

# کاربرد روش رویه پاسخ در بهینه سازی رنگرزی الیاف پشم با برگ درخت نارنج به عنوان رنگزای طبیعی

## Application of Response Surface Methodology in Optimization of Dyeing of Wool with Citrus Aurantium Leaves as Natural Dye

امین‌الدین حاجی\*، نجمه عارفی

یزد، دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

### چکیده

امروزه با توجه به اینکه برخی از رنگزاهای مصنوعی مورد مصرف در نساجی مشکلاتی را برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها و جانداران ایجاد می‌کنند، تمایل به استفاده از رنگزاهای طبیعی که آلودگی کمتری در محیط زیست ایجاد می‌کنند و معمولاً برای سلامتی انسان‌ها نیز تهدیدی به حساب نمی‌آیند، دوباره رو به افزایش نهاده است. در این تحقیق، از برگ درخت نارنج به عنوان یک رنگزای طبیعی برای رنگرزی الیاف پشم به روش دوستدار محیط زیست استفاده شده است. تاثیر چهار فاکتور مقدار رنگزا، مقدار دندانه، pH و دمای حمام رنگرزی بر روی قدرت رنگی کالا مورد بررسی قرار گرفت. طراحی و تحلیل آزمایش‌ها به کمک طرح باکس-بهنکن و روش رویه پاسخ انجام شد. نتایج نشان داد که بالاترین قدرت رنگی توسط این ماده رنگزا بر روی الیاف پشم با استفاده از ۱۵۰ درصد نسبت به وزن الیاف از پودر رنگزا، ۵،۵ درصد نسبت به وزن الیاف دندانه سولفات آلومینیوم، pH معادل ۸ و دمای ۷۶ درجه سانتیگراد بدست می‌آید. کالای رنگرزی شده در شرایط بهینه گفته شده، خواص ثباتی رضایت بخش در برابر شستشو، نور، و سایش نشان داد.

### ۱- مقدمه

است حاوی مواد رنگزای قابل کاربرد بر روی منسوجات باشند. استفاده از ضایعات و محصولات جانبی صنعت کشاورزی به عنوان منبع تهیه رنگزای طبیعی می‌تواند گزینه مناسبی برای رنگرزی منسوجات همراه با حفظ محیط زیست و کاهش آلاینده‌گی آب باشد. ترکیباتی مانند پلی فنل‌ها، آنتراکینونها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و ... در بسیاری از گیاهان یافت می‌شوند که علاوه بر رنگرزی منسوجات، می‌توانند به آن‌ها خواص جانبی مانند ضد باکتری، جاذب اشعه ماوراء بنفش و ... نیز ببخشند [۳].

تحقیقات زیادی بر روی استفاده از ضایعات کشاورزی مانند غوزه پنبه [۴، ۵]، چوب زرشک [۶، ۷]، اسپنددانه [۸، ۹]، گل ریواس [۱۰]، ضایعات میوه‌هایی مانند

امروزه رنگزاهای طبیعی به عنوان منبع جایگزین برای رنگزاهای شیمیایی در صنعت نساجی مورد توجه قرار گرفته‌اند. رنگزاهای طبیعی نسبت به رنگزاهای شیمیایی آلودگی کمتری در محیط زیست ایجاد می‌کنند و خطر کمتری برای سلامت انسان‌ها در پی دارند. علاوه بر این، اخیراً تحقیقات بر روی رنگزاهای طبیعی به دلیل علاقه به احیای دانش‌های سنتی افزایش یافته و شرکت‌های بیشتری به استفاده از رنگزاهای طبیعی برای رنگرزی منسوجات رو آورده‌اند [۱، ۲].

مواد رنگزای طبیعی از برخی گیاهان، حیوانات، قارچ‌ها، و منابع معدنی قابل استخراج هستند. بخش‌های مختلف گیاهان شامل ریشه، گل، برگ، پوست و میوه، ممکن

### کلمات کلیدی

رنگرزی با رنگزاهای طبیعی، روش رویه پاسخ، بهینه سازی، دندانه، پشم

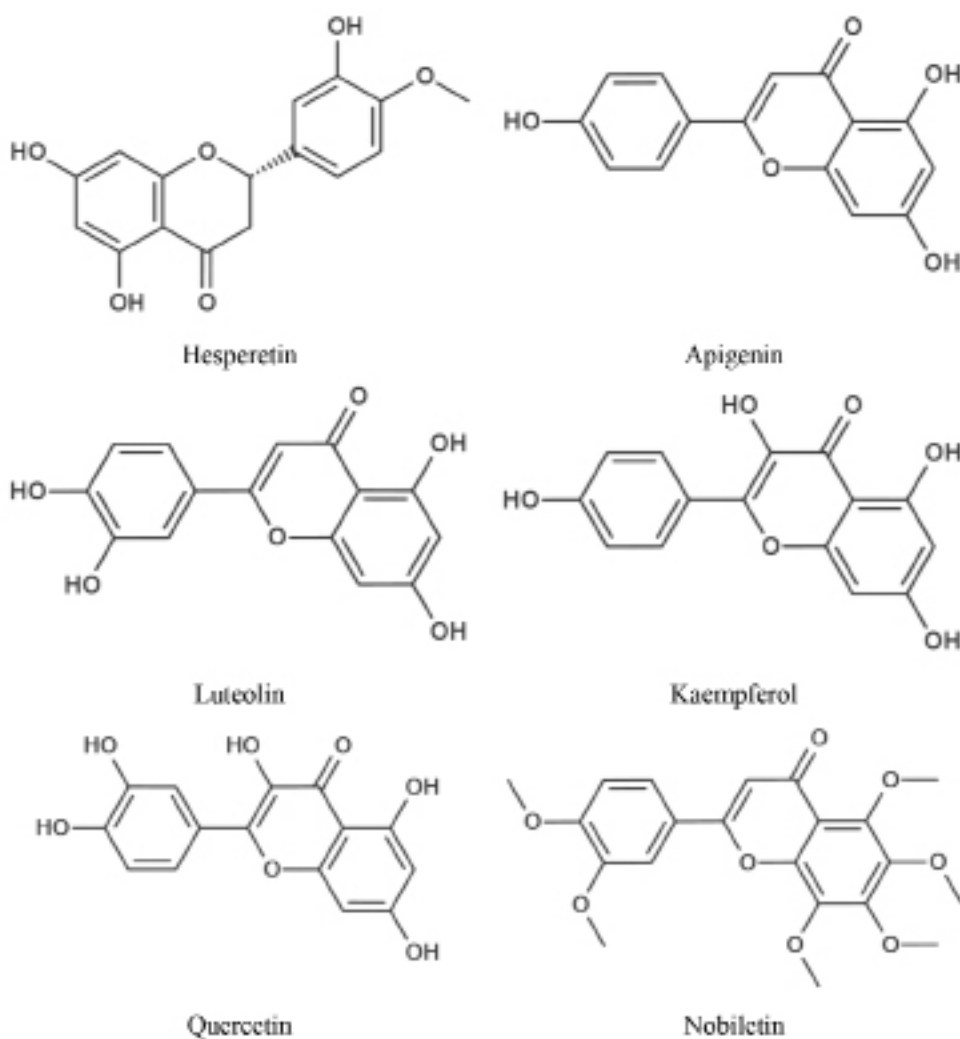
\* مسئول مکاتبات، پیام نگار: ahaji@yazd.ac.ir

اینجا قدرت رنگی) را با تغییر یک به یک فاکتورها و ثابت در نظر گرفتن سایر متغیرها بررسی می-کنند. این روش نیازمند تعداد زیاد آزمایش و مصرف بالای مواد و انرژی بوده و اثرات تغییرات همزمان فاکتورها را در نظر نمی-گیرد. روش رویه پاسخ ضمن در نظر گرفتن تاثیر تغییرات همزمان فاکتورها و تداخل آن‌ها، با استفاده از تعداد نمونه‌های کمتر نسبت به روش سنتی، نتایج قابل قبول از لحاظ آماری را به دست می‌دهد [۵]. طراحی آزمایشات در روش رویه پاسخ از طریق متدهای مختلفی قابل انجام است. روش موسوم به باکس-بهنکن یک روش رویه پاسخ درجه دوم برپایه روش فاکتوریل ناقص سه سطحی است. این روش طراحی آزمایشات نسبت به روش فاکتوریل از کارایی بالاتر همراه با تعداد نمونه‌های آزمایشی کمتر برخوردار است [۲۶].

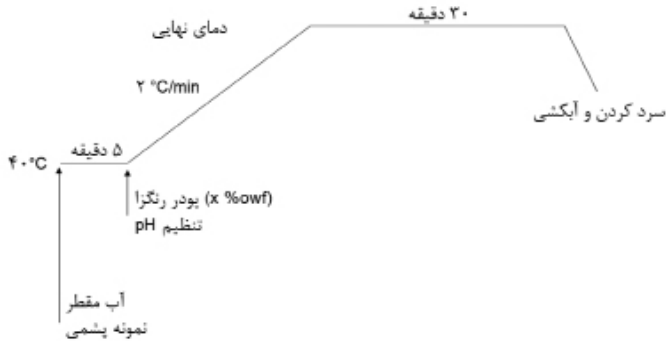
درخت نارنج در بسیاری از مناطق ایران کشت می‌شود و میوه و گل و برگ آن کاربردهای غذایی و دارویی متعددی دارند. در طب سنتی از برگ نارنج به عنوان آرام بخش و برای رفع بی‌خوابی استفاده می‌کنند. عصاره آبی برگ درخت نارنج حاوی ترکیباتی مانند فلاونوئیدها، تانن‌ها، ترپنوئیدها، آلکالوئیدها و آنتراکینون‌ها است [۲۷] که این ترکیبات

انگور [۱۱]، پساب کارخانه روغن زیتون [۱۲، ۱۳] و ... انجام شده است. استفاده از برگ درختان به عنوان منبع تامین رنگرزی طبیعی، با توجه به اینکه برگ‌ها معمولا کاربرد خاصی نداشته و بیشتر به عنوان ضایعات در کشاورزی مطرح هستند، میتواند ارزش افزوده ایجاد کرده و به حفظ محیط زیست نیز کمک کند. ترکیب رنگی با نام منگیفرین که در برگ درخت انبه وجود دارد، قابلیت رنگرزی الیاف ابریشم در pH معادل ۱۰ و دمای جوش را نشان داده است [۱۴]. برگ اوکالیپتوس علاوه بر رنگرزی رضایت بخش کالای پنبه‌ای، ابریشمی و پشمی، به آن‌ها خاصیت جذب امواج ماوراء بنفش و ضد میکروبی نیز بخشیده است [۱۵-۱۷]. تحقیقات زیادی بر روی استفاده از برگ حنا برای رنگرزی الیاف طبیعی و مصنوعی انجام شده و کالای رنگرزی شده علاوه بر خواص رنگی و ثباتی مطلوب، خاصیت ضد باکتری نیز نشان داده است [۱۸-۲۴].

شناسایی منابع طبیعی جدید برای کاربرد به عنوان ماده رنگزا در نساجی، نیازمند بهینه سازی فرایند کاربرد آن‌ها و بررسی خواص ثباتی کالای رنگرزی شده می‌باشد. در روش سنتی بهینه سازی، معمولا پس از شناسایی فاکتورهای مهم فرایند، اثر هر یک از فاکتورها بر پاسخ (مثلا در



شکل ۱: ساختار شیمیایی برخی از ترکیبات رنگی شناسایی شده در برگ درخت نارنج [۲۸، ۲۹]



شکل ۲: گراف رنگریزی نخ پشمی با رنگرای برگ درخت نارنج بر طبق طراحی آزمایشات

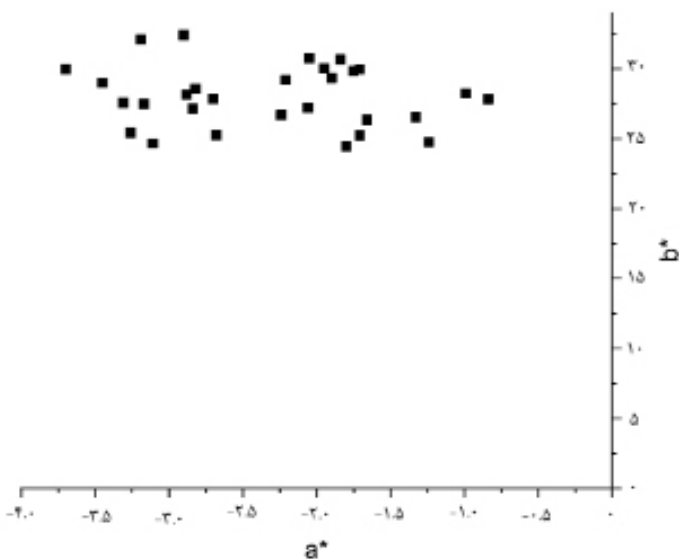
دمای جوش دندانده داده شدند.

رنگریزی: مقدار مورد نیاز از پودر رنگزا (طبق جدول ۲) به حمام رنگریزی حاوی مقدار مورد نیاز آب (نسبت مایع به کالای معادل ۵۰:۱) افزوده شده و pH محلول به کمک محلول ۱٪ کربنات سدیم یا اسید استیک طبق جدول ۲ تنظیم شد. رنگریزی نمونه‌ها بر طبق نمودار نشان داده شده در شکل ۲ انجام شد.

اندازه گیری قدرت رنگی: مقدار انعکاس نمونه‌های رنگریزی شده در محدوده ۳۶۰-۷۵۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر انعکاسی (Color-eye 7000A, X-rite, USA) اندازه گیری شد و مقدار قدرت رنگی هر نمونه در طول موج حداکثر جذب (۴۱۰ نانومتر) از رابطه ۱ (کیوبلکا-مانک) محاسبه شد. در این رابطه K/S قدرت رنگی و R مقدار انعکاس است.

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

اندازه گیری ثابت رنگی: تست‌های استاندارد ISO 105-C10، ISO 105-B02 2014، و ISO 105-X12:2016 به ترتیب برای اندازه گیری ثابت رنگی نمونه‌های رنگریزی شده در برابر شستشو، نور، و سایش مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۳: نمودار  $a^* \times b^*$  نمونه‌های رنگریزی شده

می‌توانند برای رنگریزی الیاف مورد استفاده قرار گیرند. ساختار شیمیایی برخی از ترکیبات رنگی شناسایی شده در برگ درخت نارنج در شکل ۱ نشان داده شده است.

در این تحقیق از برگ‌های خشک شده درخت نارنج به عنوان رنگرای طبیعی برای رنگریزی الیاف پشم استفاده شده است. تاثیر متغیرهای مهم رنگریزی شامل مقدار رنگزا، pH، دما، و مقدار دندانده (سولفات آلومینیوم) بر روی قدرت رنگی کالای رنگریزی شده به کمک روش روبه پاسخ بررسی شده و مقدار بهینه هر فاکتور مشخص شده است.

## تجربیات

### مواد

نخ پشم خالص (۲۰۰ تکس) از شرکت پشم تاب یزد تهیه شد و برای برطرف کردن ناخالصی‌ها در محلولی حاوی ۵ g/L سطح فعال غیریونی به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰°C تحت شستشو و سپس آب کشی قرار گرفت. سولفات آلومینیوم از شرکت مرک آلمان تهیه شد. برگ‌های درخت نارنج از شهر یزد در پاییز ۱۳۹۸ تهیه شده و پس از شستشو و خشک کردن در سایه، توسط آسیاب خانگی بصورت پودر بسیار نرم تهیه شده و از الک نمره ۱۰۰ عبور داده شد.

### روش‌ها

طراحی آزمایشات: فاکتورهای مهم فرایند رنگریزی و حد بالا و پایین آن‌ها بر اساس آزمایشات اولیه تعیین شدند (جدول ۱). طراحی آزمایش، آنالیز آماری، رسم نمودارها، و بهینه سازی توسط نرم افزار Design Ex-pert نسخه ۱۱ (Stat-Ease, USA) به کمک روش روبه پاسخ و طراحی باکس-بهینکن انجام شد. بر این اساس، ۲۹ نمونه آزمایشی مطابق جدول ۲ توسط نرم افزار پیشنهاد شد. نمونه‌ها بر اساس طراحی آزمایش رنگریزی شده و قدرت رنگی آن‌ها به عنوان متغیر پاسخ در جدول ۲ وارد شد و برای تحلیل آماری توسط نرم افزار مورد استفاده قرار گرفت. ملاک رد یا قبول تاثیر گذاری هر یک از فاکتورها و تداخل‌های آن‌ها، پی-مقدار در نظر گرفته شد، بدین صورت که فاکتورها یا تداخل‌هایی که پی-مقدار برای آن‌ها کمتر از ۰/۰۵ بدست آمد، به عنوان تاثیر گذار در نظر گرفته شدند. دندانده دادن: هریک از نمونه‌ها در حمام آبی حاوی مقدار مورد نیاز از سولفات آلومینیوم (بر طبق جدول ۲) در pH معادل ۵ (به کمک اسید استیک ۱٪) و نسبت مایع به کالای معادل ۵۰:۱ به مدت ۳۰ دقیقه در

جدول ۱: مشخصات متغیرهای تحقیق

کد	نام متغیر	واحد	حد بالا	حد پایین
A	pH	-	۸	۵
B	مقدار رنگزا	owf%	۱۵۰	۵۰
C	دمای رنگریزی	°C	۹۵	۵۵
D	مقدار دندانده	owf%	۱۰	۲

جدول ۲: مختصات رنگی نمونه‌های رنگریزی شده

شماره نمونه	L*	a*	b*	C*	h°
۱	۶۴/۰۷	-۲/۹	۳۲/۴	۳۲/۵۲	۹۵/۱۲
۲	۷۱/۹۴	-۲/۸۴	۲۷/۱۴	۲۷/۲۸	۹۵/۹۷
۳	۷۰/۱۶۳	-۲/۲۴	۲۶/۷	۲۶/۱۸	۹۴/۸
۴	۶۸/۴۵	-۲/۷	۲۷/۸۴	۲۶/۹۷	۹۵/۵۵
۵	۶۳/۹۸	-۳/۴۵	۲۸/۹۷	۲۹/۱۸	۹۶/۷۹
۶	۷۰/۷۶	-۱/۸	۲۴/۴۴	۲۴/۵۱	۹۴/۲۱
۷	۶۵/۴۲	-۳/۷	۲۹/۹۷	۳۰/۲	۹۷/۰۵
۸	۷۰/۹۷	-۳/۳۱	۲۷/۵۴	۲۷/۷۴	۹۶/۸۶
۹	۶۸/۰۵	-۳/۲۶	۲۵/۴۲	۲۵/۶۳	۹۷/۳
۱۰	۶۸/۶۲	-۱/۷۱	۲۵/۲۲	۲۵/۲۸	۹۳/۸۹
۱۱	۶۷/۷۶	-۲/۸۲	۲۸/۵۶	۲۸/۷	۹۵/۶۳
۱۲	۶۴/۱۵	-۲/۸۸	۲۸/۱۲	۲۸/۲۷	۹۵/۸۴
۱۳	۶۷/۹۸	-۰/۹۹	۲۸/۲۲	۲۸/۲۳	۹۲/۰۱
۱۴	۶۷/۱۶	-۲/۰۵	۳۰/۷۵	۳۰/۸۲	۹۳/۸۲
۱۵	۶۶/۶۸	-۲/۲۱	۲۹/۱۸	۲۹/۲۷	۹۴/۳۴
۱۶	۶۴/۹۴	-۲/۶۸	۲۵/۲۵	۲۵/۴	۹۶/۰۶
۱۷	۶۸/۴۹	-۳/۱۷	۲۷/۴۷	۲۷/۶۵	۹۶/۵۹
۱۸	۶۶/۲۷	-۳/۱۹	۳۲/۰۷	۳۲/۲۳	۹۵/۶۹
۱۹	۶۵/۵۷	-۱/۲۴	۲۴/۷۵	۲۴/۷۸	۹۲/۸۷
۲۰	۶۷/۰۳	-۱/۷۱	۲۹/۹۵	۳۰	۹۳/۲۶
۲۱	۶۷/۹	-۱/۹۵	۳۰/۰۲	۳۰/۰۸	۹۳/۷۲
۲۲	۷۰/۴۱	-۱/۳۳	۲۶/۵۴	۲۶/۵۷	۹۲/۸۶
۲۳	۶۶/۷۱	-۱/۸۴	۳۰/۶۶	۳۰/۷۲	۹۳/۴۳
۲۴	۶۸/۸۱	-۳/۱۱	۲۴/۶۶	۲۴/۸۶	۹۷/۱۹
۲۵	۶۵/۸	-۱/۷۵	۲۹/۸۲	۲۹/۸۷	۹۳/۳۷
۲۶	۶۴/۲۹	-۲/۰۶	۲۷/۲۱	۲۷/۲۹	۹۴/۳۳
۲۷	۶۴/۲۶	-۱/۶۶	۲۶/۳۳	۲۶/۳۸	۹۳/۶۱
۲۸	۶۶/۷۳	-۰/۸۴	۲۷/۸۱	۲۷/۸۲	۹۱/۷۳
۲۹	۶۴/۸۹	-۱/۹	۲۹/۳۳	۲۹/۳۹	۹۳/۷۱

جدول ۳ سطوح متغیرهای تحقیق را برای ۲۹ نمونه آزمایشی به همراه قدرت رنگی محاسبه شده برای هر نمونه رنگریزی شده، نشان می‌دهد. داده‌های تجربی توسط نرم افزار برای تطابق با مدل‌های مختلف بررسی شده و مدل درجه دو با توجه به مقدار R<sup>2</sup> بالاتر انتخاب شد. برای مشخص شدن متغیرهای موثر از لحاظ آماری برای قرار گرفتن در مدل، آنالیز

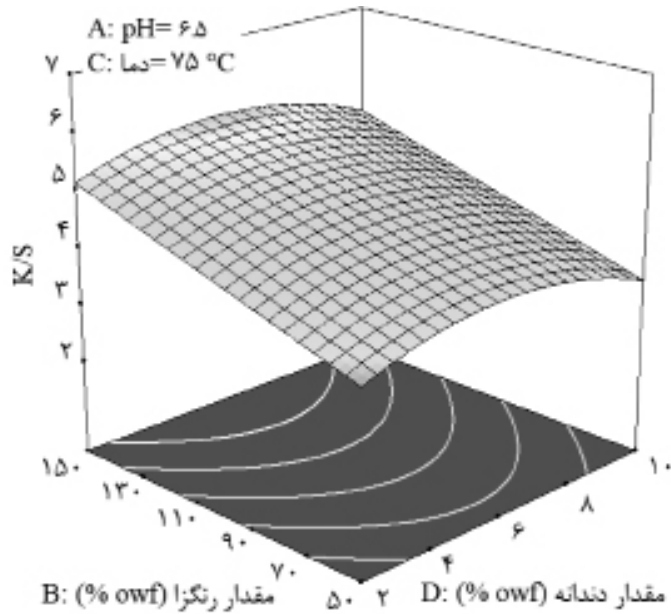
جدول ۳: طراحی آزمایشات و مقدار قدرت رنگی نمونه‌ها (پاسخ)

شماره	A: pH	B: مقدار رنگزا (owf%)	C: دمای رنگریزی °C	D: مقدار دندانه (owf%)	قدرت رنگی (K/S)
۱		۱۵۰	۷۵	۶	۶/۳۵۵
۲	۸	۵۰	۵۵	۶	۲/۸۰۹
۳	۶/۵	۱۰۰	۷۵	۱۰	۳/۳۶۵
۴	۵	۱۰۰	۹۵	۱۰	۴/۰۸۵
۵	۶/۵	۱۰۰	۹۵	۶	۵/۵۴۰
۶	۸	۱۰۰	۵۵	۶	۲/۸۶۰
۷	۵	۱۰۰	۵۵	۶	۴/۸۷۷
۸	۸	۱۰۰	۵۵	۱۰	۳/۳۵۴
۹	۶/۵	۱۵۰	۵۵	۶	۳/۴۸۶
۱۰	۶/۵	۱۰۰	۹۵	۶	۳/۲۸۹
۱۱	۵	۵۰	۷۵	۶	۳/۸۶۹
۱۲	۸	۱۵۰	۹۵	۶	۵/۷۷۶
۱۳	۶/۵	۵۰	۷۵	۶	۳/۹۶۲
۱۴	۵	۱۰۰	۷۵	۶	۵/۰۲۳
۱۵	۶/۵	۱۵۰	۷۵	۱۰	۴/۸۳۰
۱۶	۶/۵	۱۰۰	۶/۵	۲	۴/۳۷۲
۱۷	۶/۵	۵۰	۶/۵	۶	۳/۷۳۱
۱۸	۸	۱۰۰	۸	۱۰	۵/۴۹۰
۱۹	۵	۱۰۰	۵	۲	۳/۸۱۹
۲۰	۶/۵	۱۰۰	۶/۵	۶	۴/۸۲۴
۲۱	۶/۵	۱۰۰	۶/۵	۶	۴/۵۱۶
۲۲	۶/۵	۵۰	۶/۵	۱۰	۴/۰۴۷
۲۳	۶/۵	۱۰۰	۶/۵	۶	۵/۰۱۶
۲۴	۶/۵	۱۰۰	۶/۵	۲	۳/۳۲۴
۲۵	۵	۱۵۰	۵	۶	۵/۳۸۵
۲۶	۸	۱۰۰	۸	۲	۴/۷۱۹
۲۷	۶/۵	۱۵۰	۶/۵	۲	۴/۷۴۵
۲۸	۶/۵	۵۰	۶/۵	۲	۳/۸۱۰
۲۹	۶/۵	۱۰۰	۶/۵	۶	۵/۴۳۳

## نتایج و بحث

### تحلیل آماری نتایج

جدول ۲ مختصات رنگی نمونه‌های رنگریزی شده را نشان می‌دهد. همانگونه که اعداد جدول ۲ و محل قرار گیری نمونه‌ها در نمودار a\* - b\* در شکل ۳ نشان می‌دهد، کلیه نمونه‌ها به رنگ زرد، اندکی متمایل به سبز در آمده‌اند.



شکل ۴: تاثیر همزمان مقدار رنگزا و دندانه بر قدرت رنگی نخ پشمی رنگرزی شده با برگ درخت نارنج

می‌یابد. به طور کلی رنگرزی در سه مرحله انجام می‌شود (جذب سطحی ملکول‌های رنگزا از حمام بر سطح الیاف، نفوذ ملکول‌ها از سطح الیاف به داخل آن‌ها، تثبیت ملکول‌های رنگزا بر مکان‌های جذب در داخل الیاف). مرحله اول تاثیر زیادی بر سرعت و نتیجه رنگرزی دارد و تحت تاثیر عواملی از جمله غلظت اولیه رنگزا در حمام است. با توجه به افزایش تعداد ملکول‌های رنگی در حمام و افزایش گرادیان غلظتی رنگزا، نیروی بیشتری برای انتقال رنگزا از حمام به داخل الیاف ایجاد می‌شود، که منجر به افزایش قدرت رنگی کالا می‌شود [۳۰]. این نتیجه بیلدآپ خوب این رنگزا را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار دندانه تا حدود ۶ درصد نسبت به وزن الیاف، به دلیل ایجاد کمپلکس مابین ملکول‌های رنگزا و الیاف پشم، جذب رنگزا و در نتیجه قدرت رنگی کالای رنگرزی شده بهبود یافته است. اما با افزایش بیشتر مقدار دندانه، به دلیل اشباع لیف پشم از دندانه، افزودن بیشتر از حد دندانه باعث افزایش روشنایی لیف و کاهش قدرت رنگی شده است [۳۱]. شکل ۵

جدول ۴: آنالیز واریانس اولیه متغیرها

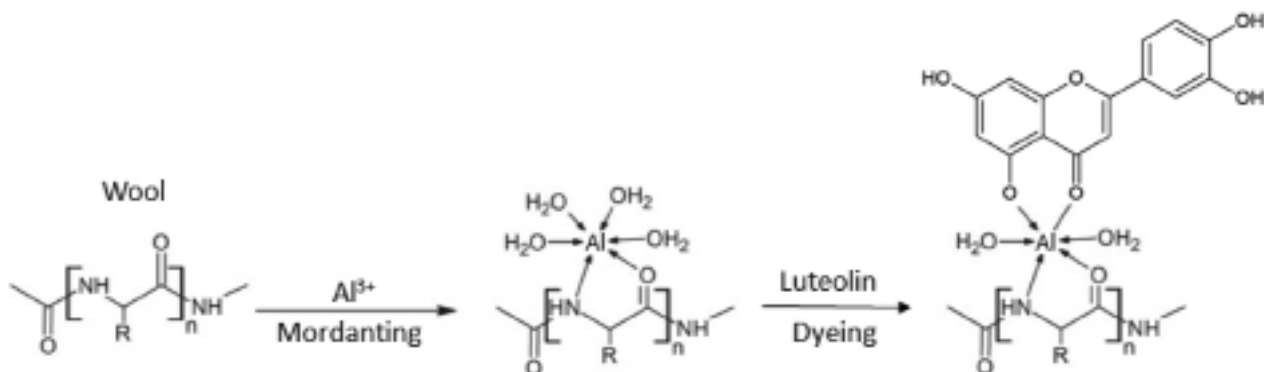
فکتور	پی-مقدار	فکتور	پی-مقدار
مدل	۰/۰۰۰۲	BC	۰/۲۷۷۵
A	۰/۰۰۰۱	BD	۰/۳۵۸۰
B	کمتر از ۰/۰۰۰۱	CD	۰/۶۵۵۲
C	۰/۰۰۲۱	A <sup>2</sup>	۰/۹۷۶۲
D	۰/۷۳۷۷	B <sup>2</sup>	۰/۳۳۲۲
AB	۰/۲۵۳۳	C <sup>2</sup>	۰/۰۰۱۰
AC	۰/۷۹۶۹	D <sup>2</sup>	۰/۰۰۴۷
AD	۰/۱۹۱۳	-	-

واریانس انجام شد و متغیرها و تداخل‌هایی که پی-مقدار آن‌ها بالاتر از ۰/۰۵ بود به عنوان غیر موثر در نظر گرفته شده و از مدل حذف شدند. نتایج آنالیز واریانس اولیه در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، پی-مقدار برای متغیر D (مقدار دندانه) و برخی از تداخل‌های فاکتورها بالاتر از ۰/۰۵ محاسبه شده است، لذا از نرم افزار خواسته شد تا مولفه‌های غیر موثر را از مدل نهایی حذف کند. نتایج آنالیز واریانس بعد از حذف این مولفه‌ها در جدول ۵ نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، با توجه به موثر بودن D<sub>2</sub>، فاکتور D در مدل باقی مانده است. بر این اساس، معادله ۲ رابطه بین قدرت رنگی و فاکتورهای موثر در این تحقیق را نشان می‌دهد.

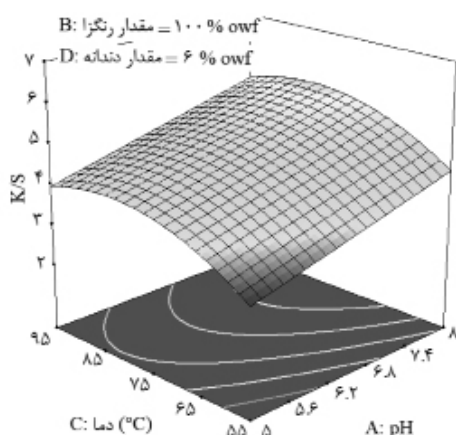
$$K/S = 4/86 + 0/6808A + 0/8091B + 0/4844C - 0/0440D - 0/6961C^2 - 0/5590D^2 \quad (2)$$

#### تاثیر پارامترهای رنگرزی بر قدرت رنگی

با توجه به نتایج فوق و به کمک رابطه ۲، منحنی سطح پاسخ که نشان دهنده تغییرات قدرت رنگی با تغییر همزمان متغیرهای آزمایشی است، رسم شد. شکل ۴، تاثیر همزمان مقدار رنگزا و مقدار دندانه را بر قدرت رنگی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار رنگزا در حمام رنگرزی، قدرت رنگی نمونه‌های رنگرزی شده افزایش



شکل ۵: مکانیزم تشکیل کمپلکس بین الیاف پشم و دندانه آلومینوم و لوتولین [۳۲]



شکل ۶: تاثیر همزمان مقدار pH و دما بر قدرت رنگی نخ پشمی رنگری شده با برگ درخت نارنج

با این حال با رسیدن دمای حمام به حدود  $80^{\circ}\text{C}$  تا  $75^{\circ}\text{C}$  حداکثر قدرت رنگی حاصل شده و افزایش بیشتر دمای حمام تاثیر قابل ملاحظه ای بر قدرت رنگی کالا نداشته است و حتی در دماهای بالای  $90^{\circ}\text{C}$  کاهش اندکی در قدرت رنگی مشاهده شده است که احتمالاً به دلیل تخریب ساختار برخی ملکول های رنگزا در دمای بالا است [۳۳].

شکل ۷ منحنی پریشانی را برای تغییرات قدرت رنگی با تغییر فاکتورهای مختلف نسبت به یک نقطه مرجع را نشان می دهد. همانطور که در این منحنی مشخص است برای متغیرهای مقدار دندانه و دمای رنگری، مقادیر بهینه وجود دارد و در بالاتر از این مقادیر، قدرت رنگی با کاهش مواجه می شود.

شکل ۸، مقادیر بهینه متغیرهای تحقیق برای رسیدن به حداکثر قدرت رنگی را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود، برای بدست آوردن بالاترین قدرت رنگی با رنگزای برگ نارنج نیاز به استفاده از دمای جوش و مقادیر بالا از دندانه زاج سفید نیست و می توان رنگری را در دمای کمتر از  $80^{\circ}\text{C}$  همراه با راندمان مناسب انجام داد.

### خواص ثباتی

نمونه نخ پشمی رنگری شده با شرایط بهینه، تحت آزمایشات بررسی خواص ثباتی قرار گرفت. جدول ۶ خواص ثبات نوری، شستشویی و سایشی این نمونه را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، خواص ثباتی کالای رنگری شده با این رنگزا در شرایط بهینه؛ از ثبات مناسبی در برابر نور، شستشو و سایش برخوردار است و می توان آنرا برای رنگری کالای پشمی توصیه نمود.

جدول ۶: خواص ثباتی نمونه نخ پشمی رنگری شده در شرایط بهینه

ثبات شستشویی		ثبات نوری	ثبات سایشی	
لکه گذاری بر پنبه	لکه گذاری بر پشم	تغییر رنگ	تر	خشک
۴-۵	۴	۳-۴	۴-۵	۴
۵/۴۳۳	۶	۶/۵	۱۰۰	۶/۵

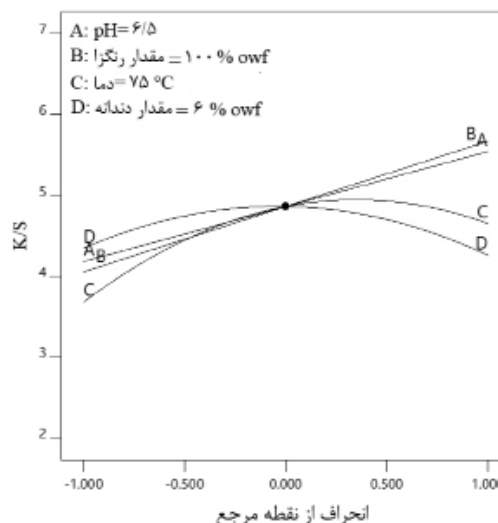
جدول ۵: آنالیز واریانس متغیرها بعد از حذف فاکتورهای غیر موثر

فاکتور	پی-مقدار
مدل	کمتر از ۰/۰۰۰۱
A	کمتر از ۰/۰۰۰۱
B	کمتر از ۰/۰۰۰۱
C	۰/۰۰۰۸
D	۰/۷۲۸۶
C <sup>2</sup>	۰/۰۰۰۴
D <sup>2</sup>	۰/۰۰۲۷
AD	۰/۱۹۱۳

نحوه تشکیل کمپلکس بین الیاف پشم و دندانه آلومینوم و ملکول رنگزا (در این جا لوتئولین به عنوان نمونه) را نشان می دهد. اتم آلومینیوم از یک طرف به لیف و از یک طرف به رنگزا متصل شده و تمایل الیاف به جذب رنگزا و ثبات کالای رنگری شده را افزایش می دهد [۳۲].

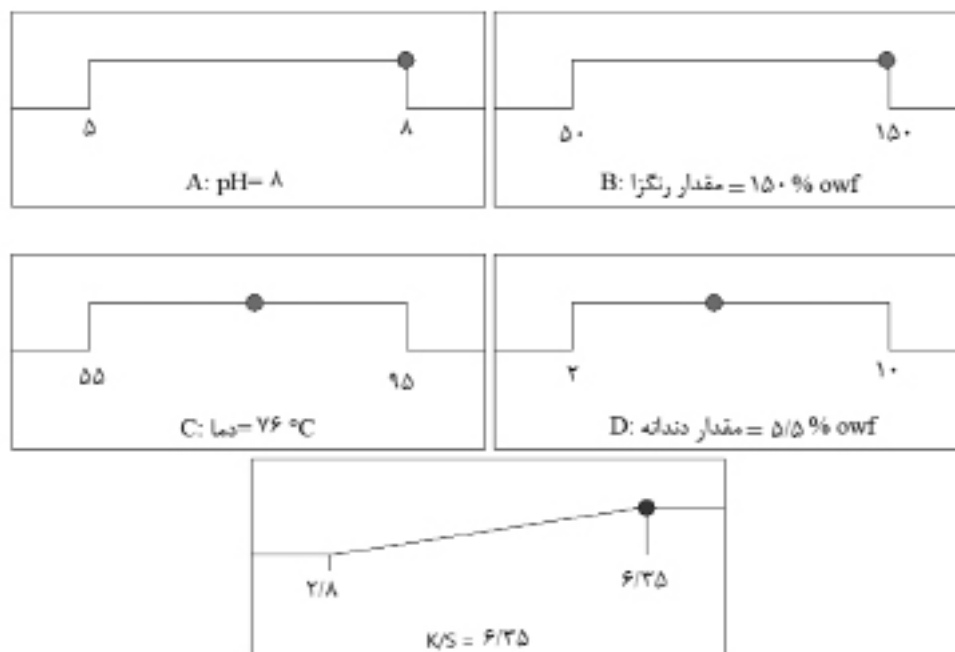
شکل ۶ تاثیر همزمان مقدار pH و دما بر قدرت رنگی نخ پشمی رنگری شده را نشان می دهد. با افزایش pH قدرت رنگی کالای رنگری شده افزایش یافته است. از آنجا که در این تحقیق پودر برگ نارنج بطور مستقیم در حمام رنگری استفاده شده و مرحله استخراج رنگزا بطور جداگانه انجام نشده است، استخراج رنگزا از بافت گیاهی و رنگری بطور همزمان در حمام رنگری انجام شده است.

لذا pH حمام بر راندمان استخراج رنگزا و در نتیجه مقدار رنگزای قابل دسترسی برای الیاف پشم نیز موثر است. در این تحقیق افزایش pH باعث بهبود راندمان استخراج رنگزا و در نتیجه افزایش قدرت رنگی کالای پشمی شده است. افزایش دما نیز با افزایش راندمان استخراج رنگزا، افزایش جنبش ملکولی رنگزای محلول در آب و افزایش تورم الیاف پشم، باعث بهبود جذب رنگ و در نتیجه افزایش قدرت رنگی کالای پشمی شده است.



شکل ۷: منحنی پریشانی برای تغییرات قدرت رنگی با تغییر فاکتورهای مختلف





شکل ۸: مقادیر بهینه متغیرهای رنگرزی برای رسیدن به حداکثر قدرت رنگی

## نتیجه گیری

نتایج نشان داد که با افزایش مقدار رنگزا و pH حمام رنگرزی در محدوده مورد بررسی، قدرت رنگی کالا افزایش می‌یابد. اما در مورد متغیرهای مقدار دندانه و دمای حمام رنگرزی، ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهشی مشاهده شد که نشان دهنده مقدار بهینه برای هر یک از این دو متغیر است. نمونه رنگرزی شده در شرایط بهینه توسط این رنگزا، خواص ثابتی قابل قبول نشان داد. با توجه به فراوانی برگ درخت نارنج در بسیاری نقاط ایران، می‌توان از آن برای رنگرزی دوستدار محیط زیست الیاف پشمی، بخصوص نخ پشمی مورد مصرف در فرش دستباف استفاده کرد.

در این تحقیق برگ درخت نارنج به عنوان یک منبع جدید از رنگزای طبیعی برای رنگرزی الیاف پشم با روش دوستدار محیط زیست معرفی شد. تاثیر مهمترین پارامترهای فرایند رنگرزی شامل غلظت رنگزا، مقدار دندانه، pH و دمای حمام رنگرزی بر قدرت رنگی کالای پشمی توسط روش روبه پاسخ بررسی شد و شرایط بهینه برای بدست آوردن حداکثر قدرت رنگی مشخص شد.

## مراجع

1. Silva P. M. d. S., Fiaschitello T. R., Queiroz R. S. d., Freeman H. S., Costa S. A. d., Leo P., Montemor A. F., Costa S. M. d., Natural dye from Croton urucurana Baill. bark: Extraction, physicochemical characterization, textile dyeing and color fastness properties, *Dyes Pigm*, 173, 107953, 2020
2. Haji A., Naebe M., Cleaner dyeing of textiles using plasma treatment and natural dyes: A review, *J Cleaner Prod*, 121866, 2020
3. Rather L. J., Zhou Q., Ali A., Haque Q. M. R., Li Q., Valorization of Natural Dyes Extracted from Mugwort Leaves (*Folium artemisiae argyi*) for Wool Fabric Dyeing: Optimization of Extraction and Dyeing Processes with Simultaneous Coloration and Biofunctionalization, *ACS Sustainable Chem Eng*, 8, 2822-2834, 2020
4. Haji A., Khajeh Mehrizi M., Sharifzadeh J., Dyeing of wool with aqueous extract of cotton pods improved by plasma treatment and chitosan: Optimization using response surface methodology, *Fiber Polym*, 17, 1480-1488, 2016
5. Haji A., Application of D-optimal design in the analysis and modelling of dyeing of plasma-treated wool with three natural dyes, *Color Technol*, 136, 137-146, 2020
6. Haji A., Functional Dyeing of Wool with Natural Dye Extracted from *Berberis vulgaris* Wood and *Rumex Hymenosepolus* Root as Biomordant, *Iran J Chem Chem Eng*, 29, 55-60, 2010
7. Haji A., Nasiriboroumand M., Qavamnia S. S., Cotton Dyeing and Antibacterial Finishing Using Agricultural Waste by an Eco-friendly Process Optimized by Response Surface

- Methodology, *Fiber Polym*, 19, 2359-2364, 2018
۸. حاجی ا.ا.، رنگرزی پارچه پشمی با رنگرای طبیعی اسپنددانه: بررسی عوامل موثر بر قدرت رنگی به کمک روش رویه پاسخ، *مجله علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ*، ۱۳، ۱۳۱-۱۴۰، ۱۳۹۸
9. Adeel S., Zuber M., Fazal Ur R., Zia K. M., 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 Int*, 25, 11100-11110, 2018
۱۰. انصاری ب.، مهریزی م. خ.، حاجی ا.ا.، رنگرزی کالای پشمی آماده سازی شده به کمک پلاسمای اکسیژن با رنگرای طبیعی گل ریواس، *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ*، ۹، ۱۳۵-۱۴۳، ۱۳۹۴
11. Bechtold T., Mussak R., Mahmud-Ali A., Ganglberger E., Geissler S., Extraction of natural dyes for textile dyeing from coloured plant wastes released from the food and beverage industry, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 233-242, 2006
12. Haddar W., Baaka N., Meksi N., Ticha M., Guesmi A., Mhenni M. F., Use of ultrasonic energy for enhancing the dyeing performances of polyamide fibers with olive vegetable water, *Fiber Polym*, 16, 1506-1511, 2015
13. Haddar W., Baaka N., Meksi N., Elksibi I., Farouk Mhenni M., Optimization of an ecofriendly dyeing process using the wastewater of the olive oil industry as natural dyes for acrylic fibres, *J Cleaner Prod*, 66, 546-554, 2014
14. Uddin M. G., Extraction of eco-friendly natural dyes from mango leaves and their application on silk fabric, *Text Cloth Sustain*, 1, 7, 2015
15. Yilmaz F., Investigating the usage of eucalyptus leaves in antibacterial finishing of textiles against Gram-positive and Gram-negative bacteria, *J Text Inst*, 1-5, 2020
16. Silva M. G. d., Barros M. A. S. D. d., Almeida R. T. R. d., Pilau E. J., Pinto E., Soares G., Santos J. G., Cleaner production of antimicrobial and anti-UV cotton materials through dyeing with eucalyptus leaves extract, *J Cleaner Prod*, 199, 807-816, 2018
17. Laoong-u-thai Y., Mongkholrattanasit R., The Evaluation of Eucalyptus Leaf Extract for Dyeing and Its Antibacterial Properties on Silk and Wool Fabrics, *Current Applied Science and Technology*, 13, 76-81, 2013
18. Ali S., Hussain T., Nawaz R., Optimization of alkaline extraction of natural dye from Henna leaves and its dyeing on cotton by exhaust method, *J Cleaner Prod*, 17, 61-66, 2009
19. Haji A., Natural dyeing of wool with henna and yarrow enhanced by plasma treatment and optimized with response surface methodology, *J Text Inst*, 111, 467-475, 2020
20. Sharma A., Kadam S., Mathur P., Shahid ul I., Sheikh J., Re-using henna natural dyeing wastewater for coloration and multifunctional finishing of linen fabric, *Sustainable Chem Pharm*, 11, 17-22, 2019
21. Rabia S. A., Samad B. A., Mazhar H. P., Alvira A. A., An efficient ultrasonic and microwave assisted extraction of organic Henna dye for dyeing of synthetic polyester fabric for superior color strength properties, *Ind Text*, 70, 303-308, 2019
22. Alebeid O. K., Pei L., Zhou W., Wang J., Sustainable wool fibers dyeing using henna extract in non-aqueous medium, *Environ Chem Lett*, 18, 489-494, 2019
23. Rahman Bhuiyan M. A., Ali A., Islam A., Hannan M. A., Fijul Kabir S. M., Islam M. N., Coloration of polyester fiber with natural dye henna (*Lawsonia inermis L.*) without using mordant: a new approach towards a cleaner production, *Fashion Text*, 5, 2, 2018
24. Alebeid O. K., Tao Z., Seedahmed A. I., New approach for dyeing and UV protection properties of cotton fabric using natural dye extracted from henna leaves, *Fibres Text East Eur*, 25, 60-65, 2015
25. Whitcomb P. J., Anderson M. J., RSM simplified: optimizing processes using response surface methods for design of experiments, CRC press, Boca Raton, USA, 2004.
26. Ferreira S. L. C., Bruns R. E., Ferreira H. S., Matos G. D., David J. M., Brandão G. C., da Silva E. G. P., Portugal L. A., dos Reis P. S., Souza A. S., dos Santos W. N. L., Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods, *Analytica Chimica Acta*, 597, 179-186, 2007
27. Rao N. B., Kumari O. S., Gajula R. G., Anti-Microbial, Anti-Oxidant & Phytochemical Analysis of Citrus Aurantium (Orange) Leaf Extract, *IJRDO-Journal of Biological Science*, 2, 15-23, 2016
28. Družić J., Jerković I., Marijanović Z., Roje M., Chemical biodiversity of the leaf and flower essential oils of Citrus aurantium L. from Dubrovnik area (Croatia) in comparison with Citrus sinensis L. Osbeck cv. Washington navel, Citrus sinensis L. Osbeck cv. Tarocco and Citrus sinensis L. Osbeck cv. Doppio Sanguigno, *Journal of Essential Oil Research*, 28, 283-291, 2016
29. Suntar I., Khan H., Patel S., Celano R., Rastrelli L., An Overview on Citrus aurantium L.: Its Functions as Food Ingredient and Therapeutic Agent, *Oxid Med Cell Longev*, 2018,



- 7864269-7864269, 2018
30. Shabbir M., Rather L. J., Shahid ul I., Bukhari M. N., Shahid M., Khan M. A., Mohammad F., An eco-friendly dyeing of woolen yarn by Terminalia chebula extract with evaluations of kinetic and adsorption characteristics, *J Adv Res*, 7, 473-482, 2016
31. Shabbir M., Islam S. U., Bukhari M. N., Rather L. J., Khan M. A., Mohammad F., Application of Terminalia chebula natural dye on wool fiber—evaluation of color and fastness properties, *Text Cloth Sustain*, 2, 1-9, 2016
32. Khan S. A., Shahid ul I., Shahid M., Khan M. I., Yusuf M., Rather L. J., Khan M. A., Mohammad F., Mixed Metal Mor-dant Dyeing of Wool using Root Extract of Rheum emodi (Indian Rhubarb/Dolu), *J Nat Fibers*, 12, 243-255, 2015
33. Fernández-López J. A., Angosto J. M., Giménez P. J., León G., Thermal Stability of Selected Natural Red Extracts Used as Food Colorants, *Plant Foods for Human Nutrition*, 68, 11-17, 2013