

پیشگویی مقدار انعکاس در الیافی با خصوصیات شفافیت-پشت پوشی متفاوت

ستاره امیری*^۱ - سید حسین امیرشاهی^۲

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشیار دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در این مقاله توانایی نظریه کیوبلکا-مانک در پیشگویی رفتار انعکاسی الیافی با درجه شفافیت متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور شبیه سازی چنین الیافی از شبکه ای از لوله های موئین استفاده گردید. آنگاه لوله های مذکور به منظور فراهم آوردن الیاف رنگین با محلول رنگزاهای کاتیونیکی برگردیدند. به منظور فراهم آوردن الیافی با درجه پشت پوشی متفاوت، تعدادی از لوله ها علاوه بر محلول رنگزا حاوی دیسپرسیون اکسید تیتانیوم بودند. آنگاه پیشگویی مقدار انعکاس منسوج شبیه سازی شده با استفاده از نظریه کیوبلکا-مانک صورت گرفت. نتایج حاصله نشان دادند که علیرغم اینکه پیشگویی فاکتور انعکاسی برای شبکه های تهیه شده از لوله های موئین فاقد ماده منشرکننده توسط نظریه مذکور نامناسب است ولی تخمین مقدار انعکاس در الیاف شبیه سازی شده ای که دارای ماده کدر کننده هستند در محدوده قابل قبولی قرار می گیرد.

واژگان کلیدی: الیاف، انعکاس، شفافیت، کیوبلکا-مانک، لوله موئین، اکسید تیتانیوم

مقدمه

متداولترین نظریه برای پیشگویی رفتار انعکاسی اجسام نیمه شفاف که بطور همزمان دارای انتشار، انتقال و جذب نور هستند توسط پائول کیوبلکا و فرانز مانک در سال ۱۹۳۱ ارائه شد. اگرچه اساس این نظریه بر مبنای بررسی تغییرات اتفاق افتاده در یک سیستم دو پرتویی برای مواد متجانس نوری است ولی در این نظریه وقوع پدیده انعکاس سطحی در سطح تماس دو محیط که به دلیل اختلاف در ضرائب شکست آنان و بر اساس رابطه فرسئل بطور قطعی صورت می پذیرد در نظر گرفته نشده است [۱-۳]. مطالعات انجام شده نشان می دهند که پیشگویی مقدار انعکاس با استفاده از مدل پیشنهادی توسط کیوبلکا و مانک در موارد متعددی با خطا روبرو می باشد. بطور مثال این نظریه در هنگام بکارگیری در اجسامی که از قابلیت پشت پوشی کمی برخوردارند با خطا مواجه می گردد،

* مسئول مکاتبات، پیام نگار: ۳۹۱۲۴۴۴-۳۱۱، آدرس فعلی: دانشکده هنر، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۰ آدرس فعلی: دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

اگرچه معادلات حاصل از نظریه کیو بلکا-مانک به نحو مطلوبی برای سیستمهای پشت پوش قابل استفاده هستند. اغلب الیاف معمول در نساجی علیرغم اینکه در حالت تک لیفی نیمه شفاف هستند ولی بدلیل تجمع زیاد الیاف در منسوجات و در نتیجه افزایش خاصیت انعکاس سطحی و انتشار نور غالباً بعنوان جسم پشت پوش در نظر گرفته می شوند [۴].

در این پژوهش قابلیت پیشگویی مقادیر انعکاسی با استفاده از نظریه کیوبلکا-مانک برای الیافی باخواص شفافیت متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا و به منظور کنترل مناسبتر مقدار ماده رنگزاو مقادیرانعکاس سطحی و انتشار داخلی از لوله های موئین حاوی محلول مواد رنگزا و دیسپرسیونی از ماده کدر کننده به منظور شبیه سازی الیاف موجود تشکیل دهنده یک پارچه استفاده گردید. در واقع ساختار یک پارچه که شامل نخ های تشکیل دهنده آن است با استفاده از لوله های موئین شبیه سازی گردیده است. بکارگیری شبکه ای از لوله های موئین به منظور شبیه سازی الیاف اخیرا در مقالات پیشنهاد گردیده است [۵].

تجربیات

در این تحقیق ابتدا ساختار یک پارچه با استفاده از شبکه ای از لوله های 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 گردیدند که سیستم از حیث پشت پوشی کامل باشد. 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 سطح مورد بررسی با استفاده از رابطه شماره ۱ تعیین گردید [۶].

$$\text{Hiding Power} = \frac{Y_b}{Y_w} \quad (1)$$

که در آن Y_w و Y_b به ترتیب روشنایی پارچه شبیه سازی شده بر روی زمینه های سیاه و سفید می باشند. از آنجا که کسب مقدار ۱ یا نزدیک به ۱ نشاندهنده پشت پوشی کامل یا مطلوب است مشاهده گردید که با استفاده از ۱۱ لایه لوله موئین مقدار پشت پوشی به حالت مطلوب رسیده به نحویکه با افزایش تعداد بیشتر لایه ها تغییر در مقدار ضریب مذکور مشاهده نگردید. لذا پس از انجام آزمایشات فوق، پارچه شبیه سازی شده به شکل یک مکعب مستطیل از لوله های موئین با عرض ۹ و طول ۱۱ لوله موئین انتخاب شد.

به منظور تهیه الیاف شفاف رنگین از محلول رنگزاهای کاتیونیکی استفاده شدو لوله های موئین توسط محلول هایی از این رنگزها پر شدند. بدین ترتیب ۲۲ نمونه شامل رنگزاهای آبی کاتیونیک شماره ۴۱ و زرد کاتیونیک شماره ۲۸ و قرمز کاتیونیک شماره ۴۶ در غلظتهای مختلف وهمچنین مخلوطهای ۲ تایی و ۳ تایی از آنها تهیه گردید. همچنین بمنظور بررسی نقش انتشار داخلی در مقدار انعکاس اندازه گیری شده و پیشگویی شده توسط نظریه کیوبلکا-مانک، ۱۳ نمونه دیگر از لوله های موئین به نحوی تهیه شدند که علاوه برمحلول رنگزاهای مذکور حاوی ماده منتشر کننده اکسید تیتانیوم نیز بودند. سپس مقادیر انعکاسی پارچه شبیه سازی شده توسط دستگاه اسبکتروفوتومترانعکاسی Spectraflash 600 PLUS با قطر دیافراگم ۶/۶ میلی متر و هندسه اندازه گیری $d/8$ در حد فاصل طول

موجهای ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر با فواصل ۲۰ نانومتر اندازه گیری شد. به منظور کسب نتایج مطمئن تر، اندازه گیری برای هر نمونه بصورت سه بار در جهت عمودی، سه بار در جهت افقی و شش بار در جهات بین این دو صورت پذیرفت و نتایج حاصله برای هر نمونه جمع و میانگین حاصله بعنوان انعکاس آن نمونه در هر طول موج در نظر گرفته شد. همچنین انعکاس یک نمونه خالی و یک نمونه حاوی آب و یک نمونه حاوی آب و ماده پشت پوش کننده نیز اندازه گیری شد.

تخمین مقدار انعکاس با استفاده از نظریه کیوبلکا - مانک

جهت پیشگویی مقدار انعکاس با استفاده از نظریه کیوبلکا- مانک ابتدا مقدار انعکاس هر نمونه اندازه گیری شد. پس از محاسبه مقدار $\frac{k}{s}$

هر نمونه از روی مقادیر انعکاسی اندازه گیری شده مقدار $\frac{K}{S}$ واحد اولیه ها با استفاده از روش حداقل مربعات محاسبه گردید [۷-۸]. لازم

به ذکر است که برای نمونه هایی که فاقد ماده پشت پوش کننده بودند $\frac{k}{s}$ نمونه ای که فقط شامل آب بود بعنوان $\frac{k}{s}$ زمینه در نظر گرفته

شد در حالیکه نمونه ای که صرفاً شامل دیسپرسیونی از اکسید تیتانیوم بود به عنوان زمینه برای نمونه های حاوی اکسید تیتانیوم در نظر گرفته شد.

از مقادیر $\frac{K}{S}$ واحد محاسبه شده در پیشگویی مقدار انعکاس نمونه ها با استفاده از نظریه کیوبلکا-مانک برای هر دو گروه از الیاف شبیه

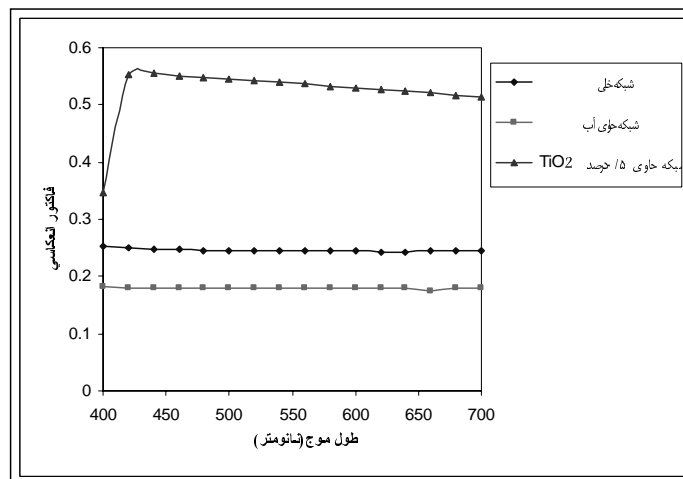
سازی شده استفاده گردید که نتایج ذیلا مورد بحث قرار گرفته اند. به منظور ارزیابی نظریه مذکور مقادیر $(\sum (\Delta R)^2)^{0.5}$ و اختلاف

رنگ (ΔE) در زیر استاندارد روشنایی D_{65} و مشاهده کننده ۱۹۶۴ بین مقادیر واقعی و تخمین زده شده محاسبه و مورد استفاده قرار گرفتند.

نتایج و بحث

در شکل شماره (۱) منحنی مقادیر انعکاسی اندازه گیری شده برای لوله های موئین خالی، حاوی آب، حاوی آب و ماده مات کننده نشان داده شده است. همانطور که انتظار می رود نمونه حاوی آب و ماده مات کننده دارای بیشترین مقدار انعکاس است که به علت حضور ذرات منتشرکننده در الیاف شبیه سازی شده می باشد. نوری که وارد لوله های موئین می شود، به دلیل وقوع پدیده انتشارهای مکرر از همان سمت تابش خارج شده و لذا موجب افزایش نور منعکس شده از شبکه می گردد که وقوع این پدیده باعث افزایش مقدار انعکاس اندازه گیری شده می گردد. همچنین انعکاس اندازه گیری شده برای لوله های موئین خالی بیشتر از انعکاس اندازه گیری شده برای نمونه حاوی آب است که به اثر فرسnel و در واقع اختلاف در نسبت ضرائب شکست در این دو حالت مربوط می شود. برای نمونه خالی اگر ضریب شکست شیشه ۱/۵ فرض شود، نسبت ضرائب شکست دو محیط برابر ۱/۵ می باشد در حالیکه برای نمونه حاوی آب این نسبت کمتر است. مشابه این قضیه برای پارچه های خشک (مانند لوله های موئین خالی) و پارچه های مرطوب (مانند لوله های موئین حاوی آب) مشاهده و گزارش

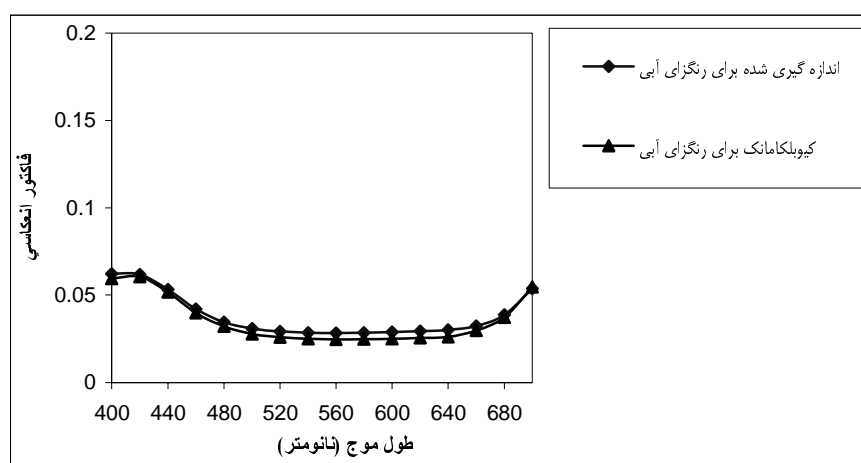
گردیده است. پارچه های مرطوب تیره تر از پارچه های خشک دیده می شوند که وقوع چنین امری بدلیل کاهش اثر انعکاس سطحی پارچه های مرطوب نسبت به پارچه های خشک در اثر تغییر نسبت ضرائب شکست می باشد [۹].



شکل (۱): مقادیر انعکاسی اندازه گیری شده برای لوله های موئین خالی، حاوی آب، حاوی آب و ماده مات

مقایسه منحنی های انعکاسی نمونه هایی که حاوی ماده منتشرکننده هستند با نمونه های نظیری که فاقد این ماده می باشند مبین افزایش چشمگیر مقدار انعکاس در نمونه های حاوی ماده پشت پوش کننده است. در واقع در نمونه های حاوی ماده پشت پوش کننده آنچه که بعنوان انعکاس اندازه گیری می شود شامل انعکاس سطحی و انتشار می باشد [۹].

نتایج مقادیر انعکاسی اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط روش کیوبلکا-مانک در شکل های شماره (۲) و (۳) برای دو نمونه که فاقد ماده مات کننده هستند نشان داده شده است. شکل های مذکور نشان می دهند که علیرغم اینکه مدل کیوبلکامانک برای رنگزای آبی در غلظت ذکر شده جواب مناسبی داشته است اما برای رنگزای قرمز در غلظت بکار رفته منجر به جواب بسیار نامناسبی گردیده است.



شکل (۲): منحنی انعکاسی اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط روش کیوبلکا-مانک (رنگزای آبی با غلظت ۰/۰۹ درصد فاقد ماده مات کننده)

به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله و اجتناب از ارائه نتایج بصورت شکل های متعدد، نتایج کاملتر بصورت اختلاف در مقادیر انعکاسی و رنگ بین مقادیر اندازه گیری شده و واقعی در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

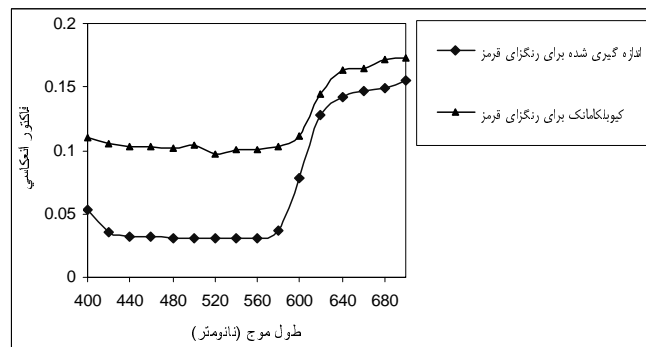
جدول شماره ۱: مقادیر ΔE و $(\sum \Delta R^2)^{0.5}$ بین نمونه های اندازه گیری شده و پیشگویی شده (فاقد ماده مات کننده) توسط روش کیوبلکا-مانک

| $(\sum \Delta R^2)^{0.5}$ | ΔE | رنگزا (غلظت) |
|---------------------------|------------|--------------|
| ۰/۱۲۹۵ | ۲۳/۰۷ | آبی (۰/۰۱) |
| ۰/۱۱۱۱ | ۱۳/۴۴ | آبی (۰/۰۳) |
| ۰/۱۱۷۷ | ۷/۲۵ | آبی (۰/۰۵) |
| ۰/۱۱۸۴ | ۲/۰۸ | آبی (۰/۰۹) |
| ۰/۰۴۰۱ | ۳/۸۲ | آبی (۰/۱) |
| ۰/۱۱۰۷ | ۱۳/۸۲ | آبی (۰/۳) |
| ۰/۱۱۵۵ | ۲۱/۹۸ | آبی (۱/۵) |
| ۰/۲۲۵۱ | ۲۶/۶۱ | قرمز (۰/۰۵) |
| ۰/۳ | ۲۱/۰۵ | قرمز (۰/۱) |
| ۰/۲۱۴۱ | ۵/۱۶ | قرمز (۰/۵) |
| ۰/۱۷۷۵ | ۲/۴۸ | قرمز (۱) |
| ۰/۴۹۹۵ | ۲۹/۹۱ | زرد (۰/۰۵) |
| ۰/۴۵۸۷ | ۲۴/۶۰ | زرد (۰/۱) |
| ۰/۳۴۰۶ | ۴/۲۲ | زرد (۰/۵) |
| ۰/۲۸۹۳ | ۱۸/۰۵ | قهوه ای |
| ۰/۱۶۱ | ۱۳/۳۲ | بنفش |
| ۰/۲۴۹۶ | ۱۶/۷۸ | سبز ماشی |
| ۰/۱۵۹۱ | ۱۵/۲۹ | قرمز گوجه ای |
| ۰/۲۹۱۴ | ۲۷/۴۴ | سبز زیتونی |
| ۰/۲۳۶ | ۲۷/۴۳ | پرتقالی |

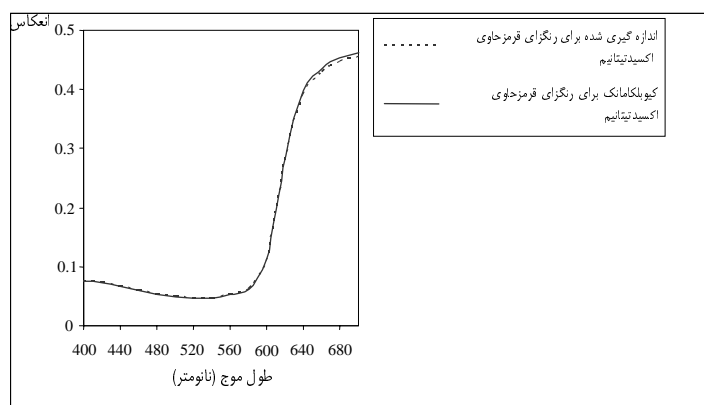
همانگونه که نتایج جدول شماره ۱ نشان می دهد نظریه کیوبلکا-مانک برای نمونه های فاقد اکسید تیتانیوم با مقادیر خطای بزرگی روبروست که علت اصلی آن به اصول فرض شده در این نظریه بر می گردد. آنچه که به عنوان انعکاس در این نمونه ها اندازه گیری می شود عمدتاً ناشی از بروز پدیده انعکاس سطحی است در حالیکه این نظریه اصولاً این پدیده را در نظر نگرفته است. در واقع در صورتیکه پدیده ای بودن این مدل در تعیین مقادیر اساسی آن مانند $\frac{K}{S}$ در نظر گرفته نمی شد مقادیر خطا از مقادیر محاسبه شده نیز بیشتر می

گردیدند. بدیهی است مقدار خطا برای چنین نمونه هایی به طبیعت نمونه بستگی خواهد داشت. بطور مثال در نمونه های غلیظ نسبت مقدار انعکاس سطحی به انعکاس اندازه گیری شده با نسبت آن در نمونه های رقیق متفاوت بوده و این امر منجر به تفاوت در مقدار خطای گزارش شده گردیده است.

شکل شماره ۴ مقادیر انعکاس اندازه گیری شده و محاسبه شده را برای یک نمونه قرمز حاوی ماده مات کننده نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می گردد نتیجه بسیار مناسبی در مقایسه با نمونه های فاقد ماده مذکور عاید گردیده است که مبین کارایی این نظریه در هنگام بکارگیری آن بر روی نمونه های پشت پوش است. در چنین نمونه هایی حضور اکسید تیتانیوم موجب افزایش سهم انتشار داخلی جسم در انعکاس اندازه گیری شده و شباهت بیشتری را به اصول نظریه کیوبلکا-مانک فراهم آورده است. جدول شماره ۲ نیز مجدداً کارایی بهتر نظریه مذکور را برای چنین اجسامی نشان می دهد.



شکل (۳): منحنی انعکاسی اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط روش کیوبلکا-مانک برای رنگزای قرمز با غلظت ۰/۱ درصد



شکل (۴): منحنی انعکاسی اندازه گیری شده و پیش بینی شده توسط روش کیوبلکا-مانک برای رنگزای قرمز حاوی اکسید تیتانیوم با غلظت ۰/۵ درصد در هر حال دقت پیشگویی نظریه کیوبلکا-مانک برای نمونه های مختلف متفاوت می باشد. دلیل وقوع چنین نتیجه ای می تواند در نحوه

انتخاب غلظتها در محاسبه $\frac{K}{S}$ واحد باشد. عبارت دیگر در روش کیوبلکا - مانک پیشگویی مقدار انعکاس تحت تاثیر نحوه محاسبه $\frac{K}{S}$

واحد است که همانگونه که ذکر شد بر پدیده ای بودن این نظریه و تاثیر کالیبراسیون دلالت دارد. در این تحقیق مقادیر $\frac{K}{S}$ واحد اولیه ها با استفاده از تغییرات غلظت هر اولیه به تنهایی و با بکارگیری روش حداقل مربعات بدست آمده است و بدون تردید همانگونه که والویت و همکارانش پیشنهاد نموده اند در صورتیکه از مخلوط اولیه ها استفاده می شد نتایج حاصله برای نمونه های مخلوط بویژه در سری حاوی ماده مات کننده مناسبتر می گردید. لذا مقادیر اختلاف رنگ بزرگ در سری نمونه های حاوی ماده مات کننده به کالیبراسیون سیستم برمی گردد. در هر حال آنچه حائز اهمیت است کوچکتر بودن مقادیر اختلاف رنگ و مقادیر منحنی های انعکاسی در مجموعه نمونه هایی است که حاوی اکسید تیتانیوم هستند.

جدول شماره ۲: مقادیر ΔE و $(\sum \Delta R^2)^{0.5}$ بین نمونه های اندازه گیری شده و پیشگویی شده (حاوی ماده مات کننده) توسط روش کیوبلکا-مانک

| $(\sum \Delta R^2)^{0.5}$ | ΔE | رنگزا (غلظت) |
|---------------------------|------------|--------------|
| ۰/۱۵۷۳ | ۱/۹۸۰۵ | آبی (۰/۰۹) |
| ۰/۲۱۸۷ | ۱/۹۹۷۸ | آبی (۰/۱) |
| ۰/۵۲۳ | ۸/۹۵ | قرمز (۰/۱) |
| ۰/۷۶۲۵ | ۰/۵۸۴۹ | قرمز (۰/۵) |
| ۱/۰۹۱۸ | ۰/۷۴۵ | زرد (۰/۵) |
| ۰/۲۱۳۴ | ۹/۱۶ | قهوه ای |
| ۰/۲۳۳۸ | ۱۰/۸۲ | بنفش |
| ۰/۳۸۵۳ | ۲۱/۳۳ | سبز ماشی |
| ۰/۰۹۴ | ۶/۹۷ | قرمز گوجه ای |
| ۰/۴۸۶۳ | ۱۵/۲ | سبز زیتونی |
| ۰/۳۳۴۲ | ۱۹/۶۶ | پرتقالی |

نتیجه گیری کلی

در این مقاله با استفاده از شبکه ای از لوله های موئین و حاوی محلول مواد رنگزا به همراه و یا بدون استفاده از اکسید تیتانیوم یک شبکه شبیه سازی شده برای یک پارچه تهیه گردید. آنگاه به منظور تخمین فاکتور انعکاسی و مقدار محرکه های رنگی چنین محیطی از نظریه کیوبلکا-مانک استفاده شد.

نتایج محاسبه شده برای منحنی های انعکاسی با استفاده از نظریه کیوبلکا-مانک نشان دهنده پیشگویی نامناسب مقادیر انعکاس طیفی توسط نظریه کیوبلکا-مانک برای شبکه های تهیه شده از لوله های موئین فاقد ماده مات کننده و یا در واقع الیاف شفاف است. متقابلاً

مشاهده گردید که پیشگویی مقادیر انعکاسی الیاف شبیه سازی شده ای که حاوی ماده مات کننده بودند با استفاده از نظریه کیوبلکا-مانک منجر به جواب های بسیار مناسبتری می گردد. بر اساس نتایج حاصله می توان کسب چنین نتایجی را در فرضیات غیر واقعی مدل در نظر گرفته شده دانست که در غیر واقعی ترین فرضیه از احتساب انعکاس سطحی در مرز تماس دو محیط صرف نظر می نماید.

مراجع

- [1] Kubelka, P. and Munk, F., "Ein Bertrag Zur Optik der Farbanstriche", Z. Tech. phys., Vol. 12, pp. 593-601, 1931.
- [2] Allen, E., *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. Color., 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] Hunter, R.S., "Techniques for Preparing and Handling Specimens for Color Measurements", Col. Eng., Vol. 4, No. 5, pp. 35-37, 1966.
- [7] McGinnis, P. H., "Spectrophotometric Color Matching with the Least Squares Technique", Col. Eng., Vol. 5, No. 6, pp. 22-27, 1967.
- [8] Walowit, E., Mc Carthy, C. J. and Berns, R. S., "An Algorithm for the Optimization of Absorption and Scattering Coefficient", Col. Res. Apl. J., Vol. 12, NO. 6, pp. 340-343, 1987.
- [9] Burlone, D. A., "Effect of Fiber Translucency on the Color of Blend of Per-Colored Fiber", Text. Res. J., Vol. 60, pp. 162-166, 1990.