

بسته‌بندی‌های پلی (۳-هیدروکسی بوتیرات) برای نگهداری مواد غذایی

(ترجمه)

مرجان شرافتی*

تاریخ دریافت مقاله: آذرماه ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: دی ماه ۱۳۹۲

چکیده

انعطاف‌پذیری کمتر به ما ارائه می‌کند. در شرایط معمولی، انجماد و نگهداری در یخچال، کارایی PHB کمتر از PP است در حالی که در دماهای بالاتر PHB بهتر از PP عمل می‌کند. ارزیابی خواص ابعادی، لزوم طراحی قالب‌های ویژه برای تزریق PHB یا بهینه‌سازی شرایط تزریق و دمای قالب را تقویت نمود. نتایج حسی با مواد غذایی مورد آزمایش مثبت بود. به این معنی که هیچ تفاوتی در سطح ۵٪ مشاهده نشد. نتایج نشان دادند که احتمالاً آینده روشنی برای بسته‌بندی‌هایی از جنس مواد با پایه طبیعی همانند PHB وجود دارد.

واژه‌های کلیدی

غذا، پلی (۳-هیدروکسی بوتیرات)^۲ PHB، پلیاستیک‌ها و بسته‌بندی.

۱- مقدمه

پلاستیک‌ها به‌طور گسترده‌ای در کاربردهای مختلفی همچون بسته‌بندی، مواد ساختمانی، کالاهای و نیز محصولات بهداشتی استفاده می‌شوند [۱]. با وجود این، آلودگی محیط زیست ناشی از عدم تفکیک زباله‌های پلاستیکی مشکلات جدی ایجاد نموده است. این پلاستیک‌های متداول که به‌طور مصنوعی از نفت مشتق می‌شوند، به آسانی در طبیعت تجزیه نمی‌شوند و به عنوان زباله‌های مضر برای طبیعت شناخته شده‌اند [۱۸]. اغلب پلی‌مرها به شدت پایدار بوده و مشکلات زیست محیطی

پلی‌مرها به‌طور گسترده‌ای برای بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند. با وجود این، به دلیل تجزیه‌ناپذیری آنها و نیز زوال ذخائر نفتی، استفاده از پلی‌مرها مشکلات زیست محیطی قابل توجهی را ایجاد نموده است. بنابراین، لازم است، این مواد با بیوپلاستیک‌ها که با قرارگیری در محیط‌های فعال بیولوژیکی در زمان کوتاهی تجزیه می‌شوند، جایگزین گردند. در این مطالعه، امکان استفاده از PHB (پلی (۳-هیدروکسی بوتیرات) در بسته‌بندی مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفته است. از این پلی‌مر با روش تزریق برای تولید بسته‌بندی استفاده شد. بسته‌بندی‌های تولید شده از طریق آزمون‌های ابعادی (ابعاد، ظرفیت حجمی، وزن و ضخامت) و آزمون‌های مکانیکی (فشرده‌گی دینامیک و مقاومت ضربه) مورد ارزیابی قرار گرفته و با بسته‌بندی‌های مشابه از جنس PP (پلی پروپیلن) مقایسه شدند. همچنین امکان ایجاد آلودگی ارگانولپتیک در تعدادی از مواد غذایی (مارگارین، مایونز و پنیر خامه‌ای) مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که PHB نسبت به PP در برابر فشرده‌گی دینامیک مقاومت متفاوتی از خود نشان می‌دهد. این امر در میزان تغییر شکل که ۵۰٪ کمتر از مقدار متناظر در مورد PP است نمایان گردید که در نتیجه ماده‌ای با سفتی بیشتر و

۱- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(* مترجم: sherafati_marjan@yahoo.com)

جدول ۱- مقادیر ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی [1] PHB و [2] PP

| ویژگی‌ها | روش | واحد | PHB [1] | PP SMR 6170 [2] |
|--|-----------------------------|-------------------|--------------|-----------------|
| نرخ جریان مذاب | ASTM D-1238 (230°C/2.16 kg) | g/10 min | ۴۳/۷۴ | ۱۳/۰ a ۹/۰ |
| دانسیته | ASTM D-792 | g/cm ³ | ۱/۲۳ | ۰/۹۰۰ |
| تنش کششی | ASTM D-638 (50 mm/min) | Mpa | ۳۲/۰۳ +/۰/۹۸ | ۲۵/۰ |
| استحکام ضربه آیزود ^۱ ، ۲۳°C | ASTM D-256 | J/m | ۱۳/۳۰ +/۴/۵۴ | ۵۵/۰ |
| دامنه ذوب | ASTM-3418 | °C | ۱۷۳/۳ | ۱۶۰-۱۷۵ |
| تنش خمشی، تسلیم، نوع ۱ | ASTM-D790 | GPa | ۲/۷۱ +/۰/۰۸ | ۰/۹۰ |
| افزایش طول کششی، شکست | (ASTMD638) | % | ۱/۸۹ +/۰/۱۳ | - |

1- Izod

۲- روش کار

۲-۱- مواد

PHB مورد استفاده در اینجا برای تولید بسته‌بندی با عنوان تجاری^۵ ثبت شده و توسط شرکت^۶ PHB و به صورت پودر تولید شده بود. پلی‌مر مصرفی دارای ویژگی‌های زیر بود: وزن مولکولی (۲۹۰،۰۰۰)؛ باقی‌مانده حلال (۱۴/۳ mg/kg)؛ رطوبت (۰/۳۹٪)؛ خاکستر (۰/۱٪)؛ نیتروژن (۰/۱٪)؛ بلورینگی (۰/۵٪). PP به عنوان ماده استاندارد برای مقایسه استفاده شد و توسط پلی‌برزیل^۷ و تحت مرجع SMR6170 تأمین گردید [۲۲]. خواص فیزیکی و مکانیکی PHB و PP در (جدول ۱) ارائه شده‌اند.

۲-۲- تهیه بسته‌بندی

به منظور تولید یک ظرف به همراه درپوش، پلی‌مرهای PHB و PP در شرکت پلاسواله^۸ به یک قالب استاندارد ۳۳۱ تزریق شدند (شکل ۲). یک دستگاه تزریق ساخت

است که مواد بسته‌بندی با پایه طبیعی در طی نگهداری تا زمانی که دور انداخته شوند، بدون تغییر در خواص مکانیکی و/یا نفوذپذیری پایدار باقی مانده و به درستی عمل کنند. در زمان نگهداری مواد غذایی باید از شرایط محیطی که منجر به تجزیه زیستی می‌گردند اجتناب شود در حالی که پس از دور انداختن باید شرایط بهینه برای تجزیه زیستی اعمال شوند [۲۱].

پیش از استفاده از مواد زیست تخریب‌پذیر برای بسته‌بندی‌های اولیه مواد غذایی باید تأثیر آن بر روی کیفیت و ایمنی ماده غذایی مورد ارزیابی قرار گیرد. هدف از این بررسی، ارزیابی امکان به‌کارگیری PHB برای بسته‌بندی مواد غذایی است. کارایی بسته‌بندی‌ها با استفاده از آزمون‌های ابعادی و فیزیکی بررسی گردید و با بسته‌بندی‌هایی با ظاهر مشابه از جنس^۱ PP (پلی‌پروپیلن) مقایسه شد. همچنین امکان ایجاد آلودگی ارگانولپتیک^۲ با بعضی از انواع مواد غذایی (مارگارین^۳، مایونز^۴ و پنیر خامه‌ای) مورد مطالعه قرار گرفت.

5- Biocycle

6- Industrial Usina da Pedra- Açúcar e Alcool (Serena, SP, Brazil)

7- Polibrazil

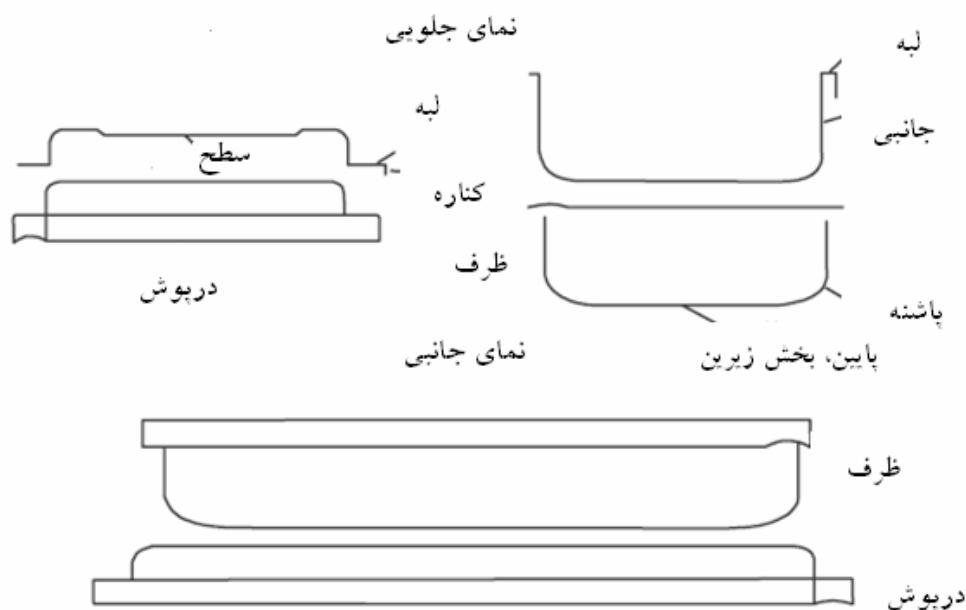
8- Plasvale Gaspar-SC, Brazil

1- Polypropylene

2- Organoleptic

3- Margarine

4- Mayonnaise



شکل ۲- قالب استاندارد ۳۳۱ و نمایش مناطق مختلف ظرف و درپوش.

شرکت چن^۱ مدل جت ماستر مارک^۲ III برای ساخت بدنه ظرف مورد استفاده قرار گرفت، در حالی که برای تولید درپوش‌ها از یک دستگاه تزریق پری‌مکس ۶۵ رومی^۳ استفاده شد. سیکل تزریق برای ظروف PHB و PP به ترتیب ۱۵ S و ۱۱ S و برای درپوش‌ها ۱۳/۸ S و ۹ S بود. بسته به شرایط تزریق، داده‌ها در (جدول ۲) ذکر شده‌اند.

۲-۳- ویژگی‌ها

۲-۳-۱- انقباض

انقباض بسته‌بندی‌های PHB و PP از طریق آنالیز^۴ ابعادی ظروف بر اساس روش ارائه شده توسط آلوس^۵ و دیگران (۱۹۹۸) مورد بررسی قرار گرفت [۲]. ده ظرف از هر نوع ماده استفاده گردید و دو بعد اندازه‌گیری شد: ۱- عرض داخلی ۲- ارتفاع.

۲-۳-۲- ضخامت

ضخامت ظروف و درپوش‌های از جنس PHB و PP طبق روش آلوس و دیگران (۱۹۹۸) اندازه‌گیری شد [۲]. آزمون‌ها در پنج تکرار انجام شدند و ضخامت نمونه‌ها در چهار منطقه مختلف ظروف (کف، پاشنه، جداره و لبه) و سه منطقه مختلف درپوش‌ها (دامنه، لبه و سطح) تعیین شدند. در هر منطقه ضخامت در سه نقطه با فاصله یکسان

جدول ۲- شرایط تزریق مقایسه‌ای بین PHB و PP

| PP | PHB | شاخص‌ها |
|-------|-------|-------------------|
| ۱۸۰ | ۱۶۰ | دمای ذوب (°C) |
| ۲۵ | ۲۵ | دمای قیف (°C) |
| ۲۳۰ | ۱۳۰ | دمای ورودی (°C) |
| ۲۵۰ | ۱۴۰ | منطقه گیره (°C) |
| ۲۵۰ | ۱۵۰ | منطقه اختلاط (°C) |
| ۲۵۰ | ۱۶۰ | نازل (°C) |
| ۱۰-۱۵ | ۱۰-۱۵ | قالب (°C) |

4- Analysis

5- Alves

1- Chen Hsong Machinery Co. Ltd

2- Jetmaster mark

3- Premax 65-Romi

اندازه‌گیری شد. نتایج با استفاده از آنالیز واریانس^۱ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۲-۳-۳- وزن و ظرفیت حجمی

ده نمونه ظرف و درپوش از مواد مورد مطالعه با دقت $0.1g$ توزین شدند. به منظور تعیین سرفضای^۲ ظروف PHB و PP با ظرفیت حجمی مفید $500 mL$ ، ظرفیت حجمی کل ارزیابی شد. بسته‌بندی‌ها طبق استاندارد ASTM D2911-94 با آب آشامیدنی پر شدند [۵]. از رابطه زیر برای محاسبه ظرفیت حجمی کل استفاده شد. دمای آب در زمان آزمون $22^{\circ}C$ و دانسیته آب در این دما $0.99967 g/cm^3$ بود.

$$E_v = (E_c - E_{\square}) / \rho$$

که در آن:

E_v = ظرفیت حجمی بسته‌بندی (mL)

E_c = جرم بسته‌بندی پر (g)

E_{\square} = جرم بسته‌بندی خالی (g)

ρ = دانسیته آب در دمای آزمون (g/cm^3)

۲-۴-۲- ارزیابی خواص مکانیکی

۲-۴-۲-۱- مقاومت در برابر فشردگی دینامیک

آزمون مقاومت در برابر فشردگی دینامیک یا حداکثر نیرو بر اساس روش استاندارد ASTM 2659 95 انجام شد [۴]. بسته‌بندی‌ها پس از نگهداری در دماهای مختلف برای دوره زمانی مشخص به منظور شبیه‌سازی شرایط نگهداری مختلف: $2^{\circ}C \pm 23 / 14$ روز؛ $5^{\circ}C \pm 18 / -7$ روز؛ $2^{\circ}C \pm 3 / 7$ روز و $5^{\circ}C \pm 55 / 14$ روز (شرایط اتاق، انجماد، یخچال و تنش) تحت آزمون مقاومت در برابر فشردگی دینامیک^۳ قرار گرفتند. ظروف حاوی مواد غذایی مختلف نیز در معرض

شرایط استفاده روزانه برای همان دوره‌های زمانی قرار گرفتند. نمونه‌های ظرف و درپوش در یخچال و فریزر نگهداری شدند و در یک ماکروفر^۴ در معرض حرارت‌دهی و رفع انجماد قرار داده شدند. نمونه‌ها همچنین حداقل سه بار در طی دوره دو هفته‌ای با روش دستی و با استفاده از ماشین ظرفشویی شسته شدند. آزمون مقاومت در برابر فشردگی دینامیک در پنج تکرار در یک دستگاه آنالیز یونیورسال^۵ مدل DL500MF بر اساس روش استاندارد ASTM D 2659-95 انجام شد [۴]. سرعت آنالیز $25 mm/min$ بود که در طی آزمون ثابت نگه داشته شد. پیش از انجام آزمون مقاومت در برابر فشردگی دینامیک، تمامی نمونه‌ها به مدت یک ساعت در شرایط اتمسفر استاندارد برای آنالیز پلاستیک‌ها یعنی $23 \pm 5^{\circ}C$ و RH (رطوبت نسبی) $50 \pm 5\%$ بر اساس NBR 7452 [۷] و ASTM D 618-00 [۶] نگهداری شدند و در همین شرایط نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۲-۴-۲-۲- آزمون مقاومت در برابر ضربه ناشی از

سقوط آزاد (آزمون سقوط)

ظروف حاوی یخ بعد از نگهداری در فریزر بر اساس استاندارد ASTM D 2463-95 در پنج تکرار تحت آزمون سقوط قرار گرفتند [۳]. در این آزمون از یک ارتفاع مشخص که در $1/5 m$ واقع شده بود به عنوان استاندارد برای میانگین ارتفاع قفسه فریزر و یک یخچال دو طبقه استفاده شده و آزمون سقوط در موقعیت افقی بر روی نمونه‌ها انجام شد و در طی این آزمون انتهای ظروف با یک سطح سخت بتنی برخورد می‌نمود.

1- Variance

2- Free space

3- Dynamic

در طی بازه زمانی که نمونه‌ها در یخچال نگه‌داری شدند، تمامی نمونه‌ها در ورق‌های آلومینیومی پیچیده شدند تا از دست رفتن اجزای فرار رخ نداده و از جذب بوی سایر مواد موجود در یخچال جلوگیری شود.

۲-۵-۲- ارزیابی شدت بوی ماده

نمونه درپوش‌های PHB و PP در اندازه‌های 0.3 m^2 بریده شده و به‌طور جداگانه در فلاسک‌های شیشه‌ای دردار (250 mL) درون آب معدنی بدون گاز به مدت یک ساعت در 50°C قرار داده شدند. پس از سرد شدن، نمونه‌ها به مدت 24h در دمای اتاق نگه‌داری شدند. عملیاتی مشابه بدون نمونه انجام شد که به عنوان استاندارد در نظر گرفته شد. دوازده کارشناس نمونه‌های PHB، PP و استاندارد را برای تعیین شدت بو بر اساس مقیاس‌های زیر آنالیز کردند:

۱. بدون بو
۲. بسیار کم
۳. کم
۴. متوسط
۵. متوسط متمایل به زیاد
۶. زیاد
۷. بسیار زیاد

نتایج از طریق آنالیز واریانس^۳ (ANOVA) و آزمون دانت^۴ مورد ارزیابی قرار گرفتند و نمونه شاهد با تمامی نمونه‌ها مقایسه شد. سطح مورد قبول برای معنی‌دار بودن بر اساس پیشنهاد ذکر شده در روش کار ۵٪ در نظر گرفته شد.

۲-۵-۲- ارزیابی برهمکنش ماده غذایی -

بسته‌بندی

۲-۵-۱- بررسی امکان تغییر ویژگی‌های حسی مواد غذایی

ظروف ساخته شده از رزین بایوسایکل^۱ PHB برای ارزیابی امکان تغییر ویژگی‌های حسی مواد غذایی و بنابراین مناسب بودن آن‌ها برای استفاده به عنوان بسته‌بندی مواد غذایی تحت آزمون‌های متعددی قرار گرفتند. پنج آنالیز حسی صورت گرفت. روش آزمون برای بررسی پتانسیل پلی‌مرها در انتقال بو و طعم به مواد غذایی برگرفته از روش‌های استاندارد ASTM E-1870-98 و ABNT NBR 13177 بود [۱۱]. از چهار نوع ماده غذایی مختلف استفاده شد: آب معدنی بدون گاز، پنیر خامه‌ای (به این دلیل که دارای مقدار مشخصی چربی است در حالی که بوی ملایمی دارد)، مارگارین و مایونز (از آنجا که هر دوی آن‌ها دارای مقدار زیادی چربی هستند و هر گونه تغییر حسی در آن‌ها به راحتی قابل تشخیص است). مارگارین و مایونز در بسته‌بندی‌های اصلی خود و در ظروف PHB به مدت دو ماه پیش از ارزیابی حسی در یخچال نگه‌داری شدند. از آنجا که پنیر خامه‌ای ماده‌ای فاسدشدنی است، نمونه‌های حاوی پنیر خامه‌ای پیش از آنالیز حسی به مدت 24h در یخچال نگه‌داری شدند. استاندارد ASTM E-1870-98 حداقل زمان تماس 24h-16 را توصیه می‌کند.

از روش‌های فناوری-علمی برگرفته از اصول ABNT^۲ در اجرای ارزیابی‌های حسی استفاده شد: NBR 12994- روش‌های آنالیز حسی مواد غذایی و نوشیدنی‌ها [۸]؛ NBR 12995- آزمون مثلی در آنالیز حسی مواد غذایی و نوشیدنی‌ها [۹]؛ NBR 13170- آزمون مرتب‌سازی در آنالیز حسی [۱۰]؛ NBR 14141- مقیاس‌های مورد استفاده در آنالیز حسی مواد غذایی و نوشیدنی‌ها [۱۲].

3- Analysis of variance

4- Dunnett

1- Biocycle

2- Associação brasileira de normas técnicas

۲-۵-۳- ارزیابی شدت آلودگی حسی مواد غذایی - روش مستقیم (آزمون مثلثی بسط یافته)

بررسی پتانسیل آلودگی حسی با استفاده از چهار نوع ماده غذایی نگه‌داری شده در بسته‌بندی‌های PHB (ظروف و درپوش‌ها) در سه تکرار برای هر نمونه انجام شد. به‌منظور بررسی این شبیه‌سازی‌ها، از آزمون مثلثی بسط یافته استفاده شد که در آن به هر کارشناس سه نمونه داده می‌شود، دو تای آن‌ها مشابه هستند و نمونه سوم متفاوت است و قضاوت بر اساس ISO 4120 انجام می‌شود [۱۵]:

۱. بدون تفاوت

۲. بسیار کم

۳. متوسط

۴. شدید

۵. بسیار قوی

میانگین نتایج با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار^۱ (LSD) مقایسه شدند.

سختی و مقاومت بیشتری در برابر ضربه دارد. بنابراین در مطالعات بعدی فرآیند مواد راحت‌تر بوده و انتظار می‌رود نمونه‌های به دست آمده خواصی شبیه‌تر با PP داشته باشند.

از آنجایی که در فرآیند تزریق PP از هیچ وسیله گرمایشی برای گرم کردن قالب استفاده نمی‌شود، در حین تولید بسته‌بندی‌های PHB، با استفاده از آب، قالب‌ها تا دمای حدود 20°C خنک شدند. بنابراین چرخه‌های تزریق هم در مورد ظروف و هم در مورد درپوش‌ها نسبت به PP طولانی‌تر بود. به‌منظور به حداقل رساندن زمان چرخه تولید، نمونه‌های PHB [۲۰] استفاده از قالب‌های گرم شده در دمای $55-65^{\circ}\text{C}$ را به جای کار کردن با قالب‌های سرد شده در 20°C پیشنهاد می‌کند که نتیجه آن نرخ بیشتر کریستالی^۲ شدن مواد بوده و نتیجه مستقیم در خواص ترمو- مکانیکی^۳ مواد دارد. عامل دیگری که می‌تواند منجر به طولانی شدن چرخه تزریق شود، استفاده از قالبی مشابه با آنچه برای تولید بسته‌بندی‌های PP به‌کار می‌رود است.

۲-۳- ویژگی‌های ابعادی

۲-۳-۱- ارزیابی انقباض

میانگین نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها در جات مختلفی از انقباض پلی‌مر را در ارتباط با اندازه قالب نشان می‌دهد. ارتفاع داخلی نمونه‌های PP و PHB به‌ترتیب $3/2$ ٪ و $3/81$ ٪ کاهش یافت. در مورد عرض داخلی ظروف، انقباض پلی‌مر PP $7/83$ ٪ و انقباض پلی‌مر PHB $7/73$ ٪ بود. زمانی که بخواهید ظروفی با اندازه‌ای مشابه با ظروف PP داشته باشید، لازم است از قالب مخصوصی برای پلی‌مر PHB استفاده کنید. با وجود این، برای تعیین مشخصات قالبی ویژه هنوز بسیار زود است، زیرا لازم است که فرآیند و پلی‌مر مورد استفاده بهینه شوند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تهیه بسته‌بندی

در حین تولید، تخریب بیش از اندازه پلی‌مر مشاهده شد و اغلب نمونه‌های بسته‌بندی به‌صورت ناقص تولید شدند. وزن مولکولی کمتر پلی‌مر PHB ($290,000$) در مقایسه با پلی‌مر PP می‌تواند یکی از دلایل مطرح در ایجاد مشکل در زمان تزریق PHB باشد.

در (جدول ۱) می‌توان مشاهده نمود که شاخص‌های مربوط به PHB مورد استفاده برای قالب‌گیری نمونه‌ها با شاخص‌های متناظر مربوط به PP بسیار متفاوت هستند، مانند سیالیت بالاتر که مشکلاتی را در رابطه با تولید بسته‌بندی به‌وجود می‌آورد. PHB فعلی نسبت به بهر مورد استفاده در این بررسی سیالیت کمتر، مقاومت بالاتر در برابر کشش،

2- Crystalline

3- Thermo-mechanical

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون

بسته‌بندی

1- Least significant difference

۳-۲-۲- ضخامت

جدول ۴- توزیع ضخامت در مناطق مختلف درپوش

| منطقه | ماده | متوسط mm | انحراف از استاندارد |
|-------|------|----------|---------------------|
| سطح | PHB | ۰/۹۵ | ۰/۰۰۷۱ |
| | PP | ۰/۹۵ | ۰/۰۱۵۲ |
| لبه | PHB | ۱/۰۰ | ۰/۰۲۹۲ |
| | PP | ۰/۹۷ | ۰/۰۱۵۸ |
| دامنه | PHB | ۱/۴۶ | ۰/۰۵۲۴ |
| | PP | ۱/۳۹ | ۰/۰۶۶۲ |

میانگین نتایج برای تعیین ضخامت، پنج نمونه در مناطق مختلف درپوش‌ها در (جدول ۳ و ۴) نشان داده شده‌اند. در مورد دو ماده بسته‌بندی، ضخامت ظروف در انتها و پاشنه‌ها بسیار نزدیک بود. در یک مطالعه پیشین، جداره ظروف از جنس PHB طبیعی ضخیم‌تر بود در حالی که ظروفی با جنس PHB رنگ شده لبه ضخیم‌تری داشتند [۱۳]. اختلاف در اندازه این ضخامت‌ها در مقایسه با ضخامت‌های متناظر در مورد ظروف PP که فرآیند تولید آن‌ها از قبل مشخص شده بود و از قالب مناسب برای تزریق آن‌ها استفاده شد، تنها در قسمت جداره‌ها معنی‌دار بود (حدود ۰/۴۰٪).

۳-۲-۳- وزن و ظرفیت حجمی

وزن درپوش‌ها و ظروف از جنس PHB طبیعی حدوداً ۰/۴۰٪ بیشتر از نمونه‌های مشابه از جنس PP بود که ناشی از اختلاف بین دانسیته این دو ماده است. نتایج به دست آمده برای تعیین جرم و حجم در (جدول ۵) آمده‌اند. دانسیته^۱ PP، ۰/۹۰ g/cm³ و دانسیته PHB، ۱/۲۳ g/cm³ است. با این داده‌ها، می‌توان چنین نتیجه گرفت که با هر کیلوگرم پلی‌مر ۱۰ ست (ظرف و درپوش) از جنس PHB و ۱۴ ست از جنس PP به دست می‌آید. این امر در تعیین قیمت تولید این محصولات دارای اهمیت است.

جدول ۳- توزیع ضخامت در مناطق مختلف ظرف

| منطقه | ماده | متوسط mm | انحراف از استاندارد |
|-------|------|----------|---------------------|
| انتها | PHB | ۱/۳۴ | ۰/۰۷۸۰ |
| | PP | ۱/۲۷ | ۰/۰۱۶۸ |
| پاشنه | PHB | ۱/۴۴ | ۰/۰۵۹۷ |
| | PP | ۱/۴۵ | ۰/۰۱۱۰ |
| جداره | PHB | ۱/۴۳ | ۰/۰۷۰۱ |
| | PP | ۱/۰۹ | ۰/۲۱۰۶ |
| لبه | PHB | ۱/۳۷ | ۰/۰۴۹۸ |
| | PP | ۱/۳۶ | ۰/۰۵۵۹ |

نمی‌توان اظهار داشت که ضخامت نمونه‌های PHB باید کمتر، برابر یا بیشتر از نمونه‌های PP باشد زیرا این دو ماده، پلی‌مرهایی با خواص متفاوت هستند. با وجود این، لازم است که متغیرهای فرآیند تزریق با توجه به ویژگی‌های PHB تنظیم شوند که البته امکان دارد با تنظیمات لازم برای زمانی که از PHB رنگ شده استفاده می‌شود، متفاوت باشند [۱۳]. همچنین برای تولید ظروف و درپوش‌هایی با شکل ایده‌آل با کمترین ضخامتی که می‌تواند نیازمندی‌های بسته‌بندی را تأمین کند، لازم است که قالب بهینه شود. این امر نیازمند مطالعات و آزمایش‌های گسترده‌تری است.

1- Density

2- Set

جدول ۵- مقادیر جرم بسته‌بندی‌ها و ظرفیت حجمی ظروف در آب در ۲۲°C

| نمونه | جرم (g) ظرف | | جرم (g) درپوش | | حجم (mL) | |
|---------------------|-------------|------|---------------|------|----------|---------|
| | PHB | PP | PHB | PP | PHB | PP |
| ۱ | ۵۶/۰۲ | ۴۱/۲ | ۳۸/۷ | ۲۷/۵ | ۶۵۵/۹ | ۶۶۶/۴ |
| ۲ | ۵۸/۶ | ۴۱/۳ | ۴۰/۶ | ۲۷/۶ | ۶۷۶/۹ | ۶۵۰/۳ |
| ۳ | ۵۵/۵ | ۴۱/۱ | ۴۰/۶ | ۳۸/۶ | ۶۶۷/۵ | ۶۵۳/۰ |
| ۴ | ۵۶/۱ | ۴۱/۴ | ۴۰/۵ | ۲۷/۶ | ۶۹۱/۰ | ۶۷۳/۰ |
| ۵ | ۵۶/۳ | ۴۱/۴ | ۳۹/۱ | ۲۷/۸ | ۶۶۱/۶ | ۶۴۵/۱ |
| ۶ | ۶۰/۲ | ۴۱/۲ | ۴۰/۴ | ۲۷/۶ | ۶۷۵/۱۴ | ۶۶۰/۲ |
| ۷ | ۵۹/۷ | ۴۱/۲ | ۳۹/۰ | ۲۷/۶ | ۶۸۰/۰ | ۶۷۱/۷ |
| ۸ | ۵۵/۴ | ۴۱/۳ | ۴۰/۰ | ۲۷/۶ | ۶۸۱/۲ | ۶۶۶/۰ |
| ۹ | ۵۹/۹ | ۴۱/۴ | ۳۹/۵ | ۲۷/۶ | ۶۵۱/۲ | ۶۷۲/۷ |
| ۱۰ | ۵۶/۱ | ۴۱/۳ | ۳۹/۵ | ۲۷/۷ | ۶۷۹/۵ | ۶۵۱/۹ |
| میانگین | ۵۷/۴ | ۴۱/۳ | ۳۹/۸ | ۲۷/۸ | ۶۷۲/۰ | ۶۶۱/۰۱ |
| انحراف از استاندارد | ۱/۹۸ | ۰/۱۰ | ۰/۷۳ | ۳/۴۷ | ۱۲/۵۶۴۵ | ۱۰/۳۳۰۸ |

دانسیته آب = $۰/۹۹۶۷۴ \text{ g/cm}^3$ در ۲۲°C . آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ وجود ندارد.

۳-۳- ارزیابی خواص مکانیکی

۳-۳-۱- مقاومت در برابر فشردگی دینامیک

ابعاد صفحه فوقانی که در آزمون فشردگی استفاده شد مشابه با ظرف نبود و در حین آزمون، نیروی تراکمی در وسط ظرف متمرکز می‌شد. بنابراین نتایج حاصل معتبر نبوده و امکان اعمال بیشینه نیروی تراکمی به ظرف برای تعیین حداکثر بار ذخیره مجاز وجود نداشت. با این وجود، نتایج حاصل در ارزیابی رفتار دو نوع بسته‌بندی در شرایط نگهداری متفاوت به ما کمک کرد. نتایج ذکر شده در (جدول ۶) بیشینه نیروی تراکمی را برای ظروف PHB و PP نشان می‌دهند. برای نمونه‌های PHB نتایج به دست آمده برای بیشینه نیروی تراکمی دینامیک در مورد ظروف نگهداری شده در دماهای بالاتر بهتر بود. مقادیر تغییر شکل ظروف PHB نشان می‌دهند که الاستیسیته^۱ این ظروف به‌طور جزئی

ظرفیت حجمی PHB کمتر از PP بود که احتمالاً به دلیل تراکم بیشتر اجزای آن می‌باشد، هر چند که این اختلاف بسیار کم بوده و ناشی از شرایط متفاوت فرآیند و مواد مورد استفاده است.

بر اساس استاندارد ASTM D-2911-94 [۲۹] در صورتی که ظرفیت حجمی ظرفی بین ۷۶۷-۵۳۱ mL باشد، با ۱۳ mL خطا مواجه هستیم. دامنه تغییرات ظرفیت حجمی ظروف PHB مطابق با نظریه فوق است در حالی که دامنه تغییرات برای ظروف PP بیشتر بوده و به ۲۰ mL می‌رسد. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهند که پلی‌مر PP کمتر از PHB متراکم می‌شود، چنانکه آنالیز ابعادی ظروف نیز این نتیجه را تأیید می‌کند. این یافته ضرورت طراحی قالب‌های مخصوص برای تزریق PHB یا بهینه‌سازی شرایط تزریق و دمای قالب را تقویت می‌کند.

1- Elasticity

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون

بسته‌بندی

جدول ۶- آزمون‌های مقاومت نمونه‌های نگه‌داری شده در شرایط و دماهای متفاوت در برابر فشردگی دینامیک

| مشروط‌سازی در ۱۴ روز | | بسته‌بندی | | میانگین | | انحراف از استاندارد | | ضریب تغییر (%) | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|---------------------|-----------|----------------|-----------|
| نیرو | تغییر شکل | نیرو | تغییر شکل | نیرو | تغییر شکل | نیرو | تغییر شکل | نیرو | تغییر شکل |
| (kgf) | (mm) | (kgf) | (mm) | (kgf) | (mm) | (kgf) | (mm) | (kgf) | (mm) |
| ۵۹/۱۱ | ۱۳/۲۸ | PHB | ۱۰/۶۰ | ۴/۰ | ۱۷/۹۳ | ۳۰/۱۱ | تغییر شکل | | |
| ۸۷/۱۳ | ۲۸/۰۹ | PP | ۶/۱۶ | ۲۸/۰۹ | ۷/۰۶ | ۵/۳۸ | نیرو | | |
| ۹۰/۱۴ | ۱۷/۲۰ | PHB | ۰/۱۳۳۰ | ۰/۸۲۲۶ | ۰/۱۴۷۵ | ۴/۷۸۴ | تغییر شکل | | |
| ۶۹/۷۷ | ۲۳/۶۳ | PP | ۷/۹۹۵ | ۲/۵۳۴ | ۱۱/۴۷ | ۱۰/۷۳ | نیرو | | |
| ۵۴/۲۲ | ۱۲/۲۳ | PHB | ۷/۷۴۲ | ۳/۱۸۹ | ۱۴/۲۸ | ۲۶/۰۸ | تغییر شکل | | |
| ۸۴/۳۵ | ۲۸/۴۹ | PP | ۱۲/۰۵ | ۳/۳۰۴ | ۱۴/۲۹ | ۱۱/۶۰ | نیرو | | |
| ۷۴/۱۱ | ۱۸/۷۴ | PHB | ۱۷/۹۴ | ۲/۶۷۱ | ۲۴/۲۰ | ۱۴/۲۶ | تغییر شکل | | |
| ۷۴/۶۹ | ۲۳/۸۳ | PP | ۳/۳۱۳ | ۰/۴۲۶۰ | ۴/۴۳۶ | ۱/۷۸۸ | نیرو | | |

بسته‌بندی‌های PHB برای نگه‌داری مواد غذایی

از PP بود به عنوان ماده‌ای با سفتی بالاتر و انعطاف‌پذیری کمتر خود را نشان می‌دهد.

در شرایط انجماد و یخچال عملکرد PHB بدتر از PP بود در حالی که در دماهای بالاتر PHB بهتر از PP عمل می‌کند.

۳-۲- مقاومت در برابر ضربه ناشی از سقوط آزاد (آزمون سقوط)

نشان داده شد که بسته‌بندی‌های از جنس PHB نسبت به PP شکنندگی بیشتری داشتند (جدول ۷)، خصوصاً زمانی که در دماهای پایین قرار گرفتند.

تحت این شرایط بسیار سخت، ۱۰۰٪ نمونه‌های PHB عمدتاً به دلیل شکستن یک یا تعداد بیشتری از گوشه‌های پایینی (پاشنه ظروف) مردود اعلام شدند (شکل ۲).

افزایش می‌یابد در حالی که ظروف PP به میزان کمی الاستیسیته خود را از دست می‌دهند.

در مورد فشردگی دینامیک ظروف PHB و PP که در شرایط سرما نگه‌داری شده بودند، اختلاف قابل توجهی مشاهده شد. رفتار ظروف و درپوش‌های PHB و PP که در دمای اتاق قرار داده شده بودند، در برابر فشردگی دینامیک (بار عمودی) بسیار مشابه بود.

تغییر شکل مشاهده شده برای چهار شرایط مختلف نگه‌داری در مورد ست (ظرف و درپوش) PHB مشابه بود، اما در مورد PP تغییر شکل ۵۰٪ بیشتر از PHB بود. با این حال واضح است که ظروف و درپوش‌های PP الاستیک‌تر (منعطف‌تر) بوده و در طی آزمون فشردگی ست‌ها بدون تغییر باقی مانده و پس از حذف نیرو به شکل اولیه خود بازمی‌گردند.

ست‌های PHB سفت یا شکننده بودند و این ویژگی‌ای بود که در حین انجام آزمون‌ها مشاهده شد، زیرا بسیاری از ظروف و درپوش‌ها ترک خوردند. می‌توان در ابتدا نتیجه گرفت که مقاومت PHB در برابر فشردگی دینامیک با PP متفاوت است. این امر در میزان تغییر شکل آن که ۵۰٪ کمتر

جدول ۷- نتایج آزمون ضربه به روش سقوط آزاد از ارتفاع ۱/۵ m

| نمونه | شرایط | محیط شبیه‌سازی | تعداد نمونه‌ها | شکستن % | نوع شکستن |
|-------|---------------|----------------|----------------|---------|-----------------------------|
| PHB | ۷ روز (فریزر) | یخ | ۵۰ | ۱۰۰ | شکستن یک یا تعداد بیشتری از |
| PP | ۷ روز (فریزر) | یخ | ۵۰ | ۶۰ | گوشه‌ها پاشنه پایینی ظروف |

۳-۴- ارزیابی آنالیز حسی برهم‌کنش محصول-

بسته‌بندی

۳-۴-۱- ارزیابی شدت بوی مواد

میانگین نتایج برای ارزشیابی نمونه‌ها و نمونه مرجع از نظر بوی آن‌ها به شرح زیر بود: PHB ۵/۳۳ (متوسط متمایل به زیاد)، PP ۳/۷۵ (متوسط) و استاندارد ۲/۷۵ (کم). با استفاده از آنالیز واریانس و آزمون دانت مشخص شد که نمونه‌ها در سطح ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند که نشان می‌دهد کارشناسان توانستند بین نمونه استاندارد و سایر نمونه‌ها تمایز قایل شوند. بوی شدیدتری که توسط کارشناسان برای نمونه‌های PHB تشخیص داده شد، اثبات می‌کند که بسته‌بندی حتی پس از گذشت ۹۰ روز از تزریق، همچنان دارای میزان قابل توجهی از بویی مشخص می‌باشد. این بو، مشخصه مقدار زیاد باقی‌مانده حلال (۱۴/۳ mg/kg)، به جدول ۹ مراجعه شود) می‌باشد که در پلی‌مری که در این بسته‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است وجود دارد. برای آنکه پلی‌مر قابلیت استفاده با مواد غذایی را داشته باشد لازم است که مقدار باقی‌مانده حلال برابر یا نزدیک به صفر باقی بماند. جدول (۹) همچنین داده‌هایی از بهر جدیدی از پلی‌مر با مقدار باقی‌مانده حلال ۳/۶ mg/kg کمتر از آنچه را که در این بررسی استفاده شده است، نشان می‌دهد که گویای این واقعیت است که تولیدکنندگان، محصول خود را بهبود بخشیده‌اند.

ظروف PP نیز در این آزمون در قسمت پاشنه، شکنندگی بیشتری نشان دادند به طوری که ۶۰٪ از نمونه‌ها به دلیل ایجاد شکستگی در این بخش رد شدند. این امر شکنندگی بیشتر ظروف را در قسمت پاشنه، صرف‌نظر از نوع ماده مصرفی نشان می‌دهد. این اطلاعات برای حوزه طراحی بسته‌بندی مهم است (جدول ۸).

جدول ۸- آنالیز حسی بر اساس آزمون مثلثی بسط یافته با

چهار محیط شبیه‌سازی پس از تماس با ظرف PHB

| محیط‌های شبیه‌سازی | قضایات‌ها | پاسخ‌های صحیح t ^a |
|--------------------|-----------|------------------------------|
| آب | ۳۹ | ۲۱ ^۱ |
| مایونز | ۳۹ | ۱۶ ^۲ |
| مارگارین | ۳۹ | ۱۸ ^۲ |
| پنیر خامه‌ای | ۳۹ | ۱۰ ^۲ |

^a داده‌های ذکر شده در یک ستون که با شماره‌های مختلف مشخص شده‌اند بر اساس آزمون F در سطح ۵٪ با یکدیگر دارای اختلاف می‌باشند.

از طریق انجام آزمون سقوط، امکان بازسازی شرایط سخت استفاده، نگه‌داری بسته‌بندی و در نتیجه تشخیص نقاط شکنندگی فراهم گردید. با وجود اینکه چنین شرایط سختی در زمان نگه‌داری قابل تصور است، امکان وقوع آن‌ها کم است. بنابراین، این نتایج استفاده از ظروف PHB را در شرایط نگه‌داری مشابه با ظروف PP رد نمی‌کند. با این وجود، شایان ذکر است که پلی‌مر PHB در مقایسه با پلی‌مر PP مقاومت بسیار پایینی در برابر ضربه دارد (به جدول ۱ مراجعه شود).

جدول ۹- گواهی آنالیز دو نوع رزین PHB

| نوع | وزن مولکولی kDa | باقی مانده حلال | | رطوبت % | % PHB | % PHB V | خاکستر % | نیترژن % | بلورینگی % |
|-----------|--------------------|-----------------|--|---------|-------|---------|----------|----------|------------|
| | | mg/kg | | | | | | | |
| 026-08/01 | ۲۹۰,۰۰۰ | ۱۴/۳ | | ۰/۳۹ | ۹۶/۷ | ۸,۲ | ۰/۱ | <۰/۱ | ۲,۵۲ |
| Atual/02 | ۴۳۰,۰۰۰ | ۳/۶ | | ۰/۸۵ | ۹۷/۹ | ۱/۱ | ۰/۰۸ | <۰/۱ | ۵۹/۱ |

بسته‌بندی‌های PHB برای نگهداری مواد غذایی

عملکرد PHB در شرایط عادی انجماد و یخچال نسبت به PP بدتر بود. در حالی که در دماهای بالاتر عملکرد بهتری داشت. این یافته کیفیت PHB را برای استفاده در تولید بسته‌بندی‌های مواد غذایی زیر سؤال نمی‌برد. آزمون‌های فیزیکی، ابعادی، مکانیکی و حسی انجام شده نشان دادند که PHB می‌تواند در بسته‌بندی‌های مورد استفاده در نگهداری مواد غذایی دارای چربی زیاد در فریزر و مایکروفر جایگزین PP شود.

از آنجایی که آزمایش امکان مهاجرت کل اجزاء ماده مورد استفاده به مواد غذایی نگهداری شده در این بسته‌بندی و نرخ نفوذ بخار آب در مورد موادی که حساس به رطوبت هستند، امکان‌پذیر نبود، این تحقیقات برای مطالعات بعدی توصیه می‌شوند. بهینه‌سازی بسته‌بندی PHB برای یک ماده غذایی خاص از نظر زمان ماندگاری نیز باید مورد بررسی قرار گیرد.

۵- منابع

1. D.Z. Bucci, L.B.B. Tavares, I. Sell, ANOVA: Analysis of variance "PHB Packagings for the preservation of food products", Polymer testing, 564-571, 24 February 2005.

آدرس مترجم

تهران - دانشگاه تهران - کرج - دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی - پردیس کشاورزی و منابع طبیعی - گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی - کد پستی ۳۱۵۸۷-۷۷۸۷۱

۳-۴-۲- ارزیابی شدت آلودگی حسی مواد غذایی - روش مستقیم (آزمون مثلثی بسط یافته)

نتایج ارزیابی هر نوع ماده غذایی در (جدول ۸) خلاصه شده است. در آزمایش با آب، کارشناسان اختلاف قابل توجهی (در سطح ۰.۵٪) مشاهده کردند. این امر ناشی از مقادیر بالای باقی مانده حلال در پلی‌مر است که در آزمون ارزشیابی بو نیز ملاحظه شد. با این نتایج به دست آمده، این ماده بسته‌بندی برای استفاده با آب معدنی یا فرآورده‌های آبی مورد تأیید نیست.

در مورد مایونز، مارگارین و پنیر خامه‌ای، از آنجایی که این مواد، غنی از چربی بوده و در معرض آلودگی ارگانولپتیک^۱ هستند، نتایج مثبت‌تری حاصل شد (در سطح ۰.۵٪ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد).

۴- نتیجه‌گیری

مشخص شد که PHB می‌تواند در فرآیند قالب‌گیری تزریقی با تجهیزات مشابه با آنچه که برای تزریق بسته‌بندی‌های PP به کار می‌رود، برای تولید بسته‌بندی‌های مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این وجود، شرایط فرآیند باید بر اساس ویژگی‌های پلی‌مر تنظیم گردد و لازم است که از قالبی مخصوص استفاده شود.

در مقایسه عملکرد ظروف PHB و PP در فشردگی دینامیک و مقاومت در برابر ضربه (سقوط)، اختلاف نتایج معنی‌دار بود. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر شکل PHB ۵۰٪ کمتر از PP بود که نهایتاً ماده‌ای با سفتی بیشتر و انعطاف‌پذیری کمتر را به ما معرفی می‌کند.

1- Organoleptic