

# مقایسه نظریه‌های مدل هندسی و کیوبلکا-مانک در پیشگویی فاکتور انعکاسی الیاف شفاف

ستاره امیری\* و سید حسین امیرشاهی\*\*

دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(دریافت مقاله: ۸۴/۳/۲۳ - دریافت نسخه نهایی: ۸۶/۸/۱۳)

چکیده - نحوه پیشگویی فاکتور انعکاسی الیاف فاقد ماده مات کننده<sup>۱</sup>، به عنوان یک محیط شفاف<sup>۲</sup>، توسط دو نظریه مدل هندسی<sup>۳</sup> و کیوبلکا-مانک مطالعه و نتایج حاصله مقایسه شده است. به منظور شبیه سازی الیاف شفاف از شبکه‌ای از لوله‌های مویین شیشه‌ای<sup>۴</sup> حاوی آب و محلول مواد رنگزا استفاده شد. نتایج حاصله نشان می‌دهند که به‌طور کلی پیشگویی فاکتور انعکاسی برای شبکه‌های تهیه شده از لوله‌های مویین توسط مدل هندسی اگرچه پیچیدگی و حجم محاسباتی بیشتری را نیاز دارد ولی نسبت به نظریه کیوبلکا-مانک به نتایج واقعی نزدیکتر است. در واقع به دلیل بالا بودن مقدار جذب در نمونه‌های تیره و در نتیجه کم بودن سهم انتشارات داخلی<sup>۵</sup> در چنین محیط‌هایی، مدل هندسی در پیشگویی فاکتور انعکاسی چنین زمینه‌هایی موفقتر عمل می‌کند. در حالی که مدل کیوبلکا-مانک در پیشگویی انعکاس نمونه‌های روشن به‌طور نسبی نتایج بهتری را حاصل می‌آورد. عدم کسب نتایج قابل قبول در پیشگویی مقدار انعکاس نمونه‌های روشن توسط مدل هندسی از نقاط ضعف جدی این نظریه در تخمین رفتار انعکاسی الیاف فاقد ماده مات‌کننده تلقی می‌شود.

واژگان کلیدی: مدل هندسی، نظریه کیوبلکا-مانک، انعکاس طیفی، الیاف.

## A Comparison between Kubelka-Munk and Geometric Models for Prediction of Reflectance Factor of Transparent Fibers

S. Amiri and S. H. Amirshahi

Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology  
Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology

**Abstract:** The reflectance factors of transparent fibers, free from delustering agent, are predicted by geometric as well as Kubelka-Munk models. Transparent fibers are simulated by a net of glass capillary tubes containing different solutions of

\*\* - استاد

\* - مربی

dyestuffs. Based on the results, prediction of the reflectance factor of capillary net by geometric model is relatively better than those obtained from Kubelka-Munk model. However, the geometric model suffers from a complex and massive computation process. Generally speaking, the geometric model performs better for dark transparent samples due to the ignorable internal scattering phenomena. On the other hand, the Kubelka-Munk model provides better results for light samples, where the geometric model fails in acceptable prediction.

**Keywords:** Geometric Model, Kubelka-Munk Theory, Spectral Refelctance, Fibers.

## ۱- مقدمه

به کارگیری معادله ساده شده کیوبلکا-مانک است و به کارگیری این نظریه نیاز به توان محاسباتی بالایی دارد استقبالی از این مدل تا اواخر هزاره دوم میلادی و عرضه و فراگیر شدن رایانه‌های شخصی سریع به عمل نیامد و در سال ۲۰۰۰ مجدداً امکان استفاده از این مدل بررسی و کارایی آن در موارد خاصی مورد تاکید قرار گرفت [۵ و ۱۲].

در این مقاله کارایی نظریه کیوبلکا-مانک در تخمین رفتار انعکاسی الیاف شفاف با نتایج حاصله از به کارگیری نظریه مدل هندسی مقایسه شده است. در واقع ساختار یک پارچه که شامل نخهای تشکیل دهنده آن است با استفاده از شبکه‌ای از لوله‌های مویین شبیه سازی شده است. در این راستا و به منظور کنترل مناسبتر مقدار ماده رنگزا و مقادیر انعکاس سطحی و انتشار داخلی از لوله‌های مویین حاوی محلول مواد رنگزا به منظور شبیه سازی الیاف موجود تشکیل دهنده یک پارچه استفاده شده است.

### ۱-۱- نظریه مدل هندسی

برای تحلیل رفتار انعکاسی اجسام رنگی دارای ساختار پیچیده مانند منسوجات، مدلی تحت عنوان مدل هندسی با استفاده از عوامل مؤثر نوری مانند ضرایب خاموشی<sup>۱</sup>، ضرایب شکست الیاف و محیطی که در آن قرار گرفته‌اند و همچنین خصوصیات هندسی الیاف توسط گلدفینگر و همکارانش ارائه شد. این نوع تحلیل امکان مطالعه تاثیر تغییرات صورت گرفته بر جسم رنگی (مانند تغییر شکل آن از حالت مایع به لیف ریسیده شده) را بر اساس خواص انعکاسی آن میسر می‌سازد [۵-۱۰]. در این مدل فرض شده است که یک منسوج به شکل پارچه، از تعداد زیادی الیاف به شکل استوانه با قطرهای مساوی و

تلاشهای فراوانی برای توصیف نظری رفتار انعکاسی منسوجات به منظور پیشگویی رنگ آنها صورت پذیرفته است و نظریه‌های متعددی به منظور پیشگویی رفتار نوری منسوجات به کار گرفته شده‌اند. در هر حال تردیدی نیست که متداولترین نظریه برای پیشگویی رنگ منسوجات نظریه شرح داده شده توسط پائول کیوبلکا و فرانز مانک در سال ۱۹۳۱ است. این نظریه یک نظریه دو پرتویی برای مواد متجانس نوری است که در آن وقوع پدیده انعکاس سطحی در سطح تماس دو محیط که به دلیل اختلافات در ضرایب شکست<sup>۲</sup> آنان و براساس رابطه فرسِنل به طور قطعی صورت می‌پذیرد در نظر گرفته نشده است [۱-۳].

مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که پیشگویی مقدار انعکاس با استفاده از مدل پیشنهادی توسط کیوبلکا و مانک در موارد متعددی با خطا روبروست. به طور مثال این نظریه در هنگام به کارگیری در اجسامی که از قابلیت پشت پوشی کمی برخوردارند با خطا مواجه می‌شود. در هر حال معادلات حاصل از نظریه کیوبلکا-مانک به نحو مطلوبی برای سیستمهای پشت پوش<sup>۳</sup> قابل استفاده‌اند [۴].

در میان نظریه‌هایی که در دهه ۱۹۷۰ میلادی ارائه شد نظریه مدل هندسی که از بنیان نظری بالایی برخوردار بود توسط آلن و گلدفینگر پیشنهاد شد [۵]. آنان به همراه پژوهشگران دیگری نظریه مزبور را در حالت‌های مختلف بر روی یک منسوج به کار بردند و نتیجه گرفتند که این روش در غلظت‌های بالای ماده رنگزا و یا مقادیر انعکاسی کم نسبت به روش کیوبلکا-مانک جواب دقیقتر و قابل قبول‌تری می‌دهد [۵-۱۲]. به علاوه الیاف شفاف بهتر از الیاف نیمه شفاف از این مدل تبعیت می‌کنند. از آنجایی که کاربرد نظریه مدل هندسی بسیار پیچیده‌تر از

$n_2$ : ضریب شکست محیط،

$m = n_1/n_2$ : نسبت ضرایب شکست و

$\alpha$  و  $\beta$ : زوایای داخلی اند که جهت شکست، انعکاس را مشخص می‌سازند.

در این مدل پرتوهای نوری موازی به سیلندر برخورد کرده و بخشی از آن بر اساس قانون فرسنل دچار انعکاس سطحی می‌شود و بقیه با شکستی که بر روی آن رخ می‌دهد به درون لیف وارد می‌شود. در این مدل محیط شفاف فرض شده و لذا نوری پراکنده نمی‌شود. از این رو نور وارد شده به درون لیف تا جایی که به‌طور داخلی شکست بخورد و یا منعکس شود به‌طور خطی به حرکت خود ادامه می‌دهد. بدیهی است که پرتو نوری در طی عبور از درون لیف می‌تواند با پدیده جذب بر اساس قانون بیر-لامبرت روبرو شود. نوری که در داخل شکست می‌خورد به حرکت خود در درون لیف یعنی در محیطی که در معرض جذبه‌های بعدی است ادامه می‌دهد. نور شکست خورده به حرکت خود در محیطی که لیف را دربر گرفته است ادامه داده که این نور تحت عنوان نور منتقل شده ارزیابی می‌شود.

طول عبور نور در درون لیف قبل از هرگونه انعکاس و یا شکست را می‌توان با توجه به اصول هندسی حاکم بر استوانه از معادلات (۱) و (۲) به‌دست آورد:

$$l_p = 2r \sqrt{1 - \frac{d^2}{m^2}} \quad (1)$$

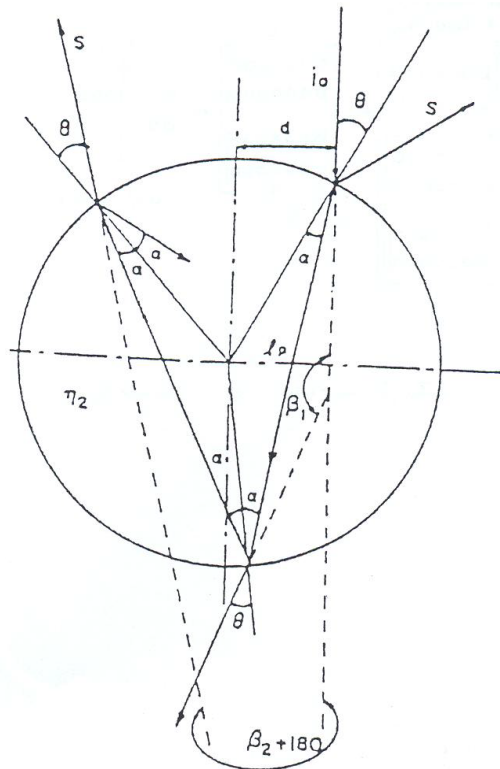
به‌طوری‌که در این رابطه  $r$  شعاع لیف و یا شعاع سیلندرهاست استوانه‌ای است. چنانچه  $r=1$  باشد:

$$l_p = 2 \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{d^2}{m^2}} \quad (2)$$

مقدار نور منعکس شده در سطح لیف به‌صورت دو نور پلاریزه شده موازی  $\rho_{\parallel}$  و عمودی  $\rho_{\perp}$  تفکیک می‌شود که برای محاسبه آنها از معادلات (۳) و (۴) استفاده می‌شود:

$$\rho_{\parallel} = \left[ \frac{n_1 \cos \theta_2 - n_2 \cos \theta_1}{n_1 \cos \theta_2 + n_2 \cos \theta_1} \right]^2 \quad (3)$$

$$\rho_{\perp} = \left[ \frac{n_1 \cos \theta_1 - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_1 + n_2 \cos \theta_2} \right]^2 \quad (4)$$



شکل ۱- برخورد نور با سطح جانبی یک لیف ایده‌نال استوانه‌ای و تغییرات صورت گرفته بر آن [۵]

دارای ساختاری ایزوتروپیک و رنگی تشکیل شده است به نحوی که قطر این استوانه‌ها در مقایسه با طول موج نور تابیده شده بزرگتر است. این سیلندرها استوانه‌هایی موازی یکدیگر بوده و آنان را می‌توان به شکل یک دسته از میله‌ها تصور کرد. پرتو نوری به شکل عمودی به سطح جانبی یکی از این سیلندرها برخورد می‌کند و اتفاقات رخ داده بر آن در شکل (۱) نشان داده شده است. مطابق شکل:

$i_0$ : پرتو تابیده شده است،

$\theta$ : زاویه نور تابیده شده به سطح است،

$d$ : فاصله نقطه برخورد از عمود به صفردرجه است،

$s$ : نوری که در جهت رو به بالا حرکت می‌کند،

$t$ : نوری که در جهت رو به پایین حرکت می‌کند،

$l_p$ : طول مسیر نوری که در درون لیف قبل از شکست طی می‌شود،

$n_1$ : ضریب شکست لیف،

واقع نور از بین برود در نظر گرفته می شود. بخشی از پرتو اولیه که در جهت بالا منعکس می شود به عنوان نور منعکس شده (s) شناخته می شود در حالی که قسمتی از پرتو که در جهت پایین حرکت می کند نور منتقل شده (t) شناخته می شود. بقیه نور که جذب شده است را می توان طبق معادله (۹) محاسبه کرد [۴]:

$$A = \frac{(1-p)}{1-Tp} \quad (9)$$

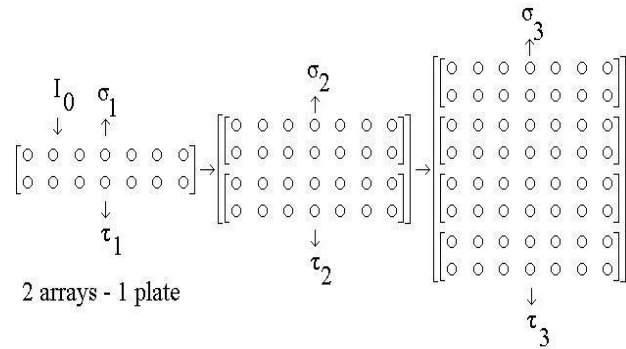
k عبارت از نسبت نور حرکت کرده در جهت پایین به نور در حرکت به سوی بالا یعنی  $k = \left(\frac{t}{s}\right)$  است مقدار k از معادله (۱۰) محاسبه می شود:

$$k = \frac{t}{s} = \frac{P_{d=r \cos 45 \dots r} + (1-p)^2 \sum_{n=1}^{\infty} T p^{n-1} \cos \beta_n (-)}{P_{d=0 \dots r \cos 45} + (1-p)^2 \sum_{n=1}^{\infty} T^n p^{n-1} \cos \beta_n (+)} \quad (10)$$

سپس با استفاده از فرایند تکرار، مقادیر A و k برای یکسری از مقادیر d در محدوده صفر تا قطر لیف (r) به نحوی که تمامی جهات تابش در محاسبات در نظر گرفته شود، به دست می آیند. آن گاه لازم است نتایج حاصله جمع زده شده و متوسط گیری شود. در یک پارچه مدل در نظر گرفته شده برای آن را می توان با اعمال اصلاحاتی به سادگی به دسته الیاف موازی شده نیز تعمیم داد، الیاف به صورت موازی برای ایجاد بردارهای زوج همان گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است به یکدیگر ملحق می شوند. مجموع پرتوهای منتشر شده به سمت پایین ( $\tau_1$ ) یک فرایند ازدیاد تدریجی دارد که مقدار آن به صورت یکسری چند جمله ای همگراست. با استفاده از روش حدگیری مقدار آن از معادله (۱۱) به دست می آید:

$$\tau_1 = \frac{k^2(1-A)^2}{(1+k)^2 - (1-A)^2} \quad (11)$$

پرتوهای رو به بالا نیز مشابه پرتوهای رو به پایین محاسبه می شوند که مقدار آن بصورت یکسری چند جمله ای همگرایند. با استفاده از روش حدگیری مقدار آن در نهایت از معادله (۱۲) به دست می آید:



شکل ۲- نحوه ساخته شدن صفحات میله ای

و برای نور پلاریزه شده تصادفی، انعکاس سطحی متوسط دو جز ذکر شده است که در معادله (۵) نشان داده شده است:

$$\rho = \frac{\rho_{\parallel} + \rho_{\perp}}{2} \quad (5)$$

بر اساس قانون بیر-لامبرت، نور منتقل شده پس از طی کردن فاصله lp در درون لیف را به صورت معادله (۶) می توان نشان داد:

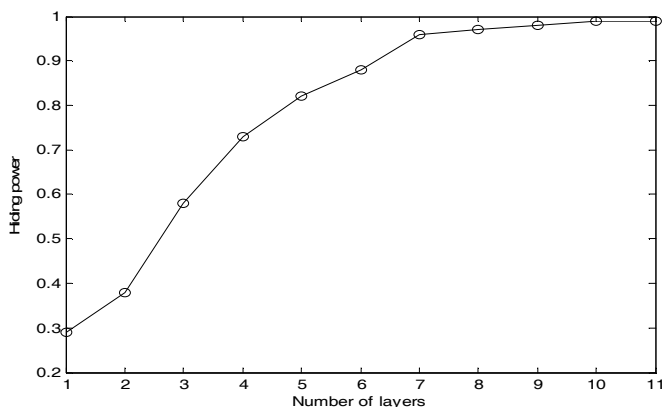
$$T = \frac{\text{transmitted - light}}{\text{incident - light}} = 10^{-\epsilon c l p} \quad (6)$$

زاویه انعکاس ( $\beta$ ) در شکل (۱) نشان داده شده است. برای محاسبه  $\beta_1$  و به دنبال آن  $\beta_n$  از معادلات (۷) و (۸) استفاده می شود [۴، ۹ و ۱۰]:

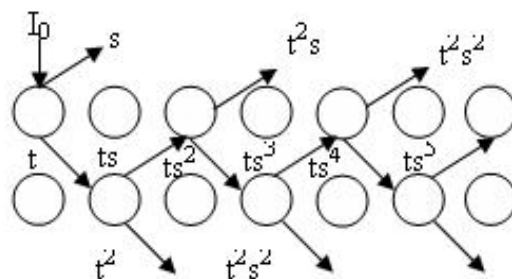
$$\beta_1 = 180 - 2 \left[ \arctan \left( \frac{d}{\sqrt{r^2 - d^2}} \right) - \arctan \left( \frac{\sqrt{r^2 - lp^2}}{\frac{lp}{2}} \right) \right] \quad (7)$$

$$\beta_n = \beta_{n-1} + \left[ 180 - 2 \arctan \left( \frac{\sqrt{r^2 - lp^2}}{\frac{lp}{2}} \right) \right] \quad (8)$$

نور منعکس و منتقل شده توسط جسم را می توان با یک فرایند تکرار به دست آورد. محاسبات با نوری که به طور عمودی به لیف در  $d=0$  برخورد می کند آغاز می شود. تمامی انتقالهای داخلی و شکستهای صورت گرفته بر روی پرتو نوری، تا هنگامی که به دلیل جذبهای مکرر مقدار آن ناچیز شود و در



شکل ۳- بردارهای الیاف



شکل ۴- تغییرات قدرت مخفی سازی با تعداد لایه های تشکیل شده از لوله های موئین

حاصله یک سیستم پشت پوش نوری را ایجاد کند. به منظور ارزیابی قابلیت پشت پوشی الیاف شبیه سازی شده مقدار روشنایی مجموعه تهیه شده از لوله های موئین تهی در زیر منبع روشنایی  $D_{65}$  و مشاهده کننده استاندارد ۱۹۶۴ بر روی دو زمینه سفید و سیاه اندازه گیری شد. سپس قابلیت مخفی سازی مجموعه مذکور با استفاده از معادله (۱۵) تعیین شد [۱۳]:

$$\text{Hiding Power} = \frac{Y_b}{Y_w} \quad (15)$$

که در آن  $Y_b$  و  $Y_w$  به ترتیب روشنایی پارچه شبیه سازی شده بر روی زمینه های سیاه و سفیدند. از آنجا که کسب مقدار ۱ یا نزدیک به ۱ نشان دهنده پشت پوشی کامل یا مطلوب است مشاهده شد که با استفاده از ۱۱ لوله موئین مقدار پشت پوشی به حالت مطلوب رسیده به نحویکه با افزایش تعداد لایه ها تغییری در مقدار ضریب مذکور مشاهده نشد. شکل (۴) تغییرات ضریب پشت پوشی با تغییر تعداد لوله های موئین مورد استفاده را نشان می دهد. لذا با توجه به شکل مذکور، پارچه شبیه سازی شده به شکل یک مکعب مستطیل از لوله های موئین با عرض ۹ و طول ۱۱ لوله موئین طراحی شد.

به منظور تهیه الیاف شفاف رنگین از محلول رنگزاهای کاتیونیکی استفاده شد و لوله های موئین توسط محلولهایی از این رنگزاهای پر شدند. بدین ترتیب نمونه های مختلفی شامل رنگزاهای آبی کاتیونیک شماره ۴۱ و زرد کاتیونیک شماره ۲۸ و قرمز کاتیونیک شماره ۴۶ در غلظتهای مختلف تهیه شد. سپس مقادیر

$$\sigma_1 = \frac{1-A}{1+A} (1-\tau_1) \quad (12)$$

عمل بعدی بر مبنای دستاورد صفحات میله ای<sup>۹</sup> ارائه شده توسط استوک است به نحوی که بردارهای زوج شده به عنوان صفحاتی با مجموع انعکاسی  $\sigma_1$  و مجموع انتقالی  $\tau_1$  در نظر گرفته می شوند. شکل (۳) نحوه ساخته شدن صفحات میله ای را نشان می دهد. با توجه به مدل ذکر شده مجموع نوری که در جهت روبه بالا حرکت می کند از معادله (۱۳) به دست می آید:

$$\sigma_1 = \sigma_{n-1} (1 + \tau_{n-1}) \quad (13)$$

و مجموع نوری که در جهت رو به پایین حرکت می کند از معادله (۱۴) به دست می آید:

$$\tau_n = \frac{\tau_{n-1}^2}{1 - \sigma_{n-1}^2} \quad (14)$$

در این مدل در صورتی که الیاف به نحوی آرایش یابند و به اندازه ای در نظر گرفته شوند که مقدار انتقال یعنی  $\sigma_n$  آنها برابر صفر شود نور بالایی برابر مقدار انعکاس در نظر گرفته می شود.

## ۲- تجربیات

در این تحقیق ابتدا ساختار یک پارچه با استفاده از شبکه ای از لوله موئین شبیه سازی شد. لوله های موئین همانند الیاف یا نخهای تشکیل دهنده پارچه، موازی و کاملاً چسبیده به یکدیگر و در دو جهت عرضی و ارتفاع روی هم قرار داده شدند. تعداد لوله ها در جهت ارتفاع به اندازه ای انتخاب شد که مجموعه

انعکاسی پارچه‌های شبیه سازی شده، توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر انعکاسی<sup>۱</sup> ساخت شرکت دیتاکالر<sup>۱۱</sup> با قطر دیافراگم ۶/۶ میلی‌متر و هندسه اندازه‌گیری  $\frac{d}{8}$  در حد فاصل طول موجهای ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر با فواصل ۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. به منظور کسب نتایج مطمئن‌تر، اندازه‌گیری برای هر نمونه به صورت سه بار در جهت عمودی، سه بار در جهت افقی و شش بار در جهات بین این دو صورت پذیرفت و میانگین آنان به عنوان انعکاس آن نمونه در هر طول موج در نظر گرفته شد. همچنین انعکاس یک مجموعه خالی و یک مجموعه حاوی آب از لوله‌های موین نیز اندازه‌گیری شد. به علاوه برای اندازه‌گیری ضرایب جذب محلول مواد رنگزای آبی و قرمز و زرد از دستگاه اسپکتروفوتومتر انتقالی - انعکاسی کاری<sup>۱۲</sup> ساخت شرکت وارین<sup>۱۳</sup> استفاده شد.

## ۱-۲- تخمین مقدار انعکاس با استفاده از نظریه کیوبلکا-مانک

برای پیشگویی مقدار انعکاس با استفاده از نظریه کیوبلکا-مانک ابتدا مقدار انعکاس هر نمونه اندازه‌گیری شد و سپس مقدار  $\frac{k}{s}$  واحد اولیه‌ها با استفاده از روش حداقل مربعات محاسبه شد [۱۴ و ۱۵]. لازم به ذکر است که  $\frac{k}{s}$  نمونه‌ای که فقط شامل آب بود به عنوان  $\frac{k}{s}$  زمینه در نظر گرفته شد. از مقادیر  $\frac{k}{s}$  واحد محاسبه شده در پیشگویی مقدار انعکاس نمونه‌ها با استفاده از نظریه کیوبلکا-مانک برای الیاف شبیه سازی شده استفاده شد که نتایج ذیلاً مورد بحث قرار گرفته‌اند. به منظور ارزیابی نظریه مذکور در تخمین مقدار انعکاس نمونه‌های شفاف، میانگین مجذور مربعات اختلاف مقادیر انعکاس تخمین زده شده و واقعی (که عموماً با RMS نشان داده می‌شود) در طیف مرئی برای هر نمونه محاسبه شد.

## ۲-۲- پیشگویی مقادیر انعکاس طیفی با استفاده از نظریه مدل هندسی

برای به کارگیری نظریه مدل هندسی لازم بود تا سه ویژگی

تعیین و به عنوان ورودی به برنامه معرفی شوند:  
الف- شعاع لوله موین که در واقع همان شعاع لیف بود در برنامه قرار داده شد.

ب- ضرایب شکست لوله موین و ضریب شکست آب که به ترتیب ۱/۵ و ۱/۳۳ در نظر گرفته شدند.

ج- ضرایب جذب مواد رنگزا در ۱۶ طول موج که در محاسبه ck (فاکتوری که حاصلضرب غلظت و جذب می‌باشند) از آن استفاده شد.

آن گاه با در نظر گرفتن موارد فوق پارامترهای زیر محاسبه شد:

الف: محاسبه مقدار نور عبور کرده طبق معادلات بیر-لامبرت که با افزایش لایه‌ها مقدار آن به صفر نزدیک می‌شود.

ب: محاسبه مقدار نور جذب شده که طبق معادلات بیر-لامبرت صورت می‌گیرد.

ج: محاسبه مقدار انعکاس سطحی طبق رابطه فرسnel در زوایای مختلف.

د: پیشگویی فاکتور انعکاسی که با توجه به پارامترهای محاسبه شده فوق و روابط فیزیکی و هندسی حاکم بر استوانه و صفحات میله‌ای صورت می‌گیرد (این کار برای ۱۶ طول موج تکرار می‌شود).

نهایتاً ارزیابی مدل با محاسبه مقدار خطای RMS صورت گرفت.

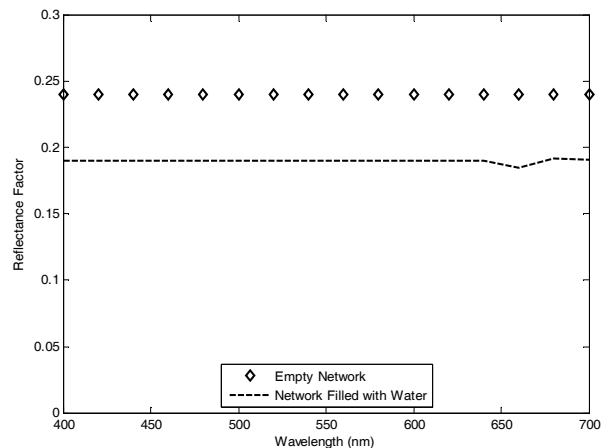
## ۳- نتایج و بحث

در شکل (۵) منحنی مقادیر انعکاسی اندازه‌گیری شده برای لوله‌های موین خالی و حاوی آب نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود انعکاس اندازه‌گیری شده برای لوله‌های موین خالی بیشتر از انعکاس اندازه‌گیری شده برای نمونه حاوی آب است که به اثر فرسnel و در واقع اختلاف در نسبت ضرایب شکست در این دو حالت مربوط می‌شود. برای نمونه خالی اگر ضریب شکست شیشه ۱/۵ فرض شود، نسبت ضرایب شکست دو محیط (سطح تماس هوا-شیشه) برابر ۱/۵ است در حالی که برای نمونه حاوی آب به دلیل وجود حداقل سه سطح تماس (هوا-شیشه-آب) این نسبت کمتر بوده و لذا انعکاس حاصله که

جدول ۱- مقادیر RMS انعکاس طیفی برای مقادیر فاکتور انعکاسی اندازه‌گیری شده و پیشگویی شده توسط روش مدل هندسی و روش کیوبلکا-مانک برای رنگزاهای آبی و قرمز و زرد.

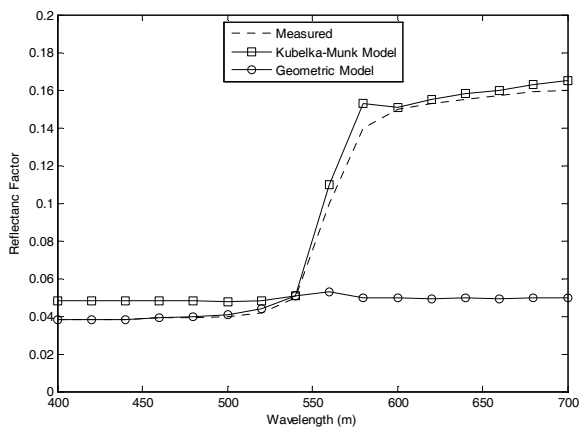
رنگزا	غلظت	RMS بین مقادیر انعکاس اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده توسط روش مدل هندسی	RMS بین مقادیر انعکاس اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده با روش کیوبلکا-مانک
آبی	۰/۰۱	۰/۱۹۰۵	۰/۱۲۹۵
آبی	۰/۰۳	۰/۰۸۰۵	۰/۱۱۱۱
آبی	۰/۰۵	۰/۰۵۳۲	۰/۱۱۷۷
آبی	۰/۰۹	۰/۰۲۳۴	۰/۱۱۸۴
آبی	۰/۱	۰/۰۲۳۴	۰/۰۴۰۱
آبی	۰/۳	۰/۰۱۶۴	۰/۱۱۰۷
آبی	۱/۵	۰/۰۰۴۳	۰/۱۱۵۵
قرمز	۰/۰۵	۰/۲۲۹۳	۰/۲۲۵۱
قرمز	۰/۱	۰/۲۰۳۱	۰/۳۰۰۰
قرمز	۰/۵	۰/۱۸۴۰	۰/۲۱۴۱
قرمز	۱/۰	۰/۱۲۲۷	۰/۱۷۷۵
زرد	۰/۰۵	۰/۲۸۷۳	۰/۴۹۹۵
زرد	۰/۱	۰/۲۸۲۶	۰/۴۵۸۷
زرد	۰/۵	۰/۲۴۱۸	۰/۳۴۰۶
زرد	۱/۰	۰/۲۳۲۵	۰/۲۸۹۱
میانگین		۰/۱۴۵۰	۰/۲۱۶۵
انحراف معیار		۰/۱۰۳۳	۰/۱۳۵۹

محاسبه شد و مقدار خطای حاصله با تعیین مقدار RMS مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول (۱) مقادیر خطای مذکور را برای دو نظریه ذکر شده در هنگام تخمین انعکاس نمونه‌ها نشان می‌دهد. به علاوه، منحنیهای انعکاس واقعی و تخمین زده شده توسط مدل‌های هندسی و کیوبلکا-مانک برای ۳ نمونه تصادفی در شکل (۶) نشان داده شده است. همان گونه که نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد نظریه کیوبلکا-مانک برای اغلب نمونه‌ها با مقادیر خطای بزرگی روبروست که علت اصلی آن به اصول فرض شده در این نظریه بر می‌گردد. مقادیر خطای ذکر شده برای مدل کیوبلکا-مانک به نحو فاحشی بزرگتر از خطای معمول در به‌کارگیری این نظریه در الیاف معمول است. علت اصلی بروز چنین خطایی به طبیعت شفاف بودن الیاف شبیه‌سازی شده بر می‌گردد. به دلیل عدم وجود انتشار داخلی،

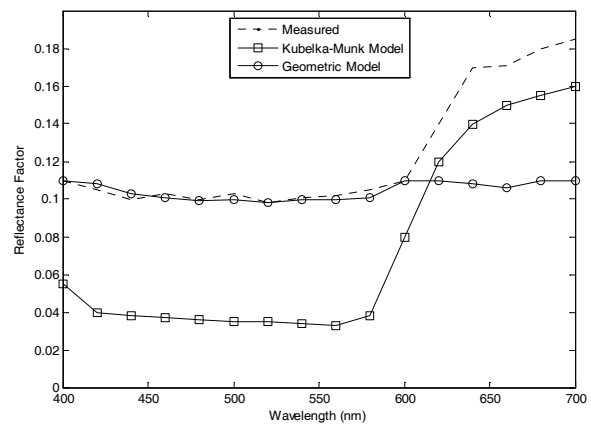


شکل ۵- مقادیر انعکاس طیفی لوله‌های موئین حاوی و فاقد آب

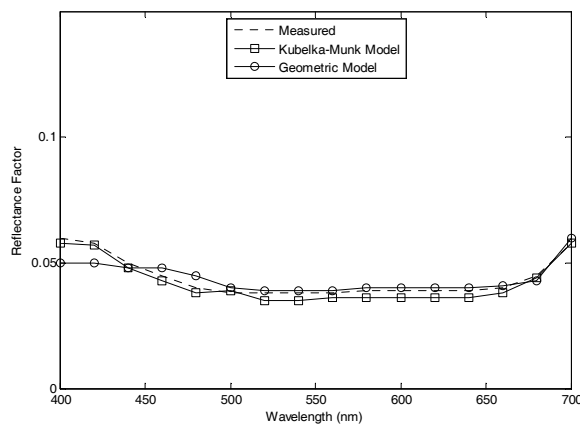
ناشی از انعکاسهای سطحی مکرر است کمتر خواهد بود [۷]. مقادیر انعکاسی تخمین زده شده توسط دو روش مدل هندسی و کیوبلکا-مانک طبق اصول شرح داده شده در بخشهای قبلی



ب) نمونه زرد



الف) نمونه قرمز



ج) نمونه آبی

شکل ۶- مقادیر منحنیهای انعکاس طیفی واقعی و پیشگویی شده توسط دو مدل هندسی و کیوبلکا-مانک برای سه نمونه تصادفی

در هر حال دقت پیشگویی نظریه کیوبلکا-مانک برای نمونه‌های مختلف متفاوت است. دلیل وقوع چنین نتیجه‌ای می‌تواند در نحوه انتخاب غلظتها در محاسبه  $\frac{k}{s}$  واحد باشد. به عبارت دیگر در روش کیوبلکا-مانک پیشگویی مقدار انعکاس تحت تاثیر نحوه محاسبه  $\frac{k}{s}$  واحد است که همان گونه که ذکر شد بر پدیده‌ای بودن این نظریه و تاثیر کالیبراسیون دلالت دارد. در این تحقیق مقادیر  $\frac{k}{s}$  واحد اولیه با استفاده از تغییرات غلظت هر اولیه به تنهایی و یا به کارگیری روش حداقل مربعات به دست آمد. مقادیر خطا در پیشگویی فاکتور انعکاسی توسط نظریه

آنچه که به عنوان انعکاس در این نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌شود عمدتاً ناشی از بروز پدیده انعکاس سطحی است در حالی که نظریه کیوبلکا-مانک اصولاً این پدیده را در نظر نمی‌گیرد. در واقع در صورتی که پدیده‌ای بودن این مدل در تعیین مقادیر اساسی آن مانند  $\frac{k}{s}$  در نظر گرفته نمی‌شد مقادیر خطا از مقادیر محاسبه شده نیز بیشتر می‌شدند. بدیهی است مقدار خطا برای چنین نمونه‌هایی به طبیعت نمونه بستگی خواهد داشت. به طور مثال در نمونه‌های غلیظ نسبت مقدار انعکاس سطحی به انعکاس اندازه‌گیری شده با نسبت آن در نمونه‌ها رقیق متفاوت بوده و این نکته منجر به کسب مقادیر مختلف خطا در نمونه‌های روشن و تیره شده است.



#### ۴- نتیجه گیری کلی

در این مقاله با استفاده از شبکه‌ای از لوله‌های موئین که حاوی محلول مواد رنگزا بودند رفتار یک منسوج فاقد انتشار شبیه‌سازی شد. آن گاه به منظور تخمین فاکتور انعکاسی چنین محیطی از نظریه‌های کیوبلکا-مانک و مدل هندسی استفاده شد. نتایج محاسبه شده برای منحنیهای انعکاسی با استفاده از نظریه کیوبلکا-مانک نشان دهنده پیشگویی نا مناسب مقادیر انعکاس طیفی توسط نظریه کیوبلکا-مانک برای شبکه‌های تهیه شده از لوله‌های موئین یا در واقع الیاف شفاف است. بر اساس نتایج حاصله می‌توان کسب چنین نتایجی را در فرضیات غیر واقعی مدل مذکور دانست که در غیر واقعیت‌ترین فرضیه از احتساب انعکاس سطحی در مرز تماس دو محیط صرف نظر کرده است. متقابلاً مشاهده شد که پیشگویی مقادیر انعکاسی الیاف شبیه‌سازی شده با استفاده از نظریه مدل هندسی منجر به جوابهای نسبتاً مناسبتری می‌شود. از آنجایی که در الیاف شبیه‌سازی شده انعکاس سطحی سهم اصلی را در انعکاس اندازه‌گیری شده دارد و مدل هندسی نیز بر اساس اندازه‌گیری انعکاس‌ها سطحی استوار است لذا پیشگویی مقدار انعکاس الیاف شبیه‌سازی شده با این روش موفقتر بوده است. در هر حال استفاده از این مدل در نمونه‌های روشن که دارای انعکاس زیادند نیز چندان مطلوب نبوده و خطای قابل توجهی میان منحنیهای انعکاس طیفی واقعی و بازسازی شده برای این نمونه‌ها وجود دارد.

مدل هندسی در جدول (۱) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود پیشگویی مدل در نمونه‌های تیره‌تر و یا به عبارت دیگر در غلظتهای بالاتر به نتایج واقعی نزدیکتر است. متقابلاً مشکل مدل هندسی در پیشگویی مقادیر انعکاسی بالا موجب شده است که میزان خطا در پیشگویی انعکاس نمونه‌های روشن بزرگ باشد [۵].

واقعیت آن است که اساس نظریه کیوبلکا-مانک در پراکنده بودن نور تابیده شده و دریافت شده است. طبیعی است که این فرضیه در الیاف در هنگامی که از اجسام منتشر کننده استفاده شود تحقق می‌یابد در حالی که الیاف شبیه‌سازی شده در این تحقیق فاقد مواد کدر کننده بودند. نتایج مندرج در جدول (۱) نشان دهنده عدم پیشگویی مناسب مقادیر انعکاسی شبکه شفاف تهیه شده از لوله‌های موئین توسط نظریه کیوبلکا-مانک‌اند. به بیان دیگر در این نمونه‌ها مقدار انعکاس سطحی بسیار زیاد است در حالی که مقدار انتشار واقعی نور بسیار کم است به نحوی که به کارگیری نظریه کیوبلکا-مانک در آنان منجر به کسب مقادیر RMS بزرگی شده است. متقابلاً همان گونه که در جدول (۱) و شکل شماره (۶) مشاهده می‌شود مدل هندسی نیز در تخمین مقادیر انعکاس طیفی در طول موج‌هایی که نمونه فاقد جذب است با مشکل روبروست که این مسئله در نتایج گزارش شده در تحقیقات قبلی مورد تاکید قرار گرفته است [۵].

#### واژه‌نامه

- |                         |                           |               |
|-------------------------|---------------------------|---------------|
| 1. delustering agent    | 6. refractive index       | 11. Datacolor |
| 2. transparent media    | 7. opaque                 | 12. Carry 3   |
| 3. geometric model      | 8. extinction coefficient | 13. Varian    |
| 4. glass capillary tube | 9. pile of plates         |               |
| 5. internal scattering  | 10. spectraflash 600 plus |               |

#### مراجع

1. Kubelka, P., and Munk, F., "Ein Berlarg Zur Optik der Farbanstriche," *Z. Tech. Phys.*, Vol. 12, pp. 593-601, 1931.
2. Allen, E. H., *Optical Radiation Measurements*, (F. Grum and C.J. Bartleson Eds.), Vol. 2, Chapt. 7, Academic Press, New York, 1980.
3. Nobbs, J.H., "Kubelka- Munk Theory and the Prediction of Reflectance," *Rev. Prog. Col.*, Vol. 15, pp. 66-75, 1985.
4. Goldfinger, G., and Wiggs, H., "The Effect of

- Internal Scattering on the Color of Fabrics," *J. Appl. Poly. Sci.*, Vol. 22, pp. 3459-3468, 1978.
5. Tsoutseas, A.A., and Nobbs, J.H., "An Alternative Approach to the Color of Textile Materials with an Application to the Wet/ Dry Reflectance Prediction," *Text. Chem. Col.*, Vol. 32, No.6, pp. 38-43, 2000.
  6. Goldfinger, G., Hersh, S.P., and Leonard, T. M., "Effect of the Continuous Medium on the Color of Discontinuous Substrates, I Empirical Relationship between the Light Reflectance of Dry Textile Samples and Samples Immersed in Water," *J. Poly. Sci.*, Part. C, No.31, pp. 25-32, 1970.
  7. Allen, E.H., and Goldfinger, G., "The Change in Color of Textile Samples upon Immersion in Water." *Text. Chem&Col.*, Vol. 3, No. 12, pp. 289-292, 1971.
  8. Allen, E.H., Faulknert, D.L., Goldfinger, G., and McGregor, R., "Effect of Continuous Medium on the Color of Discontinuous Substrate, IV. The Effect of the Refractive Index of the Continuous Medium," *J. Appl. Poly. Sci.*, Vol.17, pp. 873-884, 1973.
  9. Allen, E.H., and Goldfinger, G., "The Color of Absorbing Scattering Substrates, I. The Color of Fabrics," *J. Appl. Poly. Sci.*, Vol. 16, pp. 2973-2982, 1972.
  10. Goldfinger, G., "The Color of Absorbing Scattering Substrates, II. The Prediction of the Color of a Fiber Bundle," *Appl. Sci.*, Vol. 11, pp. 701-704, 1973.
  11. Goldfinger, G., Lau, K.G., and McGregor, R., "The Effect of the Distribution of Colorant on the Color of Fibers," *J. App. Pol. Sci.*, Vol.9, pp. 23-27, 1975.
  ۱۲. شمس ناتری، ع.، "تاثیر بعضی از ویژگی‌های الیاف اکریلیک و پلی‌پروپیلن بر خواص نوری کفپوش‌ها،" رساله دکتری، دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۱.
  13. Hunter, R.S., "Techniques for Preparing and Handling Specimens for Color Measurements," *Col. Eng.*, Vol. 4, No. 5, pp. 35-37, 1966.
  14. McGinnis, P.H., "Spectrophotometric Color Matching with the Least Squares Technique," *Col. Eng.*, Vol. 5, No. 6, pp. 22-27, 1967.
  15. Walowit, E., McCarthy, C.J., and Berns, R.S., "An Algorithm for the Optimization of Absorption and Scattering Coefficients," *Col. Res.&Apl. J.*, Vol. 12, No. 6, pp. 340-343, 1987.