

## رنگرزی پارچه پشمی با ماده رنگزای طبیعی اسپنددانه: بررسی عوامل موثر بر قدرت رنگی به کمک روش رویه پاسخ

امین‌الدین حاجی

استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، صندوق پستی: ۸۹۱۹۵۷۴۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۳ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۸/۶/۴

### چکیده

یافتن مواد رنگزای طبیعی جدید با دسترسی آسان، قدرت رنگی مناسب، کم هزینه و باثبات یکی از موضوعات مورد علاقه محققان است. در این مقاله از اسپنددانه به عنوان یک ماده رنگزای طبیعی جدید برای رنگرزی الیاف پشم استفاده شده است. این محصول گیاهی به وفور و به صورت خودرو و رایگان در بسیاری از مناطق ایران یافت می‌شود. سه عامل دمای رنگرزی، مقدار اسیدی بودن حمام رنگرزی و مقدار دندان زاج سفید به عنوان متغیرهای اصلی تحقیق انتخاب شدند و ۲۵ نمونه بر اساس طراحی انجام شده توسط نرم افزار طراحی آزمایشات تهیه و قدرت رنگی آنها اندازه‌گیری شد. قدرت رنگی نمونه‌ها با افزایش دما و اسیدیته حمام رنگرزی افزایش نشان داد و افزایش مقدار دندان زاج سفید باعث کاهش قدرت رنگی کالای رنگرزی شده گردید.

واژه‌های کلیدی: اسپنددانه، دندان، پشم، رنگرزی طبیعی، روش رویه پاسخ.

## Wool Dyeing with Harmal Seed as a Natural Dye: Investigation of Influencing Factors Using Response Surface Methodology

A. Haji

Textile Engineering Department, Yazd University, P. O. Box: 89195741, Yazd, Iran

Received: 12-11-2018

Accepted: 02-02-2019

Available online: 26-08-2019

### Abstract

Nowadays, there is an increasing interest in finding new sources of natural dyes with easy accessibility, high color strength, low cost, and high fastness properties. In this study, harmal seed has been used as a new source of natural dye on wool fibers. Harmal (*Peganum Harmala*) can be found extensively in several regions of Iran as a self-growing wild plant. Dyeing pH, dyeing Temperature and alum mordant concentration were chosen as the main influencing factors of this study and 25 samples were prepared according to the experimental design. The amounts of color strength of the dyed samples were measured. The results showed that the color strength was increased with increasing the dyebath pH and dyeing temperature. Increasing the concentration of alum decreased the color strength. *J. Color Sci. Tech.* 13(2019), 131-140©. Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Harmal Seed, Mordant, Wool, Natural Dye, Response Surface Methodology.

## ۱- مقدمه

امروزه حفاظت از محیط‌زیست به عنوان یک چالش برای صنایع نساجی مطرح است و آلودگی آب‌ها با مواد رنگزای مصنوعی تبدیل به یک مشکل شده است. به همین دلیل مقررات مربوطه روز به روز سختگیرانه تر شده و در کنار بهینه‌سازی فرآیندها و ماشین‌آلات رنگرزی با مواد رنگزای شیمیایی، استفاده از مواد رنگزای طبیعی، یافتن منابع جدید و اقتصادی این نوع مواد رنگزا و بهینه‌سازی فرآیند کاربرد آنها نیز اهمیت خاصی پیدا کرده است [۱]. معمولاً از مواد رنگزای طبیعی برای رنگرزی الیاف طبیعی (پنبه، پشم و ابریشم) استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد، مواد رنگزای گیاهی فاقد بازده رنگی بالا بوده و به علاوه به مقدار کمی جذب الیاف (بخصوص الیاف سلولزی) می‌شوند و گاهی از ثبات شستشویی مناسبی نیز برخوردار نیستند [۲]. برای افزایش میزان جذب مواد رنگزای طبیعی به الیاف و همچنین بهبود خصوصیات ثباتی، معمولاً از دندانه‌های معدنی (نمک‌های فلزاتی مانند کروم، مس، آهن، قلع، آلومینیم و غیره) استفاده می‌شود. برخی از این مواد آلوده‌کننده محیط‌زیست بوده و بعضی از آنها مانند قلع به شدت سمی هستند [۳].

تحقیقات متنوعی در زمینه معرفی مواد رنگزای طبیعی و بهینه‌سازی فرآیند کاربرد آنها منتشر شده است. انصاری و همکارانش از مواد رنگزای حاصل از گل ریواس بر روی الیاف پشم استفاده کرده‌اند و به کمک عملیات پلاسمای اکسیژن جذب این مواد رنگزا را بر روی الیاف پشم بهبود بخشیده‌اند. در این تحقیق نتایج ثبات نوری و شستشویی به ترتیب ۵-۶ و ۳-۴ گزارش شده‌اند که در اثر آماده‌سازی به وسیله پلاسمای بهبود یافته‌اند [۴]. اسحق‌لو و همکارانش بر روی استخراج مواد رنگزا از گیاه ولیک تحقیق کرده و نشان داده‌اند که استفاده از روش فراصوت باعث بهبود بازده استخراج ماده رنگزا در زمان و دمای کمتر می‌شود [۵]. شاهپروری و همکارانش، رفتار سینتیکی و قابلیت رنگرزی پشم با دو ماده رنگزای طبیعی روناس و قرمزخانه را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق نشان داده شده که با افزایش دما، سرعت و زمان تعادل رنگرزی برای هر دوی این ترکیبات افزایش می‌یابد و سرعت رنگرزی نخ پشمی با هر دوی این مواد رنگزا از مدل پترسون پیروی می‌کند [۶].

برخی تحقیقات نیز بر روی اصلاح فیزیکی و یا شیمیایی الیاف به منظور بهبود جذب مواد رنگزای طبیعی متمرکز شده‌اند. مهرپرور و همکارانش از ترکیب کیتوسان-دندیرم پلی‌پروپیلن ایمین برای بهبود رنگ‌پذیری نخ پشمی با اسپرک استفاده کرده‌اند و بهبود قابلیت رنگرزی، غلظت اشباع ماده رنگزا و عمق رنگی را مشاهده نموده‌اند [۷]. نتایج تحقیق انجام شده توسط دوست محمدی و همکارانش نشان داد که اصلاح نخ پشمی با ترکیب کیتوسان-سیانوریک کلراید موجب بهبود خواص رنگرزی پشم شده و رمق‌کشی

به میزان ۷ درصد و قدرت رنگی به میزان ۲ واحد افزایش یافته است [۸]. حاجی و همکارانش نیز در تحقیقات مختلف از فرآیند پلاسمای به‌عنوان یک روش فیزیکی و دوست‌دار محیط زیست برای بهبود جذب مواد رنگزای طبیعی و حذف و یا کاهش مصرف دندانه‌های فلزی بر روی الیاف پشم استفاده کرده‌اند [۹-۱۴]. استفاده از دندیرم پلی‌پروپیلن ایمین نیز بر روی کالای پشمی اصلاح شده با عملیات پلاسمای باعث بهبود قابل توجه جذب مواد رنگزای قرمزخانه توسط الیاف پشم شده است [۱۵].

با این حال تحقیقات کمی در زمینه بهینه‌سازی فرآیند رنگرزی الیاف با مواد رنگزای طبیعی به کمک روش‌های آماری انجام شده است. بارانی و همکارانش، از گلبرگ زعفران در حضور دندانه کلرید قلع برای ایجاد فام آبی بر روی الیاف پشم بهره برده‌اند و شرایط بهینه را برای رسیدن به قوی‌ترین فام آبی به روش رویه پاسخ تعیین نموده‌اند [۱۶]. حاجی و همکارانش نیز تحقیقاتی را در زمینه بهینه‌سازی رنگرزی پشم با مواد رنگزای طبیعی پوست درخت گردو [۱۰]، برگ مو [۱۲]، غوزه پنبه [۱۳] و زیره سبز [۳] به روش رویه پاسخ منتشر نموده‌اند. در روش سنتی بهینه‌سازی فاکتورهای تحقیق، یک فاکتور به صورت متغیر در نظر گرفته شده و سایر فاکتورها ثابت نگه داشته می‌شوند و تاثیر فاکتور متغیر بر روی پاسخ اندازه‌گیری می‌شود. در این روش تعداد نمونه‌ها زیاد شده و وقت و هزینه زیادی صرف می‌شود. در روش رویه پاسخ، ابتدا طراحی آزمایشات براساس مدل‌های مشخص انجام شده و تعداد حداقل نمونه‌های لازم برای رسیدن به بیشینه دقت همراه با کاهش هزینه و زمان آزمایشات پیشنهاد می‌شود. روش رویه پاسخ شامل طراحی‌های متعددی است که یکی از آنها طراحی D-Optimal می‌باشد. این طراحی، بهترین ترکیب ممکن از نمونه‌های آزمایشی برای رسیدن به حداقل هزینه و حداکثر سرعت را بر مبنای مدل‌های کامپیوتری ارائه می‌دهد [۱۰].

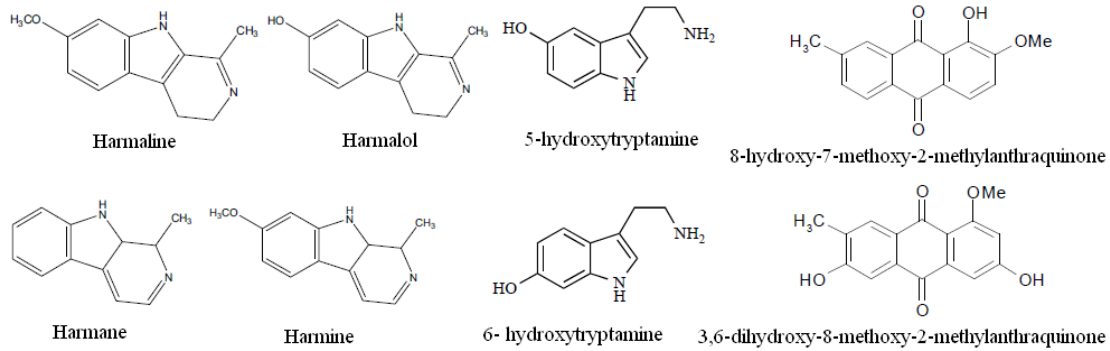
گیاه اسپند<sup>۱</sup>، یک گیاه به شکل علفی و چندساله است که در تابستان گل‌های سفید رنگی می‌دهد که در نهایت تبدیل به کپسول‌هایی حاوی حدود پنجاه دانه اسپند می‌شوند. این گیاه به وفور در عمده مناطق ایران به صورت خودرو یافت می‌شود. دانه‌های این گیاه سرشار از آلکالوئیدهای برپایه بتا کربولین<sup>۲</sup> مانند هارمان، هارمین، هارمالین و هارمالول و مشتقات تریپتامین<sup>۳</sup> و آنتراکینون (شکل ۱) هستند [۱۷-۱۹] که می‌توانند قابلیت رنگرزی الیاف نساجی را همراه با خاصیت ضدباکتری داشته باشند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون تنها یک تحقیق در خصوص استفاده از این گیاه برای رنگرزی منسوجات منتشر شده است.

1- Peganum Harmala

2-  $\beta$ -Carboline

3- Tryptamine



شکل ۱: ترکیبات شیمیایی اصلی موجود در اسپنددانه.

در یک لیتر آب مقطر ریخته شده و به مدت ۲ ساعت در دمای جوش همراه با هم‌زدن قرار داده شد. سپس محلول حاصل توسط کاغذ صافی فیلتر شده و پس از خشک کردن رطوبت آن در دمای  $70^{\circ}\text{C}$ ، ماده رنگزای استخراج شده به صورت پودر خشک تهیه و برای رنگرزی نمونه‌ها استفاده شد.

### ۲-۳-۲- طراحی آزمایشات

در ابتدا آزمایشات مقدماتی برای تعیین متغیرهای موثر و شناخت متغیرهای دارای تاثیر بیشتر بر فرآیند رنگرزی انجام شده و سه متغیر غلظت دندان زاج سفید، دمای حمام رنگرزی و میزان اسیدی بودن (pH) حمام رنگرزی به عنوان متغیرهای اصلی تحقیق تعیین شدند. در نتیجه برای تعیین اثرات و یافتن مقادیر بهینه متغیرهای فوق، از نرم‌افزار Design Expert Version 7.1.5 استفاده شد. برای این منظور از روش رویه پاسخ و طراحی D-Optimal استفاده شد. جدول ۱ مشخصات متغیرهای مورد نظر را نشان می‌دهد.

طبق طراحی آزمایش انجام شده، تعداد ۲۵ نمونه (جدول ۲) جهت بررسی تاثیر متغیرهای سه گانه فوق بر قدرت رنگی نمونه‌ها بعد از رنگرزی تعیین شده و آزمایشات برطبق آن انجام شد. پذیرش یا رد تاثیرگذاری متغیرها بر پاسخ‌ها، بر مبنای مقدار پی<sup>۱</sup> با سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد. نتایج به طور کامل به کمک آنالیز واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

### ۲-۳-۲- دندان‌دادن

نمونه‌ها در حمامی حاوی مقدار تعیین شده از زاج سفید و نسبت مایع به کالای ۱:۵۰ در pH ۵ و برای مدت ۳۰ دقیقه در دمای جوش دندان‌ده داده شدند. در نهایت نمونه‌ها آبکشی و در دمای محیط خشک شدند.

در تحقیق انجام شده توسط محققان پاکستانی، از عصاره متانلی اسپنددانه برای رنگرزی پارچه پنبه‌ای تحت تابش ریزموج استفاده شده است [۲۰]. در تحقیق حاضر از عصاره آبی اسپنددانه برای رنگرزی الیاف پشم استفاده شده و متغیرهای مهم فرآیند رنگرزی به کمک طراحی آزمایشات و تحلیل نتایج به وسیله روش رویه پاسخ مورد تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی قرار می‌گیرد.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد

در این تحقیق پارچه پشمی با بافت ساده (۲۵۰ گرم بر متر مربع)، تولید شده توسط کارخانجات ایران مرینوس مورد استفاده قرار گرفت. قبل از استفاده، برای جدا کردن آلودگی‌های سطحی، پارچه پشمی در محلولی حاوی ۱ گرم بر لیتر شوینده غیریونی (Triton X-) (100, Merck, Germany) در آب مقطر در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  برای ۳۰ دقیقه شسته و سپس با آب روان آبکشی و در دمای اتاق خشک شد. اسپنددانه نیز از فروشگاه‌های محلی گیاهان دارویی تهیه شد. سایر مواد مورد نیاز در این تحقیق دارای خلوص آزمایشگاهی بوده و از شرکت مرک (Merck-Germany) تهیه شدند.

### ۲-۲- دستگاه‌ها

برای اندازه‌گیری مقادیر انعکاس نمونه‌ها از طیف‌سنج انعکاسی Color Eye 7000A (X-rite, USA) استفاده شد. برای اندازه‌گیری استحکام نمونه‌ها از دستگاه استحکام‌سنج ساخت شرکت کیمیا بهسنگ (تهران) استفاده شد.

### ۲-۲- روش‌های انجام آزمایشات

#### ۲-۱-۳- استخراج مواد رنگزا

ابتدا اسپنددانه توسط آسیاب برقی خانگی بصورت پودر بسیار نرم در آورده شده و جهت استخراج مواد رنگزا، هر ۲۰ گرم پودر اسپنددانه

1- P-Value

جدول ۱: مشخصات متغیرهای تحقیق.

متغیر	نام	واحد	حد پایین	حد بالا
A	pH حمام رنگرزی	-	۵	۹
B	غلظت زاج سفید	% owf	۰	۱۰
C	دمای رنگرزی	°C	۵۰	۱۰۰

### ۲-۳-۴- رنگرزی

در مرحله رنگرزی، هر نمونه در محلولی حاوی ۱۰% owf از پودر ماده رنگزا برای مدت ۴۵ دقیقه در دما و pH مشخص شده بر طبق طراحی آزمایشات رنگرزی شده و در پایان آبکشی و خشک شد. نسبت مایع به کالا ۵۰:۱ بوده و برای تنظیم pH محلول رنگرزی از مقادیر جزئی از محلول‌های ۰,۱ نرمال سود و اسید سولفوریک استفاده شد.

### ۲-۳-۵- اندازه‌گیری قدرت رنگی نمونه‌ها

برای مقایسه میزان جذب رنگ نمونه‌ها از معیار قدرت رنگی استفاده شد. پس از اندازه‌گیری مقادیر انعکاس نمونه‌ها توسط طیف‌سنج انعکاسی، قدرت رنگی (K/S) نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید. در این رابطه K ضریب جذب، S ضریب انتشار و R حداقل انعکاس در طول موج بیشینه جذب می‌باشد. همچنین مقادیر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری و اختلاف رنگ ( $\Delta E$ ) هر نمونه با نمونه خام بر طبق رابطه ۲ محاسبه شد. در این رابطه اندیس ۱ مربوط به نمونه خام و اندیس ۲ مربوط به نمونه آزمایشی مورد نظر است.

$$K/S = (1-R)^2/2R \quad (1)$$

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (2)$$

### ۲-۳-۶- اندازه‌گیری استحکام نمونه‌ها

نخ‌های تار از لابلای پارچه بیرون آورده شده و از هر نمونه، به صورت تصادفی استحکام ۱۰ نخ بر اساس استاندارد ASTM D 2256 اندازه‌گیری و میانگین آن گزارش شد. طول نمونه‌ها ۱۵ سانتی‌متر و سرعت حرکت فک‌ها، ۳۰ سانتی‌متر بر دقیقه تعیین شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تحلیل آماری

نمونه‌های پارچه پشمی به ابعاد ۱۰ در ۱۵ سانتی‌متر تهیه شده و مطابق جدول طراحی آزمایشات تحت دندانه‌دادن و رنگرزی قرار گرفتند. جدول ۲ طراحی آزمایشات و مقادیر K/S برای نمونه‌های رنگرزی شده را نشان می‌دهد.

مقادیر متغیر پاسخ‌های موجود در جدول فوق توسط نرم افزار Design Expert V7.1.5 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مدل‌های مختلف بر روی اطلاعات فوق برازش شده و آنالیز واریانس نتایج حاصل از مدل‌های در نظر گرفته شده برای پاسخ قدرت رنگی در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که داده‌های جدول نشان می‌دهد مدل 2FI برای ارتباط بین متغیرهای تحقیق و پاسخ قدرت رنگی مناسب‌ترین مدل است زیرا دارای بالاترین مقادیر Adjusted R-Squared و Predicted R-Squared است. برای رسیدن به مدل مناسب‌تر تداخل‌های غیر موثر متغیرها نیز حذف گردید. جدول ۴ نتایج آنالیز واریانس متغیرهای تحقیق و مدل مورد نظر برای قدرت رنگی را نشان می‌دهد. مقادیر P-Value کمتر از ۰,۰۵ برای هر متغیر، نشان‌دهنده موثر بودن آن در مدل با سطح اطمینان ۰,۹۵ است. با توجه به مقادیر P-Value نشان داده شده در جدول، در اینجا متغیرهای A، B، C و AC معنی‌دار و موثر هستند. مقدار ۰,۶۰ برای Lack of Fit، نشان می‌دهد عدم تناسب بین مدل و اطلاعات تجربی معنی‌دار نیست و مدل مورد نظر به خوبی با اطلاعات تجربی تهیه شده تطابق دارد. رابطه ۳ به عنوان مدلی برای پیش‌بینی مقدار قدرت رنگی براساس مقادیر متغیرهای فرآیند توسط نرم‌افزار پیشنهاد شد.

$$K/S = +5.79 + 2.98A - 0.55B + 1.75C - 0.022AB + 0.74AC + 0.084BC - 0.64A^2 - 0.49B^2 + 0.65C^2$$

(۳)

جدول ۲: طراحی آزمایشات و مقادیر قدرت رنگی برای نمونه‌های رنگرزی شده با اسپنددانه.

نمونه	اسیدپته حمام: A	غلظت زاج سفید: B (% owf)	دمای رنگرزی: C (°C)	قدرت رنگی
۱	۵	۱۰	۵۰	۰,۱۶
۲	۹	۱۰	۱۰۰	۱۰,۷۴
۳	۷	۰	۷۵	۶,۲۹
۴	۷	۵	۸۷,۵	۷,۴۳
۵	۹	۰	۵۰	۶,۳۴
۶	۹	۰	۷۵	۸,۳۴
۷	۵	۱۰	۵۰	۰,۷۵
۸	۵	۰	۵۰	۰,۸۸
۹	۹	۱۰	۱۰۰	۱۰,۳۲
۱۰	۵	۰	۱۰۰	۳,۷۷
۱۱	۹	۰	۱۰۰	۱۱,۳۰
۱۲	۷	۱۰	۷۵	۴,۴۶
۱۳	۵	۱۰	۷۵	۱,۷۹
۱۴	۵	۵	۷۵	۲,۴۶
۱۵	۹	۱۰	۵۰	۵,۸۹
۱۶	۵	۰	۷۵	۲,۳۲
۱۷	۵	۵	۱۰۰	۳,۷۹
۱۸	۷	۵	۵۰	۴,۸۱
۱۹	۹	۵	۷۵	۷,۱۴
۲۰	۵	۰	۵۰	۲,۷۹
۲۱	۹	۱۰	۷۵	۶,۲۸
۲۲	۵	۱۰	۱۰۰	۱,۸۴
۲۳	۷	۰	۱۰۰	۷,۳۰
۲۴	۹	۰	۱۰۰	۱۱,۷۴
۲۵	۵	۱۰	۱۰۰	۳,۶۵

جدول ۳: آنالیز واریانس نتایج حاصل از مدل‌های در نظر گرفته شده برای پاسخ قدرت رنگی.

Source Model	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	
Linear	۰,۹۵	۰,۹۳۲۲	۰,۹۲۲۵	۰,۹۰۲۱	
2FI	۰,۸۳	۰,۹۵۵۷	۰,۹۴۰۹	۰,۹۱۳۶	Suggested
Quadratic	۰,۷۵	۰,۹۷۰۰	۰,۹۵۲۱	۰,۹۱۰۷	
Cubic	۰,۸۱	۰,۹۸۳۵	۰,۹۴۳۵	-	aliased

جدول ۴: نتایج آنالیز واریانس متغیرهای تحقیق و مدل مورد نظر برای قدرت رنگی.

Factor	F-Value	P-Value
Model	۵۳,۹۸	۰,۰۰۰۱>
A	۲۹۷,۵۵	۰,۰۰۰۱>
B	۱۰,۵۱	۰,۰۰۵۵
C	۸۳,۵۱	۰,۰۰۰۱>
AB	۰,۰۱۴	۰,۹۰۵۹
AC	۱۲,۴۲	۰,۰۰۳۱
BC	۰,۱۶	۰,۶۹۳۲
A <sup>2</sup>	۲,۶۳	۰,۱۲۵۹
B <sup>2</sup>	۱,۵۲	۰,۲۳۶۳
C <sup>2</sup>	۳,۷۸	۰,۰۷۰۹
Lack of fit	۰,۶۰	۰,۷۷۲۷

مربوطه دارای توزیع نرمال هستند. وجود مقادیر کم تا متوسط انحراف از حالت نرمال مشکل چندانی در تحلیل نتایج ایجاد نمی‌کند اما در صورت انحراف فاحش از توزیع نرمال، نیاز به آنالیزهای بیشتر است. برای بررسی نرمال بودن اطلاعات، بهترین راه، رسم نمودار احتمال نرمال باقی‌مانده‌ها<sup>۳</sup> است. منظور از باقی‌مانده، اختلاف بین مقادیر حاصل از آزمایش و مدل طراحی شده است. چنانچه نقاط مورد نظر بطور تقریبی بر روی یک خط قرار گیرند، دارای توزیع نرمال<sup>۴</sup> هستند و در غیر اینصورت، اطلاعات تجربی از یک نمونه دارای توزیع نرمال حاصل نشده است. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، این نقاط انحراف بسیار کمی از حالت خطی دارند لذا نمونه‌های تهیه شده در تحقیق از توزیع نرمال برخوردار بوده و نتایج حاصل از آن از لحاظ آماری قابل بررسی می‌باشد.

نمودار مقادیر واقعی (حاصل از آزمایش) در برابر مقادیر پیش‌بینی شده (حاصل از مدل آماری) میزان تطابق مدل ارائه شده بر نتایج تجربی را نشان می‌دهد. این نمودار، نمودار خوبی برازش<sup>۵</sup> نیز نامیده می‌شود. چنانچه نقاط مذکور به خوبی بر روی یک خط مورب قرار بگیرند، نشان‌دهنده برازش مناسب مدل پیشنهادی بر داده‌های عملی است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، تطابق خوبی بین داده‌های تجربی و نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل در این تحقیق وجود دارد.

برای سادگی و دقت بیشتر در مدل، تداخل‌هایی که تاثیر چندانی در نتایج نداشتند توسط نرم‌افزار حذف شده و مدل نهایی به صورت رابطه ۴ پیشنهاد شد.

$$K/S = +5.31 + 2.95A - 0.58B + 1.77C + 0.70AC \quad (۴)$$

مقدار ۰,۹۵۵۶ برای R<sup>2</sup> نشان داد که تطابق خوبی بین مدل پیشنهادی و داده‌های حاصل از آزمایشات وجود دارد. با این حال مقدار بالا برای R<sup>2</sup> لزوماً ممکن است تضمین‌کننده یک مدل خوب نباشد. معمولاً استفاده از R<sup>2</sup> تنظیم شده<sup>۱</sup> ترجیح داده می‌شود. هرگاه مقدار R<sup>2</sup> پیش‌بینی شده<sup>۲</sup> و R<sup>2</sup> تنظیم شده تفاوت زیادی داشته باشند، احتمال اینکه متغیرهای بی‌تاثیر در مدل وارد شده باشند وجود دارد. در این تحقیق این دو مقدار (۰,۹۳۲۹ برای R<sup>2</sup> پیش‌بینی شده و ۰,۹۴۶۸ برای R<sup>2</sup> تنظیم شده) به اندازه کافی نزدیک به هم هستند که نشان‌دهنده تطابق مدل پیشنهادی با داده‌های حاصل از آزمایشات است. در مورد Adeq precision نیز مقدار بالاتر از ۴ نشان‌دهنده این است که مدل از دقت کافی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق مقدار ۳۰,۰۹۳ برای Adeq precision به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای مدل است.

یکی از مهم‌ترین فرضیات در تحلیل آماری اطلاعات حاصل از آزمایشات تجربی، این است که نمونه‌های آزمایشی و اطلاعات

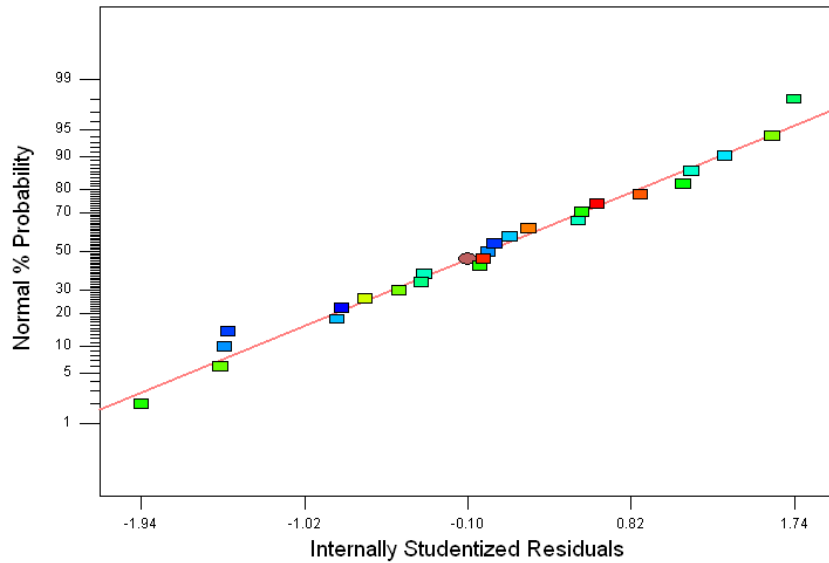
3- Normal Probability Plot of Residuals

4- Normal Distribution

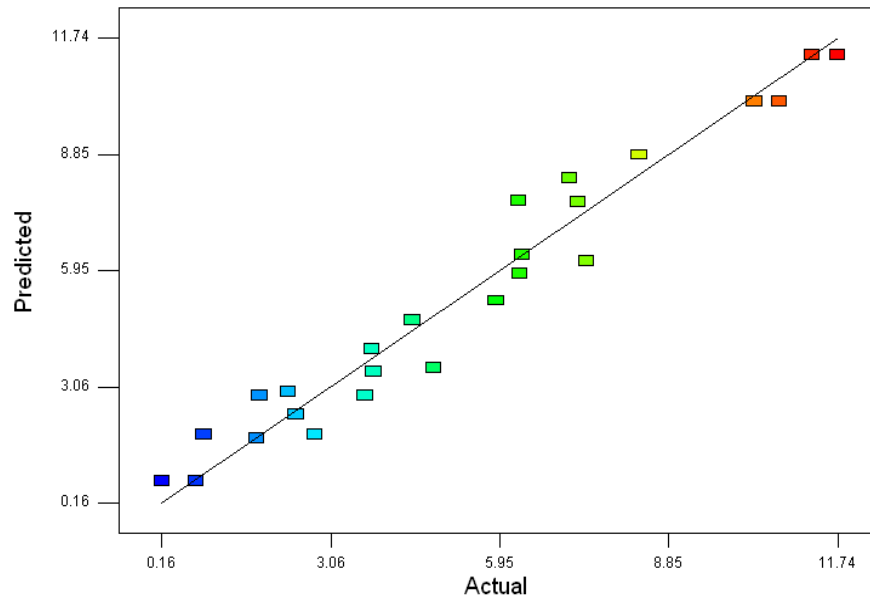
5- Goodness of Fit

1- Adj R-Squared

2- Pred R-Squared



شکل ۲: نمودار احتمال نرمال باقی مانده‌ها در رنگرزی با اسپنددانه.



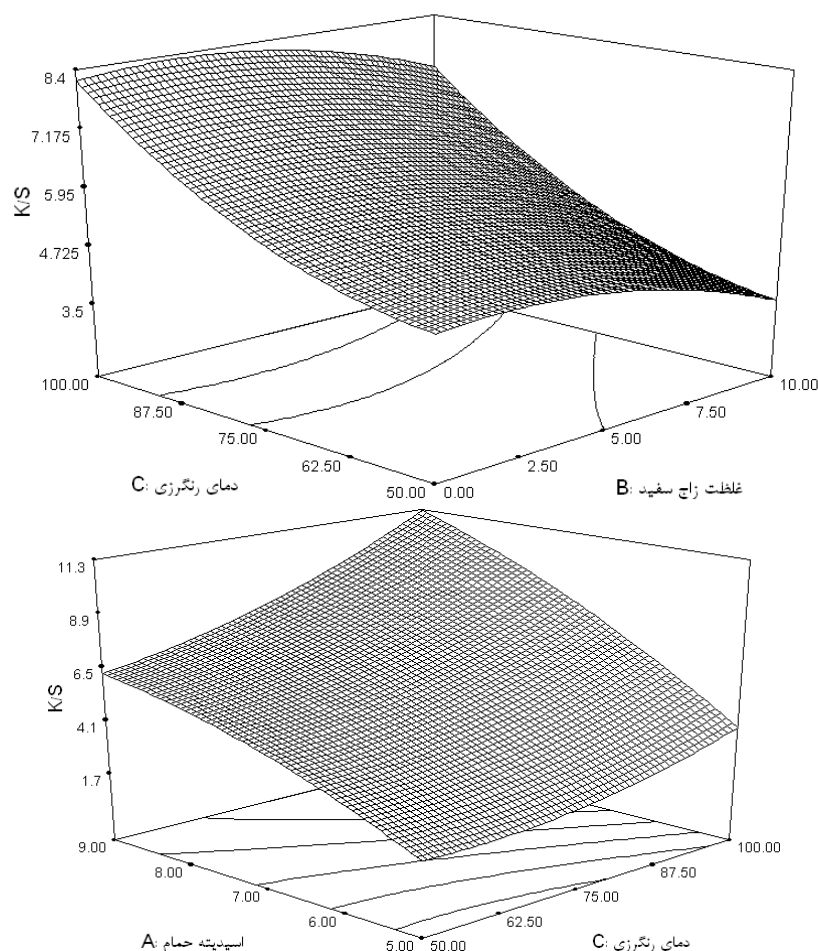
شکل ۳: نمودار خوبی برازش در رنگرزی با اسپنددانه.

باعث افزایش جذب ماده رنگزا با افزایش pH می‌شود. در مقادیر pH پایین‌تر، گروه‌های آمینی لیف پشم پروتونه شده و مقدار بار مثبت الیاف پشم در مقایسه با بار منفی آن افزایش می‌یابد، که می‌تواند با ملکول ماده رنگزا دافعه ایجاد کند و باعث کاهش جذب ماده رنگزا و پایین آمدن قدرت رنگی شود [۲۱].

افزایش دما باعث افزایش جذب ماده رنگزای اسپنددانه شده و در دمای جوش حداکثر قدرت رنگی حاصل شده است. حرارت در حمام رنگرزی منجر به تورم الیاف و همچنین افزایش انرژی جنبشی و شکستن تجمعات مولکول‌های ماده رنگزا شده و در نتیجه افزایش دما، قابلیت نفوذ ماده رنگزا به لیف را افزایش می‌دهد [۱۰].

### ۲-۲- تاثیر متغیرهای فرآیند بر قدرت رنگی

شکل ۴ ارتباط بین متغیرهای فرآیند و قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با اسپنددانه را نشان می‌دهد. افزایش pH حمام رنگرزی از محدوده اسیدی تا قلیایی، باعث افزایش قدرت رنگی کالای رنگرزی شده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود بیشتر ترکیبات رنگی موجود در اسپنددانه حاوی گروه‌های نیتروژن‌دار هستند که در محیط آبی می‌توانند بار مثبت پیدا کنند. الیاف پشم نیز در محیط‌های با pH بالاتر از نقطه ایزوالکتریک آن (حدود ۵) بار منفی (COO-) پیدا می‌کند که میزان آن با افزایش pH بیشتر می‌شود. جاذبه یونی بین این مکان‌های منفی و مواد رنگزای مثبت،



شکل ۴: ارتباط بین متغیرهای فرآیند قدرت رنگی نمونه‌های رنگریزی شده با اسپندانه.

۲ نیز بالاترین ضریب مربوط به متغیر A و کمترین ضریب مربوط به متغیر B می‌باشد که تأیید کننده مطلب پیشین است. نتایج این تحقیق می‌تواند از این جهت حائز اهمیت باشد که نشان می‌دهد برخلاف تصور، همیشه و در مورد همه مواد رنگزای گیاهی با دندان‌دادن به کمک هر نوع دندان فلزی نمی‌توان انتظار افزایش جذب ماده رنگزا را داشت. در اینجا از دندان زاج سفید به این دلیل استفاده شد که حداقل تاثیر بر فام رنگی را داشته باشد و نتایج نشان داد که تاثیر افزایشی بر عمق رنگی در مورد این ماده رنگزای خاص ندارد.

در جدول ۵ مقادیر روشنایی ( $L^*$ )، اختلاف رنگ با نمونه خام ( $\Delta E$ ) و استحکام نخ تار برای برخی نمونه‌های منتخب، نشان داده شده است. مقایسه مقادیر روشنایی و اختلاف رنگ نمونه‌های ۱ و ۲۰ و همچنین نمونه‌های ۹ و ۱۱، نشان می‌دهد که استفاده از دندان زاج سفید باعث کاهش عمق رنگی نمونه پس از رنگریزی، شده است. در مقایسه نمونه‌های ۱۱ و ۲۳ نیز تاثیر افزایش pH بر افزایش عمق رنگی (کاهش روشنایی و افزایش اختلاف رنگ با نمونه خام) مشهود است.

استفاده از دندان زاج سفید سبب کاهش قدرت رنگی کالا شده است که در خصوص اکثر مواد رنگزای طبیعی یک نتیجه قابل انتظار نمی‌باشد. اما به نظر می‌رسد در مورد ماده رنگزای مورد استفاده در این تحقیق، از آنجا که این ماده رنگزا از نوع دندان‌های نبوده و بیشتر ترکیبات موجود در آن احتمال تولید کمپلکس با یون فلزی را ندارند، استفاده از دندان فلزی نه تنها کمکی به جذب آن نکرده، بلکه با پرکردن برخی مکان‌های جذب ماده رنگزا باعث کمتر شدن جذب نیز شده است. از بین ترکیبات نشان داده شده در شکل ۱، تنها ۸-هیدروکسی-۷-متوکسی-۲-متیل آنتراکوئینون قابلیت تشکیل کمپلکس با یون آلومینیم را دارد. یون‌های مثبت دندان در صورت قرار گرفتن بر مکان‌های فعال لیف، می‌توانند با ملکول‌های تشکیل‌دهنده این ماده رنگزا که توانایی به دست آوردن بار مثبت در محیط آبی را دارند، رقابت کنند و باعث کاهش جذب ماده رنگزا شوند. همان‌طور که از شیب خطوط مربوط به هر متغیر در شکل ۴ مشخص است، بیشترین تاثیر بر روی قدرت رنگی را میزان اسیدی بودن حمام رنگریزی و کمترین تاثیر را مقدار دندان زاج سفید داشته است. در رابطه

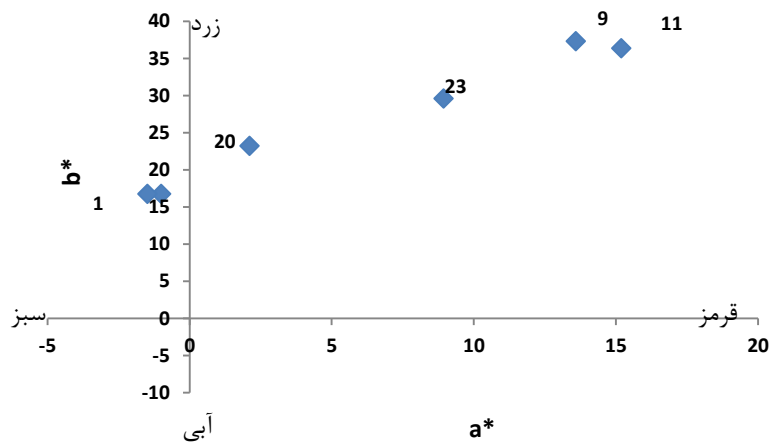


جوش و اسیدیته ۹ انجام شده است. در این حالت درصد کاهش استحکام نسبت به نمونه خام ۵,۸۴٪ است که عدد بالایی به حساب نمی آید و در فرآیندهای معمول نساجی عددی قابل قبول است. شکل ۶ منحنی تغییرات قدرت رنگی نمونه های منتخب را نشان می دهد. نتایج نشان داده شده در این نمودار با نتایج ارائه شده در جدول ۵ همخوانی دارد و نمونه شماره ۱۱ بالاترین و نمونه شماره ۱ کمترین قدرت رنگی را نشان داده است.

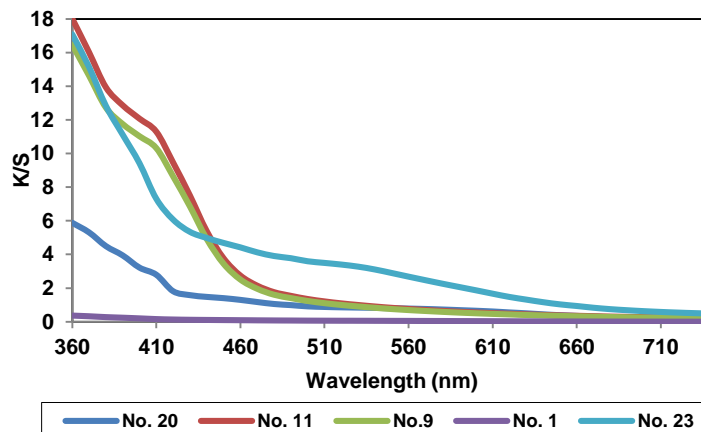
شکل ۵ مقادیر  $a^*$  و  $b^*$  نمونه های منتخب را نشان می دهد. با توجه به این شکل، می توان گفت استفاده از دندانچه زاج سفید زردی نمونه را کاهش و قرمزی را افزایش داده است و افزایش pH، باعث افزایش زردی و قرمزی نمونه شده است. در اثر عملیات رنگرزی و دندانچه دادن کاهش جزئی در استحکام نمونه ها مشاهده می شود که بیشینه کاهش استحکام مربوط به زمانی است که از ۱۰٪ دندانچه استفاده شده و رنگرزی در دمای

جدول ۵: مقادیر روشنایی، اختلاف رنگ و استحکام برای نمونه های منتخب.

نمونه	pH حمام	غلظت زاج سفید (% owf)	دمای رنگرزی (°C)	$L^*$	$\Delta E$	استحکام (cN/Tex) C.V.% Mean
خام	-	-	-	۷۹,۱۹	۰	۹,۳۸ ۳۶۹,۹
۱	۵	۱۰	۵۰	۷۹,۱۹	۰,۴۹	۸,۲۱ ۳۶۷,۱
۲۰	۵	۰	۵۰	۷۴,۸۴	۸,۳۶	۷,۶۳ ۳۶۸,۲
۹	۹	۱۰	۱۰۰	۶۱,۱۷	۳۰,۹۶	۱۰,۱۲ ۳۴۸,۳
۱۱	۹	۰	۱۰۰	۵۶,۷۵	۳۳,۹۰	۶,۰۵ ۳۵۱,۷
۲۳	۷	۰	۱۰۰	۶۴,۴۷	۲۱,۸۹	۷,۲۴ ۳۵۷,۲



شکل ۵: مقایسه مقادیر  $a^*$  و  $b^*$  نمونه های منتخب.



شکل ۶: نمودار تغییرات قدرت رنگی نمونه های منتخب.

نبوده و بیشتر ترکیبات موجود در آن احتمال تولید کمپلکس با یون فلزی را ندارند، استفاده از این دندانه باعث کاهش قدرت رنگی شد در حالی که افزایش دما و pH حمام رنگری باعث افزایش قدرت رنگی شد. رنگری در دمای جوش و اسیدیته ۹ بدون استفاده از زاج سفید به عنوان شرایط بهینه رنگری پشم با اسپنددانه تعیین شد. با توجه به سهولت دسترسی، قیمت ارزان و قدرت رنگی مناسب و عدم نیاز به دندانه زاج سفید، این ماده رنگزا می‌تواند گزینه مناسبی برای رنگری الیاف طبیعی پشم و ابریشم باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق الیاف پشم توسط اسپنددانه به عنوان یک ماده رنگزای طبیعی جدید رنگری شد. سه متغیر دمای رنگری، pH حمام رنگری و مقدار دندانه زاج سفید به عنوان متغیرهای اصلی تحقیق انتخاب شدند و تاثیر آنها بر روی قدرت رنگی کالا توسط روش روبه پاسخ مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گرفت. نتایج نشان داد که pH حمام رنگری بیشترین تاثیر را بر قدرت رنگی دارد و کمترین تاثیر مربوط به مقدار دندانه زاج سفید می‌باشد. از آنجا که این ماده رنگزا از نوع دندانه‌های

#### ۵- مراجع

1. S. I. Ali, Revival of natural dyes in Asia. *J. Soc. Dyers Colour.* 109(1993), 13-14.
2. D. J. Hill, Is there a future for natural dyes?. *Rev. Prog. Color. Relat. Top.* 27(1997), 18-25.
3. A. Haji, S. S. Qavamnia, Response surface methodology optimized dyeing of wool with cumin seeds extract improved with plasma treatment. *Fiber. Polym.* 16(2015), 46-53.
۴. ب. انصاری، م. خواجه مهریزی، ا.ا. حاجی، رنگری کالای پشمی آماده‌سازی شده به کمک پلاسما اکسیژن با رنگزای طبیعی گل ریواس. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ.* ۹(۱۳۹۴)، ۱۳۵-۱۴۳.
۵. س. اسحق‌قلوگلوگاهی، س. صفاپور، م. صادقی کیاخانی، س. سیدسعادت، بهینه‌سازی فرآیند استخراج فراصوت رنگزای طبیعی میوه ولیک. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ.* ۹(۱۳۹۴)، ۳۱۳-۳۲۰.
۶. م. شاهپوری، س. صفاپور، ک. ا. قرنچیک، مطالعه رفتار سینتیکی و قابلیت رنگری نخ پشمی با مواد رنگزای طبیعی روناس و قرمزخانه. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ.* ۱۰(۱۳۹۵)، ۱۹۵-۲۰۶.
۷. ل. مهرپور، س. صفاپور، م. صادقی کیاخانی، ک. ا. قرنچیک، بهبود رنگپذیری خامه پشمی مصرفی در فرش دستباف با مشتق زیست سازگار کیتوسان مطالعه خواص رنگری و ثبات رنگی با ماده رنگزای طبیعی اسپرک. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ.* ۱۰(۱۳۹۵)، ۸۹-۹۶.
۸. س. د. محمدی، س. صفاپور، م. صادقی کیاخانی، مطالعه خصوصیات رنگی و ثباتی نخ پشمی اصلاح شده با کیتوسان - سیانوریک کلراید مورد مصرف در فرش دستباف با ماده رنگزای روناس. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ.* ۱۰(۱۳۹۵)، ۲۱۷-۲۲۴.
9. A. Haji, Z. Amiri, S. S. Qavamnia, Natural dyeing of wool with Arnebia euchroma optimized by plasma treatment and response surface methodology. *J. Biodiversity Environ. Sci.* 5(2014), 493-498.
10. A. Haji, S. S. Qavamnia, M. Nasiriboroumand, The use of D-optimal design in optimization of wool dyeing with Juglans regia bark. *Ind. Text.* 69(2018), 104-110.
11. M. Molakarimi, M. Khajeh Mehrizi, A. Haji, Effect of plasma treatment and grafting of  $\beta$ -cyclodextrin on color properties of wool fabric dyed with Shrimp shell extract. *J. Text. Inst.* 107(2016), 1314-1321.
12. A. Haji, S. S. Qavamnia, F. K. Bizhaem, Optimization of oxygen plasma treatment to improve the dyeing of wool with grape leaves. *Ind. Text.* 67(2016), 244-249.
13. A. Haji, M. Khajeh Mehrizi, J. Sharifzadeh, Dyeing of wool with aqueous extract of cotton pods improved by plasma treatment and chitosan: Optimization using response surface methodology. *Fiber. Polym.* 17(2016), 1480-1488.
14. A. Haji, A. M. Shoushtari, Natural antibacterial finishing of wool fiber using plasma technology. *Ind. Text.* 62(2011), 244-247.
15. T. Sajed, A. Haji, M. K. Mehrizi, M. Nasiri Boroumand, Modification of wool protein fiber with plasma and dendrimer: Effects on dyeing with cochineal. *Int. J. Biol. Macromol.* 107(2018), 642-653.
۱۶. ح. بارانی، ز. ج. ملکوتی، س. رفیعی، بهینه‌سازی شرایط رنگری الیاف پشمی با گلبرگ زعفران جهت کسب شید آبی. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ.* ۱۰(۱۳۹۵)، ۲۵۹-۲۶۶.
17. T. Herraiz, D. González, C. Ancín-Azpilicueta, V. J. Arán, H. Guillén,  $\beta$ -Carboline alkaloids in Peganum harmala and inhibition of human monoamine oxidase (MAO). *Food Chem. Toxicol.* 48(2010), 839-845.
18. G. Nenaah, Antibacterial and antifungal activities of (beta)-carboline alkaloids of Peganum harmala (L) seeds and their combination effects. *Fitoterapia.* 81(2010), 779-782.
19. N. Chabir, H. Ibrahim, M. Romdhane, A. Valentin, B. Moukarzel, M. Mars, J. Bouajila, Seeds of Peganum harmala L. chemical analysis, antimalarial and antioxidant activities, and cytotoxicity against human breast cancer cells. *Med. Chem.* 11(2015), 94-101.
20. S. Adeel, M. Zuber, Fazal-ur-Rehman, K. M. Zia, Microwave-assisted extraction and dyeing of chemical and bio-mordanted cotton fabric using harmal seeds as a source of natural dye. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25(2018), 11100-11110.
21. A. Haji, Functional dyeing of wool with natural dye extracted from berberis vulgaris wood and rumex hymenosepolus root as biomordant. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 29(2010), 55-60.