

# رنگ همانندی در رنگرزی توده پلیمری

سید حسین امیرشاهی  
استادیار

حسین ایزدان  
مربی

دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

## چکیده

در این تحقیق رفتار رنگی مخلوط رنگدانه‌های از قبل دیسپرس شده در رنگرزی توده پلیمری بررسی گردیده است. از نظریه‌های یک ثابتی و دو ثابتی کیوبلکا-مانک برای رنگ همانندی نمونه‌های رنگرزی شده توسط رنگدانه‌های از قبل دیسپرس شده، استفاده شده است. تغییراتی در محاسبه ضرایب جذب و انتشار در نظریه دو ثابتی صورت گرفته است. همچنین در این تحقیق برای جلوگیری از مقادیر منفی یا موهومی ضرایب جذب و انتشار، روش پیشنهادی و الوویت و همکارانش در تعیین ضرایب مزبور تغییر یافته است. نتایج نمایانگر مقادیر اختلاف رنگ یکسانی برای نظریه‌های یک ثابتی و دو ثابتی نسبت به نمونه هدف می‌باشد، اما نظریه یک ثابتی از لحاظ انتخاب رنگ، بهتر از نظریه دو ثابتی می‌باشد.

## *Color Matching in Mass Dyeing*

H. Izadan  
Lecturer

S. H. Amirshahi  
Assistant Professor

Textile Engineering Department Isfahan  
University of Technology

### Abstract

*This paper presents a study of color mixing behaviour of masterbatch pigments in mass dyed synthetic fibers.*

*One/Two Constant Kubelka - Mank theories were employed to predict the targets by using some masterbatch pigments as primaries. Some modifications were applied in the calculation of absorption and scattering coefficients in Two Constant theory. In order to avoid negative or imaginary values for K and S coefficients, the Walowit and his coworker's suggested method for determination of mentioned coefficients, was modified in this research. It was found that One and Two Constant theories showed equal color difference values. Moreover, one Constant theory is better than Two Constant theory regarding dye selection.*

### Keywords

Color Matching, Mass Dyeing, Masterbatch Pigments, Colorimetry, Spectrophotometry, One Constant Kubelka-Mank Theory, Two Constant Kubelka-Mank Theory, Absorption and Scattering Coefficients.

رنگ همانندی، رنگریزی توده پلیمری، رنگدانه های از قبل دیسپرس شده، کالریمتری، اسپکتروفوتومتری، نظریه یک ثابتی کیوبلکا - مانک، نظریه دو ثابتی کیوبلکا - مانک، ضرایب جذب و انتشار.

مقدمه

یکی از مهمترین مشکلات صنعت رنگ، چگونگی تخمین مقدار لازم از رنگ های مورد نیاز برای ایجاد فام مشخص می باشد. برای مدت ها تأمین این نیاز با استفاده از تجربیات و هنر افراد ماهر در رنگ همانندی صورت می گرفت. اگر چه با پیشرفت علوم و ارائه نظریه های جدید در زمینه رنگ و نور، استفاده از روش های علمی برای رنگ همانندی گسترش یافت، ولی با ورود کامپیوتر به عرصه کارهای علمی و صنعتی و استفاده از آن در علم رنگ بود که کاربرد این نظریه ها میسر گردید. امروزه اگر چه از زمان استفاده از کامپیوتر و برنامه های کامپیوتری برای رنگ همانندی مدت ها می گذرد، ولی استفاده از این روش ها در تولید الیاف رنگین به روش رنگریزی توده پلیمری کمتر مورد توجه بوده و در واقع اغلب مقالات منتشر شده، فقط رنگریزی منسوجات به روش کلاسیک را مد نظر قرار داده اند. از سوی دیگر، الزام استفاده از رنگریزی توده پلیمری به عنوان ارزانتترین و عملی ترین شیوه تولید الیاف رنگین در بعضی از الیاف مصنوعی مانند پلی پروپیلن که تقریباً اجتناب ناپذیر می باشد، ضرورت استفاده از روش های رنگ همانندی کامپیوتری را در این روش رنگریزی ایجاد می نماید.

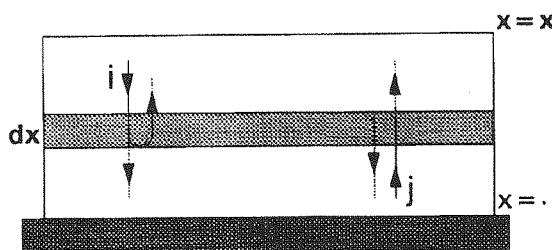
پژوهش های انجام شده قبلی در زمینه رنگ همانندی، از نظریه یک ثابتی کیوبلکا - مانک در اختلاط رنگینه ها در رنگریزی منسوجات [۴-۱] و از نظریه دو ثابتی کیوبلکا - مانک در مخلوط رنگدانه ها در رنگ های پوششی [۵، ۲-۱] و الیاف از پیش رنگ شده [۸-۶، ۴] و پلاستیک [۹، ۴] استفاده شده است، ولی مطلبی ویژه درخصوص اختلاط رنگدانه های از قبل دیسپرس شده در درون بستری از پلیمر در رنگریزی توده پلیمری گزارش نگردیده است.

هدف اصلی از تحقیق حاضر، یافتن الگوریتمی جهت رنگ همانندی در رنگریزی توده پلیمری است و برای این هدف، هر دو نظریه یک ثابتی و دو ثابتی کیوبلکا - مانک مورد بررسی قرار گرفته اند. از آنجا که در سال های

اخیر توجه ویژه ای به تولید الیاف پلی پروپیلن رنگین در کشور صورت گرفته و تولید این لیف رشد سریعی را در چند سال گذشته داشته است، از این الیاف به عنوان لیف پایه در رنگریزی توده پلیمری استفاده شده است.

مروری بر کارهای انجام شده قبلی در زمینه رنگ همانندی نظریه کیوبلکا - مانک

نمونه های پشت پوش مهمترین گروه برای انجام کارهای فرمولاسیون رنگ ها مثل پوشش های سطحی، کاغذ، منسوجات و اکثر پلاستیک ها هستند. مدل های ریاضی برای چنین اجسامی نسبت به اجسام شفاف پیچیده تر هستند. نمونه های نیمه شفاف از نظر تجاری اهمیت کمتری دارند و به معادلات نسبتاً پیچیده تری نسبت به نمونه های پشت پوش نیاز دارند. از آنجا که نمونه های پشت پوش حالت ویژه ای از نمونه های نیمه شفاف هستند، بنابراین جهت توضیح قوانین حاکم بر این اجسام در نظریه کیوبلکا - مانک از حالت عمومی نیمه شفاف استفاده شده است. در نظریه ارائه شده، فیلمی در نظر گرفته می شود که علاوه بر جذب و انتشار، می تواند قسمتی از نور را نیز منتقل نماید. فیلم بر روی زمینه های با انعکاس  $R_g$  قرار گرفته، به نحوی که ضخامت  $x$  در قسمتی که بر روی زمینه قرار دارد، برابر صفر و در سمت منبع برابر  $x$  است. در این مدل که در شکل شماره ۱ نشان داده شده است، فرض می گردد که نور فقط در دو جهت پایین و بالا منتشر می شود. بنابر این فقط دو کانال به طرف بالا و به طرف پایین وجود دارد که کانال پایینی حاوی نور اصلی قبل از انتشار است این نور اصلی مانند همه نورهای انتشار یافته بیشتر به صورت پراکنده در نظر گرفته می شود.



شکل (۱) شکل شماتیک آنالیز کیوبلکا - مانک [۲]

بعد از انجام محاسبات و در نظر گرفتن فرضیاتی، انعکاس جسم نیمه شفاف توسط معادله (۱) به دست می آید:

## خاصیت جمع پذیری K و S

برای استفاده از معادلات (۵) و (۶) ابتدا باید ارتباط ضرایب جذب و انتشار یک مخلوط را با ضرایب جذب و انتشار رنگینه های تشکیل دهنده آن پیدا نمود. برای محاسبات کیوبلکا - مانک مشابه رابطه بیر - لامبرت، خاصیت جمع پذیری ضرایب جذب و انتشار متناسب با غلظتشان صادق می باشد:

$$K_t = K_s + C_1 K_1 + \dots + C_n K_n \quad (7)$$

$$S_t = S_s + C_1 S_1 + \dots + C_n S_n \quad (8)$$

که  $K_t$  ضریب جذب کل،  $K_s$  ضریب جذب محمل (substrate)،  $S_t$  ضریب انتشار کل،  $S_s$  ضریب انتشار محمل می باشد و در نهایت

$$\left(\frac{K}{S}\right)_t = \frac{K_s + C_1 K_1 + \dots + C_n K_n}{S_s + C_1 S_1 + \dots + C_n S_n} \quad (9)$$

رابطه شماره (۹) به معادله دو ثابتی کیوبلکا - مانک معروف است و در آن ضرایب جذب و انتشار به صورت جداگانه در نظر گرفته شده اند [۲].

## نظریه یک ثابتی کیوبلکا - مانک

مواردی وجود دارند که در آنها ضریب انتشار به طور کلی بدون توجه به رنگ به کار رفته ثابت می باشد. برای مثال در منسوجات یا کاغذ رنگین، انتشار نور تقریباً تنها به وسیله الیاف منسوج یا کاغذ تعیین می شود. در این حالت می توان فرض کرد، هر رنگ که به منسوج یا کاغذ اضافه می شود، در لیف حل شده و تغییری در ضریب انتشار محمل ایجاد نمی نماید. پس با توجه به فرمول (۹) و اینکه انتشار رنگینه ها نسبت به انتشار محمل قابل صرف نظر کردن است، معادله (۱۰) به دست می آید:

$$\left(\frac{K}{S}\right)_t = \frac{K_s + C_1 K_1 + \dots + C_n K_n}{S_s} \quad (10)$$

اگر

$$\left(\frac{K}{S}\right)_s = \frac{K_s}{S_s}, \left(\frac{K}{S}\right)_1 = \frac{K_1}{S_s}, \dots, \left(\frac{K}{S}\right)_n = \frac{K_n}{S_s} \quad (11)$$

پس

$$R = \frac{1 - R_g (a + b \coth (bSX))}{a - R_g + b \coth (bSX)} \quad (1)$$

به طوری که:

$$\coth (bsx) = \frac{e^{bsx} + e^{-bsx}}{e^{bsx} - e^{-bsx}} \quad (2)$$

$$b = (a^2 - 1)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$a = 1 + \frac{K}{S} \quad (4)$$

معادله (۱) شکل پایه معادله کیوبلکا - مانک است. این معادله نشان می دهد که انعکاس یک فیلم نیمه شفاف به چهار عامل ضریب جذب  $K$ ، ضریب انتشار  $S$ ، ضخامت فیلم  $X$ ، و انعکاس زمینه  $R_g$  بستگی دارد.

معادله (۱) به ندرت مورد استفاده قرار می گیرد و در واقع شکل های ساده شده آن برای فیلم های پشت پوش استفاده می گردند. برای ایجاد حالت پشت پوش لازم است که ضریب انتشار فیلم و یا ضخامت آن زیاد شود، یعنی  $X$  یا  $S$  به سمت بی نهایت میل نماید که در این شرایط  $e^{-bsx}$  در مقایسه با  $e^{bsx}$  قابل صرف نظر کردن بوده و تابع کتانژانت هایپربولیک، برابر واحد می شود و معادله منتهی به شکل معادله ۵ ساده می شود:

$$R_\infty = 1 + \left(\frac{K}{S}\right) - \left[\left(\frac{K}{S}\right)^2 + 2\left(\frac{K}{S}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$R_\infty$  انعکاس در ضخامت نامحدود است و منظور ضخامتی است که هر چه زیادتر گردد تأثیری در انعکاس نمونه ایجاد نمی نماید. حل معادله (۵) برای  $K/S$  نتیجه زیر را خواهد داد:

$$\left(\frac{K}{S}\right) = \left(\frac{1 - R_\infty}{2R_\infty}\right)^2 \quad (6)$$

معادله های (۵) و (۶) به طور فراگیری برای نمونه های پشت پوش استفاده می گردند. معادله (۶) در حال حاضر در بسیاری متون به عنوان معادله کیوبلکا - مانک شناخته می شود. توجه شود که در این دو معادله ضخامت  $X$  و انعکاس زمینه  $R_g$  ظاهر نمی گردند و همچنین دیده می شود که  $S$  و  $K$  فقط به صورت نسبت  $K/S$  ظاهر می شوند [۱۳-۱۰، ۲].

$$\left(\frac{K}{S}\right)_t = \left(\frac{K}{S}\right)_s + C_1 \left(\frac{K}{S}\right)_1 + \dots + C_n \left(\frac{K}{S}\right)_n \quad (12)$$

یعنی در هر طول موج فقط نیاز به داشتن یک ضریب K/S به جای دو ضریب منفرد S و K برای هر رنگینه می باشد. معادله فوق به معادله یک ثابتی کیوبلکا - مانک معروف است [۲-۳].

### روش های رنگ همانندی

به طور کلی دو روش اسپکتروفتومتری و کالریمتری برای همانند نمودن یک نمونه مجهول وجود دارد که هر دو روش در زیر توضیح داده می شوند.

### رنگ همانندی اسپکتروفتومتری

هدف از رنگ همانندی اسپکتروفتومتری، همانند نمودن منحنی انعکاسی طیفی نمونه با استاندارد می باشد. که توضیح ریاضی این هدف را اینگونه می توان بیان نمود:

$$\sum (\Delta R(\lambda_i))^2 \rightarrow \min \quad (13)$$

یعنی در این روش سعی در به حداقل رساندن اختلاف منحنی های انعکاس طیفی نمونه و هدف می شود. برای اینکه این هدف تأمین گردد، از روش حداقل مجموع مربعات (Least Square Technique) استفاده می گردد [۱۴، ۸، ۱-۲]. مطابق این روش، غلظت رنگینه ها توسط حداقل نمودن مجموع مربع اختلاف های بین منحنی های انعکاس طیفی نمونه و هدف در تمام طول موج ها محاسبه می گردد.

### محاسبه ضرایب جذب (K) و انتشار (S)

در محاسبه غلظت رنگ ها، نیاز است تا ضرایب جذب و انتشار K و S در نظریه دو ثابتی و ضریب K/S برای نظریه یک ثابتی کیوبلکا - مانک تعیین گردند. یکی از اولین روش ها برای محاسبه این ضرایب، استفاده از مخلوط های دوتایی (binary blends) [۱۵] است که با این روش نتایج به دست آمده از مخلوط های دو تایی تهیه شده از رنگ های یکسان و با غلظت های متفاوت، با یکدیگر اختلاف دارند. روش دیگری که تا چندی پیش مرسوم بوده و جواب های نسبتاً مناسبی می دهد، استفاده از پنج تا هشت غلظت متفاوت برای هر رنگ و محاسبه ضرایب مزبور بر مبنای این غلظت های اولیه

بوده، که این روش، روش نردبانی (tint ladder) نامیده می شود [۱۶، ۲]. جدیدترین و مناسب ترین روش برای محاسبه ضرایب جذب و انتشار توسط Walowit و همکارانش ارائه شد که مطابق آن برای تعیین ضرایب K و S (که به طور صحیح تر در این روش باید شبه ضرایب جذب و انتشار نامیده شوند)، از مخلوط های چند تایی رنگ های اولیه با یکدیگر استفاده می شود. این روش دارای مزایای زیر می باشد:

(i) چون تأثیر احتمالی رنگ ها روی یکدیگر در مخلوط، در محاسبات لحاظ می گردد، غلظت های نهایی به دست آمده از دقت بالاتری برخوردارند.

(ii) نیازی به تهیه مخلوط های دوتایی از هر رنگ یا استفاده از روش نردبانی نبوده و می توان از مخلوط های تهیه شده قبلی برای محاسبه استفاده نمود.

(iii) در صورت نیاز می توان به بعضی از مخلوط ها که اهمیت بیشتری دارند، ارزش ویژه ای داد [۱۵].

### رنگ همانندی کالریمتری

هدف از رنگ همانندی به روش کالریمتری، یکسان ساختن رنگ نمونه و استاندارد زیر یک منبع نوری و با انتخاب رنگ های اولیه مناسب می باشد. در این روش، رنگ همانندی به وسیله برابر نمودن محرکه های سه گانه رنگ (X, Y, Z یا L\*, a\*, b\*) برای نمونه و استاندارد زیر یک منبع نوری مشخص صورت می گیرد. بنابراین هدف نهایی رنگ همانندی کالریمتری، تولید اختلاف رنگ برابر صفر بین نمونه و استاندارد می باشد. بیان ریاضی این هدف، چنین است:

$$(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) \rightarrow (0, 0, 0) \quad (14)$$

برای این روش رنگ همانندی، بیشتر از الگوریتم Allen استفاده می گردد.

### مشکلات روش Allen در رنگ همانندی کالریمتری و روش های رفع آنها

این روش دارای دو مشکل اساسی زیر می باشد:

الف - انتخاب تصادفی رنگ های اولیه و فرض موهومی مقادیر انتشار فرضی برابر یک برای محاسبات اولیه که ممکن است سبب همگرایی آهسته یا عدم همگرایی شود [۱۷].

ب - محدود بودن تعداد رنگ ها به سه رنگ در حالت یک ثابتی و چهار رنگ در حالت دو ثابتی.

مشکل اول یعنی انتخاب تصادفی رنگ ها و فرض ضریب انتشار برابر یک در تمام طول موج ها برای محاسبات اولیه، توسط استفاده از روش اسپکتروفوتومتری و به دست آوردن یک همانندی اولیه که بیشتر به استاندارد نزدیک است، حل گردیده است [۸]. مشکل محدود بودن تعداد رنگ ها، ابتدا با افزایش یکی از محرکه های سه گانه از منبع نوری دیگر، که بیشتر محرکه X است، به طور نسبی حل شد، به نحوی که در این حالت تعداد رنگ ها برای حالت یک ثابتی به چهار رنگ افزایش یافت [۶]. همچنین Sluban [۱۸] روشی را ارائه داده است که در آن در سیستم یک ثابتی برای داشتن همانندی متعادل تر، رنگ همانندی زیر منابع نوری مختلف صورت می گیرد که در این حالت نیز تعداد رنگینه های استفاده شده می تواند به بیش از سه رنگ افزایش یابد. Holdaway [۱۹] با استفاده از افزاینده ماتریس ها (matrix partitioning) و شبه معکوس ماتریس ها (matrix pseudo-inverse) روشی را پیشنهاد داده که به طور کلی محدودیت تعداد رنگ ها در کالریمتری از بین رفته است و در نهایت مطابق آخرین تحقیقات، امیرشاهی و پیلترپ (Pailthorpe) [۸] با استفاده از شبه معکوس ماتریس ها و روش مرسوم Allen در کالریمتری، روشی ساده ای برای حذف محدودیت تعداد رنگ ها در کالریمتری پیشنهاد داده اند.

### نحوه انتخاب رنگ در رنگ همانندی

همانگونه که قبلاً گفته شد در رنگ همانندی کالریمتری انتخاب اولیه حدسی بوده و به همین دلیل در بسیاری از موارد به دلیل عدم انتخاب صحیح رنگ های اولیه، همانندی صورت نمی گیرد. برای حل این مشکل می توان ابتدا یک رنگ همانندی به روش اسپکتروفوتومتری با بسته رنگی در دسترس انجام داد و در نتیجه، هم رنگ های مناسب برای همانندی از بسته رنگی انتخاب می شوند و هم نسخه رنگی اولیه مناسبی برای شروع رنگ همانندی کالریمتری به دست می آید. برای انتخاب رنگ در اسپکتروفوتومتری، McGinnis [۱۴] روشی را پیشنهاد داده که توسط Walowit و همکارانش [۶] نیز توصیه شده است. این روش شامل دو مرحله زیر است:

الف) بسته رنگی کاملی به عنوان رنگ های اولیه به

اسپکتروفوتومتری معرفی شده و محاسبات مربوط به همانندی با استفاده از تمامی رنگ ها صورت می گیرد. آنگاه هر کدام از رنگ ها که غلظت محاسبه شده آن در نسخه پیشنهادی منفی باشد، حذف می گردند و محاسبات تا هنگامی که غلظت منفی در نسخه پیشنهادی وجود نداشته باشد، تکرار می گردد. در واقع در این مرحله حداقل غلظت رنگ ها در نسخه، به صفر محدود می گردد.

ب) مرحله بعدی انتخاب رنگ در رنگ همانندی، استفاده از آزمایش آماری F می باشد.

### تجربیات مواد مصرفی

رنگدانه های از قبل دیسپرس شده با نام های تجارتي زیر که توسط شرکت هوخست عرضه می گردد، مورد استفاده قرار گرفت:

1 - Remafin Yellow HR-AE30

2 - Remafin Blue AED874

3 - Remafin Black PEA-AE30

4 - Remafin Red B-AE30

5 - Maxithen HP 811691F beige

پلی پروپیلن مورد استفاده از نوع V30S با MFI برابر ۱۶ از شرکت صنایع پتروشیمی اراک بود.

### دستگاه ها و وسایل مورد استفاده الف - دستگاه ذوبرسی الیاف

دستگاه الیاف سازی مورد استفاده یک واحد ذوبرسی نیمه صنعتی، ساخت کارخانه Automatik بود. عنوان شده است که این دستگاه برای تولید الیاف پلی استر، نایلون ۶، نایلون ۶۶ و پلی پروپیلن به صورت فیلامنت های ظریف از ۷۰ تا ۱۲۰ دنیر در سرعت های ۲۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر در دقیقه، مناسب می باشد.

### ب - دستگاه اسپکتروفوتومتر

مشخصات این دستگاه چنین می باشد:

اندازه دیافراگم ۱۸ میلی متر

نوع لامپ زنون (Xenon)

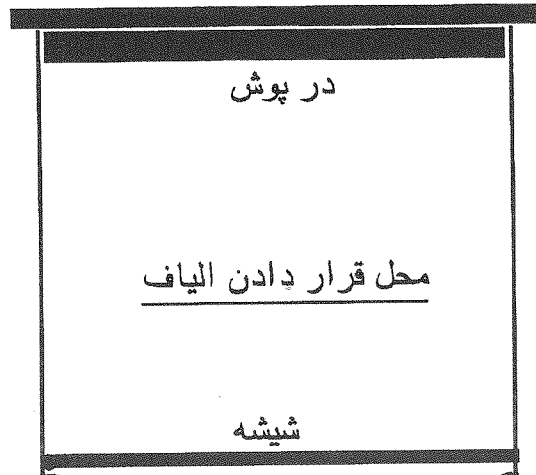
هندسه اندازه گیری دستگاه ۰/d

قابل ذکر است که در این دستگاه جلا حذف نمی شود.

### ج - نگهدارنده الیاف

به دلیل نیاز به وسیله ای خاص جهت نگهداری الیاف

برای اندازه‌گیری انعکاس آنها با دستگاه اسپکتروفتومتر، وسیله‌ای که مشخصات آن در شکل ۲ نشان داده شده است، در کارگاه‌های فنی دانشگاه صنعتی اصفهان ساخته شد.



شکل (۲) شکل شماتیک نگهدارنده الیاف

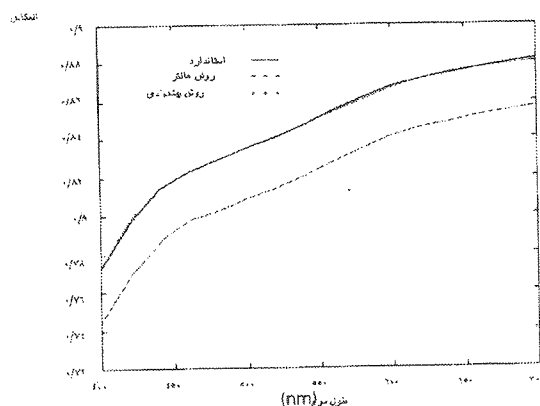
در تمامی طول موج‌ها به توان  $0/926$  برسد. در این تحقیق روش دیگری به کار برده شد که مطابق آن کالیبراسیون دستگاه اسپکتروفتومتر با نمونه‌های سفید و سیاه استاندارد، همراه با شیشه انجام گردید. این روش می‌تواند مزایای زیر را دارا باشد:

الف - آسانی نحوه استفاده.

ب - به دلیل تفاوت بین مقدار انتقال نور شیشه‌های مختلف و در نتیجه تفاوت تأثیر شیشه روی مقدار انعکاس نمونه‌ها در طول موج‌های مختلف، کاربرد عدد ثابت  $0/926$  در تمامی طول موج‌ها و برای تمامی انواع شیشه‌ها مناسب به نظر نمی‌رسد. در حالی که استفاده از شیشه در حین کالیبراسیون دستگاه اسپکتروفتومتر، می‌تواند این قبیل اشکالات را حذف نماید.

به منظور مقایسه بین روش پیشنهادی در این پژوهش و روش ارائه شده توسط هانتز، آزمایش زیر صورت پذیرفت:

ابتدا اسپکتروفتومتر بدون کاربرد شیشه کالیبره گردید و انعکاس پنج نمونه پارچه پلی استری رنگریزی شده با رنگینه‌های دیسپرس به رنگهای قرمز، آبی، زرد خاکستری و خود رنگ، یک بار بدون حضور شیشه و بار دیگر با حضور شیشه روی آنها، اندازه‌گیری شد. شیشه مورد استفاده در این مرحله از نوع کوارتز بود. نتایج به دست آمده برای هر یک از پارچه‌ها در شکل‌های شماره ۲ تا ۷ نشان داده شده‌اند. در همه این شکل‌ها، منحنی توپر، انعکاس واقعی نمونه، منحنی خط مقطع، انعکاس تصحیح شده به روش هانتز و منحنی نقطه چین انعکاس تصحیح شده به روش پیشنهادی در این پژوهش می‌باشد.



شکل (۳) مقایسه بین دو روش تصحیح اثر شیشه برای پارچه پلی استری خود رنگ

در پوش

محل قرار دادن الیاف

شیشه

## روش‌های آزمایشگاهی

### الف - تولید الیاف پلی پروپیلن رنگین

الیاف رنگین پلی پروپیلن توسط مخلوط‌سازی رنگدانه‌های دیسپرس شده با گرانول پلی پروپیلن و سپس ذوب‌ریسی آن به وسیله دستگاه الیاف‌سازی تهیه گردیدند.

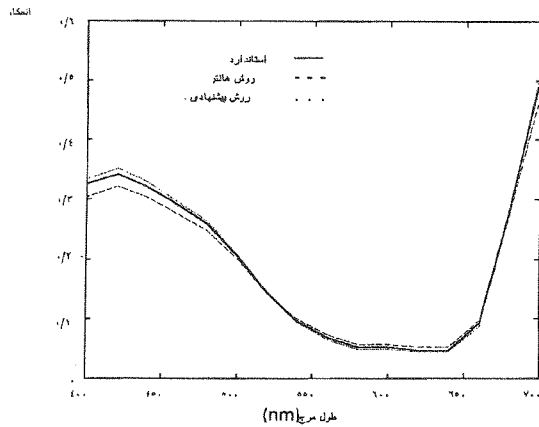
### ب - روش اندازه‌گیری انعکاس نمونه‌ها

الیاف پروپیلن رنگین و یا خود رنگ به وزن ۲۵ گرم به صورت تصادفی در نگه دارنده الیاف قرار داده شدند و انعکاس آنها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر که با شیشه کالیبره شده بود، اندازه‌گیری شد. برای افزایش دقت اندازه‌گیری، انعکاس نمونه‌ها با چهار بار چرخش نگه دارنده الیاف در زوایای  $90^\circ$  درجه‌ای نسبت به یکدیگر، اندازه‌گیری و متوسط آنها به عنوان انعکاس نمونه در نظر گرفته شد.

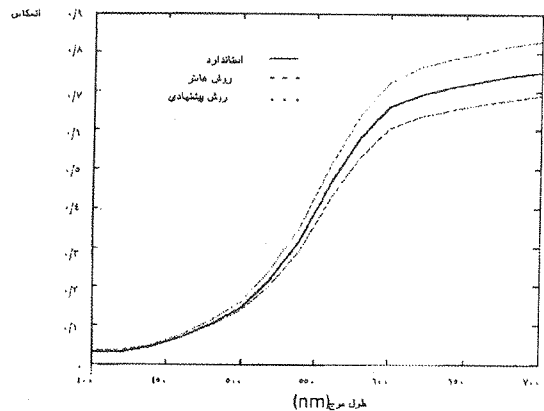
## ۳- ارائه نتایج

### تصحیح اثر شیشه

از آنجا که حضور شیشه در هنگام اندازه‌گیری انعکاس نمونه‌ها، باعث تغییر منحنی انعکاسی می‌شود، بنابراین نیاز به روشی برای کاهش اثر شیشه بود. براساس روشی که توسط هانتز (Hunter) [۲۰] ارائه شده است، برای اصلاح اثر شیشه لازم است که انعکاس



شکل (۷) مقایسه بین دو روش تصحیح اثر شیشه برای نمونه آبی رنگ



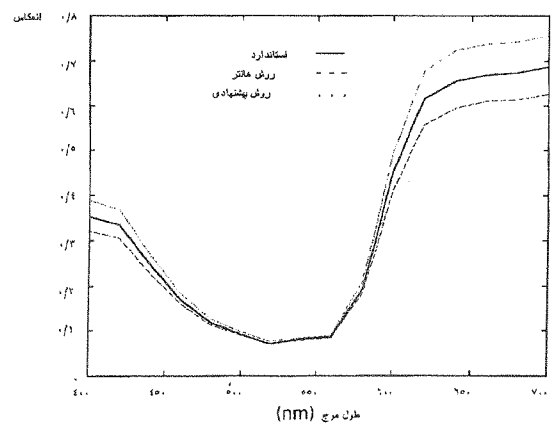
شکل (۴) مقایسه بین دو روش تصحیح اثر شیشه برای نمونه زرد رنگ

## برنامه‌های کامپیوتری رنگ همانندی در نظریه‌های یک ثابتی و دو ثابتی کیوبیکا-مانک

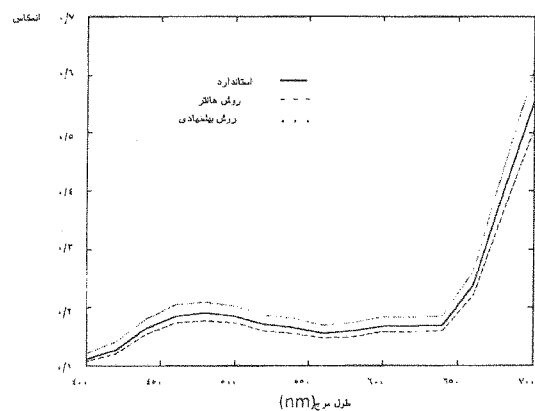
به دلیل اینکه هدف اصلی از تحقیق حاضر، بررسی نحوه تبعیت سیستم رنگ همانندی در رنگ‌رزی توده پلیمری از یکی از نظریه‌های یک ثابتی و دو ثابتی کیوبیکا-مانک بود، بنابر این برنامه کامپیوتری رنگ همانندی برای هر دو نظریه یک ثابتی و دو ثابتی و در زبان برنامه‌نویسی متلب (MATLAB) نوشته شد. الگوریتم مورد استفاده برای تهیه برنامه کامپیوتری برای هر دو نظریه به طور مجزا ارائه گردیده‌اند:

## الگوریتم به کار رفته در رنگ همانندی کامپیوتری با استفاده از نظریه یک ثابتی

- الف - محاسبه ضرایب K/S رنگ‌های اولیه به روش Walowitz اصلاح شده برای نظریه یک ثابتی،
- ب - محاسبه غلظت‌های پیشنهادی توسط روش رنگ همانندی اسپکتروفتومتری با استفاده از تمامی رنگ‌های بسته رنگی مورد استفاده،
- ج - حذف رنگ‌هایی که در نسخه پیشنهادی توسط روش اسپکتروفتومتری، دارای غلظت‌های منفی هستند.
- د - انجام آزمایش F برای حذف رنگ‌هایی که کاربرد آنها تأثیر چندانی در همانندی ندارد، ولی غلظت‌های آنها منفی نیست،
- ه - محاسبه محرکه‌های سه گانه و اختلاف رنگ بین نمونه پیشنهادی و نمونه استاندارد تحت منابع نوری A و  $D_{65}$



شکل (۵) مقایسه بین دو روش تصحیح اثر شیشه برای نمونه قرمز رنگ



شکل (۶) مقایسه بین دو روش تصحیح اثر شیشه برای نمونه خاکستری رنگ

و - رنگ همانندی به روش کالریمتری به صورتی که هدف رنگ همانندی، اختلاف رنگ برابر صفر زیر منبع نوری  $D_{65}$  و مشاهده کننده استاندارد ۱۹۶۴ سی آی ای (CIE) می باشد،

ز - محاسبه محرکه های سه گانه و اختلاف رنگ حاصله تحت منابع نوری  $A, D$ ،

ح - تکرار عملیات در رنگ همانندی کالریمتری تا وقتی که اختلاف رنگ بین نمونه پیشنهادی کامپیوتر و استاندارد، روند کاهشی داشته باشد و یا مقدار اختلاف رنگ صفر گردد و یا اینکه در نسخه پیشنهادی غلظت های منفی یا موهومی ایجاد شوند،

ط - رسم منحنی های انعکاس طیفی استاندارد و نمونه پیشنهادی به روش های رنگ همانندی اسپکتروفتومتری و کالریمتری،

ی - ذخیره نسخه پیشنهادی، محرکه های سه گانه و اختلاف رنگ تحت منابع نوری  $A, D$  مربوط به روش های اسپکتروفتومتری و کالریمتری در یک فایل جداگانه و نشان دادن آنان در صفحه نمایش،

### الگوریتم به کار رفته در رنگ همانندی کامپیوتری با استفاده از نظریه دو ثابتی

الف - محاسبه ضرایب جذب و انتشار برای تمامی رنگ های اولیه به روش Walowit یا بسه روش  $S_{w,i} = 1$  و محاسبه  $K$  و  $S$  بقیه رنگ ها نسبت به  $K$  و  $S$  نمونه خود رنگ،

ب - محاسبه غلظت های پیشنهادی توسط روش اسپکتروفتومتری با استفاده از تمامی رنگ های بسته رنگی اولیه به طوری که مجموع آنها برابر یک باشد،

ج - حذف رنگ هایی که در نسخه پیشنهادی توسط روش اسپکتروفتومتری، دارای غلظت های منفی هستند،

د - انجام آزمایش  $F$  برای حذف رنگ هایی که کاربرد آنها تأثیر چندانی در همانندی ندارد، ولی غلظت های آنها منفی نبوده است،

ه - محاسبه محرکه های سه گانه و اختلاف رنگ بین نمونه پیشنهادی و نمونه استاندارد تحت منابع نوری  $A$  و  $D_{65}$ ،

و - در صورتی که نسخه پیشنهادی نهایی در رنگ همانندی اسپکتروفتومتری تک رنگی باشد، برنامه در همین جا ختم می شود،

ز - برای نسخه های پیشنهادی در رنگ همانندی اسپکتروفتومتری با دو یا بیش از دو رنگ، رنگ

همانندی کالریمتری صورت می گیرد. به صورتی که هدف رنگ همانندی اختلاف رنگ برابر صفر زیر منبع نوری  $D_{65}$  و مشاهده کننده ۱۹۶۴ سی آی ای می باشد،

ح - تکرار عملیات در رنگ همانندی کالریمتری تا وقتی که اختلاف رنگ بین نمونه پیشنهادی کامپیوتر و استاندارد، روند کاهشی داشته باشد و یا مقدار اختلاف رنگ صفر گردد و یا اینکه در نسخه پیشنهادی غلظت های منفی یا موهومی ایجاد شوند،

ط - رسم منحنی های انعکاس طیفی استاندارد و نمونه پیشنهادی به روش های رنگ همانندی اسپکتروفتومتری و کالریمتری،

ی - ذخیره نسخه پیشنهادی، محرکه های سه گانه و اختلاف رنگ تحت منابع نوری  $A$  و  $D_{65}$  مربوط به روش های اسپکتروفتومتری و کالریمتری در یک فایل جداگانه و نشان دادن آن بر صفحه نمایش،

### نحوه محاسبه ضرایب $K$ و $S$ در نظریه دو ثابتی و با فرض اولیه $S_w = 1$

به دلیل کاربرد این روش در برنامه کامپیوتری نوشته شده برای رنگ همانندی در سیستم دو ثابتی و همچنین به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی در مورد این روش در مراجع، این روش نیز توضیح داده می شود.

با استفاده از روش پیشنهادی Walowit و همکارانش [۱۵] و ذکر این نکته که می توان ضرایب  $K$  و  $S$  رنگ ها را نسبت به ضرایب  $K$  و  $S$  یک رنگ معلوم سنجید و همچنین با توجه به روش های قدیمی محاسبه این ضرایب که با فرض  $S_w = 1$  صورت می گرفت [۱۷، ۵]، روش زیر برای محاسبه این ضرایب به کار گرفته شد:

با فرض اینکه ضریب انتشار یکی از رنگ های اولیه در تمام طول موج ها برابر یک باشد، یعنی

$$S_i(\lambda) = 1 \quad (15)$$

و با توجه به معادله (۶) انعکاس نمونه حاوی آن رنگ و معادله (۱۵)، نتیجه می شود:

$$\left(\frac{K}{S}\right)_i = K_i \quad (16)$$

و با استفاده از معادله های (۹)، (۱۵) و (۱۶)، معادله (۱۷) به دست می آید.



$$\text{KandS} = \begin{bmatrix} K_2 \\ \vdots \\ K_n \\ S_2 \\ \vdots \\ S_n \end{bmatrix} \quad (24) \quad ((2n-2) \times 1)$$

### بررسی نحوه رنگ همانندی در رنگریزی توده پلیمری

با استفاده از تعداد ۳۰ نمونه رنگ شده از الیاف پلی پروپیلن به روش رنگریزی توده پلیمری و با استفاده از برنامه ای کامپیوتری رنگ همانندی یک ثابتی و دو ثابتی، نسخه های پیشنهادی برای تعداد ۲۲ نمونه مجهول به دست آمد. نحوه عمل بدینگونه بود که از بین ۳۰ نمونه رنگی، یکی از نمونه ها به عنوان مجهول معرفی و ۲۹ نمونه دیگر به عنوان نمونه های کالیبراسیون اولیه در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل برای روش یک ثابتی در جدول شماره ۱ نشان داده شده اند. در این جدول به دلیل اینکه از سیستم یک ثابتی کیوبلکا - مانک استفاده شده است، غلظت رنگها نسبت به وزن کالا ذکر گردیده اند.

برای روش دو ثابتی که در آن شبه ضرایب جذب و انتشار با استفاده از روش معمول و الویت و همکارانش به دست آمد، نسخه های پیشنهادی اسپکتروفتومتری به اعداد موهومی منجر می شد. به همین دلیل و برای رفع این مشکل، محاسبه ضرایب جذب و انتشار رنگ های اولیه با استفاده از فرض  $S_w = 1$  و محاسبه سایر ضرایب، نسبت به ضرایب جذب و انتشار لیف خود رنگ صورت پذیرفت. نسخه های پیشنهادی در سیستم دو ثابتی و با استفاده از این روش در جدول شماره ۲ نشان داده شده اند.

### بحث

#### تصحیح اثر شیشه

باتوجه به شکل ۳ که مربوط به نمونه خود رنگ می باشد، مشخص است که منحنی مربوط به تصحیح اثر شیشه به روش هانتز [۲۰] با منحنی نمونه اصلی اختلاف بیشتری نسبت به روش پیشنهادی این پژوهش دارد، هر چند که مقدار این اختلاف بسیار جزئی می باشد (مقیاس این نمودار برای وضوح بیشتر اختلاف بین منحنی ها، با مقیاس های نمودارهای مربوطه بعدی

$$-(C_2 K_2(\lambda) + \dots + C_n K_n(\lambda)) + \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix}}(\lambda) (C_2 S_2(\lambda)) + \dots + C_n S_n(\lambda) = C_1 K_1(\lambda) - \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix}}(\lambda) (C_1 S_1(\lambda)) \quad (17)$$

باتوجه به ماتریس های زیر:

$$\text{KSCOEF} = \begin{bmatrix} X_{1,2} & X_{1,3} & \dots & X_{1,2n-2} \\ X_{2,2} & X_{2,3} & \dots & X_{2,2n-2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{m,2} & X_{m,3} & \dots & X_{m,2n-2} \end{bmatrix} \quad (m \times (2n-2)) \quad (18)$$

که:

$$X_{m,2} = -C_2, X_{m,3} = -C_3, \dots, X_{m,n} = -C_n$$

$$X_{m,n+1} = C_2 \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix}}, X_{m,n+2} = C_2 \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix}}, \dots, X_{m,2n-2} = C_n \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix}} \quad (19)$$

و

$$\text{OBS} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_m \end{bmatrix} \quad (m \times 1) \quad (20)$$

که

$$Y_i = (C_1 K_1)_i - \left(\frac{K}{S}\right)_{\text{mix},i} (C_1 S_1)_i \quad i = 1, \dots, m \quad (21)$$

و همچنین با در نظر گرفتن معادله (۲۲)

$$\text{KSCOEF} \times \text{KandS} = \text{OBS} \quad (22)$$

و با استفاده از روش حداقل مربعات، نتیجه می شود که

$$\text{KandS} = (\text{KSCOEF}' \times \text{KSCOEF})^{-1} \times \text{KSCOEF}' \times \text{OBS} \quad (23)$$

در نهایت ماتریس زیر که جواب مورد نظر می باشد، حاصل می گردد:

تفاوت دارد).

در شکل های شماره ۴، ۵ و ۷ که به ترتیب مربوط به نمونه های زرد، قرمز و آبی رنگ می باشند، تطابق منحنی های تصحیح اثر شیشه به روش پیشنهادی این تحقیق با منحنی انعکاسی نمونه اصلی بیشتر از روش هانتز می باشد و اختلاف رنگ های آنها با نمونه اصلی نیز مؤید این امر می باشد. در واقع اختلاف رنگ های محاسبه شده بین نمونه های تصحیح شده به روش پیشنهادی این تحقیق برای نمونه های زرد، قرمز و آبی به ترتیب برابر  $۳/۷۳۱۳$ ،  $۲/۹۵۶۴$  و  $۱/۴۹۸۳$  با نمونه اصلی می باشند و برای همین نمونه ها که به روش هانتز تصحیح شده اند، به ترتیب مقادیر  $۵/۰۴۳$ ،  $۳/۵۳۰۵$  و  $۲/۶۵۲۰$  را دارا می باشند.

در شکل شماره ۶ که مربوط به نمونه خاکستری رنگ می باشد، روش هانتز جواب بهتری داده است و اختلاف رنگ بین نمونه تصحیح شده به روش پیشنهادی این پژوهش با نمونه اصلی  $۱/۹۸۲۳$  و بین نمونه تصحیح شده به روش هانتز با نمونه اصلی برابر  $۱/۳۰۰۱$  می باشد.

اگر چه همانگونه که شکل های شماره ۳ تا ۷ نشان می دهند، مقدار انعکاس تصحیح شده با روش پیشنهادی در این تحقیق بیشتر از انعکاس حقیقی می باشد و این امر به دلیل شکست نور در هنگام برخورد به شیشه غیر ممکن می باشد، و لی با توجه به نتایج حاصل می توان عنوان کرد که این روش نه تنها از نظر نحوه استفاده ساده تر از روش هانتز می باشد، بلکه عمومیت و دقت نسبتاً بالاتری نیز دارد.

## نحوه رنگ همانندی در رنگرزی توده پلیمری

باتوجه به جدول شماره ۱ که مربوط به نسخه های پیشنهادی با نظریه یک ثابتی می باشد، مشاهده می گردد که این روش توانایی رنگ همانندی نمونه های پلی پروپیلن رنگرزی شده به روش توده پلیمری را دارد. روش دو ثابتی که با استفاده از الگوریتم عادی Walowitz و همکارانش [۱۵] برای تعیین مقادیر K و S صورت گرفت، منجر به جواب های موهومی می شد که باعث می گردید رنگ همانندی نمونه های پلی پروپیلن رنگرزی شده به روش توده پلیمری با این الگوریتم امکان پذیر نباشد. بنابراین با استفاده از اصلاحی که بر روش Walowitz و همکارانش صورت گرفت، تعیین ضرایب K و

S نسبت به یک مقدار انتشار فرض شده برابر یک که برای لیف خود رنگ در نظر گرفته شد، صورت پذیرفت. دلیل استفاده از این روش این بود که به نظر می رسید مشکل عدم امکان رنگ همانندی در این سیستم با استفاده از روش معمول والوویت، از فرض برابر یک بودن مجموع ضرایب K و S در این روش ناشی می گردد. به عبارت دیگر چون برای نظریه دو ثابتی باید مجموع غلظت ها برابر یک باشد و غلظت محمل نیز در آن منظور می گردد، غلظت های رنگ ها بسیار کوچک شده و این امر موجب محاسبه K و S با مقادیر منفی می گردید که اگر قدر مطلق این مقادیر از حد خاصی می گذشت، در معادله

$$R_{\infty} = 1 + \left(\frac{K}{S}\right) - \left[\left(\frac{K}{S}\right)^2 + 2\left(\frac{K}{S}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

مقدار زیر رادیکال، یعنی  $\left[\left(\frac{K}{S}\right)^2 + 2\left(\frac{K}{S}\right)\right]$  منفی گشته و مقادیر بعدی محاسبه شده با استفاده از آن، همگی موهومی می شدند.

با استفاده از روش Walowitz که در این تحقیق اصلاح شده است، به دلیل اینکه مقادیر K و S نسبتاً بزرگتری ایجاد می شود، در این مورد می توان مشکل حصول مقادیر موهومی را حذف نمود.

در هر حال، با دقت در جداول شماره ۱ و ۲ و مقایسه نسخه پیشنهادی هر یک از این دو روش نسبت به نسخه اصلی به کار رفته در هر نمونه، جدول شماره ۳ به دست می آید.

اگر اختلاف تعداد و نوع رنگ های به کار رفته در نسخه پیشنهادی را بتوان به عنوان یک معیار در ارزیابی اختلاف این دو نظریه مد نظر قرار داد، آنگاه مطابق جدول شماره ۳ تعداد نسخه های با رنگ های پیشنهادی یکسان نسبت به نسخه اصلی برای روش دو ثابتی کمتر از یک ثابتی است و همچنین تعداد نسخه های پیشنهادی با رنگ های انتخابی متفاوت نسبت به نسخه اصلی برای روش دو ثابتی ۷ نسخه است که این حالت برای روش یک ثابتی وجود ندارد. در نتیجه شاید بتوان از روی این معیار اینگونه نتیجه گرفت که روش یک ثابتی از نظر انتخاب رنگ بهتر از روش دو ثابتی عمل نموده است.

به طور کلی به نظر می رسد هر چند نسخه های پیشنهادی توسط هر دو روش از نظر غلظت رنگ های پیشنهادی نسبت به نسخه اصلی مزیت چشمگیری نسبت به هم ندارند، اما به دلیل مشکلات موجود برای روش دو

از طرف دیگر باتوجه به رابطه بین اندازه ذرات و انتشار نور که مطابق آن انتشار در اندازه ذرات برابر با طول موج نور تابیده شده، حداکثر بوده و در قبل و بعد از آن، مقدار انتشار کاهش می یابد [۲۳]، به نظر می رسد اندازه ذرات رنگدانه در رنگرزی توده پلیمری به گونه ای است که سبب مقدار انتشار کم شده و در نتیجه امکان تبعیت از نظریه یک ثابتی کیوبلکا - مانک میسر می گردد.

### نتیجه گیری تصحیح شیشه

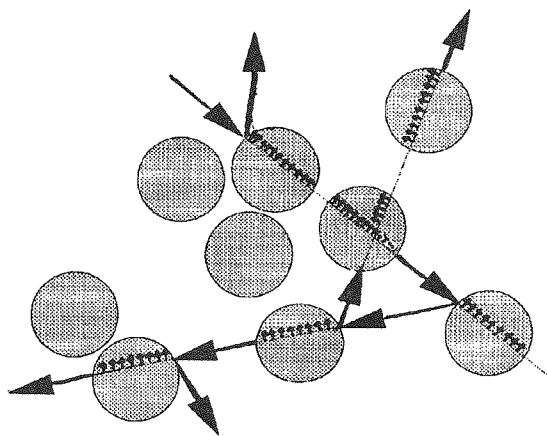
به نظر می رسد که استفاده از روش پیشنهادی در این تحقیق یعنی کالبراسیون دستگاه اسپکتروفتومتر با نمونه های سفید و سیاه استاندارد به همراه شیشه، علاوه بر اینکه روشی ساده و قابل استفاده برای انواع شیشه می باشد، سبب کاهش اثر حضور شیشه شده و به نتایج نسبتاً بهتری در مقایسه با روش پیشنهادی هانتر منجر می گردد.

### نحوه رنگ همانندی در رنگرزی توده پلیمری

باتوجه به نسخه های پیشنهادی برای ۲۲ نمونه الیاف پلی پروپیلن رنگین با استفاده از نظریه یک ثابتی کیوبلکا - مانک که در جدول شماره ۱ نشان داده شده اند، مشاهده می گردد که امکان رنگ همانندی با روش یک ثابتی وجود دارد. همچنین علیرغم عدم امکان رنگ همانندی با نظریه دو ثابتی به روش معمول Walowit برای این سیستم، توجه به جدول شماره ۲ بیانگر این موضوع است که نسخه های پیشنهادی توسط برنامه نوشته شده براساس نظریه دو ثابتی با روش پیشنهادی این پژوهش تفاوت چشمگیری با روش یک ثابتی ندارند، ولی به دلیل انتخاب بهتر رنگ در روش یک ثابتی و همچنین سادگی نسبی برنامه کامپیوتری برای این نظریه، به نظر می رسد که برای رنگ همانندی در رنگرزی توده پلیمری استفاده از روش یک ثابتی مناسب تر می باشد. به عبارت دیگر وجود مقادیر کم از رنگدانه های استفاده شده در این سیستم رنگرزی و در نتیجه انتشار کم نور توسط آنها در مقایسه با توده پلیمر، سبب رنگ همانندی بهتر با استفاده از نظریه یک ثابتی کیوبلکا - مانک می گردد.

ثابتی و انتخاب رنگ بهتر در روش یک ثابتی، بهتر است برای رنگ همانندی نمونه های پلی پروپیلن رنگرزی شده به روش توده پلیمری از روش یک ثابتی استفاده شود. این نتیجه در توافق با بعضی مراجع می باشد که برای رنگ همانندی در سیستم رنگ های پوششی عنوان داشته اند که اگر غلظت رنگدانه های به کار رفته نسبت به رنگدانه سفید از حدی کمتر باشند، بهتر است از روش یک ثابتی برای رنگ همانندی آنها استفاده کرد [۱۰، ۵]. همچنین در خصوص جوهرها نیز عنوان شده است که اگر در جوهرها مقدار رنگدانه سفید کم باشد، استفاده از نظریه یک ثابتی در رنگ همانندی مناسب تر است [۱۲]، زیرا در تمامی این موارد انتشار رنگدانه ها نسبت به محمل کم بوده و می توان از آن صرف نظر نمود.

همچنین Burlon [۲۱] مطالبی را پیرامون امکان تبعیت لیف رنگین از نظریه یک ثابتی کیوبلکا - مانک عنوان داشته است. مطابق اظهارات وی در الیافی که با استفاده از رنگدانه ها رنگین شده اند، انتشار لیف می تواند به غلظت رنگدانه های درون آن بستگی نداشته باشد. به بیان دیگر انتشار توسط رنگدانه ها نسبت به انتشار توسط دسته الیاف، می تواند کوچک در نظر گرفته شود و فقط برای رنگدانه های با انتشار زیاد و یا در صورت استفاده از غلظت های زیاد رنگدانه ها، امکان محسوس بودن انتشار رنگدانه ها نسبت به لیف وجود دارد. شکل شماتیک شماره ۸ می تواند به درک بیشتر این مطلب کمک نماید. مطابق این شکل، انتشار در سطح مابین هوا - لیف بسیار بیشتر از انتشار توسط رنگدانه های درون لیف می باشد و در نتیجه امکان تبعیت رنگ همانندی از نظریه یک ثابتی میسر می گردد.



شکل (۸) شکل شماتیک انتشار نور از سطح و رنگدانه های درون الیاف رنگین [۲۲]

جدول (۱) مقایسه نسخه های پیشنهادی توسط روش يك ثابتی و نسخه های اصلی برای نمونه های

رنگری شده پلی پروپیلن به روش رنگری توده پلیمری

شماره نمونه	نوع رنگ	زرد	آبی	مشکی	قرمز	کرم
۱	پیشنهادی	۰/۴۶۱۰	۰	۰	۰	۰
	اصلی	۰/۵	۰	۰	۰	۰
۲	پیشنهادی	۰/۱۰۶۵	۰	۰	۰/۸۶۵۱	۰
	اصلی	۰	۰	۰	۱	۰
۳	پیشنهادی	۰	۰/۵۰۵۴	۰	۰	۰/۵۰۶۲
	اصلی	۰	۰/۵	۰	۰	۰
۴	پیشنهادی	۰/۲۲۶۳	۰/۰۱۹۶	۰/۰۷۹۷	۰/۰۶۱۸	۰/۰۱۰۸
	اصلی	۰/۲	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵
۵	پیشنهادی	۰/۸۹۰۶	۰/۱۰۳۱	۰/۱۳۵۰	۰/۲۱۷۳	۰/۱۸۸۶
	اصلی	۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲
۶	پیشنهادی	۰/۳۱۶۰	۰/۰۷۱۴	۰/۰۰۹۴	۰/۰۸۸۷	۰
	اصلی	۰/۳	۰/۱	۰/۰۷	۰/۱	۰
۷	پیشنهادی	۰/۱۷۷۵	۰/۳۵۱۰	۰/۰۰۵۵	۰/۴۷۳۹	۰/۲۵۲۵
	اصلی	۰/۱	۰/۲	۰	۰/۳	۰/۲
۸	پیشنهادی	۰/۳۵۱۰	۰/۱۵۸۴	۰/۱۰۲۰	۰	۰/۱۰۲۲
	اصلی	۰/۴	۰/۲	۰/۰۷	۰	۰
۹	پیشنهادی	۰/۶۰۰۵	۰/۷۸۷۸	۰/۱۱۱۶	۰/۱۰۹۰	۰/۰۰۵۹
	اصلی	۰/۴	۰/۶	۰	۰	۰/۲
۱۰	پیشنهادی	۰/۴۸۰۸	۰/۹۴۳۹	۰/۰۴۴۳	۰/۰۶۷۹	۰
	اصلی	۰/۶	۱	۰	۰/۲	۰
۱۱	پیشنهادی	۰/۱۷۶۹	۰/۳۰۷۹	۰	۰/۸۸۹۰	۰
	اصلی	۰/۱	۰/۲	۰	۰/۶	۰
۱۲	پیشنهادی	۰/۱۲۰۶	۰/۰۸۷۲	۰/۰۲۸۹	۰	۰
	اصلی	۰/۱	۰/۱	۰/۰۴	۰	۰
۱۳	پیشنهادی	۰	۰/۴۴۶۵	۰	۰/۳۵۳۱	۰/۳۰۳۵
	اصلی	۰	۰/۴	۰	۰/۳	۰/۱۵
۱۴	پیشنهادی	۰/۰۲۹۵	۰/۲۸۱۹	۰	۰/۲۶۵۹	۰/۰۱۰۸
	اصلی	۰	۰/۳	۰	۰/۴	۰
۱۵	پیشنهادی	۰/۱۷۵۴	۰/۳۷۵۳	۰/۰۰۹۱	۰	۰
	اصلی	۰/۲	۰/۴	۰	۰	۰
۱۶	پیشنهادی	۰	۰/۳۶۷۸	۰	۰	۰/۱۹۰۹
	اصلی	۰	۰/۵	۰	۰	۰/۲
۱۷	پیشنهادی	۰/۲۴	۰	۰	۰/۳۱۸۲	۰
	اصلی	۰/۶	۰	۰	۰/۵	۰
۱۸	پیشنهادی	۰/۲۹۵	۰	۰/۰۷۶۷	۰/۰۱۵۷	۰
	اصلی	۰/۳	۰	۰/۰۵	۰	۰
۱۹	پیشنهادی	۰	۰	۰	۰	۰/۶۴۹۱
	اصلی	۰	۰	۰	۰	۰/۵
۲۰	پیشنهادی	۰/۰۳۳۹	۰	۰	۰/۵۴۱۱	۰
	اصلی	۰	۰	۰	۰/۵	۰
۲۱	پیشنهادی	۰	۰/۹۱۴۰	۰	۰	۰/۱۰۲۳
	اصلی	۰	۰/۳۱۴۵	۰	۰/۰۱۳۱	۰/۱۷۵۸
۲۲	پیشنهادی	۰	۰	۰	۱/۳۸۵۹	۰/۰۱۸۵
	اصلی	۰	۰	۰	۱/۵	۰

جدول (۲) مقایسه نسخه های پیشنهادی توسط روش دو ثابتی و با فرض  $S_w=1$  نسخه های اصلی

برای نمونه های رنگزی شده پلی پروپیلن به روش رنگزی توده پلیمری

شماره نمونه	نوع رنگ	خود رنگ	زرد	آبی	مشکی	قرمز	کرم
۱	پیشنهادی	۰/۹۹۵۹	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۰۱۷	۰
	اصلی	۰/۹۹۵۰	۰/۰۰۰۵	۰	۰	۰	۰
۲	پیشنهادی	۰/۹۹۶۵	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۳	۰
	اصلی	۰/۹۹۰۱	۰	۰	۰	۰/۰۰۹۹	۰
۳	پیشنهادی	۰/۹۹۳۸	۰	۰/۰۰۰۵۷	۰	۰/۰۰۰۰۵	۰
	اصلی	۰/۹۹۵	۰	۰/۰۰۰۵	۰	۰	۰
۴	پیشنهادی	۰/۹۹۳۷	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴۷
	اصلی	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵
۵	پیشنهادی	۰/۹۶۵۰	۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۰۰۲۴	۰	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۵
	اصلی	۰/۹۸۴۳	۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲
۶	پیشنهادی	۰/۹۹۵۲	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۱۷	۰	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۷
	اصلی	۰/۹۹۴۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰
۷	پیشنهادی	۰/۹۹۰۵	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲۴	۰
	اصلی	۰/۹۹۲۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲
۸	پیشنهادی	۰/۹۹۳۵	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۳	۰	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۸
	اصلی	۰/۹۹۳۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۷	۰	۰
۹	پیشنهادی	۰/۹۹۳۵	۰/۰۰۰۷۴	۰/۰۰۰۹۲	۰	۰	۰/۰۰۰۱۷
	اصلی	۰/۹۸۸۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵۹	۰	۰	۰/۰۰۰۲
۱۰	پیشنهادی	۰/۹۸۲۳	۰/۰۰۰۶۲	۰/۰۰۰۹۶	۰	۰	۰/۰۰۰۱۹
	اصلی	۰/۹۸۲۳	۰/۰۰۰۵۹	۰/۰۰۰۹۸	۰	۰/۰۰۰۲	۰
۱۱	پیشنهادی	۰/۹۹۲۹	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۲۷	۰	۰/۰۰۰۳۳	۰
	اصلی	۰/۹۹۱۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۰۰۵۹	۰
۱۲	پیشنهادی	۰/۹۹۷۶	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱۲	۰	۰	۰/۰۰۰۰۴
	اصلی	۰/۹۹۷۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۴	۰	۰
۱۳	پیشنهادی	۰/۹۹۱۹	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۸	۰
	اصلی	۰/۹۹۵۱	۰	۰/۰۰۰۴	۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱۵
۱۴	پیشنهادی	۰/۹۹۵۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۶	۰
	اصلی	۰/۹۹۳۰	۰	۰/۰۰۰۳	۰	۰/۰۰۰۴	۰
۱۵	پیشنهادی	۰/۹۹۱۰	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۳۷	۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۴
	اصلی	۰/۹۹۴۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰	۰	۰
۱۶	پیشنهادی	۰/۹۸۷۹	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۷۱
	اصلی	۰/۹۹۳۰	۰	۰/۰۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۰۰۲
۱۷	پیشنهادی	۰/۹۹۵۱	۰/۰۰۰۲۵	۰	۰	۰/۰۰۰۲۲	۰
	اصلی	۰/۹۸۹۱	۰/۰۰۰۵۹	۰	۰	۰/۰۰۰۴۹	۰
۱۸	پیشنهادی	۰/۹۹۶۷	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۸	۰	۰	۰/۰۰۰۱۷
	اصلی	۰/۹۹۶۵	۰/۰۰۰۳	۰	۰/۰۰۰۰۵	۰	۰
۱۹	پیشنهادی	۱	۰	۰	۰	۰	۰
	اصلی	۰/۹۹۰۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۹۹
۲۰	پیشنهادی	۰/۹۹۷۳	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۲۷	۰
	اصلی	۰/۹۹۵۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۵	۰
۲۱	پیشنهادی	۰/۹۸۹۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۹۸	۰	۰/۰۰۰۰۵	۰
	اصلی	۰/۹۹۰۱	۰	۰/۰۰۰۹۹	۰	۰	۰
۲۲	پیشنهادی	۰/۹۹۵۱	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۰۳۹	۰
	اصلی	۰/۹۸۵۲	۰	۰	۰	۰/۰۰۱۴۸	۰

جدول (۳) مقایسه بین نسخه های پیشنهادی در روش های یک ثابتی و دو ثابتی نسبت به نسخه اصلی

	تعداد نسخه های پیشنهادی با تعداد رنگهای کمتر از نسخه اصلی	تعداد نسخه های پیشنهادی با تعداد رنگهای بیشتر از نسخه اصلی	تعداد نسخه های پیشنهادی با تعداد رنگهای برابر با نسخه اصلی	تعداد نسخه های پیشنهادی با رنگهایی متفاوت از نسخه اصلی
روش یک ثابتی	۱	۱۱	۱۰	۰
روش دو ثابتی	۱	۸	۶	۷

## مراجع

- [1] Kuehni, R. G., Computer Colorant Formulation, Chap.6, Lexington Books, Massachusetts, (1975).
- [2] Allen, E., Optical Radiation Measurements, (F. Gram and C. J. Bartleson, Eds), Vol. 2, Chap. 7, Academic Press, New York, (1980).
- [3] McDonald, R., Color Physics for Industry, (R. McDonald, Ed), Chap. 5, Dyers' Company Publications Trust, Bradford, (1987).
- [4] Billmeyer, F. W. Jr., Colorant of Plastic, (T.G. Weber, Ed.), Chap. 1, John Wiley, (1979).
- [5] Best, R. P., Color Physics for Industry, (R. McDonald, Ed.), Chap. 6, Dyers' Company Publications Trust, Bradford, (1987).
- [6] Walowit, E., McCarthy, C.J. and Berns, R.S., Spectrophotometric Color Matching Based on Two-Constant Kubelka-Munk Theory, Color Res. Appl. J., Vol. 13, No. 6, pp. 358-362, (1988).
- [7] Amirshahi, S. H., Pailthorpe, M.T., Applying the Kubelka-Munk Equation to Explain the Color of Blends Prepared from Precolored Fibers, Textile Res. J., Vol. 64, No. 6, pp. 357-364, (1994).
- [8] Amirshahi, S.H., Pailthorpe, M.T., An Algorithm for Optimizing Color Prediction in Blends, Textile Res. J., Vol. 65, No. 11, pp. 632-637, (1995).
- [9] McLaren, K., the Color Science of Dyes and Pigments, Chap. 12, Adam Hilger Ltd., Bristol. pp. 181, (1986).
- [10] Kuehni, R., Computer Colorant Formulation, Chap. 3, Lexington Books, Massachusetts, (1975).
- [11] Judd, D.B. Wyszecki, G., Color in Business, Science and Industry, Chap. 3, John Wiley, New York, (1975).
- [12] Wyszecki, G. and Stiles, W.S., Color Science, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formula, Chap. 3, John Wiley, New York, (1982).
- [13] Brown, J. F. and Lau, K., The Printing Ink Manual, (R. H. Leach and R. J. Pierce, Eds), Chap. 1, Chapman & Hall, London, (1993).
- [14] McGinnis, P.H. Jr., Spectrophotometric Color Matching with the Least Squares Technique, Color Eng. J., Vol. 5, No. 6, pp. 22-27, (1974).
- [15] Walowit, E., McCarthy, C. J. and Berns, R. S., An Algorithm for the Optimization of Absorption and Scattering Coefficients, Color Res. Appl. J., Vol. 12, No. 6, pp. 340-343, (1987).
- [16] Guthrie, J. C., Moir, J., The Application of Colour Measurement, Rev. Prog. Coloration, Vol. 9, pp. 1-12, (1978).
- [17] Allen, E., Basic Equations Used in Computer Color Matching, II-Tristimulus Matching, Two Constant Theory, J. Opt. Soc. Am., Vol. 64-, No. 7, pp. 991-993, (1974).
- [18] Sluban, B., Comparison of Colorimetric and Spectrophotometric Algorithms for Computer Color Prediction, Color Res Appl. J., Vol.

- 18, No. 2, pp. 74-79, (1993).
- [19] Holdaway, H. W., Matrix Partitioning Applied to Colorant Formulation with Four or More Dyes, Color Res. Appl. J., Vol. 5, No. 2, pp. 93-98, (1980).
- [20] Hunter, R.S., Techniques for Preparing and Handling Specimens for Color Measurements. I-Textiles, Color Eng. J., Vol. 4, No. 5, pp. 35-37, (1966).
- [21] Burlone, D. A., Theoretical and Practical Aspects of Selected Fiber-Blend Color Formulation Functions, Color Res. Appl. J., Vol. 9, No. 4, pp. 213-219, (1984).