اثر عملیات تیمار پلاسمای سرد بر روی رنگ پذیری ورق‌های پلی‌اتیلن با گریدهای متفاوت

سینا جواهری محترم[1]، نوید رمضانیان*[2]، مجتبی محمدی[3]

۱- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه شیمی
sina.javahery@gmail.com

۲- مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه شیمی
ramezanian@um.ac.ir

۳- مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه فیزیک
phy.mojtaba.mohammadi@gmail.com

چکیده

پلیمرهای غیرقطبی همچون پلی‌اتیلن (PE) قابلیت رنگ پذیری بسیار پایینی دارند در نتیجه با وجود هزینه پایین ساخت و خواص مناسبی که دارند اما در زمینه‌هایی که باید رنگ آمیزی شوند غیرقابل استفاده هستند. بدین سبب رنگ-پذیری ورق‌های پلی‌اتیلن در سه گرید LD، LLD و HD ابتدا با اعمال رنگ آکریلیک ترموست و سپس، پس از انجام عملیات تیمار پلاسمای سرد در دو نوع اتمسفریک و با گاز آرگون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده پس از انجام آزمون چسبندگی روی نمونه‌هایی بر روی آن‌ها عملیات تیمار پلاسمای سرد انجام شده بود افزایش چشم گیری در خاصیت رنگ پذیری این ورق‌ها نشان میداد. در نتیجه عملیات تیمار پلاسمای سرد می تواند به علت صرفه اقتصادی بالا و سهولت انجام، پتانسیل تبدیل شدن به روشی پرکاربرد در مقیاس صنعتی جهت افزایش خاصیت رنگ پذیری در ورق‌های پلی‌اتیلن با گریدهای متفاوت را داشته باشد.

واژگان کلیدي

پلی‌اتیلن، عملیات تیمار پلاسمای سرد، پلاسما گاز آرگون، پلاسمای اتمسفریک،رنگ پذیری، پلیمر غیرقطبی، رنگ آکریلیک ترموست

مقدمه

پلاسمای سرد فشار اتمسفری (CAPP)، یک پلاسمای غیر تعادل حرارتی در شرایط فشار اتمسفر را تولید می‌کندکه نیاز به سیستم‌های خلاء را در فرآیند تولید و تیمار پلاسما برطرف می‌کند [۱، ۲]. در برخی از سیستم های CAPP، پلاسما را می توان از یک منبع راه دور تولید کرد و با استفاده از شار گاز از طریق یک نازل به بیرون راند [۳]. مزیت اصلی این سیستم‌ها انعطاف پذیری تیمار با پلاسما است، زیرا نیاز به قرار دادن نمونه در محیط خلاء برطرف می‌شود و این اجازه را می‌دهد تا طیف گسترده ای از مواد را که ممکن است به خلاء، یا حرارت و یا هر دو حساس باشند، تیمار کنند. پس از تماس با یک ماده، گونه‌های پلاسمایی تولید شده می‌توانند با سطح واکنش دهند و باعث تغییراتی در خواص سطح شوند [٤]. از آنجایی که تخلیه تولید شده دارای دمای نسبتاً پایینی است، تغییر در سطح، عمدتاً توسط گونه های پلاسما ایجاد می شود. به همین دلیل، CAPP ها در اصلاح سطح مواد حساس به خلاء و حساس به حرارت مانند پلیمرها مفید هستند. درمان با پلاسمای سرد برای پلیمرها ایده آل است زیرا خواص سطح را می توان بدون تأثیر قابل توجهی بر خواص توده‌ای تغییر داد. علاوه بر این، عملیات سطحی با استفاده ازاین روش زمان فرآیند را کوتاه می کند و فرآیند را در مقایسه با فرآیندهای مبتنی بر روش های شیمیایی ارزان تر می‌کند و می‌توان تیمار سطح با پلاسما را برای کاربرد مورد نظر تنظیم کرد [٥، ٦]. یکی از این کاربردها تنظیم آب دوستی/آب گریز بودن سطح است. نمونه‌هایی از تیمار پلاسما برای این منظور شامل اصلاح بسترهای پلی‌کاپرولاکتون (PCL) با استفاده از مخلوط گازهای آرگون و اکسیژن [7] و تخلیه‌های آرگون و هلیوم [8] برای آبدوست‌تر کردن سطح است. آبگریزی نمونه‌های لاستیک [۹] و پلی (متیل متاکریلات) [۱۰] نیز با استفاده از عملیات سطحی مبتنی بر پلاسمای اتمسفری بهبود یافته است. همچنین تیمار پلاسمای سرد پارچه پنبه [۱۱] و پلی استر [۱۲] منجر به فعال شدن سطح می‌شود که در نتیجه آن چسبندگی جوهرها و رنگ‌ها را افزایش می‌دهد .پلی‌اتیلن یکی از پلیمرهای مورد استفاده در جهان است، زیرا ترکیب خوبی از استحکام، پایداری شیمیایی و انعطاف پذیری را ارائه می‌دهد. با این حال به دلیل انرژی آزاد سطح پایین آن به دلیل ساختار غیر قطبی آن، ترشوندگی و خاصیت چسبندگی ضعیفی دارد. این خاصیت منجر به مشکل در اعمال فیلم‌ها و پوشش‌ها، مانند رنگ بر روی سطح PE می‌شود- [۱۳-۱٦]. برای رفع چسبندگی ضعیف PE، تیمارهای سطحی مختلف (مکانیکی، شیمیایی، اشعه ماوراء بنفش/ازون، پلاسما و غیره) را می‌توان برای پرایم کردن سطح قبل از اعمال یک پوشش یا فیلم انجام داد[۱۷]. اعمال پلاسما از آنجایی که امکان اصلاح سطح را بدون تأثیر مخربی بر خواص توده‌ای مواد ایجاد می‌کند، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که هم تیمار پلاسما با فشار کم [۱۳، ۱۸] و فشار اتمسفر [۱۹، ۲۰] در اصلاح سطح پلی‌اتیلن مؤثر بوده است. در این پژوهش تاثیر پلاسمای سرد اتمسفری و گاز آرگون بر روی رنگ‌پذیری سه گرید دانسیته بالا، دانسیته پایین و دانسیته پایین خطی پلی‌اتیلن در زمان‌های مختلف تیمار پلاسما مورد بررسی قرار گرفته است.

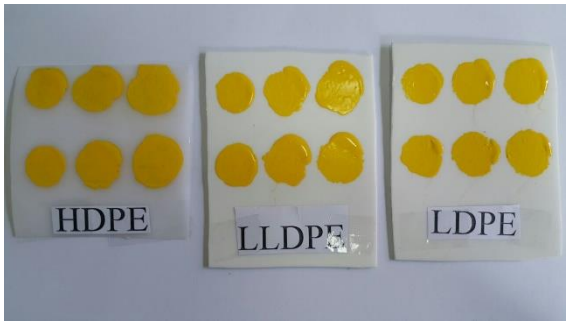
کارهای انجام شده و نتایج

گرانول پلی‌اتیلن در سه گرید دانسیته بالا، دانسیته پایین و دانسیته پایین خطی (به ترتیب HD، LD و LLD) از پتروشیمی امیرکبیر تهیه شد. مشخصات تجاری آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات تجاری دانه‌های پلیمری پلی‌اتیلن

مدل تجاری	پلیمر
EX5	HDPE
2420D	LDPE
LL0209AA	LLDPE

گریدهای متفاوت به وسیله قالب در اندازه‌های 10cm*10cm*2mm در دمای 135°C در زیر پرس ۸۰ تنی به ورق‌های پلی‌اتیلن تبدیل شد. ۳ عدد از این ورق‌ها (۱ عدد از هر گرید) با استفاده از رنگ آکریلیک ترموست در ۶ ناحیه رنگ زده شد (شکل۱).

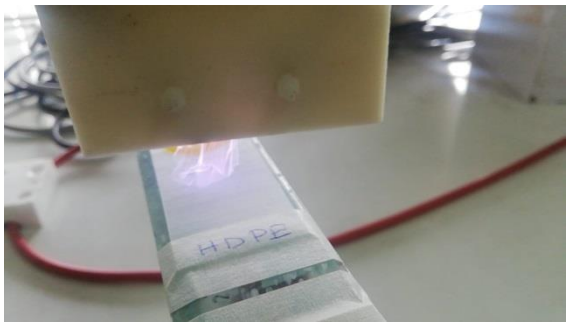


شکل ۱- رنگ شدن ۳ گرید متفاوت پلی‌اتیلن

ورق‌های رنگ شده به مدت ۷ روز در مکانی به دور از رطوبت و در دمای محیط نگهداری شدند. پس از این مدت واضح بود که رنگ‌ها به راحتی از سطح ورق‌ها جدا می شوند. اگرچه ورق با گرید LD از خود پتانسیل بیشتری برای رنگ پذیری نشان داد (شکل ۲).

شکل ۲- جدا شدن رنگ از سطح ورق پلی‌اتیلن

در مرحله بعد ورق‌ها به ٤ دسته الف، ب، ج و د تقسیم شدند. بر روی ورق‌های الف و ب عملیات تیمار پلاسمای سرد با گاز آرگون و بر روی ورق‌های ج و د عملیات تیمار پلاسمای سرد اتمسفری توسط دستگاه مولد پلاسمای سرد مدل PG501 ساخت شرکت نانو تجهیز نگر آروین انجام شد (شکل ۳).



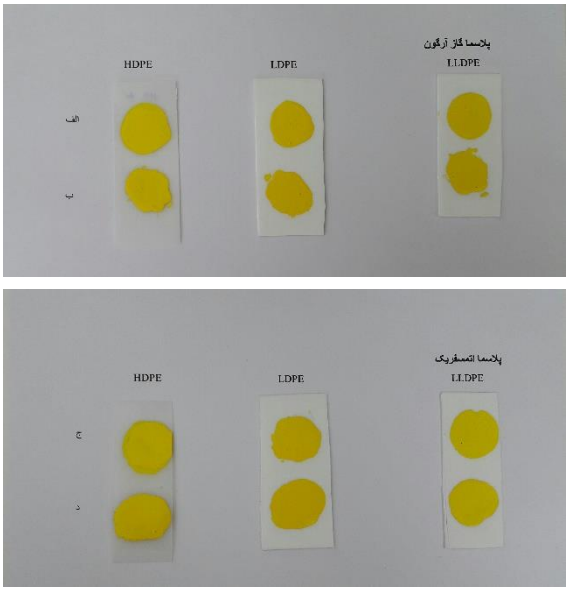
شکل ۳- انجام عملیات تیمار پلاسمای سرد بر روی ورق پلی‌اتیلن

اطلاعات مدت زمان عملیات، جریان و ولتاژ در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- اطلاعات عملیات تیمار پلاسمای سرد بر روی ورق‌های پلی‌اتیلن

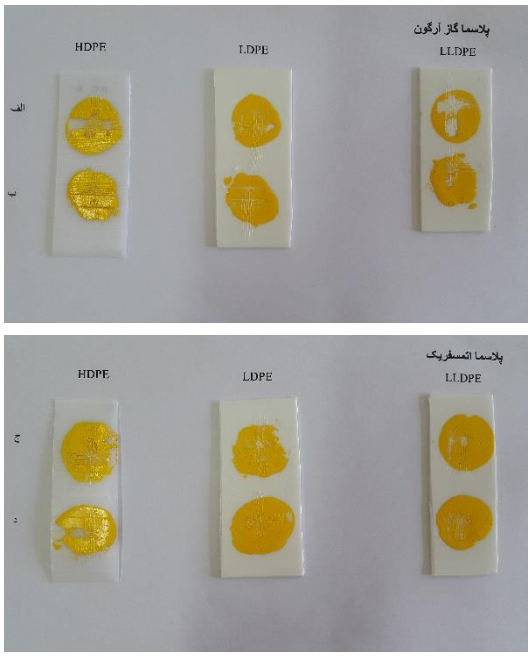
مدت زمان عملیات (min)	جریان (mA)	ولتاژ (kV)	نوع عملیات تیمار پلاسمای سرد	نمونه
۱	۵۰	۲۰	گاز آرگون	الف
۳	۵۰	۲۰	گاز آرگون	ب
۱	٤٦,٥	۱۷,٥	اتمسفریک	ج
۲	٤٦,٥	۱۷,٥	اتمسفریک	د

بلافاصله پس از انجام عملیات تیمار پلاسمای سرد رنگ آکریلیک ترموست بر روی ورق‌ها اعمال گردید (شکل ٤).



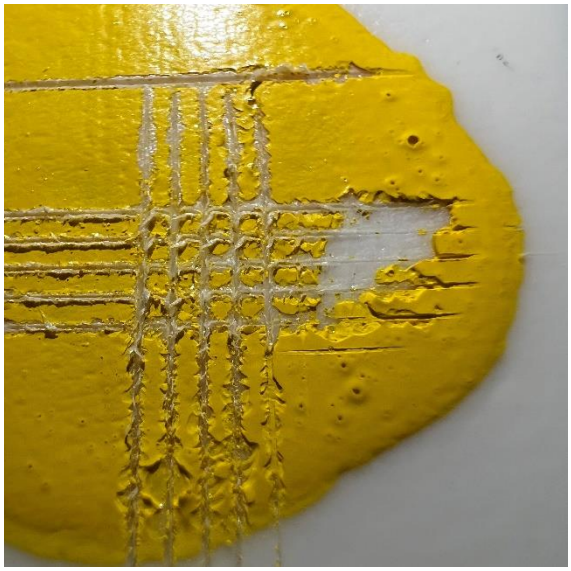
شکل ٤-رنگ شدن ورق‌های پلی‌اتیلن در ۳ گرید متفاوت پس از عملیات تیمار پلاسمای سرد با گاز آرگون و پلاسما اتمسفریک

پس از مدت ۷ روز نگهداری ورق‌ها در مکانی به دور از رطوبت و در دمای محیط واضح بود که رنگ پذیری ورق‌ها نسبت به حالت پیشین به شکل چشمگیری بالاتر رفته است. در نتیجه آزمون چسبندگی بر روی ورق‌ها در آزمایشگاه شیمی پلیمر انجام شد (شکل ۵).

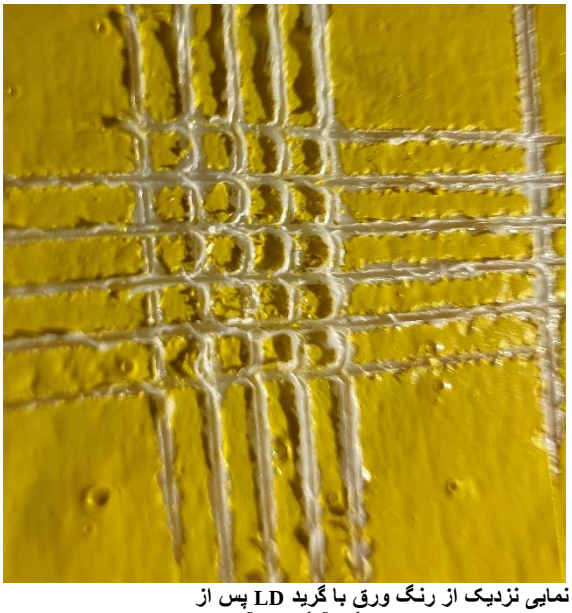


شکل ۵-ورق‌های پلی‌اتیلن پس از انجام آزمون کراس کات

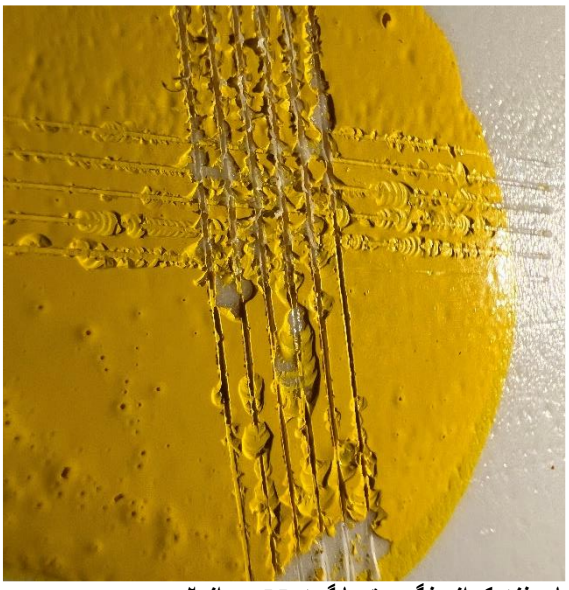
نمایی نزدیک از رنگ‌ها پس از انجام آزمون چسبندگی در شکل‌های زیر آمده است.



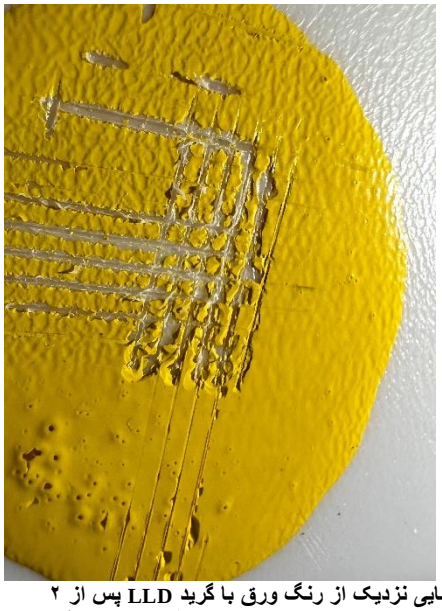
شکل۶- نمایی نزدیک از رنگ ورق با گرید LD پس از ۱ دقیقه عملیات تیمار پلاسمای سرد با گاز آرگون و آزمون چسبندگی



شکل۷- نمایی نزدیک از رنگ ورق با گرید LD پس از ۲دقیقه عملیات تیمار پلاسمای سرد با گاز آرگون و آزمون چسبندگی



شکل۸- نمایی نزدیک از رنگ ورق با گرید LD پس از ۲ دقیقه عملیات تیمار پلاسمای سرد اتمسفریک و آزمون چسبندگی



شکل۹- نمایی نزدیک از رنگ ورق با گرید LLD پس از ۲ دقیقه عملیات تیمار پلاسمای سرد اتمسفریک و آزمون چسبندگی

نتایج آزمون نشان داد که رنگ دارای بالاترین استاندارد موجود آزمون چسبندگی (5B) می باشد وعملیات تیمار پلاسمای سرد تاثیر چشم گیری بر روی رنگ پذیری ورق‌های پلی‌اتیلن در گریدهای متفاوت داشته است.

نتیجه‌گیری

انجام عملیات تیمار پلاسمای سرد بر روی ورق‌های پلی‌اتیلن با گریدهای HD، LD و LLD توانست باعث افزایش چشم‌گیر در رنگ‌پذیری این ورق‌ها شود. افزایش زمان عملیات تیمار پلاسمای سرد رابطه مستقیمی با بالا رفتن خاصیت رنگ پذیری داشت. نتایج عملیات تیمار پلاسمای سرد با گاز آرگون و عملیات تیمار پلاسمای سرد اتمسفریک تفاوت زیادی را از خود نشان نمی داد. به طوری کلی ورق‌های پلی‌اتیلن با گرید LD خاصیت رنگ پذیری بیشتری نسبت به سایر گریدهای HD و LLD دارا بود.

منابع

[1] Cagomoc C M D, De Leon M J D, Ebuen A S M, Gilos M N R and Vasquez M R 2018 RF plasma cleaning of silicon substrates with high-density polyethylene contamination Jpn. J. Appl. Phys. 57 01AB04

[2] Valerio J K C, Nakajima H and Vasquez M R 2019 Grafting of acrylic acid onto microwave plasma-treated polytetrafluoroethylene(PTFE) substrates Jpn. J. Appl. Phys. 58 SAAC02

[3] Fanelli F and Fracassi F 2017 Atmospheric pressure non-equilibrium plasma jet technology: general features, specificities andapplications in surface processing of materials Surf. Coatings Technol. 322 174–201

[4] Carrino L, Moroni G and Polini W 2002 Cold plasma treatment of polypropylene surface: a study on wettability and adhesion J. Mater.Process. Technol. 121 373–82

[5] Salapare H S, Blantocas G Q, Noguera V R and Ramos H J 2008 Low-energy hydrogen ion shower (LEHIS) treatment ofpolytetrafluoroethylene (PTFE) materials Appl. Surf. Sci. 255 2951–7

[6] Lao T L B, Cordura S L A, Diaz L J L and Vasquez M R 2020 Influence of plasma treatment on the dissolution of cellulose in lithiumchloride–dimethylacetamide Cellulose. 27 9801–11

[7] De Geyter N and Morent R 2014 Cold plasma surface modification of biodegradable polymer Biomaterials for Bone Regeneration:Novel Techniques and Applications (Cambridge: Woodhead Publishing Limited) 9780857098108 (https://doi.org/10.1533/9780857098104.2.202)

[8] Wang L, Zheng Y, Wu C and Jia S 2016 Experimental investigation of photoresist etching by kHz AC atmospheric pressure plasma jetAppl. Surf. Sci. 385 191–8

[9] Chang S H, Liou J S, Liu J L, Chiu Y F, Xu C H, Chen B Y and Chen J Z 2016 Feasibility study of surface-modified carbon clothelectrodes using atmospheric pressure plasma jets for microbial fuel cells J. Power Sources 336 99–106

[10] Wang R, Zhang C, Liu X, Xie Q, Yan P and Shao T 2015 Microsecond pulse driven Ar/CF4plasma jet for polymethylmethacrylatesurface modification at atmospheric pressure Appl. Surf. Sci. 328 509–15

[11] Kan C W, Yuen C W M and Tsoi W Y 2011 Using atmospheric pressure plasma for enhancing the deposition of printing paste on cottonfabric for digital ink-jet printing Cellulose. 18 827–39

[12] Zhang C, Zhao M, Wang L, Qu L and Men Y 2017 Surface modification of polyester fabrics by atmospheric-pressure air/He plasma for color strength and adhesion enhancement Appl. Surf. Sci. 400 304–11

[13] Drnovská H, Lapčík L, Buršíková V, Zemek J and Barros-Timmons A M 2003 Surface properties of polyethylene after low-temperatureplasma treatment Colloid. Polym. Sci. 281 1025–33

[14] Guruvenket S, Rao G M, Komath M and Raichur A M 2004 Plasma surface modification of polystyrene and polyethylene Appl. Surf. Sci.236 278–84

[15] Meemusaw M and Magaraphan R 2016 Surface and bulk properties improvement of HDPE by a batch plasma treatment J. Appl. Polym.Sci. 133 1–14

[16] Yao Y, Liu X and Zhu Y 1993 Surface modification of high-density polyethylene by plasma treatment J. Adhes. Sci. Technol. 7 63–75

[17] Hamdi M, Saleh M N and Poulis J A 2020 Improving the adhesion strength of polymers: effect of surface treatments J. Adhes. Sci. Technol. 34 1853–70

[18] Švorčík V, Kotál V, Slepička P, Bláhová O, Špírková M, Sajdl P and Hnatowicz V 2006 Modification of surface properties ofpolyethylene by Ar plasma discharge Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms. 244 365–72

[19] Yáñez-Pacios A J and Martín-Martínez J M 2017 Surface modification and improved adhesion of wood-plastic composites (WPCs)made with different polymers by treatment with atmospheric pressure rotating plasma jet Int. J. Adhes. Adhes. 77 204–13

[20] Bozaci E, Sever K, Sarikanat M, Seki Y, DemirA, Ozdogan E and Tavman I 2013 Effects of the atmospheric plasma treatments onsurface and mechanical properties of flax fiber and adhesion between fiber-matrix for composite materials Compos. Part B Eng. 45565–72