

کاهش میزان مصرف رنگزا در نسخه رنگری منسوجات به روش جایگزینی رنگزاها

محمد امانی تهران^{۱*}، فاطمه ضیغمی^۲

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۲- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۲۸

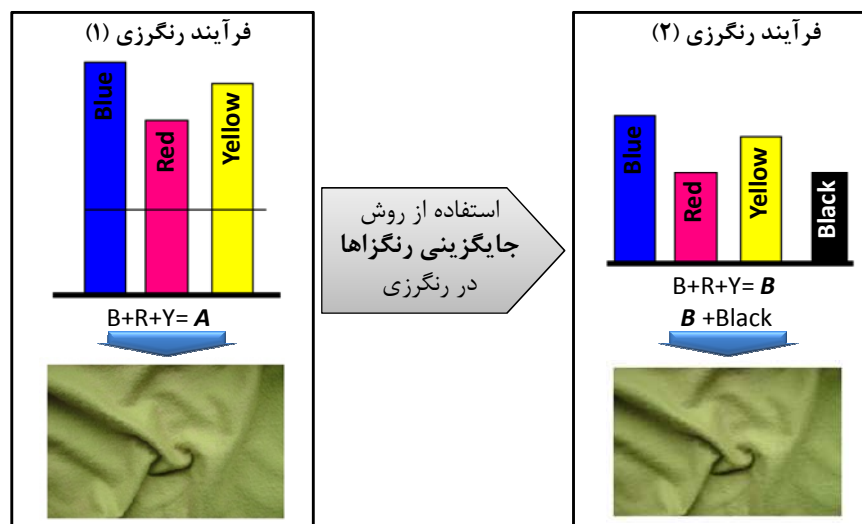
چکیده

مواد رنگزای مشکی نسبت به مواد رنگزای دیگر در اغلب موارد، ارزان تر می‌باشند و در صورتی که بتوان به نحوی مصرف رنگزاهای رنگی را با استفاده از رنگزای مشکی کاهش داد می‌توان باعث کاهش هزینه‌های تولید منسوجات شد. در بحث اختلاط رنگ داریم که ترکیب مقادیر برابر رنگ‌های زرد و قرمز و آبی تولید یک رنگ خاکستری می‌کند. بنابراین در صورتی که مقادیری از سه رنگزای زرد و قرمز و آبی را بیابیم که در یک رنگری با این مخلوط به یک خاکستری قابل تولید با یک رنگزای خاکستری (مشکی) برسیم می‌توان رنگزای خاکستری را جایگزین مقادیر بدست آمده سه رنگزای زرد و قرمز و آبی کرد. در این پژوهش امکان و چگونگی جایگزینی به نحوی که رنگ نمونه اولیه تا حد امکان ثابت بماند بررسی گردید. به این منظور در پارچه اکریلیکی به دو روش "استفاده از جدول بازیابی LUT" و "استفاده از k/s" عمل جایگزینی جزء خاکستری انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد که هر دو روش منجر به کاهش مصرف رنگزاهای رنگی می‌گردند که مقدار کاهش در روش استفاده از LUT بیشتر است. در صورت داشتن یک دسته رنگزا با پیروی مطلوب از تئوری کیوبلکا مانک روش استفاده از k/s منجر به اختلاف رنگ کمتری می‌گردد، در غیر این صورت روش استفاده از LUT منجر به نتایج مناسب‌تری خواهد شد.

واژه‌های کلیدی

میزان مصرف رنگزا، جایگزینی رنگزا، نسخه رنگری، رنگری اکریلیک، جایگزینی جزء خاکستری.

کاهش میزان مصرف رنگزا در نسخه رنگری منسوجات به روش جایگزینی رنگزاها



هزینه فرآیند (۲) > هزینه فرآیند (۱) $\Rightarrow A > B$

۱- مقدمه

جای مقادیری از سه رنگزای زرد و قرمز و آبی می‌توان باعث کاهش هزینه‌های تولید شده و علاوه بر آن به مسائلی همچون کاهش مسائل زیست محیطی ناشی از پساب نیز دست یافت. در این تحقیق به امکان و چگونگی اجرای این روش در رنگزای منسوجات پرداخته شده، روش‌های پیشنهادی بر روی پارچه اکریلیکی اجرا شد و نتایج بررسی گردید.

۲- بخش تجربی

در انجام آزمایش‌ها از پارچه ۱۰۰٪ اکریلیکی حلقوی پودی یک رو، بافته شده از نخ ۴۸ دولای متریک استفاده شد. برای رنگزای از رنگزاهای بازیگ Maxilon Golden Yellow GL 400، Maxilon Red GRL 200 %، Maxilon Blue GRL 300 %، Maxilon Black FBL 300 % شرکت Maxilon Specialty Chemicals استفاده گردید.

۲-۱- محاسبه k/s واحد رنگزاهای

جهت محاسبه k/s واحد رنگزاهای تعدادی رنگزای پله‌ای مورد نیاز است. به این منظور مطابق پیشنهاد شرکت دیتا کالر^۶ ضرایب: ۱، ۰/۷، ۰/۵، ۰/۶/۲، ۰/۰/۲ در بالاترین غلظت پیشنهادی در کاتالوگ هر رنگزای ضرب شده و با ۶ غلظت بدست آمده برای هر رنگزای، رنگزای انجام شد. منحنی انعکاسی ۲۴ نمونه رنگزای شده با چهار رنگ در محدوده ۴۰۰-۷۶۰ nm با فواصل ۱۰ nm اندازه‌گیری شد. با استفاده از منحنی انعکاسی هر نمونه ابتدا k/s هر نمونه و سپس k/s واحد هر رنگزای محاسبه شد.

۲-۲- رنگ همانندی نمونه‌های خاکستری

به منظور جایگزین کردن مقادیری از رنگزاهای زرد و قرمز و آبی با رنگزای خاکستری می‌بایست مقادیری از این سه رنگزای که در رنگزای در ترکیب با یکدیگر تولید یک خاکستری می‌نمایند معین گردد. به منظور تعیین این مقادیر معادل، ۶ نمونه‌ی رنگزای شده با رنگزای خاکستری، توسط سه رنگزای زرد و قرمز و آبی به روش اسپکتروفوتومتری^۷ [۵] رنگ همانند شدند. مقادیر حاصل از این روش به عنوان مقادیر معادل خاکستری برای مرحله بعد انتخاب شدند.

۲-۳- جایگزینی جزء خاکستری

با استفاده از اعداد بدست آمده در رنگ همانندی به روش اسپکتروفوتومتری یک جدول بازبینی^۸ LUT برای انجام جایگزینی جزء خاکستری (GCR) تشکیل شد که نمای کلی این جدول در جدول ۱ آمده است. با استفاده از این جدول به سادگی می‌توان مقادیر مربوط به هم رنگزاهای مختلف را تعیین نمود.

طبیعت سه‌گانه مشاهده رنگ باعث می‌شود که کلیه رنگ‌ها در یک مختصات سه بعدی قابل توصیف باشند. در چاپ نیز با حداقل سه رنگزای می‌توان هر رنگی را تولید کرد که به طور معمول به لحاظ ذات اختلاط کاهشی سامانه رنگزای از سه رنگزای زرد^۱، ارغوانی^۲ و فیروزه‌ای^۳ استفاده می‌شود. اما امروزه اغلب چاپگرها چهار رنگی بوده و از رنگزای مشکی نیز استفاده می‌کنند. استفاده از یک رنگزای مشکی دارای مزایایی همچون افزایش محدوده رنگی^۴، کاهش هزینه‌های چاپ با کاهش مصرف رنگزاهای گران قیمت و بهبود نمایش جزئیات تصویر می‌باشد [۱]. در صورت استفاده از چهار رنگزای در هنگام حرکت از فضا رنگ‌های سه‌گانه (همچون CMY، RGB،...) به فضا رنگ چهارگانه CMYK یک درجه آزادی بوجود می‌آید که رابطه یک به یک بودن دو فضا را از بین می‌برد و به ازای یک نقطه در فضای سه‌گانه بیش از یک نقطه در فضای چهارگانه خواهیم داشت. این درجه آزادی غالباً برای تنظیم مقدار مشکی استفاده شده و مجدداً یک به یک بودن دو فضا برقرار می‌شود [۲]. یکی از بهترین روش‌ها برای رفتن از فضای سه‌رنگی CMY به فضای چهاررنگی CMYK استفاده از روش جایگزینی جزء خاکستری^۵ (GCR) است. در هنگام استفاده از این روش یک درجه آزادی بوجود آمده به علت حضور مشکی، به مقدار GCR تخصیص داده می‌شود و در نتیجه به ازای هر نقطه در مختصات سه‌گانه CMY تنها یک نقطه در فضای چهارگانه CMYK خواهیم داشت [۳]. این روش بر پایه این نظریه ساده است که ترکیب مقادیر مساوی از زرد، قرمز و آبی تولید یک خاکستری می‌کند. در صورت درست بودن این نظریه می‌توان مقادیر مساوی از سه رنگ را حذف نموده و به جای آن مشکی (خاکستری) اضافه کرد. اگر چه این نظریه ساده به طور کامل درست نیست اما با اعمال تصحیح‌هایی می‌توان از این روش برای تعیین میزان مشکی استفاده نمود [۴]. روش‌های محاسبه مقدار مشکی را با توجه به مجموعه رنگ‌های حاصل می‌توان به روش‌های با محدوده رنگی سه‌رنگی، حداکثر مقدار مشکی و چهاررنگی طبقه‌بندی کرد. در روش‌های سه‌رنگی، رنگ‌های حاصل، محصور در محدوده رنگی سه رنگزای CMY هستند. در این روش‌ها تنها جزء خاکستری مجموعه سه رنگ تا حدودی با مشکی جایگزین شده و از مشکی به عنوان یک رنگزای مستقل دخیل در محدوده رنگی استفاده نمی‌شود. روش‌های حداکثر مقدار مشکی یکی از سه رنگزای CMY را برابر صفر قرار داده و رنگ را تنها با مجموعه مشکی و دو رنگزای دیگر تولید می‌کنند. روش‌های چهاررنگی اجازه چاپ رنگ‌هایی با استفاده هم زمان از چهار رنگزای را ایجاد نموده و محدوده رنگی وسیع‌تری نسبت به چاپ سه‌رنگی ارائه می‌دهند [۱]. قیمت رنگزاهای مشکی منسوجات نیز، در اغلب انواع رنگزاهای، پایین‌تر از قیمت رنگزاهای رنگی است. بنابراین در رنگزای منسوجات با جایگزین کردن رنگزای مشکی به

¹ Yellow

² Magenta

³ Cyan

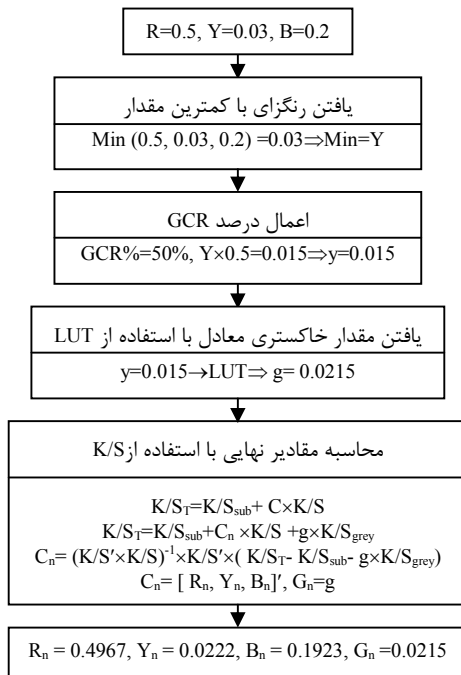
⁴ Gamut

⁵ Grey Component Replacement

⁶ Data Color

⁷ Spectrophotometric color matching

⁸ Look Up Table



شکل ۳- جدول عملیاتی روش "استفاده از k/s" در جایگزینی جزء خاکستری.

در صورتی که مقدار جایگزینی را با درصد بیان کنیم ۰-۱۰۰ درصد جایگزینی یا GCR می‌توان داشت که $GCR\%=0\%$ به معنای عدم جایگزینی و $GCR\%=100\%$ به معنای جایگزینی رنگزای خاکستری به نحوی است که مقدار یکی از سه رنگزای رنگی صفر شود. برای شروع با مقدار میانی $GCR\%=50\%$ و در یک فام قهوه‌ای دلخواه عمل جایگزینی به هردو روش پیشنهادی انجام شد. با توجه به نتایج حاصله در مرحله بعد به منظور یافتن محدوده $GCR\%$ قابل انجام و بررسی تاثیر $GCR\%$ بر فام حاصله با درصدهای ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ با روش اول جایگزینی در همان فام قهوه‌ای دلخواه انجام شد. پس از هر رنگریزی منحنی انعکاسی نمونه حاصل اندازه‌گیری شده و اختلاف رنگ با نمونه مرجع (نمونه بدون جایگزینی) بدست آمد.

۳- بحث و بررسی نتایج

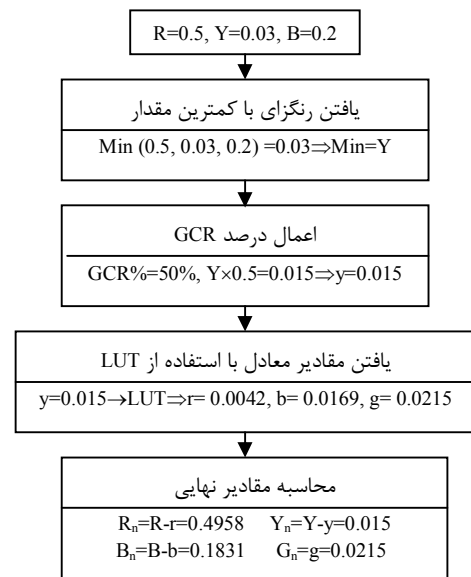
رنگ همانندی نمونه‌های خاکستری

منحنی انعکاسی نمونه‌های رنگریزی شده با هر رنگزا در شکل ۴ نشان داده شده است. درصدهای بدست آمده برای هر شش نمونه و اختلاف رنگ پیش‌بینی شده بین نمونه هدف و نمونه رنگ همانند در جدول ۱ آمده است. استفاده از روش‌های بهبود نسخه، به عنوان مثال استفاده از ماتریس ژاکوبین، بهبودی در مقادیر اختلاف رنگ حاصل نمود. با مقادیر بدست آمده رنگریزی انجام شد و منحنی انعکاسی نمونه‌های حاصل اندازه‌گیری شد. مقادیر انعکاس و اختلاف رنگ محاسبه شده با آن در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. در جدول‌های ۱ و ۲ مشخص است که میزان اختلاف رنگ واقعی میان نمونه‌ها، به‌خصوص در نمونه‌های ۲ و ۱، بسیار بیشتر از میزان پیش‌بینی شده توسط تئوری است.

جدول ۱- نمای کلی جدول LUT.

آبی	زرد	قرمز	خاکستری
B_1	Y_1	R_1	G_1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

به عنوان مثال در صورتی که بدانیم مقدار رنگزای زرد Y_1 است با استفاده از جدول مقدار خاکستری مربوط به آن برابر G_1 بدست می‌آید. در واقع استفاده از جدول‌های بازبینی عمل جستجو و یافتن مقادیر مرتبط به هم را ساده می‌نماید. جدول‌های ترمودینامیک مثالی آشنا از چگونگی عملکرد و کاربرد جدول‌های بازبینی هستند. انجام عمل جایگزینی رنگزای مشکلی و تعیین مقدار کاهش رنگزاهای زرد و قرمز و آبی و افزایش رنگزای خاکستری لازم برای این عمل به دو روش ممکن است. این دو روش پیشنهادی عبارتند از: "استفاده از جدول بازبینی LUT" و "استفاده از k/s". در روش اول مقادیر معادل رنگزاها با استفاده از جدول بازبینی بدست آمد و مقدار کاهش رنگزاها با یک تفریق ساده اعمال شد. در روش دوم با از استفاده از جدول بازبینی مقدار کاهش رنگزاها و یک مرحله رنگ همانندی محاسبه گردید. جدول عملیاتی روش اول در شکل ۲ و روش دوم در شکل ۳ نشان داده شده است. در این جدول‌ها R, Y, B نشان دهنده مقادیر اولیه رنگزاها در نسخه R_n, Y_n, B_n, G_n نشان دهنده مقادیر رنگزاها در پایان جایگزینی است.



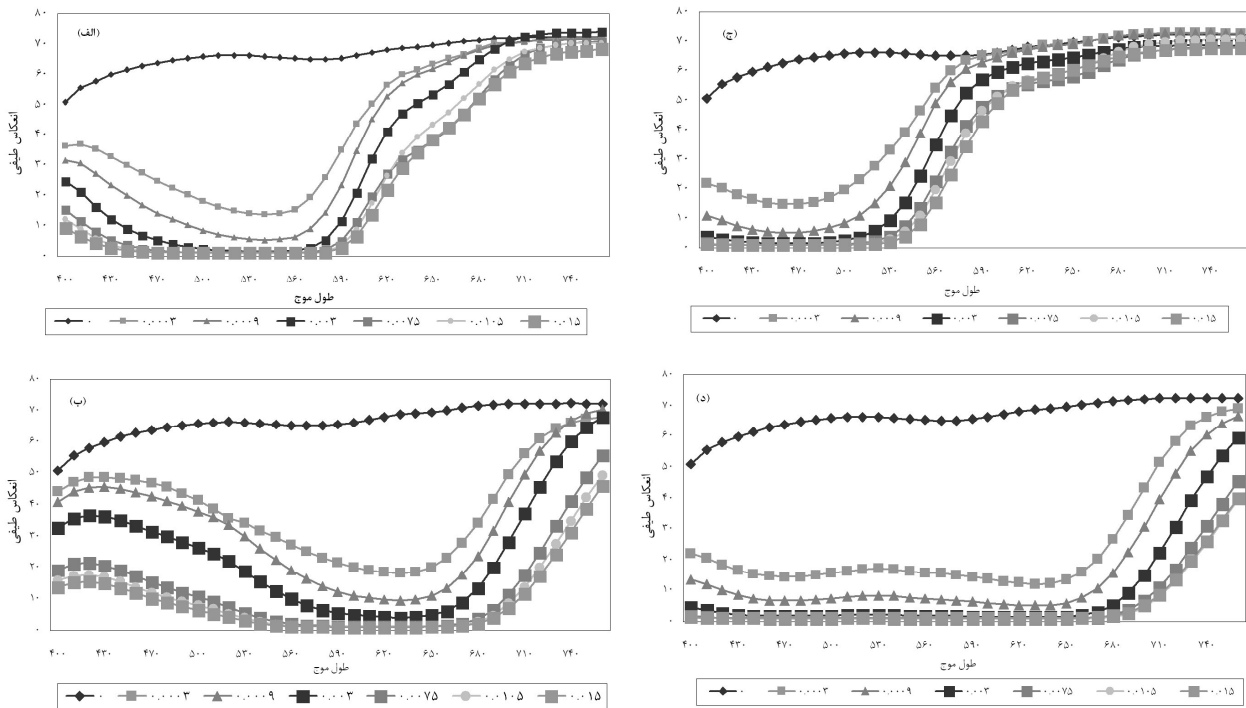
شکل ۲- جدول عملیاتی روش "استفاده از جدول بازبینی" در جایگزینی جزء خاکستری.

جدول ۱- درصدهای بدست آمده جهت رنگ همانندی نمونه‌های خاکستری به روش اسپکتروفوتومتریک.

۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۰/۰۱۱۶	۰/۰۲۹۷	۰/۱۸۰۵	۰/۳۹۱۸	۰/۳۷۲۵	۰/۳۱۶۷	%قرمز
۰/۰۴۱۹	۰/۱۰۴۲	۰/۴۱۴۶	۰/۸۰۲۲	۰/۹۲۶	۰/۷۹۶۱	%زرد
۰/۰۴۷۲	۰/۱۲۹۲	۰/۵۲۶۶	۰/۸۶۲۸	۰/۹۱۸۷	۰/۷۳۵۹	%آبی
۱/۴۰۰۱	۱/۶۱۷۸	۱/۱۷۶۱	۰/۲۶۷۵	۰/۵۴۷۱	۰/۶۷۷۶	ΔE

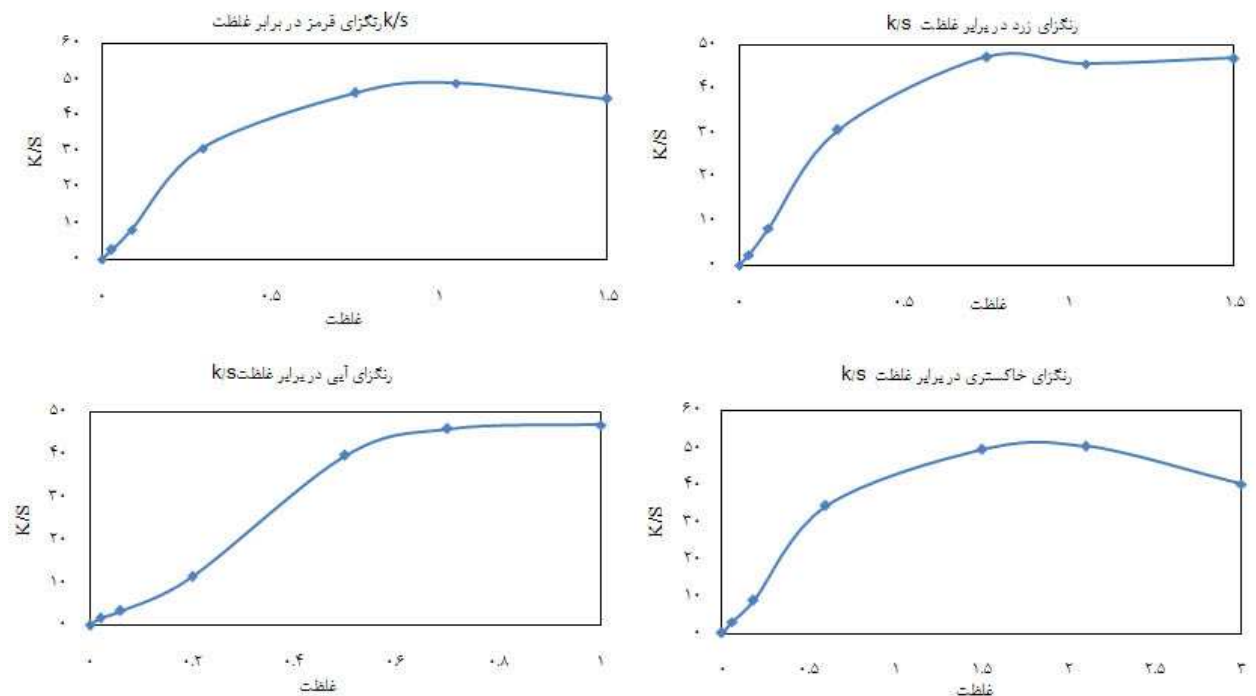
جدول ۲- مقادیر انعکاس، اختلاف رنگ و پارامترهای رنگی نمونه‌های حاصل از رنگ همانندی ۶ نمونه خاکستری.

	خاکستری			رنگ همانند شده			ΔE	
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*		
	۴۶/۰۴۸	-۳/۸۳۴	-۰/۴۶۱	۴۱/۴۵۸	-۸/۴۱۲	۶/۹۶۲	۹/۸۴۰۶	۱
	۳۲/۱۵۲	-۳/۸۱۱	-۱/۵۷۸	۲۷/۹۷	-۵/۲۶	۵/۳۱۶	۸/۱۸۳۸	۲
	۱۴/۷۸۰	-۱/۰۱۴	-۱/۵۳۷	۱۰/۸۰۳	۱/۲۰۳	۰/۳۹۶	۵/۰۱۰۲	۳
	۹/۳۶۰	۰/۷۵۵	-۰/۷۳۱	۱۰/۵۵۷	۲	۱/۰۳۶	۲/۵۷۸۲	۴
	۸/۸۹۶	۰/۶۷۴	۰/۳۶۶۱	۱۰/۷۳۸	۱/۷۹۱	۱/۱۶۶	۲/۷۲۵	۵
	۱۰/۵۳۰	۰/۹۹۹	-۰/۱۱۱	۸/۹۰۱	۲/۰۴۳	۰/۹۴۸	۲/۱۶۱	۶



شکل ۴- منحنی انعکاسی نمونه‌های رنگریزی شده با رنگ‌های بازیک.

(الف) انعکاس رنگریزی قرمز، (ب) انعکاس رنگریزی آبی، (ج) انعکاس رنگریزی زرد، (د) انعکاس رنگریزی خاکستری.



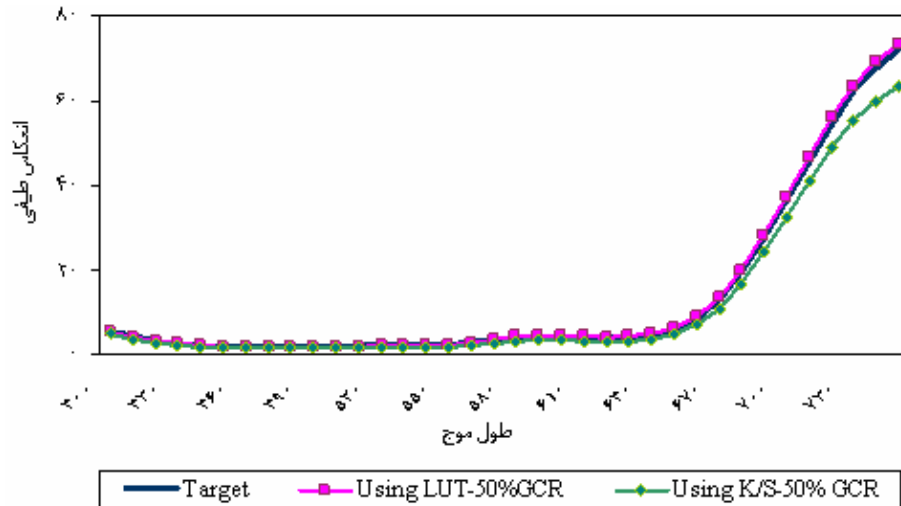
شکل ۵- نمودارهای تغییرات k/s بر حسب غلظت در رنگزاهای بازیک.

ناشی از جایگزینی جزء خاکستری تفکیک شود تا بتوان میزان مطلوبیت جایگزینی را اندازه‌گیری کرد. از آنجا که در این مقاله هدف اصلی بررسی امکان استفاده از این روش در منسوجات در شرایط واقعی می‌باشد از همین دسته رنگزها با نتایج موجود استفاده شده و یافتن شرایط ایده‌آل که مستلزم یافتن یک روش رنگ همانندی کامل است به کارهای بعدی موقوف شد.

جایگزینی جزء خاکستری

نمودار انعکاسی نمونه‌های حاصل از جایگزینی جزء خاکستری در $GCR\%=50\%$ در شکل ۶ و ضریب‌های رنگی Lab همراه با اختلاف رنگ دو نمونه در جدول ۳ آمده است. همانگونه که مشاهده می‌شود روش "استفاده از جدول بازبینی" نتیجه‌ی بهتری حاصل کرده است.

منظور یافتن علت این تفاوت و همچنین اختلاف رنگ بالای حاصل از رنگ همانندی نمودار تغییرات k/s هر رنگزا در برابر غلظت در طول موج بیشترین جذب رسم شد که در شکل ۵ دیده می‌شود. مطابق تئوری کیوبلکا مانک تغییرات k/s با غلظت می‌بایست خطی باشد اما همان گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود در رنگزاهای به کار رفته این تغییرات خطی نیست که همین امر باعث ایجاد خطا در روش‌های رنگ همانندی که بر پایه تئوری کیوبلکا مانک عمل می‌کنند خواهد شد. در جدول ۲ دیده می‌شود که رنگ همانندی کامل نبوده و متوسط اختلاف رنگ موجود بین نمونه‌های هدفی و نمونه‌های رنگ همانند $5/0.831$ می‌باشد. وجود چنین اختلافات رنگی می‌تواند تأثیر منفی بر صحت عمل جایگزینی جزء خاکستری داشته باشد. چرا که با جایگزین کردن خاکستری به جای چنین مقادیری از سه رنگزای زرد، قرمز و آبی اختلاف رنگی برابر با مقادیر ذکر شده در جدول وجود خواهد داشت که می‌بایست از اختلاف رنگ احتمالی



شکل ۶- نمودار R نمونه‌های حاصل از جایگزینی جزء خاکستری به دو روش همراه با نمونه‌ی هدفی.

برای بررسی چگونگی اثر درصد GCR با در صد های ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ نیز عمل جایگزینی با روش استفاده از جدول بازبینی، که نتیجه بهتری حاصل نموده بود، انجام شد. مقادیر مؤلفه‌های رنگی Lab و میزان اختلاف رنگ این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌ی هدف در جدول ۴ و نمودار R در شکل ۷ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش درصد GCR مقدار اختلاف رنگ نمونه‌ها با نمونه هدف افزایش یافته است اما در کل اختلاف رنگ این نمونه‌ها نسبت به نمونه هدف نزدیک به هم است و افزایش درصد GCR باعث ایجاد اختلاف رنگ فاحشی در نمونه‌ها نشده است. بنابراین می‌توان از جایگزینی جزء خاکستری با درصد‌های بالا بدون اختلافات رنگ فاحش استفاده نموده و کاهش بیشتری در مقادیر رنگ‌های زرد و قرمز و آبی حاصل نمود. نسخه‌های رنگ‌گری مربوطه در جدول ۵ آمده است.

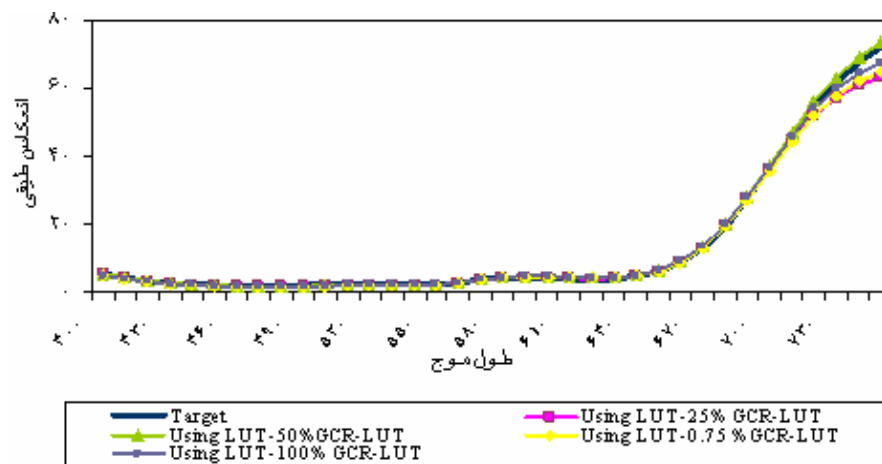
این امر را می‌توان با توجه به تشدید خطای تئوری کیوبلکا مانک در روش "استفاده از k/s" توجیه کرد. در روش استفاده از k/s یک رنگ همانندی ثانویه برای تعیین مقادیر رنگ‌ها انجام می‌گیرد بنابراین خطای عدم پیروی رنگ‌ها از تئوری کیوبلکا مانک که در رنگ همانندی اولیه نمونه‌های خاکستری مشاهده شد برای بار دوم وارد روند جایگزینی می‌شود. در صورتی که در روش استفاده از جدول بازبینی خطای تئوری تنها در مرحله رنگ همانندی نمونه‌های خاکستری وارد روند جایگزینی می‌گردد.

جدول ۳- نتایج GCR به دو روش با ۵۰%GCR

l	a	b	ΔE	
۲۰/۲	۱۰/۶۷	۶/۲۲۹		نمونه هدف
۲۰/۳۴۷	۱۱/۹۸	۷/۱۸	۱/۶۲۹	استفاده از GC-LUT ۵۰%
۱۷/۴۶	۱۱/۱۴	۴/۰۸۷	۳/۵۱۲	استفاده از GCR-k/s ۵۰%

جدول ۴- نتایج GCR به روش استفاده از جدول بازبینی با درصد‌های مختلف GCR.

l	a	b	ΔE	
۲۰/۲	۱۰/۶۷	۶/۲۲۹		نمونه هدف
۱۹/۹۴۳	۱۱/۸۵۴	۶/۱۱۹	۱/۲۲۱	استفاده از GCR-LUT ۲۵%
۲۰/۳۴۷	۱۱/۹۸	۷/۱۸	۱/۶۲۹	استفاده از GCR-LUT ۵۰%
۱۹/۹۸۷	۱۲/۰۷	۶/۹۶۶	۱/۶	استفاده از GCR-LUT ۷۵%
۲۰/۲۹۵	۱۲/۷۱۹	۷/۵۵۲	۲/۴۴۴	استفاده از GCR-LUT ۱۰۰%



شکل ۷- نمودار R نمونه‌های حاصل از جایگزینی جزء خاکستری همراه با نمونه‌های هدفی.

جدول ۵- درصد‌های حاصل از جایگزینی جزء خاکستری.

فرمز%	زرد%	آبی%	خاکستری%	
۰/۲	۰/۴	۰/۱۵	۰	نمونه هدف
۰/۱۹۰۶	۰/۳۶۹۹	۰/۱۱۲۵	۰/۰۵۰۵	استفاده از ۲۵%GCR-LUT
۰/۱۸۱۱	۰/۳۳۹۸	۰/۰۷۵	۰/۱۰۱	استفاده از ۵۰%GCR-LUT
۰/۱۷۱۷	۰/۳۰۹۸	۰/۰۳۷۵	۰/۱۵۱۵	استفاده از ۷۵%GCR-LUT
۰/۱۶۲۳	۰/۲۷۹۷	۰	۰/۲۰۲	استفاده از ۱۰۰%GCR-LUT
۰/۱۸۴۷	۰/۳۶۳۵	۰/۱۱۳۷	۰/۱۰۱	استفاده از ۵۰%GCR-k/s

آبی حذف شده و به جای آنها مقداری رنگزای خاکستری اضافه می‌شود. در یک جایگزینی مطلوب، رنگ حاصل از ترکیب سه رنگزای زرد و قرمز و آبی حذف شده کاملاً مشابه رنگ حاصل از رنگزای خاکستری اضافه شده است. در صورت یکسان نبودن این دو رنگ در هنگام جایگزینی اختلاف رنگی ایجاد می‌شود که ناشی از ناتوانی عمل رنگ همانندی است نه عدم مطلوبیت جایگزینی جزء خاکستری. بنابراین در هنگام جایگزینی مشاهده اختلافات رنگی تا حد اختلاف رنگ مرحله رنگ همانندی مجاز بوده و مربوط به اعمال جایگزینی نمی‌باشد. از آنجا که استفاده از روش k/s متضمن یک رنگ همانندی ثانویه در حین تعیین مقادیر سه رنگزای زرد و قرمز و آبی بوده و در حقیقت در حین تعیین مقادیر این رنگزاهای آنها را تا حدودی تصحیح می‌کند، انتظار می‌رود که این روش نتایج بهتری به دست دهد. اما دیده شده که نتایج روش استفاده از LUT مطلوب‌تر بوده و اختلاف رنگ پایین‌تری را نتیجه داده است. این امر به عدم برقراری فرض اولیه‌ی تئوری کیوبلکا مانک در این دسته رنگزاهای بر می‌گردد. گفته شد که به علت عدم برقراری فرض خطی بودن تغییرات k/s واحد رنگزاهای با غلظت، استفاده از روابط مربوط به تئوری کیوبلکا مانک دارای خطا بوده و عمل رنگ همانندی به درستی انجام نشد. در روش استفاده از k/s یک بار دیگر از این روابط استفاده شده و مجدداً خطای تئوری اعمال شده و اختلاف رنگ افزایش می‌یابد. در صورت در اختیار داشتن یک دسته رنگزا با پیروی مطلوب از تئوری کیوبلکا مانک روش استفاده از k/s نتایج بهتری حاصل خواهد نمود. با وجود این موارد جایگزینی جزء خاکستری در هر دو روش

با دقت در جدول ۵ می‌توان مشاهده کرد که در هر دو روش میزان مصرف سه رنگزای زرد و قرمز و آبی کاهش یافته است که میزان کاهش در روش LUT بیشتر است. در روش استفاده از جدول بازبینی مجموع رنگزای موجود در حمام نیز، نسبت به مقدار آن قبل از جایگزینی، کاهش یافته است در صورتی که این مقدار در روش استفاده از k/s افزایش یافته است.

۴- نتیجه گیری

یکی از فرض‌های اولیه‌ی تئوری کیوبلکا مانک خطی بودن تغییرات k/s واحد رنگزاهای با تغییر غلظت است. مشاهده شد که تغییرات k/s واحد رنگزاهای بازیک به کار رفته با تغییر غلظت به هیچ وجه خطی نیست، بنابراین فرض اولیه تئوری کیوبلکا مانک برقرار نیست. نتیجه این امر به وضوح در هنگام رنگ همانندی دیده شد، به نحوی که پیش‌بینی‌های تئوری از مقادیر واقعی بسیار دور بود (پیش‌بینی تئوری برای متوسط اختلاف رنگ ۰/۹۴۷۷ و متوسط اختلاف رنگ واقعی بدست آمده ۰/۸۳۱). علاوه بر این به علت عدم وجود فرض اولیه تئوری کیوبلکا مانک عمل رنگ همانندی به درستی انجام نشده و نمونه‌های رنگ همانند دارای اختلافات رنگی با متوسط ۰/۸۳۱ (از ۹/۸ تا ۲/۲) می‌باشند (با افزایش غلظت اختلاف رنگ کاهش می‌یابد). این اختلافات رنگ در هنگام رنگ همانندی مستقیماً بر میزان مطلوبیت جایگزینی جزء خاکستری تأثیر گذاشته و آن را کاهش می‌دهد. در هنگام جایگزینی مقادیری از سه رنگزای زرد و قرمز و

رنگزاهای موجود در حمام با اعمال جایگزینی کاهش یافته است اما این مقدار در روش k/s افزایش یافته است. به خصوص روش استفاده از LUT، مصرف رنگزاهای زرد و قرمز و آبی را به وضوح کاهش می‌دهد. بنابراین می‌تواند در مورد دسته رنگزاهایی که در آنها استفاده از رنگزای مشکی از نظر اقتصادی به صرفه‌تر از رنگزاهای دیگر است (همچون رنگزاهای بازیک) به منظور کاهش هزینه‌ی تولید به کار رود.

۵- مراجع

1. T. J. Cholewo, "Black Generation Using Lightness Scaling", Color Imaging: Device Independent Color, Color Hardcopy and Graphic Arts V Proceedings of SPIE, Vol3963, San Jose, CA; 2000, 323-328, **2000**.
2. B. J. Lindbloom, "Accurate color reproduction for computer graphics application", Computer Graphics, 23, 117-126, **1989**.
3. J. A. S. Viggiano; "Gray component replacement: A Practical Approach", in Neugebauer Memorial Seminar on Color Reproduction, Proceedings of SPIE, New York, 20-25, **1990**.
4. R. W. G. Hunt; "The Reproduction of Color", 6th ed, England, Jon Wiley & sons, **2004**.
5. E. Allen; "Basic equation used in computer color matching" J. Opt. Soc. Am., 64, 991-993, **1974**.

باعث حصول نتایج مناسبی گردید که متوسط اختلاف رنگ حاصل در جایگزینی پایین‌تر از اختلاف رنگ مجاز (متوسط اختلاف رنگ موجود در مرحله رنگ همانندی) بود. بنابراین در شرایط واقعی رنگ همانندی، بدون افزایش چشمگیر اختلاف رنگ می‌توان با اجرای روش جایگزینی، مصرف رنگزاهای زرد و قرمز و آبی کمتر کاهش داد. در صورت داشتن یک رنگ همانندی کامل می‌توان به جایگزینی‌هایی با اختلافات رنگی غیر قابل تشخیص برای چشم انسان دست یافت. در هر دو روش جایگزینی میزان مصرف رنگزاهای زرد و قرمز و آبی کاهش می‌یابد اما میزان کاهش در روش استفاده از LUT بیشتر بوده و این روش از نظر میزان کاهش مطلوب‌تر است. در مجموع با توجه به نتایج حاصله می‌توان بیان کرد که استفاده از روش جایگزینی جزء خاکستری در رنگزای منسوجات ممکن بوده و مسائلی همچون افزایش تعداد رنگزاهای در حمام رنگزایی و ممانعت رنگزای مانع از انجام این تکنیک نشده و انجام جایگزینی جزء خاکستری به هر دو روش در روش LUT مجموع رنگزاهای زرد و قرمز و آبی و خاکستری موجود در حمام کمتر از مجموع رنگزاهای زرد و قرمز و آبی موجود در حمام قبل از اعمال جایگزینی است. بدین معنی که مجموع رنگزاهای موجود در حمام با اعمال جایگزینی بدین معنی که مجموع