

# تولید آزمایشگاهی الیاف شب تاب پلی پروپیلن با استفاده از رنگدانه‌های فسفرسانی حین فرایند مذاب‌ریسی

## Melt Spinning of Photoluminescent Polypropylene Fibers Using Phosphorescent Pigments

فاطمه اقبالی<sup>۱</sup>، مهدیه اسلامی<sup>۱</sup>، محمدعلی توانایی<sup>۱\*</sup>، مهدی صفی<sup>۲</sup>، امیر مسعود اعرابی<sup>۲</sup>، پدرام پیوندی<sup>۱</sup>

۱- یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵  
تهران، مؤسسه علوم و فناوری رنگ و پوشش، کدپستی ۱۶۶۸۸۱۱۴۸:  
۲- پژوهشکده فیزیک رنگ، ۳- پژوهشکده مواد رنگزا

### چکیده

استفاده از رنگدانه‌های فسفرسانی برای مصارفی مانند پوشاک حفاظتی و ایجاد طرح‌های راهنما همواره مورد توجه است. در گذشته استفاده از این رنگدانه‌ها در منسوجات به شکل رنگرزی و چاپ انجام می‌شد که دارای معایبی از قبیل تولید پساب زیاد و نامحلول در آب و مدت زمان طولانی فرایند بود. تولید الیاف مصنوعی شب‌تاب هنگام مذاب‌ریسی می‌تواند این معایب را برطرف کند. در این پژوهش، برای تولید الیاف پلی پروپیلن شب‌تاب، مقادیر مختلف رنگدانه فسفرسانی پیش از فرایند مذاب‌ریسی به مواد اولیه افزوده شد. سپس، الیاف نوریس تولید شد و برای رسیدن به آرایش‌یافتگی کامل زنجیرهای مولکولی در عملیات کشش قرار گرفت. دوروش افزودن رنگدانه فسفرسانی شامل (۱) اختلاط مستقیم گرانول و رنگدانه فسفرسانی و (۲) تهیه مستریج و اختلاط آن با گرانول بررسی شد. آزمون‌های طیف‌نورسنجی، نورسنجی (ارزیابی زمان پس‌تابش) و کششی (اندازه‌گیری استحکام و ازدیاد طول تا پارگی) روی نمونه‌ها انجام شد. با توجه به نتایج ملاحظه شد، با افزایش درصد رنگدانه فسفرسانی در بستر الیاف پلی پروپیلن تا ۱۰٪ رنگرزی فسفرسانی باعث افزایش مقدار پس‌تابش و خلوص رنگ نمونه‌ها شده است. همچنین، خواص مکانیکی این الیاف کاهش یافته است. اما، انتخاب مقدار بهینه رنگدانه فسفرسانی و اعمال کشش به الیاف نوریس، باعث افزایش مقدار بازتاب و روشنایی در الیاف کشیده شده می‌شود.

### مقدمه

فسفرسانس پدیده نورتایی است که در آن زوال صدور نور در زمانی بیش از ۱۰s-۸ اتفراق می‌افتد. برای مواد شیمیایی فسفرسانس به مفهوم صدور فوتون با انتقال از حالت تهییج‌یافته سه‌گانه به سطح پایه است [۱]. مواد فسفرسانی می‌توانند با تهییج کوتاه‌مدت بازتاب طولانی داشته باشند [۲].

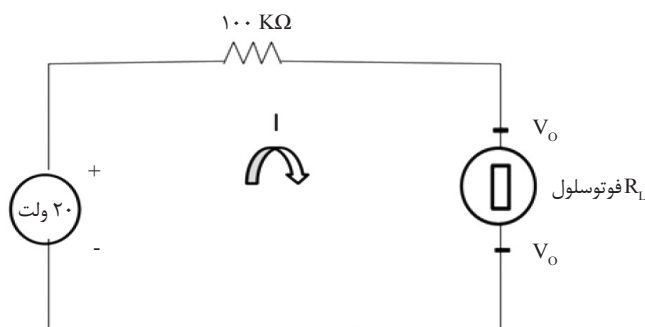
به‌تازگی استفاده از رنگدانه فلورئورسانی و فسفرسانی در بررسی‌های بیوشیمی و تشخیص پزشکی به‌عنوان موفقیتی بزرگ شناخته شده است. همچنین از این رنگدانه در ساخت لیزرها، سلول‌های فوتوالکتریک و باتری‌های خورشیدی استفاده شده است. همچنین،

### کلمات کلیدی

فسفرسان،  
مذاب‌ریسی،  
پس‌تاب،  
مستریج،  
الیاف پلی پروپیلن

رنگدانه فلورئورسانی در رنگ کردن پلاستیک‌ها استفاده می‌شوند. جوهرهای پایه حلالی، برای چاپ بسته‌بندی، در واکس‌ها و پولیش‌ها، تشخیص نقص در فلزات، شیشه، سرامیک و پلاستیک‌ها استفاده می‌شوند [۳]. در زمینه نساجی استفاده از رنگدانه فلورئورسانی به وسیله روش‌های رنگرزی الیاف مصنوعی به‌ویژه الیاف پلی‌استر، پلی‌امید و آکریلی انجام می‌شود. براساس مطالعات انجام شده، در صنعت نساجی، استفاده از این مواد رنگزا برای مصارفی از قبیل پوشاک محافظتی و تزئینی و منسوجات خانگی مورد توجه است. رنگرزی الیاف هم‌زمان با تولید نسبت به روش‌های رنگرزی و چاپ اقتصادی‌تر بوده و از نظر محیط زیستی نیز مطلوب‌تر است (چون آب و فاضلاب حذف

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: ma.tavanaie@yazd.ac.ir



شکل ۱- مدار طراحی و ساخته شده برای نورسنجی.

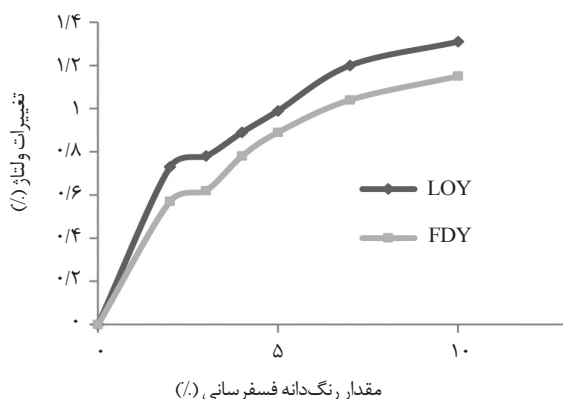
طول نهایی مدنظر است.

### آزمون‌ها

آزمون‌های ارزیابی نورسنجی، مکانیکی و طیف‌نورسنجی روی نمونه‌های نوریس و کشیده شده انجام و مقایسه شد. برای انجام آزمون‌های نوری و طیف‌نورسنجی نمونه‌ها پیش از انجام آزمون در شرایطی یکسان، به مدت ۲ h در معرض نور مستقیم خورشید قرار گرفتند. برای انجام آزمون نورسنجی از عنصر فوتوسل (حساس به نور) در یک مدار مقاومتی برای تقویت عملکرد فوتوسل و با منبع تغذیه ۲۰ ولتی استفاده شد (شکل ۱).

ولتاژ خروجی از ولت‌سنج به مدت ۲ h خوانده شد و نمودار ولتاژ-زمان برای مقایسه مقدار پس تاب نمونه‌ها رسم شد و در نهایت نمودار تغییرات درصد ولتاژ بر حسب تغییر درصد رنگدانه در نمونه‌ها رسم و بررسی شد [۷].

برای بررسی پارامترهای طیف‌نورسنجی از دستگاه طیف‌نورسنج X-rite استفاده شد و پارامتر  $C^*$  (خلوص) با استفاده از نتایج Lab حاصل محاسبه و گزارش شد. برای ارزیابی‌های مکانیکی از دستگاه استحکام‌سنج Elima استفاده شد و پارامترهای استحکام و درصد ازدیاد طول تا پارگی مطالعه شد.



شکل ۲- تغییرات درصد ولتاژ با افزایش درصد رنگدانه فسفرسانی در نمونه‌های حاصل از اختلاط مستقیم پودر رنگدانه و گرانول.

شده است). بسته به ماهیت بستر و برای نیازهای خاص می‌توان از رنگرزی جرمی استفاده کرد [۴]. این مواد می‌تواند با قالب‌ریزی و غوطه‌وری پوشش داده شود، اکستروژن شده یا از روش‌های دیگر به پودرهای درخشان آغشته شود. معمولاً از مستریچ یا ترکیبات برای آمیختن شب‌تابی (photoluminescent) به پلاستیک‌ها استفاده می‌شود، زیرا رنگدانه ماده‌ای بسیار سخت است و ذرات کوچک لبه تیز دارند و آمیختن آن‌ها به‌طور مستقیم با رزین سخت است [۵].

در این پژوهش تولید الیاف پلی پروپیلن با رنگدانه فسفرسانی حین مذاب‌ریسی بررسی شد و سپس آزمون نورسنجی (ارزیابی پس تابش)، خواص مکانیکی و خواص طیف‌نورسنجی نمونه‌ها بررسی شد.

### تجربی

#### مواد

از گرانول پلی پروپیلن تک‌آرایش (isotactic-PP) با نام تجاری P512 تولید شرکت Sabic عربستان با شاخص گرانروی مذاب (MFI) ۲۵ g/10min برای تولید الیاف استفاده شد. رنگدانه فسفرسانی استرانسیسیم آلومینات (فسفر تجاری)  $SrAl_2O_4:Eu^{2+}, Dy^{3+}$  به روش آزمایشگاهی سنتز شده و مدت پس تابش در این نمونه حدود ۱۵ h است که تا ۱۰ h اول از شدت مطلوبی برخوردار است. این ماده در ناحیه ۲۰۰ nm تا ۴۵۰ nm تابش می‌کند.

#### روش‌ها

##### تولید نمونه‌ها

نمونه‌های بررسی شده در این پژوهش شامل الیاف پلی پروپیلن خالص (نمونه شاهد) و الیاف پلی پروپیلن حاوی مقادیر ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۱۰ درصد از رنگدانه فسفرسانی (براساس مطالعات مشابه [۶]) است که با اختلاط مستقیم و از راه مذاب‌ریسی تولید شده است. دمای مذاب‌ریسی با توجه به دمای ذوب پلی پروپیلن  $180^\circ C$  پایه در نظر گرفته شد و شرایط مناسب تولید الیاف LOY تنظیم شد. روش دیگری که برای اختلاط بهتر رنگدانه فسفرسانی و گرانول و توزیع یکنواخت‌تر رنگدانه در الیاف در نظر گرفته شد، تهیه مستریچ ۱۰٪ با مخلوط‌کن داخلی Brabender بود. مذاب حاصل از اختلاط گرانول و رنگدانه پس از سرد شدن با آسیاب صنعتی به ابعاد تقریبی گرانول پلی پروپیلن خرد شده و سپس سایر نمونه‌های الیاف با درصدهای کمتر رنگدانه نیز از اختلاط درصد مورد نیاز از مستریچ با گرانول پلی پروپیلن تولید شد. آزمون‌های مدنظر برای این دسته از الیاف نیز به‌طور کامل تکرار شد تا با مقایسه نتایج اثر این روش بررسی شود. الیاف نوریس پس از اعمال نسبت کشش مناسب (مطابق معادله ۱) برای هر دسته، به الیاف FDY تبدیل شدند.

$$(1) \quad \text{نسبت کشش} = \frac{(1+E_{bu}/100)}{(1+E_{bd}/100)}$$

$E_{bu}$  از دیاد طول اولیه نمونه‌ها پیش از اعمال نسبت کشش و  $E_{bd}$  از دیاد

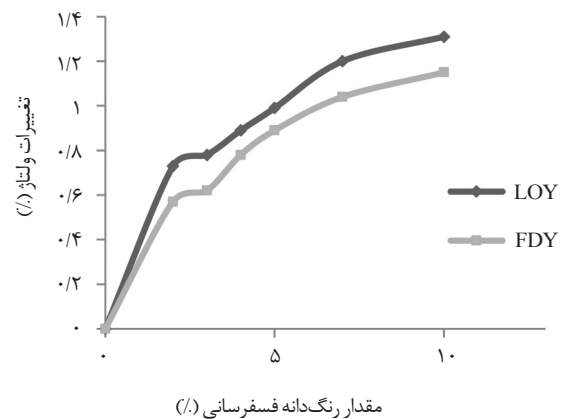
جدول ۱- مقادیر C\* الیاف نوریس و کشیده شده PP (پس از 80 min از حذف منبع نور).

روش				غلظت رنگدانه فسفرسانی
مستریج		مستقیم		
FDY	LOY	FDY	LOY	
۱/۴۱	۱/۰۲	۱/۴۴	۱/۰۲	۰
-	-	۱/۶۳	۱/۱۷	۲
۱/۲۸	۱/۰۳	۱/۷۱	۱/۳۴	۳
۱/۵۳	۱/۵۷	۱/۹۶	۱/۵۶	۴
۱/۸۳	۱/۶۷	۱/۹۸	۱/۹۵	۵
۲/۰۹	۲/۳۶	۲/۰۳	۲/۲۱	۷
۲/۹۶	۲/۹۳	۲/۳۳	۲/۶۱	۱۰

همزمان با فرایند مذابریسی با گرانول اصلی و افزودن پودر رنگزا به طور مستقیم به داخل اکسترودر حین مذابریسی تفاوت فاحشی در نتایج ارزیابی های نورسنجی نداشته است.

در شکل های ۲ و ۳ مشخص است، الیاف کشیده شده نسبت به الیاف نوریس با درصد مشخص رنگدانه فسفرسانی، مقدار پس تابش بیشتری دارد که دلیل این موضوع را می توان کاهش قطر و افزایش آرایش یافتگی الیاف دانست. در الیاف کشیده شده با افزایش ظرافت، مقدار بیشتری از رنگدانه فسفرسانی در سطح لیف قرار گرفته که قادر به جذب نور بیشتر و در نهایت افزایش مقدار پس تابش است.

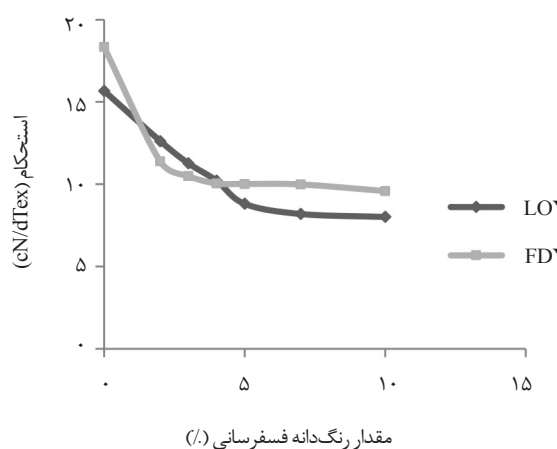
در جدول ۱ نتایج خلوص C\* الیاف PP نوریس و کشیده شده آمده است که به دو روش (۱) اختلاط مستقیم پودر رنگدانه فسفرسانی و (۲) اختلاط مستریج رنگدانه فسفرسانی تهیه شده بودند. براساس نتایج این جدول ملاحظه می شود، مقدار خلوص با افزایش درصد رنگدانه افزایش می یابد. از لحاظ نظری روند کلی تغییرات خلوص با افزایش رنگدانه، ابتدا افزایشی است که پس از رسیدن به مقداری بیشینه، به



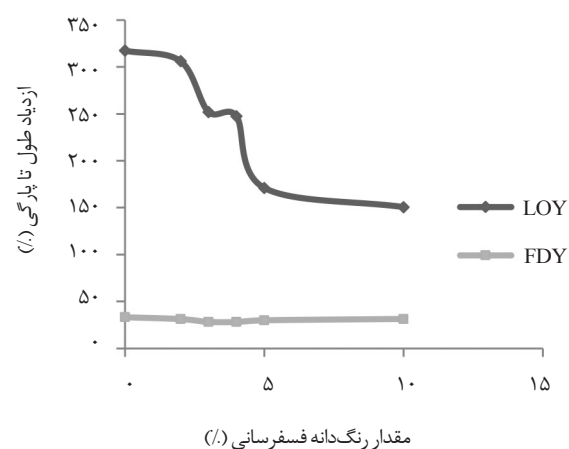
شکل ۳- تغییرات درصد ولتاژ با افزایش درصد رنگدانه فسفرسانی در نمونه های حاصل از اختلاط مستریج رنگزا و گرانول.

## نتایج و بحث

نمودار تغییرات درصد ولتاژ بر حسب تغییر درصد رنگدانه در نمونه ها، در شکل ۲ آمده است. بررسی نمودارهای ولتاژ-زمان برای آزمون نورسنجی نشان داد، با افزایش درصد رنگدانه، مقدار پس تابش اولیه بیشتر می شود. نتایج نورسنجی (مدت زمان پس تابش) نشان داد، مقدار پس تابش پس از چند دقیقه از حذف منبع نور، به حد تعادل می رسد که این حد تعادل پس تابش می تواند تا چند ساعت ادامه یابد (براساس ارزیابی های مکرر بصری). در درصد های بیشتر، زمان رسیدن به حد تعادل پس تابش نمونه، طولانی تر خواهد بود. مشاهده نمودار نشان می دهد، با افزایش درصد رنگدانه زمان و مقدار پس تابش نمونه ها افزایش می یابد. شکل ۳، نمودار تغییرات درصد ولتاژ بر حسب تغییر درصد رنگدانه را در نمونه های حاصل از اختلاط مستریج و گرانول نشان می دهد. با مقایسه شکل های ۲ و ۳ ملاحظه می شود، روش تهیه مستریج رنگدانه فسفرسانی و گرانول PP و اختلاط آن

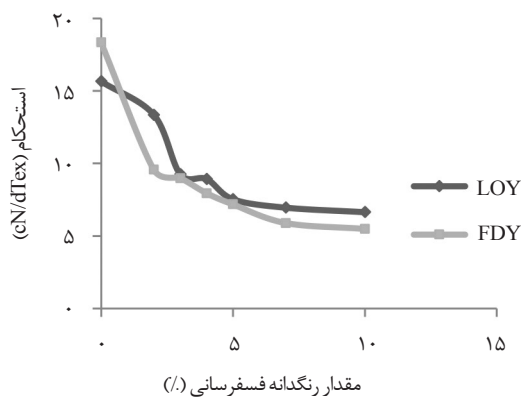


(ب)

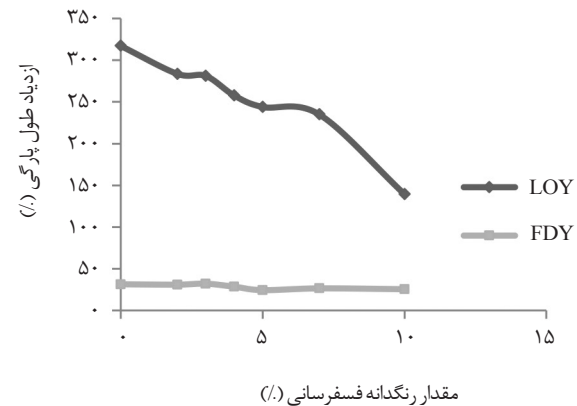


(الف)

شکل ۴- تغییرات خواص مکانیکی با افزایش درصد رنگدانه فسفرسانی (نمونه های حاصل از اختلاط مستقیم گرانول پلی پروپیلن و رنگدانه فسفرسانی): (الف) از دید طول تا پارگی و (ب) استحکام.



(ب)



(الف)

شکل ۵- تغییرات خواص مکانیکی با افزایش درصد رنگدانه فسفرسانی (نمونه‌های حاصل از اختلاط گرانول پلی پروپیلن و مستریج: (الف) از دید طول تا پارگی و (ب) استحکام.

بین زنجیرهای پلیمری است که آرایش یافتگی، استحکام و مدول را کاهش می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت، افزایش درصد رنگدانه فسفرسانی تا ۱۰٪ در بستر الیاف پلی پروپیلن باعث افزایش مقدار پس تابش و درخشندگی نمونه‌ها در تاریکی شده است. همچنین، استخراج پارامتر خلوص از داده‌های طیف نورسنجی نشان داد، خلوص نمونه‌ها روند افزایشی داشته و کاهش در خلوص مشاهده نشد، از طرفی بررسی خواص مکانیکی نشان می‌دهد، افزایش درصد رنگدانه فسفرسانی در بستر الیاف باعث کاهش خواص مکانیکی شده است. این نتایج نشان می‌دهد، در صورت استفاده از این رنگدانه در تولید الیاف باید به موارد مصرف کالای نهایی توجه شود و با توجه به نوع کاربرد و انتظاراتی که از خواص مکانیکی و نوری آن می‌رود، نقطه بهینه مصرف رنگدانه مشخص شود. اگر خواص مکانیکی الیاف کنترل شود، می‌توان درصد رنگدانه فسفرسانی را برای رسیدن به درخشندگی‌های بیشتر، افزایش داد. با مقایسه نتایج مربوط به مقدار پس تابش الیاف نورس و کشیده شده نیز می‌توان دریافت، اعمال کشش به الیاف نورس، باعث افزایش مقدار پس تابش و درخشندگی در محصول نهایی می‌شود.

### مراجع

- امیرشاهی ح، آگهیان ف، فیزیک رنگ محاسباتی، انتشارات ارکان دانش، ۱۳۸۶.
- Fluorescent Fiber Kit, [http://i-fiberoptics.com/pdf/12\\_0017-if\\_567.pdf](http://i-fiberoptics.com/pdf/12_0017-if_567.pdf), USA (Last visited November 2015).
- Distanov V.B., Berdanova V.F., Gurkalenko Y.A., and Prezhdo V.V., An alternative approach to the production of fluorescent colored fibres, *Dyes Pigments*, 48, 159-163, 2001.

4. Hamdaoui M., Lanouar A., and Halaoua S., Study of fluorescent dyeing process and influence of mixture dyes on high-visibility, *Eng. Fiber. Fabric.*, 10, 2015.
5. Glowing plastic, How to make glow in the dark plastic, [www.instamorph.com](http://www.instamorph.com) (Last visited at March 2015).
6. Yeh L., Phosphorescent directional signals and manufacturing method, *US Pat.*, 5,605-734,1997.
7. Phosphorescent Decay Lab, <http://depts.washington.edu> (Last visited Feb 2015).

# Melt Spinning of Photoluminescent Polypropylene Fibers Using Phosphorescent Pigments

Fatemeh Eghbali<sup>1</sup>, Mahdiyeh Eslami<sup>1</sup>, Mohamad Ali Tavanaei<sup>1\*</sup>, Mehdi Safi<sup>2</sup>, Amir Masoud Erabi<sup>3</sup>  
and Pedram Peyvandi<sup>1</sup>

1. Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd university, P. O. Box: 98195-741, Yazd, Iran

2. Faculty of Colorants, 3. Faculty of Color Physcis, Institute for Color Science and Technology, Postal Code: 16688114811,  
Tehran, Iran

## Abstract

Using phosphorescent pigments for protective clothes, and other guidance tools is considered in recent years. These pigments were being used in dyeing and printing processes in the past. Their most common issues were their high amount of wastewater pollution, insolubility in water, and long process time . Producing photoluminescent synthetic fibers by melt spinning is one method to tackle these issues. In this study, for producing the polypropylenen (PP) photoluminescent fibers, different amounts of phosphorescent pigment were added to PP before melt spinning. The as-spun fibers were then drawn to orient the fibers. Two different mixing methods were employed: (1) direct mixing the PP granules and phosphorescent pigment and (2) producing the phosphorescent pigment masterbatches and then mixing them with PP granules. The fiber samples were analyzed with reflectance spectrophotometer to measure their afterglow time and tensile tester to measure their tensile strength and elongation at break. It was observed that the afterglow time and color saturation increased with increasing the amount of phosphorescent pigments in the PP fiber matrix. On contrary, the mechanical properties of the fiber samples decreased with increasing the amount of phosphorescent pigments.

## Keywords

phosphorescent pigments,  
melt spinning,  
photoluminoscent,  
polypropylene fibers

(\*) Address Correspondence to M. A. Tavanaei, Email: ma.tavanaie@yazd.ac.ir