



## تهیه پوشش ضدبازتاب لیزر با استفاده از ترکیبات کربن متخلخل

کمال فانی<sup>\*</sup>، محمد جعفری، سید علی اصغر عسگری

استادیار، دانشکده علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، شاهین شهر، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۳۱۴۵-۱۱۵  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۵ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۶/۳/۲۰

### چکیده

کاهش بازتابش لیزر به عنوان یک پدافند مؤثر برای محافظت از افراد و تجهیزات حساس حایز اهمیت است. مهم‌ترین استراتژی برای کاهش آسیب‌های تابش لیزر، کاهش میزان بازتابش آن از سطوح است. در این تحقیق از روش‌های ایجاد تخلخل در ساختار رنگدانه برای دستیابی به پایین‌ترین درصد بازتابش و ساخت پوشش‌های ضدبازتاب لیزر استفاده شده است. رنگدانه‌های کربنی متخلخل CMK-1 و CMK-3 تهیه شده و با روش‌های XRD، FE-SEM و DR-UV-Vis-NIR ارزیابی شدند. پوشش حاوی این رنگدانه‌ها روی بستر آلومینیمی اعمال شد و خواص عمومی رنگ و طیف بازتابش پراکنده آنها مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت میزان بازتابش آن در برابر لیزر ۵۳۲ نانومتر از فواصل مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و مشخص شد که این پوشش‌ها نقش مؤثری در کاهش بازتابش لیزر تابیده شده ایفا می‌نمایند.

واژه‌های کلیدی: پوشش ضدبازتاب، لیزر، کربن متخلخل، CMK-1، CMK-3.

## Preparation of the Antireflective Coating for Laser Using the Porous Carbon Materials

K. Ghani\*, M. Jafari, S. A. Asghar Asgari

Faculty of Applied Science, Malek Ashtar University of Technology, P.O. Box 83145/115, Shahin Shahr, Isfahan

Received: 03-04-2016

Accepted: 26-10-2016

Available online: 10-6-2017

### Abstract

The reduction of laser reflectivity is important as an effective defense to protect people and sensitive equipment. Reducing the reflectivity of surfaces is the most important strategy for decreasing the damages of laser radiation. In this research, the porous pigments are prepared to achieve the lowest percentage of reflection which were used to fabricate antireflective coatings for laser radiation. The porous carbon pigments containing CMK-1 and CMK-3 were prepared and the resulting black pigments were characterized using XRD, FE-SEM and DR-UV-Vis-NIR. The prepared paints were applied on aluminum substrate and the general tests of paints were investigated. The laser reflectivity was evaluated at wavelength of 532 nm that shows these coatings are effective antireflective coating for laser beam. J. Color Sci. Tech. 11(2017), 11-21©. Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Antireflective coating, Laser, Porous carbon, CMK-1, CMK-3.

## ۱- مقدمه

بنابراین در ادامه، درباره انواع ضدبازتاب‌های لیزر و به ویژه پوشش‌های آنها و تحقیقات انجام شده بحث خواهد شد. استفاده از ترکیبات ضدبازتاب لیزر، برای کاهش و یا حذف اثرات نامطلوب لیزرها، به عنوان روش مؤثری جهت محافظت در برابر لیزرهای پالسی مورد توجه محققین قرار دارد. اما برای این که محافظت در برابر تهدیدات لیزری، با استفاده از این پوشش‌ها مؤثر باشد، باید لایه محافظت کننده شرایط زیر را داشته باشد [۱]:

الف- حساسیت نسبت به گستره وسیعی از طول موج‌های لیزری،

ب- عدم ایجاد آسیب در ساختار آن در اثر برخورد لیزر و

ج- پایدار بودن آن در طول مدت استفاده.

لیزرهای پرکاربرد معمولاً از فناوری لیزر حالت جامد استفاده می‌کنند. اولین لیزر مورد استفاده بدین منظور لیزر یاقوت با طول موج ۶۹۴ نانومتر بوده [۴] و امروزه بیشتر از لیزر Nd: YAG و Er:Glass استفاده می‌شود که خروجی لیزر آن‌ها به ترتیب دارای طول موج ۵۳۲، ۱۰۶۴ و ۱۵۴۰ نانومتر است [۴].

ترکیبات متعددی به عنوان ضدبازتاب لیزر به کار گرفته شده که مشخصه عمومی همگی آنها ضریب جذب بالا در گستره طول موج مورد نظر بوده است. ترکیباتی از قبیل وانادیل فتالوسیانین سولفونامید [۵]، تریس (پارادی‌متیل‌آمینوفنیل) آمینیم هگزافلورواتیمونات [۶]، ساماریم آلومینات [۷] و کربن آمورف [۸] به عنوان ترکیبات ضدبازتاب لیزر گزارش شده‌اند. در این تحقیق تلاش می‌شود تا پوشش‌های مناسب برای مقابله در برابر لیزرها ساخته شود لذا برای افزایش میزان جذب و کاهش درصد بازتابش از ترکیبات متخلخل به عنوان رنگدانه استفاده می‌شود.

رنگدانه‌های کربنی در پوشش‌های مختلف به کار رفته‌اند [۹، ۱۰] و کربن به دلیل دارا بودن جذب بالا در ناحیه‌های مرئی و زیر قرمز نزدیک، گزینه مناسبی جهت کاربرد به عنوان رنگدانه ضدبازتاب لیزر است [۸] لذا در این تحقیق اثر تخلخل در نمونه‌های کربنی با ریخت‌های متفاوت روی میزان بازتابش را بررسی نموده و پس از تهیه رنگ آنها، رفتار بازتابشی آنها در برابر لیزر ۵۳۲ نانومتر بررسی می‌گردد.

## ۲- بخش تجربی

## ۲-۱- مواد

در این تحقیق مواد فعال سطح P123 (pluronic 123) کوپلیمر پلی(اتیلن گلیکول)- پلی(پروپیلن گلیکول)- پلی(اتیلن گلیکول) با  $M_n = 5800$  از شرکت آلدردیج و ستیل تری متیل آمونیم برامید (CTAB) از شرکت مرک، استفاده شد. سایر حلال‌ها و مواد مصرفی با خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک تهیه گردید. برای تعیین میزان جذب و درصد بازتابش در نواحی فرابنفش، مرئی و زیرقرمز نزدیک

امروزه اغلب کشورهای در حال توسعه و همه کشورهای پیشرفته، به تجهیزات مختلفی مجهز شده‌اند که در آنها از لیزر برای مقاصد مختلف پزشکی، تجاری و نظامی استفاده می‌شود. خطرهای مربوط به لیزر، ناشی از خصصت‌های ذاتی انواع مختلف لیزرها (به ویژه واگرایی بسیار ناچیز و در نتیجه تمرکز نقطه‌ای آنها روی هدف) می‌باشد [۱]. در اثر استفاده از لیزر، برحسب قدرت و طول موج لیزری که به کار گرفته شده، افراد و تجهیزات دچار صدمات متعدد و جبران‌ناپذیری می‌شوند. این یک تهدید بالقوه، اما بسیار جدی است. برای مقابله با این تهدید مرگ‌بار و ویران‌گر، باید میزان نور بازتابش شده به هر طریق ممکن، به حداقل کاهش یابد تا امکان آسیب‌رسانی به حداقل برسد [۲].

سه نوع از مهم‌ترین روش‌های کاهش بازتابش لیزر از سطوح عبارتند از [۳]:

۱- کاهش میزان بازپخش<sup>۱</sup> و افزایش میزان نفوذ: از لحاظ فنی برای رسیدن به این ویژگی، سطح با رنگ خاصی که میزان درخشندگی را کاهش داده و آن را به صورت جسم تیره‌ای در می‌آورد، پوشش داده می‌شوند. در نتیجه شدت سیگنال‌های لیزری منعکس شده کاهش می‌یابد. همچنین بعضی از اهداف ثابت یا شبه ثابت را می‌توان با پوشش‌هایی که دارای حفره‌های مینیاتوری هستند، پوشش داد تا لیزری که به سطح برخورد کرده، بعد از انعکاس‌ها و شکست‌های متعدد درون حفرات، بازگردد.

۲- استفاده از توری ضدبازتاب لیزری: این توری می‌تواند با یک رنگ ضدبازتاب لیزر پوشش داده شود. این توری به صورت یک ساندویچ چندلایه ضدبازتاب و یا به صورت لانه زنبوری (از جنس کامپوزیت) است و با این طراحی، نه تنها شدت نور ورودی لیزر تضعیف می‌شود، بلکه نور منعکس شده نیز به مقدار زیادی کاهش می‌یابد.

۳- استفاده از پرده دود: با توسعه سلاح‌های فوتوالکتریک، فناوری قدیمی استفاده از دود نیز احیا شده است. به عنوان یک روش مهم برای مقابله غیرفعال در برابر لیزرهای نظامی، اولین بار در جنگ ویتنام از دود استفاده شد. هنگامی که نیروی هوایی ایالات متحده نیروگاه فوان در هانوی را بمباران کرد، نیروهای نظامی ویتنام با پخش منظم دود، به خوبی توانستند مانع از اصابت تعداد بیشماری از بمب‌های هدایت شونده لیزری شوند که هواپیماهای آمریکایی بر سر ویتنام فرو می‌ریختند، به طوری که هیچ یک از این بمب‌ها به هدف نرسید. این واقعیت انکارناپذیر نشان می‌دهد که دود یک ابزار مؤثر برای گمراه نمودن سلاح‌هایی است که با لیزر هدایت می‌شوند [۲].

از بین روش‌هایی که امروزه برای کاهش بازتابش لیزرها مطرح می‌باشند هر کدام به نحوی نیازمند استفاده از پوشش می‌باشند.

1- Backward-scattering

قالب سیلیکایی خارج شود و سپس به مدت ۸ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه قرار گرفته تا خشک شود [۱۵].

نمونه دیگری از CMK-3 نیز با سه مرحله آغشته‌سازی توسط پیش‌ماده کربنی سنتز گردید. به این ترتیب که در مرحله سوم با افزودن ۰٫۵ گرم ساکارز و ۵۰ میلی‌گرم سولفوریک اسید و ۵٫۰ گرم آب عملیات آغشته‌سازی تکرار شده و سپس ماده حاصله تحت عملیات حرارتی قرار گرفت.

### ۲-۲-۲- روش تهیه کربن نانومتخلخل CMK-1

به منظور تهیه CMK-1 ابتدا قالب MCM-48 مطابق با روش زیر تهیه شد. ۴٫۲۳ گرم از ستیل تری متیل آمونیوم برماید (CTAB) را در ۱۹٫۹۲ گرم آب دیونیزه تحت دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد حل کرده سپس به محلول ۰٫۳۳۶ گرم سدیم هیدروکسید و ۳٫۷۲ گرم تترا اتیل ارتو سیلیکات (TEOS) افزوده تا pH محلول به حدود ۱۱٫۶ رسید. در این شرایط نسبت مولی مواد بدین گونه می‌باشد: 0.1TEOS: 0.65CTAB: 0.118NaOH: 62H<sub>2</sub>O محلول به مدت ۱ ساعت هم خورد و برای ۲۴ ساعت تحت دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد در اتوکلاو قرار گرفت [۱۶]. پودر سفید حاصله، صاف شده و با آب و اتانل شستشو داده شد. محصول به دست آمده در دمای اتاق خشک شد. در نهایت برای حذف مولکول‌های مواد فعال سطح محصول در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد کلسینه شد. برای سنتز کربن نانومتخلخل منظم CMK-1 همانند روش ذکر شده در مورد CMK-3 انجام گرفت. تنها تفاوت، تعویض قالب استفاده شده در روش سنتزی می‌باشد. در این عملیات سنتزی قالب MCM-48 به جای قالب SBA-15 استفاده شد.

### ۲-۲-۳- طرز تهیه رنگ

کربن متخلخل در شرایط محیطی متفاوت اسیدی و قلیایی پایدار است و با توجه به پخش شونده‌گی آن در رزین‌های آلی، از رزین اکریلیک ساخت شرکت ریف ایران (Reef Acryl AC-351T60) جهت اعمال رنگ استفاده شد. به منظور تهیه رنگ از ترکیب نمودن رنگدانه و رزین در حلال متیل اتیل کتون (MEK) استفاده شد. همزن‌های پر قدرت با ایجاد سرعت‌های بالا و در نتیجه تنش‌های برشی زیاد، قادر هستند تجمع‌های رنگ‌دانه‌ها را شکسته و پراکندگی یکنواختی از آن را در مخلوط رنگ به وجود می‌آورند. این هم‌زن‌ها موثرترین وسایل جهت رسیدن به پراکندگی یکسان رنگ‌دانه در رنگ بوده و در مدت زمان کوتاهی دانه‌بندی مورد نظر را فراهم می‌کنند. به منظور بهتر باز شدن اجتماع رنگ‌دانه از گلوله‌های شیشه‌ای با نام پرل استفاده می‌شود که در پایان فرآیند ساخت رنگ با صاف کردن مخلوط، از آن جدا می‌شوند. مدت زمان مخلوط‌شدن رنگ، یک ساعت و فرکانس دستگاه ۲۵ هرتز برای نمونه‌های رنگ در نظر گرفته

دستگاه طیف‌سنج JASCO V-670 ساخت کشور ژاپن مورد استفاده قرار گرفت. میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی<sup>۱</sup> مدل S4160 ساخت شرکت هیتاچی<sup>۲</sup> برای بررسی ریخت‌شناسی نمونه‌ها به کار گرفته شد. الگوهای پراش پرتو X با استفاده از دستگاه Bruker D8 Advance در طول موج ۱٫۷۸۹۰ آنگستروم (Cu K $\alpha$ ) به دست آمده‌اند. پس از اعمال پوشش و اتمام فرآیند پخت، آزمون‌های عمومی شامل آزمون چسبندگی با روش چسب مطابق با استاندارد ASTM D3359-02 [۱۱]، آزمون ضربه مطابق با استاندارد ASTM D6905-3 [۱۲] و آزمون ساییش مطابق با استاندارد ASTM D4060 [۱۳] روی پوشش انجام شد. برای آزمون ساییش از دستگاه ساییش مدل Taber5151 با سنباده سیلیسیم کاربید و برای آزمون چسبندگی از دستگاه شین ۷۵۰ ساخت انگلستان استفاده گردید. ضخامت پوشش‌ها با دستگاه الگومتر ۴۵۶ تعیین شد.

### ۲-۲-۲- روش کار

#### ۱-۲-۲- روش تهیه کربن نانومتخلخل CMK-3

برای تهیه کربن نانومتخلخل CMK-3، ابتدا سیلیکای SBA-15 مطابق فرآیند گزارش شده ژائو<sup>۳</sup> و همکارانش سنتز شد [۱۴]. برای سنتز قالب SBA-15، ۴ گرم P123 (Pluronic 123) را در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در ۱۳۰ گرم آب دیونیزه و ۲۰ گرم HCl ۳۷٪ حل شده، و در ادامه ۸٫۵ گرم تترا اتیل ارتو سیلیکات (TEOS) به محلول اضافه شد. محلول به مدت ۲۰ ساعت در همین دما هم‌زده شد. محلول شیری رنگ به اتوکلاو انتقال داده شده و برای ۲ روز در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. مواد جامد با صافی جدا گردید و با آب مقطر شستشو داده شد. پس از خشک‌شدن در دمای محیط، به مدت ۶ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد مورد عملیات حرارتی قرار گرفت. سپس برای تهیه کربن نانومتخلخل منظم CMK-3، ۱٫۰ گرم SBA-15 را با مخلوط آبی که از حل شدن ۱٫۲۵ گرم ساکارز و ۰٫۱۴ گرم سولفوریک اسید و ۵٫۰ گرم آب دیونیزه به دست می‌آید، آغشته کرده و به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و در ادامه مخلوط به مدت ۶ ساعت دیگر در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. نمونه سیلیکای حاوی اجزاء مخلوط شده را دوباره با افزودن ۰٫۸ گرم ساکارز و ۹۰ میلی‌گرم سولفوریک اسید و ۵٫۰ گرم آب آغشته‌سازی کرده و با قرار دادن در دماهای ۱۰۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد (به مدت ۶ ساعت در هر دما) تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرد. محصول به دست آمده به مدت ۶ ساعت در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد و تحت گاز آرگن کربنیزه می‌شود. سپس نمونه دو مرتبه با محلول سود ۴ مولار شستشو داده شده تا

1- Field emission scanning electron microscopy

2- Hitachi

3- Zhao

سنتز کربن نانومتخلخل ساده می‌باشد، ولی در عین سادگی، شناسایی شرایط و عوامل موثر در سنتز برای کنترل فرآیندها ضروری است.

### ۳-۱- شناسایی قالب SBA-15 و MCM-48

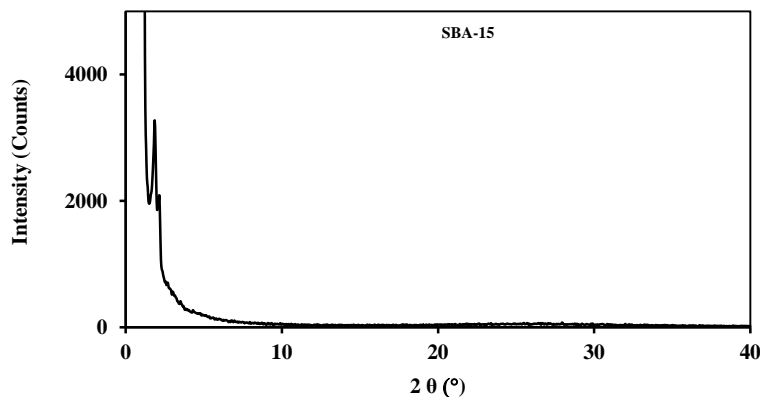
الگوی پراش پرتو X حاصل شده توسط قالب SBA-15، وجود یک پیک تیز به همراه یک پیک ضعیف را در ناحیه  $2\theta = 0.5-3^\circ$  به نمایش می‌گذارد. البته در بعضی دیگر از مقالات با تغییر در روش سنتز پیک ضعیف ایجاد شده، می‌تواند حذف گردد [۱۷]. شکل ۱ الگوی پراش پرتو X قالب سیلیکایی SBA-15 را نشان می‌دهد. این شکل وجود پیک‌های مربوطه را تایید می‌کند.

شکل ۲ الگوی پراش پرتو X قالب سیلیکایی MCM-48 را نشان می‌دهد. الگوی پراش اشعه X حاصل شده توسط این قالب، یک پیک تیز و یک پیک ضعیف ( $2\theta = 6^\circ$  و  $2\theta = 3^\circ$ ) را نشان داد. پیک‌های حاصله شباهت زیادی با نمونه‌های مشابه در مقالات مختلف دیگر دارد ( $2\theta = 5-8^\circ$  و  $2\theta = 2-4^\circ$ ) [۱۸].

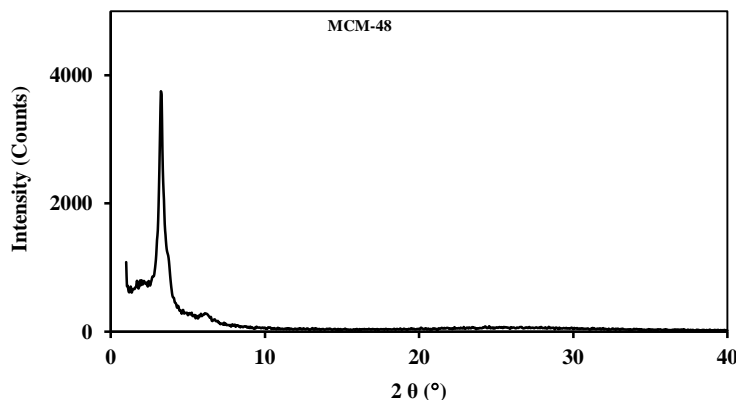
شده است. به منظور دستیابی به ضخامت یکسان در همه نقاط پوشش، جهت اعمال رنگ از روش افشانش استفاده شد. فشار مورد استفاده ۳-۴ بار و فاصله از سطح زیرلایه ۱۵-۲۰ سانتی‌متر انتخاب شد. از رنگدانه‌های CMK-1 و CMK-3 به منظور تهیه پوشش و بررسی‌های عملیاتی استفاده شد.

### ۳-۲- نتایج و بحث

سنتز SBA-15 و MCM-48 مستقیم و با استفاده از قالب نرم انجام شد. برای سنتز این مواد نخست ماده فعال سطح در کاتالیزور اسیدی و یا بازی حل شده و سپس پیش‌ماده سیلیکایی (به عنوان مثال TEOS) اضافه شد. این محلول به مدت معینی و در دمای مطلوب هم‌زده می‌شود. پس از فرآیند آبکافت (برای شکل‌گیری ساختار) برای حذف میکرومافذ، عملیات هیدروترمال انجام شده و در ادامه با کلسینه‌کردن و حذف ماده فعال سطح قالب مورد نظر به دست می‌آید. عملیات آغشته‌سازی قالب توسط منابع کربنی و تثبیت و حذف قالب به ماده کربنی مورد نظر منجر خواهد شد. اگر چه فرآیند



شکل ۱: الگوی پراش XRD ترکیب SBA-15.



شکل ۲: الگوی پراش XRD ترکیب MCM-48.

## ۲-۳- بررسی فرآیند سنتز و ارزیابی کربن CMK-3

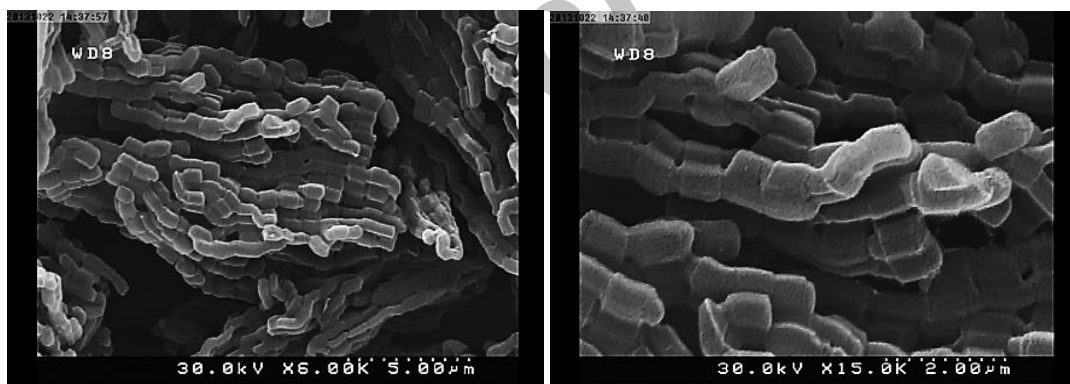
حجم منافذ سیلیکایی ظرفیت کافی برای جذب تک مرحله‌ای ساکارز (به طوری که بتواند در یک مرحله آغشته‌سازی تشکیل ساختار سخت کربنی بدهد) را ندارد. حجم منافذ ۱ گرم از قالب سیلیکایی تقریباً ۱ سانتی‌متر مکعب است (حجم SBA-15 تقریباً با MCM-48 برابر است) [۱۹]. بنابراین این حجم از منافذ می‌تواند در حدود ۱,۶ گرم ساکارز جامد را در بر بگیرد. بر همین اساس، زمانی که محلول آبی شامل ساکارز و اسید سولفوریک مورد استفاده قرار می‌گیرد مقدار بیشینه ساکارز به ۱,۲۵ گرم کاهش می‌یابد. آنالیز وزن‌سنجی نشان داده که ۱,۲۵ گرم ساکارز می‌تواند توسط فرآیند کربن‌دار کردن به ۰,۳۸ گرم کربن تبدیل گردد. هنگامی که مقدار ساکارز در مرحله نخست بیشتر از ۱,۲۵ گرم باشد منبع کربنی اضافی نمی‌تواند به منافذ قالب نفوذ کند. ساکارز زیاد سبب لخته بستن ذرات قالب شده و در نتیجه منجر به تشکیل کربن بی‌شکل با تخلخل کمتر می‌گردد. بعد از تجزیه ۱,۲۵ گرم ساکارز ترکیب شده (در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد)، قابلیت جذب مقدار بیشتر ساکارز برای نمونه میسر می‌شود. مقدار ۰,۷۵ گرم به نظر بیشینه مقدار ساکارزی است که می‌تواند در مرحله بعد (با توجه به حجم منافذ) اضافه گردد و در

دمای ۱۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تجزیه گردد.

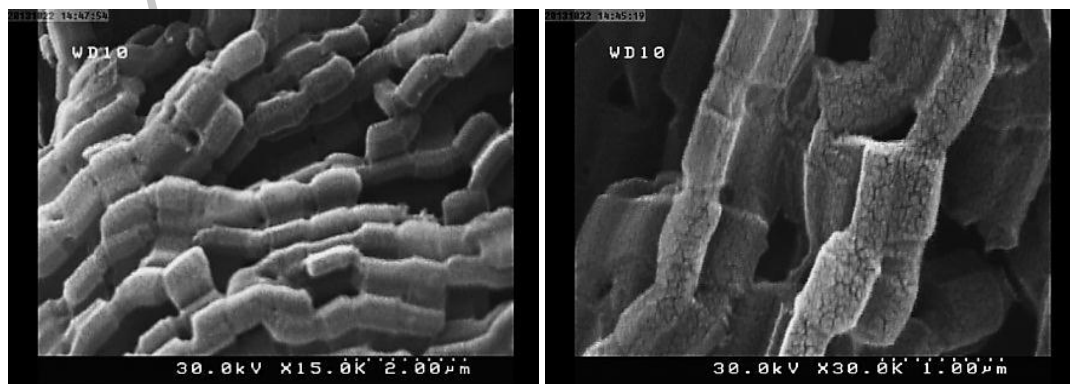
شکل ۳ تصاویر SEM ماده کربنی CMK-3 را با سه مرحله آغشته‌سازی توسط ساکارز نشان می‌دهد. این تصاویر ساختاری با ریخت‌شناسی لوله‌ای شکل را پیشنهاد می‌دهد.

شکل ۴ نیز تصاویر SEM ماده CMK-3 را (با دو مرحله آغشته‌سازی توسط پیش‌ماده کربن) نشان می‌دهد. مقایسه این تصاویر گویای آن است که تعداد دفعات بیشتر آغشته‌سازی قالب با پیش‌ماده کربنی تاثیر زیادی در تغییر ساختار ماده ندارد. دلیل این امر می‌تواند به منافذ بزرگ قالب SBA-15 ربط داده شود. مواد فعال سطح P123 دارای زنجیره آبگریز بسیار بزرگی است که منجر به ایجاد منافذ بزرگ در قالب و در نتیجه افزایش گنجایش منافذ در SBA-15 می‌شود.

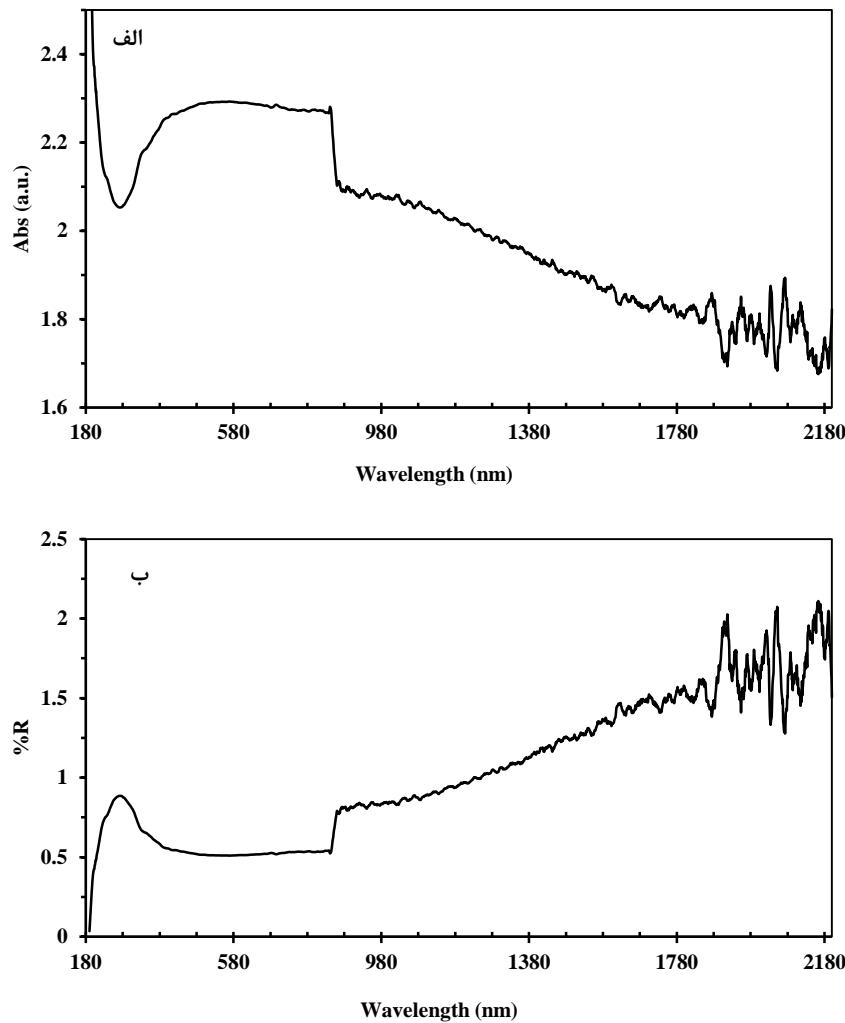
طیف‌های جذبی و بازتابش پراکنده CMK-3 (با سه بار عملیات آغشته‌سازی توسط پیش‌ماده کربنی) در ناحیه فرابنفش، مرئی و زیر قرمز نزدیک در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت طیف‌های حاصل، جذب بالا و انعکاس پایین کربن را در ناحیه UV-Vis-NIR نشان می‌دهند.



شکل ۳: تصویر SEM از CMK-3 با سه بار آغشته‌سازی توسط ساکارز.



شکل ۴: تصویر SEM از CMK-3 با دو بار آغشته‌سازی توسط ساکارز.



شکل ۵: نمودارهای الف) جذب و ب) درصد بازتاب CMK-3 با سه بار عملیات آغشته‌سازی توسط پیش‌ماده کربنی ساکارز.

افزایش ضخامت دیواره‌ها گردیده ولی در مقابل منجر به پر شدن منافذ و بی‌نظم شدن ساختار ماده کربنی شده است. ریخت و شکل قالب سیلیکایی نیز بر مقدار جذب ماده کربنی تاثیرگذار است. SEM نمونه‌های CMK-1 و CMK-3 و نمودار جذبی این گونه‌ها نشان می‌دهد که وجود حفرات و شکاف‌های بزرگ در ساختار CMK-1 باعث جذب بهتر این ترکیب می‌شود. شکل‌های ۸ و ۹ به خوبی بهتر شدن میزان جذب و کاهش بازتابش در CMK-1 با سه بار آغشته‌سازی را نشان می‌دهد.

#### ۴-۳- بررسی انواع کربن‌های نانومتخلخل

مواد کربنی که توسط دستگاه طیف‌سنج مورد آزمایش قرار گرفته‌اند در روش سنتز قالب، نوع پیش‌ماده کربنی و ساختار ظاهری با

#### ۳-۳- بررسی فرآیند سنتز و ارزیابی کربن CMK-1

سازوکار سنتز CMK-1 همانند CMK-3 بوده و تنها تفاوت موجود در روش تهیه این دو ماده تفاوت در نوع قالب استفاده شده می‌باشد. این امر به تفاوت در ساختار کربنی منجر شده است. دقت شود که CMK-3 دارای ساختاری شش وجهی و تک بعدی است در حالی که CMK-1 دارای ساختار چهاروجهی و سه بعدی می‌باشد. همان‌طور که در سنتز CMK-3 نیز ذکر شد ۱,۲۵ گرم ساکارز در هر گرم قالب به کار می‌رود. شکل ۶ تصویر SEM ماده CMK-1 را با دو مرحله آغشته‌سازی توسط پیش‌ماده کربنی نشان می‌دهد. درهم رفتگی و پیچیدگی این ساختار در تصویر نشان داده شده به وضوح قابل تشخیص است. شکل ۷ ضخیم شدن دیواره‌ها را با افزایش مراحل آغشته‌سازی نشان می‌دهد. افزایش عملیات آغشته‌سازی باعث

$$R = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (1)$$

در این رابطه R میزان بازتابش،  $n_2$  ضریب شکست ماده و  $n_1$  ضریب شکست هوا می باشد. در ادامه با استفاده از رابطه ۲ می توان تخلخل مواد سنتز شده را تخمین زد.

$$\frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2} = (1 - q) \left( \frac{n_1^2 - 1}{n_1^2 + 2} \right) \quad (2)$$

که در رابطه ۲، q میزان تخلخل است و با استفاده از ضرایب شکست به دست می آید. از جداول ضریب شکست برای کربن سیاه در طول موج ۶۳۳ نانومتر بین ۱٫۶ تا ۲ به دست آمد [۲۱]. مقدار بازتابش در طول موج ۶۳۳ نانومتر را با استفاده از نمودار درصد بازتابش به دست آورده و با جایگذاری آن در رابطه های ۱ و ۲، میزان تخلخل تعیین می گردد (جدول ۲).

جدول ۲: محاسبه میزان تخلخل (اعداد در پسوند CMK-1 نشانه تعداد مراحل آغشته سازی است).

ماده	CMK-1-3	CMK-3-3	CMK-1-2
میزان تخلخل (q)	۰٫۷۷-۰٫۸۴	۰٫۷۱-۰٫۸۰	۰٫۶۴-۰٫۷۵

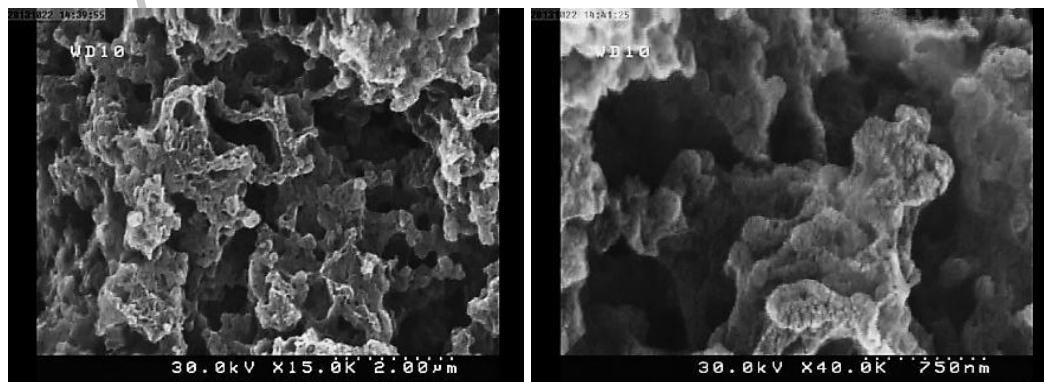
با توجه به محاسبات انجام شده و نتایج به دست آمده می توان گفت که CMK-1 بالاترین میزان تخلخل را داراست. جذب بالای CMK-1 نسبت به CMK-3 نیز به دلیل پیچیدگی در ساختار قالب می باشد. در ادامه به منظور بررسی خواص بازتابی رنگ از رنگدانه های CMK-1-3 و CMK-3-3 استفاده خواهد شد.

یکدیگر تفاوت دارند ولی سایر شرایط سنتز (همانند دمای کربنی شدن، کاتالیزور و غیره) برای همه مواد یکسان بوده است. به این ترتیب با توجه به آزمون های صورت گرفته می توان گفت مواد کربنی در ناحیه UV-Vis-NIR دارای جذب بالا و درصد انعکاس پایین می باشد. افزایش میزان تخلخل می تواند در جذب بیشتر این مواد موثر باشد. افزایش تخلخل نسبت مستقیم با افزایش سطح مقطع ویژه مواد دارد. زیرا افزایش مساحت، محدوده برخورد طیف های نوری با سطح ذرات را افزایش داده که به جذب بیشتر ماده منجر خواهد شد. استفاده از روش قالبی گزینه مناسبی برای جلوگیری از تخریب منافذ در عملیات پیرولیز می باشد. قالب های متخلخل علاوه بر جلوگیری از تخریب منافذ باعث سازمان بخشی به شکل ظاهری مواد کربنی می شود. ریخت قالب مورد استفاده تاثیر زیادی بر شکل ماده کربنی دارد و این امر نیز تغییر در میزان جذب را سبب می شود. هرگونه تغییر در شکل قالب منجر به ایجاد ساختار جدیدی در سنتز مواد کربنی می شود. ضریب جذب ترکیبات کربنی تهیه شده با استفاده از روش های استاندارد [۲۰] تعیین شده و در جدول ۱ آورده شده است.

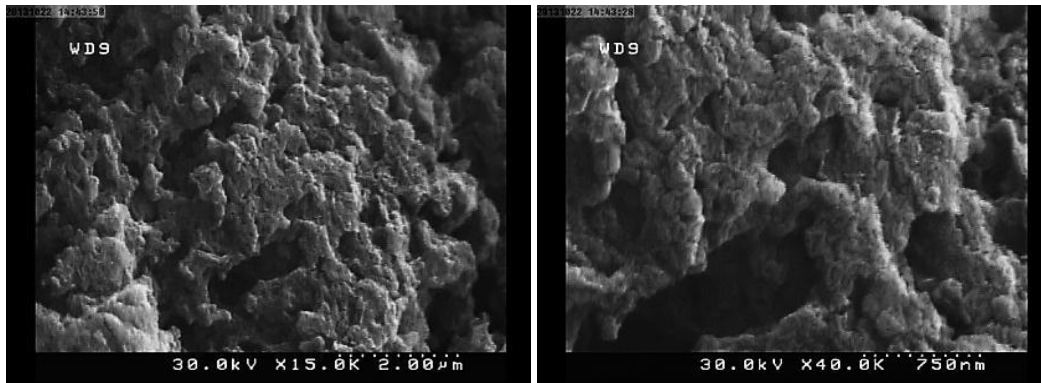
جدول ۱: محاسبه ضریب جذب با توجه به نمودارهای جذبی و درصد انعکاس (اعداد در پسوند CMK-1 نشانه تعداد مراحل آغشته سازی است).

ماده	CMK-1-3	CMK-3-3	CMK-1-2
ضریب جذب	0.9948	0.9896	0.9912

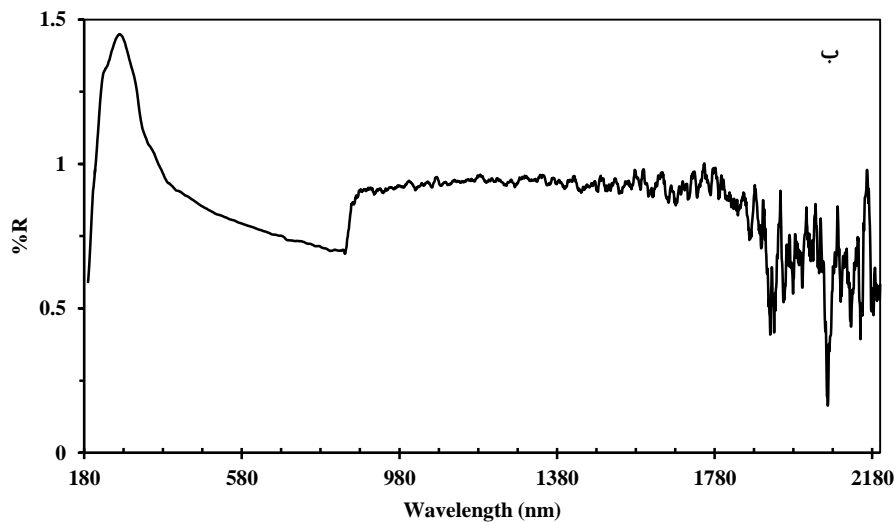
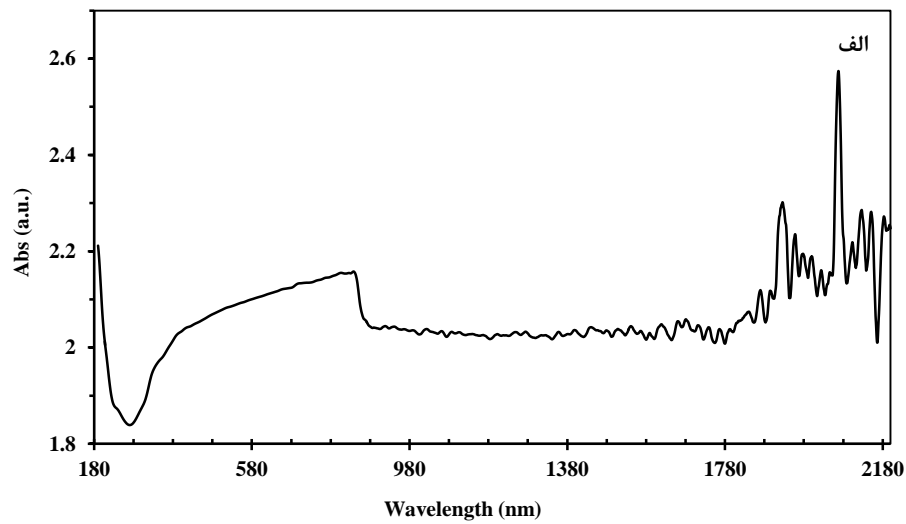
با استفاده از نمودارهای درصد بازتابش و جذب و رابطه های ۱ و ۲ و همچنین با استفاده از ضریب شکست مواد کربنی می توان میزان تخلخل این مواد را ارزیابی کرد [۲۱].



شکل ۶: تصویر SEM ماده CMK-1 با دو بار آغشته سازی توسط ساکارز.

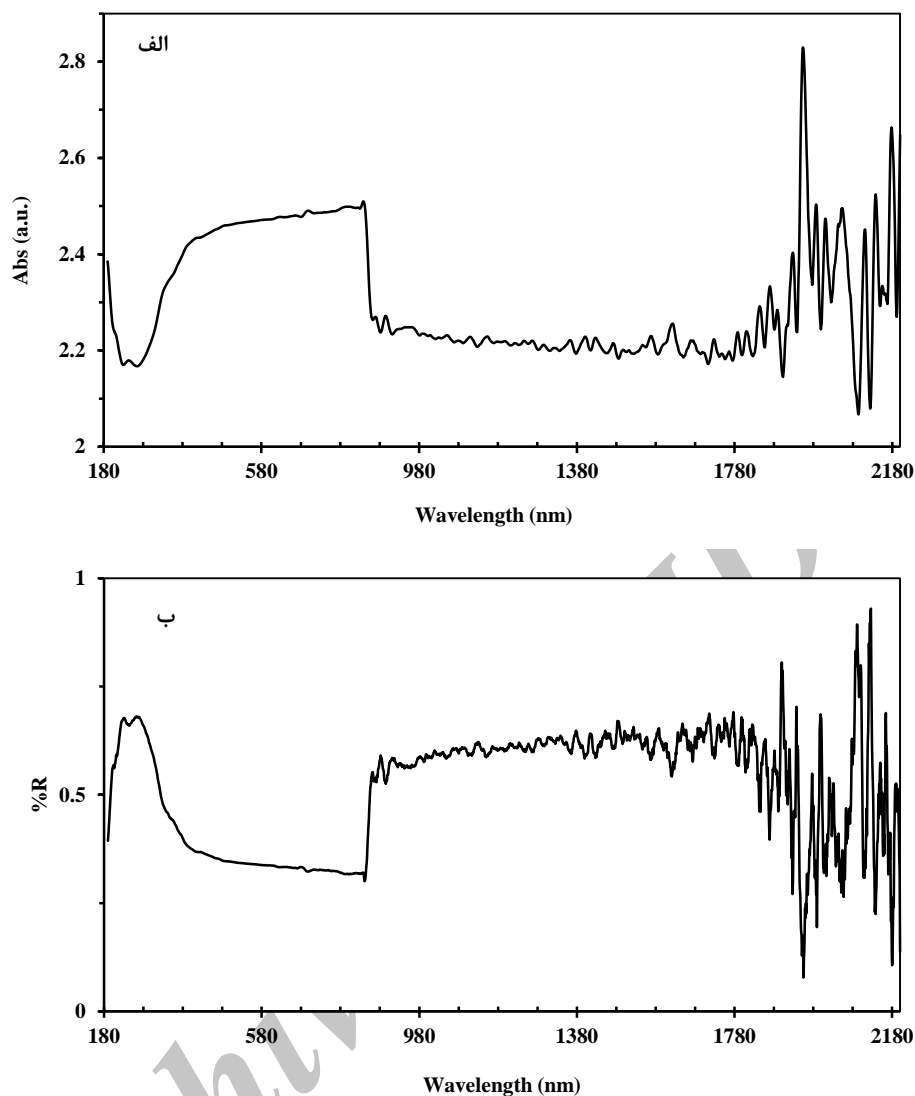


شکل ۷: تصویر SEM ماده CMK-1 با سه بار آغشته‌سازی توسط ساکارز.



شکل ۸: نمودارهای الف (جذب و ب) درصد بازتاب CMK-1 با دو بار عملیات آغشته‌سازی توسط پیش‌ماده کربنی ساکارز.





شکل ۹: نمودارهای الف (جذب و ب) درصد بازتاب CMK-1 با سه بار عملیات آغشته‌سازی توسط پیش‌ماده کربنی ساکارز.

پهنای پالس ۱۵ نانوثانیه، قطر دهانه تلسکوپ گیرنده ۱۵ سانتی‌متر و آشکارساز فوتومولتی پلایر با بازده کوانتومی ۶۵ درصد در ۵۳۲ نانومتر در فواصل مختلف استفاده گردید (جدول ۵ و شکل ۱۰). مشخص شد در فاصله ۸ متری صفحه آلومینیم بدون پوشش بازتابش ۹۰٫۳ درصد در صورتی که بازتابش صفحه آلومینیم پوشیده شده با رنگدانه CMK-1 مقدار ۰٫۷۴ را نشان داد و در مورد صفحه آلومینیم پوشیده شده با رنگدانه CMK-3 عدد ۱٫۳۶ به دست آمد. رنگدانه CMK-1 با کاهش ۹۱ درصد (نسبت به صفحه آلومینیم بدون پوشش) در بازتابش لیزر در مقایسه با رنگدانه CMK-3 با کاهش ۸۴ درصد، کارایی بهتری را نشان می‌دهد. ساختار سه‌بعدی CMK-1 با دارا بودن منفذ سه‌بعدی پیچیده باعث جذب نور بهتر به دلیل افزایش تعداد برخوردهای لیزر وارد شده در این حفرات می‌گردد و در نتیجه بازتابش کمتری را نسبت به CMK-3 با ساختار لوله مانند

### ۳-۵- آزمون‌های عمومی رنگ حاوی کربن CMK-1 و CMK-3

نتایج آزمون‌های انجام شده در مورد پوشش‌های CMK-1 و CMK-3 به ترتیب در جداول ۳ و ۴ آمده است. با توجه به نتایج ارائه شده مشخص گردید که رنگدانه CMK-1 با درصد جرمی ۱۲ درصد و رنگدانه CMK-3 با درصد جرمی ۱۰ درصد به عنوان یک پوشش با مشخصات قابل قبول جهت بررسی خواص بازتابشی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

### ۳-۶- اندازه‌گیری میزان بازتابش لیزر

از آنجا که هدف این تحقیق اندازه‌گیری میزان بازتابش لیزر از سطح رنگ‌های ساخته شده بود با استفاده از دستگاه لیدار میزان بازتابش از سطح نمونه‌ها اندازه‌گیری و تعیین گردیده است. لذا برای اندازه‌گیری بازتابش لیزر از طول موج ۵۳۲ نانومتر با انرژی پالس ۲۰ میلی‌ژول،

پراکنده هر یک از رنگدانه‌ها، به طور قطعی در دو طول موج دیگر  
پر کاربرد (۱۰۶۴ نانومتر و ۱۵۴۰ نانومتر) نیز این قابلیت را دارند.

نشان می‌دهد. با توجه به توانایی این دو پوشش در برابر طول موج  
۵۳۲ نانومتر و درصد بازتابش به دست آمده در طیف‌های بازتابش

جدول ۳: نتایج آزمون‌های عمومی رنگ حاوی کربن نانومتخلخل CMK-1.

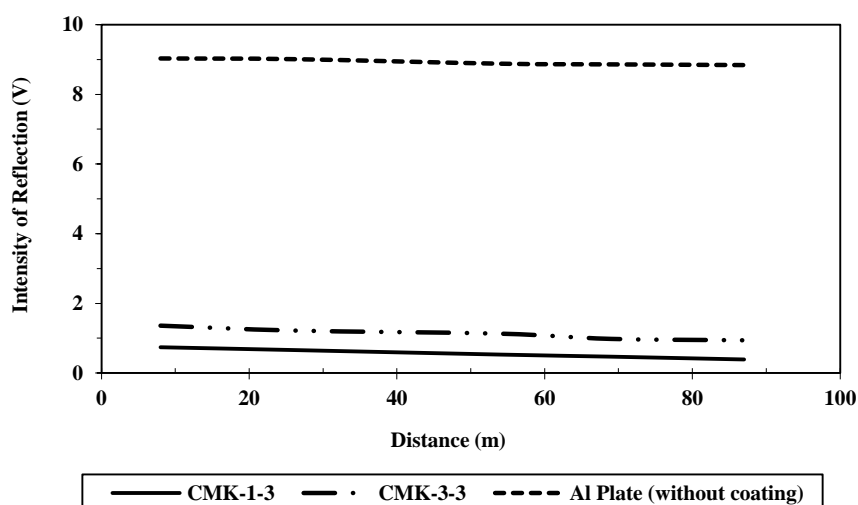
ضربه (lb.in)	چسبندگی (B)	مقاومت به سایش (کاهش جرم mg)	ضخامت ( $\mu\text{m}$ )	آزمون درصد رنگدانه در رزین
۵۲	5B	۱۴	۹۱	۸
۴۶	5B	۱۲	۸۵	۱۰
۴۹	5B	۱۱	۹۴	۱۲

جدول ۴: نتایج آزمون‌های عمومی رنگ حاوی کربن CMK-3.

ضربه (lb.in)	چسبندگی (B)	مقاومت به سایش (کاهش جرم mg)	ضخامت ( $\mu\text{m}$ )	آزمون درصد رنگدانه در رزین
۴۹	5B	۱۶	۸۶	۸
۴۷	5B	۱۲	۸۱	۱۰
۴۲	4B	۱۴	۸۹	۱۲

جدول ۵: بازتابش برگشتی لیدار در ۵۳۲ نانومتر.

ردیف	فاصله (متر)	CMK-1-3 (ولت)	CMK-3-3 (ولت)	صفحه آلومینیم بدون پوشش (ولت)
۱	۸	۰,۷۴	۱,۳۶	۹,۰۳
۲	۲۶	۰,۶۶	۱,۲۲	۹,۰۱
۳	۵۴	۰,۵۳	۱,۱۳	۸,۸۸
۴	۶۹	۰,۴۷	۰,۹۸	۸,۸۶
۵	۸۷	۰,۳۹	۰,۹۴	۸,۸۴



شکل ۱۰: نمودار بازتابش لیزر ۵۳۲ نانومتر از سطح پوشش‌های مختلف.

حالت کربن متخلخل در کاهش بازتابش بسیار اهمیت دارد و با افزایش تخلخل کربن، بازتابش کاهش می‌یابد. CMK-1 به عنوان یک گزینه مناسب جهت تهیه پوشش ضد بازتاب لیزر در برابر آسیب‌های لیزری به دست آمد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ترکیبات کربن متخلخل مختلف تهیه و سپس خواص نوری آنها با استفاده از دستگاه طیف‌سنج ارزیابی گردید و نمونه‌ها با ردیاب لیزری مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد ریخت و

#### ۵- مراجع

1. R. C. Hollins, Material for optical limiters, *Curr. Opinion in Solid State Mat. Sci.* 4(1999), 189-196.
2. S. K. Wasserman, Anti-reflective coating for laser beams, EP Pat. 1728817A1, 2005.
3. F. Wei, Jamming of laser-guided weaponry, DTIC, 19970414144
4. S. F. Clifton, The infrared and electro-optical systems, SPIE Optical Engineering Press, Washington, 6(1993), 107-110.
5. R. J. Tucker, Vanadyl phthalocyanine sulfonamide and laser protective plastic filters containing the same, US Pat. 3853783, 1976.
6. R. A. Sallavanti, M. J. Lubianetsky, Laser- Attenuative optical filter, US Pat. 5271872, 1993.
7. Z. Yiqing, H. Pengde, Z. Le, W. Lixi, Z. Qitu, Optical property of  $\text{SmAlO}_3$  applied as  $1.06 \mu\text{m}$  laser absorbing material. *J. Rare Earths.* 31(2013), 1102-1106.
8. D. M. Foley, A near infrared laser absorbing coating and method for using same in color imaging and proofing, EP Pat. WO1990012342A1, 1990.
9. م. خواجه‌مه‌ریزی، س. م. مرتضوی، ش. ملک‌پور، س. م. بیدکی. تاثیر کربن مشک‌ی و کربن فعال بر خواص رنگی و فیزیکی پارچه پنبه- نایلونی. نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ، ۸(۱۳۹۳)، ۹۳-۱۰۰.
10. H. Panahi, S. Asadi, A new model selection test with application to the censored data of carbon nanotubes coating. *Prog. Color Colorants Coat.* 9 (2016), 17-28.
11. Standard test methods for measuring adhesion by tape test, ASTM Standard, D-3359, 2002.
12. Standard test method for impact flexibility of organic coatings, ASTM Standard, D6905-03, 2008.
13. Standard test method for abrasion resistance of organic coatings by the taber abraser, ASTM Standard, D4060-01, 2008.
14. D. Zhao, J. Feng, Q. Huo, N. Melosh, G. H. Fredrickson, B. F. Chmelka and G. D. Stucky, Triblock copolymer syntheses of mesoporous silica with periodic 50 to 300 angstrom pores. *Sci.* 279(1998), 548-552.
15. K. Xia, Q. Gao, C. Wu, S. Song, M. Ruan, Activation, characterization and hydrogen storage properties of the mesoporous carbon CMK-3. *Carbon.* 45(2007), 1989-1996.
16. L. Wang, J. Zhang, F. Chen, Synthesis of hydrothermally stable MCM-48 mesoporous molecular sieve at low cost of CTAB surfactant. *Micro. Meso. Mater.* 122(2009), 229-233.
17. S. Han, M. Kim, T. Hyeon, Direct fabrication of mesoporous carbons using in situ polymerized silica gel networks as a template. *Carbon.* 41(2003), 1525-1532.
18. V. Meynen, P. Cool, E. F. Vansant, Verified syntheses of mesoporous materials. *Micro. Meso. Mater.* 125(2009), 170-223.
19. M. Kruk, M. Jaroniec, R. Ryoo, S. H. Joo, Characterization of MCM-48 silicas with tailored pore sizes synthesized via highly efficient procedure. *Chem. Mater.* 12(2000), 1414-1421.
20. Standard test method for solar absorptance, reflectance and transmittance of materials using integrating spheres. ASTM International E903-96, 1996.
21. D. A. Williams, T. A. Lappin, J. A. Duffie, Selective radiation properties of particulate coatings. *J. Eng. Power.* (1963), 213-220.