



سنتز رنگینه‌های دندانهای آزو با استفاده از بستر نانوسیلیکا کرومیک اسید

احمد اکبری^{۱*}، عبدالحمید بامنیری^۲، عباس شایانفر^۳

۱- استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، صندوق پستی: ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷

دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، صندوق پستی: ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷

۲- دانشیار، دانشکده شیمی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، صندوق پستی: ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷

۳- کارشناس ارشد، پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، صندوق پستی: ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۱۸ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۰/۳/۲۰

چکیده

تحقیق حاضر یک روش سریع و جدید برای سنتز دو رنگینه دندانهای مونو آزو را توضیح می‌دهد. در این روش نمک دی‌آزونیوم $(ArN_2^+ \text{ } ^-CrO_3-SiO_2)$ از آسیاب نمودن و مخلوط کردن ۲- آمینو بنزوئیک اسید به عنوان ترکیب دی‌آزو با سدیم نیتريت، سیلیکا ژل مرطوب و نانوسیلیکا کرومیک اسید بدون استفاده از حلال در دمای اتاق تهیه شد. نمک دی‌آزونیوم حاصل در حالت خشک در دمای اتاق پایدار است. رنگینه‌های مونو آزو از جفت شدن نمک حاصل با ۱ و ۲- نفتوکسید به عنوان ترکیبات جفت شونده به تفکیک با بازده خوب تا عالی تهیه شدند. از روش‌های دستگاهی از قبیل FT-IR، $^{13}CNMR$ و 1HNMR برای شناسایی دو رنگینه به دست آمده استفاده شد. رنگینه‌های سنتز شده برای رنگرزی الیاف پشمی به روش دندان‌دانه دادن پس از رنگرزی با دی‌کرومات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات رنگی و ثبات شستشویی نمونه‌های رنگرزی شده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که نمونه‌های رنگرزی شده و دندان‌دانه شده دارای شیدهای رنگی تقریباً یکسان بوده و ثبات شستشویی آنها در محدوده ۳ است.

واژه‌های کلیدی: رنگینه آزو، نانو سیلیکا کرومیک اسید، ۱- نفتل، ۲- نفتل، رنگرزی، رنگینه دندان‌دانه‌ای.

Synthesis of Monoazo Mordant Dyes by Nanosilica Chromic Acid

A. Akbari^{1*}, A. Bamoniri², A. Shayanfar³

¹ Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, P.O. Box:87317-51167, Kashan, Iran.

Faculty of Architecture and Art, University of Kashan, P.O. Box:87317-51167, Kashan, Iran

² Faculty of Chemistry, University of Kashan, P.O. Box:87317-51167, Kashan, Iran

³ Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, P.O. Box:87317-51167, Kashan, Iran.

Abstract

The present study describes a rapid and novel method for the synthesis of two monoazo mordant dyes. In this method, diazonium salt $(ArN_2^+ \text{ } ^-CrO_3-SiO_2)$ was prepared via grinding of 2-amino benzoic acid as diazo component, $NaNO_2$, wet SiO_2 and nano silica chromic acid without solvent at room temperature. The obtained diazonium salt was sufficiently stable to be kept at room temperature in the dry state. Azo dyes were prepared by coupling of $(ArN_2^+ \text{ } ^-CrO_3-SiO_2)$ with 1 and 2-naphthoxide as coupling components, in good to excellent yields. The analytical methods such as FT-IR, $^{13}CNMR$ and 1HNMR were used for identification of two synthesized dyes. Synthesized monoazo mordant dyes were applied to dyeing wool in after chrome method. The chromaticity co-ordinations and wash fastness of samples were measured. The results showed that the hues of both dyed and mordanted samples are the same and their wash fastnesses are 3. *J. Color Sci. Tech.* 5(2011), 29-34 © Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Azo dye, Nanosilica chromic acid, 1-Naphthol, 2-Naphthol, Dyeing, Mordant dye.

دستگاه‌های طیف‌سنجی زیر قرمز (FT-IR) مدل Magna-550 شرکت Nicolet، طیف‌سنجی پروتون ($^1\text{H-NMR}$ -400MHZ) و طیف‌سنجی کربن ($^{13}\text{C-NMR}$ -100MHZ) هر دو از شرکت Bruker آلمان شناسایی شدند.

عمل رنگرزی و عمل دندان‌داده دادن به روش دندان‌داده دادن پس از رنگرزی به شرح زیر بر روی نخ پشمی دولا با نمره نخ ۵۱۶ تکس صورت گرفت. مقدار رنگینه مورد نظر (۱٪ بر اساس وزن کالا) به همراه اسید سولفوریک مورد نیاز (۲٪) در مقداری آب مقطر حل گردید و حجم حمام به ۲۰۰ میلی‌لیتر (نسبت حجم حمام به وزن کالا برابر با ۴۰ به ۱) رسانده شد. حرارت حمام توسط حمام آب جوش (بن ماری) به 45°C رسانده شد. کالای مورد نظر به وزن ۵ گرم مرطوب گردیده و وارد حمام گردید. دما به تدریج طی مدت زمان ۳۰-۲۵ دقیقه به جوش رسانده شد. رنگرزی در جوش به مدت ۶۰ دقیقه انجام گرفت. پس از پایان مدت زمان فوق دمای حمام به 60°C کاهش یافت و ۱٪ بر اساس وزن کالا دی‌کرومات پتاسیم به حمام اضافه گردید. دمای حمام دوباره به جوش رسانده شد و عمل دندان‌داده دادن به مدت ۳۰ دقیقه دیگر ادامه یافت. پس از پایان مدت زمان فوق نمونه از حمام خارج و آبکشی گردید.

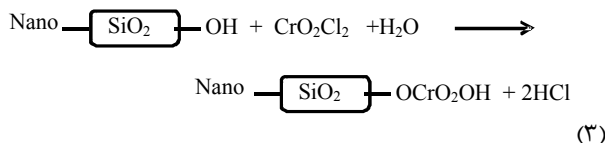
اندازه‌گیری ثبات شستشویی، ثبات در مقابل لکه‌گذاری بر روی پنبه و همچنین ثبات در مقابل لکه‌گذاری بر روی پشم برای تمامی نمونه‌های رنگرزی شده بدون دندان و با دندان کروم مطابق استاندارد ISO105-C03 انجام گردید [۱۲].

مشخصات رنگی نمونه‌های رنگرزی شده با و بدون دندان کروم همراه با نمونه خام کالای پشمی شامل a^* (میزان قرمزی-سبزی)، b^* (میزان آبی-زرد) و L^* (میزان روشنایی) توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر TexFlash از شرکت Datacolor تحت منبع نوری استاندارد D65 و مشاهده کننده استاندارد CIE ۱۹۶۴ اندازه‌گیری شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- سنتز نانوسیلیکا کرومیک اسید

نانو سیلیکا کرومیک اسید از واکنش بین نانوسیلیکا ژل با اندازه ذرات ۲۰ نانومتر و کرومیل کلراید (CrO_2Cl_2) در حضور آب همراه با خروج گاز هیدروکلرید اسید مطابق رابطه ۳ تشکیل گردید. شکل ۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو ذرات سیلیکا کرومیک اسید را با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ نشان می‌دهد. از روی تصویر فوق اندازه ذرات برابر با ۶۵ نانومتر به دست آمد.



FT-IR، $^{13}\text{C-NMR}$ و $^1\text{H-NMR}$ برای شناسایی دو رنگینه به دست آمده استفاده شده است. علاوه بر این، از آنجایی که رنگینه‌های سنتز شده ویژگی رنگینه‌های دندان‌داده را دارا هستند، لذا از این رنگینه‌ها برای رنگرزی الیاف پشمی به روش دندان‌داده دادن پس از رنگرزی^۱ با دی‌کرومات پتاسیم استفاده شده است. خواص ثباتی و مشخصه‌های رنگی نمونه‌های رنگرزی شده اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

تمامی مواد مورد استفاده در این تحقیق شامل نانوسیلیکا ژل، کرومیل کلراید، ۲- آمینو بنزوئیک اسید، سدیم نیتريت، استون، ۱- نفتل، ۲- نفتل، سدیم هیدروکسید، اسید سولفوریک و دی‌کرومات پتاسیم از شرکت مرک آلمان تهیه گردیده و بدون خالص‌سازی بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- روش کار

به منظور تهیه نانوسیلیکا کرومیک اسید ابتدا ۵ گرم نانوسیلیکا ژل با اندازه ذرات ۲۰ نانومتر با ۱۰ گرم کرومیل کلراید بتدریج طی مدت زمان ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در یک فلاسک مجهز به لوله خروج گاز مخلوط گردید. با انجام واکنش گاز کلریدریک اسید از ظرف واکنش به سرعت خارج شد. سپس به مخلوط ۳۰ دقیقه زمان داده شد. محصول رزین نانو سیلیکا کرومیک اسید به صورت ذرات جامد به رنگ قهوه‌ای تیره به دست آمد. برای اندازه‌گیری ذرات تشکیل شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده گردید.

برای تهیه و سنتز رنگینه‌های دندان‌داده‌ای آزو ابتدا ۱۰ میلی‌مول از ۲- آمینو بنزوئیک اسید با ۱۰ میلی‌مول سدیم نیتريت به ۵۰۰ میلی‌گرم نانوسیلیکا کرومیک اسید تهیه شده اضافه گردید. سپس به این مخلوط ۹۰۰ میلی‌گرم سیلیکا ژل مرطوب نیز اضافه شد و مخلوط خوب آسیاب شد. نمک دی‌آزونیوم در زمان بسیار کوتاه تشکیل شد. نمک فوق توسط حلال استون و صاف کردن از ذرات سیلیکا ژل جداسازی شد. سپس به محلول صاف شده ۱۰ میلی‌مول ۱- نفتل و یا ۲- نفتل حل شده در محلول ۱۰ درصد سدیم هیدروکسید، به آهستگی و همراه با همزدن در دمای اتاق اضافه گردید. رنگینه به دست آمده در استون حل و صاف گردید. پس از تبخیر حلال رنگینه جامد با بازده بالا به دست آمد (جدول ۱).

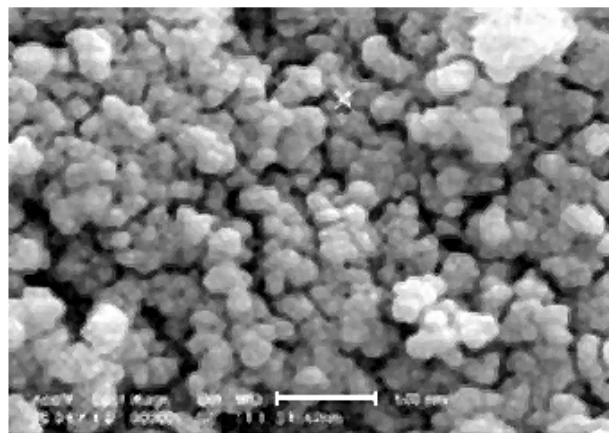
برای اندازه‌گیری طول موج بیشینه جذب رنگینه‌های سنتز شده از دستگاه اسپکتروفوتومتر جذبی در ناحیه مرئی-فرابنفش Carry 100 از شرکت Varian استفاده شد. رنگینه‌های سنتز شده به وسیله

1- After chrome

۲-۳- سنتز رنگینه‌ها

نمک دی‌آزونیوم با آسیاب نمودن مخلوط نانو سیلیکا کرومیک اسید، سیلیکا ژل مرطوب، نیتريت سدیم و ۲- آمینو بنزوئیک اسید تشکیل گردید. رنگینه‌های آزو از اضافه نمودن محلول قلیایی ۱- نفتل و یا ۲- نفتل به مخلوط فوق تهیه گردیدند. جدول ۱ نوع محصول بر حسب ترکیب جفت شونده، بازده واکنش و زمان لازم برای انجام واکنش را نشان می‌دهد. از روی جدول ملاحظه می‌گردد که در زمان بسیار کوتاه درصد محصول نسبتاً بالایی (بالای ۸۰٪) به دست می‌آید. درصد محصول بر مبنای ۲- آمینو بنزوئیک اسید محاسبه گردیده است.

رنگینه‌های سنتز شده به روش‌های دستگاهی از قبیل اسپکتروفوتومتری، FT-IR، $^{13}\text{C-NMR}$ و $^1\text{H-NMR}$ شناسایی شدند که نتایج آنها در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ذرات سیلیکا کرومیک اسید با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰.

جدول ۱: بازده و زمان انجام واکنش بر حسب نوع ترکیب جفت شونده.

بازده (%)	زمان (ثانیه)	محصول	جزء جفت شونده	آمین اولیه	کد رنگینه
۸۵	۱۰۰				D1
۸۰	۲۰۰				D2

جدول ۲: طول موج بیشینه جذب، FT-IR، $^{13}\text{C-NMR}$ و $^1\text{H-NMR}$ دو رنگینه سنتز شده.

رنگینه	λ_{max} (nm)	FT-IR (cm^{-1})	$^{13}\text{C-NMR}$ (ppm)	$^1\text{H-NMR}$ (ppm)
D1	۴۸۳	N=N str. ۱۵،۴۳،۱۹ C-N str. ۱۲۲۱،۴۹ O-H str. ۳۳۷۶،۶۱ C-O str. ۱۲۵۰،۵۶ Ar. str. ۱۶۰۱،۳۴، ۱۴۰۹،۵۹	۱۴۹،۲۰، ۱۶۶،۳۰، ۱۸۷،۸۸ ۱۳۴،۴۴، ۱۳۶،۰۸، ۱۴۷،۳۴ ۱۳۳،۹۲، ۱۳۳،۹۳، ۱۳۳،۹۹ ۱۳۲،۴۹، ۱۳۳،۲۹، ۱۳۳،۷۲ ۱۱۶،۵۷، ۱۲۹،۲۲، ۱۳۲،۴۶ ۱۱۴،۰۵، ۱۱۴،۷۶	۸،۲۵(d, ۱H)، ۸،۷۶(d, ۱H)، ۱۰،۳۴(s, ۲H) ۷،۷۶(d, ۱H)، ۷،۸۳(d, ۱H)، ۸،۰۹(t, ۱H) ۷،۳۴(t, ۱H)، ۷،۴۵(t, ۱H)، ۷،۵۵(d, ۱H) ۶،۰۱ (d, ۱H)، ۷،۲۶(d, ۱H)
D2	۴۹۳	N=N str. ۱۵۰۶،۱۸ C-N str. ۱۲۴،۵۷ O-H str. ۳۲۰۷،۰۵ C-O str. ۱۴۰۸،۸۰ Ar. str. ۱۵۹۸،۹۵، ۱۴۶۶،۰۵	۱۴۹،۵۴، ۱۶۶،۳۰، ۱۹۰،۵۰ ۱۳۳،۴۹، ۱۳۵،۰۳، ۱۳۸،۶۹ ۱۳۲،۲۰، ۱۳۳،۴۹، ۱۳۲،۶۶ ۱۲۷،۲۵، ۱۲۹،۶۳، ۱۳۰،۳۲ ۱۱۶،۵۷، ۱۲۶،۰۵، ۱۲۶،۸۹ ۱۱۳،۷۹، ۱۱۴،۶۹	۸،۱۸(d, ۱H)، ۸،۴۸(d, ۱H)، ۹،۶۷(s, ۲H) ۷،۶۲(t, ۱H)، ۷،۷۸(d, ۱H)، ۷،۹۸(d, ۱H) ۷،۳۴(t, ۱H)، ۷،۵۷(t, ۱H)، ۷،۶۰(t, ۱H) ۶،۵۸ (d, ۱H)، ۶،۶۰(d, ۱H)

۳-۳- فرآیند رنگریزی

جدول ۳: خواص ثباتی نمونه‌های رنگریزی شده.

رنگینه	نمونه رنگریزی شده	ثبات	
		ثبات در مقابل لکه‌گذاری روی پشم	ثبات شستشویی
D1	بدون دندان	۲-۳	۱-۲
	همراه با دندان	۳-۴	۵
D2	بدون دندان	۲	۱-۲
	همراه با دندان	۳-۴	۵

دو رنگینه سنتر شده و همچنین طول موج بیشینه جذب آنها (جدول ۲) مشخص می‌کند که فام رنگی هر دو رنگینه در محدوده قرمز-زرد قرار دارد. همچنین با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که در صورت دندان‌دادن نمونه‌های رنگریزی شده با دی‌کرومات پتاسیم به روش دندان‌دادن پس از رنگریزی مقادیر عددی قرمزی (a^*)، زردی (b^*) و روشنایی (L^*) به ترتیب از ۳۶٫۲، ۴۹٫۳، ۴۸٫۲ به ۲۶٫۵، ۲۴٫۷، ۳۱٫۵ برای رنگینه D1 و از ۴۷٫۴، ۳۴٫۰، ۳۴٫۸ به ۲۶٫۴، ۲۵٫۰، ۳۳٫۵ برای رنگینه D2 کاهش یافته است. کاهش مقادیر قرمزی و زردی برای هر دو رنگینه نشانگر کاهش میزان خلوص در دو رنگینه است که مقادیر محاسبه شده برای خلوص در جدول ۴ این کاهش را تأیید می‌کند. کاهش روشنایی به میزان ۳۴٫۵ و ۳٫۷٪ برای رنگینه‌های D1 و D2 به ترتیب نشانگر تیره شدن رنگ کالا است که این تیرگی را می‌توان به عمل دندان‌دادن و تشکیل کمپلکس بین مولکول رنگینه و اتم کروم سه ظرفیتی نسبت داد [۱۱].

از جمله خواص ثباتی که اندازه‌گیری آن روی نخ پشمی مورد استفاده در فرش دستباف مهم و مطرح است می‌توان به ثبات شستشویی، ثبات در مقابل لکه‌گذاری روی کالای پشمی و ثبات در مقابل لکه‌گذاری روی کالای پنبه‌ای اشاره نمود. خواص ثباتی مذکور مطابق استاندارد ISO105-C03 برای کالای پشمی رنگریزی شده با دو رنگینه سنتر شده در دو حالت قبل و بعد از دندان‌دادن با دی‌کرومات پتاسیم اندازه‌گیری شد و نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. از روی جدول فوق مشاهده می‌شود که خواص ثباتی اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های رنگریزی شده بدون حضور دندان‌دی‌کرومات بسیار ضعیف است. پائین بودن خواص ثباتی در این حالت می‌تواند به کوچک بودن ساختار مولکول رنگینه‌ها و عدم تشکیل پیوندهای ثانویه بین مولکول رنگینه و لیف نسبت داده شود [۱۰]. همچنین از نتایج نشان داده شده در جدول ۳ مشخص است که عمل دندان‌دادن با دی‌کرومات پتاسیم به روش دندان‌دادن پس از رنگریزی روی نمونه‌های رنگریزی شده باعث افزایش خواص ثباتی هر دو نمونه شده است. میزان این افزایش برای هر دو نمونه بطور متوسط بین یک الی دو درجه است. این افزایش ثبات را هر چند هنوز کاملاً مطلوب و رضایت‌بخش نمی‌باشد، می‌توان به حضور دو گروه هیدروکسی و کربوکسیل و یک گروه کربوکسیل در موقعیت ارتو نسبت به گروه آزو در رنگینه‌های D1 و D2 به ترتیب نسبت داد که به تشکیل حلقه‌های ۵ و ۶ ضلعی و یک حلقه ۶ ضلعی به ترتیب برای دو رنگینه D1 و D2 با کروم سه ظرفیتی در هنگام دندان‌دادن منجر می‌شود [۱۳].

نتایج اندازه‌گیری مشخصات رنگی $L^*a^*b^*$ CIE نمونه‌های رنگریزی شده با دو رنگینه مونا آزو در جدول ۴ نشان داده شده است. علاوه بر این مقادیر زاویه فام (h°) و خلوص (C^*) نیز مورد محاسبه قرار گرفته است. مقادیر مؤلفه‌های رنگی (a^* ، b^*) به دست آمده برای

جدول ۴: مشخصات رنگی نمونه‌های رنگریزی شده.

رنگینه	نمونه رنگریزی شده	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
D1	بدون دندان	۴۸٫۲	۳۶٫۲	۴۹٫۳	۶۱٫۲	۵۳٫۷
	همراه با دندان	۳۱٫۵	۲۴٫۷	۲۶٫۵	۳۶٫۲	۴۷٫۰
D2	بدون دندان	۳۴٫۸	۴۷٫۴	۳۴٫۰	۵۸٫۳	۳۵٫۷
	همراه با دندان	۳۳٫۵	۲۶٫۴	۲۵٫۰	۳۶٫۴	۴۳٫۵

رنگینه‌های سنتز شده برای رنگرزی کالای پشمی به روش دندان‌دانه دادن پس از رنگرزی با دی‌کرومات پتاسیم مورد استفاده قرار گرفت و نتایج نشان داد که رنگینه‌های فوق با سرعت نسبتاً خوبی در محیط اسیدی حاصل از اسید سولفوریک قادر به جذب توسط کالای پشمی هستند. اندازه‌گیری مشخصات رنگی نمونه‌های رنگرزی شده و دندان‌دانه داده شده با محلول دی‌کرومات پتاسیم نشان داد که شیدهای حاصله در ناحیه قرمز-زرد قرار دارد و ثبات شستشویی متوسط و یکسان حاصل شده است.

۴- نتیجه‌گیری

رنگینه‌های آزو بر پایه ۱- نفتل و ۲- نفتل با استفاده از نانوسیلیکا کرومیک اسید در دمای اتاق و بدون استفاده از حلال به راحتی سنتز شدند. در این تحقیق مشاهده شد، استفاده از نانوسیلیکا کرومیک اسید به عنوان یک اسید جامد نسبت به نوع مایع آن دارای مزایای فراوانی از جمله امکان بازیابی اسید، فرآیند جداسازی آسان‌تر، تشکیل نمک دی‌آزونیوم پایدار و امکان سنتز رنگینه‌های آزو در دمای محیط را به همراه دارد. درصد محصول بدست آمده نسبتاً عالی بود و زمان انجام واکنش نیز بسیار کوتاه است.

۵- مراجع

1. R. M. Christi, R. R. Mather, R. H. Wardman, The chemistry of colour applications. Blackwell Science, 2000.
2. K. Hunger, Industrial dyes, chemistry, properties, applications. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2003.
3. H. Zolinger, Diazo and Azo chemistry. Interscience Publishers Inc., New York. 1961.
4. A. Lycka, A. Kolonicny, P. Simunek, V. Machacek, Synthesis of some phenylazonaphthols in an ionic liquid. *Dyes Pigm.* 72(2007), 208-211.
5. M. Sadeghi-Kiakhani, K. Gharanjig, M. Arami, N. M. Mahmoodi, J. Mokhtari, The dyeing of wool with monoazo disperse dyes based on naphthalimide containing butyric acid. *J. Color Sci. Tech.* 3(2009), 9-15.
6. M. A. Zolfigol, Silica sulfuric acid/ NaNO_2 as a novel heterogeneous system for production of thionitrites and disulfides under mild conditions. *Tetrahedron Lett.* 57(2001), 9509-9511.
7. M. A. Zolfigol, F. Shirini, A. Ghorbani Choghamarani, I. Mohammadpoor-Baltork, Silica sulfuric acid/ NaNO_2 as a novel heterogeneous system for the oxidation 1,4-dihydropyridines under mild conditions. *Green Chem.* 4(2002), 562-564.
8. A. R. Hajipour, B. B. F. Mirjalili, A. Zarei, I. Khazdooz, A. E. Rouho, A novel method for sulfonation of aromatic rings with silica sulfuric acid. *Tetrahedron Lett.* 45(2004), 6607-6609.
9. A. Zaeri, A. R. Hajipour, L. Khazdooz, B. F. Mirjalili, A. R. Chermahini, Rapid and efficient diazotization and diazo coupling reactions on silica sulfuric acid under solvent-free conditions. *Dyes Pigm.* 81(2009), 240-244.
10. E. R. Trotman, Dyeing and chemical technology of textile fibres. 6th ed. Charles Griffin, London. 1984.
11. J. Shore, Colorants and auxiliaries-Organic chemistry and application properties. 2th Ed., Society of dyers and colorists. UK. 2002.
12. Standard methods for the determination of the colour fastness of textiles and leather, Society of dyers and colourists, 5th Edn (BS 1006 and ISO 105), Bradford, 1990. (Translated by M. Dehghani)
13. H. Zollinger, Colour chemistry. Wiley & VCH Pub., New York. 2003.