



استفاده از روش طراحی آزمایش مکعبی مخصوص به منظور دستیابی به مقادیر بهینه جذب ماده رنگزا در آمیزه پلی پروپیلن / پلی اتیلن ترفتالات

فرشته میرجلیلی^۱، سیامک مرادیان^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳

۲- استاد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۸ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۱۳ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

چکیده

در این پژوهش، نحوه تأثیر تغییرات محتوای پلی اتیلن ترفتالات (PET) و پلی پروپیلن پیوند شده با مالئیک انیدرید (PP-g-MA) به عنوان یک سازگارکننده در بستر پلی پروپیلن (PP)، بر قابلیت رنگ پذیری آمیزه سه تایی و با استفاده از روش طراحی آزمایش مکعبی مخصوص مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از طراحی آزمایش نشان داد که ترکیب درصد پلی اتیلن ترفتالات در آمیزه دارای یک محدوده بحرانی است. به گونه‌ای که افزودن پلی اتیلن ترفتالات بیش از آن نه تنها تغییری در قابلیت رنگ پذیری آمیزه ایجاد نمی‌کند، بلکه استحکام مکانیکی آن را کاهش می‌دهد. با بررسی بیشتر نتایج مشخص گردید که آمیزه‌ای که در آن محتوای پلی اتیلن ترفتالات و سازگارکننده به ترتیب در محدوده ۱۵-۱۰ و ۵-۴ درصد وزنی است، علاوه بر داشتن بالاترین مقادیر جذب ماده رنگزای دیسپرس از استحکام مکانیکی مطلوبی نیز برخوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پلی پروپیلن، پلی اتیلن ترفتالات، آمیزه پلیمری، قابلیت رنگ پذیری، طراحی آزمایش مکعبی مخصوص.

Using a Special Cubic Mixture Experimental Design to Achieve Optimal Disperse Dyeability of Polypropylene/Polyethylene Terephthalate Blend

F. Mirjalili, S. Moradian*

Department of Polymer Engineering and Color Technology, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran

Received: 29-08-2010

Accepted: 03-05-2011

Available online: 10-03-2012

Abstract

In this investigation, attempts were made to predict the effect of variations in composition of modified polypropylene (PP) with polyethylene terephthalate (PET) and a maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MA) as a compatibilizer on blend's disperse dyeability by means of a special cubic experimental design. The results showed that there seems to be a critical PET content, above which the blend's dye uptake stays constant and the mechanical properties of the blend begin to decrease. In addition, further analysis of the results indicated that PP/PET/PP-g-MA blends with 10-15 wt% PET and 4-5 wt% PP-g-MA gave maximal dye uptake as well as desirable mechanical properties. *J. Color Sci. Tech.* 5(2012), 263-272 © Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Polypropylene, Polyethylene terephthalate, Polymer blend, Dyeability, Special cubic mixture experimental design.

۱- مقدمه

ضعیف به بستر تشکیل می‌دهد. بنابراین چنین آمیزه‌ای خواص مکانیکی مطلوبی از خود نشان نمی‌دهد. از این رو، به منظور ایجاد اتصال بهتر میان دو فاز و دستیابی به آمیزه‌ای با ساختار ریز، استفاده از سازگارکننده‌های مناسب ضروری می‌باشد [۱۴، ۱۵]. در این زمینه، تحقیقات صورت گرفته توسط محققینی همچون پاپادوپاولو^۱، کالفوگلو^۲، باتایله^۳، سانتوز^۴، هینو^۵ [۱۶-۱۸] و دیگران نشان داده است که پلی‌الفین‌های پیوند شده از قبیل پلی‌پروپیلن پیوند شده با اسید اکریلیک، اندرید مالئیک و گلیسیدیل متاکریلات و نیز کولپلمرهای دسته‌ای بر پایه استایرن-بوتادی-ان می‌توانند به نحو مؤثری به سازگاری آمیزه پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن ترفتالات کمک نمایند. البته توجه به این نکته ضروری است که سازگارکننده‌ها در مقایسه با اجزای تشکیل دهنده آمیزه دارای وزن مولکولی بسیار کمتری می‌باشند. از این رو افزودن مقادیر کنترل نشده‌ای از این ترکیبات به آمیزه پلیمری می‌تواند منجر به از دست رفتن استحکام مکانیکی آمیزه گردد.

در این پژوهش، اصلاح نمودن پلی‌پروپیلن توسط پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌پروپیلن پیوند شده با مالئیک اندرید به عنوان سازگارکننده با رویکرد افزایش قابلیت رنگ‌پذیری آن در رنگرزی با مواد رنگزای دیسپرس مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به عدم سازگاری دو پلیمر، احتمال افت استحکام مکانیکی پلی‌پروپیلن در اثر این آمیزه‌کاری وجود دارد. از این رو، در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از روش طراحی آزمایش مخلوط مکعبی مخصوص، امکان پیش‌گویی مقادیر جذب رنگزای بهینه پلی‌پروپیلن اصلاح شده توسط پلی‌اتیلن ترفتالات و سازگارکننده، بدون تخریب خواص مکانیکی آن ارزیابی گردد. برای این منظور، مطابق با روش طراحی آزمایش فوق، مقادیر سه متغیر وابسته در آمیزه شامل درصد وزنی سازگارکننده، درصد وزنی پلی‌اتیلن ترفتالات و درصد وزنی پلی‌پروپیلن تغییر داده شده است. سپس، اثر این تغییرات بر میزان جذب ماده رنگزا و نیز خواص مکانیکی آمیزه‌های حاصل به صورت آماری تعیین گردیده است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

در این پژوهش از پلی‌پروپیلن مورد استفاده برای تولید لیاف تحت نام تجاری V30S ساخت شرکت پتروشیمی اراک و پلی‌اتیلن ترفتالات مورد استفاده برای تولید لیاف ساخت شرکت پتروشیمی شهید

در دهه‌های اخیر، پلی‌پروپیلن به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی همچون قیمت بسیار ارزان، چگالی پایین و سبکی، مقاومت شیمیایی مطلوب و فرآیندپذیری مناسب در صنایع گوناگون به ویژه نساجی مورد توجه فراوانی قرار گرفته است [۱]. خصوصیات مناسب لیاف پلی‌پروپیلن منجر به رشد بسیار سریع آن در سطح دنیا گردیده است. به نحوی که امروزه در میان همه لیاف مصنوعی، پلی‌پروپیلن در تولید لیاف مداوم و نیز منسوجات بی‌بافت از بیشترین میزان سرعت رشد برخوردار می‌باشد [۲]. با وجود دارا بودن خواص بسیار مناسب، عمده‌ترین نقص پلی‌پروپیلن به عنوان یک لیاف نساجی قابلیت رنگ‌پذیری بسیار ضعیف آن توسط گروه‌های مختلف مواد رنگزا و به روش رمق‌کشی از حمام رنگرزی می‌باشد. این نقیصه از ماهیت غیر قطبی و آلیفاتیک و نیز بلورینگی بالا و ساختار فشرده این پلیمر ناشی می‌گردد. تمامی این عوامل دسترسی مولکول‌های ماده رنگزا را به عمق لیاف پلی‌پروپیلن به هنگام فرآیند رنگرزی با مشکل مواجه می‌نماید [۳].

به منظور برطرف نمودن مشکل عدم رنگ‌پذیری پلی‌پروپیلن، کارهای تحقیقاتی فراوانی در سال‌های اخیر صورت گرفته است. در این راستا، اصلاح شیمیایی و فیزیکی لیاف پلی‌پروپیلن توسط روش‌هایی همچون اصلاح سطح با استفاده از واکنش‌گرهای شیمیایی، کولپلمریزاسیون و پلیمریزاسیون پیوندی با مونومرهای مناسب، اصلاح سطح توسط پلازما و تابش گاما و نیز اختلاط پلی‌پروپیلن با پلیمرهای قطبی، ترکیبات فلزدار، نانوذرات آلی و معدنی و بسیاری افزودنی‌های دیگر مورد بررسی قرار گرفته است [۴-۹].

بررسی‌ها نشان داده است که اختلاط مذاب پلی‌پروپیلن با پلیمرهایی همچون پلی‌استایرن و نیز انواع پلی‌آمید و پلی‌استر، پیش از ریسندگی، راه‌کاری مؤثر برای بهبود قابلیت رنگ‌پذیری پلی‌پروپیلن است [۱۱، ۱۰، ۱]. در میان این مواد افزودنی، پلی‌استرها به ویژه پلی‌اتیلن ترفتالات به دلیل تأثیر این پلیمر بر افزایش قابلیت رنگ‌پذیری پلی‌پروپیلن و نیز بهبود استحکام مکانیکی آن، مورد توجه فراوانی واقع شده‌اند [۱۲، ۱۳]. با این وجود، تاکنون کارهای تحقیقاتی زیادی بر روی آمیزه‌های قابل تبدیل به لیاف پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن ترفتالات و رفتار رنگرزی آن‌ها انجام نگرفته است. همچنین، مشاهده شده است که در میان گروه‌های مختلف مواد رنگزا، آمیزه‌کاری پلی‌پروپیلن با پلی‌اتیلن ترفتالات، افینیته مواد رنگزای دیسپرس به پلی‌پروپیلن را افزایش می‌دهد [۲].

به دلیل ساختارهای شیمیایی و قطبیت متفاوت، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترفتالات به لحاظ آمیزه‌کاری دو پلیمر ناسازگار محسوب می‌گردند. از این رو، آمیزه آن‌ها دارای یک ساختار کاملاً دو فازی است که در آن فاز متفرق قطرات بزرگ تقریباً کروی با چسبندگی بسیار

1- Papadopoulos

2- Kalfoglou

3- Bataille

4- Xanthos

5- Heino

به منظور به دست آوردن ارتباط بین متغیرهای پاسخ و مقادیر جزئی قیمت‌ها در یک آزمایش مخلوط، مدل‌های گوناگونی به کار برده می‌شوند [۱۹].

در این پژوهش، به منظور مطالعه قابلیت رنگ‌پذیری پلی‌پروپیلن اصلاح شده به عنوان تابعی از درصدهای وزنی سازگارکننده، پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌پروپیلن در آمیزه از مدل مکعبی مخصوص که یکی از متداول‌ترین مدل‌های مورد استفاده است، بهره گرفته شده است. معادله مکعبی مخصوص از سری تیلور مشتق شده است [۱۹]:

$$A_i = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (2)$$

در این رابطه، A_i متغیر پاسخ و x_i پارامتر i ام انتخاب شده به منظور مدل نمودن متغیرهای پاسخ می‌باشد. در این کار، این کمیت‌ها عبارتند از درصدهای وزنی سازگارکننده، پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌پروپیلن که به ترتیب با x_1 ، x_2 و x_3 نشان داده می‌شوند. همچنین، ثوابت β برای هر متغیر پاسخ ضرایب مدل می‌باشند. جدول ۱ حدود در نظر گرفته شده برای سه کمیت را نشان می‌دهد. همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، حداکثر مقادیر سازگارکننده و پلی‌اتیلن ترفتالات در آمیزه‌ها به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: حدود در نظر گرفته شده برای سه کمیت در طراحی آزمایش.

پارامتر	مقدار (درصد وزنی در آمیزه)
سازگارکننده: x_1	حد پایین ۰ حد بالا ۱۰ wt % (۰,۱)
پلی‌اتیلن ترفتالات: x_2	حد پایین ۰ حد بالا ۲۰ wt % (۰,۲)
پلی‌پروپیلن: x_3	۸۰ wt % (۰,۸) حد پایین ۰ حد بالا ۱۰۰ wt % (۱)

همان گونه که قبلاً اشاره شده است، مقدار هر کدام از کمیت‌های x_1 ، x_2 و x_3 بین صفر و یک تغییر می‌نماید. با توجه به این که در این کار کمیت‌های مدل دارای حد بالا می‌باشند، مقدار نهایی این کمیت‌ها (به استثنای x_3) دیگر نمی‌تواند یک باشد. حد نهایی مقدار پلی‌اتیلن ترفتالات ۲۰ درصد وزنی کل آمیزه است که معادل با ۰,۲ و حد نهایی مقدار سازگارکننده ۱۰ درصد وزنی کل آمیزه و معادل با ۰,۱ می‌باشد. حد پایین پلی‌پروپیلن نیز در آمیزه متناسب با دو کمیت فوق نمی‌تواند صفر باشد که در جدول ۲ گزارش گردیده است. در یک طراحی آزمایش مکعبی مخصوص سه جزئی، فضای طراحی توسط یک گراف مثلثی قابل نمایش است. این گراف در شکل ۱ نشان داده شده است.

تندگویان با نام TG-641 استفاده شده است. همچنین پلی‌پروپیلن پیوند زده شده با انیدرید مالئیک (PP-g-MA) با نام Fusabond P MD353D ساخت دوپونت به عنوان سازگارکننده مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور جلوگیری از اکسیداسیون و تخریب پلی‌پروپیلن تحت عملیات حرارتی از پایدارکننده حرارتی Irganox 1010 تهیه شده از شرکت سیبا-گایگی استفاده گردیده است. علاوه بر آن، پایدارکننده نوری با نام Chimassorb در جهت ممانعت از تخریب آمیزه‌ها و الیاف حاصل از آن‌ها در اثر تابش پرتو فرابنفش با مرور زمان مورد استفاده قرار گرفته است. این افزودنی نیز از شرکت سیبا-گایگی تهیه شده است. مشخصات و منابع تهیه این مواد اولیه به اختصار در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش.

ماده اولیه	نام تجاری	شرکت سازنده	مشخصه ویژه
پلی‌پروپیلن	V30S	پتروشیمی اراک	MFI = ۱۸ g/10 min
پلی‌اتیلن ترفتالات	TG-641	پتروشیمی شهیدتندگویان	IV = ۰,۶۴ dl/g
سازگارکننده (PP-g-MA)	Fusabond P MD353D	دوپونت	درصد گرافت: بسیار بالا
پایدارکننده حرارتی	Irganox 1010	سیبا گایگی	---
پایدارکننده نوری	Chimassorb 2020	سیبا گایگی	---

۲-۲- روش کار

۲-۲-۱- طراحی آزمایش

روش‌های طراحی آزمایش از جمله طراحی با مخلوط‌ها راه‌کاری مفید در جهت بررسی ارتباط میان متغیرهای پاسخ و عامل‌های گوناگون مؤثر بر این پاسخ‌ها می‌باشد [۱۹]. در حالتی که هر متغیر پاسخ در سیستم به مقادیر نسبی^۱ کمیت‌ها وابسته است نه به مقدار آن‌ها، روش طراحی آزمایش مخلوط بسیار سودمند است. به عنوان مثال برای مخلوطی با سه جزء x_1 ، x_2 و x_3 می‌توان نوشت [۲۰]:

$$\begin{aligned} 0 \leq x_i \leq 1 \quad & i = 1, 2, 3 \\ x_1 + x_2 + x_3 = 1 \quad & (=100 \text{ percent}) \end{aligned} \quad (1)$$

1- Relative proportions

به منظور بررسی صحت مدل از آزمون آماری F مطابق با رابطه ۳ استفاده گردید:

$$F = \frac{(s_1)^2}{(s_2)^2} \quad (3)$$

در این رابطه، $(s_1)^2$ واریانس متغیرهای پاسخ مربوط به نقاط ۱ تا ۷ و $(s_2)^2$ واریانس متغیرهای پاسخ نقاط ۸ تا ۱۰ در طراحی آزمایش می‌باشند که با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردند:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \quad (4)$$

در این رابطه، \bar{y} میانگین متغیرهای پاسخ (y_i) و n تعداد آن‌ها می‌باشد. سپس مقادیر F محاسبه شده برای هر متغیر پاسخ با مقدار F مربوطه در جدول استاندارد آزمون F یعنی $F_{0.05}(6, 2)$ با حد اطمینان ۹۵٪ مقایسه شدند. در صورتی که F محاسبه شده از F جدول کمتر باشد، این بدان معناست که تفاوت میان مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش و مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل ناچیز بوده و مدل قدرت پیش‌گویی نحوه تغییرات متغیرهای پاسخ را دارد.

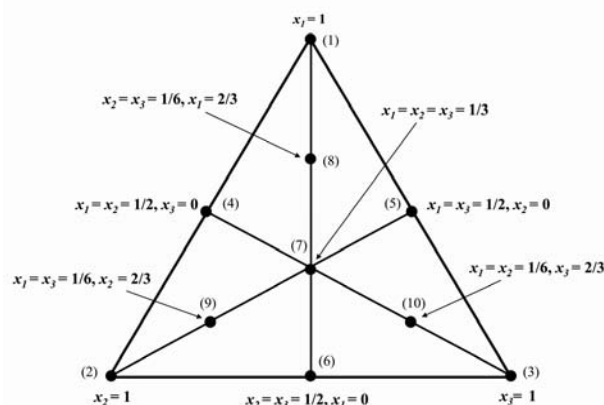
قبل از اختلاط مذاب، پلی‌اتیلن ترفتالات به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۱۲۰ °C و پلی‌پروپیلن و سازگارکننده به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۸۰ °C درون آون خلا خشک گردیدند. سپس مواد اولیه مطابق با فرمولاسیون ارائه شده در جدول ۳ توزین شده، به صورت خشک با هم مخلوط گردیده و درون یک مخلوط‌کن داخلی Brabender اختلاط مذاب شدند. دمای اختلاط برای تمامی نمونه‌ها ۲۶۵ °C انتخاب گردید و اختلاط با سرعت گردش مارپیچ ۶۰ rpm به مدت ۷ دقیقه انجام شد. مقدار پایدارکننده حرارتی مورد استفاده در هر آمیزه wt % ۰,۵ انتخاب گردید.

۲-۲-۲- اندازه‌گیری خواص مکانیکی

استحکام کششی آمیزه‌ها توسط دستگاه کشش Galdabini 1890 و مطابق با ASTM D882 اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ورق‌های ۳۰۰ میکرونی در ابعاد ۱۰ mm در ۵۰ mm از تمامی آمیزه‌ها تهیه شده و با سرعت 5 mm.min^{-1} در دمای محیط تحت کشش قرار گرفت.

۲-۲-۳- ریزساختار

جهت مطالعه نقش سازگارکننده در شکل‌گیری ریزساختار نهایی آمیزه‌ها، از مقطع عرضی آن‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی Philips XL30 (SEM) عکس‌برداری شد. برای این منظور، پس از شکستن آمیزه‌ها در نیتروژن مایع، سطح شکست آن‌ها توسط لایه



شکل ۱: فضای طراحی آزمایش مکعبی مخصوص سه جزئی.

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، طراحی شامل ۱۰ نقطه است: ۳ نقطه در رئوس مثلث مربوط به سه کمیت، ۳ نقطه روی اضلاع برای مخلوط دوتایی کمیت‌ها و یک نقطه در مرکز مثلث برای مخلوط سه تایی مربوطه. سه نقطه باقی مانده واقع درون مثلث به منظور بررسی صحت طراحی آزمایش در نظر گرفته شده‌اند. جدول ۳ فرمولاسیون آمیزه‌ها را مطابق با ده نقطه طراحی آزمایش نشان می‌دهد.

جدول ۳: فرمولاسیون آمیزه‌ها مطابق با طراحی آزمایش.

شماره نقطه	(wt %)		
	سازگارکننده	پلی‌اتیلن ترفتالات	پلی‌پروپیلن
۱	۱۰ (۱)	۰ (۰)	۹۰ (۰)
۲	۰ (۰)	۲۰ (۱)	۸۰ (۰)
۳	۰ (۰)	۰ (۰)	۱۰۰ (۱)
۴	۵ (۱/۲)	۱۰ (۱/۲)	۸۵ (۰)
۵	۵ (۱/۲)	۰ (۰)	۹۵ (۱/۲)
۶	۰ (۰)	۱۰ (۱/۲)	۹۰ (۱/۲)
۷	(۱/۳) ۳۳,۳	(۱/۳) ۶۷,۶	۹۰ (۱/۳)
۸	(۲/۳) ۶۷,۶	(۱/۶) ۳۳,۳	۹۰ (۱/۶)
۹	(۱/۶) ۶۷,۱	(۲/۳) ۳۳,۱۳	۸۵ (۱/۶)
۱۰	(۱/۶) ۶۷,۱	(۱/۶) ۳۳,۳	۹۵ (۲/۳)

نحوه انتخاب مقادیر کمیت‌های x_1 ، x_2 و x_3 مربوط به هر فرمولاسیون با مراجعه به شکل ۱ مشخص می‌گردد. به عنوان نمونه، در حالتی که حد بالای کمیت‌های مدل یک در نظر گرفته شود، مقدار x_1 برای نقطه ۴ برابر با ۱,۲ می‌باشد. اما از آن جا که در این کار، حد بالای x_1 برابر با ۰,۱ انتخاب شده است، مقدار x_1 در نقطه ۴ برابر با ۰,۱/۲ یعنی ۰,۰۵ و معادل با ۵ درصد وزنی آمیزه می‌باشد.

۲-۲-۵- اندازه‌گیری مقادیر جذب ماده رنگزا

در مطالعه خواص رنگرزی منسوجات رنگرزی شده، به طور عمده شاخص K/S که نسبت ضریب جذب ماده رنگزا به ضریب انتشار لیف است، به عنوان معیاری از برداشت ماده رنگزا توسط نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌شود. برای این منظور از معادله کوبلکا-مانک استفاده می‌گردد [۲۱]:

$$\frac{K}{S} = \frac{(I-R)^2}{2R} \quad (5)$$

که در این رابطه، R مقدار انعکاس نمونه پشت پوش شده است. جهت اندازه‌گیری مقادیر انعکاس فیلم‌های رنگرزی شده در محدوده طول موج مرئی یعنی ۳۶۰ تا ۷۵۰ نانومتر از اسپکتروفوتومتر GretagMacbeth ColorEye 7000A استفاده شد. هندسه این اسپکتروفوتومتر $d/8^\circ$ بوده و جزء آیین‌های انعکاس در اندازه‌گیری‌ها منظور گردیده است.

۲- نتایج و بحث

به منظور محاسبه مقادیر K/S نمونه‌ها، طول موج بیشینه جذب (λ_{max}) سه ماده رنگزا تعیین شد. این مقادیر برای مواد رنگزای دیسپرس زرد، قرمز و آبی به ترتیب عبارتند از ۴۶۰، ۵۲۰ و ۶۸۰ نانومتر. تمامی مقادیر K/S اندازه‌گیری شده برای مواد رنگزای زرد (K/S_{yellow})، قرمز (K/S_{red}) و آبی (K/S_{blue}) در طول موج بیشینه جذب آن‌ها و نیز مقادیر خواص مکانیکی شامل استحکام کششی (TS) و مدول ینانگ (YM) مربوط به ده نمونه طراحی آزمایش، به عنوان متغیرهای پاسخ مورد بررسی در طراحی آزمایش، در جدول ۵ آورده شده است.

همان‌طور که داده‌های K/S برای هر سه ماده رنگزا نشان می‌دهند، نمونه ۴ (۱۰ wt % PET، ۵ wt % PP-g-MA) که سازگاری شده است در مقایسه با نمونه ۶ (۱۰ wt % PET، بدون PP-g-MA) که سازگاری نشده، دارای K/S بالاتری است. این مسئله نشان دهنده عملکرد مؤثر PP-g-MA به عنوان سازگارکننده در آمیزه پلی‌پروپیلن/پلی‌اتیلن ترفتالات می‌باشد. به عبارت دیگر، سازگاری بیشتر در آمیزه منجر به جذب ماده رنگزا بیشتری نیز گردیده است. به طور کلی، مقدار ماده رنگزای جذب شده توسط یک منسوج به تمایل ذاتی ماده رنگزا، ساختارهای شیمیایی ماده رنگزا و منسوج و حضور نواحی فعال و بی‌شکل درون منسوج بستگی دارد. در اثر اختلاط مذاب پلی‌اتیلن ترفتالات با پلی‌پروپیلن، ذرات کوچک پلی‌اتیلن ترفتالات در توده پلی‌پروپیلن پراکنده شده که این منجر به تشکیل نواحی فصل مشترک به عنوان یک فاز سوم در آمیزه می‌گردد [۳، ۲۲]. علاوه بر این، در اثر این اختلاط بلورینگی و فشردگی ساختار پلی‌پروپیلن کاهش یافته و سهم مناطق بی‌شکل در توده پلی‌پروپیلن افزایش می‌یابد [۲۳].

نازکی از طلا پوشانده شد و سپس به وسیله SEM مورد عکس‌برداری قرار گرفت.

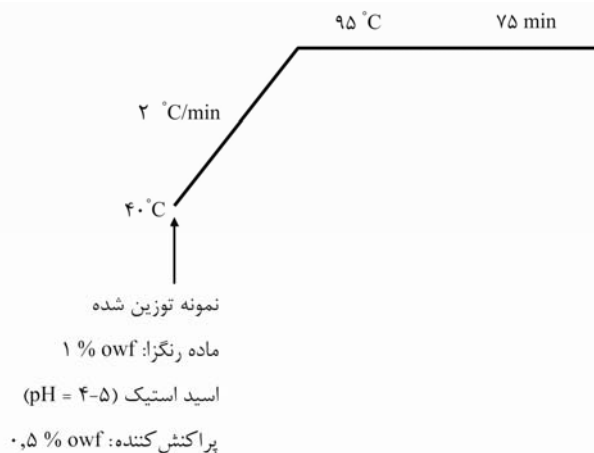
۲-۲-۴- رنگرزی

جهت رنگرزی از سه ماده رنگزای دیسپرس که مشخصات آن‌ها در جدول ۴ آورده شده است، استفاده شد. به منظور رنگرزی، فیلم‌هایی با ضخامت تقریبی ۱۰۰ میکرون توسط پرس حرارتی از تمامی آمیزه‌ها تهیه و به صورت مربع‌های کوچکی در ابعاد ۲ در ۲ بریده شد. پس از توزین، فیلم‌ها در حمامی حاوی ۵ g/l شوینده آنیونی Lotensol Hansa با L:G برابر با ۵۰:۱ در دمای ۸۰ °C و در مدت زمان ۲۰ دقیقه تحت عملیات شستشو قرار گرفته و پس از آبکشی وارد حمام‌های رنگرزی شدند.

جدول ۴: مشخصات مواد رنگزای مورد استفاده در این پژوهش.

شرکت سازنده	ساختار شیمیایی	نام عمومی	نام تجاری
سیبا گایگی	آنتراکینونی	C. I. Disperse Blue 60	Terasil Blue BGE
سیبا گایگی	مونو آزو	C. I. Disperse Yellow 211	Terasil Yellow 4G
سیبا گایگی	آنتراکینونی	C. I. Disperse Red 60	Terasil Red FB

رنگرزی‌ها در دمای جوش و تحت گراف نشان داده شده در شکل ۲ انجام گرفت. پس از اتمام رنگرزی، نمونه‌ها تحت شست و شوی احیایی قرار گرفتند. برای این منظور، فیلم‌های رنگرزی شده در حمامی حاوی ۱ g/l سدیم هیدروسولفیت، ۱ g/l سدیم هیدروکسید و ۱ g/l شوینده غیر یونی به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۵۰ °C قرار گرفتند.



شکل ۲: گراف رنگرزی در دمای جوش.

جدول ۵: مقادیر متغیرهای پاسخ اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های طراحی آزمایش.

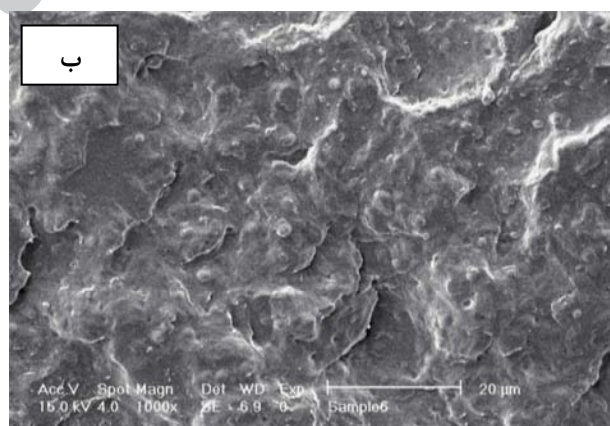
شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
K/S _{blue}	۱۵,۰	۴۲,۵	۲۱,۰	۶۳,۴	۱۰,۰	۰۵,۲	۳۹,۲	۴۷,۱	۰۱,۳	۴۸,۱
K/S _{yellow}	۱۴,۰	۵۲,۹	۱۲,۰	۶۸,۸	۰۸,۰	۸۸,۳	۱۲,۵	۵۱,۳	۰۱,۷	۱۳,۳
K/S _{red}	۷۱,۰	۶۷,۶	۵۶,۰	۱۱,۵	۴۱,۰	۹۶,۳	۱۹,۵	۳۱,۳	۶۳,۶	۰۸,۳
TS	۳۹,۳۰	۵۹,۲۹	۴۶,۳۳	۳۳,۳۵	۴۹,۳۱	۸۶,۲۹	۰۶,۳۵	۲۸,۳۴	۴۸,۳۲	۰۳,۳۴
YM	۵۴,۱۰۶۲	۸۸,۱۴۵۲	۲۰,۱۱۷۱	۳۷,۱۳۷۹	۹۰,۱۱۲۲	۱۰,۱۲۳۵	۱۱,۱۳۲۵	۷۲,۱۲۶۴	۴۹,۱۵۵۵	۲۲,۱۲۳۵

پلی اتیلن ترفتالات دارد. در صورتی که آمیزه حاوی سازگارکننده ۴ حاوی ذرات پلی اتیلن ترفتالات ریزتر می‌باشد. این کاهش در اندازه ذره را می‌توان به دلیل برهم‌کنش شیمیایی میان گروه‌های مالئیک انیدرید (MA) در سازگارکننده و گروه‌های انتهایی پلی اتیلن ترفتالات یعنی هیدروکسیل (OH) یا کربوکسیلیک اسید (COOH) دانست [۲۴]. در نتیجه این کاهش در اندازه ذرات فاز متفرق و نیز بلورینگی پلی پروپیلن و افزایش نواحی فصل مشترک، تعداد مراکز فعال برای جذب مولکول‌های ماده رنگزا در توده پلی پروپیلن زیاد شده و جذب رنگ افزایش می‌یابد.

متغیرهای پاسخ اندازه‌گیری شده برای نقاط ۱ تا ۷ (جدول ۵) به منظور تعیین ضرایب β در معادلات مکعبی مخصوص مورد استفاده قرار گرفت. جهت محاسبه این ضرایب از نرم‌افزار آماری Minitab استفاده گردید. این نرم‌افزار بر اساس رابطه ۲، یک دستگاه معادلات شامل ۷ رابطه و ۷ مجهول تشکیل می‌دهد که معلومات، متغیرهای پاسخ (A_i) ارائه شده در جدول ۵ و نیز مقادیر X_1 ، X_2 و X_3 ارائه شده در جدول ۲ برای نقاط ۱ تا ۷ در طراحی آزمایش، و مجهولات ضرایب β می‌باشند. لازم به ذکر است که در این روش طراحی آزمایش، تنها نقاط ۱ تا ۷ برای به دست آوردن ضرایب β مورد استفاده قرار می‌گیرد. نقاط ۸، ۹ و ۱۰ نقاط بررسی هستند و جهت بررسی صحت معادلات به دست آمده در آزمون F مورد استفاده قرار می‌گیرند و هیچ نقشی در استخراج معادلات پیشگو ندارند. معادلات پیشگوی به دست آمده در قالب معادلات ۶ تا ۱۰ نشان داده شده‌اند. این معادلات ارتباط بین سه کمیت مدل و متغیرهای پاسخ، یعنی مقادیر K/S، استحکام کششی و مدول یانگ را نشان می‌دهند.

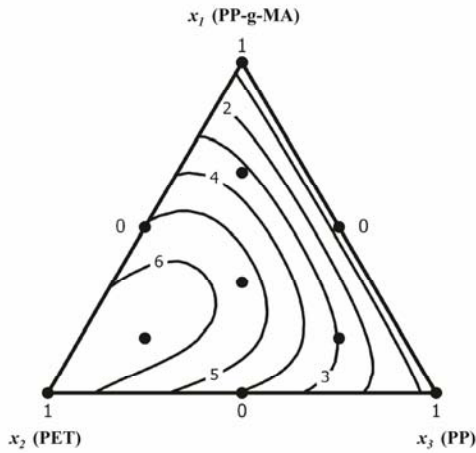
$$K/S_{blue} = 26.7x_1 + 87x_2 + 0.21x_3 + 285.9x_1x_2 - 30.1x_1x_3 - 75.9x_2x_3 + 169.3x_1x_2x_3 \quad (۶)$$

1- Check points



شکل ۳: تصاویر SEM از سطح مقطع آمیزه‌ها (بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر). (الف) نمونه ۶، (ب) نمونه ۴.

به منظور بررسی نقش سازگارکننده در بهبود قابلیت رنگ‌پذیری آمیزه پلی پروپیلن/پلی اتیلن ترفتالات، ریزساختار آمیزه سازگارسازی شده ۴ با آمیزه ناسازگار ۶ و با استفاده از تصاویر SEM مربوطه مقایسه شد (شکل ۳). همان‌گونه که شکل‌های ۳ الف و ۳ ب، نشان می‌دهند، آمیزه ناسازگار ۶ ریزساختاری کاملاً دو فاز و حبابی ذرات نسبتاً درشت

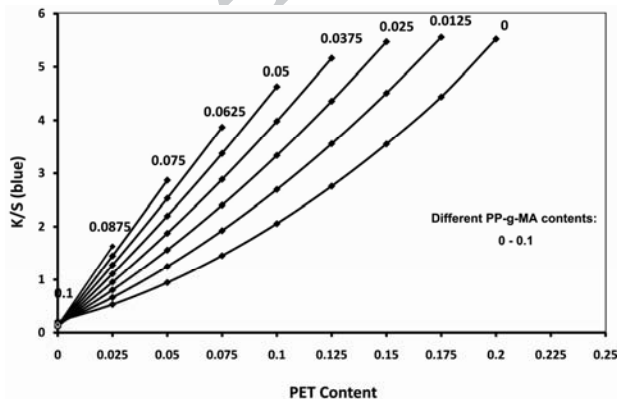


شکل ۶: منحنی کانتور برای K/S_{red} .

نتایج آزمون F با استفاده از آمیزه‌های ۸، ۹ و ۱۰ در جدول ۲ جهت بررسی صحت مدل به دست آمده از طراحی آزمایش در جدول ۶ نشان داده شده است. مقدار F مربوطه در جدول آماری آزمون F برابر با ۱۹،۳۳ است. کمتر بودن تمامی مقادیر F محاسبه شده در جدول ۶ از ۱۹،۳۳ به معنای تایید صحت مدل برای همه متغیرهای پاسخ می‌باشد.

لازم به ذکر است که مقادیر متغیرهای پاسخ پیشگویی شده توسط معادلات برای نقاط ۸ تا ۱۰ تنها به منظور مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده با آزمایش در جدول (۶) ارائه شده است. همان گونه که قبلاً تشریح شده، جهت محاسبه مقادیر F تنها از مقادیر اندازه‌گیری شده با آزمایش استفاده شده است.

همان گونه که روابط ۶ تا ۱۰ نشان می‌دهند، به نظر می‌رسد که درصد وزنی پلی‌اتیلن ترفتالات مهم‌ترین کمیت مؤثر بر مقادیر K/S آمیزه‌ها باشد. نحوه تغییرات K/S برای سه ماده رنگزا به عنوان تابعی از درصدهای وزنی پلی‌اتیلن ترفتالات و سازگارکننده در شکل‌های ۷ تا ۹ نشان داده شده است. مقادیر K/S به کمک روابط ۶ تا ۸ محاسبه شده‌اند.



شکل ۷: مقادیر K/S برای ماده رنگزای آبی محاسبه شده توسط رابطه ۶ به عنوان تابعی از مقادیر پلی‌اتیلن ترفتالات و سازگارکننده.

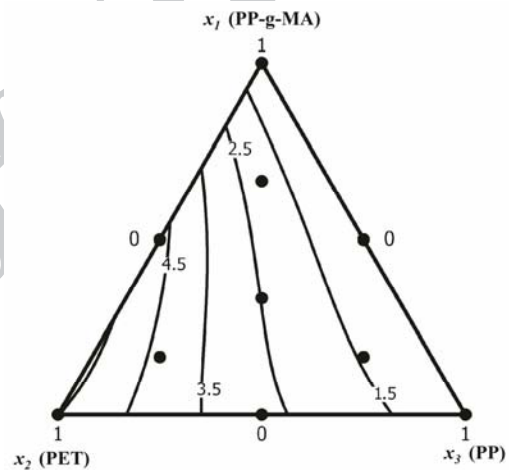
$$K/S_{yellow} = 19.8x_1 + 122x_2 + 0.1x_3 - 3604.2x_1x_2 - 21.6x_1x_3 - 93.7x_2x_3 + 5244x_1x_2x_3 \quad (7)$$

$$K/S_{red} = 82x_1 + 10x_2 + x_3 - 13552x_1x_2 - 89x_1x_3 + 26x_2x_3 + 16241x_1x_2x_3 \quad (8)$$

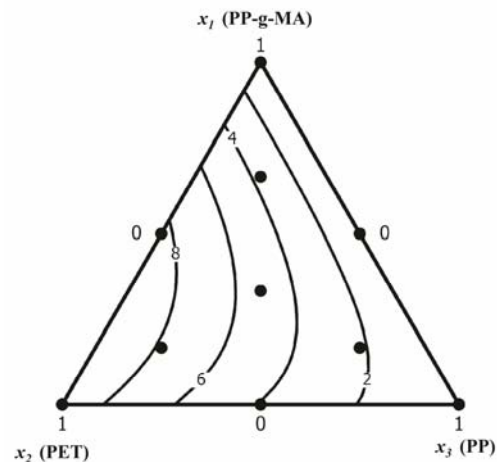
$$TS = 174x_1 + 147x_2 + 33x_3 - 17938x_1x_2 - 190x_1x_3 - 167x_2x_3 + 22444x_1x_2x_3 \quad (9)$$

$$YM = -2090x_1 + 8730x_2 + 1170x_3 - 530550x_1x_2 - 2410x_1x_3 - 7690x_2x_3 + 663280x_1x_2x_3 \quad (10)$$

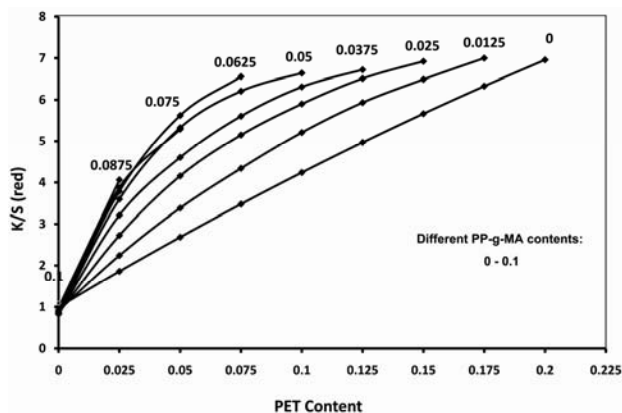
همچنین منحنی‌های کانتور مربوط به معادلات در اشکال ۴ تا ۶ نشان داده شده است.



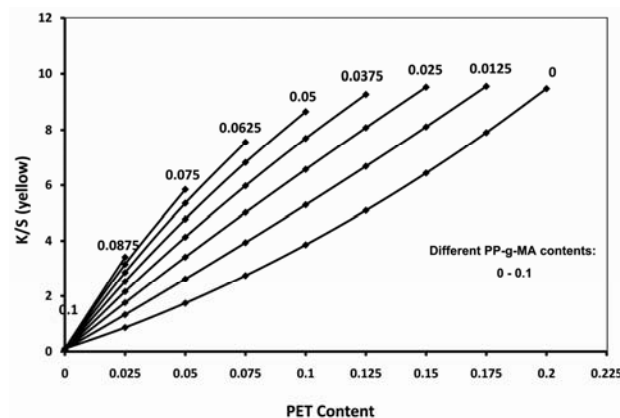
شکل ۴: منحنی کانتور برای K/S_{blue} .



شکل ۵: منحنی کانتور برای K/S_{yellow} .



شکل ۹: مقادیر K/S برای ماده رنگزای قرمز محاسبه شده توسط رابطه ۸ به عنوان تابعی از مقادیر پلی اتیلن ترفتالات و سازگارکننده.

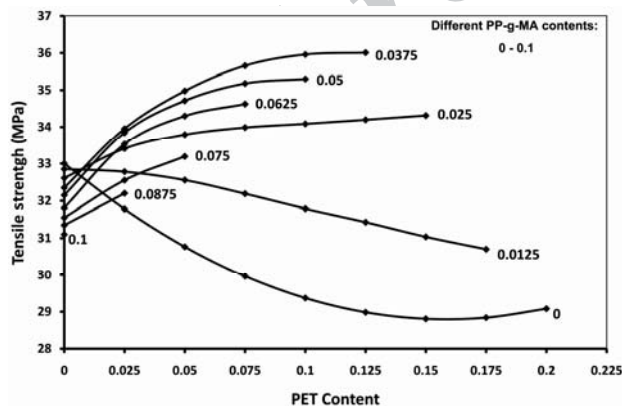


شکل ۸: مقادیر K/S برای ماده رنگزای زرد محاسبه شده توسط رابطه ۷ به عنوان تابعی از مقادیر پلی اتیلن ترفتالات و سازگارکننده.

جدول ۶: نتایج آزمون F.

F	مقادیر پیش‌گویی شده توسط معادلات			مقادیر اندازه‌گیری شده با آزمایش			متغیرهای پاسخ
	۱۰	۹	۸	۱۰	۹	۸	
۲۶,۶	۹۱,۰	۱۵,۴	۷۶,۱	۴۸,۱	۰,۳	۴۷,۱	K/S _{blue}
۳۰,۶	۹۴,۱	۶۵,۷	۸۵,۳	۱۳,۳	۰,۷	۵۱,۳	K/S _{yellow}
۱۴,۴	۱۰,۳	۷۹,۵	۵۱,۴	۰,۸,۳	۶۳,۶	۳۱,۳	K/S _{red}
۲۴,۶	۷۳,۳۲	۴۶,۳۱	۸۳,۳۴	۰,۳,۳۴	۴۸,۳۲	۲۸,۳۴	TS
۶۴,۰	۵۷,۱۱۷۵	۵۶,۱۳۲۲	۲۲,۱۱۰۶	۲۲,۱۲۳۵	۴۹,۱۵۵۵	۷۲,۱۲۶۴	TM

تابعی از محتوای پلی اتیلن ترفتالات و سازگارکننده نشان می‌دهد. برای محاسبه مقادیر استحکام کششی از رابطه ۹ استفاده شده است.

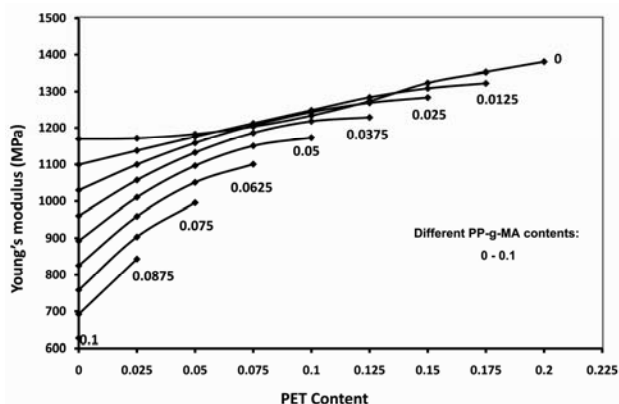


شکل ۱۰: استحکام کششی محاسبه شده توسط رابطه ۹ به عنوان تابعی از مقادیر پلی اتیلن ترفتالات و سازگارکننده.

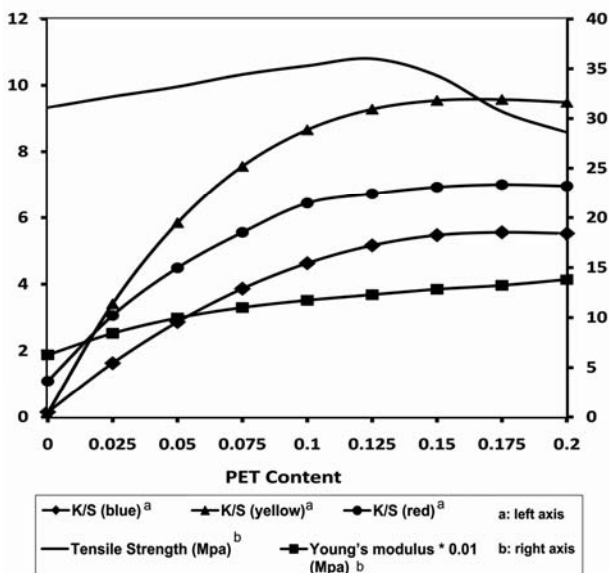
همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مورد هر سه ماده رنگزا و برای مقادیر مختلف سازگارکننده، مقدار K/S تقریباً به صورت خطی با افزایش درصد وزنی پلی اتیلن ترفتالات زیاد می‌شود. همچنین، به ازای هر مقدار سازگارکننده، یک K/S بیشینه وجود دارد که این مقدار بیشینه با کاهش درصد وزنی پلی اتیلن ترفتالات در آمیزه، تا رسیدن به یک درصد وزنی بحرانی در محدوده ۱۰ تا ۱۵ درصد وزنی تقریباً ثابت می‌ماند و پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد. بر اساس این مشاهدات به نظر می‌رسد که افزودن پلی اتیلن ترفتالات به پلی پروپیلن در درصدهای وزنی بالاتر از ۱۵ درصد وزنی تأثیری در بهبود قابلیت رنگ‌پذیری آن نداشته باشد. از سوی دیگر، در درصدهای وزنی کمتر از ۱۰ درصد وزنی پلی اتیلن ترفتالات، مقدار K/S شروع به کم شدن می‌نماید. بنابراین، مطابق با منحنی‌های ۷ تا ۹، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که آمیزه پلی پروپیلن/پلی اتیلن ترفتالات با محتوای پلی اتیلن ترفتالات تقریباً ۱۵ درصد وزنی و سازگارکننده ۵ درصد وزنی می‌تواند شرایط بهینه‌ای برای دستیابی به مقادیر مناسب جذب فراهم نماید. منحنی ۱۰ نحوه تغییرات استحکام کششی آمیزه‌ها را به عنوان

است، استحکام کششی آمیزه در محتوای پلی اتیلن ترفتالات کمتر از ۱۰ و بیشتر از ۱۵ درصد وزنی کاهش می یابد. همچنین یک رابطه تقریباً خطی بین مدول یانگ آمیزه ها و درصد وزنی پلی اتیلن ترفتالات مشاهده می شود. به عبارت دیگر، به نظر می رسد افزایش میزان پلی اتیلن ترفتالات در آمیزه مدول یانگ آن را به صورت خطی افزایش می دهد.

با در نظر گرفتن تمامی این نتایج که از طراحی آزمایش به دست آمده است، می توان نتیجه گیری نمود که آمیزه سه تایی پلی پروپیلن/پلی اتیلن ترفتالات/سازگارکننده با محتوای پلی اتیلن ترفتالات در محدوده ۱۰-۱۵ و سازگارکننده در محدوده ۴-۵ درصد وزنی می تواند پلی پروپیلنی اصلاح شده با قابلیت رنگ پذیری بالا و استحکام مکانیکی قابل قبول را تضمین نماید.



شکل ۱۰: مدول یانگ محاسبه شده توسط رابطه ۱۰ به عنوان تابعی از مقدار پلی اتیلن ترفتالات و سازگارکننده.



شکل ۱۱: مقادیر K/S، استحکام کششی و مدول یانگ بیشینه به عنوان تابعی از مقدار پلی اتیلن ترفتالات.

همان طور که مشاهده می شود، به استثنای آمیزه بدون سازگارکننده و آمیزه حاوی ۱،۰۲۵ درصد وزنی سازگارکننده که برای آن ها با افزایش درصد وزنی پلی اتیلن ترفتالات استحکام کششی کاهش می یابد، مقادیر بیشینه استحکام کششی به ازای هر مقدار سازگارکننده، با افزایش درصد وزنی پلی اتیلن ترفتالات تا رسیدن به درصد وزنی ۱۲،۵ درصد وزنی افزایش می یابد. به عبارت دیگر، بیشترین مقدار استحکام کششی مربوط به آمیزه های است که محتوای وزنی پلی اتیلن ترفتالات و سازگارکننده آن به ترتیب در حدود ۱۲،۵ و ۴ درصد وزنی باشد. این نحوه تغییرات استحکام کششی را می توان به توزیع نامناسب تنش در آمیزه [۲۵]، زمانی که مقدار سازگارکننده در آمیزه کافی نباشد (مقادیر بالای پلی اتیلن ترفتالات) و یا در حالتی که سازگارکننده کوچک مولکول در مقادیر بالا به آمیزه افزوده شده باشد، نسبت داد. در چنین حالتی، افزودن مقادیر مناسبی از سازگارکننده به آمیزه منجر به اتصال دو جزء امتزاج ناپذیر به هم گردیده و در نتیجه خواص مکانیکی بهبود می یابد [۱۵].

نحوه تأثیر محتوای پلی اتیلن ترفتالات آمیزه بر مدول یانگ آن مطابق با رابطه ۱۰ در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نمودار ۱۱ نشان می دهد که به ازای هر مقدار سازگارکننده، با افزایش درصد وزنی پلی اتیلن ترفتالات مقدار بیشینه مدول یانگ نیز به طور پیوسته افزایش می یابد. همچنین، میان این مقادیر بیشینه، قبل و بعد از درصد وزنی بحرانی پلی اتیلن ترفتالات (۱۵٪/۱۰) تفاوت چندانی وجود ندارد.

به عنوان یک لیف نساجی، مدول یانگ پایین و خواص برگشت پذیری^۱ ضعیف به عنوان عمده ترین نواقص آن از نقطه نظر مکانیکی مطرح می باشند. از سوی دیگر، پلی اتیلن ترفتالات پلیمری با استحکام مکانیکی و مدول یانگ بالاست [۱۳]. از این رو، اختلاط با پلی اتیلن ترفتالات روشی مؤثر برای افزایش کشسانی پلی پروپیلن می باشد. افزایش مدول یانگ پلی پروپیلن در اثر افزایش درصد وزنی پلی اتیلن ترفتالات در شکل ۱۱ کاملاً مشهود است.

به منظور تعیین درصدهای وزنی بهینه سازگارکننده و پلی اتیلن ترفتالات برای داشتن پلی پروپیلنی با قابلیت رنگ پذیری بالا و خواص مکانیکی قابل قبول، نحوه تغییرات مقادیر K/S بیشینه هر سه ماده رنگزا و نیز مقادیر استحکام کششی و مدول یانگ بیشینه به عنوان تابعی از محتوای پلی اتیلن ترفتالات در شکل ۱۲ نشان داده شده است. شکل ۱۲ به خوبی نشان می دهد که افزایش محتوای پلی اتیلن ترفتالات آمیزه ها بیش از ۱۵ درصد وزنی تأثیری بر قابلیت جذب رنگ آمیزه ندارد. علاوه بر آن، همان گونه که از بررسی شکل ۱۲ مشهود

1- Recovery properties

ماده رنگزا توسط آمیزه‌ها در حالتی است که درصد وزنی پلی‌اتیلن ترفتالات در محدوده ۱۵-۱۰ درصد وزنی باشد و در درصد‌های وزنی بالاتر جذب رنگ افزایش نمی‌یابد. همچنین نتایج طراحی آزمایش نشان داد که برای پلی‌اتیلن ترفتالات می‌توان محدوده ۱۵-۱۰ درصد وزنی را یک محدوده بحرانی در نظر گرفت که بالاتر از آن استحکام مکانیکی آمیزه دچار افت می‌گردد. به علاوه، بر اساس نتایج طراحی آزمایش، جهت داشتن آمیزه رنگ‌پذیر و مستحکم درصد وزنی سازگارکننده باید بین ۵-۴ درصد وزنی باشد.

۴- نتیجه‌گیری

به منظور افزایش قابلیت رنگ‌پذیری پلی‌پروپیلن به روش رمق‌کشی از حمام رنگ‌ریزی آبی، اختلاط مذاب آن با یک پلیمر قطبی‌تر یعنی پلی‌اتیلن ترفتالات مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به عدم امتزاج‌پذیری این دو پلیمر، از یک پلی‌پروپیلن پیوند شده با مالئیک انیدرید به عنوان سازگارکننده استفاده شده است. بررسی ریزساختار آمیزه‌ها با استفاده از تصاویر SEM عملکرد مؤثر این سازگارکننده را در افزایش سازگاری دو پلیمر ثابت نمود. با استفاده از روش طراحی آزمایش مکعبی مخصوص مشخص شد که بالاترین مقادیر جذب

۵- مراجع

- X. Huang, H. Yu, M. F. Zhu, Y. M. Chen, Blends of Polypropylene and modified polystyrene for dyeable Fibers. *J. Appl. Polym. Sci.* 96(2005), 2360-2366.
- F. Fourne, Synthetic fibers. Hanser-Gardner Publications, 1998.
- A. Ujhelyiova, E. Bolhova, J. Oravkinova, R. Tino, A. Marcincin, Kinetics of dyeing process of blend polypropylene/polyester fibres with disperse dye. *Dyes Pigm.* 72(2007), 212-216.
- M. Ahmed, Polypropylene fibers science and technology. Elsevier Scientific Publications, 1982.
- M. Abdouss, N. Sharifi-Sanjani, P. Bataille, Oxidation of polypropylene homopolymer in the molten state in the presence of air. *J. Macromol. Sci. Part A: Pure and Appl. Chem.* 36(1999), 1521 - 1535.
- A. Vahdat, H. Bahrami, N. Ansari, F. Ziaie, Radiation grafting of styrene onto polypropylene fibres by a 10MeV electron beam. *Rad. Phys. Chem.* 76(2007), 787-793.
- C. Cheng, Z. Liye, R. J. Zhan, Surface modification of polymer fibre by the new atmospheric pressure cold plasma jet. *J. Surf. Coat. Technol.* 200(2006), 6659-6665.
- S. M. Burkinshaw, P. E. Froehling, M. Mignanelia, The effect of hyperbranched polymers on the dyeing of polypropylene fibres. *Dyes Pigm.* 53(2002), 229-235.
- L. Toshiwal, Q. Fan, S. C. Ugbole, Dyeable polypropylene fibers via nanotechnology. *J. Appl. Polym. Sci.* 106(2007), 706-711.
- C. Yu, M. Zhu, X. Shong, Y. Chen, Study on dyeable polypropylene fiber and its properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 82(2001), 3172-3176.
- A. Marcincin, Modification of fiber-forming polymers by additives. *Prog. Polym. Sci.* 27(2002), 853-913.
- A. Marcincin, A. Ujhelyiova, T. Marcincinova, Fibre-forming blends of polypropylene and polyethylene terephthalate. *J. Macromol. Symp.* 176(2001), 65-72.
- X. Si, L. Guo, Y. Wang, K. T. Lau, Preparation and study of polypropylene/polyethylene terephthalate composite fibres. *Compos. Sci. Technol.* 68(2008), 2943-2947.
- M. Heino, J. Kirjava, P. Hietaoja, J. Seppa, Compatibilization of polyethylene terephthalate/polypropylene blends with styrene-ethylene/butylene-styrene (SEBS) block copolymers. *J. Appl. Polym. Sci.* 65(1997), 241-249.
- Y. X. Pang, D. M. Jia, H. J. Hu, D. J. Hourston, M. Song, Effects of a compatibilizing agent on the morphology, interface and mechanical behaviour of polypropylene/poly(ethylene terephthalate) blends. *Polymer.* 41(2000), 357-365.
- C. P. Papadopoulou, N. K. Kalfoglou, Comparison of compatibilizer effectiveness for PET/PP blends: Their mechanical, thermal and morphology characterization. *Polymer.* 41(2000), 2543-2555.
- P. Bataille, S. Boissé, H. P. Schreiber, Mechanical properties and permeability of polypropylene and poly(ethylene terephthalate) mixtures. *Polym. Eng. Sci.* 27(1987), 622-626.
- M. Xanthos, M. W. Young, J. A. Biesenberger, Polypropylene/polyethylene terephthalate blends compatibilized through functionalization. *Polym. Eng. Sci.* 30(1990), 355-365.
- D. C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons Inc., 2005.
- J. A. Cornell. Experiments with mixtures: Designs, models and the analysis of mixture data. Wiley, 2002.
- Y. Yang, H. Brown, S. Li, Some sorption characteristics of poly(trimethylene terephthalate) with disperse dyes. *J. Appl. Polym. Sci.* 86(2002), 223-229.
- E. Bolhova, Influence of poly(trimethylene terephthalate) phase distribution on the dyeing of polypropylene/poly(trimethylene terephthalate) bicomponent fibers. *Vlakna a Textil.* 13(2006), 16-22.
- C. Slusarczyk, Effect of draft ratio on crystallinity of polypropylene/copolyester blend fiber. *Fiber Tex. East. Eur.* 13(2005), 122-125.
- Y. Tao, K. Mai, Non-isothermal crystallization and melting behavior of compatibilized polypropylene/recycled poly(ethylene terephthalate) blends. *Eur. Polym. J.* 43(2007), 3538-3549.
- M. K. Cheung; D. Chan, Mechanical and rheological properties of poly(ethylene terephthalate)/polypropylene blends. *Polym. Int.* 43(1997), 281-287.