Part B: Farsi Edition

Journal of Textiles and Polymers

Vol. 10, No. 4, 61-73, October 2022
http://

RESEARCH PAPER

Evaluation of the Effect of Mordant Types and Dyeing Methods on the Color Properties of Viscose Lycra Fabric Dyed with Hibiscus Sabdariffa Calyces

Meghdad Kamali Moghaddam[1], Fatemeh Shahmoradi Ghaheh[2*], and Majid Tehrani[3]

1. Faculty of Engineering, University of Bonab, P.O. Box 5551395133, Bonab, Iran
2. Faculty of Environmental Science, Urmia University of Technology, P.O. Box 5756151818, Urmia, Iran
3. Department of Art, Shahrekord University, P.O. Box 5681188617, Shahrekord, Iran

Received: 25 March 2022, Accepted: 4 July 2022

Abstract

In this study, the dyeing with Hibiscus sabdariffa extract in the presence of metal mordants was studied. In order to evaluate the effect of the dyeing method on the color parameters of the samples, three pre-mordanting, simultaneous and after-mordanting methods were used using iron sulfate, copper sulfate, aluminum potassium sulfate, zinc chloride and citric acid as mordant materials in dyeing. Evaluation of color strength and color parameters of the samples was performed using a reflective spectrophotometer and wash and light fastness were done based on standards. The results show that the fabric was dyed with natural dye of H. Sabdariffa without the presence of mordant are not suitable for the textile industry in terms of color strength and color fastness. Mordanting with different metal mordants and using different dyeing methods can increase the color strength and wash and light fastness and cause excellent wash fastness (grade 5) and very good light fastness (grade 5 to 6). A comparison of dyed samples shows that the change of mordant type in the simultaneous dyeing method has a greater effect on the color properties of the samples than pre- and post-mordanting methods.

Keywords: viscose-lycra fabric, natural colorant, hibiscus sabdariffa, metal mordants, color properties

(*) To whom correspondence should be addressed.
E–mail: f.shahmoradi@uut.ac.ir

نشریه نساجی و پلیمر

سال ۱۰، شماره ٤، ۷۳-۶۱، پاییز ۱٤۰۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر نوع دندانه و روش رنگرزی بر خواص رنگی پارچه ویسکوز لاکرای رنگ‌شده با کاسبرگ چای ترش

مقداد کمالی‌مقدم[۱]، فاطمه شاه‌مرادی قهه[۲*]، مجید طهرانی[۳]

۱- بناب، دانشگاه بناب، دانشکده فنی و مهندسی، صندوق پستی ۵۵۵۱۳۹۵۱۳۳

۲- ارومیه، دانشگاه صنعتی ارومیه، دانشکده محیط زیست، صندوق پستی ۵۵۶۱۵۱۸۱۸

۳- شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده هنر، صندوق پستی ۵۶۸۱۱۸۸۶۱۷

دریافت: ۱۴۰۱/۱/۵، پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۳

چکیده

در این مطالعه، رنگ‌پذیری پارچه ویسکوز لاکرا با عصاره ماده رنگینه چای ترش با وجود دندانه‌های فلزی مطالعه شده است. به‌منظور ارزیابی اثر روش رنگرزی بر پارامترهای رنگی نمونه، سه روش پیش‌دندانه‌دارکردن، همزمان و پس‌دندانه‌دارکردن با استفاده از دندانه‌های آهن سولفات، سولفات مس، آلومینیم پتاسیم سولفات، روی کلرید و سیتریک اسید بررسی شدند. ارزیابی قدرت رنگ و پارامترهای رنگی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌نورسنج بازتابی و ثبات رنگ در برابر شست‌وشو و نور مطابق با روش‌های استاندارد انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، پارچه ویسکوز لاکرای رنگ‌شده با ماده رنگینه طبیعی چای ترش بدون وجود دندانه از نظر قدرت رنگی و ثبات رنگ، مناسب صنعت نساجی نیست. دندانه‌دارکردن با دندانه‌های فلزی مختلف و استفاده از روش‌های رنگرزی متفاوت می‌تواند قدرت رنگی و ثبات رنگ در برابر شست‌وشو و نور را تا حد زیادی افزایش دهد. همچنین، ثبات رنگ عالی در برابر شست‌وشو (درجه ۵) و ثبات رنگ بسیار خوب (درجه ۵ تا ۶) در برابر نور ایجاد کند. مقایسه نمونه‌های رنگ‌شده نشان می‌دهد، تغییر نوع دندانه در روش رنگرزی همزمان اثر بیشتری بر خواص رنگی نمونه‌ها در مقایسه با روش‌های رنگرزی پیش‌دندانه‌دارکردن و پس‌دندانه‌دارکردن دارد.

واژه‌های کلیدی: پارچه ویسکوز لاکرا، رنگینه طبیعی، چای ترش، دندانه فلزی، خواص رنگی

۱ مقدمه

امروزه به‌دلیل استانداردهای سختگیرانه زیست‌محیطی که توسط بسیاری از کشورها در واکنش به اثرهای سمی و حساسیت‌زای مرتبط با مواد مصنوعی اجرا شده، توجه جهانی به استفاده از مواد پایدار و زیستی معطوف شده است. در صنعت رنگرزی، استفاده از مواد زیستی پایدار در هر دو حوزه الیاف و رنگ مورد توجه قرار گرفته است [۱،۲]. در حوزه الیاف، منسوجات تهیه‌شده از الیاف مصنوعی مانند نایلون، پلی‌استر و آکریلیک که بخش عمده‌ای از تولیدات را تشکیل می‌دهند، همگی از نفت تهیه می‌شوند و مواد زیست‌تخریب‌پذیر نیستند. بدین معنی که در پایان عمر کاربری، اگر بازیافت، سوزانده یا در محل‌های دفن زباله دفع نشوند، برای قرن‌ها در آنجا باقی می‌مانند. بدین منظور، اخیراً به الیاف طبیعی و بازیافتی طبیعی بیشتر توجه شده است. الیاف ویسکوز ریون که از سلولوز چوب حاصل می‌شوند، جایگزین طبیعی برای الیاف

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: f.shahmoradi@uut.ac.ir

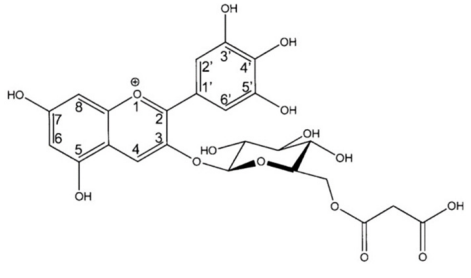
آکریلیک، پلی‌استر، نایلون و سایر الیاف مصنوعی برپایه مشتقات نفتی است [۳]. ارزش جهانی بازار الیاف ویسکوز در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۳۲۹۰ میلیون دلار بوده است. پیش‌بینی می‌شود، در انتهای سال ۲۰۲۶ با رشد سالانه ٪۴/۶ به ارزش ۱۸۲۷۰ میلیون دلار برسد. امروزه الیاف ویسکوز در بخش‌های مختلف صنعت نساجی از قبیل پوشاک، منسوجات خانگی، پزشکی و صنعتی کاربرد دارد [۴].

در حوزه رنگ نیز براساس استانداردهای زیست‌محیطی و دوری از واکنش‌های سمی و حساسیت‌زای رنگینه‌های مصنوعی، توجه به رنگرزی الیاف با رنگینه‌های طبیعی افزایش یافته است. در بسیاری از کشورها، شرکت‌های کوچک و بزرگ نساجی به رنگ‌کردن منسوجات با رنگینه‌های طبیعی اقدام کرده‌اند [۵]. رنگینه‌های طبیعی ساختار شیمیایی پیچیده‌ای دارند و برخلاف انواع مصنوعی معمولاً ترکیب یکسانی ندارند و از مخلوطی از ترکیبات شیمیایی نزدیک به‌هم ساخته شده‌اند. براساس ترکیبات شیمیایی اصلی موجود، آن‌ها را می‌توان به رنگینه‌های ایندیگو، آنتراکینون، نفتاکینون و بنزوکینون، فلاونوئید، کاروتنوئید و برپایه تانن تقسیم کرد [۶]. آنتوسیانین‌ها، اعضای مهمی از دسته متابولیت‌های ثانویه گیاهی از ترکیبات فلاونوئیدی هستند که به خانواده ضداکسنده‌ها به نام فنولیک‌ها و پلی‌فنول‌ها تعلق دارند. آنتوسیانین‌ها، رنگینه‌های فلاونوئیدی محلول در آب هستند که عامل اصلی ایجاد رنگ قرمز، آبی و بنفش در بسیاری از میوه‌ها و سبزیجات به‌شمار می‌روند [۷،۸]. تغییرات رنگی به تعداد گروه هیدروکسیل، درجه متوکسی‌دارشدن، ماهیت و تعداد مونوساکاریدهای متصل به کاتیون و موقعیت آن‌ها در اتصال، ماهیت و تعداد کربوکسیلیک اسیدهای متصل به مونوساکاریدها و مشتقات استیل‌دارشده مونوساکاریدها و pH محیط زیستی وابسته است [۹]. چای ترش یکی از گیاهان همیشه سبز بوده که به‌وفور در آسیای میانه و آسیای شرقی موجود است و منبع مناسبی برای استخراج رنگینه آنتوسیانین به‌شمار می‌رود.

چای ترش یا چای قرمز به‌نام چای هیبیسکوس نیز معروف است. دو گونه گیاهی هیبیسکوس به‌نام هیبیسکوس رزا سیننسیس با نام رایج گل ختمی چینی (Hibiscus rosa-sinensis) و هیبیسکوس سابداریفا یا روزلا با نام رایج چای قرمز (ترش) (Hibiscus sabdariffa-Roselle) وجود دارد. به‌طور کلی، چای ترش گیاهی یک‌ساله با بوته‌هایی به ارتفاع ۲ m تا ۳ m، برگ‌های سه‌وجهی تا پنج‌وجهی سبز مایل به زرد، گل‌های زردرنگ و کاسبرگ‌های سبزرنگ است که پس از رسیدن میوه، کاسبرگ‌های آن به رنگ قرمز تبدیل می‌شوند. از جمله نام‌های دیگر این گیاه، چای مکه، گل جامائیکا، چای‌های روزل و مالمیر است [۱۰].

در بسیاری از کشورهای جهان از کاسبرگ این گیاه، عصاره قرمزرنگ استخراج و عمدتاً در مواد غذایی استفاده می‌کنند. پژوهشگران در قرن نوزدهم دریافتند، چهار نوع رنگ‌دانه آنتوسیانین از قبیل دلفینیدین-۳-سامبوبیوسید (Dp-3-sambubioside) و سیانیدین-۳-سامبوبیوسید (Cy-3-sambubioside) به‌عنوان رنگ‌دانه‌های اصلی و سیانیدین-۳-گلوکوزید (Cy-3-G) و دلفینیدین-۳-گلوکوزید (Dp-3-G) در غلظت‌های جزئی در کاسبرگ این گیاه وجود دارد [۸،۱۱]. عصاره گل چای ترش دارای خواص ضدسرطان پوست است و با جذب رادیکال آزاد و ممانعت از پراکسایش چربی، مانع از ایجاد سرطان می‌شود. همچنین، عصاره ٪۹۰ اتانولی آن به‌عنوان ماده ضدآفتاب عمل کرده و پرتوهای فرابنفش را جذب می‌کند. این گیاه، با وجود ویژگی‌های بالقوه آنتوسیانین‌ها در مواد غذایی و صنایع بهداشتی و درمانی، به‌دلیل ثبات رنگ کم در برابر شست‌وشو، میل جذبی کم آن به لیف و درصد استخراج کم رنگ، در رنگرزی الیاف نساجی کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۸،۱۲].

در دهه اخیر، رنگرزی الیاف طبیعی نظیر پنبه، ابریشم و پشم با عصاره رنگی استخراج‌شده از کاسبرگ چای ترش مورد توجه قرار گرفته است. پژوهشگران به‌منظور بهبود خواص رنگی منسوج رنگ‌شده از مواد کمکی نظیر یون‌های فلزی سنگین، مواد پلیمری، دندانه‌های گیاهی و طبیعی استفاده کرده‌اند [۱۷-۱۳]. افزایش پیوند هیدروژنی، نیروهای واندروالس و برهم‌کنش π-π میان رنگینه-لیف-دندانه موجب بهبود مقدار جذب رنگینه به لیف و ثبات رنگ می‌شود [۱۸]. در ساختار سیانیدین و دلفینیدین (شکل ۱)، گروه دی‌هیدروکسی در موقعیت ′۳ و ′۴ قرار دارد که به تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی و انتقال طول موج جذب به مقادیر بیشتر در ناحیه مرئی (انتقال به قرمز (bathochromic shift)) کمک می‌کند. به‌عبارتی، گروه‌های هیدروکسیل در موقعیت اورتو به تشکیل کمپلکس آنتوسیانین-یون فلزی در محدوده pH مناسب کمک می‌کند [۹]. در ساختار الیاف سلولوزی، اتم‌های اکسیژن و



شکل ۱- ساختار دلفینیدین-۳-مالونیل گلیکوزید [۹].

گروه‌های هیدورکسیل در ایجاد اتصال هیدروژنی با مولکول رنگینه نقش دارند [۱۹].

به‌طور کلی، ترکیبات حاوی دو گروه عاملی یا بیشتر از -O-، -S-، OH، -COOH، -SH، OCH_3، -C=O، PO_3H_2، NR_2، C=O و C-OH در یک پیکربندی ساختاری مناسب می‌توانند به‌راحتی به یون‌های فلزی متصل شوند. از طرفی، ترکیبات فنولی نیز قابلیت اتصال مشابهی را به فلزات دارند [۲۰].

حیات و همکاران نشان دادند، که جذب ماده رنگینه چای ترش به‌وسیله الیاف پشمی نسبت به الیاف پنبه‌ای بیشتر است و افزایش دمای رنگرزی تا ۸۵ °C موجب افزایش این جذب می‌شود [۱۳]. در این مطالعه، از دندانه‌های مختلفی از قبیل تارتاریک اسید، نیکل کلرید، منیزیم سولفات، پتاسیم دی‌کرومات، آهن کلرید، کبالت کلرید، آلومینیم و قلع کلرید استفاده شد. درحقیقت جذب رنگینه بیشتر الیاف پشمی به‌وجود گروه‌های آمینو و کربوکسیل در ساختار آن‌ها نسبت داده می‌شود [۱۶]. Shanker و همکاران در رنگرزی الیاف پشمی، ابریشمی و پنبه‌ای با چای ترش دریافتند؛ استفاده از دندانه‌های مختلف، نه تنها سبب تغییر در فام رنگ می‌شود، بلکه باعث تغییرات محسوسی در مقادیر K/S و کاهش مقدار روشنایی و براقیت نمونه‌ها می‌شود [۲۱].

Vankar و همکاران در رنگرزی پارچه‌های ابریشمی و پنبه‌ای با ماده رنگینه چای ترش بدین نتیجه رسیدند، استفاده از دندانه‌های فلزی نظیر قلع، آلومینیم و مس می‌توانند موجب بهبود جذب رنگینه و خواص ثبات رنگ پارچه شوند [۱۲]. Yılmaz و همکاران نشان دادند، پیش‌دندانه‌دارکردن الیاف پشمی با سولفات مس و سپس رنگرزی با ماده رنگینه چای ترش به ثبات نوری بهتری نسبت به استفاده از دندانه‌های پتاسیم دی‌کرومات، آلومینیم پتاسیم مضاعف، قلع کلرید و آهن سولفات منجر می‌شود [۲۲]. این در حالی است که Ramprasath و همکاران دریافتند، ثبات نوری الیاف پنبه‌ای دندانه‌دارشده با قلع کلرید نسبت به پتاسیم دی‌کرومات، آلومینیم پتاسیم مضاعف و مس سولفات از مقادیر بیشتری برخوردار است [۲۳]. Tawiah و همکاران در بررسی اثر روش رنگرزی بر قدرت رنگی الیاف پشمی رنگرزی‌شده بدین نتیجه رسیدند، روش‌های رنگرزی پس‌دندانه‌دارکردن، هم‌زمان و پیش‌دندانه‌دارکردن به‌ترتیب بیشترین قدرت رنگی را ایجاد کردند [۲۴].

با توجه به اهمیت الیاف ویسکوز به‌عنوان الیاف بازیافتی طبیعی و جایگزین مناسب برای الیاف مصنوعی مشتق از محصولات نفتی و از طرفی حفظ محیط زیست و جلوگیری از آلایندگی الیاف و رنگینه‌های مصنوعی آن، در این پژوهش رنگرزی پارچه ویسکوز لاکرا (۹۷٪-۳) با ماده رنگینه حاصل از کاسبرگ چای ترش بررسی شده است. به‌منظور بررسی اثر دندانه بر جذب رنگ و خواص رنگی کالای رنگرزی‌شده از دندانه‌های فلزی متداول نظیر آهن سولفات، مس سولفات، روی کلرید، سولفات مضاعف پتاسیم آلومینیم و سیتریک اسید استفاده شد. با استفاده از دستگاه طیف‌نورسنج بازتابی، محرک‌های سه‌گانه CIE Lab، مقادیر اختلاف رنگ (ΔE) و قدرت رنگی (K/S) نمونه‌های پارچه ویسکوز لاکرای رنگ‌شده، اندازه‌گیری و تعیین شد. همچنین، ثبات رنگ حاصل در برابر شست‌وشو و نور ارزیابی شد.

۲ تجربی

۲-۱ مواد

پارچه تاری پودی بافته‌شده از نخ ویسکوز لاکرای یک‌لا (Ne =۳۰) با وزن ۲۲۰ g/m^2 (تهیه‌شده از شرکت ناز حریر، ایران) برای رنگرزی درنظرگرفته شد. از آنزیم آمیلاز HI-CONC (تولید شرکت Novozyme، آلمان)، ماده نفوذدهنده AROPEN P-200A (ساخت کشور آلمان)، کلاله چای ترش و شوینده آنیونی Welly Wash (تهیه‌شده از شرکت کهن‌تاج کیمیا ایران) استفاده شد. سولفات مضاعف پتاسیم آلومینیم، آهن (II) سولفات، روی کلرید، مس سولفات و سیتریک اسید تهیه‌شده از شرکت Merck آلمان به‌عنوان دندانه‌های متداول به‌کاررفته در رنگرزی طبیعی به‌کار گرفته شدند.

۲-۲ روش‌ها

۲-۲-۱ آماده‌سازی پارچه

برای انجام آزمایش، ابتدا پارچه ویسکوز لاکرا برای جلوگیری از چروک و همچنین تثبیت ابعاد پارچه در دستگاه استنتر در دمای ۱۸۰ °C به‌مدت ۴۵ s عمل‌آوری شد. سپس، آهارگیری پارچه با آنزیم آمیلاز و ماده نفوذدهنده در دمای ۹۰ °C به‌مدت ۳۰ min انجام گرفت (۱ g/L آمیلاز و ۲ g/L نفوذدهنده با L:R برابر ۱۰:۱ در جت). حذف ناخالصی‌ها و روغن‌های ریسندگی از پارچه در فرایند شست‌وشو با محلول ۱ g/L شوینده آنیونی در دمای ۸۰ °C به‌مدت زمان ۴۵ min و در نسبت حجم محلول به وزن کالا ۵۰ به ۱ انجام شد.

۲-۲-۲ تهیه محلول رنگی

کلاله چای ترش از مناطق محلی اصفهان چیده شد و به‌عنوان ماده رنگینه به‌کار رفت. کلاله چیده‌شده ابتدا با آب شسته شده و سپس

در دمای ۴۰ °C در گرم‌خانه گرمایی به‌مدت ۲۴ h خشک شد. درنهایت، کلاله خشک‌شده به‌وسیله یک آسیاب خانگی به پودر ریز تبدیل شد. برای تهیه پودر ریز با ذرات تقریباً یکسان، از توری مش نایلونی شماره ۴۰ استفاده شد. برای استخراج محلول رنگی، پودر چای ترش (۱۰ g) در ۵۰۰ mL آب مقطر در یک ارلن‌مایر متصل به چگالنده در دمای ۸۰ °C به‌مدت ۶۰ min عمل‌آوری شد، آنگاه محلول به‌دست‌آمده از صافی عبور داده شد تا محلول رنگی تصفیه‌شده به‌دست آید.

۲-۲-۳ فرایند رنگرزی و دندانه‌دادن

برای رنگرزی پارچه ویسکوز، از سه روش پیش‌دندانه‌دارکردن، هم‌زمان و پس‌دندانه‌دارکردن و دندانه‌های آهن سولفات، مس سولفات، روی کلرید، سولفات مضاعف پتاسیم آلومینیم و سیتریک اسید استفاده شد. سیتریک اسید، به‌دلیل افزایش گروه‌های عاملی سطح منسوج و طبیعتاً افزایش جذب رنگینه و خواص رنگی، به‌عنوان دندانه به‌کار گرفته شد. در روش پیش‌دندانه‌دارکردن، ابتدا پارچه در محلول دندانه (۵٪ وزنی پارچه) در دمای ۴۰ °C و حجم محلول به وزن کالا ۴۰ به ۱ قرار داده شد. دما طی ۳۰ min تا ۸۰ °C افزایش یافت و به‌مدت ۴۵ min در این دما عملیات دندانه‌دادن انجام گرفت. پس از آن، پارچه دندانه‌داده‌شده به‌خوبی با آب شسته شد تا دندانه‌های اتصال‌نیافته از پارچه جدا شوند و پس از فشرده‌شدن، پارچه در دمای محیط خشک شد. رنگرزی به‌روش رمق‌کشی در محلول استخراج شده از کلاله چای ترش (۲۰٪ wt پارچه) با نسبت حجم محلول به وزن کالا ۴۰ به ۱ در دمای ۸۰ °C به‌مدت ۶۰ min انجام شد. درنهایت، پارچه با آب شسته و سپس در هوای محیط خشک شد. در روش هم‌زمان، پارچه در حمام حاوی ماده رنگینه و دندانه مطابق شرایط اشاره‌شده در بالا عمل شد. در روش پس‌دندانه‌دارکردن، ابتدا پارچه در حمام رنگ، رنگرزی شد، سپس بدون شست‌وشو در محلول دندانه قرار گرفت. همه مراحل دندانه‌دادن و رنگرزی در دستگاه آزمایشگاهی تحت فشار Model Y03 و Prowhite ساخت کشور ترکیه انجام شد.

۲-۲-۴ تعیین پارامترهای رنگی

طیف‌نورسنج بازتابی Color-Eye 7000 A (ساخت شرکت X-Rite، آمریکا) با نور D65 و مشاهده‌کننده استاندارد ۱۰° برای سنجش پارامترهای سه‌گانه CIE Lab، مقادیر اختلاف رنگ (ΔE) و قدرت رنگی (K/S) در پارچه‌های ویسکوز-لاکرای رنگ‌شده، استفاده شد. قدرت رنگی پارچه رنگ‌شده با روش بازتاب نور در محدوده طیف مرئی (۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm) و مطابق با قانون Kubelka-Munk به‌عنوان شاخصی برای تعیین میزان جذب و قدرت رنگی مطابق معادله (۱) محاسبه شد:

$$\frac{K}{S}=\frac{(1-R)^2}{2R} \qquad (۱)$$

در این معادله، K ضریب جذب، S ضریب انتشار و R مقدار بازتاب پارچه در بیشینه طول موج جذب است. قدرت نسبی رنگ نیز طبق معادله (۲) محاسبه شد:

$$\left(\frac{K}{S}\right)_R(\%)=\frac{\left(\frac{K}{S}\right)_m}{\left(\frac{K}{S}\right)_{um}}\times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، $(K/S)_m$ و $(K/S)_{um}$ به‌ترتیب قدرت رنگی نمونه‌های دندانه‌دار و بدون دندانه است.

CIE Lab یک فضای رنگی سه‌بعدی است که در آن محور قرمز (+a*)-سبز (-a*)، محور زرد (+b*)-آبی (-b*) و روشنایی (L*) از سیاه (مقدار صفر) تا سفید (مقدار ۱۰۰) است. تغییر رنگ نمونه‌ها بین پارچه ویسکوز شاهد رنگ‌شده (نمونه بدون دندانه) و پارچه دندانه‌دار رنگرزی‌شده مطابق با معادله (۳) به‌دست می‌آید:

$$\Delta E=\sqrt{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2} \qquad (۳)$$

ثبات رنگ در برابر نور و شست‌وشو مطابق با استاندارد ISO 105 تعیین شد. در این آزمون، ثبات شویشی پارچه رنگ‌شده با استفاده از دستگاه Launder-O-meter و استاندارد :ISO 105-C06 (A1S) 2010 بررسی شد. در این روش، پارچه رنگی در استوانه‌های درب‌دار حاوی ۱۵۰ mL محلول شست‌وشو و ۱۰ عدد ساچمه فلزی در دمای ۴۰ °C به‌مدت ۳۰ min شسته شد. تغییر رنگ پارچه رنگ‌شده و پارچه مجاور مطابق با مقیاس خاکستری به‌ترتیب بر مبنای استانداردهای ISO 105-A02 و ISO 105-A03، تعیین شد. برای تعیین ثبات نوری، از استاندارد ISO 105-B02:2013 و مقیاس آبی استفاده شد.

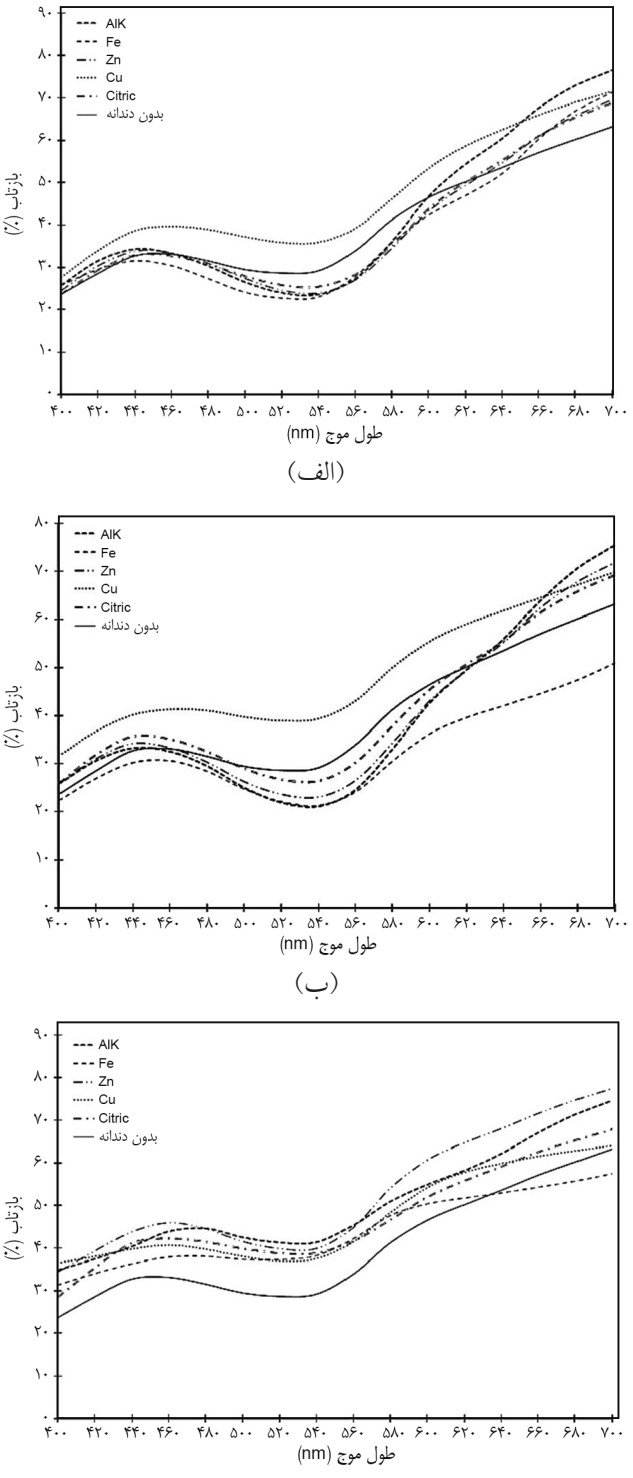
۳ نتایج و بحث

۳-۱ ضریب بازتاب

همان‌گونه که در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است، به‌طور کلی

مقادیر ضریب بازتاب کلیه نمونه پارچه‌های رنگ‌شده در محدوده ۴۴۰ nm کاهش و در محدوده ۵۶۰ nm افزایش یافته است. بیشترین مقدار بازتاب در طول موج ۷۰۰ nm و در محدوده رنگ‌های قرمز متمایل به زرد و آبی به‌دست آمده است. ماده رنگینه کلاله چای ترش، نوعی رنگینه طبیعی در طبقه آنتوسیانین بوده که دارای فام قرمز کم‌رنگ تا آبی است. در ساختار این ماده رنگینه گروه‌های کربونیل (C=O-) و هیدروکسی (OH-) وجود دارند که به‌راحتی با فلزات می‌توانند کمپلکس تشکیل دهند. نمودار ضریب بازتاب نمونه پارچه‌های رنگرزی‌شده به‌روش پیش‌دندانه‌دارکردن، هم‌زمان و پس‌دندانه‌دارکردن با هم متفاوت است.

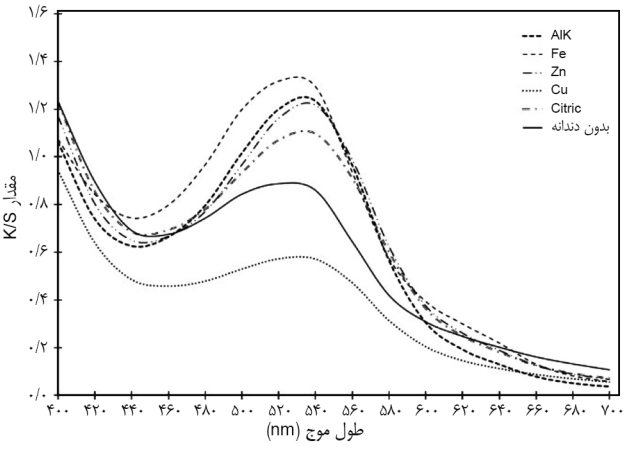
در روش پیش‌دندانه‌دارکردن، در محدوده کمتر از ۴۴۰ nm و بیش از ۶۴۰ nm، ضریب بازتاب پارچه‌های با دندانه رنگ‌شده نسبت به پارچه بدون دندانه بیشتر است. در روش هم‌زمان، ضریب بازتاب نمونه‌ها روند مشابهی با روش پیش‌دندانه‌دارکردن دارد، اما با این تفاوت که پارچه دندانه‌دارشده با مس، دارای ضریب بازتاب کمتری است. پارچه‌های رنگرزی‌شده با دندانه به‌روش پس‌دندانه‌دارکردن، برخلاف دو روش قبل، در تمام طول موج‌ها دارای ضریب بازتاب بیشتری نسبت به پارچه رنگ‌شده بدون دندانه هستند. این مسئله، حاکی از آن است که در روش پس‌دندانه‌دارکردن، میزان رنگینه جذب‌شده به‌وسیله پارچه دندانه‌دارشده کمتر از پارچه بدون دندانه است. از آنجا که ثبات رنگ چای ترش در برابر شست‌وشو کم است، بنابراین کاهش میزان جذب رنگینه و افزایش ضریب بازتاب را شاید بتوان به خروج رنگینه از پارچه در محلول دندانه پیش از اتصال دندانه نسبت داد.



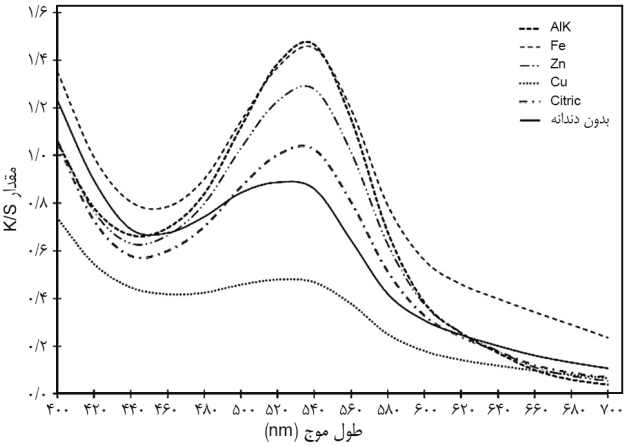
شکل ۲- نمودار مقایسه‌ای ضریب بازتاب (R%) نمونه پارچه رنگ‌شده بدون دندانه و پارچه‌های دندانه‌دار رنگرزی‌شده با روش: (الف) پیش‌دندانه‌دارکردن، (ب) دندانه‌دارکردن و (پ) پس‌دندانه‌دارکردن.

۳-۲ قدرت رنگی

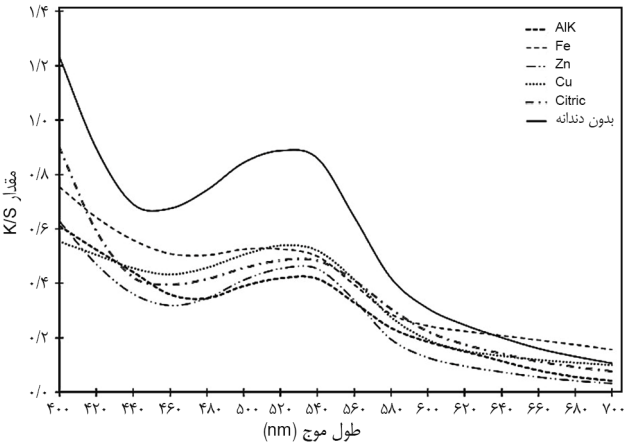
مقدار قدرت رنگی (K/S) نمونه‌های مختلف که با استفاده از معادله Kubelka-Munk به‌دست آمده، در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بیشینه مقدار قدرت رنگی پارچه رنگ‌شده بدون دندانه در طول موج ۴۰۰ nm ایجاد شده است. استفاده از دندانه‌ها و روش‌های رنگرزی متفاوت، به ایجاد قدرت رنگی مختلف منجر می‌شود. در روش پیش‌دندانه‌دارکردن و هم‌زمان، بیشینه قدرت رنگی نمونه پارچه‌های دندانه‌دارشده با مس و سیتریک اسید در ۴۰۰ nm و با آهن، آلومینیم و روی در محدوده ۵۴۰ nm اتفاق افتاده است. این در حالی است که در روش پس‌دندانه‌دارکردن، بیشینه قدرت رنگی همه نمونه‌ها در ۴۰۰ nm ایجاد شده است. در این روش، قدرت رنگی پارچه رنگ‌شده بدون دندانه بیش از نمونه‌های رنگرزی‌شده با دندانه است. به‌عبارتی، در رنگرزی پارچه ویسکوز با ماده رنگینه چای ترش، روش پس‌دندانه‌دارکردن و استفاده از دندانه‌های مختلف به بهبود جذب



(الف)



(ب)

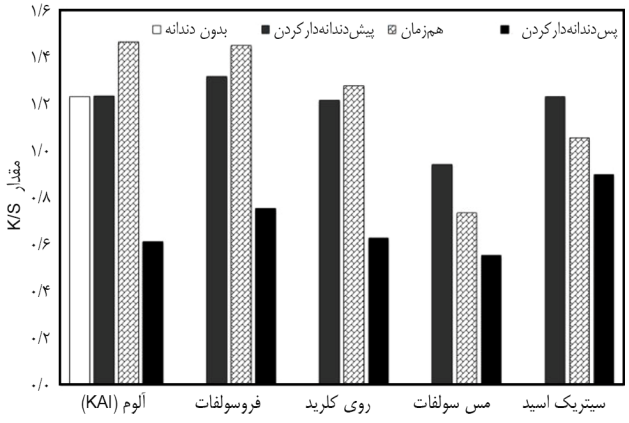


(پ)

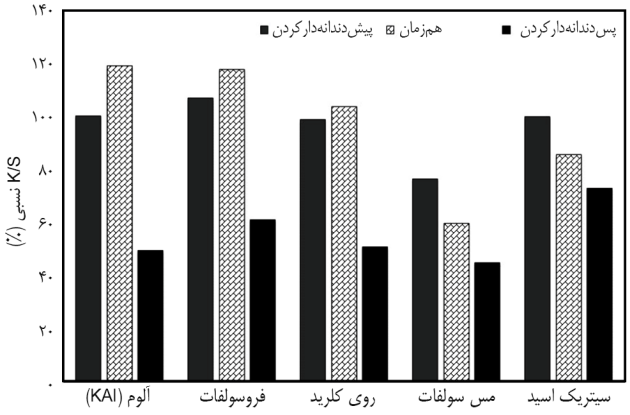
شکل ۳- مقدار قدرت رنگی (K/S) پارچه رنگ‌شده بدون دندانه و پارچه‌های دندانه‌دار رنگ‌شده به روش: (الف) پیش‌دندانه‌دارکردن، (ب) دندانه‌دارکردن همزمان و (پ) پس‌دندانه‌دارکردن.

رنگینه و افزایش قدرت رنگی منجر نمی‌شود.

برای تفسیر بهتر نتایج شکل فوق، مقادیر K/S در طول موج حداکثر جذب، در شکل ۴ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد،



(الف)



(ب)

شکل ۴- (الف) تغییرات مقدار جذب رنگینه برحسب K/S در بیشینه طول موج جذب در برابر دندانه و روش رنگرزی و (ب) قدرت رنگی نسبی.

مقدار K/S نمونه پارچه‌های رنگ‌شده در روش پس‌دندانه‌دارکردن نسبت به دو روش دیگر کمتر است. این موضوع می‌تواند ناشی از خروج ماده رنگینه از پارچه در محلول دندانه، پیش از اتصال دندانه نسبت داد. روش رنگرزی و دندانه‌دادن هم‌زمان با وجود دندانه‌های سولفات مضاعف پتاسیم آلومینیم، آهن سولفات و روی کلرید نسبت به دو روش پیش‌دندانه‌دارکردن و پس‌دندانه‌دارکردن دارای مقادیر K/S بیشتری است. این در حالی است که دندانه‌های مس سولفات و سیتریک اسید در روش پیش‌دندانه‌دارکردن بیشترین مقدار K/S را ایجاد کرده‌اند. نمونه‌های دندانه‌دارشده با سولفات مس دارای مقادیر K/S کمتری نسبت به نمونه‌های دندانه‌دارشده با آهن و آلومینیم است. این مسئله می‌تواند ناشی از پایداری بیشتر کمپلکس یون‌های فلزی آهن و آلومینیم با ماده رنگینه باشد [۲۵].

بر طبق پژوهش‌های منتشرشده، عصاره آنتوسیانین در دمای ۶۰ °C، بیشترین پایداری گرمایی را دارد و در دمای بین ۸۰ و ۱۰۰ °C سرعت تخریب آن افزایش می‌یابد [۲۶]. از طرفی، در

فرایند رنگرزی، برهم‌کنش ایجادشده بین گروه‌های عاملی لیف و کمپلکس آنتوسیانین–دندانه، امکان رنگرزی در دمای حدود ۸۵ °C را بدون رنگ‌پریدگی فراهم می‌کند [۱۲]. بر این اساس، این احتمال وجود دارد که در روش پیش‌دندانه‌دارکردن و پس‌دندانه‌دارکردن (به‌ویژه در روش پس‌دندانه‌دارکردن)، رنگرزی در دمای ۸۰ °C به تخریب ماده رنگینه و رنگ‌پریدگی نمونه رنگرزی‌شده، منجر شده است. در روش هم‌زمان، این اثر به‌دلیل برهم‌کنش لیف و کمپلکس ماده رنگینه–دندانه کاهش یافته است.

۳-۳ پارامترهای سه‌گانه CIE Lab

سامانه CIE Lab برای ارزیابی پارامترهای رنگی و اختلاف رنگ پارچه‌های رنگ‌شده استفاده شد. در این سامانه، L^* بیانگر مقادیر روشنایی–تاریکی، مقادیر a^* از مقادیر منفی (سبز) تا مثبت (قرمز)، مقادیر b^* از مقادیر منفی (آبی) تا مثبت (زرد)، مقادیر c^* بیانگر خلوص و h^o متناظر با زاویه فام است. مقادیر پارامترهای رنگی پارچه‌های ویسکوز لاکرای رنگ‌شده در جدول ۱ نشان داده شده است. انتقال به قرمز (انتقال به‌سمت طول موج‌های بیشتر) و اثر پررنگی (hyperchromic) (انتقال به انرژی بیشتر) دو پدیده متداول مشاهده‌شده در برهم‌کنش بین رنگینه و فلز است. میزان انتقال به قرمز ایجادشده به یون وابسته است، به‌طوری که تراکم الکترونی یون فلزی و نظم الکترون‌ها در اوربیتال‌های معین یون، نقش مهمی در برهم‌کنش آنتوسیانین و یون فلزی ایفا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد، روشنایی پارچه‌های با دندانه رنگ‌شده به‌روش پیش‌دندانه‌دارکردن در مقایسه با پارچه رنگ‌شده بدون دندانه کمتر است. این موضوع، بیانگر جذب بیشتر ماده رنگینه به‌وسیله لیف با وجود دندانه است. داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد، کمترین مقدار روشنایی (L^*) و بیشترین مقدار خلوص (c^*) در روش رنگرزی هم‌زمان به‌دست آمده است. از طرفی، سولفات مضاعف پتاسیم آلومینیم دارای مقدار خلوص رنگ (c^*) نسبتاً بیشتری در مقایسه با سایر دندانه‌ها در روش رنگرزی پیش‌دندانه‌دارکردن و هم‌زمان است. این نتیجه را می‌توان به بی‌رنگ‌بودن نمک سولفات مضاعف نسبت داد، به‌طوری که باعث کاهش مقادیر قرمزی ماده رنگینه چای ترش نمی‌شود. Estevez و همکاران در بررسی پایداری اتصال (انرژی اتصال، ΔE) و خودبه‌خودبودن اتصال (انرژی گیبس اتصال، GΔ) ساختارهای کمپلکس سیانین–فلز نشان دادند، برهم‌کنش و پایداری کمپلکس یون فلز–سیانین با افزایش بار مثبت و تعداد الکترون فلز افزایش

جدول ۱– خواص رنگی پارچه‌های ویسکوز رنگ‌شده.

روش	دندانه	L*	a*	b*	c*	h°	ΔE	K/S	$(K/S)_R$
رنگرزی	بدون دندانه	۶۶/۴	۱۵/۶۴	۵/۵۹	۱۶/۶۱	۱۹/۶۷	–	۱/۲۳۲	–
پیش‌دندانه‌دارکردن	آلوم (KAl)	۶۳/۹	۲۴/۴۸	۰/۲۵	۲۴/۴۸	۰/۵۹	۱۰/۶۲	۱/۲۳۶	۱۰۰/۳
	فروسولفات	۶۲/۳	۲۱/۵	۱/۴۸	۲۱/۵۵	۳/۹۳	۸/۲۵	۱/۳۱۹	۱۰۷/۱
	روی کلرید	۶۳/۱	۲۰/۸	–۰/۷۴	۲۰/۸۲	۳۵۷/۹۶	۸/۸۲	۱/۲۱۷	۹۸/۸
	مس سولفات	۷۱/۲	۱۴/۰۸	۵/۲۷	۱۵/۰۴	۲۰/۵۱	۵/۰۳	۰/۹۴۳	۷۶/۵
	سیتریک اسید	۶۳/۸	۱۹/۳۳	۱/۴۴	۱۹/۳۹	۴/۲۶	۶/۱۳	۱/۲۳۲	۱۰۰
دندانه‌دارکردن هم‌زمان	آلوم (KAl)	۶۱/۷	۲۴/۵۳	–۲/۲۷	۲۴/۶۴	۳۵۴/۷۱	۱۲/۷۷	۱/۴۶۶	۱۱۹/۰
	فروسولفات	۵۹/۵	۱۶/۷	–۲/۴۳	۱۶/۸۷	۳۵۱/۷۲	۱۰/۶۱	۱/۴۵۲	۱۱۷/۸
	روی کلرید	۶۲/۸	۲۲/۲۸	–۱/۵۴	۲۲/۳۳	۳۵۶/۰۶	۱۰/۴	۱/۲۷۸	۱۰۳/۷
	مس سولفات	۷۳/۱	۱۱/۸۷	۶/۲	۱۳/۳۹	۲۷/۵۷	۷/۶۹	۰/۷۳۷	۵۹/۸
	سیتریک اسید	۶۵/۱	۱۹/۳۶	۰/۱۹	۱۹/۳۶	۰/۵۵	۶/۷	۱/۰۵۵	۸۵/۶
پس‌دندانه‌دارکردن	آلوم (KAl)	۷۴/۱	۹/۵۱	۵/۹۲	۱۱/۲	۳۱/۸۸	۹/۸۲	۰/۶۱۲	۴۹/۷
	فروسولفات	۷۱/۳	۸/۴۶	۷/۲۵	۱۱/۱۵	۴۰/۶	۸/۸۳	۰/۷۵۴	۶۱/۲
	روی کلرید	۷۴/۸	۱۴/۸۳	۴/۸۳	۱۵/۵۹	۱۸/۰۵	۸/۴۵	۰/۶۲۸	۵۰/۹
	مس سولفات	۷۲/۰	۱۲/۹۴	۴/۷۷	۱۳/۷۹	۲۰/۲۲	۶/۲۴	۰/۵۵۴	۴۵/۰
	سیتریک اسید	۷۲/۱	۱۰/۴۱	۴/۰۴	۱۱/۱۷	۲۱/۱۹	۷/۸۸	۰/۹۰۰	۷۳/۱

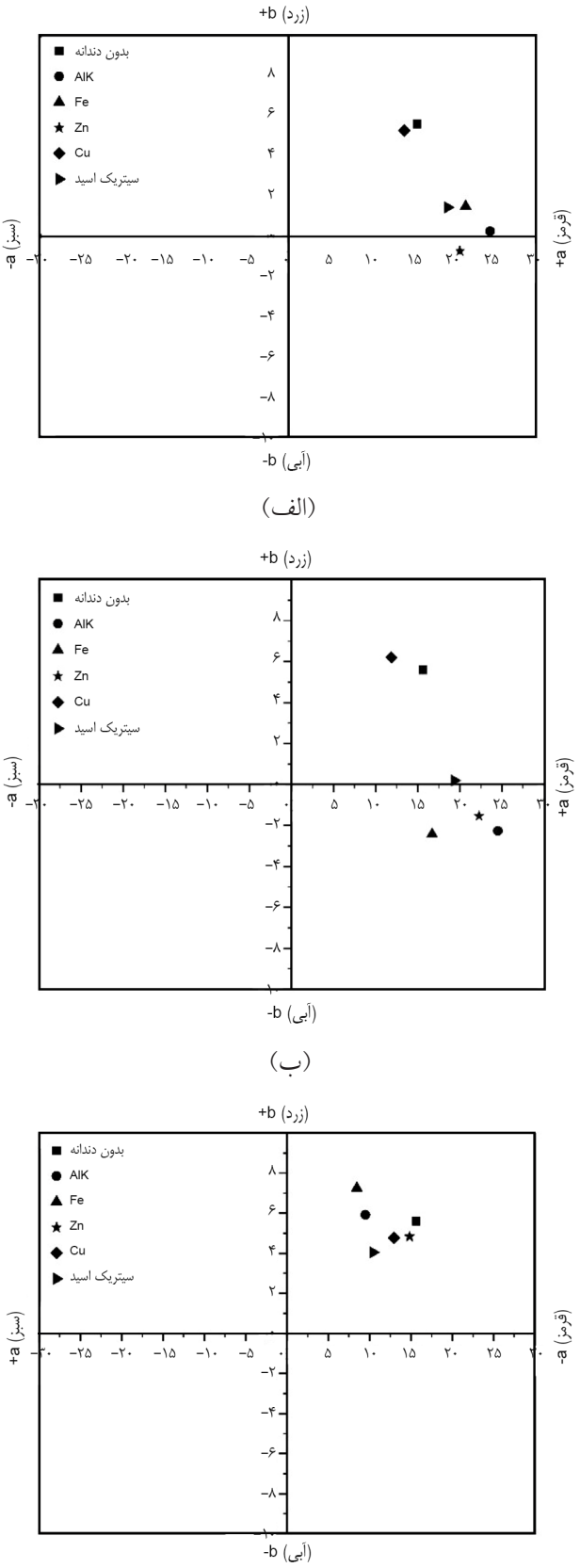
می‌یابد [۲۷].

داده‌های اختلاف رنگ (ΔE) در جدول ۱ آورده شده است. این داده‌ها نشان می‌دهند، اختلاف معناداری میان پارچه رنگ‌شده بدون دندانه و پارچه رنگ‌شده با دندانه در روش‌های رنگرزی مختلف وجود دارد. اختلاف رنگ در پارچه‌های دندانه‌دارشده با سولفات مضاعف پتاسیم آلومینیم چشمگیرتر است.

نمودار a^*-b^* (شکل ۵) نشان می‌دهد، تمام نمونه‌های رنگ‌شده در روش پیش‌دندانه‌دارکردن به استثنای نمونه دندانه‌دارشده با روی کلرید، اندکی متمایل به محور قرمز و در منطقه قرمز–زرد (ناحیه اول فام) قرار دارند. این در حالی است که نمونه پارچه‌های رنگ‌شده به‌روش هم‌زمان، به‌جز نمونه‌های دندانه‌دارشده با مس و سیتریک اسید، در منطقه آبی–قرمز (ناحیه چهارم فام) و متمایل به محور قرمز قرار گرفته‌اند که بیانگر فام قرمز متمایل به آبی در زاویه فام °۳۵۰ تا °۲۶ است. شکل ۴ نشان می‌دهد، تغییر نوع دندانه در روش رنگرزی هم‌زمان نسبت به دو روش دیگر، بر خواص رنگی نمونه‌ها تأثیر بیشتری دارد. نمک‌های فلزی به‌کاررفته در محلول رنگ، محیط را اسیدی می‌کنند و ماده رنگینه چای ترش در محیط اسیدی دارای فام قرمزرنگ است. بنابراین در این روش، نوع دندانه و اتصال آن به رنگینه، اثر بیشتری بر تغییر فام رنگ نمونه رنگ‌شده دارد. تمام نمونه‌های رنگ‌شده بدون دندانه و بادندانه در روش رنگرزی پس‌دندانه‌دارکردن در ناحیه اول و در زاویه فام °۴۵ تا °۷۵ واقع شده‌اند که بیانگر اثرگذاری اندک نوع دندانه بر محرک‌های رنگی نمونه است. به‌عبارتی، افزودن دندانه پس از رنگرزی سبب تغییر معنادار و شدید فام رنگ پارچه نمی‌شود.

۴-۳ ثبات رنگ

در فرایند رنگرزی پارچه، بررسی خواص ثبات رنگ پارچه در کنار تعیین فام رنگ حائز اهمیت است. بدین دلیل، در این بخش از مطالعه، اثر روش‌های رنگرزی و استفاده از دندانه از نظر پایداری و ثبات رنگ در برابر شست‌وشو و نور بررسی شده است. نتایج ثبات رنگ پارچه ویسکوز لاکرای رنگ‌شده با عصاره کاسبرگ چای ترش در برابر شست‌وشو و نور در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، پارچه رنگ‌شده با عصاره چای ترش دارای ثبات نوری و شویشی بسیار کمی بوده و استفاده از دندانه‌ها در فرایند رنگرزی موجب افزایش ثبات رنگ شده است. از آنجا که آنتوسیانین نوعی ماده رنگینه اسیدی است، درنتیجه می‌تواند در شرایط اسیدی ملایم، با یون مثبت دندانه‌ها برهم‌کنش یونی داشته باشد [۱۴]. از طرفی، رنگینه آنتوسیانین حاوی دو گروه

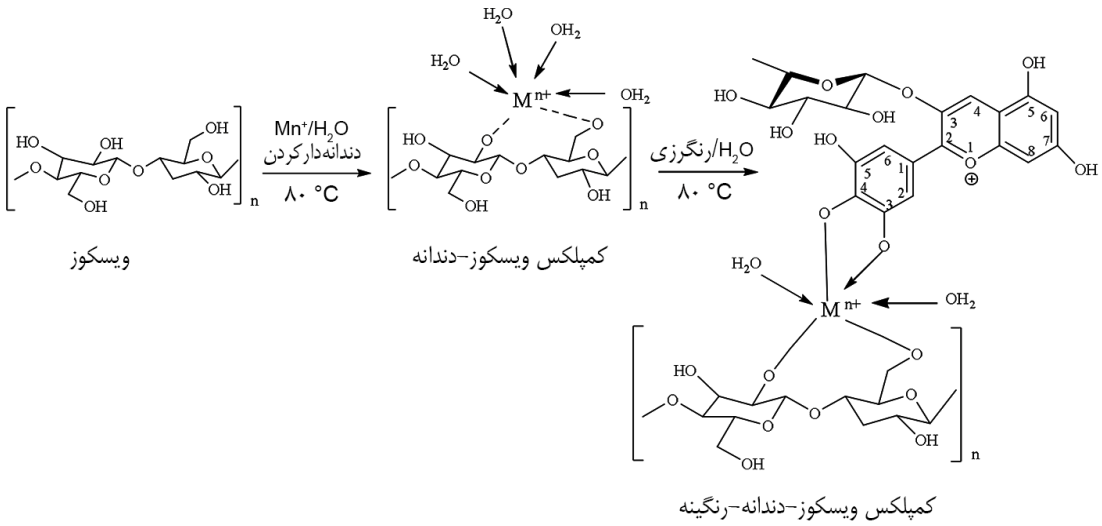


شکل ۵- نمودار a^*-b^* پارچه‌های ویسکوز رنگ‌شده به روش: (الف) پیش‌دندانه‌دارکردن، (ب) هم‌زمان و (پ) پس‌دندانه‌دارکردن.

جدول ۲- ثبات شویشی و نوری پارچه‌های رنگ‌شده با دندانه‌های مختلف و روش‌های دندانه‌دارکردن متفاوت.

روش	دندانه	ثبات نوری	ثبات شویشی
پارچه رنگ‌شده	بدون دندانه	۲-۱	۲
پیش‌دندانه‌دارکردن	آلوم (KAl)	۴	۴
	فروسولفات	۴	۵
	روی کلرید	۴-۳	۵
	مس سولفات	۶-۵	۴
	سیتریک اسید	۴	۴
دندانه‌دارکردن هم‌زمان	آلوم (KAl)	۴	۴-۳
	فروسولفات	۳	۴
	روی کلرید	۳-۲	۴-۳
	مس سولفات	۵	۴
	سیتریک اسید	۴	۴
پس‌دندانه‌دارکردن	آلوم (KAl)	۵-۴	۴
	فروسولفات	۵-۴	۴
	روی کلرید	۴-۳	۵-۴
	مس سولفات	۵	۵-۴
	سیتریک اسید	۵-۴	۴

هیدروکسیل در موقعیت اورتو می‌تواند کمپلکس فلزی رنگی ایجاد کند. به‌عبارتی در ماده رنگینه چای ترش، امکان ایجاد کمپلکس کوئوردینانسی رنگینه-دندانه میان گروه‌های هیدروکسیل سلولوز و گروه‌های کربونیل و هیدورکسیل رنگینه یا دو گروه هیدورکسیل رنگینه وجود دارد. همچنین، احتمال اتصال هیدروژنی میان اتم‌های هیدروژن یا اکسیژن رنگینه و اتم‌های هیدروژن و اکسیژن گروه‌های هیدروکسیل سلولوز نیز وجود دارد. مجموع این اتصالات، به ثبات رنگ بهتر نمونه پارچه رنگ‌شده حاوی دندانه نسبت به نمونه



شکل ۶- نمای ترسیمی از اتصال نمک فلزی-ماده رنگینه-لیف سلولوزی.

رنگ‌شده بدون دندانه منجر می‌شود.

شکل ۶، نمای ترسیمی از اتصال نمک فلزی به ماده رنگینه و لیف سلولوزی را نشان می‌دهد. در این مطالعه، از روش‌های مختلف رنگرزی و دندانه‌های متفاوت استفاده شده است. به‌طور کلی، نتایج حاکی از آن است که پارچه رنگرزی‌شده به‌روش هم‌زمان در مقایسه با دو روش دیگر از خواص ثبات نسبتاً کمی برخوردار است. این نتیجه می‌تواند ناشی از عدم اتصال مناسب رنگ و یون‌های فلزی به ساختار پارچه باشد. به‌عبارتی، در روش رنگرزی هم‌زمان، یون‌های فلزی و رنگینه در رقابت با هم برای اتصال به گروه‌های هیدروکسیل سلولوز هستند. از طرفی، چون فرایند در یک مرحله رخ می‌دهد، مدت زمان رنگرزی و دندانه‌دارکردن نسبت به دو روش دیگر کمتر است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، شاید بتوان چنین تفسیر کرد، در روش رنگرزی هم‌زمان به‌دلیل اسیدی‌بودن محیط رنگرزی، جذب رنگینه روی لیف سلولوزی بیشتر است، اما به‌دلیل عدم اتصال مناسب از ماندگاری و پایداری کمتری نسبت به فرایند شست‌وشو برخوردار است. از طرفی، ثبات نوری و شویشی پارچه رنگ‌شده به‌روش پس‌دندانه‌دارکردن از ثبات بیشتری برخوردار است. به‌طور کلی، کالای رنگ‌شده با ثبات نوری بیش از ۵ و ثبات شویشی بیش از ۴ برای مصرف‌کننده قابل قبول است. به‌طور کلی، ثبات نوری ماده رنگینه با وجود دندانه نمک فلزی بهبود می‌یابد که این موضوع می‌تواند ناشی از افزایش جذب رنگینه باشد. درنتیجه، باعث افزایش غلظت ماده رنگینه در سطح لیف و تضعیف انتقال انرژی پرتوهای نور به سطوح لایه‌های داخلی لیف شود. از طرفی، امکان تجمع ماده رنگینه با وجود فلز و تشکیل کمپلکس سبب کاهش مساحت سطحی رنگ در معرض پرتوهای تابشی می‌شود [۲۸]. نتایج ثبات نوری کالای رنگ‌شده (جدول ۲) نشان می‌دهد، دندانه روی کلرید در هر سه روش رنگرزی، دارای کمترین مقدار ثبات رنگ است. درنتیجه، این دندانه برای رنگرزی پارچه ویسکوز لاکرا با عصاره کاسبرگ چای ترش پیشنهاد نمی‌شود. از طرفی، استفاده از سولفات مس در هر سه روش رنگرزی (به‌ویژه روش پیش‌دندانه‌دارکردن) سبب افزایش نسبی در ثبات نوری رنگ پارچه شده است، به‌طوری‌که ثبات نوری رنگ پارچه به بیش از مقدار ۵ افزایش یافته است. این نتیجه با نتایج رنگرزی کالای پشمی و پنبه‌ای با کاسبرگ چای ترش نیز سازگار است [۱۷،۲۲]. پژوهشگران نشان داده‌اند، از نظر پایداری اتصال و خودبه‌خودبودن اتصال، یون مس دارای بیشترین مقدار و یون روی دارای کمترین مقدار در میان یون‌های فلزی به‌کاررفته است [۲۷].

در تمام نمونه پارچه‌های رنگ‌شده با دندانه‌های مختلف، استفاده از روش پس‌دندانه‌دارکردن باعث افزایش ثبات نوری نسبت به دو روش دیگر شده است. ثبات رنگ پارچه بدون دندانه رنگرزی‌شده در برابر شست‌وشو بسیار کم (مقدار ۲) بوده و با انجام عملیات دندانه‌دارکردن، این ثبات بهبود یافته و به مقدار بیش از ۴ رسیده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، رنگرزی به‌روش پیش‌دندانه‌دارکردن و پس‌دندانه‌دارکردن، بهترین ثبات رنگ را در برابر شست‌وشو (مقادیر ۴ تا ۵) ایجاد کرده است.

۴ نتیجه‌گیری

در این مطالعه، رنگ‌پذیری پارچه ویسکوز لاکرا با ماده رنگینه چای ترش با روش‌های مختلف دندانه‌دارکردن با وجود برخی نمک‌های فلزی متداول بررسی شده است. یافته‌ها حاکی از آن است، رنگرزی پارچه ویسکوز لاکرا با عصاره کاسبرگ چای ترش به ایجاد فام رنگ قرمز با ثبات نوری و شویشی بسیار ضعیفی منجر می‌شود. این در حالی است که استفاده از نمک‌های فلزی و سیتریک اسید در رنگرزی موجب ایجاد فام رنگ قرمز با قدرت رنگی بیشتر، ثبات رنگ خوب در برابر نور و ثبات رنگ عالی در برابر شست‌وشو می‌شود. از میان نمک‌های استفاده‌شده، روی کلرید به‌دلیل میل ترکیبی کمتر و پایداری ضعیف‌تر کمپلکس فلز روی–رنگینه در مقایسه با سایر دندانه‌های فلزی دارای تأثیر کمتری بر خواص رنگی ویسکوز رنگ‌شده دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد، روش رنگرزی بر فام رنگ تولیدشده اثرگذار است، به نحوی که در روش پیش‌دندانه‌دارکردن و پس‌دندانه‌دارکردن، نمونه‌ها در ناحیه اول فام (منطقه قرمز–زرد) و اندکی متمایل به محور قرمز و در روش هم‌زمان به جز نمونه‌های دندانه‌دارشده با مس و سیتریک اسید، بقیه نمونه‌ها در منطقه آبی–قرمز (ناحیه چهارم فام) و متمایل به محور قرمز قرار می‌گیرند. قدرت رنگی نمونه‌ها نیز با توجه به نوع دندانه به‌کاررفته و روش رنگرزی استفاده‌شده می‌تواند متفاوت باشد. به‌طوری که در حالت کلی، مقدار قدرت رنگی نمونه‌های رنگ‌شده به روش پس‌دندانه‌دارکردن نسبت به دو روش دیگر کمتر است. در روش رنگرزی هم‌زمان نمونه‌های رنگ‌شده با دندانه‌های سولفات مضاعف پتاسیم آلومینیم، آهن سولفات و روی کلرید و در روش پیش‌دندانه‌دارکردن نمونه‌های رنگ‌شده با دندانه‌های مس سولفات و سیتریک اسید، بیشترین مقدار قدرت رنگی را ایجاد کرده‌اند.

مراجع

[1] G. Sun, "Thermodynamics, kinetics, and multifunctional finishing of textile materials with colorants extracted from natural renewable sources", *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 5, no. 9, pp. 7451-7466, 2017.

[2] M. Shahid and F. Mohammad, "Perspectives for natural product based agents derived from industrial plants in textile applications–a review", *J. Clean. Prod.*, vol. 57, pp. 2-18, 2013.

[3] É. Kipershlak and A. Pakshver, "New developments in viscose research-a review", *Fibre Chem.*, vol. 9, no. 5, pp. 458-467, 1978.

[4] *Viscose Fiber Market Size 2021 Share, Demand, Revenue, Future Development, Expected Growth Factors and Forecast to 2026*. 2021. marketwatch. com, 2022.

[5] S. Baliarsingh, A.K. Panda, J. Jena, T. Das, and N.B. Das, "Exploring sustainable technique on natural dye extraction from native plants for textile: identification of colourants, colourimetric analysis of dyed yarns and their antimicrobial evaluation", *J. Clean. Prod.*, vol. 37, pp. 257-264, 2012.

[6] S. Saxena and A. Raja, "Natural Dyes: Sources, Chemistry, Application and Sustainability Issues", in *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, Springer, Singapore, pp. 37-80, 2014.

[7] C. Du and F. Francis, "Anthocyanins of roselle (Hibiscus sabdariffa, L.)", *J. Food Sci.*, vol. 38, no. 5, pp. 810-812, 1973.

[8] P.K. Wong, S. Yusof, H.M. Ghazali, and Y.B.C. Man, "Physico-chemical characteristics of roselle (Hibiscus sabdariffa L.)", *Nutr. Food Sci.*, vol. 32, no. 2, pp. 68-73, 2002.

[9] J.M. Bueno, P. Saez-Plaza, F. Ramos-Escudero, A.M. Jimenez, R. Fett, and A.G. Asuero, "Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: chemical structure, color, and intake of anthocyanins", *Crit. Rev. Anal. Chem.*, vol. 42, no. 2, pp. 126-151, 2012.

[10] V. Shruthi, C.T. Ramachandra, U. Nidoni, S. Hiregoudar, N. Naik, and A.R. Kurubar, "Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) as a source of natural colour: a review", *Plant Archiv.*, vol. 16, no. 2, pp. 515-522, 2016.

[11] I. Da-Costa-Rocha, B. Bonnlaender, H. Sievers, I. Pischel, and M. Heinrich, "Hibiscus sabdariffa L.–a phytochemical and pharmacological review", *Food Chem.*, vol. 165, pp. 424-443, 2014.

[12] P.S. Vankar and D. Shukla, "Natural dyeing with anthocyanins from Hibiscus rosa sinensis flowers", *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 122, no. 5, pp. 3361-3368, 2011.

[13] L. Hayat and D.A. Jacob, "Dyeing wool and cotton fibres with acidic extract of Hibiscus rosa sinensis flower", *Nat. Prod. Res.*, vol. 33, no. 7, pp. 980-986, 2019.

[14] R. Mansour and A.H. Ben, "Investigating the use of chitosan: toward improving the dyeability of cotton fabrics dyed with Roselle (Hibiscus sabdariffa L.)", *J. Nat. Fiber.*, vol. 18, no. 7, pp. 1007-1016, 2021.

[15] A. Önal, S. Durdykulyyeva, O. Özbek, and S. Nached, "The use of Hibiscus sabdariffa flower extracts in cotton fabric and wool yarn dyeing", *J. Inst. Eng. (India): Ser. E*, pp. 1-7, 2022.

[16] A.A. Zarkani, F.J. Hashim, O.T.A. Azzawi, and M. Sabri, "Fabrics dying with Hibiscus sabdariffa and Curcuma longa extracts using different mordants and mordanting methods", *Tikrit J. Pure Sci.*, vol. 23, no. 1, pp. 61-69, 2018.

[17] F. Shahmoradi Ghaheh, M.K. Moghaddam, and M. Tehrani, "Comparison of the effect of metal mordants and bio-mordants on the colorimetric and antibacterial properties of natural dyes on cotton fabric", *Color. Technol.*, vol. 137, no. 6, pp. 689-698, 2021.

[18] K. Phan, E.V.D. Broeck, V.V. Speybroeck, K.D. Clerck, K. Raes, and S.D. Meester, "The potential of anthocyanins from blueberries as a natural dye for cotton: a combined experimental and theoretical study", *Dyes Pigments*, vol. 176, pp. 108180, 2020.

[19] S. Funar-Timofei, A. Sallo, G. Simu, and L. Kurunczi, *Structure Affinity Relations in Dye-Fibre Interactions, Quantum Biochemistry and Specific Interactions*, 2nd ed., A. Chiriac, M. Mracec, T.I. Oprea, L. Kurunczi, Z. Simon (Eds.), Mirton, Timişoara, pp. 225-237, 2003.

[20] İ. Gulcin and S.H. Alwasel, "Metal ions, metal chelators and metal chelating assay as antioxidant method", *Processes*, vol. 10, no. 1, pp. 132, 2022.

[21] R. Shanker and P.S. Vankar, "Dyeing cotton, wool and silk with Hibiscus mutabilis (Gulzuba)", *Dyes Pigments*, vol. 74, no. 2, pp. 464-469, 2007.

[22] F. Yılmaz and M. Bahtiyari, "Investigation of the Usability of Hibiscus Plant as a Natural Dye Source", in P*roceedings of 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 29-30 September, Baku- Azerbaijan, 2017.

[23] R. Ramprasath, G.G. Kavi, and T.S. Rathi, "Isolation of natural dyes from hibiscus Rosa sinensis and marigold flower and dyeing properties of the dyes on cotton cloth", *J. Appl. Chem.*, vol. 10, no. 5, pp. 74-79, 2017.

[24] B. Tawiah, C. Frimpong, B.K. Asinyo, and W. Badoe,

"Roselle calyces (Hibiscus subdariffa) anthocyanins extracted by aqueous macroporous resin adsorption method for dyeing of wool fabrics", *Int. J. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 2224-3577, 2016.

[25] L.J. Rather, Q.F. Dar, Q. Zhou, L. Haofan, and Q. Li, "Binary mix metal mordant dyeing of merino wool fibers using Cinnamomum camphora waste/fallen leaves extract: a brief statistical analysis of color parameters", *J. Text. Inst.*, vol. 112, no. 5, pp. 742-751, 2021.

[26] L.G. Maciel, M.A.V. Carmo, L. Azevedo, H. Daguer, L. Molognoni, M.M. Almeida, D. Granato, and N.D. Rosso, "Hibiscus sabdariffa anthocyanins-rich extract: chemical stability, *in vitro* antioxidant and antiproliferative activities", *Food Chem. Toxicol.*, vol. 113, pp. 187-197, 2018.

[27] L. Estevez, M. Sánchez-Lozano, and R.A. Mosquera, "Complexation of common metal cations by cyanins: binding affinity and molecular structure", *Int. J. Quantum Chem.*, vol. 119, no. 6, pp. e25834, 2019.

[28] A.P. Manian, R. Paul, and T. Bechtold, "Metal mordanting in dyeing with natural colourants", *Color. Technol.*, vol. 132, no. 2, pp. 107-113, 2016.