



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری  
موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش

Available online @ [www.jscw.icrc.ac.ir](http://www.jscw.icrc.ac.ir)

نشریه علمی ترویجی  
مطالعات در دنیای رنگ  
Journal of Studies in Color World  
[www.jscw.icrc.ac.ir](http://www.jscw.icrc.ac.ir)

نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۴، شماره ۴ (۱۳۹۳) ۲۱-۳۲

## مروری بر مطالعات انجام شده در خصوص سیاهی

راضیه جعفری\*

استادیار، گروه پژوهشی فیزیک رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۳ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۳/۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۱۰ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۳/۶/۱۸

### چکیده

ویژگی‌های نمونه‌های سیاه بر خلاف نمونه‌های سفید چه از نظر رنگی و چه از نظر طیفی چندان مورد توجه قرار نگرفته و بررسی نشده‌اند. در حالیکه سیاهی همچون سفیدی یک پدیده فیزیکی-روانی بوده و امکان مقایسه چنین مفاهیمی بسادگی میسر نمی‌باشد. با توجه به نیاز صنایع جهت کنترل کیفیت محصولات تولیدی لزوم ارائه اندیسی برای ارزیابی سیاهی و مقایسه آن با نتایج ارزیابی‌های چشمی در علم رنگ ضروری به نظر می‌رسد. بدیهی است دستیابی به اندیس ارزیابی سیاهی بدون بررسی رفتار طیفی و رنگی نمونه‌های سیاه امکان‌پذیر نخواهد بود. تحقیق حاضر مروری است بر نخستین تلاش‌های صورت گرفته در راستای ارزیابی منظم سیاهی که با هدف بررسی و تحلیل رفتار طیفی و رنگی نمونه‌های سیاه انجام شده‌اند.

### واژه‌های کلیدی

آکروماتیک‌ها، سیاهی، اندیس سیاهی، ارزیابی سیاهی.





## A Review on Blackness

Razieh Jafari\*

Assistant Professor, Department of Color Physics, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

### Abstract

Contrary to the white samples the spectral and colorimetric attributes of black specimens have not been investigated, profoundly. While, like whiteness the blackness is a psychophysical phenomenon and the comparing of these phenomena is not so easy. Since industries need to quality control their products it is necessary to represent an index to evaluate the blackness. Obviously, without analyzing the spectral and colorimetric behaviors of black samples it is impossible to achieve a blackness index. This paper reviews the first attempts tried to systematically assess the blackness.

### Keywords

Achromatics, Blackness, Blackness index, Blackness assessment.



## ۱- مقدمه

ناخودآگاه برای نمایش مرگ، تاریکی، غم و اندوه، تأسف و حتی شرارت و تباهی، رنگ سیاه را در مقایسه با دیگر رنگ‌ها انتخاب می‌نمایند. به‌عنوان مثال از اصطلاح «سیاه قلب» برای توصیف افرادی با افکار نادرست استفاده می‌شود [۶، ۲]. در علوم رنگ براساس یک تعریف تجربی رنگ سیاه یکی از دو رنگ موجود در دو انتهای سری سطوح غیررنگی (خاکستری) است که از کمترین درصد درخشندگی و روشنایی برخوردار می‌باشد [۷]. تنها تفاوت بین دو رنگ سیاه و سفید ایده‌آل در میزان روشنایی آنها است. طبق رابطه ارائه شده توسط آدامز<sup>۴</sup> و کووب<sup>۵</sup> (رابطه ۱)، میزان روشنایی سطوح رنگی و محدوده آن در مورد رنگ‌های سیاه و سفید چنین بیان می‌شود:

$$L = A(A_f + 1) / (A_f + A), A_f > 0 \quad (1)$$

در رابطه ۱، A انعکاس سطح مورد نظر و A<sub>f</sub> انعکاس میدان و محدوده دربرگیرنده سطح می‌باشد. L نیز فاکتور روشنایی است که برای جسم سیاه ایده‌آل L=۰ و برای رنگ سفید ایده‌آل L=۱ تعیین می‌گردد [۷]. به بیان دیگر سیاهی و تاریکی<sup>۶</sup> به معنای کمبود و یا فقدان نور و روشنایی کافی می‌باشد [۶-۸]. از لحاظ فیزیکی نیز یک جسم زمانی سیاه رنگ دیده می‌شود که تمام نور یا درصد بسیار زیادی از نور تابیده شده به خود را جذب نماید. شکل ۱ نشان می‌دهد که برخلاف دیگر رنگ‌ها یک جسم سیاه تنها درصد بسیار کمی از نور تابیده شده را منعکس می‌کند [۹].

## ۳- بررسی سیاهی

مطالعات انجام شده در خصوص سیاهی محدود به چند تحقیق گزارش شده در زمینه‌های مختلف پوشاک، چاپ کاغذ، نمونه‌های مانسل و نمونه‌های پارچه‌ای است که با هدف تعیین سیاهی خالص در پوشش رسمی بانوان، بررسی تأثیر فاکتورهای رنگی در درک سیاهی، تلاش برای ارائه اندیس مناسب جهت ارزیابی سیاهی، تبیین مرزهای رنگی سیاهی و نیز تحلیل رفتار طیفی نمونه‌های سیاه صورت گرفته است که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

## ۳-۱- بررسی سیاهی در پوشاک

تحقیقات کیهارا<sup>۷</sup> و همکارانش که بر روی البسه مشکی انجام شده از اولین تحقیقات صورت گرفته در خصوص سیاهی است. در تحقیق مذکور، روش‌هایی برای تشخیص و تعیین سیاهی خالص<sup>۸</sup> در پوشش رسمی بانوان و نیز عوامل تأثیرگذار در انتخاب آن تعیین گردید. هدف نهایی در این کار تحقیقاتی ارائه یک روش جدید برای دسته‌بندی رنگ سیاه بر مبنای ترکیب دو عامل اساسی حساسیت چشمی مشاهده‌کننده انسانی و نتایج حاصل از پردازش تصاویر پارچه‌ها می‌باشد. استفاده از

سیاه به گروهی از نمونه‌ها با مقادیر کروما (خلوص)<sup>۱</sup> و روشنایی کم اطلاق می‌گردد. کاربرد این رنگ در صنایع مختلفی همچون نساجی، پلاستیک‌سازی، چاپ، رنگ‌های پوشاننده سطوح، صنایع آرایشی و غیره از اهمیت تجاری به‌سزایی برخوردار است. این رنگ همچنین در فرهنگ‌های قومی مختلف با معانی متفاوت تعبیر گشته و در برخی کشورها از جمله کشورهای خاورمیانه به‌عنوان پوشش رسمی در مراسم مذهبی به‌کار برده می‌شود. از طرفی ارجحیت کاربرد رنگ مشکی در چاپ متن بر روی کاغذ و دیگر سطوح غیر قابل انکار بوده و به‌نظر نمی‌رسد که هیچ رنگی بتواند با آن رقابت کند و جایگزین آن گردد [۱، ۲]. برخلاف نمونه‌های سفید چه از نظر فیزیکی-روانی<sup>۲</sup> (رنگی) و چه از نظر فیزیکی (رفتار طیفی)، مطالعات چندانی بر روی ویژگی‌های نمونه‌های سیاه صورت نگرفته است. به‌عنوان مثال، در حالی‌که موقعیت و مرزهای سفیدی در اغلب فضارنگ‌های منظم همچون فضارنگ CIEXYZ و مانسل تعریف شده است [۳، ۴] ولی چنین مطالعه‌ای برای رنگ‌های مشکی گزارش نگردیده است. همچنین براساس میزان ارزش مانسل و تحت شرایط مشخصی برای مقدار خلوص در فام‌های مشخص، نمونه‌های سفید و نمونه‌های نزدیک به سفید تعریف و تعداد آنها شمرده شده است [۳، ۴]. این تعاریف همچنین طول موج حاکم سفیدها را شامل می‌گردد [۵]. با توجه به این واقعیت که در اغلب فضارنگ‌های منظم سیاهی و سفیدی در دو نقطه مقابل هم تعریف می‌شوند، به‌نظر می‌رسد که تعاریف انجام گرفته برای سفیدی در جهت معکوس قابل کاربرد برای سیاهی باشد [۱]. هر چند مکان و مرزهای سیاهی، تعداد نمونه‌های سیاه و نمونه‌های نزدیک به سیاه، ارجحیت فامی در پذیرش سیاهی، رفتار طیفی نمونه‌های سیاه و مواردی نظیر آن، به شکل علمی و منسجم مورد بررسی قرار نگرفته است، اما با توجه به نیاز صنایع و مصرف‌کنندگان در کنترل کیفیت محصولات، انجام تحقیقات در این خصوص ضروری به‌نظر می‌رسد. از آنجا که سیاهی همچون سفیدی یک پدیده فیزیکی-روانی است و امکان مقایسه چنین مفاهیمی بسادگی میسر نمی‌باشد لزوم ارائه اندیسی برای ارزیابی سیاهی و مقایسه آن با نتایج ارزیابی‌های چشمی در علم رنگ بسیار پرجاذبه می‌باشد. بدیهی است دستیابی به اندیسی جهت ارزیابی سیاهی بدون بررسی رفتار طیفی و رنگی مجموعه بزرگی از نمونه‌های سیاه امکان‌پذیر نخواهد بود.

## ۲- سیاهی

## ۲-۱- تعریف رنگ سیاه

سیاهی را اغلب رنگ زغال یا قیر می‌شناسند. این لغت که گاه‌ها به ساکنان سیاه‌پوست صحرای آفریقا، استرالیا، مالزی و یا حتی فرزندانشان در نقاط مختلف جهان اطلاق می‌شود در آمریکا به‌خصوص به سیاه‌پوستان به‌عنوان یک گروه اشاره می‌کند [۶]. از منظر روانشناسی سیاه مناسب‌ترین رنگ برای بیان ناپاکی، آلودگی و بیان حوادث و پیشامدهای بد بوده و افراد به طور

<sup>4</sup> Adams

<sup>5</sup> Cobb

<sup>6</sup> Darkness

<sup>7</sup> Kihara

<sup>8</sup> Pure Blackness

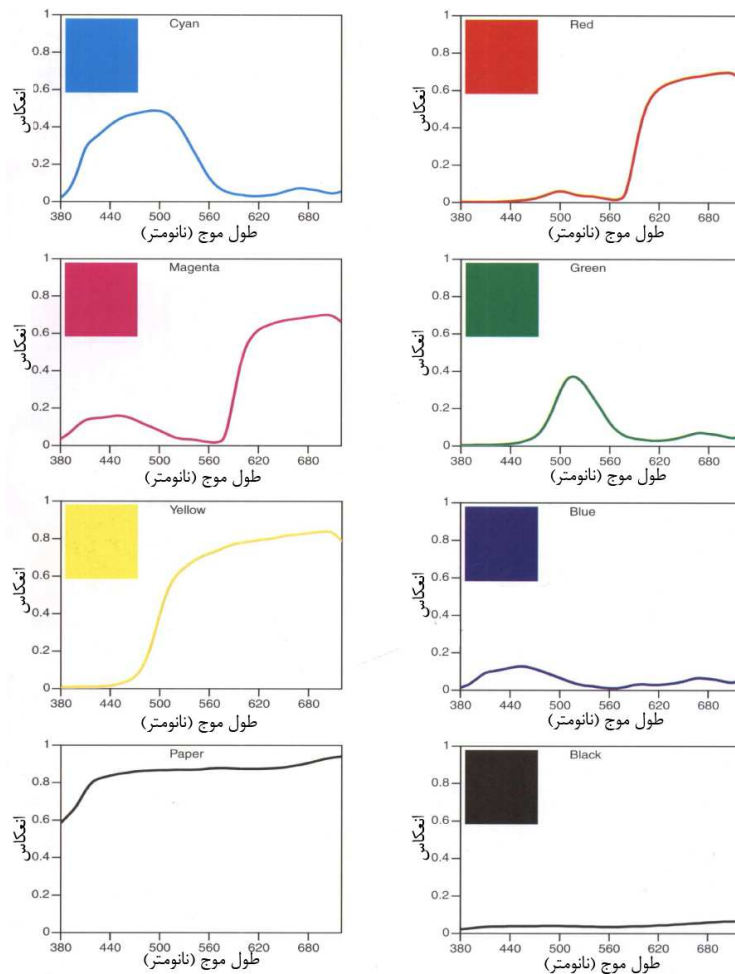
<sup>1</sup> Chroma

<sup>2</sup> Psychophysical

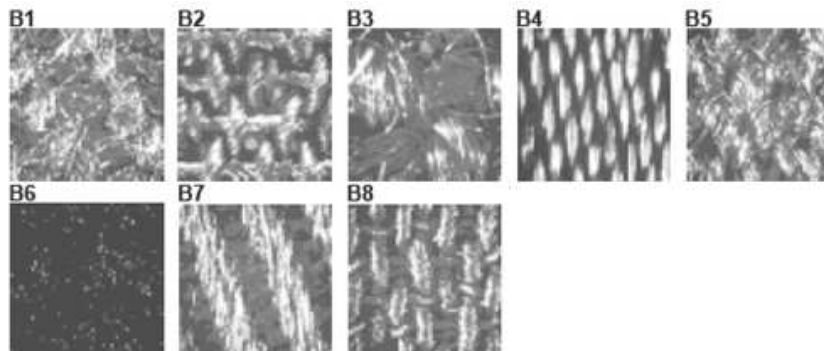
<sup>3</sup> Black Studies: سیاه مطالعات

پوشش مشکی (همچون چادر، البسه سیاه رنگ و غیره) در مناسبات اجتماعی به‌ویژه در شرایط خاص (مراسم ویژه و رسمی و غیره) بسیار متداول است، لذا انتخاب لباس با رنگ سیاه مناسب یا خالص در میان انتخاب‌های گسترده موجود از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در این رابطه اصطلاحات رایجی همچون "بور" و یا "ته قرمز" بودن سیاه به‌کار برده می‌شود که مطمئناً در انتخاب نوع لباس تاثیرگذار می‌باشد. در تحقیق مورد بحث تلاش شد تا روش جدیدی برای بیان کمی سیاهی

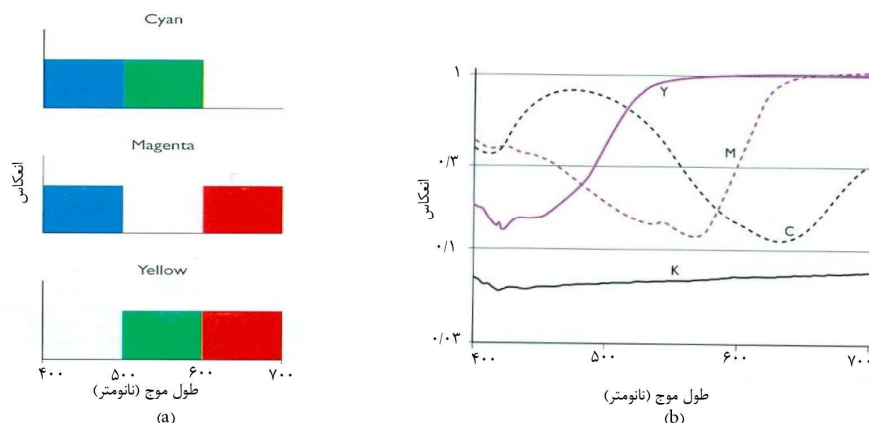
منسوجات ارائه گردد. نخستین گام ارزیابی چشمی نمونه‌های سیاه بود. بدین منظور ابتدا هشت نوع پارچه مختلف که هم از لحاظ جنس و هم نوع بافت متمایز بوده و به عنوان البسه (پوشش بیرونی) خانم‌ها و آقایان کاربرد دارند، به عنوان مجموعه داده‌ها در نظر گرفته شدند (شکل ۲). آزمون ارزیابی چشمی نمونه‌های مشکی با به‌کارگیری شاخصه‌هایی همچون سیاهی/عدم سیاهی، رسمی/غیررسمی بودن و نیز درخشندگی/عدم درخشش انجام شد [۱۰، ۱۱].



شکل ۱- طیف انعکاسی یک جسم که سیاه مشاهده می‌شود در مقایسه با سایر رنگ‌ها [۹].



شکل ۲- نمونه‌های سیاه انتخابی جهت بررسی خصوصیات سطحی [۱۰].



شکل ۳- (a) توابع انعکاس ایده‌آل و (b) منحنی انعکاس واقعی سه جوهر زرد، آبی مایل به سبز و سرخابی برای ایجاد رنگ مشکی [۶].

گام بعدی بررسی ارتباط میان درک سیاهی با خصوصیات انعکاسی و ویژگی‌های ساختاری پارچه‌ها بود. بدین منظور ابتدا انعکاس سطحی تمامی نمونه‌ها تحت یک زاویه مشخص از مشاهده‌کننده و منبع نوری در کل طیف مرئی اندازه‌گیری شد. بررسی‌ها نشان داد که رفتار نوری مذکور قادر به تشریح درک و دریافت چشمی افراد نیست. سپس به منظور بررسی رابطه بین درک سیاهی با خصوصیات مکانیکی پارچه، ویژگی‌هایی همچون وزن، نمره نخ و لیف، ضخامت، درصد حجمی و چگالی که در ارتباط با ساختار عرضی و سختی خمشی پارچه بود، اندازه‌گیری شدند [۱۰]. بدیهی است چنانچه مشاهده چشمی پارچه‌ها تحت تاثیر عواملی همچون نوع لیف، نوع نخ، دانسیته نخ، الگوی بافت و غیره باشد، آنگاه به سامانه‌ای نیاز است که تمامی این عوامل را لحاظ کند. اما نتایج تحقیقات نشان داد که به‌جز میزان ضخامت، سایر عوامل فیزیکی تأثیر چندانی بر درک سیاهی ندارند. به عنوان مثال شکل ۲ نمونه B6 را که ضخیم‌ترین نمونه است نشان می‌دهد. این نمونه که دارای بافتی پرزدار و مخملی بوده است به عنوان سیاه‌ترین نمونه ارزیابی شده است [۱۰]. شایان ذکر است که بافت مخمل منجر به ایجاد تله‌های نوری می‌گردد که به دلیل حبس نور مانع از بازتابش و انعکاس نور تابیده شده به سطح گشته و میزان سیاهی را افزایش می‌دهد. لذا ارزیابی نمونه مخملی به‌عنوان سیاه‌ترین نمونه می‌تواند علاوه بر میزان ضخامت، متأثر از نوع بافت نمونه هم باشد. شاید علت عدم اشاره محققان به این نکته نتیجه‌ای باشد که در خصوص عدم تأثیر آشکار الگوی بافت در درک چشمی سیاهی به آن دست یافتند. در مطالعه دیگری که توسط محققین دانشگاه هیروشیما انجام شد [۱۱] امکان ارتباط میان درک سیاهی در پارچه‌های مختلف با شاخص‌هایی که از پردازش تصاویر آنها به‌دست می‌آیند از دیدگاه "مهندسی حس" [۱۲، ۱۳] بررسی گردید. در این تحقیق مشابه با مطالعه قبل [۱۰] روش‌هایی برای بررسی تصاویر

### ۳-۲- ارزیابی سیاهی در صنعت چاپ

گام بعدی بررسی ارتباط میان درک سیاهی با خصوصیات انعکاسی و ویژگی‌های ساختاری پارچه‌ها بود. بدین منظور ابتدا انعکاس سطحی تمامی نمونه‌ها تحت یک زاویه مشخص از مشاهده‌کننده و منبع نوری در کل طیف مرئی اندازه‌گیری شد. بررسی‌ها نشان داد که رفتار نوری مذکور قادر به تشریح درک و دریافت چشمی افراد نیست. سپس به منظور بررسی رابطه بین درک سیاهی با خصوصیات مکانیکی پارچه، ویژگی‌هایی همچون وزن، نمره نخ و لیف، ضخامت، درصد حجمی و چگالی که در ارتباط با ساختار عرضی و سختی خمشی پارچه بود، اندازه‌گیری شدند [۱۰]. بدیهی است چنانچه مشاهده چشمی پارچه‌ها تحت تاثیر عواملی همچون نوع لیف، نوع نخ، دانسیته نخ، الگوی بافت و غیره باشد، آنگاه به سامانه‌ای نیاز است که تمامی این عوامل را لحاظ کند. اما نتایج تحقیقات نشان داد که به‌جز میزان ضخامت، سایر عوامل فیزیکی تأثیر چندانی بر درک سیاهی ندارند. به عنوان مثال شکل ۲ نمونه B6 را که ضخیم‌ترین نمونه است نشان می‌دهد. این نمونه که دارای بافتی پرزدار و مخملی بوده است به عنوان سیاه‌ترین نمونه ارزیابی شده است [۱۰]. شایان ذکر است که بافت مخمل منجر به ایجاد تله‌های نوری می‌گردد که به دلیل حبس نور مانع از بازتابش و انعکاس نور تابیده شده به سطح گشته و میزان سیاهی را افزایش می‌دهد. لذا ارزیابی نمونه مخملی به‌عنوان سیاه‌ترین نمونه می‌تواند علاوه بر میزان ضخامت، متأثر از نوع بافت نمونه هم باشد. شاید علت عدم اشاره محققان به این نکته نتیجه‌ای باشد که در خصوص عدم تأثیر آشکار الگوی بافت در درک چشمی سیاهی به آن دست یافتند. در مطالعه دیگری که توسط محققین دانشگاه هیروشیما انجام شد [۱۱] امکان ارتباط میان درک سیاهی در پارچه‌های مختلف با شاخص‌هایی که از پردازش تصاویر آنها به‌دست می‌آیند از دیدگاه "مهندسی حس" [۱۲، ۱۳] بررسی گردید. در این تحقیق مشابه با مطالعه قبل [۱۰] روش‌هایی برای بررسی تصاویر

گام بعدی بررسی ارتباط میان درک سیاهی با خصوصیات انعکاسی و ویژگی‌های ساختاری پارچه‌ها بود. بدین منظور ابتدا انعکاس سطحی تمامی نمونه‌ها تحت یک زاویه مشخص از مشاهده‌کننده و منبع نوری در کل طیف مرئی اندازه‌گیری شد. بررسی‌ها نشان داد که رفتار نوری مذکور قادر به تشریح درک و دریافت چشمی افراد نیست. سپس به منظور بررسی رابطه بین درک سیاهی با خصوصیات مکانیکی پارچه، ویژگی‌هایی همچون وزن، نمره نخ و لیف، ضخامت، درصد حجمی و چگالی که در ارتباط با ساختار عرضی و سختی خمشی پارچه بود، اندازه‌گیری شدند [۱۰]. بدیهی است چنانچه مشاهده چشمی پارچه‌ها تحت تاثیر عواملی همچون نوع لیف، نوع نخ، دانسیته نخ، الگوی بافت و غیره باشد، آنگاه به سامانه‌ای نیاز است که تمامی این عوامل را لحاظ کند. اما نتایج تحقیقات نشان داد که به‌جز میزان ضخامت، سایر عوامل فیزیکی تأثیر چندانی بر درک سیاهی ندارند. به عنوان مثال شکل ۲ نمونه B6 را که ضخیم‌ترین نمونه است نشان می‌دهد. این نمونه که دارای بافتی پرزدار و مخملی بوده است به عنوان سیاه‌ترین نمونه ارزیابی شده است [۱۰]. شایان ذکر است که بافت مخمل منجر به ایجاد تله‌های نوری می‌گردد که به دلیل حبس نور مانع از بازتابش و انعکاس نور تابیده شده به سطح گشته و میزان سیاهی را افزایش می‌دهد. لذا ارزیابی نمونه مخملی به‌عنوان سیاه‌ترین نمونه می‌تواند علاوه بر میزان ضخامت، متأثر از نوع بافت نمونه هم باشد. شاید علت عدم اشاره محققان به این نکته نتیجه‌ای باشد که در خصوص عدم تأثیر آشکار الگوی بافت در درک چشمی سیاهی به آن دست یافتند. در مطالعه دیگری که توسط محققین دانشگاه هیروشیما انجام شد [۱۱] امکان ارتباط میان درک سیاهی در پارچه‌های مختلف با شاخص‌هایی که از پردازش تصاویر آنها به‌دست می‌آیند از دیدگاه "مهندسی حس" [۱۲، ۱۳] بررسی گردید. در این تحقیق مشابه با مطالعه قبل [۱۰] روش‌هایی برای بررسی تصاویر

<sup>1</sup> Kansi Engineering:

این اصطلاح نخستین بار توسط میتسو ناگامچی ابداع و در آمریکا و ژاپن توسط کمپانی مزدا استفاده شد. این عبارت که عموماً بصورت «مهندسی حس» کاربرد یافته در واقع برای بیان حس و درک انسان تحت عوامل مختلف در طراحی و ساخت محصول به‌کار می‌رود به‌نحوی که احساس مطلوب و انتظار مصرف‌کننده تأمین شود.

<sup>2</sup> L-value

<sup>3</sup> Yellow

<sup>4</sup> Cyan

<sup>5</sup> Magenta

وستلند و همکارانش اولین مقیاس سیاهی پیشنهادی [۱] را با الهام از فرمول سفیدی CIE [۱۵،۳] تحت رابطه ۲ ارائه نمودند.

$$B_1 = a_1 + a_2 Y + a_3 (x - x_n) + a_4 (y - y_n) \quad (2)$$

به طوریکه  $x, y, Y$  به ترتیب مختصات کروماتیستی و روشنایی نمونه و  $x_n, y_n$  مختصات رنگی نقطه سفید (منبع D65) بوده و ضرایب  $a_1$  تا  $a_4$  متغیرهای این رابطه هستند که مقادیر آنها به روش بهینه‌سازی تعیین می‌شود. این معادله به دلیل ترم‌های موجود در پرانتز دارای ارجحیت فامی مشخص و واضح است [۱].

مقیاس دوم یعنی رابطه ۳ به نوعی ارتباط میان درک سیاهی و اشباع نمونه را بیان می‌کند.

$$B_2 = a_1 + a_2 Y + a_3 (x - x_n)^2 + a_4 (y - y_n)^2 \quad (3)$$

در رابطه ۳ ضرایب  $a_2$  تا  $a_4$  به مقادیر روشنایی، اشباع و جهت‌های فام وزن می‌دهند. در واقع ترم  $B_2$  تحت یک روشنایی ثابت، یک نمونه کاملاً خنثی و با خلوص صفر را از هر نمونه اشباعی سیاه‌تر ارزیابی می‌کند در حالی که اندیس  $B_1$  در معادله (۲) یک ارجحیت فام قوی را بیان می‌کند [۱]. اندیس بعدی وستلند مشابه اندیس  $B_2$  اما بر مبنای فضا رنگ یکنواخت CIELAB تحت رابطه ۴ ارائه شد.

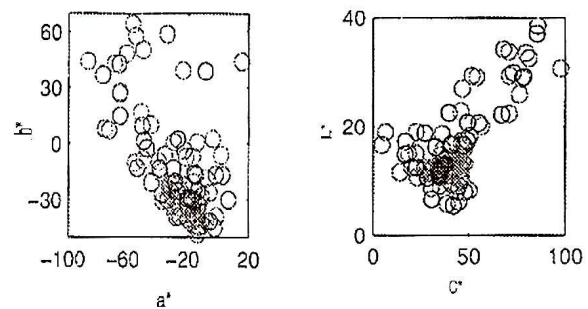
$$B_3 = a_1 + a_2 L^* + a_3 a^{*2} + a_4 b^{*2} \quad (4)$$

به نحوی که  $L^*, a^*, b^*$  مختصات رنگی نمونه در فضا رنگ CIELAB می‌باشند. آخرین مقیاس مورد استفاده یک مجموع وزن داده شده از مقادیر محرکه‌های سه‌گانه نمونه در فضای CIEXYZ بود که به صورت رابطه ۵ ارائه گردید [۱].

$$B_4 = a_1 + a_2 X + a_3 Y + a_4 Z \quad (5)$$

در اندیس‌های پیشنهادی وستلند (رابطه‌های ۲ تا ۵)، تمامی ضرایب و یا متغیرها برای به حداقل رساندن مقدار مجذور مربعات خطا (RMS) بین اندیس‌های سیاهی و نتایج حاصل از آزمایشات چشمی بهینه و سپس در روابط جایگزین شدند. کارآیی مقیاس‌های انتخاب شده نیز با استفاده از معیار تصمیم اشتباه (WDC)<sup>۵</sup> ارزیابی گردید. در این روش میانگین رتبه‌های ارائه شده توسط تمام مشاهده‌کنندگان به عنوان رتبه درست نمونه‌ها در نظر گرفته می‌شود و از آن برای بیان رتبه نسبی بین هر جفت نمونه استفاده می‌گردد. به این معنی که رتبه میانگین به عنوان نظر جمع در نظر گرفته می‌شود در حالیکه ممکن است یک مشاهده‌کننده

کاربرد مخلوط سه اولیه مذکور برای ایجاد رنگ مشکی در چاپگرها انتخاب مناسبی نیست چراکه اولاً مشکی حاصله بسیار گران بوده و ثانیاً مصرف زیاد آنها منجر به خیس شدن شدید کاغذ می‌گردد. لذا جایگزین نمودن این سه اولیه با یک جوهر مشکی با دانسیته مناسب بسیار حائز اهمیت است. این فرآیند جایگزینی جوهرهای رنگی با جوهر مشکی - که اصطلاحاً جایگزینی جزء سیاه<sup>۱</sup> نامیده می‌شود - اغلب ظاهر طرح چاپ شده را بهبود می‌بخشد چراکه جوهر مشکی کنتراست یا تضاد بیشتری را در مقایسه با ترکیب زرد و آبی مایل به سبز و سرخابی ایجاد می‌کند [۱۴، ۸]. تحقیقات اخیر بر یافتن فرمولاسیون جدیدی برای ایجاد یک رنگ مشکی که دارای خواص و ویژگی‌های کاملاً متمایز و کارآیی نسبتاً بالایی باشد متمرکز شده است. کنترل مناسب بودن رنگ مشکی ایجاد شده نیز تنها با ارزیابی‌های چشمی یا با اندازه‌گیری‌هایی که با نتایج ارزیابی چشمی مطابقت داشته باشد امکان‌پذیر است [۱]. در این راستا وستلند<sup>۲</sup> و همکارانش مطالعات خود را در خصوص تعیین رنگ مشکی مطلوب برای جوهرهای چاپ<sup>۳</sup> متمرکز نمودند. این تحقیق که با همکاری دانشگاه لیدز و شرکت فیلم فوجی<sup>۴</sup> انجام شد به‌طور عمده بر تعیین یک اندیس سیاهی و ارائه یک مقیاس استاندارد مناسب در جهت تشخیص و ادراک رنگ سیاه تأکید داشت و نهایتاً منجر به ارائه چهار اندیس مختلف گردید که همگی مبتنی بر فرمول‌های پیشنهادی برای اندازه‌گیری سفیدی بودند. به این منظور یک مجموعه ۱۰۰ تایی از نمونه‌های چاپ شده سیاه رنگ با استفاده از جوهرهایی با فرمولاسیون مختلف توسط شرکت فیلم فوجی در ابعاد مشخص تهیه شد. فاکتور انعکاس طیفی نمونه‌های سیاه در فواصل ۱۰ نانومتری در طیف مرئی اندازه‌گیری شد تا امکان محاسبه دقیق مختصات کروماتیستی CIE و ارزیابی کارآیی اندیس‌های سیاهی پیشنهادی فراهم گردد [۱]. شکل (۴) (a) و (b) به ترتیب نحوه توزیع نمونه‌ها را در مختصات  $a^*b^*$  و  $C^*L^*$  نشان می‌دهد [۱].



شکل ۴- توزیع نمونه‌ها بر حسب (a)  $a^*b^*$  و (b)  $C^*L^*$  [۱]

<sup>1</sup> Gray Component Replacement/ GCR

<sup>2</sup> Westland

<sup>3</sup> Ink-jet

<sup>4</sup> Fuji film company

<sup>5</sup> Wrong-Decision Criterion

نتایج حاصل از آزمون ارزیابی چشمی نشان داد که بیشترین سیاهی درک شده مربوط به نمونه‌هایی بود که از لحاظ دستگاهی دارای کمترین میزان روشنایی و ته رنگ محدوده خنثی باشند. این نمونه‌ها اغلب در اطراف منبع نوری D65 و در محدوده طول موج حاکم ته رنگ قرمز واقع شده‌اند. در واقع تحت یک مقدار روشنایی ثابت، افراد نمونه‌ای با ته رنگ قرمز را مشک‌تری از یک سیاه ته سبز یا ته آبی ارزیابی می‌نمودند. از مهم‌ترین نتایج این ارزیابی اثر معکوس روشنایی در ارزیابی میزان سیاهی نمونه‌ها بود، بدین ترتیب که با کاهش درصد روشنایی نمونه‌ها، میزان سیاهی درک شده توسط افراد افزایش می‌یافت [۱۶].

### ۴-۳- تأثیر ویژگی‌های رنگی در درک سیاهی

#### ۴-۳-۱- اثر فام در درک سیاهی

در تحقیقی که به‌وسیله تاو<sup>۱</sup> و همکارانش انجام شد تأثیر فام در درک چشمی سیاهی مورد توجه قرار گرفت و نتایج آن مبتنی بر جنسیت و ملیت ارزیابان (چینی و انگلیسی) تجزیه و تحلیل شد [۱۷]. در این تحقیق مجموعه‌ای مرکب از ۱۳ رنگ سیستم مانسل (۱۰ نمونه رنگی و ۳ نمونه خنثی) با مقادیر روشنایی و خلوص یکسان اما با فام‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. ۱۰ نمونه رنگی در واقع تیره‌ترین نمونه‌های موجود در سامانه مانسل<sup>۲</sup> و منتخب از همه فام‌ها بودند و ۳ نمونه خنثی نیز مرکب از یک نمونه با روشنایی معادل نمونه‌های رنگی و دو نمونه یکی روشن‌تر و دیگری تیره‌تر بودند. کلیه نمونه‌ها بصورت جفتی بر یک نمایشگر کامپیوتر با پس زمینه خنثی به مشخصات (R=G=B=133) به مشاهده‌کنندگان ارائه شدند. البته اندازه‌گیری مقادیر محرکه‌های سه‌گانه نمونه‌های نمایش داده شده به کمک یک کالریومتر نشان دهنده آن است که این مقادیر لزوماً با مقادیر متناظر نمونه‌های انتخاب شده از سامانه مانسل یکی نبودند [۱۷].

<sup>۱</sup> Tao  
<sup>۲</sup> Munsell

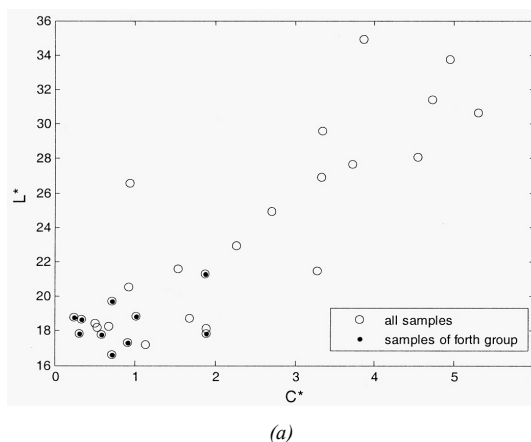
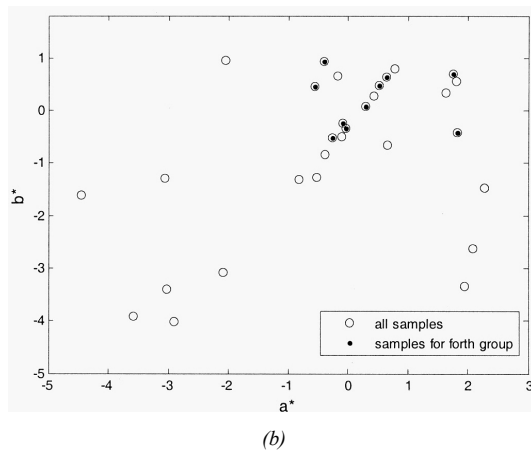
خاص با این تصمیم موافق یا مخالف باشد که در صورت عدم توافق یک تصمیم اشتباه گرفته است. در پایان بهترین مقیاس به نحوی تعیین گردید که حائز کمترین درصد تصمیم اشتباه (%WDC) و کمترین خطای RMS باشد [۱]. پس از جای‌گذاری مقادیر بهینه شده در پنج گروه از داده‌ها، اندیس B<sub>3</sub> در میان اندیس‌های B<sub>1</sub> تا B<sub>4</sub> بهترین بازده و کارایی را نشان داد. بدیهی است که عملکرد و راندمان این مدل با دقتی که ارزیابی چشمی تحت آن انجام شده سنجیده و به آن محدود می‌گردد. در نهایت اندیس B<sub>3</sub> در معادله (۴) که بر پایه یک یکنواخت پیشنهاد شده بوده با جای‌گذاری ضرایب به‌دست آمده توسط مشاهدات چشمی به صورت رابطه ۶ ارائه شد [۱].

$$B_3 = 8.6542 - 0.2583L^* - 0.0052a^{*2} + 0.0045b^{*2} \quad (6)$$

### ۳-۳- بررسی کارایی اندیس‌های پیشنهادی وستلند برای

#### ارزیابی پارچه مشک‌ی

کارایی اندیس‌های پیشنهادی وستلند که برای ارزیابی سیاهی جوهرهای چاپ ارائه شده بود در خصوص ارزیابی پارچه‌های مشک‌ی آزموده شد [۱۶]. در این تحقیق از اندیس‌های سیاهی موجود در جهت ارزیابی پارچه‌های مشک‌ی استفاده گردید و کارایی این اندیس‌ها در تطبیق با نتایج آزمون‌های ارزیابی چشمی بررسی شد. جهت تهیه نمونه‌های مشک‌ی، پارچه‌های پنبه‌ای فاقد سفیدکننده نوری با درصد‌های مختلف رنگزای مستقیم تحت شرایط دمایی جوش رنگرزی شدند. به‌منظور تولید نمونه‌های خنثی با مقادیر a\* و b\* نزدیک به صفر، درصد‌های ناچیزی از سه رنگزای زرد و قرمز و آبی نیز به کار برده شد. بدین ترتیب ۳۰ نمونه خاکستری-مشکی با مقادیر مختلف محرکه‌های سه‌گانه تهیه شدند که شکل ۵ مختصات رنگی این نمونه‌ها را به ترتیب در دیاگرام‌های a\*b\* و C\*L\* در فضای CIELAB تحت منبع نوری D65 و مشاهده‌کننده استاندارد ۱۰ درجه نشان می‌دهد. روش اتخاذ شده جهت ارزیابی چشمی نمونه‌ها، روش مقایسه جفت‌ها بود.



شکل ۵- مختصات نمونه‌ها در فضا رنگ CIELAB بر حسب (a): a\*b\* و (b): C\*L\*. نمونه‌های مشک‌ی‌تر از نظر ارزیابان با دایره‌های توپر نشان داده شده‌اند [۱۶].

VIC4 به ترتیب در درجات کمتری از سیاهی ارزیابی شدند. نتیجه مشابهی با توجه به جنسیت افراد ارزیاب نیز به دست آمد. حصول چنین نتیجه‌ای قابل انتظار بود چرا که نمونه‌های VIC2 تیره‌ترین نمونه‌های موجود بودند و از طرفی هر چه نمونه رنگی‌تر باشد با درجه سیاهی کمتری ارزیابی می‌گردد [۱۸]. در پایان نتایج دو تحقیق در خصوص بررسی تأثیر ملیت و جنسیت در ارزیابی سیاهی و گزینش نمونه دلخواه بر حسب فام و نیز بر حسب خلوص و روشنایی نمونه‌ها با هم مقایسه گردید و هماهنگی میان نتایج کسب شده تأیید گردید. به بیان دیگر برخلاف تأثیر ملیت و جنسیت ارزیابان در انتخاب فام دلخواه، در مبحث انتخاب نمونه سیاه‌تر نه جنسیت و نه ملیت افراد هیچ‌یک اثرگذار نبوده‌اند [۱۷، ۱۸].

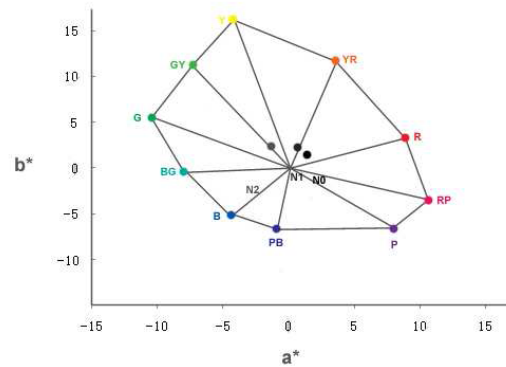
### ۳-۵-۲- اندیسی بر پایه فام و کرومای نمونه‌های مشکی

کلاتنس<sup>۳</sup> و همکارانش با هدف تعیین ارجحیت فامی نمونه‌های مشکی و ارائه اندیسی جهت ارزیابی سیاهی گامی دیگر در راستای بررسی سیاهی برداشتند. تحقیقات آنها در سه بخش مجزا و برای سه گروه مختلف نمونه‌های مشکی (نمونه‌های کاغذی مانسل، پارچه‌های سیاه پشمی و پارچه‌های سیاه اکریلیکی) و عمدتاً با هدف بررسی تأثیر ویژگی‌های رنگی در درک سیاهی و تلاش برای ارائه مدلی جهت توصیف سیاهی مبتنی بر نتایج ارزیابی‌های چشمی انجام شد [۲۱-۱۹]. سه تحقیق مذکور در این بخش توضیح داده می‌شوند.

### ۳-۵-۱- تأثیر فام در درک سیاهی نمونه‌های مانسل

کلاتنس و همکارانش، جهت ارائه اندیسی بر پایه فام نمونه‌های مشکی از ۲۰ نمونه کاغذی براق سامانه مانسل با خلوص پایین استفاده کردند. مقادیر روشنایی و خلوص نمونه‌ها در سامانه مانسل به ترتیب ۲ و ۱ بوده و مقادیر متناظر روشنایی و خلوص نمونه‌ها در فضا رنگ CIELAB عبارت از (۲۰/۷۵- $L^*$  = ۱۹/۳) و ( $C^*$  = ۳/۶۶-۶/۵۸) است [۲۰، ۱۹]. توزیع نمونه‌های مذکور در دیاگرام  $a^*b^*$  و نیز  $L^*h$  در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج آزمون ارزیابی چشمی نشان داد که دلیل روشنایی و خلوص نسبتاً بالای نمونه‌ها اکثریت افراد نمونه‌ها را به‌عنوان مشکی ارزیابی نکردند [۲۰، ۱۹]. لذا از مشاهده کنندگان خواسته شد تا نمونه‌ها را با هدف بیشترین شباهت به مشکی تا کمترین شباهت به مشکی رتبه‌بندی کنند [۱۹]. نتایج نشان داد که نمونه‌هایی با مقادیر کرومای کمتر اغلب به‌عنوان نمونه‌های شبیه‌تر به مشکی ارزیابی شدند. نکته قابل توجه دیگر تهرنگ سبز-آبی در نمونه‌هایی است که در بیشترین دفعات به‌عنوان نمونه‌های مشکی‌تر ارزیابی شده‌اند. شایان ذکر است که انتخاب‌های بعدی ارزیابان نمونه‌هایی با تهرنگ‌های سبز، آبی و آبی-ارغوانی است. از طرف دیگر نمونه‌های مشکی با تهرنگ قرمز و زرد کمتر از سایر نمونه‌ها به‌عنوان سیاه ارزیابی شدند [۱۹]. در پایان، مدل توصیف‌گر میانگین رتبه‌های نسبت داده شده به نمونه‌ها تنها براساس فاکتور زاویه فام نمونه‌ها ( $h^\circ$ ) و با توجه به رابطه ۷ ارائه شد [۱۹].

توزیع نمونه‌های مذکور در دیاگرام  $a^*b^*$  در شکل ۶ نشان داده شده است. در ادامه از مشاهده کنندگان خواسته شد تا در دو مرحله مجزا ابتدا از بین یک جفت نمونه، نمونه ترجیح داده شده را برگزینند (انتخاب سیاه برتر) و سپس نمونه نزدیکتر به یک سیاه خالص را انتخاب نمایند (درک سیاهی). نتایج نشان داد که نمونه خنثی تیره‌تر از نظر مشاهده کنندگان نزدیکترین نمونه به سیاه خالص تشخیص داده شده است. نتایج آزمون انتخاب سیاه ترجیح داده شده نیز حاکی از آنست که اغلب نمونه‌ها از تهرنگ‌های آبی-ارغوانی برخوردار بوده‌اند در حالیکه نمونه‌هایی با تهرنگ زرد کمتر پسندیده شدند [۱۷].



شکل ۶- توزیع نمونه‌ها در فضا رنگ CIELAB بر حسب  $a^*b^*$  [۱۷].

### ۳-۴-۲- اثر روشنایی و خلوص در درک سیاهی

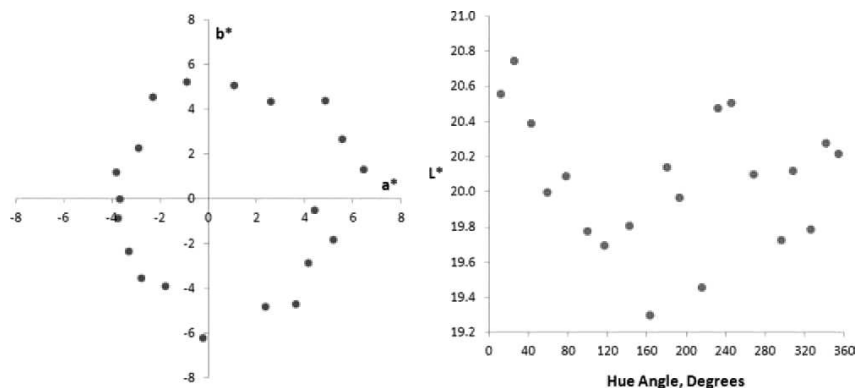
به‌منظور بررسی تأثیر سایر ویژگی‌های رنگی همچون خلوص و روشنایی بر درک سیاهی و ارجحیت فامی و نیز بررسی میزان تأثیرپذیری نتایج از ملیت و جنسیت، تحقیق دیگری این‌بار با لحاظ نمودن فاکتورهای خلوص و روشنایی توسط تاو و همکارانش انجام گرفت [۱۸]. در این تحقیق ۲۹ نمونه رنگی مانسل با سطوح روشنایی ۱ و ۲ و مقادیر خلوص ۲ و ۴ ( $V/C=1/4$ ,  $V/C=2/2$ ,  $V/C=1/2$ ) در نظر گرفته شدند به‌نحویکه  $V$  نشان‌دهنده ارزش مانسل یا همان روشنایی است و  $C$  نمایانگر خلوص مانسل است. مجدداً مقادیر RGB نمونه‌ها جهت نمایش آنها بر نمایشگر کامپیوتر محاسبه شد و مقادیر محرکه‌های سه‌گانه نمونه‌ها تحت نقطه سفید نمایشگر و در فضای CIELAB جهت تحلیل نتایج اندازه‌گیری شد. در این مطالعه ۲۵ مشاهده‌کننده (۱۳ چینی و ۱۲ انگلیسی) مشارکت داشتند و کلیه شرایط مشاهده مشابه تحقیق قبلی بود و مجدداً از مشاهده کنندگان خواسته شد تا در دو مرحله مجزا از بین یک جفت نمونه، نمونه نزدیکتر به سیاه خالص و نیز نمونه با فام ترجیح داده شده را برگزینند. نتایج نشان داد که در خصوص سیاه ترجیح داده شده، مشاهده کنندگان چینی نمونه‌های تیره‌تر (VIC2) و انگلیسی‌ها نمونه‌های روشن‌تر (VIC2) را برگزیدند. در مبحث درک سیاهی برای انتخاب نمونه نزدیکتر به سیاه خالص، هر دو گروه ارزیابان چینی و انگلیسی نمونه‌های با سطوح روشنایی ۱ و خلوص ۲ (VIC2) را به‌عنوان نزدیک‌ترین نمونه‌ها به سیاه خالص ارزیابی کردند و نمونه‌های VIC2 و

<sup>1</sup> Blackness preference

<sup>2</sup> Blackness perception

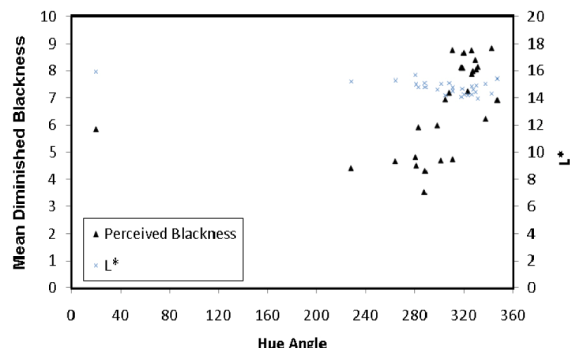
<sup>3</sup> Clonts



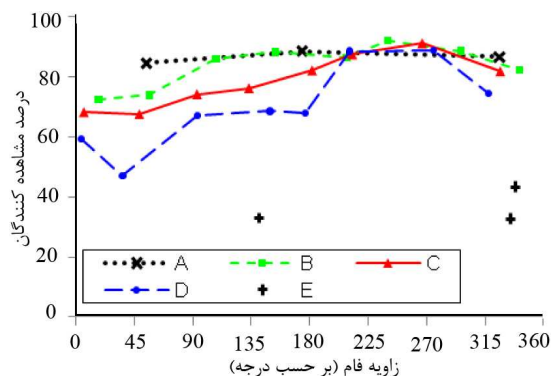


شکل ۷- موقعیت نمونه‌های منتخب در دیاگرام  $a^*b^*$  و  $L^*/h$ .

$A(0/12-0/3)$ ،  $B(0/42-0/57)$ ،  $C(0/89-0/97)$ ،  $D(1/58-1/86)$  و  $E(3/34-3/46)$  تقسیم شدند. در ادامه از ارزیابان خواسته شد که ابتدا نمونه‌های سیاه و غیر سیاه را دسته‌بندی کنند و در گام بعدی هر یک از ۳۰ نمونه را با یک سیاه مرجع که یک جمع‌کننده نور محسوب می‌شد مقایسه نموده و رتبه دهند [۲۰، ۲۱]. دسته‌بندی اولیه سیاه‌ها و غیر سیاه‌ها منجر به حذف تعدادی از نمونه‌ها شد. شکل ۹ درصد افرادی که هر نمونه را به‌عنوان سیاه ارزیابی نمودند به‌صورت تابعی از زاویه فام نمونه‌ها نشان می‌دهد. مطابق شکل نمونه‌هایی با فام تقریباً یکسان اما خلوص بیشتر غالباً کمتر به‌عنوان سیاه ارزیابی می‌شدند. همچنین اغلب افراد نمونه‌هایی با زاویه فام بین ۲۰۰ تا ۲۷۰ درجه را به‌عنوان مشکی ارزیابی نمودند [۲۰، ۲۱].



شکل ۸- ارتباط میان سیاهی درک شده با روشنایی و زاویه فام نمونه‌های پشمی [۲۰].



شکل ۹- درصد افراد در ارزیابی سیاهی نمونه‌ها برحسب فام [۲۰].

$$\text{Rank} = 5.37 + 2.72 \cosh^{\circ} \quad (7)$$

### ۳-۵-۲- بررسی نقش روشنایی در درک سیاهی پارچه‌های پشمی

در بخش دوم ۴۵ نمونه پشمی ابتدا با فام‌های مختلف یک مثلث رنگ، رنگ‌ریزی شدند و سپس مجدداً با رنگ C.I. Acid Black 194 رنگ‌ریزی شدند. به‌دلیل روش خاص تهیه، نمونه‌های مذکور از محدودیت فام برخوردار بودند به‌نحویکه اکثر نمونه‌های مشکی تهرنگ ارغوانی داشته و تنها چند نمونه با تهرنگ سبز-آبی موجود بود. ضمن آنکه هیچ نمونه مشکی‌ای با تهرنگ زرد و یا زرد-سبز وجود نداشت. به‌رحال از آنجاکه در مقایسه با نمونه‌های براق مانسل، نمونه‌های پشمی از روشنایی و خلوص کمتری برخوردار بودند ارزیابی نمونه‌های مذکور با هدف بررسی نقش روشنایی در درک سیاهی انجام شد. شکل ۸ نتایج این تحقیق را بصورت میانگین کاهش درک سیاهی برحسب روشنایی و زاویه فام متناظر نمونه‌ها نشان می‌دهد. مطابق شکل ۸ افزایش مقادیر محور قائم به معنای آن است که بطور میانگین، میزان سیاهی درک شده توسط ارزیابان کاهش یافته است [۲۰]. به‌دلیل عدم تنوع فامی نمونه‌های پشمی، امکان حصول و تعمیم یک نتیجه‌گیری کلی درخصوص تأثیر فام بر درک سیاهی وجود نداشت. معهداً مطابق شکل ۸ نمونه‌های مشکی با تهرنگ‌های سایان-آبی به‌عنوان مشکی‌ترین نمونه‌ها و آنهایی که دارای تهرنگ ارغوانی بودند با کمترین میزان سیاهی درک شدند. نتیجه مذکور به‌نوعی نتایج حاصل از ارزیابی نمونه‌های مانسل را تأیید نمود [۲۰].

### ۳-۵-۳- بررسی اثر فام و خلوص در درک سیاهی پارچه‌های اکریلیکی

از آنجا که آماده‌سازی نمونه‌هایی که تمام فام‌ها را حول یک دایره پوشش دهند با روش رنگ‌ریزی ذکر شده بر روی نمونه‌های پشمی امکان‌پذیر نبود، دسته سومی از نمونه‌های مشکی با رنگ‌ریزی پارچه کشیاف اکریلیک<sup>۱</sup> با استفاده از رنگ‌های کاتیونیک تهیه شدند. در نتیجه ۳۰ نمونه مشکی با مقادیر  $L^*$  بین ۱۰/۵ تا ۱۲ انتخاب و بر روی زمینه‌های پلاستیکی خاکستری رنگ چسبانده شدند. نمونه‌ها سپس به ۵ دسته با مقادیر کرومای

<sup>۱</sup> Acrylic knit fabric

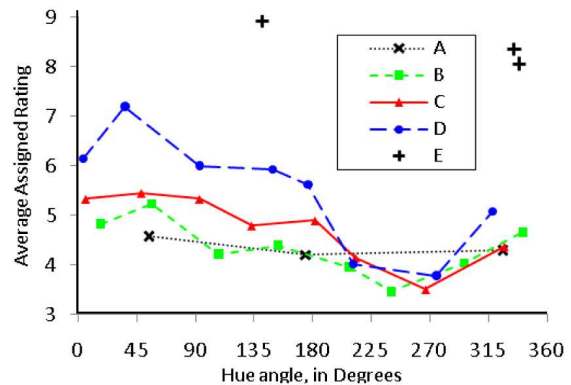
همچنین نمونه‌های مشکی ته قرمز با زوایای فام بیشتر از ۳۱۵ درجه و یا کمتر از ۴۵ درجه به‌عنوان نمونه‌هایی با کمترین سیاهی ارزیابی شدند. جالب آن که برای نمونه‌هایی که ته سبز تا ته آبی نبودند، رتبه سیاهی ارزیابی شده با میزان کرومای آنان نسبت عکس داشت. بدین معنی که به جز نمونه‌های سیاه ته سبز و ته آبی، افزایش خلوص منجر به کاهش سیاهی درک شده می‌گشت [۱۹-۲۱].

### ۳-۶- تعیین مرزهای رنگی سیاهی

در این تحقیق که برای بار نخست به تبیین مرزهای سیاهی پرداخت تلاش گردید تا حجمی که نمونه‌های سیاه در فضای سه‌بعدی از ویژگی‌های رنگی ( $L^*a^*b^*$ ) تصرف می‌کنند مشخص شود [۲۲]. ویژگی بارز نمونه‌های مذکور درصد بالای پذیرش آنها به‌عنوان سیاه توسط اکثریت ارزیابان بود. در تحقیق مذکور جعفری و همکارانش به منظور بررسی ارتباط میان میزان درک سیاهی نمونه‌های مشکی با مشخصه‌های رنگی آنها نظیر روشنایی، خلوص و فام، ۲۱۶ نمونه پارچه‌ای مشکی با تنوعی از ویژگی‌های رنگی ( $L^*=۱۷/۶۴-۲۳/۹۴$ ,  $C^*=۰-۴/۱۶$ ) را تهیه نمودند. در ادامه از مشاهده‌کنندگان خواسته شد تا تحت شرایط مشاهده یکسان (زیر کابینت نوری مجهز به لامپ شبیه‌ساز استاندارد نوری D65 و شرایط مشاهده‌کننده استاندارد CIE1964)، سیاهی/عدم سیاهی نمونه‌ها را که به‌طور تصادفی به آنها ارائه می‌شد تعیین کنند. به این ترتیب، درصد افرادی که هر نمونه را به عنوان سیاه ارزیابی نمودند به‌طور جداگانه مشخص شد و با شاخصی به نام "درصد سیاهی درک شده"<sup>۱</sup> - که به اختصار با PBP نشان داده می‌شود - به هر نمونه نسبت داده شد. شکل ۱۱ حجمی از نمونه‌های سیاه را در یک فضای سه‌بعدی از محرکه‌های رنگی  $L^*a^*b^*$  مبتنی بر درصد افرادی که نمونه‌ها را به‌عنوان سیاه ارزیابی نمودند نشان می‌دهد. مطابق شکل، نمونه‌هایی که کمتر از ۵۰٪ ارزیابان آنها را به‌عنوان سیاه برگزیدند با دایر قرمز و نمونه‌هایی با درصد سیاهی درک شده مساوی ۵۰٪ با مثلث‌های سبز نشان داده می‌شوند. همچنین نمونه‌هایی که بیش از ۵۰٪ مشاهده‌کنندگان آنها را به‌عنوان سیاه ارزیابی نمودند با ستاره‌های مشکی نشان داده می‌شوند [۲۲].

<sup>1</sup> Perceived blackness percentage

رتبه‌بندی ثانویه که برای همه نمونه‌های مشکی انجام شد درک سیاهی را به‌عنوان تابعی از فام و کروما معرفی نمود. شکل ۱۰ شمایی از رتبه‌بندی سیاهی را به‌صورت تابعی از زاویه فام برای گروه‌های A-E با مقادیر کرومای ذکر شده نشان می‌دهد. در شکل مزبور میانگین رتبه سیاهی کمتر به مفهوم سیاهی درک شده بیشتر هر نمونه است [۲۱، ۲۰].



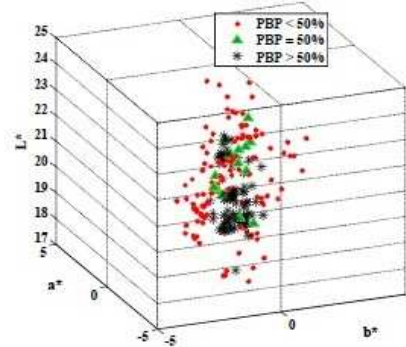
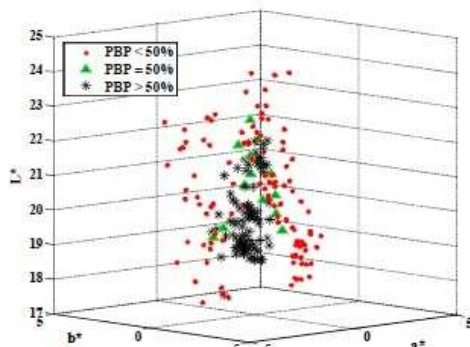
شکل ۱۰- میانگین رتبه سیاهی به‌عنوان تابعی از زاویه فام برای مجموعه داده‌ها با گروه‌بندی کروما [۲۱، ۲۰].

در پایان دو مدل آماری برای تعیین درصد افرادی که هر نمونه را به‌عنوان سیاه ارزیابی کردند (رابطه ۸) و نیز برای تعیین رتبه میانگین اختصاص یافته به هر نمونه (رابطه ۹) ارائه شد [۲۰].

$$\%yes=92.89-14.96(C^*)+10.75\cos(165.22-h^{\circ}) \quad (8)$$

$$Rating=3.60+1.27(C^*)+0.90\cos(113.80-h^{\circ}) \quad (9)$$

شایان ذکر است که فقدان حضور عامل روشنایی در روابط ۸ و ۹ مشهود است که محققین آنرا به محدوده کوچک روشنایی نمونه‌ها نسبت دادند [۲۰]. در پایان جمع‌بندی نتایج حاصل از سه بخش مجزای تحقیق فوق نشان داد که صرف‌نظر از کروما، نمونه‌های مشکی با ته رنگ سیان و آبی با زوایای فام بین ۲۷۰-۲۰۰ درجه، به‌عنوان سیاه‌ترین نمونه‌ها ارزیابی شدند.



شکل ۱۱- حجم اشغال شده توسط ۲۱۶ نمونه سیاه در فضای سه‌بعدی از ویژگی‌های رنگی ( $L^*a^*b^*$ ) براساس درصد سیاهی درک شده [۲۲].

نتایج این تحقیق نشان داد که نمونه‌های مشکی با مقادیر روشنایی زیاد و کرومای کم (و نیز با مقادیر کرومای زیاد و روشنایی کم) به شرط واقع شدن در ناحیه سوم فام (نمونه‌های مشکی ته‌سبز-ته‌آبی) از نظر اکثر مشاهده‌کنندگان سیاه ارزیابی می‌شوند. ضمن آنکه در بین نمونه‌هایی با درصد پذیرش سیاهی صفر (نمونه‌هایی که هیچ‌یک از مشاهده‌کنندگان آنها را به‌عنوان سیاه ارزیابی نکردند) هیچ نمونه سیاه ته‌سبز-ته‌آبی‌ای وجود نداشت. در واقع حتی آن دسته از نمونه‌های واقع در ناحیه سوم فام که از مقادیر بسیار بالای روشنایی و خلوص برخوردار بودند نیز حداقل توسط ده درصد مشاهده‌کنندگان به‌عنوان سیاه ارزیابی شدند. حصول چنین نتیجه‌ای بیانگر اهمیت ارجحیت فام در ارزیابی سیاهی است. بدیهی است که مطابق شکل ۱۱ متناسب با افزایش درصد افرادی که نمونه‌ها را به‌عنوان سیاه ارزیابی می‌نمایند حجم تخصیص یافته به نمونه‌های سیاه در فضا رنگ سه‌بعدی نیز کاهش یابد. به بیان دیگر تعداد نمونه‌هایی که همه مشاهده‌کنندگان (۱۰۰٪) آنها را سیاه ارزیابی نمایند بسیار محدود است [۲۲]. نتیجه به‌دست آمده در این تحقیق مبتنی بر ارجحیت فامی ته‌سبز-ته‌آبی در گزینش نمونه سیاه و نیز در انتخاب سیاه ترجیح داده شده مجدداً در تحقیقات دیگر که تأثیر مؤلفه‌های رنگی خلوص، روشنایی و زاویه فام را در درک سیاهی بررسی می‌نمودند محقق گردید [۲۳، ۲۴]. با توجه به نتایج به‌دست آمده مبنی بر اثر هم‌زمان مؤلفه‌های رنگی در درک بصری سیاهی، جعفری و امیرشاهی فرمول ارزیابی سیاهی منسوجات خاکستری تیره تا مشکی را ارائه نمودند [۲۵].

**۳-۷- تحلیل رفتار طیفی نمونه‌های سیاه**

به‌رغم تصور رفتار تک بعدی نمونه‌های آکروماتیک (خنثی) که در حالت ایده‌آل تنها در امتداد محور روشنایی تغییر موقعیت می‌دهند، نمونه‌های واقعی سفید، سیاه و خاکستری به‌دلیل برخورداری از مقادیر بسیار جزیی از تهرنگ‌های متفاوت عملاً خنثی نبوده و با مقادیر خلوص صفر مشاهده نمی‌شوند [۲۶].

تحقیقات اولیه در خصوص بررسی رفتار طیفی نمونه‌های آکروماتیک واقعی نشان‌دهنده انحراف آنها از رفتار طیفی تک بعدی نمونه‌های خنثی ایده‌آل است. به بیان دیگر، امکان توصیف نمونه‌های واقعی آکروماتیک در فضاهای کاملاً تک‌بعدی با توجه به مقادیر خطاهای طیفی و رنگی بدست آمده از فشرده‌سازی و بازسازی فضاهای طیفی متناظر وجود ندارد [۲۶-۲۹] به‌منظور تحلیل رفتار طیفی نمونه‌های مشکی در تحقیق انجام شده توسط جعفری و همکارانش [۳۰، ۳۱]، ابتدا با استفاده از فرآیندهای چاپ بر روی کاغذ و نیز چاپ و رنگ‌ریزی منسوج، ۶۲۴ نمونه سیاه در سطوح مختلف روشنایی، فام و خلوص تهیه شد. با اندازه‌گیری طیف انعکاس نمونه‌های سیاه و محاسبه داده‌های رنگی آنها اطلاعات مورد نیاز جهت پردازش طیفی و رنگی فراهم آمد. سپس پایگاه داده‌های مشکی به ۳ مجموعه متشکل از نمونه‌های مشکی کاغذی (۱۶۷ نمونه)، پارچه‌ای (۴۵۷ نمونه) و کل نمونه‌های مشکی اعم از کاغذی و پارچه‌ای (۶۲۴ نمونه) دسته‌بندی گردید. در ادامه به‌منظور تعیین ابعاد واقعی طیف

نمونه‌های مشکی و توصیف آنان در فضاهایی با ابعاد محدود، فشرده‌سازی و بازسازی پایگاه داده‌های مشکی با استفاده از اطلاعات طیفی و رنگی متناظر انجام شد [۳۰، ۳۱]. به‌این ترتیب، ابتدا با کاربرد روش تحلیل اجزای اصلی [۳۲-۳۴] بر ماتریس‌های متناظر با سه فضای تعریف شده انعکاس، جذب و معکوس انعکاس متعلق به ۳ مجموعه نمونه‌های مشکی بردارهای ویژه و مقادیر ویژه متناظر برای هر مجموعه داده استخراج گردید. سپس طیف انعکاسی ۳ مجموعه داده مذکور در فضاهای ذکر شده با ابعاد محدود و با استفاده از ترکیب خطی ۱ تا ۵ بردار ویژه نخست بازسازی شد. بررسی خطاهای طیفی و رنگی ناشی از بازسازی به کمک اطلاعات طیفی بیانگر آن است که متناسب با فضای کاربردی و نوع نمونه‌ها به‌کارگیری ۲ تا ۳ اولیه آماری منجر به توصیف مطلوب داده‌های مشکی در فضاهای مورد استفاده می‌شود [۳۰، ۳۱]. همچنین به‌منظور تأیید کافی بودن سه بعد جهت توصیف فضای طیفی سیاهی، بازسازی طیف انعکاس با استفاده از اطلاعات رنگی نمونه‌های مشکی انجام شد [۳۰، ۳۱]. در حقیقت این بار بازسازی طیف انعکاس نمونه‌های سیاه با استفاده از ترکیب خطی رنگ‌های آماری مستخرج از فضای انعکاس نمونه‌ها در حالی انجام شد که ضرایب اولیه‌های آماری با استفاده از روش همانندی رنگی [۳۵] در شرایط مشخص مشاهده به‌دست آمده بودند. ارزیابی نتایج حاصل از بازسازی طیفی نمونه‌های مشکی با استفاده از اطلاعات رنگی در زیر منبع روشنایی D65 و مشاهده‌کننده استاندارد CIE1964 بیانگر دستیابی به جفت‌های متامار نمونه‌های اولیه با خطاهای قابل پذیرش طیفی و رنگی بود. همچنین مقایسه نتایج حاصل از فشرده‌سازی و بازسازی طیفی پایگاه داده‌های مشکی به کمک اطلاعات طیفی و رنگی نشان‌دهنده برتری بازسازی به کمک اطلاعات طیفی در توصیف انعکاس نمونه‌های مشکی در فضاهای با ابعاد کوچک بود [۳۰، ۳۱].

در تحقیق دیگری رفتار طیفی نمونه‌های سیاه در مقایسه با نمونه‌های سفید توسط جعفری و همکارانش بررسی و مطالعه گردید. به‌تحویکه فضای انعکاس ۴۵۷ نمونه مشکی پارچه‌ای که به دو روش چاپ منسوج و رنگ‌ریزی تهیه شده بودند و نیز فاکتور انعکاس کلی ۸۴ نمونه پارچه پنبه‌ای که با استفاده از مواد سفیدکننده نوری سفیدگری شده بودند پایگاه داده مورد استفاده در این تحقیق بودند. در ادامه با استفاده از روش تحلیل اجزای اصلی، توزیع طیفی پایگاه داده‌های متناظر حول بردارهای ویژه مستخرج از فضای متناظر با طیف انعکاس نمونه‌های سفید و سیاه مقایسه گردید و مشخص شد که امکان توصیف طیف انعکاس نمونه‌های سفید با خطاهای طیفی و رنگی کوچکتر در فضای با ابعاد کمتری (۲ بعد) در مقایسه با نمونه‌های مشکی (۴ بعد) وجود دارد. از طرف دیگر اگر چه بردار ویژه نخست در پایگاه داده‌های سفید حامل اطلاعات بیشتری در مقایسه با نمونه‌های سیاه بوده است ولیکن بازسازی طیفی سیاه‌ها با کاربرد تنها یک اولیه آماری منجر به خطاهای رنگی کمتری نسبت به نمونه‌های سفید می‌گردد. این اختلاف در نتیجه تفاوت میان منحنی‌های انعکاسی اصلی و بازسازی شده نمونه‌های سیاه در دو انتهای طیف مرئی است حال آنکه برای نمونه‌های سفید، این تفاوتها مربوط به محدوده طول موج نزدیک به ۴۵۰ نانومتر است که بیشترین انتشار مواد سفیدکننده نوری در آن رخ می‌دهد [۲۹].

## ۴- نتیجه‌گیری

علاوه بر تلاش در تبیین مرزهای رنگی سیاهی و بررسی تأثیر مولفه‌های رنگی در درک سیاهی سعی در تحلیل رفتار طیفی نمونه‌های سیاه نیز داشته است. نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از ارجحیت فامی نمونه‌های سیاه تهنسبز تا ته‌آبی از نظر ارزیابان است. ضمن آنکه بررسی رفتار طیفی نمونه‌های سیاه بیانگر قابلیت توصیف فضای انعکاس نمونه‌های مذکور در فضاهایی با ابعاد محدود می‌باشد. همچنین تلاش‌هایی با هدف ارائه اندیسی مناسب جهت ارزیابی سیاهی نمونه‌های سیاه بر پایه مؤلفه‌های رنگی آنها صورت پذیرفته است.

به‌رغم اهمیت تجاری بالای رنگ سیاه و کاربرد آن در صنایع مختلف نظیر نساجی، رنگ‌های پوشاننده سطوح، چاپ و غیره رفتار طیفی و رنگی نمونه‌های سیاه چندان مورد توجه قرار نگرفته و بررسی نشده است. در حالیکه با توجه به نیاز صنایع جهت کنترل کیفیت محصولات تولیدی لزوم ارائه اندیسی برای ارزیابی سیاهی و مقایسه آن با نتایج ارزیابی‌های چشمی در علم رنگ ضروری به‌نظر می‌رسد. مطالعات محدودی در خصوص سیاهی و در زمینه‌های مختلف پوشاک، چاپ کاغذ و نمونه‌های مانسل انجام شده که

## ۵- مراجع

1. S. Westland, T. L. V. Cheung, O. R. Lozman, "A metric for predicting perceptual blackness", in Proceeding of the 14<sup>th</sup> Color Imaging Conference Final Program and Proceedings, Soc. Imaging Sci. Technol., 14-17, Arizona, **2006**.
2. L. Tao, S. Westland, V. Cheung, "Black", In Proceeding of Create: Colour in Art, Science, Design, Conservation, Research, Printmaking, Digital Technologies, Textiles Conference, Gjøvik, 272-275, Norway, **2010**.
3. R. McDonald, "Color Physics for Industry", 2th Ed, Dyers company publication trust, Bradford, **1997**.
4. A. K. R. Choudhury, "Modern Concepts of Color and Appearance", Science publishers Inc, New Humpshire, **2000**.
5. E. Ganz, "Whiteness: photometric specification and colorimetric evaluation", J. Appl. Opt., 15, 2039-2058, **1976**.
6. "Blackness", <http://www.yourdictionary.com/blackness>, **2008**.
7. E. E. Cahill, "Determination of whiteness and blackness", Am. Sociol. Rev., 36, 762-763, **1971**.
8. S. K. Shevell, "The Science of Color", 2th Ed, Optical Society of America, **2003**.
9. R. S. Berns, "Principles of Color technology", 3rd Ed, John Wiley & Sons, New York, **2000**.
10. M. Kihara, C. M. Asano, M. Murakami, I. Yoshizawa, A. Asano, T. Fujimoto, "The determination of Pure blackness of The Fabric in Women's Formal Dresses, in Proceeding of the 6<sup>th</sup> asian textile conference, 265-270, Hong Cong, **2001**.
11. C. M. Asano, A. Asano, M. Murakami, M. Mori, T. Fujimoto, "A novel evaluation method of Visual impression of Black fabrics, in Proceeding of The asian design international conference, The 3<sup>rd</sup> Annual Conference, G-47, China, **2003**.
12. "What is Kansai engineering?", [http://www.ergolabs.com/kansai\\_engineering.html](http://www.ergolabs.com/kansai_engineering.html), **2008**.
13. C. M. Asano, S. Hirakawa, A. Asano, "Exploration of Image features for Describing visual impressions of Black fabrics", in Proceeding of the KES 2004, 763-765, **2004**.
14. K. Nassau, "Color for Science, art and Technology", Elsevier Science B.V., Netherlands, **1998**.
15. R. Jafari, "Whiteness: Definitions, Concepts and Indices", J. Stud. Color World., 4, 49-56, **2014**.
16. S. Aghayan, "Assessment of Black samples to Determine the preferred black, MS thesis, Amirkabir University of Technology, Iran, **2008**.
17. L. Tao, S. Westland, V. Cheung, "Blackness: Preference and Perception (Hue), in Proceeding of the 19<sup>th</sup> IS&T/SID Color and Imaging Conference", 270-275, San Jose, **2011**.
18. L. Tao, S. Westland, V. Cheung, "Blackness: Preference and Perception (Value and Chroma)", in Proceeding of the 6<sup>th</sup> European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, 253-258, Amsterdam, **2012**.
19. J. R. Clonts, R. Shamey, D. Hinks, "The effect of hue on the perception of blackness using Munsell samples", Color Res Appl., 38, 423-428, **2013**.
20. J. R. Clonts, R. Shamey, D. Hinks, "Effect of Colorimetric Attributes on Perceived blackness of Materials, in Proceeding of the 4<sup>th</sup> European Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, 83-87, Finland, **2010**.
21. R. Clonts, R. Shamey, "Perceptual assessment of Blackness", in Proceeding of the ISCC Special Topics Meeting Black and White, 20-22, **2008**.
22. R. Jafari, S. H. Amirshahi, S. A. Hosseini Ravandi, "Blacks colorimetric boundaries based on The perceived blackness", In Proceeding of the 12th Congress of the International Color Association, AIC Color 2013, 503-506, Newcastle, United Kingdom, **2013**.
23. R. Jafari, "Effect of CIELCH Coordinates on Selection of Preferred Black", J. Color. Sci. Tech., 8, 167-177, **2014**.
24. R. Jafari, S. H. Amirshahi, S. A. Hosseini Ravandi, "Effect of Lightness on Blackness Preference of Black Fabrics", Prog. Color Colorants Coat., 8, 11-24, **2015**.
25. R. Jafari, S. H. Amirshahi, Iranian Patent No. 84135, **2014**.
26. R. Jafari, S. H. Amirshahi, S. A. Hosseini Ravandi, "Determination of spectral dimensions of munsell neutral samples", in Proceeding of AIC 2011 midterm meeting, 447-450, Zurich, Switzerland, **2011**.
27. S. H. Amirshahi, F. Agahian, "Basis functions of the total radiance factor of fluorescent whitening agents", Text. Res. J., 76, 197-207, **2006**.
28. R. Jafari, S. H. Amirshahi, S. A. Hosseini Ravandi, "Actual dimensions of black samples using principal component analysis technique", in Proceeding of the 1<sup>st</sup> International and the 7<sup>th</sup> National Conference on Textile Engineering, Rasht, Iran, **2009**.
29. R. Jafari, S. H. Amirshahi, S. A. Hosseini Ravandi, "A comparison on spectral dimensionality of blacks and whites", in Proceeding of the 5th International Color and Coatings Congress (ICCC 2013), Isfahan, Iran, **2013**.
30. R. Jafari, S. H. Amirshahi, S. A. Hosseini Ravandi, "Spectral analysis of blacks", J. Color Res. Appl., 37, 176-185, **2012**.
31. R. Jafari, "Spectral and colorimetric analysis of blacks", PhD thesis, Isfahan University of Technology, Iran, **2013**.
32. I. T. Jolliffe, "Principal Component Analysis", 2th Ed, Springer Series in Statistics, New York, **2002**.
33. D. Y. Tzeng, R. S. Berns, "A Review of principal component analysis and its applications to color technology", J. Color Res. Appl., 30, 84-98, **2005**.
34. R. A. Johnson, D. W. Wichern, "Applied multivariate statistical analysis", 6th Ed, Pearson Education, Inc., New Jersey, **2007**.
35. H. S. Fairman, M. H. Brill, "The principal components of reflectances", Color Res Appl., 29, 104-110, **2004**.