [۳]

تاریخ دریافت مقاله: خرداد ماه ۱۳۹٤

تاریخ پذیرش مقاله: آبان ماه ۱۳۹٤

چکیده

بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته، نوعی از فنّاوری است که با کمک کنترل دما، به‌منظور نگهداری و حفظ کیفیت مواد غذایی فاسدشدنی پایه‌گذاری شده است. تنوع زیاد مواد غذایی و عدم تطابق بین نیازهای آن‌ها با ویژگی‌های فیلم مورد استفاده در بسته‌بندی این محصولات، اغلب منجر به عدم دستیابی به اهداف این روش بسته‌بندی می‌شود. بنابراین نکته کلیدی برای بهره‌مندی از فواید ارزشمند این روش، پس از شناخت دقیق نیازهای ماده غذایی مورد نظر، انتخاب یک فیلم بسته‌بندی مناسب است. پلی‌اتیلن سبک، پلی‌اتیلن سبک خطی، پلی‌اتیلن سنگین، پلی‌پروپیلن، پلی‌وینیل کلراید، پلی‌استر، پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌آمید (نایلون)، برخی از متداول‌ترین فیلم‌های پلاستیکی مورد استفاده در بسته‌بندی به روش اتمسفر تغییر یافته هستند. ویژگی‌های فیلم بسته‌بندی که می‌تواند بر تغییر اتمسفر درون بسته اثرگذار باشد و باید به دقّت انتخاب شود شامل: نفوذپذیری فیلم بسته‌بندی نسبت به اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و بخار آب، ضخامت فیلم، مساحت سطح و فضای خالی داخل بسته است. برخی از این ویژگی‌ها با ترکیب کردن این فیلم‌ها با هم و یا با مواد دیگری نظیر کاغذ و آلومینیوم طی فرآیندهای کواکسترووژن، پوشش‌دار کردن، لامینه کردن و متالایز کردن قابل تغییر و اصلاح می‌باشد. همچنین فنّاوری‌های جدید نیز مانند متالوسن، منفذدار کردن و به‌کارگیری نانوکامپوزیت‌ها در روش بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته، امکان تولید فیلم‌هایی با ویژگی‌های مورد نیاز برای دامنه وسیعی از مواد غذایی را ایجاد کرده است. بنابراین توسعهٔ فرصت‌های جدید برای بهره‌مندی بیشتر از مزایای این روش و در نتیجه گسترش بیش از پیش آن، اهمیت شناخت هرچه بیشتر این فیلم‌ها و فنّاوری‌ها را برای انتخاب و به‌کارگیری صحیح ضروری ساخته است. در این مطالعه، ضمن معرفی انواع فیلم‌های پلاستیکی، بر مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد این پوشش‌ها در بسته‌بندی به روش اتمسفر تغییر یافته مروری صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی

اتمسفر تغییر یافته، بسته‌بندی، فیلم‌های پلاستیکی

۱- مقدمه

استفاده از پلاستیک‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی دارای مزایای متعدّدی است. آن‌ها ارزان، سبک و دارای دامنه گسترده‌ای از ویژگی‌های فیزیکی می‌باشند. همچنین،

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی(تکنولوژی مواد غذایی)، واحد ورامین – پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران (ba1360@yahoo.com).

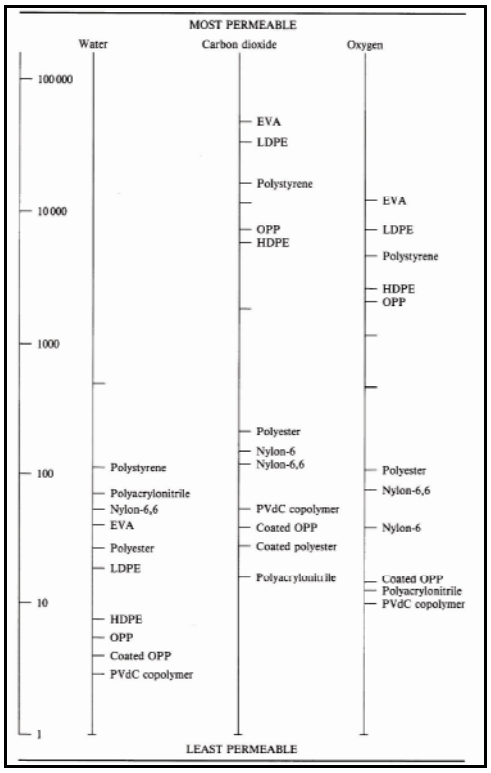
۲- عضو هیأت علمی، مهندسی بسته‌بندی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(* نویسنده مسئول: behjat.tajeddin@yahoo.com)

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ورامین – پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران (h.ahmadi292@yahoo.com).

بسیاری از آن‌ها قابلیت دوخت حرارتی[1] و چاپ پذیری[2] نیز دارند. پلاستیک‌هایی که قابلیت نرم و ذوب شدن را دارند می‌توان طی فرآیندهایی به صورت فیلم و یا به اشکال مختلف درآورد و با استفاده از فنون و روش‌های مختلف بسته‌بندی، به‌کار گرفت. بسته‌بندی به روش اتمسفر تغییر یافته[3](MAP) یکی از روش‌های مؤثر در بسته‌بندی مواد غذایی است که علی‌رغم مزایای بسیار زیاد، ممکن است معایبی نیز داشته باشد. در (جدول ۱)، به اختصار به برخی از مزایا و معایب این روش، اشاره شده است. در این روش، هوای درون بسته به صورت طبیعی یا مصنوعی با یک گاز یا ترکیبی از گازها جایگزین می‌شود، پس از آن و طی دورهٔ نگهداری، هیچ کنترل دیگری بر ترکیب اولیه گازی اعمال نمی‌شود ولی به احتمال زیاد با گذشت زمان، به علت انتشار گاز به داخل و خارج از محصول، نفوذ گاز به داخل بسته و خروج از آن و اثرات متقابل محصول و میکروارگانیسم‌ها، ترکیب گازی اولیه دچار تغییر خواهد شد. جدول(۲) به اختصار ترکیب‌های گازی مناسب برای گروه‌های مختلف مواد غذایی را نشان می‌دهد. هدف از طراحی یک سامانه اتمسفر تغییر یافته، دستیابی به یک وضعیت تعادل در داخل بسته‌بندی است که در آن یک محصول خاص، با اتمسفر و رطوبت نسبی مطلوب آن محصول احاطه شود. امروزه حدود ۹۰ درصد از مواد مورد استفاده در بسته‌بندی، به روش (MAP) فیلم‌های انعطاف‌پذیر پلاستیکی و مابقی را کاغذ، مقوا، آلومینیوم فویل، ظروف شیشه‌ای و فلزی تشکیل می‌دهند. این امر عمدتاً به دلیل تغییر در نیازهای مشتریان به منظور افزایش راحتی، کیفیت، سلامت و در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی رخ داده است. این مواد، دامنه وسیعی از نفوذپذیری نسبت به CO_2، O_2 و بخار آب را برای پاسخ به نیازهای مورد نظر در (MAP) فراهم می‌کنند که به اختصار در (شکل ۱) و (جداول ۳ و ٤) به آن‌ها اشاره شده است [٤، ٦، ۹،۲۱ ۳۵، ۳۷ و ۴۵].

1- Heat Sealing Reliability
2- Printability
3- Modified Atmosphere Packaging (MAP)



شکل ۱- یک راهنمای ساده از طیف گسترده ویژگی ممانعت‌کنندگی در فیلم‌های پلاستیکی [۱۸]

۲- پلاستیک‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها

پلاستیک‌ها از پلیمریزاسیون افزایشی[4] و یا پلیمریزاسیون تراکمی[5] واحدهای مونومر[6] ساخته می‌شوند. به طور کلی پلاستیک‌ها بر اساس رفتار حرارتی یا پاسخ ترمودینامیکی[7] به دو دسته اصلی، ترموست[8] (گرما سخت) و ترموپلاستیک[9] (گرما نرم) طبقه‌بندی می‌شوند. از ترموست‌ها می‌توان به اوره فرمالدهید[10]، فنل فرمالدهید[11] و اپوکسی‌ها[12] و از ترموپلاستیک‌ها[13] نیز می‌توان به پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌استیرن و پلی آمید اشاره کرد [۵، ۳۶ و ٤٤].

4- Addition Polymerization
5- Condensation Polymerization
6- Monomer
7- Thermodynamics
8- Thermoset
9- Thermoplastic
10- Urea Formaldehyde
11- Phenol Fromaldehyde
12- Epoxy
13- Thermoplastic

جدول ۱- مزایا و معایب استفاده از بسته‌بندی به روش اتمسفر تغییر یافته (MAP)، [٤، ۲۵ و۳۱]

مزایا
- افزایش زمان ماندگاری محصولات با حفظ خواص کیفی و پاسخگویی به تقاضای بازارهای دور دست
- کاهش میزان فساد و ضایعات در مواد غذایی و حفظ کیفیت از طریق کاهش تنفس
- حفظ تازگی محصول بدون استفاده از افزودنی‌ها و پرتودهی
- حفظ مقادیر کلروفیل
- کاهش واکنش‌های تخریبی از نوع اکسیداسیون
- ایجاد امکان برداشت محصول تازه در سطوح رسیدگی قابل قبول مصرف‌کننده
- کاهش نیاز به حمل ونقل‌های گران قیمت با افزایش طول عمر نگهداری و در نتیجه امکان حمل ونقل آن‌ها به وسیله قطار یا کشتی
- نیاز کمتر یا عدم نیاز به مواد شیمیایی نگهدارنده
- فراهم نمودن امکان تولید و بسته‌بندی محصول آماده مصرف و برش یافته
- صرفه‌جویی در انرژی به دلیل کاهش نیاز به فرآیندهای پرانرژی حرارتی و برودتی مانند خشک کردن و انجماد
معایب
- هزینه افزوده
- محدود بودن طول عمر نگهداری محصول بسته‌بندی شده در MAP در مقایسه با محصول منجمد
- ضرورت کنترل دما
- نیاز به تجهیزات و آموزش ویژه

جدول ۲- ترکیب‌های گازی پیشنهادی برای بسته‌بندی مواد غذایی مختلف به روش اتمسفر تغییر یافته [۱۸ و۳۲]

نام محصول	درصد اکسیژن	درصد دی اکسید کربن	درصد نیتروژن
گوشت قرمز	۸۵ - ٦۰	٤۰ - ۱۵	-
گوشت پخته شده	-	۳۵ - ۲۰	۸۰ - ٦۵
مرغ	-	۲۵	۷۵
ماهی (سفید)	۳۰	٤۰	۳۰
ماهی (چرب)	-	٦۰	٤۰
سالمون	۲۰	٦۰	۲۰
پنیر سفت	-	۱۰۰	-
پنیر نرم	-	۳۰	۷۰
نان	-	۷۰ - ٦۰	٤۰ - ۳۰
کیک‌های حاوی مواد لبنی	-	٦۰	٤۰
کیک‌های بدون مواد لبنی	-	-	۱۰۰
پاستا	-	-	۱۰۰
میوه و سبزی تازه	۵ - ۳	۵ - ۳	۹۵ - ۸۵
مواد غذایی خشک شده یا بو داده	-	-	۱۰۰

جدول ۳- فیلم‌های اصلی بسته‌بندی و ویژگی‌های آن‌ها [۲۹]

ویژگی‌ها	پلی اتیلن			پلی پروپیلن		پلی اتیلن ترفتالات (PET)		پلی وینیلیدن کلراید (PVDC)		اتیل وینیل الکل		پلی آمید	
	LDPE	LLDPE	HDPE	PP	BO PP	معمولی	اصلاح شده	معمولی	با ممانعت کنندگی زیاد	44 mol% اتیلن	32 mol% اتیلن	نایلون- ۶	نایلون- ۱۱
T_g(°C)	-۱۲۰	-۱۲۰	-۱۲۰	-۱۰	-۱۰	۷۳-۸۰	-۸۰ ۷۳	۲ +- ۱۵-	۲ +- ۱۵-	۶۹	۵۵	۶۰	-
T_m(°C)	-۱۱۵ ۱۰۵	۱۲۴-۱۲۲	-۱۳۸ ۱۲۸	-۱۷۵ ۱۶۰	-۱۷۵ ۱۶۰	۲۶۵- ۲۴۵	۲۶۵- ۲۴۵	۱۷۲- ۱۶۰	۱۷۲- ۱۶۰	۱۸۱	۱۶۴	۲۲۰- ۲۱۰	۱۹۰- ۱۸۰
T_h (°C)	۴۴-۴۰	-	۹۱-۶۲	۱۲۱- ۱۰۷	-	۵۷-۸۲	-	-	-	-	-	-	-
Density (g/cm^3)	۰/۹۴۰- ۰/۹۱۵	۰/۹۳۵- ۰/۹۱۵	۰/۹۱- ۰/۸۹	۰/۹۱- ۰/۸۹	۰/۹۱- ۰/۸۹	۱/۴۰- ۱/۲۹	۱/۴۰	۱/۷۱- ۱/۶۰	۱/۷۳	۱/۱۹	۱/۱۴	۱/۱۶- ۱/۱۳	۱/۰۵- ۱/۰۳
Tensile modulus (Gpa)	۰/۵- ۰/۲	-	۱/۱-۰/۶	۱/۵- ۱/۱	۲/۴- ۱/۷	۴/۱- ۲/۸	-	۰/۷- ۰/۳	۱/۱-۰/۹	۲/۶	۲/۱	۱/۷- ۰/۶۹	۱/۳
Fτ (Mpa)	۳۱ -۸	۴۵-۲۰	۴۵-۱۷	۴۳-۳۱	۲۴۰- ۱۲۰	۷۲-۴۸	۲۷۰- ۲۲۰	۱۰۰- ۴۸	۱۴۸-۸۳	۷۷	۵۹	۱۶۵- ۴۱	۶۵-۵۵
Elongation (%)	۹۶۵ - ۱۰۰	۸۵۰-۳۵۰	۱۲۰۰- ۱۰	۶۵۰- ۵۰۰	۱۵۰-۳۰	۴۵۰ -۱۴	۱۱۰- ۷۰	۱۰۰- ۴۰	۱۰۰-۵۰	۲۳۰	۳۸۰	۳۰۰	۴۰۰- ۳۰۰
WVTR	۵۰۰ - ۳۷۵	-	۱۲۵	۳۰۰- ۱۰۰	۱۲۵- ۱۰۰	۱۵۷۰۰- ۷۵۰	۵۱۰- ۳۹۰	۷۹	۲۰	۱۵۳۵	۷۲۴	۴۳۰۰- ۳۹۰۰	۲۰۰۰- ۱۰۰۰
P_{O2}	۸۷۵۰- ۶۶۶۶	۸۳۳۳- ۲۹۱۶	۳۰۴۱- ۱۶۶۶	۳۹۱۶- ۲۰۸۳	۲۴۱۶- ۱۵۴۱	۱۰۰۰۰- ۱۵۴	۱۰۰- ۵۰	۱۸-۱۳	۱/۳	۰/۳۲۵	۱/۲۵	۴۲/۵۰- ۲۰	۵۲۱
P_{CO2}	۵۴۶۸۷- ۴۱۶۶۲	۴۳۱۶۵- ۱۵۱۰۵	۹۹۷۹- ۱۸۲۱۵	۲۲۰۰۸- ۱۱۷۰۶	۱۳۱۱۹- ۸۳۶۸	۶۱۰۰۰- ۹۳۹	۵۱۰- ۲۵۵	۸۶-۶۲	۴/۹۵	۱۰/۱۰	۳۷/۵۰	۱۷۹- ۸۴	۲۰۸۴
P_{CO2} /P_{O2}	۶/۲۵	۵/۱۸	۵/۹۹	۵/۶۲	۵/۴۳	۶/۱۰	۵/۱۰	۴/۷۶	۳/۸۱	۳۱/۰	۳۰/۰	۴/۲۱	۴/۰
$Q_{10}^{Po_2}$	۱/۹۶	۱/۸۴	۱/۷۳	۱/۷۷	۱/۷۸	۱/۷۸	۱/۵۲	۲/۸۲	۲/۸۷	-	-	۱/۹۷	-
$Q_{10}^{Pco_2}$	۱/۷۱	۱/۶۵	۱/۶۰	۱/۶۲	۱/۵۸	۱/۵۴	۱/۵۰	۲/۲۳	۲/۲۶	-	-	۱/۸۸	-

T_g: دمای انتقال شیشه‌ای (°C)

T_m: دمای ذوب (°C)

T_h: دمای از هم گسیختگی در فشار ۴۵۵ کیلوپاسکال (°C)

Density: دانسیته (g/cm^3)

Tensile modulus: ضریب کششی (Gpa)

Fτ: استحکام کششی (Mpa)

Elongation: درصد کشش (%)

WVTR: میزان انتقال بخار آب در دمای ۳۷/۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد ($g\ \mu m/m^2\ day$)

Po_2: نفوذپذیری نسبت به اکسیژن در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ($cm^3\mu m/m^2\text{-}h\text{-}atm$)

Pco_2: نفوذپذیری نسبت به دی اکسید کربن در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ($cm^3\mu m/m^2\text{-}h\text{-}atm$)

$Q_{10}^{Po_2}$: نسبت نفوذپذیری فیلم به اکسیژن به ازای افزایش ۱۰ درجه سلسیوس

$Q_{10}^{Pco_2}$: نسبت نفوذپذیری فیلم به دی اکسید کربن به ازای افزایش ۱۰ درجه سلسیوس

جدول ٤ – خصوصیات، مسائل زیست محیطی و سایر ویژگی فیلم‌های پلاستیکی مورد استفاده در (MAP) [۲۹]

نوع فیلم	ویژگی‌های محصول سازگاری با مواد غذایی		مسائل مربوط به مصرف‌کننده و بازار		مسایل زیست محیطی		قیمت
	مزایا	معایب	مزایا	معایب	مزایا	معایب	
LDPE	۱- نرم، انعطاف‌پذیر و قوی ۲- ممانعت‌کننده خوب در برابر رطوبت ۳- مقاوم در برابر مواد شیمیایی ٤- دارای قابلیت دوخت حرارتی ۵- نسبتاً شفاف ٦- میزان نفوذپذیری بسیار بالا CO_2 نسبت به O_2 ۷- دارای قابلیت لامینه و کواکستروژن کردن ۸- پرکاربردترین فیلم مورد استفاده	-	سبک	نیمه شفاف	قابل بازیافت	فیلم نیمه سخت آن به‌راحتی قابل بازیافت می‌باشد ولی تشخیص و جداسازی آن بسیار مشکل است	ارزان
LLDPE	۱- نرم، انعطاف‌پذیر ومقاوم ۲- مقاومت بهتر به ضربه، پارگی، کشش، سوراخ شدن و مقاومت بهتر نسبت به شوک‌های محیطی در مقابل ایجاد ترک ۳- ممانعت خوب در برابر رطوبت ٤- مقاوم و بی‌اثر در مقابل روغن‌ها ۵- عملکرد خوب در دمای پایین	-	سبک	نیمه شفاف	قابل بازیافت	فیلم نیمه سخت آن به‌راحتی قابل بازیافت می‌باشد ولی تشخیص و جداسازی آن بسیار مشکل است	ارزان
HDPE	۱- نرم، انعطاف‌پذیر و مقاوم ۲- نقطه نرم شدن بالا ۳- مقاوم نسبت به مواد شیمیایی و ممانعت‌کننده خوب در برابر رطوبت ٤- نفوذپذیر نسبت به گازها ۵- فرآوری و شکل‌پذیری مناسب	شفافیت کم	سبک	نیمه شفاف	قابل بازیافت	فیلم نیمه سخت آن به‌راحتی قابل بازیافت می‌باشد ولی تشخیص و جداسازی آن بسیار مشکل است	ارزان
Polypropylene (BOPP)	۱- مقاوم‌تر، متراکم‌تر و شفاف‌تر از پلی‌اتیلن ۲- ممانعت‌کنندگی متوسط در برابر بخار آب و گازها ۳- ممانعت‌کنندگی خوب در برابر مواد شیمیایی ٤- ممانعت‌کنندگی عالی در برابر روغن‌ها ۵- قابلیت مناسب در فرآیند دوخت حرارتی	-	۱- سبک ۲- شفافیت، مقاومت و دوام بالاتر نسبت به LDPE	-	قابل بازیافت	فیلم نیمه سخت آن به‌راحتی قابل بازیافت می‌باشد ولی تشخیص و جداسازی آن بسیار مشکل است.	ارزان

ادامه جدول ٤:

نوع فیلم	ویژگی‌های محصول سازگاری با مواد غذایی		مسائل مربوط به مصرف‌کننده و بازار		مسایل زیست محیطی		قیمت
	مزایا	معایب	مزایا	معایب	مزایا	معایب	
Polyesters (PET/PEN)	۱- شفافیت و خواص مکانیکی عالی ۲- ممانعت‌کنندگی کافی در مقابل گازها، بخار آب و مواد معطر ۳- مقاومت خوب در برابر مواد شیمیایی، گرما، روغن‌های معدنی، حلال‌ها و اسیدها	-	۱- سبک ۲- شفافیت بالا مانند شیشه ۳- مقاوم در برابر شکستن	-	قابل بازیافت	فیلم نیمه سخت آن به‌راحتی قابل بازیافت می‌باشد ولی تشخیص و جداسازی آن بسیار مشکل است.	نسبتاً ارزان
Polyvinyl choloride (PVC)	۱- مقاوم و شفاف ۲- ممانعت‌کننده خوب در برابر گازها و ممانعت‌کننده متوسط در برابر بخار آب ۳- مقاومت عالی در برابر مواد شیمیایی، روغن‌ها، چربی‌های و غیره ٤- به طور گسترده در بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد.	-	شفافیت بالا	-	قابل بازیافت	۱- حاوی کلر ۲- لازم است از زباله‌های دیگر جدا شود.	نسبتاً ارزان
Polystyrene	۱- استحکام کششی بالا و شفافیت عالی ۲- مناسب برای محصولاتی که نیاز به فیلمی با قابلیت تنفسی دارند.	ممانعت-کنندگی ضعیف نسبت به رطوبت و بخار آب	شفافیت خوب	-	قابل بازیافت	لازم است از زباله‌های دیگر جدا شود.	نسبتاً ارزان
Polyamide (nylone - 6)	۱- استحکام مکانیکی خوب ۲- ممانعت‌کنندگی خوب در مقابل اکسیژن ۳- ممانعت‌کنندگی عالی در برابر مواد معطر ٤- مقاومت مناسب در برابر مواد شیمیایی ۵- ویژگی‌های حرارتی و مکانیکی مشابه PET ٦- کارایی عالی در دمای بالا	ممانعت-کنندگی ضعیف نسبت به رطوبت و بخار آب	-	-	قابل بازیافت	لازم است از زباله‌های دیگر جدا شود.	نسبتاً گران است ولی کاربرد لایه نازک از آن اقتصادی است
Ethylene – Vinyl alcohol (EVOH)	۱- ممانعت‌کنندگی عالی در برابر گازها و مواد معطر ۲- اغلب به عنوان مانع در برابر نفوذ اکسیژن به‌کار می‌رود.	مانع ضعیف در مقابل رطوبت	مناسب جهت حفظ کیفیت محصولات حساس به اکسیژن	-	قابل بازیافت	لازم است از زباله‌های دیگر جدا شود.	نسبتاً گران

ادامه جدول ٤ :

نوع فیلم	ویژگی‌های محصول سازگاری با مواد غذایی		مسائل مربوط به مصرف‌کننده و بازار		مسایل زیست محیطی		قیمت
	مزایا	معایب	مزایا	معایب	مزایا	معایب	
Ethylene – Vinyl Acetate (EVA)	۱- شفافیت عالی ۲- قابلیت دوخت حرارتی خوب ۳- خاصیت چسبندگی خوب ٤- اغلب به عنوان لایه عامل دوخت حرارتی و یا چسب فیلم‌های چند لایه کاربرد دارد	ممانعت-کنندگی ضعیف نسبت به گازها و رطوبت	شفافیت عالی	-	قابل بازیافت	لازم است از زباله‌های دیگر جدا شود.	نسبتاً ارزان
Polylactide (PLA)	۱- قابل هیدرولیز و زیست تخریب پذیر	-	مناسب برای MAP محصولات تازه	-	قابل بازیافت	لازم است از زباله‌های دیگر جدا شود.	نسبتاً گران
Laminates/ Coextrusions	۱- ویژگی‌های آن می‌تواند متناسب با نیازهای محصول طراحی گردد	-	منعطف در طراحی و ویژگی‌های کاربردی	-	قابل بازیافت	جداسازی لایه‌ها لازم است	نسبتاً گران ولی ارزشمند

۳- پرکاربردترین فیلم‌های پلاستیکی مورد استفاده در MAP

۳-۱- پلی‌اتیلن (PE)

ساده‌ترین پلاستیکی که از پلیمریزاسیون[1] اتیلن ساخته می‌شود، پلی‌اتیلن نامیده می‌شود. ضمن انجام واکنش پلیمریزاسیون، تعدادی شاخه جانبی نیز در طول زنجیره اصلی آن ایجاد می‌شود که تفاوت در تعداد و طول این زنجیره‌های جانبی باعث به وجود آمدن انواع پلی‌اتیلن می‌شود. به طور کلی، پلی‌اتیلن به دلیل ویژگی‌های نفوذپذیری نسبت به اکسیژن و دی‌اکسید کربن در بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌های تازه به روش (MAP) کاربرد فراوانی دارد [۵، ۱۳، ١٤و٤٤].

۳-۱-۱- پلی‌اتیلن سبک (LDPE)

پلی‌اتیلن سبک، متداول‌ترین و ارزان‌ترین فیلم بسته‌بندی است. از ویژگی‌های آن می‌توان به قابلیت ایجاد دوخت حرارتی، نرمی، شفافیت و مقاومت خوب در مقابل کشش و بخار آب اشاره کرد؛ ولی در عین حال، در برابر نفوذ اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، مواد معطر، روغن‌ها، گرد و غبار و خراشیدگی مقاومت کمی دارند. پلی‌اتیلن سبک عمدتاً به شکل فیلم، انواع کیسه‌های پلاستیکی و درپوش‌های بسته‌بندی در بسته‌بندی طیف گسترده‌ای از محصولات غذایی استفاده می‌شود[۵، ۲۲ و ۳٦]. در روش (MAP)، به تنهایی برای بسته‌بندی میوه‌ها و سبزیجات تازه و یا در ترکیب با فیلم‌های دیگر برای بسته‌بندی انواع گوشت، پنیر و غیره کاربرد دارد [۳٦].

۳-۱-۲- پلی‌اتیلن سبک خطی (LLDPE)

این پلیمر از فیلم‌های رایج در صنعت بسته‌بندی است. پلی‌اتیلن‌های سبک خطی نرم، انعطاف‌پذیر و دارای ظاهر غیرشفاف هستند و قابلیت دوخت حرارتی خوبی دارند.

1- Polymerization

در دانسیته و ضخامت یکسان، پلی‌اتیلن سبک خطی نسبت به ضربه، کشش و سوراخ شدن مقاوم‌تر از پلی‌اتیلن سبک است. همانند پلی‌اتیلن سبک، مانع خوبی در مقابل بخار آب بوده و در برابر نفوذ اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و مواد معطر مقاومت کمی دارد. در مواردی از بسته‌بندی مواد غذایی که شفافیت و مقرون به صرفه بودن مورد نظر است، مانند کیسه‌های نان، کیسه‌های حمل‌ونقل و محصولات کیسه‌ای[1] از پلی‌اتیلن سبک خطی و پلی‌اتیلن سبک استفاده می‌شود[۱۲، ۳۵ و ۳۶]. بسته‌بندی میگو در دمای پایین و گوجه فرنگی با کمک پیش تیمار آب گرم به روش (MAP) در پلی‌اتیلن‌های خطی با دانسیته پایین با موفقیت همراه بوده است[۱٤ و۱۵].

۳-۱-۳- پلی‌اتیلن سنگین(HDPE)

با افزایش وزن مولکولی در پلی‌اتیلن سنگین نسبت به پلی‌اتیلن سبک، مقاومت آن در مقابل سرما، حرارت، کشش، اصطکاک و همچنین کریستالیزاسیون[2] و شکل‌پذیری افزایش می‌یابد ولی شفافیت و نفوذپذیری آن نسبت به بخار آب و اکسیژن کم می‌شود. مهم‌ترین کاربردهای آن در تولید فیلم‌های بسته‌بندی، کیسه‌های پلاستیکی، روکش‌ها و بطری‌های بسته‌بندی مواد غذایی مایع از جمله شیر، آب میوه و غیره می‌باشد. همچنین، به علت ویژگی‌های نفوذپذیری مناسب، در (MAP) کاربرد فراوانی دارد. از آنجایی که از سایر فیلم‌ها ضخیم‌تر است، در صورت استفاده برای بسته‌بندی(MAP) محصولات تازه، بایستی سوراخ‌هایی در آن ایجاد شود [۵، ۱٤، ۳۵ و۳٦].

۳-۲- پلی‌پروپیلن(PP)

یک پلیمر خطی از پروپیلن می‌باشد. در مقایسه با پلی‌اتیلن، نسبت به ضربه و کشش، مقاوم‌تر است و همچنین شفاف‌تر و سخت‌تر از آن می‌باشد، مقاومت آن در برابر سرما بهتر بوده و نقطه ذوب بالاتری هم دارد. نفوذپذیری آن نسبت به بخار آب و اکسیژن شبیه پلی‌اتیلن سنگین است. ظروف بسته‌بندی کره، مارگارین و ماست اغلب از پلی‌پروپیلن ساخته می‌شوند. در بسیاری موارد، فیلم جهت‌یافته[3](OPP) آن با وجود اینکه قابلیت ایجاد دوخت حرارتی ندارد، ولی به علت بهبود ویژگی‌های آن از جمله: شفافیت، استحکام کششی، سختی، نفوذناپذیری در مقابل روغن‌ها و رطوبت ترجیح داده می‌شود. فیلم جهت یافته دو محوره[4](BOPP) آن، جزء اصلی بسته‌بندی تنقّلات و شیرینی‌جات محسوب می‌شود. این فیلم در بسته‌بندی به روش (MAP) نیز کاربرد زیادی دارد. به تنهایی در بسته‌بندی میوه‌ها و سبزیجات تازه و یا در ترکیب با سایر پلیمرها، برای بسته‌بندی گوشت، پنیر و غیره می‌تواند استفاده شود [۵، ۱٤، ۲۲ و۳۵].

۳-۳- پلی‌استیرن[5] (PS)

پلی‌استیرن از پلیمریزاسیون افزایشی استایرن تولید می‌شود. این فیلم‌ها شفافیت و مقاومت کششی بسیار خوبی دارند ولی ممانعت‌کنندگی آن‌ها نسبت به گازها و بخار آب ضعیف است. پلی‌استیرن در بسته‌بندی محصولات لبنی، تولید درب ظروف و کارتن‌های تخم‌مرغ کاربرد دارد. همچنین به‌طور گسترده در تولید سینی‌های شفافی که با حرارت شکل می‌گیرند، به‌کار می‌رود[۵، ۳۵ و ۳٦]. در بسته‌بندی به روش(MAP) در مواردی که به فیلمی با قابلیت تنفسی نیاز باشد، مانند محصولاتی که میزان تنفس بالایی دارند، از پلی‌استایرن استفاده می‌شود[۵].

1- Bagged
2- Crystallization
3- Oriented Polypropylene (OPP)
4- Biaxially Oriented Polypropylene (BOPP)
5- Polystyrene

۳-٤- پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)

پلی‌اتیلن‌ترفتالات در مقابل کشش و ضربه بسیار محکم بوده و مقاومت حرارتی خوبی دارد، به‌نحوی که حرارت ۵۰- تا ۱۵۰+ درجه سلسیوس را تحمل می‌کند. ظاهر آن شبیه شیشه و نفوذپذیری آن نسبت به گازها، رطوبت و مواد ایجادکننده عطر و طعم، بسیار کم است. ویژگی ممانعت‌کنندگی آن را می‌توان با امتزاج این پلیمر با (PVDC) افزایش داد. دوخت پلی‌اتیلن‌ترفتالات به وسیله المنت[1] حرارتی به آسانی انجام نمی‌شود، لذا برای ایجاد قابلیت دوخت حرارتی در آن می‌توان از روش چند لایه کردن یا امتزاج آن با پلیمرهای دیگر مثل (LDPE) کمک گرفت. استفاده از آن در بسته‌بندی مواد غذایی، بسیار متداول و رو به افزایش است[۵، ١٤، ۳۵ و ۳٦]. بیشترین کاربرد آن در بسته‌بندی نوشابه‌های گازدار می‌باشد. علاوه بر این، در بسته‌بندی روغن‌های مایع، نوشیدنی‌های الکلی و غیره نیز استفاده می‌شود. امروزه پلی‌اتیلن‌ترفتالات در بسیاری موارد جایگزین PVC شده است [۵].

۳-۵- فیلم‌های پلی‌کربنات[2] (PC)

فیلم‌های پلی‌کربنات، بسیار شفاف و برّاق بوده و قابلیت دوخت بسیار خوبی دارند، مقاومت حرارتی آن‌ها زیاد و دارای چقرمگی[3] هستند. بیشترین مقاومت به ضربه را در بین پلاستیک‌های بسته‌بندی داشته و اثرات منفی روی طعم و مزه مواد غذایی نمی‌گذارند؛ اما بسیار گران قیمت می‌باشند. بنابراین اغلب در بسته‌بندی‌های دارویی و مواد غذایی که با حرارت بالا مواجه می‌شوند، به‌کار می‌روند. یکی از کاربردهای اصلی آن‌ها در بسته‌بندی، جایگزینی با شیشه است [۵، ١٤ و ۳٦].

1- Element
2- Polycarbonate Films
3-Toughness

۳-٦- پلی‌وینیل کلراید[4] (PVC)

به طور کلی، فیلم‌های پلی‌وینیل‌کلراید در دو شکل نرم شده (انعطاف‌پذیر و شفاف) و نرم نشده (سخت و غیرقابل‌انعطاف) در صنعت بسته‌بندی استفاده می‌شوند. بیشتر فیلم‌های آن کاملاً صاف، شفاف، محکم در برابر ضربه، مقاوم در برابر خراشیدگی و دارای پایداری ابعادی مطلوب می‌باشند. نفوذپذیری (PVC) نسبت به روغن‌ها و اکسیژن بسیار کم، ولی نسبت به بخار آب، بسیار زیاد است. به همین دلیل، محصولات غذایی تازه بسته‌بندی شده در(PVC)، مثل سبزی‌های تازه را کوتاه مدّت می‌توان نگهداری کرد. (PVC) خاصیت چروک شدگی حرارتی و قابلیت ایجاد دوخت حرارتی نیز دارد. از سوی دیگر مقاوم، محکم و خود چسبنده بودن[5]، آن را به ماده‌ای مناسب برای لفاف‌پیچی[6] محصولات تازه و گوشت‌ها تبدیل کرده است [۱۳، ١٤، ۱۵ و ۳۵].

۳-۷- پلی‌وینیلیدین کلراید[7] (PVDC)

پلی‌وینیلیدین‌کلراید نسبت به گازها، بخار آب، مواد معطر و چربی نفوذ ناپذیر است. در مقابل حلال‌های معدنی مقاوم و دوخت آن به وسیله المنت حرارتی به راحتی امکان‌پذیر است. این پلیمر گران قیمت بوده و اغلب با نام تجاری ساران[8] شناخته می‌شود[۵، ۱۳، ١٤ و ۳٦]. از مهم‌ترین کاربردهای آن بسته‌بندی مرغ، گوشت تازه و منجمد، چای، قهوه، اسنک‌ها، گوشت و پنیرهای رسیده است. در بسته‌بندی مواد غذایی با اتمسفر تغییر یافته نیز در قالب فیلم‌های چند لایه کاربرد دارد[١٤و ۲۲].

4- Polyvinyl Chloride
5- Self-Cling
6- Shrink Wrap
7- Polyvinylidene Chloride
8- Saran

۳-۸-پلی‌آمید (PA)

پلی‌آمیدها با یک عدد که معرّف تعداد اتم کربن در ساختار زنجیره‌ای منومرها است، مشخص می‌شوند. پلی‌آمید سبک (PA=٦)، پراستفاده‌ترین فیلم در صنعت بسته‌بندی است. نفوذپذیری آن نسبت به اکسیژن، مواد معطر و روغن بسیار کم؛ اما نسبت به بخار آب بسیار نفوذپذیر می‌باشد. همچنین، ویژگی‌های حرارتی(مقاومت حرارتی بالا) و مکانیکی(استحکام بالا) مشابه[1] (PET) دارد. جزء پلیمرهای گران قیمت محسوب می‌شود و اغلب به منظور بهبود ویژگی‌ها و مقرون به صرفه بودن، در کنار فیلم‌های دیگر به صورت چند لایه مورد استفاده قرار می‌گیرد[۵، ۳۵ و ۳٦]. ویژگی‌های خاص آن باعث شده است تا کاربرد گسترده‌ای در بسته‌بندی تحت خلأ گوشت، پنیر و قهوه داشته باشد [۵].

۳-۹- اتیلن وینیل الکل[2] (EVOH)

اتیلن وینیل الکل، کوپلیمر[3] اتیلن و وینیل الکل است. نفوذپذیری آن نسبت به گازها، مواد ایجادکننده عطر و طعم بسیار کم است. در بین پلیمرهای بسته‌بندی، بالاترین نفوذناپذیری مؤثر را در برابر اکسیژن دارد. بنابراین، اغلب به عنوان مانع اکسیژن استفاده می‌شود. وجود باندهای هیدروژنی در مولکول آن، آن‌را به ماده‌ای حساس به رطوبت تبدیل کرده است. از این‌رو، وجود رطوبت زیاد، ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی آن را کاهش می‌دهد[۵، ١٤، ۳۵ و ۳٦]. ویژگی‌های خاص آن باعث شده است تا در بسته‌بندی به روش (MAP) اغلب در کنار فیلم‌های دیگر استفاده شود. بسته‌بندی نان پیتا[4] به روش (MAP)، بیاتی نان را به تأخیر انداخته و ماندگاری آن‌را تا ١٤ روز افزایش می‌دهد [۱۵].

۳-۱۰- پلی‌وینیل‌الکل (PVOH)

پلی‌وینیل‌الکل، از هیدرولیز[5] پلی وینیل استات تولید می‌شود. ممانعت‌کننده بسیار خوبی برای چربی و اکسیژن است ولی نسبت به رطوبت بسیار حساس می‌باشد. بنابراین، اغلب در فرآیند بسته‌بندی، در قالب فیلم‌های چند لایه و کواکستروژن شده، در مواردی که تماس مستقیم با مایعات نداشته باشد، کاربرد دارد [۳٦ و ۳۸].

۳-۱۱- پلی‌کلروتری‌فلورواتیلن[6] (PCTFE)

پلی‌کلروتری‌فلورواتیلن در بین فیلم‌های انعطاف‌پذیر، بهترین ممانعت‌کننده رطوبت است. در برابر سایر گازها نیز از نفوذ ناپذیری مطلوبی برخوردار بوده و مقاومت حرارتی بالا و قابلیت شکل‌پذیری با حرارت را دارد. فیلم گران قیمتی است و اغلب در ساختار فیلم‌های لامینه شده به عنوان لایه ممانعت‌کننده رطوبت به‌کار می‌رود. کاربرد آن در بسته‌بندی موادی است که نسبت به رطوبت بسیار حساس هستند[۵، ١٤ و ۲۸].

۳-۱۲- اتیلن وینیل استات (EVA)

این فیلم شفافیت عالی، قابلیت دوخت حرارتی خیلی خوب، چسبندگی و چقرمگی عالی در دماهای پایین را دارد. به عنوان کیسه در جعبه، فیلم لفاف‌پیچی و کیسه یخ کاربرد دارد ولی عمدتاً به عنوان لایه ایجادکننده قابلیت دوخت حرارتی استفاده می‌شود[۵، ١٤ و ٤١].

٤- فیلم‌های چندلایه

در بسیاری از موارد، ترکیبی از مواد اولیه بسته‌بندی متنوع، بهترین ویژگی‌ها را برای یک بسته‌بندی با حداقل قیمت فراهم می‌کند. بنابراین، فیلم‌های پلاستیکی نیز اغلب طی فرآیندهایی مثل پوشش دادن، لامینه کردن، کواکستروژن[7] و فلزی(متالایز) کردن، با هم و یا با سایر

1- Polyethylene Terephthalate
2- Ethylene-Vinyl Alcohol
3- Copolymer
4- Pita Bread

5- Hydrolysis
6- Polychloro Trifluoroethene
7- Coextrosion

مواد مثل کاغـذ و آلومینیـوم ترکیـب مـی‌شـوند (جـدول ۵). استفاده از این فیلم‌ها در بسته‌بندی مواد غـذایی از جملـه در بسته‌بندی محصولات غذایی در روش‌های خـلأ، اسـپتیک[1] و (MAP) توسعه زیادی پیدا کرده است [۳۵ و ۳٦].

۵- فنّـاوری‌هـای جدیـد در تولیـد فـیلم‌هـای پلاستیکی

۵-۱- فنّاوری متالوسن[2]

این فنّاوری منحصراً توسط کارخانه‌های شیمیایی توسـعه پیدا کرده است. آن‌ها کاتالیست‌های[3] متالوسن یا یک طرفه[4] را برای تولید رزین‌های پلیمری مطلوب به‌کار برده‌اند. وقتی این کاتالیست‌ها در ساختار پلی‌اتیلن و یا پلیمـرهـای دیگر به‌کار روند با کنترل شکل فضایی مولکـول و توزیـع وزن مولکولی آن، پلی‌اتیلن یا پلیمـری بـا پراکنـدگی وزن مولکولی خاص و دانسیته پایین فراهم می‌کنند که در نتیجه آن فیلم‌های پلاستیکی با میزان انتقال اکسیژن بالاتر، میـزان انتقال رطوبت کمتر، شفافیت بیشتر، استحکام بالا و قابلیت دوخت حرارتی در دمای پایین‌تر تولید می‌شود [٤٦].

جدول ۵- روش‌های تولید فیلم‌های چند لایه و ویژگی‌های آن‌ها

ردیف	نام روش	روش تولید فیلم	ویژگی‌ها	منبع
۱	**پوشش‌دار کردن**	در ایـن فرآینـد یـک لایـه نـازک از پلاستیک روی سطح یک فـیلم دیگـر (فـیلم حامـل)، پلاسـتیکی یـا غیرپلاستیکی مانند کاغذ، مقوا، سلوفان یا فویل آلومینیوم قرار می‌گیرد.	متداول‌ترین دلایل پوشش‌دار کردن در بسته‌بندی‌هـای انعطـاف‌پـذیر، ایجـاد خاصیت دوخت حرارتی، حفظ بهتـر رطوبـت بـه خـصوص بـرای کاغـذ و سلوفان، بهبود ویژگی‌های ممانعـت‌کننـدگی در مقابـل نفـوذ گازهـا، ایجـاد قابلیت چاپ، استحکام، پایداری حرارتی و ممانعت از تمـاس مـستقیم لایـه حامل با محصول می‌باشد.	[۱۷، ۳۵ و ٤۳]
۲	**لامینه کردن**	لامینه کردن فرآیندی است که طـی آن فویل آلومینیومی با یک لایه کاغـذ یـا فیلم پلاستیکی دیگر ترکیب می‌شود.	هدف از انجام این فرآیند، بهبود ویژگی‌های ممانعت‌کننـدگی در کاغـذ و یـا فیلم پلاستیکی می‌باشد. استفاده از لایه کاغذ در بسته‌بندی‌های انعطـاف‌پـذیر اغلب به دلیل بهره‌مندی از ویژگی عالی چاپ‌پذیری و اسـتحکام بخـشی آن است. اگر در فرآیند لامینه کردن یکی از لایه‌های به‌کار رفته پلاستیک باشـد، این پلاستیک اغلب پلی‌اتیلن سبک خواهد بود. لامینه کردن آلومینیـوم نـسبتاً گران است، این نوع بسته‌بندی تنها برای محصولات غذایی با ارزش و گـران قیمت کاربرد دارد.	[۱٤، ۳۵ و ۳٦]
۳	**فلزی کردن**	فلزی کردن، به‌کارگیری لایه نـازکی از فلز روی پلاستیک است. در بسته‌بندی تجاری، فلزی که اغلب بـرای پوشـش دادن استفاده می‌شود، آلومینیوم است.	ویژگی‌های ممانعت کنندگی فیلم‌های فلزی شده در برابـر گازهـا، رطوبـت، بخار آب و مواد معطر به شکل چشم‌گیری افزایش می‌یابد. فـیلم‌هـای متـالیز شده نسبت به فیلم‌های لامینه شده، انعطاف‌پذیرترند و علاوه بر ویژگی‌هـای ممانعت‌کنندگی در برابر گازها، مانع کاملی در برابر نور نیز می‌باشند.	[۲۸، ۳۵ و ۳٦]
٤	**کواکستروژن**	طـی فرآینـد تولیـد فـیلم اکـستروژن، حداقل دو نوع فیلم پلاستیکی مختلف در حالت مذاب با هم آمیخته می‌شوند. این فرآینـد بـه مـوادی نیـاز دارد کـه ویژگی‌های حرارتی آن‌ها امکان انجـام فرآیند اکستروژن را بدهد.	مواد ترکیـب شـده حاصـل از ایـن فرآینـد، ویژگـی‌هـای تمـام مـواد اولیـه تشکیل‌دهنده آن‌ها را در کنار هم دارد. ایـن فرآینـد میـزان مـصرف مـواد در بسته‌بندی را نیز کاهش می‌دهد و این امر به خصوص برای مواد اولیـه گـران قیمت که اغلب آن‌هایی هستند که ویژگـی‌هـای ممانعـت‌کننـدگی را بهبـود می‌بخشند، بسیار حائز اهمیت است. مزیت اصـلی کواکـستروژن نـسبت بـه لامینه کردن، توانایی ایجاد یک لایه بسیار نازک از فیلم می‌باشد.	[۱۳، ۳۵ و ۳٦]

1- Coextrosion
2- Metallocene Technology
3- Catalytic
4- Singel- Site

۵-۲- فیلم‌های منفذدار[1]

میزان عبور گاز از فیلم‌های سوراخ‌دار، برابر مجموع میزان عبور از سوراخ‌ها به‌علاوه میزان نفوذ از فیلم پلیمری است. میزان عبور گازها از سوراخ‌ها بسیار بیشتر از نفوذ گاز از فیلم است. فیلم‌های سوراخ‌دار، برای بسته‌بندی محصولاتی که به اکسیژن بالا نیاز دارند، مناسب هستند. به دلیل وجود منافذ در این پوشش‌ها، غلظت کافی اکسیژن برای ممانعت از شرایط بی‌هوازی در درون بسته باقی‌خواهد ماند. استفاده از این پوشش‌ها، کیفیت نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها را بهبود می‌دهد [۲۶ و ۴۷].

۵-۳- فیلم‌های ریز منفذدار[2]

روش مناسب برای فراهم آوردن میزان مناسب انتقال اکسیژن به خصوص در شرایطی که سطح بسته‌بندی برای انتقال گاز محدود است، استفاده از سوراخ یا منفذ است. فنّاوری ریز منفذدار کردن[3] تحت مالکیت شرکت‌های خصوصی می‌باشند. فنّاوری‌های اختصاصی منفذدار کردن متعلّق به شرکت‌های آمریکایی و انگلیسی است. میزان نفوذپذیری در این فیلم‌ها طوری طراحی می‌شود که با میزان تنفس محصول بسته‌بندی شده متناسب باشد. در حقیقت، این شرکت مجموعه‌ای از فیلم‌های پایه را در اختیار قرار می‌دهد که نفوذپذیری آن‌ها دقیقاً متناسب با نیازهای محصول می‌باشد. از آنجایی که فیلم‌های منفذدار، امکان تبادل گازی سریع‌تر، نسبت به فیلم‌های پلاستیکی معمولی ایجاد می‌کنند، ویژگی مورد نیاز برای بسته‌بندی محصولاتی با میزان تنفس بالا مثل فلفل دلمه‌ای، قارچ و محصولات حساس به تغییرات اندک در میزان اکسیژن، دی‌اکسید کربن و اتیلن را نیز به روش اتمسفر تغییر یافته دارند. منفذدار کردن، نتایج بسیاری خوبی در بسته‌بندی ایجاد می‌کند. از جمله میزان آب از دست رفته را کاهش می‌دهد. همچنین، مانع اثرات زیان‌آور احتمالی حاصل از ایجاد شرایط بی‌هوازی مانند بدطعمی، تخمیر و یا آسیب‌های ناشی از CO_2 می‌گردد. فنّاوری منفذدار کردن در به تأخیر انداختن پیری، در بسیاری از محصولات نیز مؤثر بوده است[۱۷، ۱۹، ۲۷، ۲۸ و ۴۷].

۵-۴- فیلم‌های ریزمتخلخل[4]

فیلم‌های ریزمتخلخل برای عبور مولکول‌هایی با وزن مولکولی کم مثل اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، بخار آب، نیتروژن و به منظور تنظیم غلظت گاز درون بسته، مهندسی شده است. این فیلم‌ها، شامل پلاستیک‌هایی هستند که افزودنی‌های خاصی به آن‌ها اضافه شده و در نتیجه نفوذپذیری آن‌ها نیز دچار تغییر شده است. دو فنّاوری مطلوب فیلم ریزمتخلخل متعلّق به شرکت های بلژیکی و آمریکایی می باشند. در این فنّاوری، پلیمر با یک ماده معدنی غیرآلی بی‌اثر، مانند کربنات کلسیم خرد شده، دی‌اکسید سیلیکون[5] و یا تالک مخلوط می‌شود. مواد معدنی پرشده به‌صورت ذرّات مجزا، توسط پلیمر محصور می‌شود و ویژگی‌های متعدّدی از جمله استحکام به آن می‌بخشد[۱۳، ۱۷ و ۳۶].

۵-۵- پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر[6]

پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر که از محصولات کشاورزی، منابع حیوانی، ضایعات حاصل از فرآیند غذاهای دریایی و منابع میکروبی تولید می‌شوند، به دلیل قابلیت بازیافت و تجزیه‌پذیری، طی سال‌های اخیر در تولید مواد بسته‌بندی مورد توجّه قرار گرفته است. اغلب، این پلیمرها از سلولز و نشاسته تشکیل شده‌اند. به عنوان مثال، سلوفان[7] متداول‌ترین پلیمر بر پایه سلولز است. پلیمرهای بر پایه نشاسته شامل آمیلوز[8]، نشاسته هیدروکسی پروپیلات[9] و دکسترین[10] هستند که در صورت تماس با آب متورم شده و تغییر شکل می‌دهند. پلی‌لاکتید

1- Perforated Films
2- Microperforated Films
3- Plus-P

4- Microporous Films
5- Silicone
6- Biodegradable Plastics
7- Cellophane
8- Amylose
9- Hydroxyl Propylated Starch
10- Dextrin

اسید[1] (PLA)، پلی‌هیدروکسی‌آلکانوآت[2] (PHA)، پلی‌هیدروکسی‌بوتیرات[3] (PHB)، از دیگر پلیمرهای با پایه نشاسته هستند که از اسید لاکتیک[4] حاصل از تخمیر میکروبی نشاسته حاصل می‌شوند. علاوه بر این، فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر با خواص منحصر به فرد، زیست سازگار و ضد میکروبی، نیز از کیتوزان سخت‌پوستان و اسکلت خارجی حشرات تولید می‌شوند. لایه نازکی از مواد خوراکی که به عنوان پوشش ماده غذایی به‌کار می‌روند و در سطح یا بین محتویات غذا قرا می‌گیرند، شکل‌های دیگری از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر هستند که فیلم‌های خوراکی[5] نامیده می‌شوند. این فیلم‌ها با اهداف مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند که شامل جلوگیری از مهاجرت رطوبت، گازها و مواد معطر، بهبود ویژگی‌های مکانیکی، حمل‌ونقل و همچنین کمک به دستیابی شرایط مورد نیاز برای بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته می‌باشند. برخی از این پلاستیک‌های زیستی، گران‌تر از پلیمرهای نفتی هستند. در نتیجه، باعث افزایش هزینه بسته‌بندی می‌شوند. امروزه تجاری‌سازی پلاستیک‌های زیستی در حال انجام است [۱، ۷ و ۳۶].

۵- ٦- نانوچندسازه‌ها[6]

ظهور نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، راه‌حل‌هایی کاربردی در ارتباط با افزایش طول عمر ماندگاری مواد غذایی پیش روی بشر قرار داده است. نانوچندسازه، به دسته خاصی از چندسازه گفته می‌شود که حداقل یکی از اجزاء آن در مقیاس نانو باشد. نانو ذرّات باعث افزایش خواص بازدارندگی، بهبود خواص مکانیکی و مقاومت در برابر گرما، توسعه فعالیت ضدمیکروبی و غیره می‌شوند. نانو چندسازه‌ها را می‌توان با پلیمرهای گرما سخت و یا گرمانرم تولید کرد. استفاده از نانو ذرّات در پلاستیک‌ها می‌تواند سبب بهبود خاصیت ممانعت‌کنندگی آن‌ها شود. با استفاده از پلی‌اتیلن دارای ۰/۱ تا ۰/۸ درصد وزنی نانوذرّات نقره می‌توان زمان ماندگاری سبزیجات با رنگ سبز تیره را که به سرعت فاسد می‌شوند، یک هفته تا یک ماه بیشتر از بسته‌های زیپ‌دار معمولی افزایش داد. به‌کارگیری نانو پلیمرها در بسته‌بندی مواد غذایی به روش (MAP)، یک راهکار جدید برای گسترش این روش بسته‌بندی محسوب می‌شود که البته برای فراگیر شدن، نیاز به تحقیقات گسترده‌ای دارد [۸ و ۱۰].

٦- کاربرد پلاستیک‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی به روش اتمسفر تغییر یافته(MAP)

همان‌طور که اشاره شد انواع مختلف پلاستیک‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی به روش اتمسفر تغییر یافته (MAP) کاربرد دارند. در مورد کارایی آن‌ها برای بسته‌بندی محصولات مختلف، تحقیقات متعدّدی در خارج و داخل کشور انجام شده است. در (جدول ٦) به تعدادی از مطالعات مذکور و نتایج آن‌ها اشاره شده است.

1- Polylactide (PLA)
2- Polyhydroxyalkanoate (PHA)
3- Polyhydroxybuterate (PHB)
4- Lactic Acid
5- Edible Film
6- Nanocomposites

جدول ٦- نتایج حاصل از نوع فیلم بسته‌بندی، ترکیب گازی اعمال شده و دمای نگهداری بر زمان ماندگاری برخی محصولات در بسته‌بندی به روش(MAP)

نوع محصول	فیلم بسته‌بندی	ترکیب گازی $\%O_2$ $\%CO_2$ $\%N_2$	دمای نگهداری C°	اثر تیمار بر ماندگاری محصول	منبع
زعفران	PA/ PE	۱- O_2 +٪٦٥N_2 +٪۵ ٪۳۰CO_2 ۲- O_2 +٪٤۵N_2 +٪۵ ٪۵۰CO_2 ۳- O_2 +٪۲۵N_2 +٪۵ ٪۷۰CO_2	۰	نتایج نشان داد بسته‌بندی زعفران در فیلم پلی اتیلن – پلی آمید و تمام تیمارهای گازی اعمال شده باعث حفظ خواص کیفی آن به مدّت ۱۵ روز شد. در حالی که خواص کیفی نمونه بدون بسته‌بندی بعد از ۹ روز به شدّت کاهش یافته است. ترکیب گازی شماره ۲ بهترین نتیجه را در حفظ کیفیت محصول داشته است.	[۲]
پسته	Opp, Metalized Opp, PP+PE (۵ لایه)	۱- ٪۱۰۰N_2 ۲- ٪۱۰۰O_2 ۳- خلا	۲۰ ٤۰	نتایج نشان داد بهترین تیمار بسته‌بندی طی ۱۲ ماه نگهداری، بسته‌بندی پسته در فیلم متالایز شده به علت ویژگی ممانعت-کنندگی عالی این فیلم در عبور اکسیژن و در نتیجه جلوگیری از اکسید شدن چربی‌ها در محصول است. در حالی که نمونه‌هایی که در مجاورت هوا قرار داشتند به سرعت کیفیت خود را از دست دادند. همچنین ترکیب‌های گازی اعمال شده و دمای ^oC ۲۰ نیز در حفظ کیفیت محصول کاملاً مؤثر بود. به طور کلی مغزها به دلیل محتوی روغن و اسید چرب غیراشباع بالا، سریعاً در معرض اکسایش قرار می‌گیرند. بنابراین برای بسته‌بندی مغزها استفاده از فیلم متالایز شده به علت ویژگی ممانعت‌کنندگی عالی آن در عبور اکسیژن و استفاده از گاز نیتروژن به دلیل کاهش انتقال اکسیداتیو ترکیبات فنلی، مناسب می‌باشد.	[۳۳ و ۳۹]
گوشت گاو	سینی: PET EVOH/ LDPE/ روکش: / OPP / LDPE LDPE EVOH /	۱- ٪۷۰CO2 +٪۳۰ O2 ۲- ٪۵۰CO2 +٪۵۰O2 ۳- ٪۳۰CO2 +٪۷۰O2	٤	نتایج نشان داد طی ١٤ روز نگهداری، تیمار گازی شماره ۱ کمترین توتال کانت و تیمار گازی شماره ۲ کمترین رشد کپک، مخمر و سایکروتروف‌ها را داشته است.	[۳۰]
پنیر ریکوتا	Nylon based multy layer plasics bages	۱- ٪۵۰CO2 +٪۵۰ N2 ۲- ٪۷۰CO2 +٪۳۰N2 ۳- ٪۹۵CO2 +٪۵N2	٤	نتایج ۸ طی روز نگهداری نشان داد، بسته‌بندی پنیر ریکوتا به این روش با تریب‌های گازی ذکر شده در مقایسه با بسته‌بندی با هوای معمولی، در کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها به خصوص باکتری‌های اسید لاکتیک کاملاً مؤثر بوده و بهترین تیمار مربوط به ترکیب گازی با بیشترین مقدار دی‌اکسید کربن (۹۵ درصد) است. همچنین، رشد سریع میکروارگانیسم‌ها در تیمار شاهد (هوای معمولی) باعث زرد رنگ شدن پنیر شد در حالی که تغییر رنگی در نمونه‌های تحت (MAP) گزارش نشد.	[۲۴]
نان اسلایس شده	سینی: /Polyester Ethylene vinyl alcohol copolymer/Pol yethylene روکش: Polyamide/Pol yethylene	۱- ٪۱۰۰N2 ۲- ٪۱۰۰CO2 ۳- ٪۵۰CO2 +٪۵۰N2 ٤- ٪۳۰CO2 +٪۷۰N2 ۵- ٪۷۰CO2 +٪۳۰N2	دمای محیط	نتایج نشان داد بسته‌بندی نان در ظروف مورد اشاره و تیمار گازی شماره ۳ بهترین اثر را در حفظ کیفیت و جلوگیری از رشد کپک در طی ۲۰ روز نگهداری داشته در حالی که نمونه‌هایی که در مجاورت هوا قرار داشتند پس از ١٤ روز کپک زده‌اند. به طورکلی برای بسته‌بندی نان به روش (MAP)، استفاده از پوشش‌های چندلایه و کاربرد گازهای دی اکسید کربن به دلیل خاصیت ضدمیکروبی آن و نیتروژن به عنوان گاز حامی به دلیل جلوگیری از ایجاد خلأ کاذب در داخل بسته، مناسب می‌باشد.	[۱۱ و ۲۳]

ادامه جدول ٦:

نوع محصول	فیلم بسته‌بندی	ترکیب گازی $\%N_2$ $\%CO_2$ $\%O_2$	دمای نگهداری °C	اثر تیمار بر ماندگاری محصول	منبع
قارچ	PVC, LDPE	+٪۸۸N2 +٪٦O2 ٪٦CO2	۱۲	نتایج این تحقیق نشان داد بسته‌بندی قارچ با پلی‌الفین‌ها و فیلم کشی پی وی سی در اتمسفر پیشنهادی طی یک هفته با به تأخیر انداختن باز شدن سر قارچ، کاهش شدت تنفس، کاهش روند قهوه‌ای شدن و کاهش وزن از دست رفته، به شکل مؤثری باعث حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری در این محصول شده است.	[۳۳]
سیب	Opp, Metalized Opp, PP+PE (٥ لایه)	+٪۹٤N2 +٪۳O2 ٪۳CO2	٤	نتایج این تحقیق، نشان داد بسته‌بندی سیب در بسته‌های پلی‌اتیلن سبک و ترکیب گازی ذکر شده طی ٥ هفته باعث حفظ کیفیت، تازگی و افزایش ماندگاری آن شده است، قابل توجه اینکه گسترش تلخی در سیب از ٥٠ درصد به کمتر از ٥ درصد در این بسته‌بندی کاهش یافته است.	[۲۹]
فلفل دلمه‌ای	Polylactic acid (PLA) based biodegradable film, LDPE	+٪٥/٦O2 ٪۱۱/٦CO2	۱۰	نتایج بست‌بندی فلفل دلمه‌ای سبز طی یک هفته در سه نوع پوشش شامل، فیلم زیست تخریب‌پذیر پلی لاکتیک اسید، پلی‌اتیلن با دانسیته پایین و پلی‌اتیلن با دانسیته پایین سوراخ‌دار در ترکیب گازی ذکر شده نشان داد که بسته‌بندی این محصول در فیلم زیست تخریب‌پذیر به علت نفوذپذیری بالای این فیلم نسبت به رطوبت باعث حفظ بهتر کیفیت و تازگی این محصول شده است.	[٤۲]
گوجه فرنگی	PE	5kPa O2 + 3kPa CO2	۱۳	نتایج نگهداری گوجه‌فرنگی (در مرحله سبز رسیده) در شرایط اتمسفر کنترل شده، اتمسفر تغییر یافته در پوشش پلی اتیلنی و نگهداری در سرما نشان داد که نگهداری این محصول به ترتیب در اتمسفر کنترل شده، اتمسفر تغییر یافته با ترکیب گازی ذکر شده و نگهداری در سرما با به تأخیر انداختن فرآیند رسیدن گوجه‌فرنگی در حفظ کیفیت این محصول مؤثر بوده و ماندگاری آن را تا ۹۰ روز افزایش داده است.	[۳٤]

۷- نتیجه گیری

امروزه تمایل مصرف‌کنندگان به سمت مصرف مواد غذایی تازه، سالم و اندک فرآیند شده، رو به گسترش است. MAP، فنّاوری ساده‌ای است که تنها با به‌کارگیری ترکیب گازی خاص و لفاف بسته‌بندی مناسب و بدون نیاز به ماشین‌آلات پیچیده و مواد شیمیایی، موجب افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت محصولات می‌شود. با این حال و علی‌رغم امتیازات فراوان کاربرد (MAP) در بسته‌بندی مواد غذایی، توسعهٔ آن به کندی صورت گرفته است. گسترش این روش و برخورداری از مزایای آن مستلزم رعایت عواملی به شرح ذیل است:

۱- شناخت کامل الزامات نگهداری مطلوب انواع مختلف مواد غذایی.

۲- تعیین دقیق نیازهای تنفسی محصولات تازه در محدوده دمایی(٥٠-۰) و رطوبت‌های نسبی متداول (۹۸ – ۸۵ درصد).

۳- انتخاب صحیح اتمسفر گازی برای هر محصول با توجّه به خصوصیات و نیاز آن‌ها.

٤- تعیین نفوذپذیری فیلم‌های مختلف در محدوده دمایی (٥٠-۰) و رطوبت‌های نسبی متداول (۹۸ – ۸۵ درصد).

۵- تولید تجاری فیلم‌هایی با نفوذپذیری مناسب برای هر محصول با توجّه به ویژگی‌های مورد نیاز آن.

٦- استفاده از راهکارهای جدید، از جمله بسته‌بندی فعال متناسب با نیاز محصول، جهت افزایش کارایی این روش.

۷- تجاری‌سازی این روش به منظور سودآور ساختن آن.

به طور کلی، فیلم‌های پلیمری به تنهایی قادر به تأمین تمام نیازهای بسته‌بندی (MAP) برای اکثر مواد غذایی نیستند. با این حال، در صورت شناخت کامل الزامات نگهداری مطلوب انواع مختلف مواد غذایی، به دلیل پیشرفت‌های صورت گرفته در تولید فیلم‌ها از جمله: امکان ساخت فیلم‌های پلیمری ترکیبی از طریق فرآیندهای پوشش‌دار کردن، لامینه کردن و کواکستروژن، همچنین وجود فنّاوری‌های منفذدار کردن و ریزمتخلخل کردن، امکان تولید و به‌کارگیری لفاف‌هایی با ویژگی‌های مورد نیاز برای دامنه وسیعی از مواد غذایی و در نتیجه گسترش بیش از پیش این روش فراهم است. به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های جدید مانند بسته‌بندی‌های فعال و هوشمند و ورود نانو فنّاوری به عرصه بسته‌بندی، همچنان که موضوع تحقیقات آینده در روش بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته را ایجاد کرده است، فرصت‌های جدیدی نیز برای بهره‌مندی بیشتر از مزایای این روش فراهم سازد.

۸- منابع

۱. اصلاحی، ن.، داداشیان، ف. و همتی‌نژاد، ن. (۱۳۹۲)، «**تهیه فیلم بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر با استفاده از کیتوسان و ژلاتین**»، فصلنامه علمی- ترویجی علوم و فنون بسته‌بندی، جلد ٤، شماره ١٦. ٦٥-٥٨.

۲. افشار، س، ع.، شرایعی، پ.، شورمیج، م. و نیازمند، ر. (۱۳۹۳). «**تأثیر بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی گل زعفران طی زمان نگهداری**»، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، جلد۱۰، شماره ۳. ۲۳۱ – ۲۲٤.

۳. امینی هرندی، س.، کاشانی نژاد، م.، گوهریان، م.، علی زاده، ص. (۱۳۹۱)، «**اصلاح بسته‌بندی گز به روش بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده**»، فصلنامه علمی- ترویجی علوم و فنون بسته‌بندی، جلد۳، شماره ۱۰. ۷۳-٦٤.

٤. اورای کول، بی. و استایلز ام. ای، ۱۳۸۰، «**بسته‌بندی مواد غذایی با اتمسفر تغییر یافته (MAP)**»، ترجمه بهجت تاج الدین، تهران: سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی.

۵. سوروکا، دبلیو، ۱۳۹۱، «**مبانی فنّاوری بسته‌بندی**»، ترجمه حجت سلمانی، تهران: نشر هیراد.

٦. شاهی، ط. و میرزایی، ح. (۱۳۹۲)، «**کاربرد اتمسفر اصلاح شده جهت نگهداری و بسته‌بندی دانه‌های انار**»، فصلنامه علمی- ترویجی علوم و فنون بسته‌بندی، جلد٤، شماره ١٦. ٣٥-٢٤.

۷. طبشی، س.، ارومیه‌ای، ع.، بارگیر، س. و کتباب، ع. (۱۳۹۳)، «**تهیه و بررسی خواص فیلم چند جزئی زیست تخریب‌پذیر در بسته‌بندی مواد غذایی**»، فصلنامه علمی- ترویجی علوم و فنون بسته‌بندی، جلد ۱، شماره ۱۷. ۸۳-۷٦.

۸. زندی ناوگران، خ.، ناصری، ل.، اسمعیلی، م. و حسنعلی بازرگان ، ا. (۱۳۹۳)، «**تأثیر مواد بسته‌بندی محتوی نانو ذرّات نقره و سیلیکات رس بر ویژگی‌های کیفی پس از برداشت میوه گیلاس رقم سیاه مشهد**»، نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد٢٤، شماره ۱. ۲۹– ۱۹.

۹. قربانی، م.، شهدادی ساردو، ع.، صداقت، ن.، میلانی، ا. و کوچکی، آ. (۱۳۹۳)، «**تکنیک‌های بسته‌بندی جهت افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه**»، اولین همایش ملّی الکترونیکی دستاوردهای نوین در علوم غذایی، سیستان و بلوچستان.

۱۰. لیاقتی، ل.، عزیزی، م. و جوکار، م. (۱۳۹۱)، «**کاربرد نانو کامپوزیت‌ها در صنایع بسته‌بندی و مواد غذایی**»، ماهنامه فنّاوری نانو، سال یازدهم، دی ۹۱، شماره ۱۰. ۱۸-۱٤.

۱۱. محمدی، م. و اعلمی، م. (۱۳۹۰)، «**تأثیر بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده بر زمان ماندگاری نان‌های نیم‌پخته**»، فصلنامه علمی- ترویجی علوم و فنون بسته‌بندی، جلد ۳ ، شماره ۹. ۷۹-۷۰.

۱۲. میر نظامی ضیابری، س. ح. (۱۳۸۵)، «**اصول بسته‌بندی مواد غذایی**»، تهران: انتشارات آییژ.

13. Abdel-Bary, EM., (2003), **"Hand book of plastic films"**. Rapra technology Ltd., UK: Shawbury.
14. Alavi,S., Thomas, S., Sandeep, KP., Kalarikkal, N., Varghese, J. and Yaragalla, S., (2015), **"Polymers for packaging applications".** Apple academic press, Inc.Canada.
15. Arvanitoyannis, I., (2012), **"Modified atmosphere and active packaging technologies**", Taylor & Francis. LLC.
16. Banks, NHS. (1985), **"Responses of banana fruit to prolong coating at different times relative to the initiation of ripening"**, Scientia horticulturae, 26, 146-151.
17. Ben-Yehoshua, S., (1985), **"Individual seal-packaging of fruits and vegetables in plastic film-new postharvest technique"**, Hort-science. 20, 32-37.
18. Blakistone, BA., (1997), **"Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods".** Laroisier booksheller, Librairie, France.
19. Burton, KS., Frost, CE. and Nichols, R., (1987), **"A combination of plastic permeable film system for controlling post-harvest mushroom quality".** Biotechnology letters. 9, 529-534.
20. Christie, GBY., Macdiarmid, JI., Schliephake, K. and Tomkins, RB., (1995), **"Determination of film requirements and respiratory behavior of fresh produce in modified atmosphere packaging",** Postharvest biology and technology. 6, 41-54.
21. Clarke, R. and De Moor, CP., (March, 1997). **"Intelligent polymers for packaging fresh produce",** Flex pak '97. 4th worldwide flexible packaging conference, Chicago, 18-19.
22. Coles, R. and Kirwan, M.J., (2011), **"Food and beverage packaging technology",** Black well publishing, Ltd., UK: London.
23. Degirmencioglu, N., Gocmen, D., Neslihan Inkaya, A., Aydin., E., Guldas, M. and Gonenc, S., (2011), **"Influence of modified atmosphere packaging and potassium sorbate on microbiological characteristics of sliced bread",** Journal of food science and technology. 48(2): 236-241.
24. Del Nobile, MA., Conte, A., Buonocore, GG., Incoronato, AL., Massaro, A. and Panza, O., (2009), **"Modified atmosphere packaging to improve the microbial stability of ricotta",** African journal of microbiology research, 3(4): 137-142.
25. Farber, JM., (1991), **"Microbiological aspects of modified atmosphere packaging technology -a review",** Journal of food protect, 54, 58-70.
26. Fishman, S., Rodov, V., Ben-Yehoshua, S., (1996), **"Mathematical model for perforation effect of oxygen and water vapor dynamics in modified atmosphere packages",** Journal of food science and technology, 61(5): 956-961.
27. Geeson, JD., Genge, PM. and Sharpies, RO., (1994), **"The application of polymeric film lining systems for modified atmosphere box packaging of english apples",** Postharvest biology and technology, 4, 35-48.
28. Hernandez, RJ., Selke, SEM. and Culture, JD., (2000), "**Plastics packaging: properties, Processing, applications, and regulations",** Munich: hanser publishers.
29. Hewett, EW., (1984), **"Bitter pit reduction in Cox's orange pippin apple by controlled and modified**

atmosphere storage", Scientia horticulturae. 23, 59-66.

30. Irkin, R., Esmer, O. K., Degirmencioglu, N. and Degirmencioglu, A., (2011), **"Influence of packaging conditions on some microbial properties of minced beef meat at 4°C storage",** Bulgarian journal of agricultural science**,** 17, 655-663.
31. 25. Kader, AA., (2003), **"Postharvest technology of horticultural crops".** University of california, Agriculture and natural resources, UCD Press., 535P.
32. 26. Kader, AA. and Watkins, CB., (2000), **"Modified atmosphere packaging toward 2000 and beyond",** Horticultural technology,10(3): 483-6.
33. Kim, KM., Ko, JA., Lee, JS. d Park, HJ. and Hanna, MA., (2006), **"Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms"**, LWT – Food science and technology, 39, 364-371.
34. Majidi, H., Minaei, S., Almassi, M. and Mostofi, Y., (2012), **"Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage",** Association of food science and technologists (India), 51(19): 2155-2161.
35. Mangaraj, S., Goswami, TK. and Mahajan, PV., (2009), **"Application of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a- Review",** Food engineering reviews.1, 133-158.
36. Marsh, K. and Bugusu, B., (2007), **"Food packaging - roles, materials, and environmental issues",** Journal of food science, 72(3): 39-54.
37. Massey, LK., (2003), **"Permeability Properties of Plastics and Elastomers. A guide to packaging and barrier materials"**. Published in the United State of America by plastic design laboratory/ William Andrew publishing, New York.
38. Mount, E. and Wagner, J., (1997), **"Interaction between product and package".** In: Brody AL, Marsh KS (Eds) The Wiley encyclopedia of packaging technology, New York.
39. Raei, M., Mortazavi, A. and Pourazarang, H., (2010), **"Effect of packaging material modified atmosphere condition and storage temperature on physicochemical properties of roasted pistachio nut",** Food analytical methods, 3(2): 129-132.
40. Scetar, M., Kurek, M. and Galic, k., (2010), **"Trends in fruit and vegetable packaging- a review",** Croatian journal of food Technology, 5, 69-86.
41. Selke. SEM., 1997, **"Understanding plastics packaging technology",** Hanser publishing, Germany: Munich.
42. Shoji, K. and Shi, J., (2007), **"Microbial and quality evaluation of green peppers stored in biodegradable film packaging",** Food control, 18, 1121-1125.
43. Smith, S., Geeson, J. and Stow, J., (1987), **"Production of modified atmosphere in deciduous fruits by the use of films and coatings",** Scientia Horticulturae, 22, 772-776.
44. Soroka, W., (1999). **"Fundamental of packaging technology",** 2nd Ed, Herndon. VA: Institute of packaging professionals.
45. Yam, KL. and Lee, DS., 1995, **"Active food packaging",** Chapman and hall LTD.
46. Zagory, D. and Davis, CA., (1997), **"Advances in modified atmosphere packaging (MAP) of fresh produce",** Perishables handling newsletter, 90, 2-4.
47. Zhuang, H., Barth, M. and Zevallos, L., (2014), **"Innovations in food packaging",** 2nd. Elsevier Ltd, PP: 445-473.

آدرس نویسنده

تهـــران- دانـــشکده کـــشاورزی- دانـــشگاه آزاد اسلامی- واحد ورامین – پیشوا- گروه علـوم و صنایع غذایی- ورامین- تهران.