



مقایسه چاپ پذیری انواع مختلف پلی اتیلن سبک به روش پلاسما و کرونا

محمد مهدی صالحی برمی^۱، مریم عطایی فرد^۲، سیامک مرادیان^{۳*}

۱- استادیار، گروه فرمولاسیون و توسعه کاربرد مواد شیمیایی و پلیمری، پژوهشکده توسعه فناوری‌های شیمیایی، پلیمری و پتروشیمی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۹۹۶-۵۳۱۱۱

۲- دانشیار، گروه علوم و فناوری چاپ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵

۳- استاد، الف: قطب علمی رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران؛ ب: دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر- رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۱۶ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۶/۶/۲۰

چکیده

چسبندگی به عنوان وجود کشش و جاذبه بین مرکب و زیرآیند تعریف می‌شود. برای داشتن خصوصیات ترشوندگی مناسب و در نتیجه حصول چسبندگی قابل قبول بین سطح پلیمر و مرکب اعمال شده بر روی آن، انرژی سطحی فیلم پلیمری، یکی از مشخصه‌های بحرانی محسوب می‌شود و انرژی سطحی فیلم معمولاً باید بالاتر از کشش سطحی مرکب باشد. برخلاف ویژگی‌های فنی مناسب پلی اتیلن سبک به عنوان یکی از پرمصرف‌ترین پلیمرهای مورد استفاده در صنایع بسته‌بندی، پایین بودن انرژی سطحی این پلیمر سبب گردیده تا عملیات چاپ بر روی سطح فیلم‌های بسته‌بندی بر پایه این پلیمرها با مشکلاتی روبرو گردد. بنابراین روش‌های متعددی برای آماده‌سازی این پلیمر به کار گرفته شده است. در این تحقیق قابلیت آماده‌سازی دو روش پلاسما و کرونا مورد مقایسه قرار می‌گیرد. از آزمون‌های اندازه‌گیری زاویه تماس، طیف‌سنجی ATR-FT-IR، SEM و AFM آزمون چسبندگی نواری برای بررسی کیفیت آماده‌سازی استفاده شد. نتایج به دست آمده حکایت از کارایی بهتر روش پلاسما در مقایسه با روش کرونا هم از نظر میزان چسبندگی اولیه و هم دوام این چسبندگی دارد.

واژه‌های کلیدی: پلی اتیلن سبک، بسته‌بندی، چاپ، آماده‌سازی، کرونا، پلاسما.

Printability Comparison of Several Types of LDPE Treated by Plasma and Corona

M. M. Salehi¹, M. Ataefard², S. Moradian^{3*}

¹ Formulation and Development of Applications of Chemical and Polymeric Compounds Research Group, Chemical, Polymeric and Petrochemical Technology Development Research Division, Research Institute of Petroleum Industry, P.O. Box: 15996-53111, Tehran, Iran.

² Department of Printing Science and Technology, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box 16765-654, Tehran, Iran.

³ Center of Excellence for Color Science and Technology; Faculty of Polymer and Color Engineering, Amirkabir University of Technology, P.O.Box 15875-4413, Tehran, Iran.

Received: 08-08-2016

Accepted: 06-12-2016

Available online: 11-09-2017

Abstract

The adhesion is defined as attraction between the ink and substrate. For good wetting characteristics and consequently achieve acceptable adhesion between the polymer surface and ink, the surface energy of polymeric substrates, is one of the critical parameters and Surface energy of the substrate should be higher than the surface tension of the ink. Despite the sound features of low density polyethylene polymers which make it suited for used in the many industries like packaging, low surface energy of this polymer caused problems with printing on this polymer. Thus, many methods are utilized to improve the printability of this polymer. The objective of this study is in investigating the printability of low density polyethylene after using two methods of treatment; plasma and corona behalf. Contact angle, adhesion tape tests, AFM, SEM was used to determine the quality of provision. Results indicated a better performance of plasma treatment in comparison with corona, both in terms of initial adhesion and durability of this adhesion. J. Color Sci. Tech. 11(2017), 113-120©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Low density polyethylene, Packaging, Printing, Corona, Plasma.

۱- مقدمه

باید از روی سطح برداشته شود، و یا باید به صورت شیمیایی اصلاح گردد تا به سطحی با پیوستگی بهتر و اتصال قوی تر برسیم.

۲- انرژی سطحی پلیمر باید افزایش یابد تا به میزانی بالاتر از کشش سطحی^۹ مرکب یا پوشش مورد استفاده برسد و اگر WBL از روی سطح برداشته نشود انرژی سطح آن باید افزایش یابد (بهبود ترشوندگی).

۳- توپولوژی^{۱۰} سطح پلیمر باید بهبود یابد تا به نفوذ یا درگیری پوشش کمک کند.

روش های بهبود چسبندگی که بسیار عالی عمل می کنند آنهایی هستند که هر سه عمل را انجام می دهند [۵]. براساس استاندارد DIN 3364 یا ASTM D257884 کمترین انرژی سطحی مورد نیاز برای تامین چسبندگی مطلوب انواع جوهرهای چاپ بر روی پلی اتیلن عبارتست از: برای جوهرهای پایه حلالی ۳۸ دین بر سانتی متر، برای جوهرهایی با حلال های مخلوط ۴۲ دین بر سانتی متر، برای جوهرهای پایه آبی ۴۶ دین بر سانتی متر [۶].

آماده سازی به روش کرونا متداول ترین روش در صنعت چاپ و بسته بندی به شمار می رود. تخلیه کرونا زمانی اتفاق می افتد که جریان الکتریکی از درون هوا عبور می کند و اساس آن بر پایه بمباران سطح پلیمر توسط الکترون ها است. در طول این فرآیند الکترون ها با مولکول های هوا برخورد می کنند که منجر به تولید نور و اجزای دیگری می گردد. این اجزاء در هنگام برخورد با سطح پلیمر، باعث شکست پیوندهای کربن- کربن و کربن- هیدروژن می گردند. با واکنش اجزای جدید با مواد حاصل از تجزیه هوا، گروه های عاملی روی سطح تشکیل شده که باعث افزایش انرژی سطحی پلیمر خواهد گردید [۷-۹]. به موازات استفاده از روش کرونا جهت آماده سازی سطوح پلی اتیلن، روش دیگری تحت عنوان روش پلاسما در حال رشد و گسترش صنعتی می باشد. واژه پلاسما به گاز یونیزه شده ای اطلاق می گردد که همه یا بخش قابل توجهی از آن یک یا چند الکترون خود را از دست بدهند و به یون های مثبت تبدیل شوند. عموماً پلاسما را می توان مخلوطی از سه جز فرض نمود: الکترون های آزاد، یون های مثبت و اتم های خنثی (یا ملکول ها). پلاسما فراوان ترین حالت ماده در جهان است [۱۰-۱۲]. این روش منجر به شکست زنجیر، شبکه ای شدن و ایجاد گروه های فعال تا عمق حدود ۵۰۰-۵۰ *A می گردد. رادیکال های پلیمر ایجاد شده در طول فرآیند آماده سازی به روش پلاسما دارای طول عمر زیادی هستند و می توانند با اکسیژن و نیتروژن موجود در هوا بعد از آماده سازی واکنش دهند. بنابراین حتی در مورد گازهای خنثی (هلیوم، آرگن، نئون و غیره) نیز امکان تشکیل گروه های قطبی شامل اکسیژن و

به طور کلی، چسبندگی به عنوان وجود کشش و جاذبه بین روکش و زیرآیند تعریف و با اندازه گیری انرژی و کار لازم برای جدا کردن روکش از زیرآیند، زمانی که سطح روکش شده تحت تاثیر نیرو قرار گیرد، تعیین می گردد. مهم ترین عوامل موثر بر ایجاد چسبندگی یک روکش بر روی زیرآیند عبارتند از: قابلیت ترشوندگی سطح، عدم وجود آلاینده های سطحی، وجود گروه های عاملی مشخص بر روی سطح و در نهایت زبری سطح [۱]. انواع مختلف پلی اتیلن کاربردهای متفاوتی دارند که به طور کلی عبارتند از: تهیه لوله، کیسه های نازک، روکش سیم، قطعات مختلف اتومبیل، لوازم منزل، آزمایشگاهی و ورزشی، بطری و ظروف، اسباب بازی و انواع بسته بندی ها برای بسیاری از این کاربردها ضرورت اعمال روکش های سطح و جوهرهای چاپ موجب می گردد. به دلیل چسبندگی کم پلی اتیلن آماده سازی هایی^۱ برای بهبود چاپ پذیری آن صورت گیرد [۲]. مهم ترین علت پایین بودن استحکام چسبندگی به انواع پلی اتیلن ها^۲ مانند پلی اتیلن^۳، پایین بودن انرژی سطحی^۴ آنها می باشد. پایین بودن انرژی سطحی منجر به کاهش ترشوندگی و کم شدن استحکام پیوند می گردد و همین امر باعث ایجاد محدودیت در به کارگیری آنها در کاربردهای مربوط به چسبندگی گردیده است [۳].

باتوجه به مطالب فوق و برای رسیدن به چسبندگی مناسب، روش های مختلفی برای آماده سازی سطوح مورد استفاده قرار گرفته است که با توجه به کاربرد خاص، امکان پذیری فرآیند و شکل ظاهری قطعه یا فیلم، یکی از این روش ها مورد استفاده قرار می گیرد. با انجام آماده سازی بر روی سطح و ایجاد گروه های عاملی امکان برقراری پیوند بین گروه های عاملی موجود در ترکیب چسبنده (مرکب و یا روکش) و سطح آماده سازی شده به وجود آمده و موجب بالا رفتن استحکام پیوند چسبندگی می گردد [۴]. بررسی روش های آماده سازی به دو صورت امکان پذیر می باشد:

۱- شیمیایی (شستشو با حلال و استفاده از محلول اسید کرومیک و غیره)

۲- فیزیکی (کرونا^۵، پلاسما^۶، شعله^۷ و غیره)

برای کسب چسبندگی مناسب نیازمند انجام عملیات هایی بر روی سطح پلیمر هستیم که عبارتند از:

۱- لایه نازک مرزی^۸ (WBL) شامل ملکول های با وزن ملکولی کم

- 1-Treatment
- 2- Polyolefin
- 3- Polyethylene
- 4- Surface energy
- 5- Corona
- 6- Plasma
- 7- Flame
- 8- Weak boundary layer

9- Surface tension

10- Topology

برای آماده‌سازی به روش کرونا از دستگاه کرومای ساخت گروه تولیدی و صنعتی فخرآذر (جریان AC سینوسی بالاتر از ۷۲۰kV و فرکانس ۲۰ تا ۴۰kHz) در دو سطح تغییرات فرکانس، کمترین و بیشترین استفاده شده است.

۲-۳-۲- آزمون‌ها

آزمون زاویه تماس توسط دستگاه Krüss پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی استفاده شده است. در این تحقیق از زاویه تماس آب برای بررسی میزان آب دوستی و میزان تغییرات ترشوندگی هر کدام از نمونه‌ها پس از انجام آماده‌سازی استفاده شده است. این آزمون براساس استاندارد ASTM D 5946-01 صورت گرفته است.

برای تشخیص میزان کشش سطحی از مایعات: آب، گلیسرین، فرم آمید، دی‌یدومتان و بنزیل الکل استفاده شده است. انرژی سطحی نمونه‌ها با روش‌های Van-Oss, Zisman, Owens, Wu اندازه‌گیری شده است.

میزان چسبندگی از طریق آزمون نوار چسب و براساس استاندارد ASTM D 3359-97 انجام گرفته است. برای این منظور پس از اعمال جوهر و خشک شدن آن از روش B آزمون برای بررسی چسبندگی نمونه‌های آماده‌سازی شده استفاده شد.

برای تهیه تصاویر SEM از میکروسکوپ الکترونی روبشی ساخت شرکت Philips، هلند مدل XL30 تهیه استفاده شده است. برای بررسی توپولوژی سطح از تصاویر میکروسکوپ الکترونی اتمی (DME 2401, DualScopeTM, AFM) ساخت کشور دانمارک استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱-۳- نتایج آزمون‌های چسبندگی (زاویه تماس، کشش سطحی، چسبندگی)

نتایج حاصل از آزمون زاویه تماس نمونه‌های آماده‌سازی شده به روش پلاسما در شکل ۱ نشان داده شده است که روند کلی آن به صورت زیر است:

دی اکسید کربن < اکسیژن < نیتروژن ≤ آرگن

میزان تغییرات زاویه تماس برای گازهای آرگن، اکسیژن، نیتروژن و دی‌اکسید کربن به ترتیب ۲۹٫۸، ۱۶٫۶، ۹ و ۴٫۴ می‌باشد. به این ترتیب می‌توان گفت دامنه تغییراتی که توسط گاز آرگن ایجاد می‌گردد، بیشتر از بقیه گازها است. علت مؤثر بودن نهایی آماده‌سازی و کم بودن اولیه زاویه تماس در پلاسما آرگن را می‌توان به واکنش‌های بعد از زمان آماده‌سازی نمونه‌های پلاسما شده نسبت داد [۱۶].

نیتروژن در اثر آماده‌سازی به روش پلاسما وجود دارد [۱۵-۱۳]. نویسندگان در کارهای گذشته خود به بررسی روش آماده‌سازی پلاسما و کارایی این روش به منظور آماده‌سازی سطح پلی‌اتیلن سبک^۱ با انواع گازها و در شرایط گوناگون پرداخته‌اند [۱۷، ۱۶]. در این بررسی هدف مقایسه این روش با روش کرونا به عنوان روش متداول در صنعت چاپ برای آماده‌سازی زمینه‌های پلیمری می‌باشد.

۲- بخش تجربی

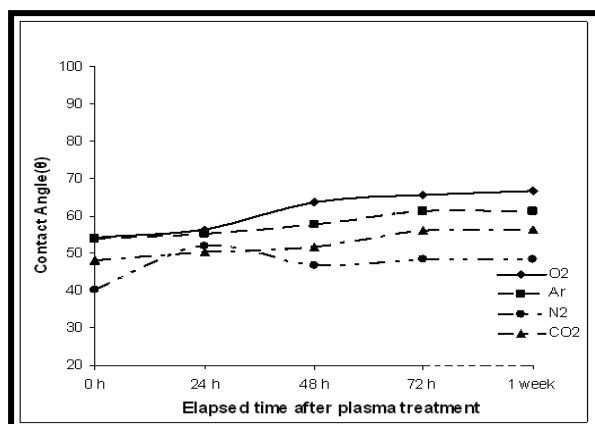
۲-۱-۲- مواد

در این تحقیق از LDPE0200 پتروشیمی بندر امام به عنوان پلیمر پایه استفاده شده است که توسط دستگاه تولید فیلم دمشی^۲ پتروشیمی بصورت فیلمی با ضخامت ۱۰۰ میکرون و عرض ۲۰ cm درآمده است. از آنجا که این نوع در صنعت به دلیل عدم وجود مواد افزودنی لازم مثل لیزکننده^۳ و آنتی‌بلاک‌ها^۴ به صورت تنها استفاده نمی‌گردد، بنابراین این نوع همواره همراه انواع دیگری که شامل این مواد افزودنی استفاده می‌گردد تا برای استفاده‌های صنعتی مطلوب باشد. در این پروژه از LLDPE 209KJ پتروشیمی تبریز و LLDPE218W تولیدی شرکت Sabic عربستان که در میزان مواد افزودنی موجود در آنها با یکدیگر متفاوت هستند و این امر اثر خود را روی کیفیت روش‌های آماده‌سازی پیش از پلاسما نشان داده بود، به عنوان همراه با پلیمر اصلی در مقیاس ۳۰ به ۷۰ استفاده شده است. از مخلوط آنها نیز فیلم‌هایی با ضخامت ۱۰۰ میکرون و عرض ۲۰ cm در شرایط مشابه تهیه شد، تا از این طریق اثر آماده‌سازی به روش پلاسما و کرونا روی نمونه‌های صنعتی مورد بررسی قرار گیرد. برای بررسی اثر چسبندگی آزمون نوار چسب^۵ بر روی تمام نمونه‌ها مرکب نیتروسولولز آبی رنگ مخصوص سطوح پلیمری سری محیا PMAHYA INK 2000 تهیه شده از شرکت مرکب ایران با ضخامت تر ۴ μm به کار رفت.

۲-۲- آماده‌سازی

برای انجام آماده‌سازی به روش پلاسما از راکتور پلاسما با نام تجاری K1050X Polaron استفاده شده است. مشخصات راکتور پلاسما شامل: میزان خلاء 10^{-1} mbar × ۶، نرخ جریان گاز ۱۵ ml/min، قدرت تخلیه ۱۰۰-۰ W و فرکانس RF ۱۳٫۵۶ است و از گازهای Ar، O₂ و CO₂ برای آماده‌سازی استفاده شده است.

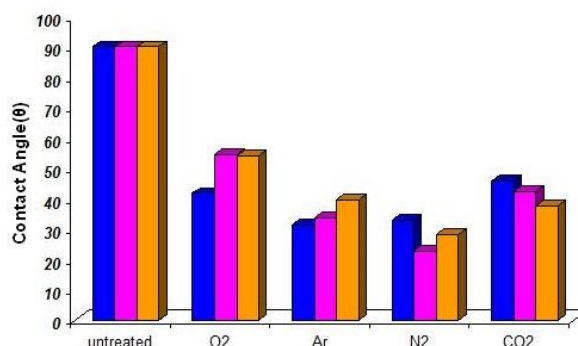
- 1- Low Density Polyethylene
- 2- Blown Film
- 3- Slip-agent
- 4- Anti-block
- 5- Tape-test



شکل ۲: زاویه تماس گریدهای مختلف پلی اتیلن سبک آماده سازی شده با پلاسمای گازهای آرگن، اکسیژن، نیتروژن و دی اکسید کربن در زمان های مختلف بعد از آماده سازی [۱۶].

نتایج حاصل از کرونا در دو حالت کمترین و بیشترین فرکانس در شکل ۳ نشان داده شده است. در بیشترین فرکانس با وجود آنکه زاویه تماس مطلوب برای چسبندگی حاصل شده است ولی میزان آن بسیار کمتر از نتایج پلاسمای حتی پس از گذشت زمان و پیرشدگی است. با توجه به این نکته که پس از گذشت زمان کوتاهی آماده سازی صورت گرفته از دست می رود (نمودار پیرشدگی شکل ۴)، می توان گفت آماده سازی به روش کرونا در مقابل روش پلاسمای نمی تواند روشی کارآمد باشد زیرا اعمال مرکب در آن باید بلافاصله پس از انجام آماده سازی صورت گیرد تا کیفیت آماده سازی افت پیدا نکند. آزمون چسبندگی نیز این مطلب را تأیید می کند [۹].

همان طور که انتظار می رفت با مهاجرت مواد افزودنی و استفاده از نمونه های صنعتی زاویه تماس به دست آمده پس از آماده سازی افزایش پیدا کرده و این افزایش برای LLDPE₂₁₈ بیشتر از LLDPE₂₀₉ است که علت آن به دلیل بیشتر بودن میزان مواد افزودنی در LLDPE₂₁₈ است. با وجود اینکه تغییرات زاویه تماس در نمودارهای پیرشدگی و نمونه های همراه مواد افزودنی کمتر از روش پلاسمای است ولی چون با افزایش زاویه تماس میزان آن به حدی می رسد که دیگر امکان چسبندگی مطلوب وجود ندارد. به همین دلیل به نظر می رسد اولین عیب بزرگ روش کرونا ناکارآمد بودن آن در نمونه های صنعتی و در هنگام مهاجرت مواد افزودنی است به همین دلیل آماده سازی به روش کرونا باید بلافاصله پس از تولید صورت گیرد در صورتی که در روش پلاسمای آماده سازی در هر زمان پس از تولید نیز می تواند انجام شود [۴، ۹].



شکل ۱: زاویه تماس انواع مختلف پلی اتیلن سبک آماده سازی شده با پلاسمای گازهای آرگن، اکسیژن، نیتروژن و دی اکسید کربن.

سطح پلیمر آماده سازی شده یک سطح دینامیک است و نه استاتیک، بنابراین مهاجرت سطحی مواد افزودنی و نیز مواد با وزن ملکولی کم می تواند سطح را تا رسیدن به یک تعادل جدید دستخوش تغییر کند و باعث کاهش انرژی سطحی گردد. تغییر در شیمی سطح می تواند ناشی از موارد زیر باشد:

- ۱- اثر متقابل گروه های شیمیایی روی سطح آماده سازی شده
- ۲- اکسایش و تخریب اضافه در حضور هوا
- ۳- مهاجرت مولکول های کوچک به سطح و پوشانده شدن گروه های فعال توسط تولید پلیمرهایی با وزن ملکولی کم و مهاجرت مواد افزودنی.

میزان این تغییرات می تواند به فاکتورهایی مثل زمان، سطح آماده سازی، نوع زمینه، میزان مواد افزودنی و نگهداری مربوط باشد. مطالعات نشان می دهد تا ۷٪ آماده سازی در طول ۹ روز و ۳۲ تا ۳۸ درصد آن در طول ۳۷ روز از دست می رود [۱۶، ۱۷].

نتایج زاویه تماس نمونه ها در زمان های مختلف (آزمون پیرشدگی) در شکل ۲ نشان داده شده است. در زمان و قدرت برابر نتایج اثر پیرشدگی نشان دهنده میزان تغییرات کمتر برای دی اکسید کربن است و روند آن برای گازهای دیگر به صورت زیر است:

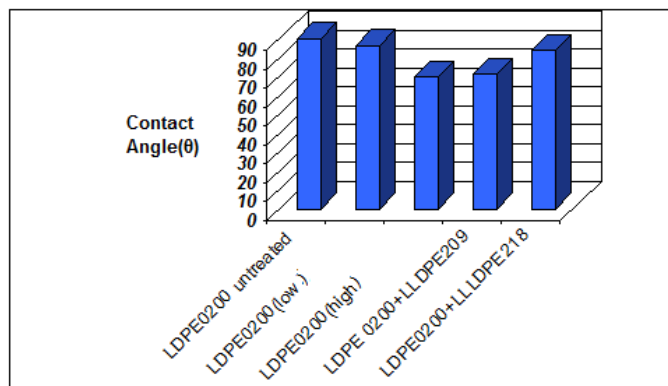
اکسیژن < نیتروژن < آرگن < دی اکسید کربن

با توجه به این نکته که در زمان شروع و ساعت صفر روند میزان زاویه تماس برای گازهای مختلف به ترتیب زیر است:

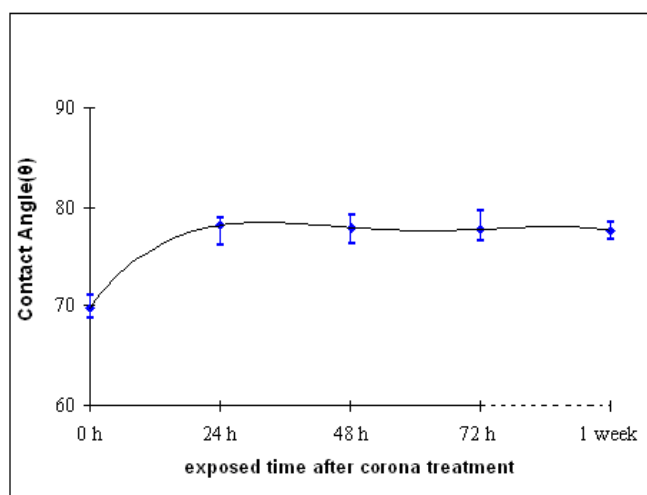
اکسیژن < آرگن < دی اکسید کربن < نیتروژن

روند میزان زاویه تماس نهایی بعد از یک هفته برای گازهای مختلف به صورت زیر در می آید [۱۶]:

اکسیژن < آرگن < دی اکسید کربن < نیتروژن



شکل ۳: زاویه تماس نمونه‌های آماده‌سازی شده به روش کرونا برای انواع مختلف پلی اتیلن سبک و فرکانس‌های مختلف.



شکل ۴: تغییرات زاویه تماس پلی اتیلن سبک در زمان‌های مختلف بعد از آماده‌سازی به روش کرونا.

اثر بگذارند و بعد از مهاجرت به عنوان مانعی برای آماده‌سازی عمل کنند و یا بعد از آماده‌سازی با مهاجرت به سطح باعث افت و از دست رفتن آماده‌سازی گردند. بزرگ‌ترین مشکل روش کرونا پایداری کم آماده‌سازی آن است که مهم‌ترین آن همان مهاجرت ملکول‌های کوچک به سطح پلیمر برای رسیدن به تعادل ترمودینامیکی است که منجر به کاهش کشش سطحی می‌گردد. مواد افزودنی نیز شامل همین مواد با جرم ملکولی کم هستند که وقتی به سطح مهاجرت می‌کنند به علت عدم هماهنگی با توده پلیمر لایه‌ای با کشش سطحی کمتر تشکیل می‌دهند [۱۷، ۱۶، ۹، ۴].

آزمون چسبندگی ASTM D 3359-97 برای بررسی میزان چسبندگی صورت گرفته است. برای نمونه‌های آماده‌سازی شده به روش پلاسما در تمام شرایط حتی پس از گذشت زمان یک هفته از آماده‌سازی نتایج چسبندگی ۱۰۰٪ را نشان می‌دهند. نمونه‌های

بررسی روند پیرشدگی در نمونه‌ها دومین عیب بزرگ روش کرونا را نیز معلوم می‌کند، زیرا با گذشت زمان ۲۴ ساعت میزان زاویه تماس نمونه به بالاتر از میزان مطلوب برای چسبندگی می‌رسد و سپس تقریباً ثابت می‌گردد. بنابراین اعمال پوشش یا چاپ در آماده‌سازی به روش کرونا باید بلافاصله بعد از آماده‌سازی صورت گیرد در صورتی که در روش پلاسما حتی پس از گذشت یک هفته و ثابت شدن میزان زاویه تماس این میزان بالاتر از نمونه کرونا و در حد مطلوب برای چسبندگی پوشش و جوهر است. این در حالی است نمونه‌ای که برای پیرشدگی در روش پلاسما انتخاب شد دارای زمان و قدرت کمی است و می‌توان از زمان‌ها و قدرت‌های بیشتر نیز استفاده کرد [۱۷، ۱۶، ۹].

بسیاری از پلی اتیلن‌ها دارای مواد افزودنی مختلفی با اهداف خاص هستند. برخی از این مواد افزودنی می‌توانند روی عملکرد کرونا

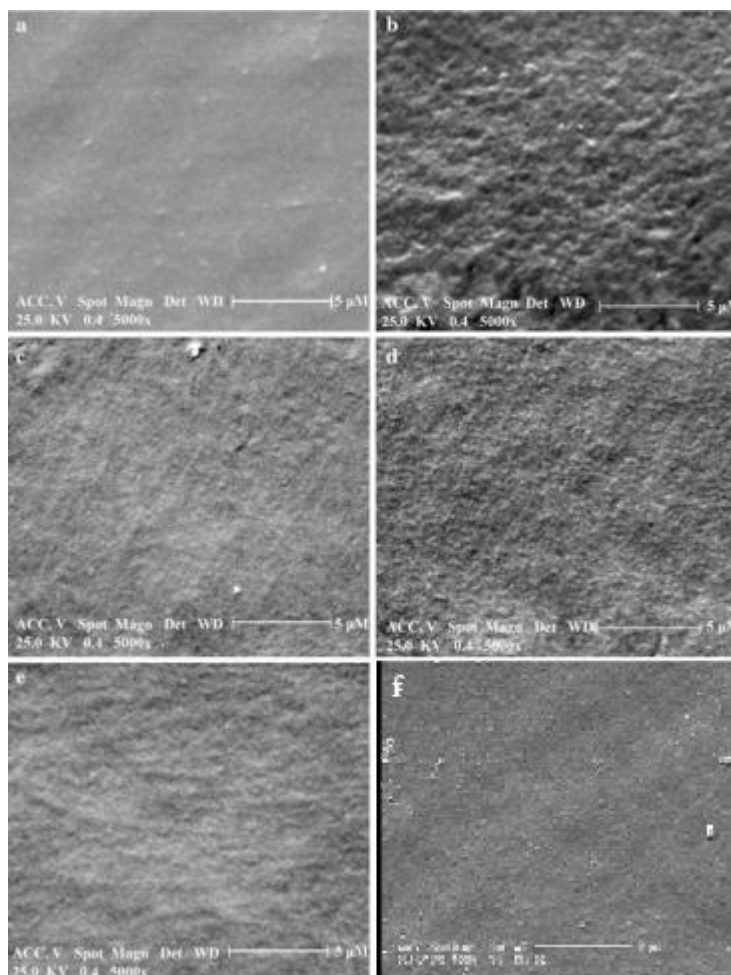
۲-۳- نتایج آزمون‌های ساختاری SEM و AFM

با مشاهده نتایج AFM و SEM (شکل ۵ و ۶) می‌توان گفت زبری ایجاد شده در کرونا بسیار کمتر از انواع پلاسما است که می‌تواند دلیلی دیگر بر کیفیت بهتر آماده‌سازی به روش پلاسما است و نیز در مورد نمونه آماده‌سازی شده به روش کرونا تغییرات شدید فازی در تصاویر فازی AFM مشاهده می‌گردد که با توجه به کاهش بلورینگی نمی‌تواند ناشی از تفاوت بین فازهای بلوری و بی‌شکل نمونه باشد و نشان‌دهنده تخریب است [۱۹].

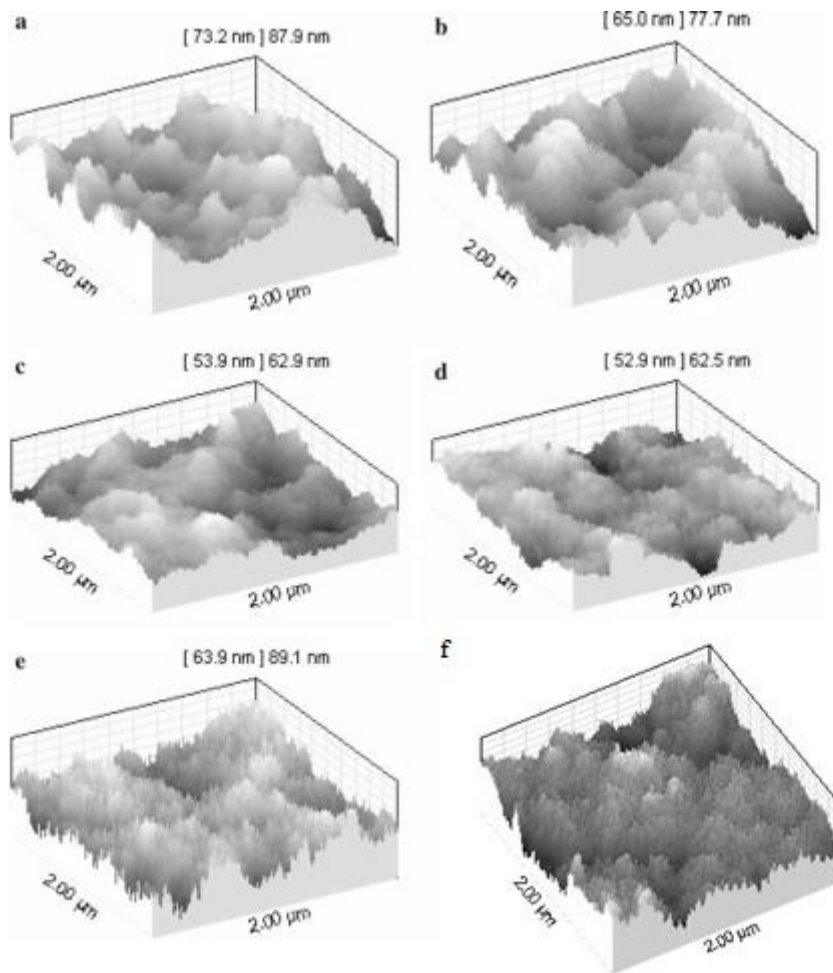
آماده‌سازی شده به روش کرونا تنها در بیشترین فرکانس و بلافاصله پس از انجام آماده‌سازی چسبندگی ۱۰۰٪ را دارا هستند و در بقیه شرایط و پس از گذشت زمان از آماده‌سازی نمونه‌ها چسبندگی کامل حاصل نمی‌گردد. نتایج حاصل از آزمون کشش سطحی نمونه‌های آماده‌سازی شده به روش پلاسما و کرونا نیز (جدول ۱) این مطالب را تایید می‌کند که میزان کشش سطحی مطلوب برای اعمال مرکب تنها در نمونه‌های آماده‌سازی شده به روش پلاسما قابل دستیابی می‌باشد [۱۸].

جدول ۱: انرژی سطحی پلی‌اتیلن سبک آماده‌سازی شده به روش کرونا و پلاسما.

کرونا	پلاسما				LDPE0200	نوع آماده‌سازی
	دی‌اکسید کربن	نیتروژن	اکسیژن	آرگن		
۳۸	۴۶٫۷	۵۰٫۶	۴۸٫۷	۴۹٫۷	۲۸٫۴	انرژی سطحی (m.J.m ⁻²)

a: LDPE0200 b: O₂ c: Ar d: N₂ e: CO₂ f: Corona

شکل ۵: تصاویر SEM پلی‌اتیلن سبک آماده‌سازی شده با پلاسمای گازهای آرگن، اکسیژن، نیتروژن و دی‌اکسید کربن و کرونا در بیشترین فرکانس.



a: LDPE0200 b: O₂ c: Ar d: N₂ e: CO₂ f: Corona

شکل ۶: تصاویر AFM پلی‌اتیلن سبک آماده‌سازی شده با پلاسمای گازهای آرگن، اکسیژن، نیتروژن و دی‌اکسید کربن و کرونا در بیشترین فرکانس.

دامنه تغییراتی که توسط گاز آرگن ایجاد می‌گردد بیشتر از بقیه گازها است. در آماده‌سازی به روش کرونا در بیشترین جریان با وجود آنکه زاویه تماس مطلوب برای چسبندگی حاصل شده است ولی میزان آن بسیار کمتر از نتایج پلاسما حتی پس از گذشت زمان و پیرشدگی است. با توجه به این نکته که پس از گذشت زمان کوتاهی آماده‌سازی صورت گرفته از دست می‌رود، می‌توان گفت آماده‌سازی به روش کرونا در مقابل روش پلاسما نمی‌تواند روشی کارآمد باشد زیرا اعمال مرکب در آن باید بلافاصله پس از انجام آماده‌سازی صورت گیرد تا کیفیت آماده‌سازی افت پیدا نکند. آزمون چسبندگی نیز این مطلب را تأیید می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

یکی از روش‌های متداول در صنعت چاپ برای بهبود چسبندگی و آماده‌سازی زمینه‌ای پلیمری برای چاپ استفاده از روش کرونا است درحالی که امروزه از روش متداول تر پلاسما نیز استفاده می‌شود. در این بررسی به مقایسه این دو روش پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهند که آماده‌سازی به روش پلاسما صرف‌نظر از نوع گاز مورد استفاده، حتی در زمان‌ها و قدرت‌های تخلیه کم نیز بسیار مؤثر بوده و باعث بهبود چسبندگی به میزان زیادی می‌گردد. میزان تغییرات زاویه تماس برای گازهای آرگن، اکسیژن، نیتروژن و دی‌اکسید کربن به ترتیب ۲۹،۸، ۱۶،۶، ۹ و ۴،۴ می‌باشد. به این ترتیب می‌توان گفت

۵- مراجع

1. C. M. Chan, Polymer Surface Modification and Characterization, Hansel, New York. 1994, 154-186.
2. A. L. Brody, K.S. Marsh, The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology, John Wiley & Sons. Inc., New York. 1997, 224-230.
3. A. J. Kinloch, Adhesion and Adhesive Science and Technology, Chapman and Hall, London. 1990, 25-45.
4. C. Vasile, Hand book of polyolefins, CRC Press, New York. 2000, 59-84.
5. E. W. Garnish, G. G.Haskines, Aspects of Adhesion, University of London Press, London. 1980, 14-20.
6. Standard test methods for Wetting Tension of Polyethylene and Polypropylene film, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, 08.02, D2578 – 04, 2005.
7. D. A. Markgraf, Corona Treatment: An Overview, Senior Vice President Enercon Industries Corporation, Mar. 8, 2007.
8. D. Zhang, Q. Sun, L. Wadsworth, Corona Treatment of Polyolefin Films—A Review, Textiles and Nonwovens, Development Center, the University of Tennessee, Knoxville, Tennessee 37996, 1999.
9. J. W. Maxwell, The Effect of Time and Contact on Corona Treated Surfaces, Enercon Industries Corporation, Dec. 5, 2010.
10. R. D'agostino, P. Favia, F. F. Racassi, Plasma Processing of Polymers, Springer Netherlands. 1997, 219-225.
11. A. Bittencourt, Fundamentals of Plasma Physics, Springer Science & Business Media, New York. 2004, 156-167.
12. J. G. A. Terlingen, Introduction of functional groups at polymer surfaces by Glow discharge techniques, https://books.google.com/books?id=F_xBGwAACAAJ1993, 1993, Chapter 2.
13. V. Bucher, Trends and Innovations in Surface Modification Using Plasma Technology, Plasma Electronic GmbH, D-Neuenburg. 2006, 11-65.
۱۴. ع. مودن، م.ر. کلایی، م. خراسانی، اثر نانوسیلیکا در افزایش چسبندگی چسب های فشار حساس اکریلیکی بر روی سطح پلی پروپیلن آمایش شده با روش پلاسما در نقطه بهینه، نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ، ۱۰(۱۳۹۵)، ۷۹-۸۷.
15. K. L. Mittal, Polymer surface modification: relevance to adhesion, CRC Press, 2007, 48-56.
16. M. Ataefard, S. Moradian, M. Mirabedini, M. Ebrahimi, Surface properties of low density polyethylene upon low-temperature plasma treatment with various gases. *Plasma Chem. Plasma P.* 28(2008), 377-390.
17. M. Ataefard, S. Moradian, M. Mirabedini, Investigating the effect of power/time in the wettability of Ar and O₂ gas plasma, *Prog. Org. Coat.* 64(2009), 482-488.
18. M. Karami, M. Khatibzadeh, R. Ghaffarian, Anbaran, A. Abbasi, Resistance properties of printed polyolefin films using water-based inks. *Prog. Color Colorants Coat.* 8(2015), 207-217.
۱۹. س. قدرتی، س. م. محسنی، س. گرجی کندی، رابطه چسبندگی پوشش و بعد فرکتالی سطح، نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۲(۱۳۹۴)، ۱۷-۳.