



بهینه کردن فرآیند رنگرزی کالای اکریلیکی رنگرزی شده با ماده رنگزای نفتالیمیدی اصلاح شده با دندریمر PAMAM

موسی صادقی کیاخانی

استادیار، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۱۲ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۴/۳/۲۰

چکیده

در این مطالعه، خواص رنگرزی و ثباتی کالای اکریلیکی رنگرزی شده با دو ماده رنگزای فلورسنتی بر پایه نفتالیمید مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج اسپکتروفوتومتری کالاهای رنگرزی شده نشان داد که مواد رنگزای مورد استفاده از قابلیت رنگرزی و شدت فلورسنتی قابل قبولی بر روی پارچه اکریلیکی برخوردار هستند. از روش آماری رویه پاسخ برای بررسی تأثیر هر یک از عوامل فرآیند به صورت مجزا و در تداخل با یکدیگر بر روی شرایط بهینه فرآیند رنگرزی کالای اکریلیکی استفاده شد. نتایج بخوبی نشان داد که شدت فلورسنتی، خصوصیات رنگرزی و ثباتی پارچه اکریلیکی با اصلاح ماده رنگزای نفتالیمیدی با ترکیب دندریمر PAMAM نسل ۰،۵ - بهبود می یابد.

واژه‌های کلیدی: ماده رنگزای فلورسنت، نفتالیمید، دندریمر، اکریلیک، رنگرزی، ثبات رنگی.

Optimization of Acrylic Dyeing Process with Modified Naphthalimide Dye by PAMAM Dendrimer

M. Sadeghi-Kiakhani

Department of Organic Colorants, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

Received: 07-06-2013

Accepted: 04-10-2014

Available online: 10-06-2015

Abstract

In this study, dyeing and fastness properties of acrylic fibers dyed with two naphthalimide fluorescent dye were investigated. The obtained spectrophotometric results of dyed fabrics showed that the used dyes had a good build up and fluorescent intensity on the acrylic fiber. Response surface methodology (RSM) was applied to evaluate the simple and combined effects of the main independent parameters on the optimizing the operating conditions of the dyeing process. The results indicated that the fluorescent intensity, dyeing and fastness properties of acrylic fibers improved with the modification of naphthalimide dye using PAMAM dendrimer ($G=0.5$). *J. Color Sci. Tech.* 9(2015), 53-64©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Fluorescent dye, Naphthalimide, Dendrimer, Acrylic, Dyeing, Color fastness.

۱- مقدمه

مرور بر تحقیقات انجام شده بیانگر این است که استفاده از دندریمرها به دلیل خصوصیات منحصر بفردشان بخصوص نانوساختار بودنشان، توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است، به طوری که از این ترکیبات برای اصلاح خصوصیات و افزایش کارایی مواد مختلف استفاده شده است [۲۳-۲۱]. یکی از موادی که پتانسیل واکنش بالایی با دندریمرها را دارند، مواد رنگزای فلورسنتی نفتالیمید می‌باشند. امروزه، ترکیب‌های متنوعی بر پایه نفتالیمید برای رنگرزی منسوجات سنتز شده است. اما، تاکنون از ماده رنگزای فلورسنتی بر پایه نفتالیمید اصلاح شده با دندریمر برای رنگرزی کالای اکریلیکی استفاده نشده است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی خصوصیات رنگرزی و ثباتی پارچه اکریلیکی رنگرزی شده با مواد رنگرزی نفتالیمید اصلاح شده با ترکیب دندریمر پلی‌آمیدوآمین نسل ۵، ۰- می‌باشد. همچنین فرآیند رنگرزی با استفاده از روش آماری RSM^۱ می‌باشد. سپس قابلیت فلورسنتی مواد رنگزای سنتز شده قبل و پس از اصلاح با دندریمر مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

نخ اکریلیک حجیم شده ۲۴ دولا (۱۲،۲ Nm) با ۲۵۰-۲۶۰ تاب در متر) متشکل از الیاف ۳ و ۵ دنیر نوع درالون^۲ (بایر آلمان) توسط شرکت نخ ایران تهیه شد. پراکنش‌کننده مصرفی برای تهیه پخش مواد رنگزا از نوع غیر یونی (Lyoprint EV, ciba) بود. از صابون غیر یونی (Lotensol, Hansa) به عنوان شوینده استفاده شد. سایر مواد مورد استفاده در این مقاله از نوع آزمایشگاهی بود.

مقدار رمق‌کشی کالا از محلول رنگرزی در زمان t با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد، که در این رابطه A_0 و A_1 به ترتیب جذب محلول رنگی قبل و بعد از فرآیند رنگرزی می‌باشد. از دستگاه اسپکتروفوتومتر انتقالی دو پرتویی مدل Shimadzu Cecil 9200 برای اندازه‌گیری جذب محلول‌ها استفاده شد. همچنین شدت فلورسنتی کالاهای رنگرزی شده با استفاده از دستگاه اسپکتروفلورومتر Perkin Elmer LS55 اندازه‌گیری شد و شدت فلورسنتی آنها با یکدیگر مقایسه گردید.

$$Exhaustion (\%) = \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

۲-۲- روش کار

روش سنتز مواد رنگزای فلورسنتی و دندریمر PAMAM نسل منفی ۵، ۰- استفاده شده در این تحقیق به طور مفصل در جای دیگر گزارش

الیاف اکریلیک از جمله الیاف مصنوعی است که ماده تشکیل دهنده زنجیر پلیمری آنها، حداقل شامل ۸۵ درصد وزنی واحدهای اکریلونیتریل است و دارای متوسط وزن مولکولی حدود ۱۹۰۰ و ۱۰۰۰۰ واحد مونومری می‌باشد. این الیاف به دلیل داشتن خواص مطلوبی مثل زبردست نرم شبیه به پشم، الاستیسیته خوب و داشتن مقاومت بالا نسبت به بسیاری از مواد شیمیایی، کاربردهای گسترده‌ای در صنعت نساجی دارد [۱]. از این الیاف در مخلوط با پشم، ویسکوز ریون و نایلون در انواع پارچه‌هایی که با این مخلوط‌ها مناسب داشته باشند، استفاده می‌شود. همچنین در کشورمان از الیاف اکریلیک، در تهیه فرش ماشینی به مقدار زیادی استفاده می‌شود [۲].

مواد رنگزای دیسپرس یک گروه از مواد رنگزا هستند، که قادر به رنگرزی الیاف اکریلیک می‌باشند. مواد رنگزای دیسپرس جزء مواد رنگزای نامحلول در آب می‌باشند که به میزان ناچیزی در آب حل می‌شوند و از آنها برای رنگرزی الیاف مصنوعی به صورت گسترده استفاده می‌شوند [۳]. یک گروه از مواد رنگزای دیسپرس، نفتالیمیدها هستند که قادرند الیاف آبگریز مانند پلی‌آمید، پلی‌استر و استات را رنگرزی کنند و ثبات‌های رنگی خوبی بر روی آنها ایجاد نمایند [۴-۶]. مشتقات ۱،۸-نفتالیمید علاوه بر رنگرزی پلیمرهای مصنوعی و منسوجات [۷-۱۰]، کاربردهای بسیار گسترده‌ای دارند، بطوریکه از ترکیبات نفتالیمیدی با خاصیت فلورسنتی بالا می‌توان در جوهرهای چاپ، سلول‌های خورشیدی، حسگرها و صنایع مختلف استفاده نمود [۱۱].

منسوجات رنگرزی شده با مواد رنگزای فلورسنت از لحاظ ظاهری محسوس تر می‌شوند و روشنایی رنگی آنها افزایش قابل توجهی می‌یابد. مزیت‌های کالاهای رنگرزی شده با مواد رنگزا فلورسنتی سبب کاربرد آنها در تهیه تبلیغات رنگی، علائم ترافیکی و جاده‌ای، تا حد زیادی در تولید لباس‌های ورزشی و لباس‌هایی با کاربردهای خدماتی خاص مانند لباس‌های آتش‌نشانی و پلیس شده است [۱۲، ۱۳].

دندریمرها مولکول‌های بزرگ و پیچیده با ساختار شیمیایی شناخته شده‌ای هستند که حاوی گروه‌های انتهایی فعال می‌باشند. از نقطه نظر شیمی پلیمر، دندریمرها، ماکرومولکول‌های مونودیسپرس تقریباً کامل با ساختار سه بعدی شاخه‌دار و منظم در ابعاد نانو می‌باشند، به طوری که فضای بین شاخه‌هایشان محل مناسبی برای حضور مولکول‌های میزبان می‌باشد [۱۴-۱۶]. محققین توانسته‌اند از این ترکیبات نانوساختار در زمینه‌های متنوعی استفاده کنند و به منظور گسترش کاربردهای آنها در صنایع مختلف فعالیت‌های تحقیقاتی گسترده‌ای در حال انجام می‌باشد. تاکنون از دندریمرها در صنایع رنگ و نساجی در استخراج مواد رنگزا و رنگرزی الیاف نساجی [۱۵]، رنگبری مواد رنگزا از محلول‌های رنگی پساب نساجی [۱۷، ۱۸] و تکمیل ضد میکروبی منسوجات [۱۹، ۲۰] استفاده شده است.

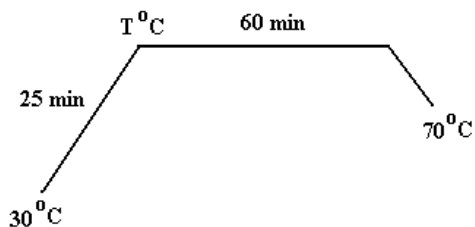
1- Response surface methodology

2- Dralon

انتخاب عوامل مؤثر بر فرآیند رنگری، محدوده و سطوح آنها عوامل مؤثر بر فرآیند رنگری، با توجه به کارهای تحقیقاتی گزارش شده انتخاب و محدوده آنها تعیین شدند [۱۳]. تأثیر عواملی مثل pH، غلظت ماده رنگری مورد استفاده، زمان و دمای فرآیند رنگری، هر کدام در ۵ سطح مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱: محدوده و سطوح متغیرهای فرآیند رنگری به روش RSM.

محدوده و سطوح					عوامل مؤثر	متغیرها، واحد
-a	-۱	۰	۱	a		
۷	۶	۵	۴	۳	X ₁	pH
۵	۴	۳	۲	۱	X ₂	غلظت ماده رنگری (%owf)
۹۰	۷۵	۶۰	۴۵	۳۰	X ₃	زمان رنگری (min)
۱۰۵	۱۰۰	۹۵	۹۰	۸۵	X ₄	دمای رنگری (°C)

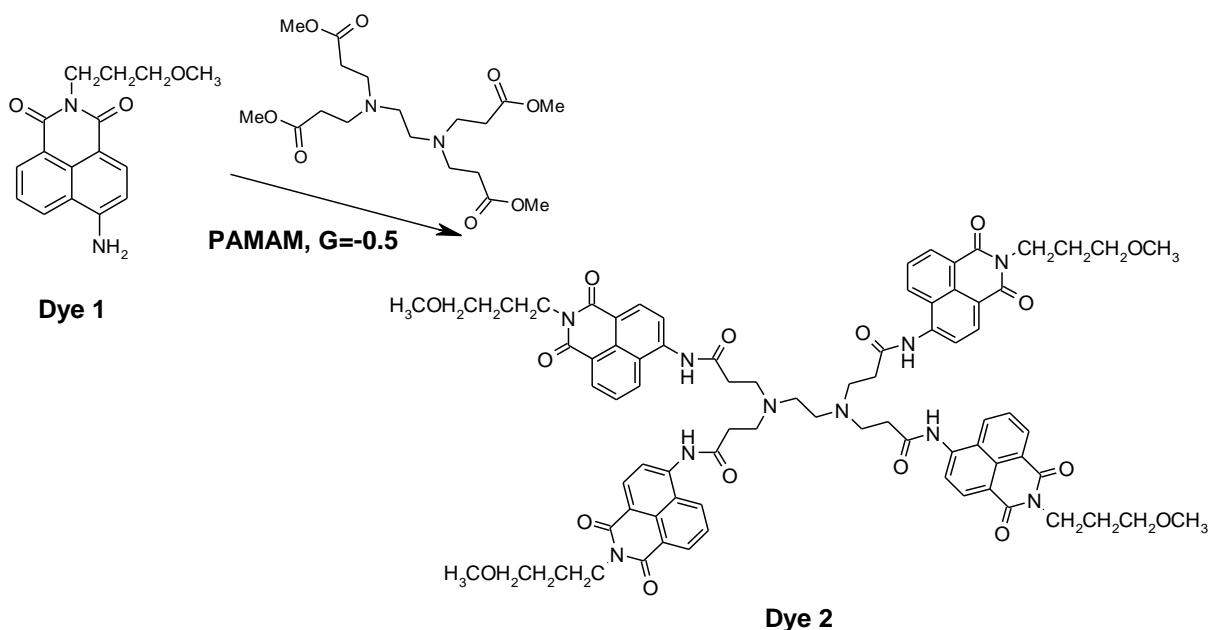


شکل ۱: منحنی رنگری کالای اکریلیکی با مواد رنگری سنتز شده.

شده است [۱۲، ۲۴]. به صورت مختصر می توان اشاره نمود که ۴ مول ماده رنگری ۱ در داخل متانل قرار داده شد و سپس ۱ مول از دندریمر PAMAM نسل ۵، به مخلوط واکنش افزوده شد. واکنش به مدت ۳ روز در دمای ۵۰ °C ادامه یافت و سپس با تبخیر حلال، ماده رنگری ۲ حاصل شد. روش سنتز ماده رنگری ۲ در شمای ۱ آورده شده است.

برای تهیه دیسپرسیون مواد رنگری، مخلوطی از ۱ گرم از هر یک از مواد رنگری را با ۲ گرم از پراکنش کننده لیوپرینت EV و ۴ ml آب به مدت یک ساعت در یک هاون چینی ساییده شد و به مدت ۲۰ ساعت در یک آسیاب گلوله‌ای، آسیاب گردید. مخلوط حاصل به حجم ۱۰۰ ml رسانده شد و با صافی ۵ μm صاف گردید. بدین ترتیب سوسپانسیونی با غلظت ۱٪ تهیه شد و برای رنگری الیاف اکریلیکی به کار رفت.

قبل از رنگری، الیاف اکریلیکی در حمامی حاوی ۱،۵ درصد شوینده غیریونی در ۶۰ °C به مدت ۳۰ دقیقه با L.R.= ۵۰:۱ شستشو داده شد و چندین بار با آب مقطر آبکشی گردید. رنگری‌ها در L.R.= ۴۰:۱ و در مقادیر مختلف زمان، دما و pH، طبق نمودار شکل ۱ انجام شد. برای به دست آوردن قابلیت رنگری هر یک از مواد رنگری، رنگری‌هایی با غلظت‌های مختلف از مواد رنگری روی کالا انجام شد. کالاها در ۳۰ °C وارد حمام رنگری شده و دما در طی ۲۵ دقیقه به دمای مورد نظر افزایش یافت و رنگری به مدت ۶۰ دقیقه در جوش ادامه یافت. کالاها در دمای ۷۰ °C از حمام رنگری خارج شده و به مدت ۲۰ دقیقه به وسیله شوینده غیریونی در ۵۰ °C شستشو داده شدند.



شمای ۱: روش سنتز مواد رنگری مورد استفاده.

توسعه معادله رگرسیون مدل

رابطه ۲ تعیین شده است:

$$\eta_i = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n b_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

که در این رابطه η درصد رمق کشی، b_0 ضریب ثابت، b_i ضرایب خطی، b_{ii} ضرایب مرتبه دوم، b_{ij} ضرایب برهمکنش دو متغیر و x_i و x_j مقادیر متغیرهای مستقل در آزمایش بصورت کدنویسی شده می‌باشد.

آزمایش‌ها مطابق با ترکیب‌های مختلف طراحی شده با نرم‌افزار مینی‌تب (براساس روش (CCD) انجام شد. نتایج مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار برای ۳۱ آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. علاوه بر این ضرایب تابع پاسخ و مقادیر P و t برای بهینه‌کردن فرآیند رنگ‌رزی نیز تعیین شده است. همچنین فرمول چندجمله‌ای درجه دوم برای بهینه‌کردن فرآیند رنگ‌رزی با استفاده از

جدول ۲: طراحی روش رویه پاسخ و مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در فرآیند رنگ‌رزی اکریلیک با مواد رنگ‌زای فلورسنتی.

درصد رمق کشی				T (°C)	t (min)	C _{dye} % (owf)	pH	آزمایش
ماده رنگ‌زای ۲		ماده رنگ‌زای ۱						
پیش‌بینی شده	مشاهده شده	پیش‌بینی شده	مشاهده شده					
۶۴	۶۵	۵۸	۶۰	۹۰	۴۵	۴	۴	۱
۶۳	۶۳	۵۵	۵۴	۹۰	۴۵	۴	۶	۲
۷۵	۷۴	۶۸	۶۷	۹۵	۶۰	۵	۵	۳
۷۰	۷۰	۶۵	۶۴	۹۰	۷۵	۴	۴	۴
۷۰	۷۰	۶۳	۶۳	۹۰	۴۵	۲	۴	۵
۸۳	۸۲	۷۶	۷۵	۹۵	۶۰	۳	۳	۶
۸۵	۸۷	۸۰	۸۰	۹۵	۶۰	۳	۵	۷
۶۹	۷۰	۶۲	۶۵	۹۰	۷۵	۴	۶	۸
۶۷	۶۷	۶۰	۶۱	۹۰	۴۵	۲	۶	۹
۸۹	۸۹	۸۳	۸۳	۱۰۰	۴۵	۲	۶	۱۰
۸۷	۸۹	۸۳	۸۴	۱۰۰	۷۵	۴	۴	۱۱
۹۱	۹۰	۸۶	۸۶	۱۰۵	۶۰	۳	۵	۱۲
۸۵	۸۶	۸۰	۸۰	۹۵	۶۰	۳	۵	۱۳
۸۵	۸۵	۸۰	۸۱	۹۵	۶۰	۳	۵	۱۴
۸۵	۸۵	۸۰	۸۲	۹۵	۶۰	۳	۵	۱۵
۸۲	۸۳	۷۶	۷۷	۱۰۰	۴۵	۴	۶	۱۶
۸۵	۸۵	۸۰	۸۰	۹۵	۶۰	۳	۵	۱۷
۹۶	۹۶	۹۰	۹۰	۱۰۰	۷۵	۲	۴	۱۸
۷۶	۷۶	۷۰	۷۱	۹۰	۷۵	۲	۴	۱۹
۹۴	۹۴	۸۷	۸۶	۱۰۰	۴۵	۲	۴	۲۰
۸۴	۸۴	۷۹	۷۸	۱۰۰	۷۵	۴	۶	۲۱
۸۰	۸۰	۷۴	۷۴	۹۵	۳۰	۳	۵	۲۲
۷۴	۷۲	۶۸	۶۵	۹۰	۷۵	۲	۶	۲۳
۸۶	۸۸	۸۰	۸۲	۱۰۰	۴۵	۴	۴	۲۴
۹۲	۹۱	۸۷	۸۷	۱۰۰	۷۵	۲	۶	۲۵
۸۵	۸۵	۸۰	۸۰	۹۵	۶۰	۳	۵	۲۶
۵۱	۵۳	۴۵	۴۶	۸۵	۶۰	۳	۵	۲۷
۸۵	۸۵	۸۰	۸۰	۹۵	۶۰	۳	۵	۲۸
۷۷	۷۹	۷۰	۷۲	۹۵	۶۰	۳	۷	۲۹
۸۸	۹۰	۸۰	۸۳	۹۵	۶۰	۱	۵	۳۰
۸۷	۸۸	۸۴	۸۶	۹۵	۹۰	۳	۵	۳۱

رنگرزی الیاف اکریلیک مورد بررسی قرار گرفتند عبارت بودند از: pH، غلظت ماده رنگزای مورد استفاده، زمان و دمای رنگرزی، که در ذیل به بررسی هر یک از آنها پرداخته خواهد شد.

۳-۱-۱-۳ اثر pH

یکی از عوامل مهم در فرآیند رنگرزی، pH حمام رنگرزی می‌باشد. pH حمام رنگرزی می‌تواند هم بر روی خصوصیات ماده رنگزا و هم الیاف تأثیر بگذارد [۲۶، ۲۵]. لذا آزمایش‌های رنگرزی به منظور اثر pH در مقادیر ۳ تا ۷ بررسی شد. شکل ۲ نیز نشان می‌دهد که در محدوده pH بین ۴-۵، مقدار رمق‌کشی تغییر چندانی پیدا نمی‌کند. بنظر می‌رسد که در pH بین ۴-۵، دیسپرسیون ماده رنگزا بهتر انجام می‌شود و باعث حلالیت بیشتر ماده رنگزا می‌شود و در نتیجه سرعت جذب ماده رنگزا بر روی الیاف بیشتر خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش محدوده pH بین ۴-۵، مقدار رمق‌کشی کاهش یافته است. از آنجا که در pH بین ۴-۵، بیشترین مقدار جذب ماده رنگزا بر روی کالا اتفاق افتاده است، لذا محدوده pH بین ۴-۵ به عنوان pH بهینه در نظر گرفته شد.

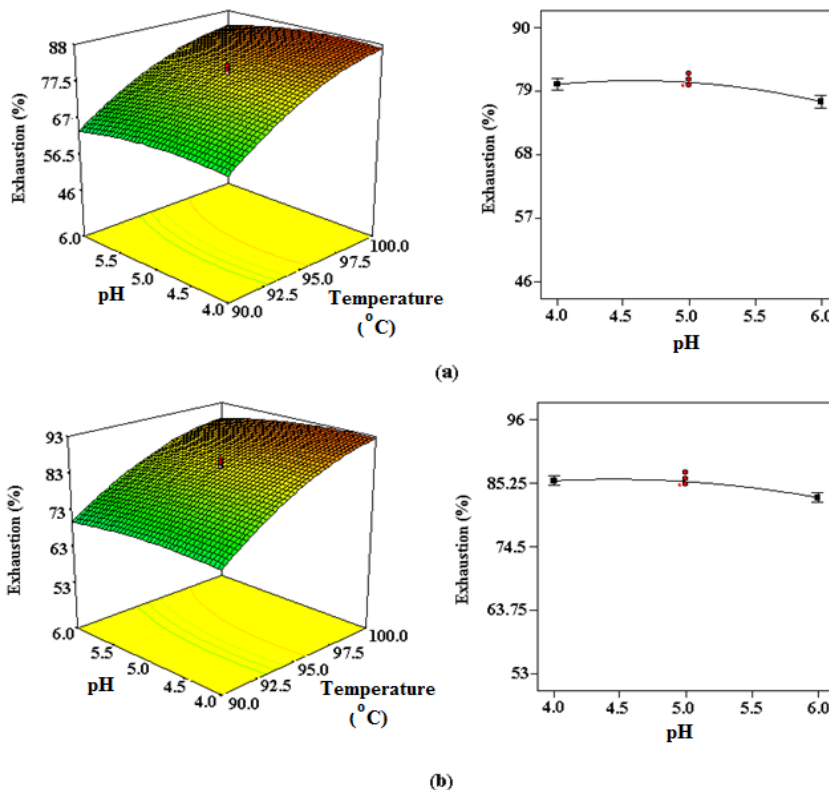
اندازه‌گیری خصوصیات ثباتی کالاهای رنگرزی شده

ثبات شستشویی هر یک از کالاهای رنگرزی شده مطابق استاندارد ISO 105 C2S انجام شد. پارامترهای شستشو به صورت دمای شستشو ۶۰ °C، مدت زمان ۳۰ دقیقه با ۴ g/l شوینده، ۱ g/l پربرات و ۱ g/L کربنات سدیم تنظیم گردید و با استفاده از معیار خاکستری ارزیابی شد. ثبات نوری کالاهای رنگرزی شده مطابق استاندارد ISO 105/B02 بوسیله دستگاه ثبات نوری دارای لامپ زنون و به کار بردن نمونه‌های مرجع معیار آبی اندازه‌گیری شدند. ثبات رنگ در برابر سایش مطابق استاندارد ISO X12:1993(E) که در آن نمونه‌ها تحت نیروی ۹ نیوتونی به تعداد ۱۰ بار سایش داده شده‌اند، اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری ثبات در برابر عرق بدن نمونه‌ها نیز هم در شرایط اسیدی و هم در شرایط قلیایی مطابق استاندارد ISO 105 E04-1994 انجام شد.

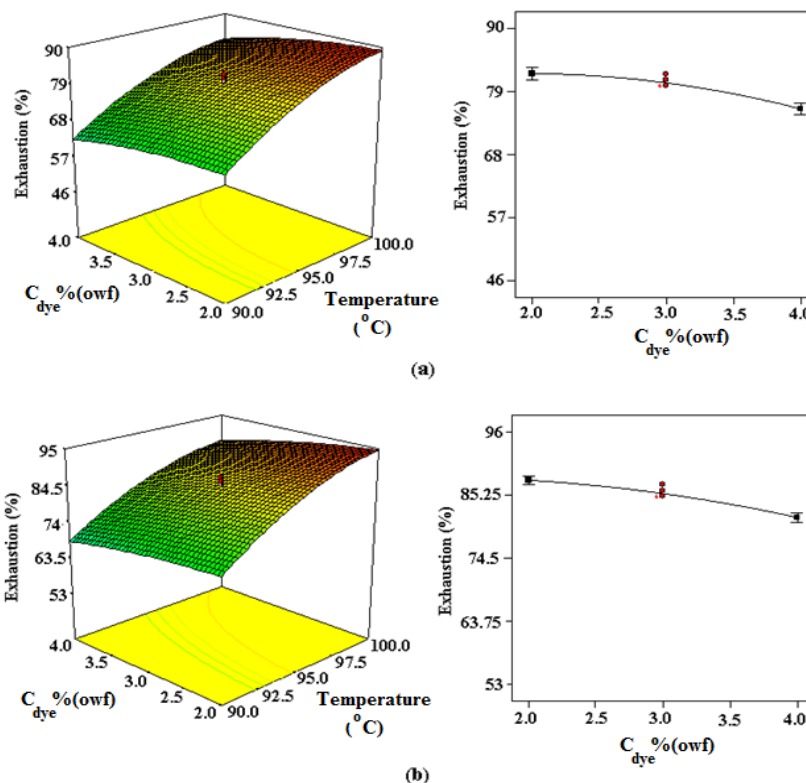
۳- نتایج و بحث

۳-۱-۳ رنگرزی الیاف اکریلیک با مواد رنگزای سنتز شده

دیسپرسیونی از مواد رنگزای سنتز شده در آب تهیه شد و برای رنگرزی الیاف اکریلیک در دمای جوش به کار رفتند. مواردی که در



شکل ۲: تأثیر هم‌زمان pH و دما بر روی فرآیند رنگرزی کالای اکریلیک، (a) ماده رنگزای ۱ و (b) ماده رنگزای ۲.



شکل ۳: تأثیر همزمان غلظت ماده رنگزا و دما بر روی فرآیند رنگریزی کالای اکریلیک، (a) ماده رنگزای ۱ و (b) ماده رنگزای ۲.

رنگزای جذب شده بر روی الیاف اکریلیک افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که رمق‌کشی با شیب تندی تا زمان ۶۰ دقیقه از فرآیند رنگریزی افزایش می‌یابد و پس از آن، افزایش زمان تأثیر چندانی بر مقدار رنگ جذب شده بر روی الیاف نمی‌گذارد. بنابراین، می‌توان زمان ۶۰ دقیقه را به عنوان زمان تعادل فرآیند رنگریزی در نظر گرفت. شکل ۴ بخوبی نشان می‌دهد که در زمان‌های مورد بررسی، سرعت رنگریزی و مقدار رنگ جذب شده ماده رنگزای ۲ در مقایسه با ماده رنگزای ۱ بیشتر می‌باشد، که آن را می‌توان به تمایل بیشتر ماده رنگزای ۲ نسبت داد.

۳-۱-۴- اثر دمای رنگریزی

دمای رنگریزی یک عامل بسیار مهم در رنگریزی الیاف اکریلیک به شمار می‌رود. به منظور بررسی اثر دمای رنگریزی، آزمایش‌ها در دماهای ۱۰۵-۸۵°C انجام شد. شکل ۵ نشان می‌دهد که افزایش دما اثر مثبتی بر مقدار جذب ماده رنگزا بر روی کالا دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش دما تا ۱۰۰°C شیب افزایش مقدار رنگ جذب شده افزایش می‌یابد اما با افزایش دما به بالاتر از ۱۰۰°C درجه تغییرات رمق‌کشی ناچیز می‌باشد. بنظر می‌رسد که افزایش دما از یک

۳-۱-۲- اثر غلظت ماده رنگزا

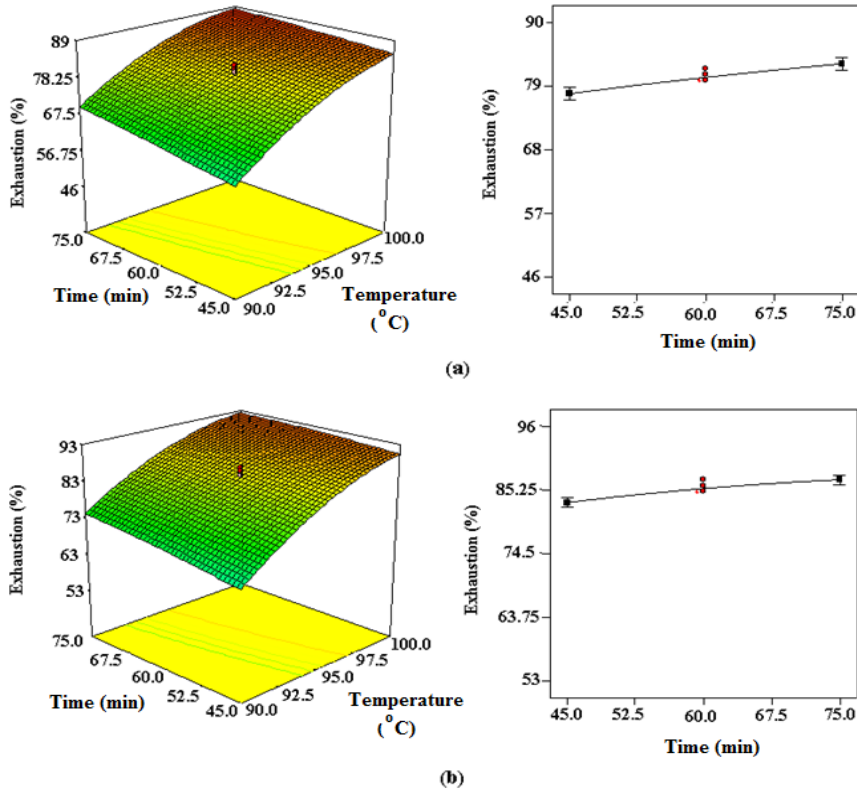
فرآیند رنگریزی الیاف اکریلیکی در غلظت‌های مختلفی از مواد رنگزا انجام شد. نتایج آورده شده در شکل ۳ بخوبی نشان می‌دهد که با افزایش غلظت ماده رنگزا تا غلظت ۲ درصد برحسب وزن کالا، مقدار رمق‌کشی به صورت مطلوبی افزایش می‌یابد و با افزایش غلظت ماده رنگزا به بالاتر از ۲ درصد تغییرات رمق‌کشی ناچیز می‌باشد. دلیل ناچیز بودن تغییرات رمق‌کشی در بالاتر از غلظت ماده رنگزا به بالاتر از ۲ درصد را می‌توان به پر شدن مکان‌های رنگ‌پذیر محدود در الیاف اکریلیک نسبت داد که با جذب شدن مولکول‌های ماده رنگزا، ظرفیت جذب الیاف تکمیل شده و امکان جذب بیشتر برای مولکول‌های ماده رنگزا وجود ندارد [۲۵]. با توجه به نتایج به دست آمده، غلظت بین ۱-۲ درصد ماده رنگزا برحسب وزن کالا را می‌توان به عنوان غلظت بهینه در نظر گرفت.

۳-۱-۳- اثر زمان رنگریزی

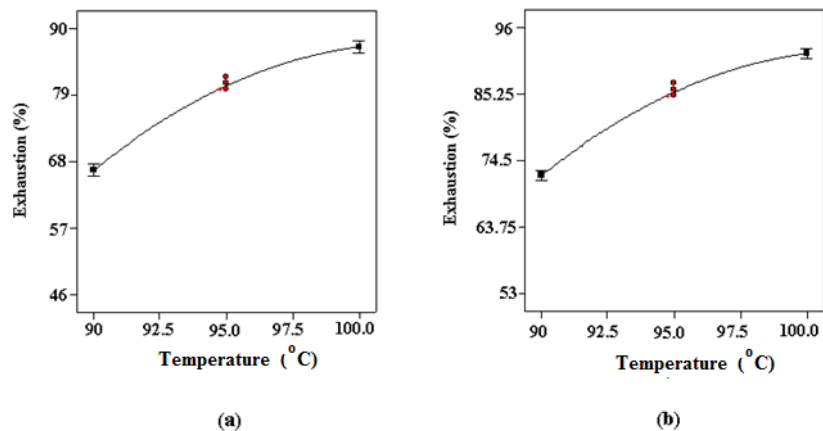
به منظور بررسی سرعت رنگریزی و بدست آوردن زمان تعادل در رنگریزی، فرآیند رنگریزی در زمان‌های مختلف انجام شد (شکل ۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان رنگریزی، مقدار ماده

الیاف راحت تر در دسترس مولکول های ماده رنگزا قرار می گیرند. نتایج بخوبی نشان می دهد که در دمای ۱۰۰ °C، مقدار رمق کشی تقریباً به طور کامل صورت می گیرد و می توان دمای ۱۰۰ °C را به عنوان دمای بهینه در نظر گرفت [۲۶].

طرف باعث حلالیت بهتر مولکول های مواد رنگزا و حرکت سریع تر مولکول های ماده رنگزا به سمت الیاف می شود و از سمت دیگر، در دمای بالای Tg الیاف اکریلیک (بالتر از ۸۵ °C)، امکان باز شدن فضای زنجیره های بین الیاف وجود دارد و مکان های رنگ پذیر بر روی



شکل ۴: تأثیر هم‌زمان زمان و دما بر روی فرآیند رنگرزی کالای اکریلیک، (a) ماده رنگزای ۱ و (b) ماده رنگزای ۲.



شکل ۵: تأثیر هم‌زمان دما و زمان بر روی فرآیند رنگرزی، (a) ماده رنگزای ۱ و (b) ماده رنگزای ۲.

۲-۳- بررسی اعتبار مدل

برای بررسی صحت و اعتبار مدل پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار، مقادیر ضریب همبستگی (R^2)، آنالیز واریانس و نمودارهای باقی‌مانده مورد بررسی قرار می‌گیرند.

ضریب همبستگی: مقدار R^2 بالا به دست آمده از RSM، بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای درصد رمق کشی کالاهای اکریلیکی رنگریزی شده بترتیب با مواد رنگزای ۱ و ۲ که در زیر آورده شده است، تأییدکننده اعتبار مدل می‌باشد.

ماده رنگزای ۱

R-Sq=99.16%; R-Sq(pred)=95.68%; R-Sq(adj)=98.42%

ماده رنگزای ۲

R-Sq=98.60%; R-Sq(pred)=92.41%; R-Sq(adj)=97.38%

آنالیز واریانس: نتایج برای حذف مواد رنگزا از پساب رنگریزی در

جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار احتمال برای معادله رگرسیون کمتر از ۰,۰۵ (با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵٪) است که نشان می‌دهد مدل چندجمله‌ای درجه دوم با نتایج آزمایشگاهی بخوبی منطبق شده است.

مطابق با جدول ۳ مقادیر پایین عدد P برای pH اولیه، مقدار غلظت ماده رنگزا، زمان تماس و دمای فرآیند، اهمیت فراوان این بر روی فرآیند رنگریزی کالای اکریلیکی تأیید می‌کند. علی‌رغم اهمیت خود عوامل، کلیه عبارت‌های مربعی به جز X_3^2 و عبارت مربوط به تداخل پارامترها در مورد X_3X_4 با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵٪ برای پاسخ با اهمیت می‌باشند.

مطابق با نتایج به دست آمده از RSM، معادله مدل رگرسیونی به لحاظ اهمیت ضرایب برای مقدار درصد رمق کشی کالاهای اکریلیکی با هر دو ماده رنگزای به کار رفته در معادلات ۲ و ۳ آورده شده است:

ماده رنگزای ۱

$$\eta = 85,42 - 1,41X_1 - 3,16X_2 + 1,91X_3 + 1,41X_4 - 1,27X_1^2 - 0,89X_2^2 - 0,39X_3^2 - 3,52X_4^2 + 0,25X_1X_2 + 0,12X_1X_3 + 0,62X_1X_4 - 0,12X_2X_3 - 0,62X_2X_4 - 1,00X_3X_4$$

ماده رنگزای ۲

$$\eta = 80,42 - 1,50X_1 - 3,08X_2 + 2,58X_3 + 10,16X_4 - 1,81X_1^2 - 1,44X_2^2 - 0,19X_3^2 - 3,69X_4^2 - 0,12X_1X_2 + 0,12X_1X_3 - 0,25X_1X_4 - 0,12X_2X_3 - 0,50X_2X_4 - 1,00X_3X_4$$

جدول ۳: ضرایب رگرسیون محاسبه شده برای فرآیند رنگریزی کالای اکریلیکی

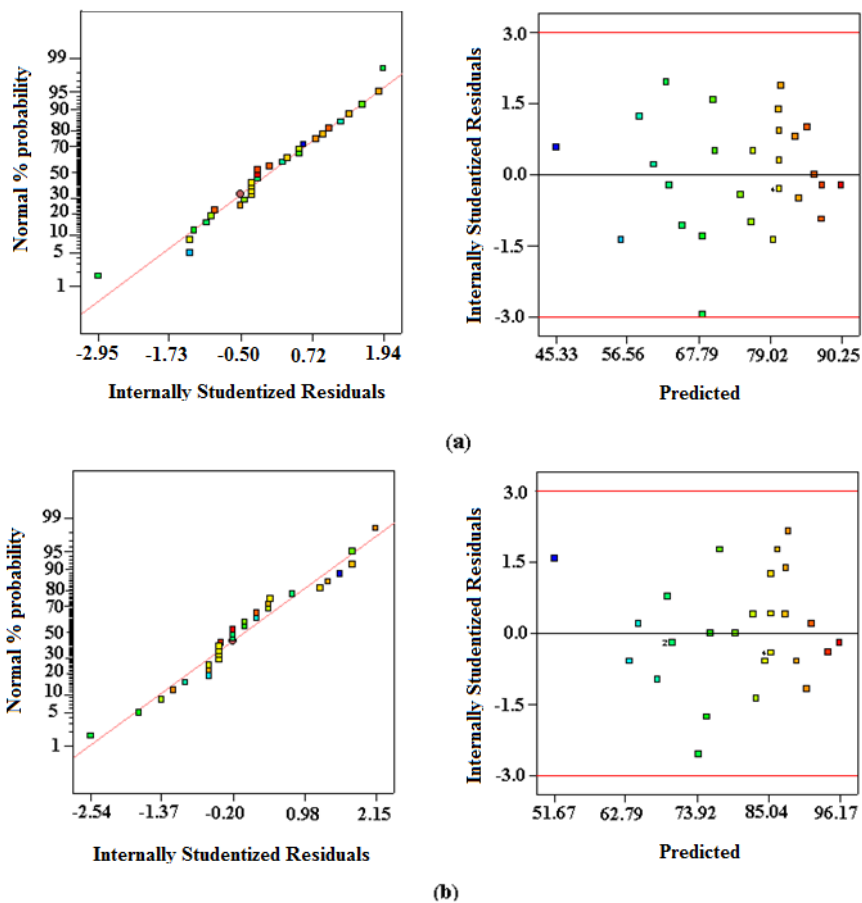
عبارت	ماده رنگزای ۱			ماده رنگزای ۲		
	ضریب	t	P	ضریب	t	P
ثابت	۸۵,۴۲	۱۷۶,۰۲	۰,۰۰۰	۸۰,۴۲	۱۲۲,۱۶	۰,۰۰۰
X_1	-۱,۴۱	-۵,۴۰	۰,۰۰۰	-۱,۵۰	-۴,۲۱	۰,۰۰۱
X_2	-۳,۱۶	-۱۲,۰۸	۰,۰۰۰	-۳,۰۸	-۸,۶۷	۰,۰۰۰
X_3	۱,۹۱	۷,۳۱۳	۰,۰۰۰	۲,۵۸	۷,۲۶	۰,۰۰۰
X_4	۹,۸۳	۳۷,۵۱	۰,۰۰۰	۱۰,۱۶	۲۸,۵۹	۰,۰۰۰
X_1^2	-۱,۲۷	-۵,۳۰	۰,۰۰۰	-۱,۸۱	-۵,۵۷	۰,۰۰۰
X_2^2	-۰,۸۹	-۳,۷۴	۰,۰۰۲	-۱,۴۴	-۴,۴۲	۰,۰۰۰
X_3^2	-۰,۳۹	-۱,۶۶	۰,۱۱۶	-۰,۱۹	-۰,۵۸	۰,۵۶۷
X_4^2	-۳,۵۲	-۱۴,۶۷	۰,۰۰۰	-۳,۶۹	-۱۱,۳۲	۰,۰۰۰
X_1X_2	۰,۲۵	۰,۷۷	۰,۴۴۷	-۰,۱۲	-۰,۲۸	۰,۷۷۸
X_1X_3	۰,۱۲	۰,۳۸	۰,۷۰۲	۰,۱۲	۰,۲۸	۰,۷۷۸
X_1X_4	-۰,۶۲	-۱,۹۴	۰,۰۶۹	-۰,۲۵	-۰,۵۷	۰,۵۷۴
X_2X_3	-۰,۱۲	-۰,۳۸	۰,۷۰۲	-۰,۱۲	-۰,۲۸	۰,۷۷۸
X_2X_4	-۰,۶۲	-۱,۹۴	۰,۰۶۹	-۰,۵۰	-۱,۱۴	۰,۲۶۸
X_3X_4	-۱,۰۰	-۳,۱۱	۰,۰۰۷	-۱,۰۰	-۲,۲۹	۰,۰۳۶

جدول ۴: آنالیز واریانس برای فرآیند رنگرزی کالای اکریلیکی.

منبع	درجه آزادی			مجموع مربعات		میانگین مربعات		P
	رنگزای ۱	رنگزای ۲	۱۴	رنگزای ۱	رنگزای ۲	رنگزای ۱	رنگزای ۲	
رگرسیون	۱۴	۱۴	۳۱۱۲,۰۱	۲۲۲,۲۹	۳۴۲۲,۱۶	۲۴۴,۴۴	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
خطی	۴	۴	۲۶۹۷,۶۷	۶۷۴,۴۲	۲۹۲۳,۰۰	۷۳۰,۷۵	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
مربع	۴	۴	۳۸۴,۳۴	۹۶,۰۸	۴۷۷,۴۱	۱۱۹,۳۵	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
اثر تداخل	۶	۶	۳۰,۰۰	۵,۰۰	۲۱,۷۵	۳,۶۲	۰,۳۵۸	۰,۰۳۵
خطای باقیمانده	۱۶	۱۶	۲۶,۳۸	۱,۶۵	۴۸,۵۵	۳,۰۳	-	-
عدم برازش	۱۰	۱۰	۲۲,۶۷	۲,۲۷	۴۴,۸۳	۴,۴۸	۰,۰۱۲	۰,۰۶۳
خطای خالص	۶	۶	۳,۷۱	۰,۶۲	۳,۷۱	۰,۶۲	-	-
کل	۳۰	۳۰	۳۱۳۸,۳۹	-	۳۴۷۰,۷۱	-	-	-

فرض نرمال بودن برای مدل رضایت بخش می باشد. همچنین درستی تطبیق مدل توسط نمودار مانده ها در مقابل مقادیر تطبیق یافته بررسی گردید.

نمودارهای مانده: نمودارهای احتمال نرمال و نمودارهای مانده در مقابل مقادیر تطبیق یافته در شکل ۶ نشان داده شده اند. همان طور که در نمودار احتمال نرمال مشاهده می شود، نمودار برای هر دو ماده رنگرزی به کار رفته شبیه یک خط مستقیم می باشد. بنابراین



شکل ۶: نمودار احتمال نرمال و نمودار مانده ها در مقابل مقادیر تطبیق یافته برای فرآیند رنگرزی کالای اکریلیکی، (a) ماده رنگرزی ۱، (b) ماده رنگرزی ۲.

۴-۳- اندازه‌گیری ثبات رنگ

ثبات شستشویی کالاهای رنگرزی شده (تغییر رنگ و لکه‌گذاری) توسط معیار خاکستری ارزیابی شدند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ثبات شستشویی کالاهای رنگرزی شده با مواد رنگزای ۱ و ۲ در جدول ۶ آورده شده است. نتایج حاصل از جدول ۶ نشان می‌دهد که کالاهای رنگرزی شده با ماده رنگزای ۱، دارای ثبات شستشویی نسبتاً پایین است و این را می‌توان به کوچک بودن مولکول ماده رنگزا نسبت داد که در حمام شستشو از سطح کالا جدا شده و باعث لکه‌گذاری بر روی پارچه همراه شده و در نتیجه ثبات شستشویی را کاهش می‌دهد. نتایج بخوبی نشان می‌دهد که اصلاح ماده رنگزای نفتالیمیدی با دندریمر PAMAM توانسته است که ثبات شستشویی کالاهای رنگرزی شده را در حالت بدون شستشو به مقدار قابل قبولی افزایش دهد که این را می‌توان به بزرگ‌تر شدن مولکول ماده رنگزا پس از اصلاح با دندریمر نسبت داد که به دلیل آبگریز بودن به کالا تمایل بیشتری داشته و در حمام شستشو از کالای رنگرزی شده جدا نشده و بر روی کالاهای همراه ایجاد لکه نمی‌کند و در نتیجه از ثبات شستشویی بالاتری برخوردار است. بدیهی است که با انجام عملیات شستشوی احیایی ثبات‌های شستشویی افزایش یافته و اثر لکه‌گذاری بر روی پارچه‌های همراه کاهش یافته است [۱۲].

برای اندازه‌گیری ثبات سایشی کالاهای رنگرزی شده از روش استاندارد ISO 105-X12: 1993(E) استفاده شد. اندازه‌گیری ثبات سایشی در دو حالت خشک و تر انجام شده است و نتایج در جدول ۶ آورده شده است. نتایج به‌خوبی نشان می‌دهد که استفاده از دندریمر برای اصلاح ماده رنگزا توانسته است که تأثیر مثبت بر روی ثبات سایشی نیز بگذارد و مقدار ثبات ماده رنگزای ۲ نسبت به ماده رنگزای ۱ از بهبود نسبی برخوردار است و این را می‌توان به افزایش وزن مولکولی ماده رنگزا پس از اصلاح با دندریمر و تمایل بیشتر مولکول ماده رنگزا به کالای اکریلیکی نسبت داد که توانسته است بخوبی جذب کالا شود و حتی در اثر سایش نیز از کالا جدا نشود در نتیجه از ثبات سایشی بالاتری در مقایسه با ماده رنگزای ۱ برخوردار باشد [۱۲].

جدول ۶: ثبات شستشویی کالای اکریلیک رنگرزی شده در عمق استاندارد ۱:۱.

ثبات نوری	ثبات سایشی		ثبات شستشویی									
	خشک	تر	شستشوی احیایی				بدون شستشو				ماده رنگزا	
			SA	SN	SC	CC	SA	SN	SC	CC		
۳	۴	۵-۴	۵-۴	۵-۴	۵-۴	۵-۴	۵-۴	۴	۲-۱	۴	۴-۳	۱
۶	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵-۴	۵	۵	۲

CC: تغییر رنگ؛ SC: لکه‌گذاری روی پنبه؛ SN: لکه‌گذاری روی نایلون؛ SA: لکه‌گذاری روی اکریلیک

برای اطمینان از مدل نباید یکسری نقاط افزایشی و یا کاهش‌ی، الگوهای همچون افزایش مانده‌ها با افزایش مقادیر تطبیق‌یافته و تعداد قابل توجهی مانده‌های مثبت یا منفی مشاهده شود. شکل ۶ (ب) الگوی تصادفی مانده‌ها را در دو طرف صفر نشان می‌دهد که اثبات‌کننده عدم وجود مشکل در رابطه با مدل می‌باشد.

۳-۳- قابلیت فلورسنسی کالاهای رنگرزی شده

بدیهی است که با افزایش غلظت ماده رنگزای فلورسنسی، از شدت فلورسنسی کالاهای رنگرزی شده کاسته خواهد شد. به‌منظور مقایسه شدت فلورسنسی کالاهای رنگرزی شده، داده‌های به دست آمده از دستگاه اسپکتروفلورومتر در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: داده‌های طیفی فلورسنسی کالای اکریلیک رنگرزی شده.

ماده رنگزا (% ofw)	شدت فلورسنسی	
	ماده رنگزای ۱	ماده رنگزای ۲
۰,۲	۳۴۳,۵۶	۳۹۸,۲۸
۰,۵	۳۰۶,۳۷	۳۶۷,۵۹
۱	۲۵۵,۱۱	۳۱۴,۳۶
۲	۲۲۴,۴۲	۲۰۳,۱۸
۴	۲۰۱,۶۱	۱۴۰,۰۷

نتایج بخوبی نشان می‌دهد که در غلظت‌های کم (غلظت ۰,۲ تا ۱٪ ماده رنگزا بر حسب وزن کالا)، ماده رنگزای ۲ از قابلیت فلورسنسی بسیار بالاتری برخوردار است و می‌توان در این غلظت ماده رنگزای به شدت فلورسنسی بالاتری در مقایسه با ماده رنگزای نفتالیمیدی دست یافت. با افزایش غلظت ماده رنگزا در هر دو ماده رنگزا، از شدت فلورسنسی کاسته شده و این مقدار برای ماده رنگزای ۲ در مقایسه با ماده رنگزای ۱ بیشتر کاهش یافته است. نتایج نشان می‌دهد که با اصلاح ماده رنگزای ۱ با دندریمر PAMAM، مقدار قابلیت رنگرزی در غلظت‌های بالای ماده رنگزای مورد استفاده افزایش یافته است و در نتیجه از شدت فلورسنسی کالاهای رنگرزی شده کاسته شده است.

اکریلیکی استفاده شد. تأثیر عوامل مؤثر بر فرآیند رنگرزی با استفاده از روش آماری رویه پاسخ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بخوبی نشان داد که طراحی آزمایش‌ها به کمک رویه پاسخ یک روش مناسب و کارآمد برای بهینه‌کردن فرآیند رنگرزی کالای اکریلیکی با مواد رنگرزی فلورسنسی می‌باشد و مدل پیشنهاد شده از اعتبار و ضریب همبستگی قابل قبولی برخوردار می‌باشد. همچنین، قابلیت رنگرزی، ثبات شستشویی و ثبات نوری ماده رنگرزی اصلاح شده با دندریمر نسبت به ماده رنگرزی نفتالیمیدی به مقدار قابل قبولی بهبود یافته است. نتایج این مقاله بخوبی نشان می‌دهد که می‌توان از دندریمر PAMAM برای افزایش قابلیت رنگرزی مواد رنگرزی نفتالیمیدی بر روی کالای اکریلیکی استفاده نمود و همچنین ویژگی‌های ثباتی مواد رنگرزی فلورسنسی بر پایه نفتالیمید را که معمولاً ضعیف هستند به مقدار قابل قبولی بهبود داد.

ثبات نوری مواد رنگرزی به کار برده شده نیز در جدول ۶ آورده شده است. در کل مواد رنگرزی بر پایه نفتالیمید دارای ثبات نوری متوسط هستند. اما با اصلاح ماده رنگرزی با دندریمر، ثبات نوری کالاهای رنگرزی شده به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است و این را می‌توان به خصوصیت دندریمرها نسبت داد که از آن برای افزایش پایداری نوری مواد مختلف استفاده می‌شود و در اینجا نیز توانسته است که با ترکیب با ماده رنگرزی، باعث بهبود قابل ملاحظه ثبات آن بر روی کالای اکریلیکی شود [۱۲]. مواد رنگرزی مورد استفاده، علاوه بر قابلیت رنگرزی و ثبات‌های قابل قبول بر روی کالای اکریلیکی، دارای یکنواختی بسیار خوبی نیز بر روی کالا از لحاظ بصری هستند.

۴- نتیجه‌گیری

از مواد رنگرزی فلورسنسی بر پایه نفتالیمید برای رنگرزی کالای

۵- مراجع

1. R. M. EL-Shishtawy, S. H Nasser, N. S. E Ahmed, Anionic coloration of acrylic fiber. Part II: Printing with reactive, acid and direct dyes. *Dyes Pigm.* 74(2007), 215-222.
2. S. M. Burkinshaw, Chemical principles of synthetic fiber dyeing. Glasgow: Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall; 1995.
3. K. Hunger, Industrial dyes: chemistry, properties, application. Wiley-VCH; 2003.
4. R. M. Christie, Fluorescent dyes. *Rev Prog Coloration.* 23(1993), 1-18.
5. G. R. Bardajee, A. Y. Li, J. C. Haley, M. A. Winnik, The synthesis and spectroscopic properties of novel, functional fluorescent naphthalimide dyes. *Dyes Pigm.* 79(2008), 24-32.
6. H. Zollinger, Color chemistry, VCH, Weinheim, 1991.
7. M. Sadeghi-Kiakhani, K. Gharanjig, M. Arami, A. Khosravi, Dyeing and fastness properties of polyamide fabrics using some acid-based monoazo disperse dyes. *J Appl Polym Sci.* 122(2011), 3390-3395.
8. M. Sadeghi-Kiakhani, K. Gharanjig, M. Arami, Study on dyeing and fastness properties of wool-polyester blend fabrics using novel mono azo-naphthalimide dyes. *J. Text. Institute.* 105(2013), 52-58.
9. M. Sadeghi-Kiakhani, M. Arami, K. Gharanjig, J. Mokhtari, N. M. Mahmoodi, Synthesis of some novel monoazo disperse dyes derived from *N*-carboxylic acid-1,8-naphthalimide and their dyeing on polyethyleneterphthalate (PET). *Fibers Polym.* 10(2009), 446-451.
10. V. B. Bojinov, I. P. Panova, D. B. Simeonov, Design and synthesis of polymerizable, yellow-green emitting 1,8-naphthalimides containing built-in s-triazine UV absorber and hindered amine light stabilizer fragments. *Dyes Pigm.* 78(2008), 101-110.
11. M. Dodangeh1, K. Gharanjig, A review on synthesis, properties and application of advanced naphthalimide dyes. *J. Adv. Mater. Novel Coat.* 2 (2012), 13-30.
12. M. Sadeghi-Kiakhani, Polyester fabric dyeing using synthesized 4-amino-9-methoxypropyl naphthalimide-dendrimer hybrid. *J. Adv. Mater. Novel Coat.* 9(2014), 629-642.
13. L. Liu, C. Qin, R. C. Tang, G. Chen, Dyeing properties and colour characteristics of a novel fluorescent dye applied to acrylic fabric. *Fibres Text. East. Eur.* 4(2013), 144-147.
14. S.M. Burkinshaw, P.E. Froehling, M. Mignanelli, The effect of hyperbranched polymers on the dyeing of polypropylene fibres. *Dyes Pigm.* 53(2002), 229-235.
15. P. E. Froehling, Dendrimers and dyes-a review. *Dyes Pigm.* 48(2001), 187-195.
16. F. Vogtle, G. Richard, N. Werner, Dendrimer chemistry. Wiley-VCH, Weinheim, 2009.
17. C. Yiyun, Y. Jiepin, Effect of polyamidoamine dendrimers in decolorizing triarylmetane dye effluent. *Color Technol.* 121(2005), 72-75.
18. M. Sadeghi-Kiakhani, Arami M, Gharanjig K, Dye removal from colored textile wastewater using chitosan-PPI dendrimer hybrid as a biopolymer: optimization, kinetic and isotherm studies. *J Appl Polym Sci.* 127(2013), 2607-2019.
19. C. Z. Chen, N. C. Beck-Tan, P. Dhurjati, T. K. VanDyk, R. A. LaRossa, S. L. Cooper, Quaternary ammonium functionalized poly (propylene imine) dendrimers as effective antimicrobials: structure-activity studies. *Biomacromolecules.* 1(2000), 473-480.
20. M. Sadeghi-Kiakhani, M. Arami, K. Gharanjig, Application of a biopolymer Chitosan-Poly (Propylene) Imines Dendrimer Hybrid as an antimicrobial agent on the wool. *Iran Polym. J.* 22(2013), 931-940.
21. I. Grabchev, Photophysical characteristics of polymerizable 1,8-naphthalimide dyes and their copolymers with styrene or methylmethacrylate. *Dyes Pigm.* 38(1998), 219-226.
22. N. M. Suek, M. H. Lamm, Effect of terminal group modification on the solution properties of dendrimers: A molecular dynamics simulation study. *Macromol.* 39(2006), 4247-4255.
23. B. Ghorbanzadeh, K. Gharanjig, S. Rouhani, A. Khosravi,

- Synthesis and dyeing properties of an acid blue dye derived from naphthalimide on polyamide fibers. *J Color Sci. Tech.* 6(2013), 369-376.
24. M. Sadeghi-Kiakhani, S. Safapour, Improvement of the dyeing and fastness properties of a naphthalimide fluorescent dye using poly (amidoamine) dendrimer. *Color. Technol.* 131(2015), 142-148.
25. Y. Sawa, M. Hoten, Acid-dyeable acrylic fibres copolymerized with amino alkyl methacrylates for differential cross-dyeing. *Color. Technol.* 117(2001), 171-175.
26. Y. Wang, S. Du, X. Shen, L. Zhu, Z. Gong, Acid-dyeable polyacrylonitrile/poly (N, N-dikylaminoethylacrylate) acrylic blend fiber. *J. Appl. Polym. Sci.* 106(2007), 84-88.