



اکسیداسیون حرارتی آهن بر روی رس جهت تهیه رنگدانه رس - نانو اکسید آهن (۲): بررسی خصوصیات حرارتی، رنگی و الکترومغناطیسی

مازیار پروین زاده گشتی^{۱*}، شیما اسلامی^۲، آرش الماسیان^۳

- ۱- استادیار، گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۴-۱۸۱۵۵
 ۲- کارشناس، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۴-۱۸۱۵۵
 ۳- دانشجوی دکترا، گروه پژوهشی رنگ و محیط زیست، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴
 تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۱۳ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۳/۳/۲۰

چکیده

در این تحقیق نانوذرات اکسید آهن در سطح و در میان لایه‌های رس با استفاده از کربنات سدیم و نیترات آهن پس از اکسیداسیون حرارتی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شدند. پراش پرتو ایکس از رنگدانه سنتز شده وجود بلورهای نانو اکسید آهن ۲ در سطح رنگدانه را نشان داد. به علاوه آزمون حرارتی از رنگدانه نانو اکسید آهن-رس بهبود مقاومت حرارتی رنگدانه را در مقایسه با رس نشان داد. نتایج آزمون‌های میکروسکوپی و اسپکترومتر تفرق پرتو X حضور عناصر آهن، آلومینیم و سیلیسیم را بر سطح رس نشان دادند. بررسی خصوصیات انعکاسی رنگدانه نانو اکسید آهن-رس نشان داد که به دلیل قرارگیری نانوذرات اکسید آهن در ترکیب نهایی رنگدانه، شدت انعکاس نور در ناحیه مرئی و میزان روشنایی رنگدانه کاهش می‌یابد. نتایج آزمون الکترومغناطیس نشان دهنده افزایش جذب امواج در رنگدانه نانو اکسید آهن - رس در مقایسه با رس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ذرات آهن اکسید شده بر رس، اکسیداسیون حرارتی، اسپکترومتر انعکاسی، دستگاه تولید امواج الکترومغناطیس.

Thermal Oxidation of Iron on Clay to Obtain Clay-Nano Iron Oxide (II) Pigment: Evaluation of Thermal, Colorimetric and Electromagnetic Properties

M. Parvinzadeh Gashti^{1*}, Sh. Eslami², A. Almasian³

¹ Department of Textile, Islamic Azad University, Shahre Rey Branch, P. O. Box: 144-18155, Tehran, Iran

² Textile Engineer, Young Researchers Club, Islamic Azad University, Shahre Rey Branch, P. O. Box: 144-18155, Tehran, Iran

³ Department of Environmental Research, Institute for Color Science and Technology, P.O. Box: 16765-654, Tehran, Iran

Received: 30-01-2013

Accepted: 04-09-2013

Available online: 10-06-2014

Abstract

In this research, nano-iron oxide was synthesized on the surface and between clay layers using sodium carbonate and iron nitrate after thermal oxidation in 400 °C. X-ray diffraction from synthesized pigment showed the presence of nano-iron oxide II crystals on the surface of the pigment. Moreover, thermal measurement of nano-iron oxide-clay pigment showed an improvement of thermal stability in comparison with clay. SEM and EDX results showed the presence of chemical elements of Fe, Al and Si on the surface of clay. Reflectance properties of nano-iron oxide-clay pigment showed that the intensity of reflectance in visible region and lightness value of pigment is decreased which is due to deposition of iron oxide nano-particle in the final pigment compound. Results from electromagnetic test showed an increased electromagnetic absorbance in clay/nano-iron oxide pigment in comparison with clay. J. Color Sci. Tech. 8(2014), 1-11©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Iron particles on clay, Thermal oxidation, Reflectance spectrophotometer, Electromagnetic waves instrument.

۱- مقدمه

که می‌تواند سبب تاثیر بر عملکرد دستگاه‌های الکترونیکی شود. مطلب مهم دیگر در مورد این امواج تاثیر منفی آنها بر سلامتی انسان است. بنابراین تلاش‌های وسیعی در معرفی مواد جاذب امواج الکترومغناطیس صورت گرفته است [۴۵-۴۸].

مروری بر روش‌های اشاره شده در قبل نشان می‌دهد که تاکنون هیچ مطالعه‌ای بر روی جذب و انتقال امواج الکترومغناطیس از لایه‌های رس اصلاح شده با آهن و نحوه تداخل آن با امواج الکترومغناطیس انجام نشده است. این گروه در پژوهش قبل نحوه برهم‌کنش امواج الکترومغناطیس با ترکیب رس حاوی آلومینیم را مورد بررسی قرار داد و نتایج جالب و منحصر بفردی حاصل شد [۴۹]. با توجه به اینکه فلز آهن قابلیت جذب امواج الکترومغناطیس را دارد گروه ما تصمیم به تهیه و بررسی رنگدانه رس حاوی آهن گرفت. توجه به این نکته ضروری است که معادن رس و نمک‌های آهن در کشور وجود دارند لذا تهیه ترکیب این دو ماده امکان‌پذیر بوده و ترکیب نهایی می‌تواند به شکل مخلوط با پلیمرهای مصنوعی به عنوان رنگدانه به کار رود در نتیجه قابلیت فام‌دهی و جذب امواج الکترومغناطیسی را خواهد داشت. لذا در مطالعه حاضر خصوصیات نوری و الکترومغناطیسی لایه‌های رس اکسید شده با آهن بررسی شده است.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

ذرات رس بنتونیت با نام تجاری Kunipia-F تهیه شده از شرکت Kunimine Industries ژاپن در این تحقیق استفاده شد که حاوی ۹۸٫۹۹٪ بنتونیت با ساختار شیمیایی $(\text{Al}_{1.6}\text{Mg}_{0.3}\text{Fe}_{0.1})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Na}_{0.4}\text{Ca}_{0.03}\text{K}_{0.01})$ است. وزن مولکولی و ظرفیت تبادل کاتیونی آن به ترتیب ۳۷۲ و ۱۱۵ میلی‌اکی‌والان در هر ۱۰۰ گرم از ترکیب شیمیایی می‌باشد. کربنات سدیم و نیترات آهن (III) از شرکت مرک تهیه شد.

سنتر رنگدانه نانو اکسید آهن - رس توسط روش اکسیداسیون

حرارتی

بر طبق روش‌های مشابه که توسط محققان گزارش شده است [۲۳-۲۹] محلول آبی ۰٫۴ مولار کربنات سدیم به آرامی به محلول ۰٫۲ مولار نیترات آهن (III) در حین هم‌زدن اضافه شد و سپس سرعت هم‌زدن افزایش یافت (۱۲۰۰ دور در دقیقه). این فرآیند برای ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد ادامه پیدا کرد. ۲ گرم رس در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه پراکنده شد و سپس مخلوط کربنات سدیم و نیترات آهن (III) قطره قطره به محلول پراکنش‌کننده رس در دمای حمام ۶۰ درجه سانتی‌گراد در حین هم‌زدن اضافه شد و هم‌زدن مداوم این مخلوط به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق ادامه یافت.

کانی‌های رس با ساختار بلوری سیلیکات آلومینیم در محصولات مختلف از جمله نانوکامپوزیت‌ها [۱]، مواد ساختمانی [۲، ۳]، سرامیک [۴]، پوشش‌های کاغذ [۵]، مواد دارویی [۶]، مواد جاذب سطحی [۷]، مبدل یونی [۸]، جدا کننده‌ها [۹] و کاتالیزورها بطور گسترده استفاده می‌شوند [۱۰].

بنتونیت تجاری‌ترین نوع رس است که دارای ساختار ۲:۱ فیلوسیلیکات است. لایه درونی‌اش از یک سطح هشت وجهی بین دو سطح چهار وجهی تشکیل شده است. جایگزینی یون‌های Al^{3+} با Si^{4+} در لایه چهار وجهی و یون‌های Mg^{2+} یا Zn^{2+} با Al^{3+} در لایه‌های هشت وجهی، یک سطح باردار منفی را در آب ایجاد می‌کند که نیروی دافعه با مواد آنیونی را موجب می‌شود [۱۱-۱۴].

لایه‌های رس می‌توانند توسط کمپلکس‌های کاتیونی فلزات، درون لایه داخلی متورم شده و با عمل حرارت‌دهی تحت فرآیند اکسیداسیون قرار بگیرند [۱۵-۱۸]. این فرآیند لایه‌های متخلخل میکرومتری بر رس ایجاد نموده و مقاومت حرارتی رس را افزایش می‌دهد [۱۹، ۲۰]. اکسیدهای مختلف فلزات کرم، گالیم، زیرکونیم، تیتانیم، آهن برای این هدف استفاده می‌شوند [۲۱-۲۵]. واضح است که تحت این عملیات لایه‌های رس اصلاح شده نهایی یک شبکه متخلخل دائمی با سطح مخصوص افزایش یافته خواهند داشت. محققان بهبود قابل توجهی را در خصوصیات کاتالیزوری و جذب سطحی این ساختارها تایید کرده‌اند [۲۶-۲۸].

لایه‌های رس اکسید شده حاوی آهن اخیراً در فرآیندهای متنوعی شامل تخریب کاتالیزوری ترکیبات آلی و رنگزا [۲۹، ۳۰]، جذب سطحی منوکسید کربن [۳۱، ۳۲]، دفع نیتروژن و اکسیژن مولکول‌های گازی [۳۳، ۳۴]، سنتزهای آلی [۳۵، ۳۶]، اکسیداسیون انتخابی و حذف آلاینده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۷-۴۰]. از مهم‌ترین کاربردهای رنگدانه رس حاوی آهن، استفاده از آن در رنگبری پساب‌های صنعتی بوده که اخیراً "مطرح شده است و با نام روش فنتون نوری^۱ شناخته می‌شود. در این روش آب اکسیژنه در مجاورت یون‌های آهن قرار گرفته در سطح رس همراه با تابش پرتو مرئی قابلیت رنگبری پساب را خواهد داشت. ترکیبات رس حاوی آهن تاکنون توسط روش‌های سل-ژل، روش تغییر فاز، آبکافت کمپلکس، پایدارسازی با پلیمر و تهیه با سطح فعال‌ها تهیه شده اند [۴۱-۴۴].

امواج الکترومغناطیس تنها شکل انرژی است که در انتقال سیگنال‌های هوشمند تحت شرایط کنترل شده استفاده می‌شوند. این امواج در محدوده ۱۰-۱ گیگا هرتز به طور گسترده در وسایل ارتباطی بی‌سیم و شبکه‌های محلی به کار می‌رود. با اینکه انتقالات تحت شرایط کنترل شده انجام می‌شود اما احتمال تداخل امواج وجود دارد

1- Photo-Fenton

با لایه طلا تحت شرایط خلاء پوشش داده شدند. حضور آلومینیم و آهن روی سطح رس با روش پراش پرتو X (EDX) متصل به میکروسکوپ الکترونی تعیین شد.

خصوصیات رنگی و نوری

طیف انعکاسی پودرها با استفاده از اسپکتروفوتومتر انعکاسی Gretagmacbeth Color Eye 7000A مورد ارزیابی قرار گرفت و مختصات رنگی رنگدانه‌ها (L^* , a^* , b^* , C^* , h°) در فضای رنگ CIELAB تحت مشاهده کننده استاندارد 10° و منبع نور D₆₅ محاسبه شد.

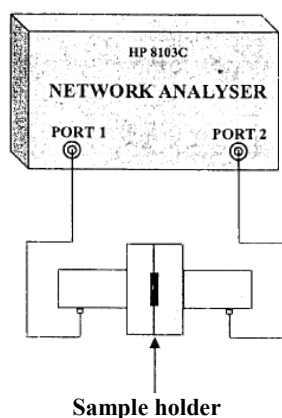
اندازه‌گیری خصوصیات الکترومغناطیس

انتقال (EMT) و انعکاس (EMR) امواج الکترومغناطیس برای ذرات رس با استفاده از رابطه‌های زیر بر اساس استاندارد ASTM D 4935-99 محاسبه شدند [۴۷، ۴۸]:

$$EMT = |E_0/E_1|^2 \quad (1)$$

$$EMR = |E_2/E_1|^2 \quad (2)$$

که در آن E_0 ، E_1 و E_2 به ترتیب شدت میدان الکتریکی منتقل شده از ذرات، شدت میدان الکتریکی منبع و شدت میدان الکتریکی انعکاسی از ذرات است. امواج الکترومغناطیس با استفاده از یک دستگاه ایجاد امواج HP 8103C متصل به تحلیل‌گر شبکه تولید شدند (شکل ۲). بسامد استفاده شده برای ایجاد امواج از ۵۰۰۰ مگاهرتز تا ۸۰۰۰ مگا هرتز بود. تمام مقادیر بر حسب دسیبل (dB) اندازه‌گیری شد.



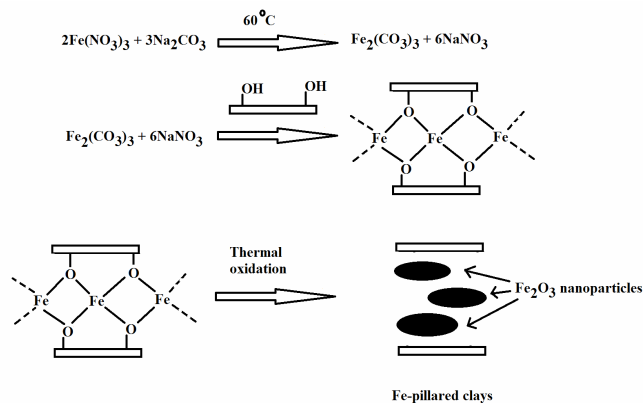
شکل ۲: دستگاه استفاده شده برای ایجاد امواج الکترومغناطیس بر روی رس.

۳- نتایج و بحث

آزمون پراش پرتو X

شکل ۳ پراش پرتو ایکس نمونه رس خام و همچنین رنگدانه نانو اکسید آهن - رس را که توسط آبکافت نیترات آهن (III) در نسبت ۰٫۵ مولار در محلول ($[CO_3^{2-}] / [Fe^{3+}]$) به دست آمده را نشان می‌دهد.

مخلوط تهیه شده پس از این مرحله ۱۲ مرتبه با آب دیونیزه شسته و توسط سانتریفیوژ جداسازی شد. خمیر مرطوب به دست آمده در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۶ ساعت خشک شد و پس از آن عمل حرارت‌دهی به مدت ۴ ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به منظور انجام فرآیند اکسیداسیون انجام شد. شکل ۱ واکنش‌های انجام شده به منظور تهیه رنگدانه نانو اکسید آهن - رس را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نحوه تهیه رنگدانه نانو اکسید آهن - رس.

بررسی خواص رنگدانه با استفاده از پراش پرتو X

رنگدانه تهیه شده با استفاده از دستگاه پرتو X SEIFERT/PTS 3003 در ۴۰ کیلو وات و ۳۰ میلی‌آمپر تحت بررسی قرار گرفتند. اندازه‌گیری از زاویه ۴ تا ۹۰ درجه و با سرعت پویش یک درجه در دقیقه انجام شد.

بررسی ساختار شیمیایی رنگدانه با طیف‌سنج زیر قرمز تبدیل فوریه

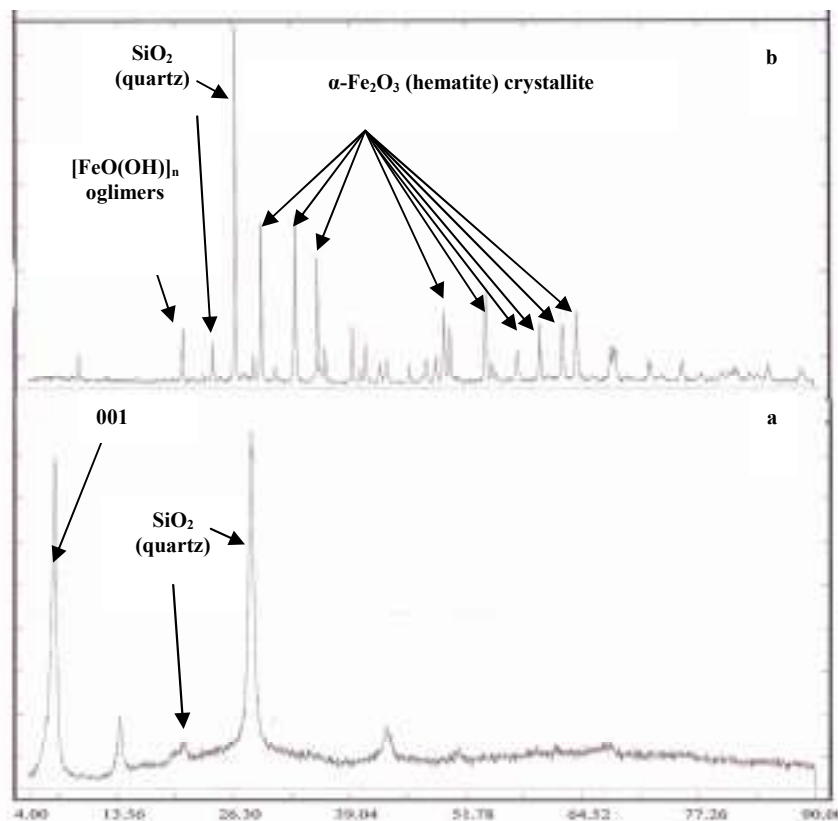
خصوصیات سطحی ذرات رس تهیه شده با استفاده از طیف‌سنج (Nicolet Instrument Corp., ThermoNicolet NEXUS 870 FTIR USA) متصل به یک رایانه IBM تعیین شد.

بررسی با استفاده از روش تجزیه حرارتی

به منظور بررسی مقاومت حرارتی رنگدانه نانو اکسید آهن - رس در مقایسه با ذرات اولیه رس از دستگاه (Pyris diamond SII) ساخت شرکت Perkin Elmer استفاده شد. ۵ میلی‌گرم از نمونه تحت گاز نیتروژن با نرخ حرارتی ۵ درجه در دقیقه از دمای اتاق تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت و سپس منحنی‌های TGA و DTA بر حسب تغییرات دما محاسبه شدند.

بررسی با میکروسکوپ الکترونی پویشی

بررسی ریخت‌شناسی سطح رنگدانه توسط میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM, Philips, XL30, the Netherlands) انجام شد. نمونه‌ها



شکل ۳: الگوهای XRD برای (a: رس عمل نشده (b) رنگدانه نانو اکسید آهن - رس.

الیگومرهای پلی اکسید کننده $[\text{FeO}(\text{OH})]_n$ ایجاد شده در لایه‌های رس هیدرولیز شده و کاتیون‌های Fe^{3+} بر روی سطح خارجی لایه‌های رس همراه با مقداری تبلور ظاهر شوند. در نتیجه اکسیداسیون آهن درون لایه‌های رس کامل نشده و تنها یون آهن بجای یون‌های سدیم تعویض می‌شوند. این نتیجه توسط برخی محققان با تعیین نسبت مولار $[\text{CO}_3^{2-}]/[\text{Fe}^{3+}] \leq 1$ به منظور تهیه رنگدانه نانو اکسید آهن-رس تایید شده است [۵۱، ۵۰]. نتایج پراش پرتو X از رنگدانه نانو اکسید آهن - رس، پیک‌های جدیدی را در $2\theta = 24^\circ, 27^\circ, 32^\circ, 37^\circ, 49^\circ$ نشان می‌دهد که می‌توانند به ساختار بلوری ذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ نسبت داده شوند در نتیجه فرآیند زماندهی حرارتی سبب ایجاد ساختار پایدار نانو اکسید آهن در لایه‌های رس می‌شود. محققان دیگر پیک‌های ذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ قرار گرفته بر روی رس را در 2θ مشابه شکل ۳b مشاهده نمودند که صحت روش به کار رفته در این پژوهش به منظور تهیه رنگدانه را تایید می‌کند [۵۱، ۳۲، ۳۱، ۲۴]. پیک‌های دیگر مشاهده شده در شکل ۳ با استفاده از اطلاعات موجود قابل شناسایی نبود.

خصوصیات شیمیایی

طیف زیر قرمز ذرات رس خام و رنگدانه نانو اکسید آهن - رس در شکل ۴ نمایش داده شده است. حضور Si-O-Si (گروه‌های

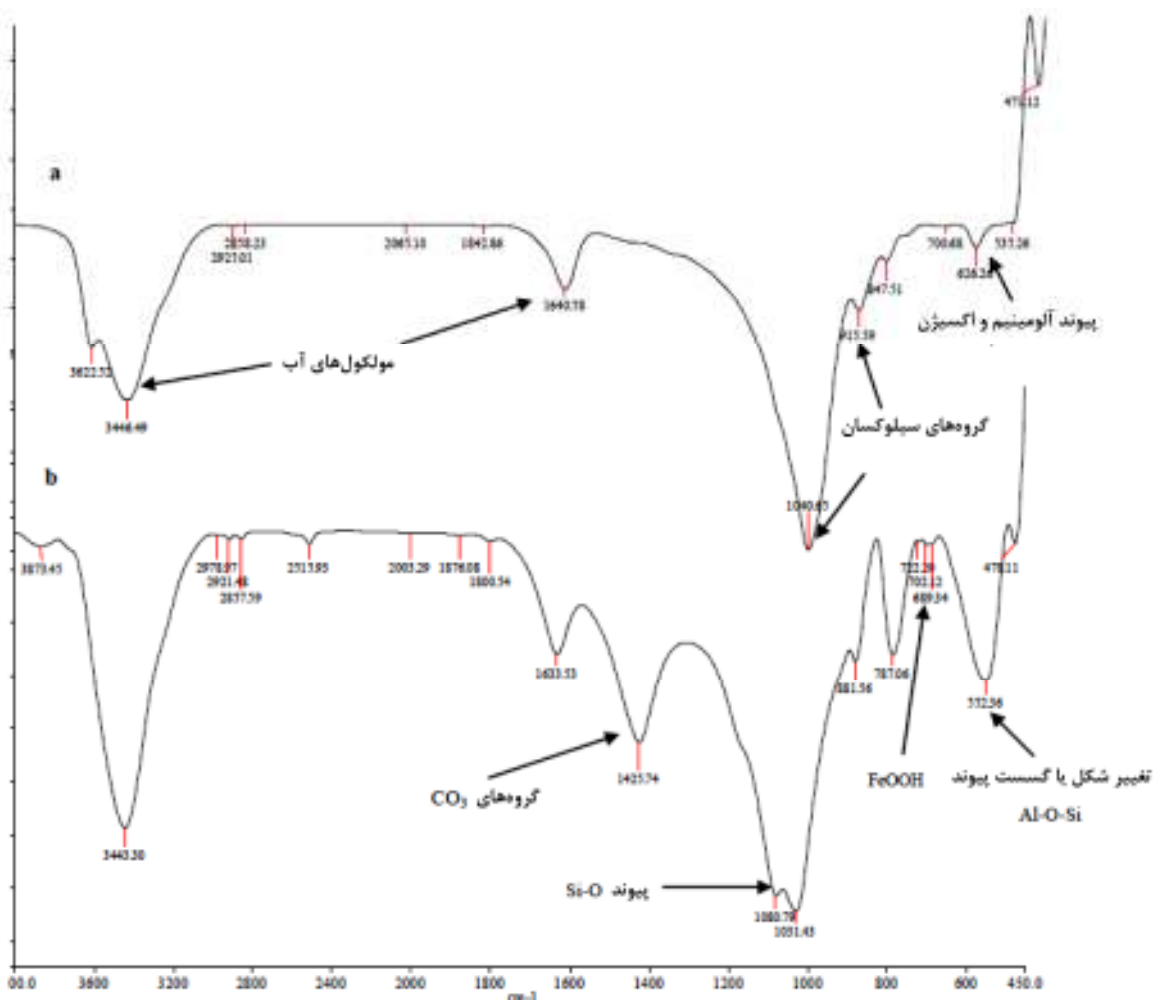
رس عمل نشده یک پیک شدید را در 8.5° درجه (2θ) نشان می‌دهد که به $d(001)$ مربوط می‌شود و این پیک پس از سنتز اکسید آهن در لایه‌های رس حذف شده است. حذف این پیک می‌تواند نشان‌دهنده افزایش فاصله بین لایه‌های رس پس از تهیه رنگدانه و قرارگیری نانوذرات اکسید آهن در بین لایه‌های رس باشد. اصطلاحاً "pillaring" به فرآیند جداسازی لایه‌های رس توسط اکسیدهای فلزات pillaring گفته می‌شود. به علاوه پیک قوی در 28° درجه مربوط به ساختار بلوری SiO_2 در لایه‌های رس می‌باشد. پراش پرتو ایکس رنگدانه نانو اکسید آهن - رس (مطابق با الگوی JCPDS 33-0664) نشان داد که پیک SiO_2 به $2\theta = 26^\circ$ انتقال یافته و یک پیک جدید در $2\theta = 20^\circ, 37^\circ$ ظاهر شده است که می‌تواند به الیگومرهای $[\text{FeO}(\text{OH})]_n$ نسبت داده شود. برخی از محققان دریافتند که در تهیه رنگدانه نانو اکسید آهن - رس، انتخاب نسبت‌های مولار $[\text{CO}_3^{2-}]/[\text{Fe}^{3+}] > 0.5$ سبب کاهش میزان نانوذرات اکسید آهن در لایه‌های رس شده و در نتیجه بازدهی عملیات و خلوص نانوذرات اکسید آهن موجود در لایه‌های رس با توجه به پیک‌های پراش پرتو X کاهش می‌یابد [۲۴، ۳۱، ۳۲]. در نتیجه با توجه به نسبت مولار انتخاب شده در این پژوهش و پیک‌های پراش پرتو X نانو اکسید آهن، ساختار بلوری ذرات قابل تایید می‌باشد. مطالعات برخی دیگر از محققان نشان داده است که در حین تهیه رنگدانه نانو اکسید آهن-رس، ممکن است

سیلوکسان) توسط باندهای خمشی قوی و ارتعاشات کششی در ناحیه‌های ۹۱۵ و 1040 cm^{-1} منعکس شده است. بدیهی است که ارتعاشات خمشی و کششی مولکول‌های آب جذب شده در لایه داخلی ماده معدنی رس در 1640 cm^{-1} و 3446 cm^{-1} ظاهر شده است. علاوه بر این، باندهای شدید در محدوده‌های $3600-3650$ و 6250 cm^{-1} به ترتیب به گروه‌های هیدروکسیل و ساختار شبکه‌ای آلومینیم - اکسیژن نسبت داده می‌شود [۵۲].

بررسی مقاومت حرارتی

همان‌طور که در شکل ۴ می‌توان مشاهده کرد بعد از آماده‌سازی رنگدانه نانو اکسید آهن - رس باند در 3622 cm^{-1} ناپدید شده است که کاهش پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب را نشان می‌دهد. افزایش شدت باند در ناحیه 535 cm^{-1} و انتقال آن به 552 cm^{-1} می‌تواند به تغییر شکل یا گسستگی باندهای Al-O-Si نسبت داده شود. نتایج طیفی از رنگدانه نانو اکسید آهن - رس، همچنین پیک‌های جدیدی را در ناحیه‌های 1425 ، 787 ، 704 ، 1080 ، 1425 و 689 cm^{-1} نشان می‌دهد که به ارتعاشات کششی گروه‌های CO_3 ، Si-O، FeOOH و

بررسی چگونگی تجزیه حرارتی نمونه‌های رس تحت گاز نیتروژن در محدوده دمایی $30-600$ درجه سانتی‌گراد انجام شد و نتایج در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. نمونه‌های رس کاهش وزن زیادی را در $150-300$ درجه سانتی‌گراد به دلیل حذف فیزیکی مولکول‌های آب جذب شده نشان می‌دهند. با این حال در دمای بالاتر از 150 درجه سانتی‌گراد کاهش وزن رس با سرعت کمتری می‌باشد. این کاهش در دماهای بالاتر می‌تواند به دلیل حذف مولکول‌های آب قرار گرفته در بین لایه‌ها و دفع بخشی از گروه‌های هیدروکسید لایه‌های رس باشد [۳۰، ۳۱].



شکل ۴: طیف زیر قرمز: (a) رس عمل نشده و (b) رنگدانه نانو اکسید آهن - رس.

موجود در ذرات رس و یا الیگومرهای پلی اکسید باشد. لازم به ذکر است که وجود این الیگومرها در آزمون پراش پرتو X به اثبات رسید. شکل ۶ منحنی‌های DTA رس خام و رنگدانه نانوآکسید آهن - رس را نشان می‌دهد. یک پیک گرماگیر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بدلیل کاهش میزان مولکول‌های آب جذب سطحی شده بر روی لایه‌های رس می‌باشد. مولکول‌های آب لایه‌های درونی به تدریج با افزایش دما از ۹۰ تا ۳۳۰ درجه سانتی‌گراد حذف شده‌اند. کاهش وزن در دماهای بالاتر از ۴۷۰ درجه سانتی‌گراد برای رنگدانه نانوآکسید آهن - رس می‌تواند به تجزیه حرارتی پلی‌هیدروکسیدهای آهن در ترکیب نهایی رنگدانه نسبت داده شود. می‌توان مشاهده کرد که قرارگیری نانوآکسید آهن در ترکیب نهایی رنگدانه نانوآکسید آهن - رس بطور موثری بر مقاومت حرارتی رس تاثیر دارد [۳۱، ۳۳].

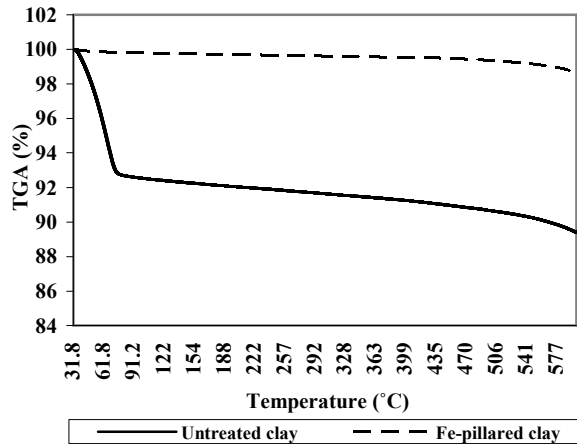
خصوصیات میکروسکوپی

میکروسکوپ الکترونی یکی از بهترین روش‌های مطالعه ریخت‌شناسی مواد معدنی رس است. شکل ۷ عکس‌های میکروسکوپی رنگدانه نانوآکسید آهن - رس و رس خام را با ابعاد مختلف نشان می‌دهد. ذرات رس دارای لایه‌های نازک هستند که نسبت ابعاد زیاد را در قطر کم نشان می‌دهند. این لایه‌ها از صفحات بزرگ تشکیل شده‌اند. شکل‌های c, d ۷ رنگدانه نانوآکسید آهن - رس تهیه شده با روش اکسیداسیون حرارتی و ذرات کوچک‌تر اکسید آهن موجود در سطح رس را با اندازه‌های مختلف نشان می‌دهد. در شکل ۷d نانوذره اکسید آهن با اندازه ذره ۷۷ نانومتر مشخص شده است که نشان‌دهنده توزیع نانومتری ذرات اکسید آهن در سطح رس می‌باشد.

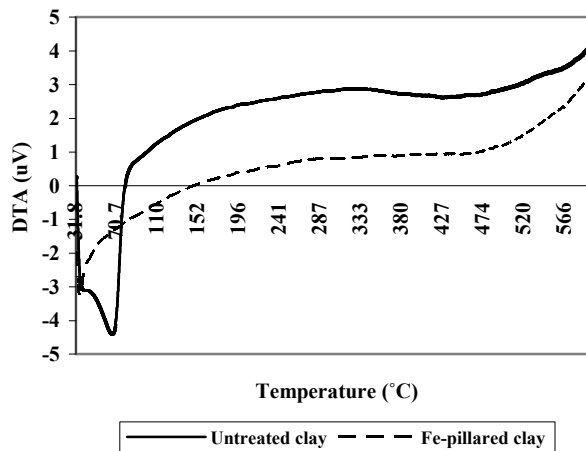
اسپکترومتر الکترونی تفرق پرتو ایکس یک ابزار قوی برای مطالعه عناصر مواد معدنی لایه‌های رس و نانوذرات آهن اکسید شده در لایه‌های رس می‌باشد و نتایج در شکل ۸ و جدول ۱ نشان داده شده است. از جدول ۱ می‌توان رس خام شامل عناصر آلومینیم، سیلیسیم، کبالت، نیکل و آهن را به عنوان عناصر اصلی مشاهده کرد. فرآیند اکسیداسیون موجب افزایش در حجم آهن در کامپوزیت از ۰,۱۲ به ۰,۴۶٪ می‌شود. میزان این عناصر درون ساختار رس ثابت نیست و تحت تاثیر فرآیند اکسید شدن است.

جدول ۱: نتایج اسپکترومتر الکترونی تفرق پرتو عناصر ترکیبی برای رس عمل نشده و رنگدانه نانو اکسید آهن - رس.

نمونه	درصد عناصر			
	آلومینیم	سیلیسیم	کبالت	نیکل آهن
رس عمل نشده	۳۱,۲۷	۲,۷۳	۰,۶۱	۶۵,۳۹
رنگدانه نانوآکسید آهن-رس	۲۷,۲۴	۰,۷۴	۰	۷۰,۵۶

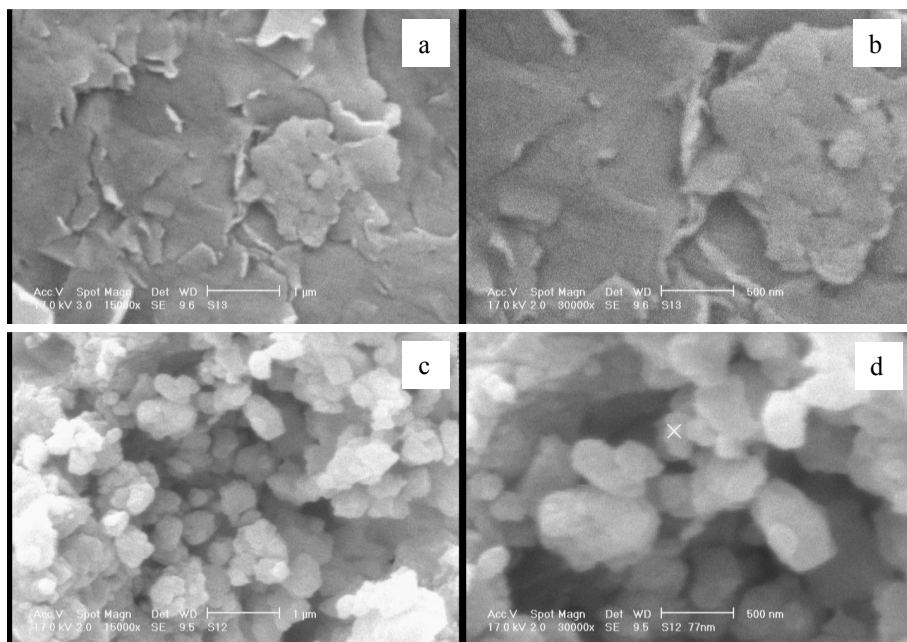


شکل ۵: منحنی‌های TGA رس عمل نشده و رنگدانه نانوآکسید آهن - رس.

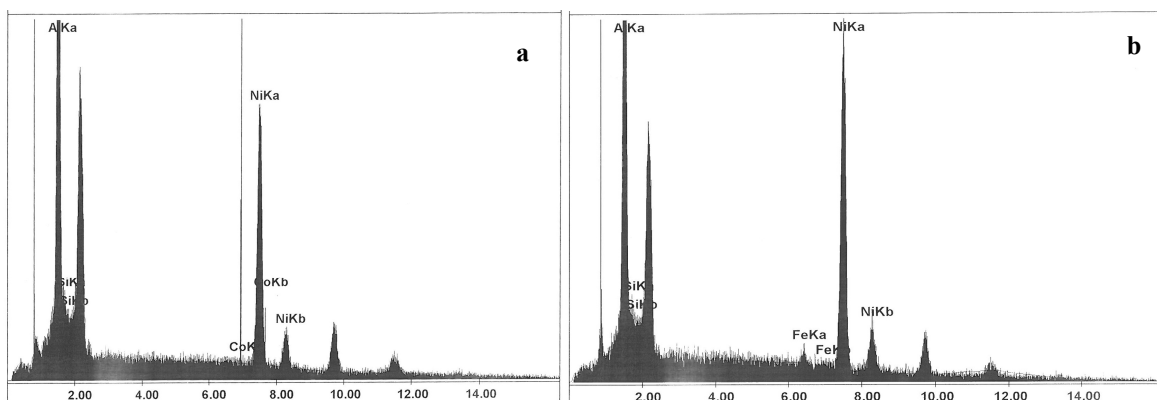


شکل ۶: منحنی‌های DTA رس عمل نشده و رنگدانه نانوآکسید آهن - رس.

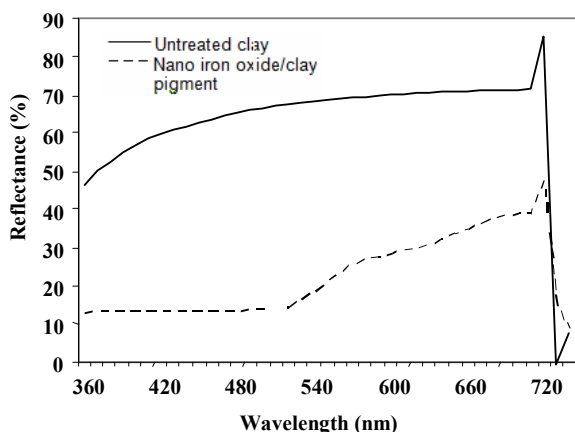
همان‌طور که در شکل ۵ می‌توان مشاهده نمود فرآیند اکسید شدن آهن در لایه‌های رس تاثیر مثبتی روی مقاومت حرارتی لایه‌های رس داشته است و کاهش وزن ناچیزی در ترکیب نانوآکسید آهن-رس مشاهده می‌شود. سام و همکارانش در تحقیقی رنگدانه نانوآکسید آهن-رس را جهت رنگبری رنگزای اسیدی سیاه ۱ تهیه کردند. آنها مشاهده نمودند که فرآیند اکسیداسیون حرارتی در تولید رنگدانه سبب افزایش پایداری حرارتی ترکیب در مقایسه با رس می‌شود [۳۶]. بعلاوه محققان دیگر نیز افزایش مقاومت حرارتی را در رنگدانه نانوآکسید آهن - رس مشابه نتایج ما مشاهده کردند و به این نتیجه رسیدند که این افزایش می‌تواند به دلیل مقاومت حرارتی بیشتر نانوآکسید آهن در مقایسه با رس بوده که مقاومت حرارتی کل در رنگدانه دو جزئی را افزایش داده است. به استدلال آنها عامل دیگر در این افزایش مقاومت حرارتی می‌تواند جداسازی بهینه لایه‌های رس توسط یون‌های آهن پس از اکسیداسیون حرارتی و تبدیل شدن به اکسید آهن باشد [۳۲]. کاهش وزن رنگدانه نانوآکسید آهن - رس در دمای بالاتر از ۵۳۰ درجه سانتی‌گراد به چشم می‌خورد که می‌تواند به دلیل تجزیه حرارتی گروه‌های هیدروکسید



شکل ۷: تصاویر میکروسکوپ الکترونی از (a) رس عمل نشده (scale = 1 μm)، (b) رس عمل نشده (scale = 500 nm)، (c) رنگدانه نانو اکسید آهن - رس عمل نشده (scale = 1 μm) و (d) رنگدانه نانو اکسید آهن - رس (scale = 500 nm).



شکل ۸: تصاویر اسپکترومتر الکترونی تفرق پرتو X برای (a) رس عمل نشده و (b) رنگدانه نانو اکسید آهن - رس.



شکل ۹: منحنی‌های انعکاس رس عمل نشده همراه با ذرات رنگدانه نانو اکسید آهن-رس.

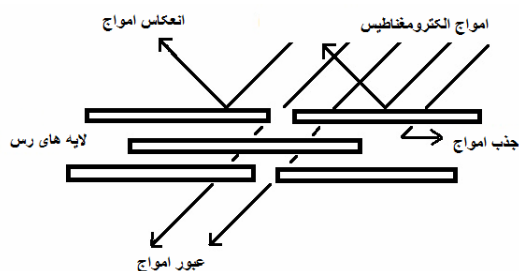
خصوصیات نوری و رنگی

شکل ۹ طیف انعکاس اندازه گیری برای رس عمل نشده و همچنین رنگدانه نانو اکسید آهن - رس تهیه شده با روش اکسیداسیون نشان می‌دهد. همان‌طور که از منحنی‌ها مشاهده می‌شود، انعکاس رس عمل نشده بیشتر از رنگدانه رس - نانو اکسید آهن بوده و از ۱۰ تا ۸۰٪ در ناحیه طیفی در حال تغییر است. ذرات رس استفاده شده در این مطالعه بطور عمده حاوی عناصر سیلیسیم و آلومینیم بوده که به طور ذاتی سبب ایجاد خاصیت ضریب شکست نسبتاً بالای امواج ناحیه مرئی در لایه‌های رس می‌شوند [۱۲، ۱۳].

گرفته در ترکیب نهایی رنگدانه نسبت داده شود. دلیل دیگر در کاهش مقادیر (L^*) می‌تواند به دلیل خصوصیات ذاتی نانوذرات اکسید آهن در انعکاس پرتو مرئی باشد. این نتیجه با نتایج پژوهش قبل ما در تهیه رنگدانه اکسید آلومینیم-رس مطابقت دارد که در آن میزان انعکاس و روشنایی رنگدانه در مقایسه با ذرات رس عمل نشده کاهش یافت [۴۹]. همچنین جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر a^* ، b^* رنگدانه‌های اصلاح شده در مقایسه با رس عمل نشده افزایش یافته است و رنگدانه‌ها به زردی متمایل شده‌اند.

ارزیابی خصوصیات الکترومغناطیس

یک میدان الکترومغناطیس (میدان EM یا EMF) یک میدان فیزیکی است که توسط اجسام باردار الکتریکی تولید می‌شود. هنگامی که یک میدان EM از ذرات رس عبور می‌کند سه پدیده ممکن است اتفاق بیفتد: جذب میرایی، میرایی به دلیل انعکاس و میرایی به دلیل انتقال داخلی موج‌های EM. انعکاس فرآیندی است که تابش الکترومغناطیس یا در مرز بین لایه‌ها (انعکاس سطحی) یا در درون لایه‌ها (انعکاس حجمی) ایجاد می‌کند، در حالی که انتقال، عبور تابش الکترومغناطیس از سراسر لایه‌ها می‌باشد. جذب تبدیل انرژی تابشی به نوع دیگری از انرژی نظیر گرما در اثر تعامل در لایه‌های رس است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: خصوصیات انعکاس، انتقال و جذب ذرات رس بعد از پرتو دهی امواج الکترومغناطیس.

تصاویر ۱۱ و ۱۲ منحنی‌های عبور و انعکاس امواج الکترومغناطیس برای رنگدانه نانو اکسید آهن - رس و رس عمل نشده را در محدوده ۵۰۰۰-۸۰۰۰ مگا هرتز نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد که لایه‌های رس نوسان‌های کمی را در عبور امواج از ۱ تا ۳- دسیبل با تغییرات بسامد نشان می‌دهد. فرآیند اکسیداسیون موجب کاهش انتقال امواج در لایه‌های رس به دلیل قرارگیری ذرات آهن درون لایه‌ها می‌شود. منحنی‌های انعکاس دو پیک قوی در ۵۰۰۰ و ۷۰۰۰ دسیبل برای ذرات رس نشان می‌دهند که برای رنگدانه اصلاح شده با آهن ضعیف‌تر است.

هنگامی که نانوذرات اکسید آهن در لایه‌های رس قرار می‌گیرد، شدت انعکاس نور در ناحیه مرئی کاهش می‌یابد. با این حال، در طول موج‌های کوتاه‌تر از ۵۰۰ نانومتر کاهش در انعکاس برجسته تر است. خصوصیت سطحی رنگدانه نانو اکسید آهن- رس تهیه شده از عوامل موثر دیگر بر انعکاس این دسته از رنگدانه‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده افزایش تجمع نانوذرات اکسید آهن در سطح رس به رفتار انعکاسی آن اثر می‌گذارد [۱۳، ۱۲، ۱۱]. به علاوه با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی حضور نانوذرات اکسید آهن در سطح رس تایید شد که این می‌تواند سبب کاهش پراکنش تشعشع مرئی و در نتیجه کاهش انعکاس در سطح رس شود.

مقادیر C^* ، b^* ، a^* ، L^* و h° رس عمل نشده و رنگدانه نانو اکسید آهن - رس تهیه شده در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر رنگی رنگدانه‌ها در فضای رنگی CIELAB مورد بررسی قرار گرفته است که دارای سه محور با مولفه‌های b^* ، a^* ، L^* می‌باشد. مولفه L^* بیان‌کننده روشنایی رنگدانه است و می‌تواند مستقل از ته رنگ اندازه‌گیری شود. هرگونه کاهش در روشنایی رنگدانه‌ها می‌تواند به عنوان انعکاس کم ذرات نتیجه شود، مولفه a^* شامل محور قرمز - سبز و مولفه b^* بیانگر محور آبی - زرد است. C^* بیانگر خلوص رنگدانه‌ها می‌باشد. هرگونه افزایش در C^* رنگدانه‌ها می‌تواند به افزایش خلوص آنها نسبت داده شود. زاویه فام که با h° نمایش داده می‌شود رنگ حقیقی درک شده توسط چشم انسان را نشان می‌دهد و شامل درجات ۰ که نشان‌دهنده موقعیت شروع در محور $+a^*$ تا ۹۰ درجه برای محور $+b^*$ ، ۱۸۰ درجه برای $-a^*$ و ۲۷۰ درجه برای $-b^*$ و برگشت به ۰=۳۶۰ درجه است [۵۴].

جدول ۲: مختصات‌های رنگی رس عمل نشده و رنگدانه تهیه شده.

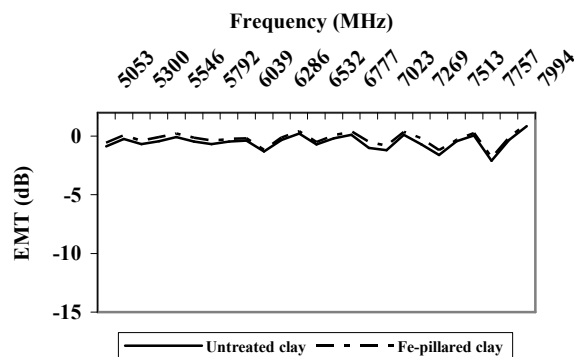
نمونه	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
رس عمل نشده	۸۵،۳۹	-۰،۲۲	۷،۶۱	۷،۶۲	-۸۸،۳۳
رنگدانه نانو اکسید آهن-رس	۴۷،۶۸	۱۴،۸۴	۸،۴۴	۱۷،۰۷	۲۹،۶۳

با توجه به نتایج، مقدار روشنایی (L^*) برای ذرات رس بعد از فرآیند اکسیداسیون کاهش یافته است و انعکاس رس عمل نشده بیشتر از رنگدانه‌های نانو اکسید آهن-رس بوده است. قرارگیری ذرات آهن درون لایه‌های رس موجب افزایش مقدار خلوص (C^*) در مقایسه با رس عمل نشده می‌شود. افزایش خلوص برای رنگدانه تهیه شده با اکسید آهن یک مزیت برای کاربردهای مختلف آن می‌تواند باشد. مشابه نتیجه حاصل شده از منحنی‌های انعکاسی، افزایش میزان روشنایی رس عمل نشده در مقایسه با ذرات رس اصلاح شده می‌تواند به ابعاد کوچک‌تر نانوذرات اکسید آهن در مقایسه با ذرات رس قرار

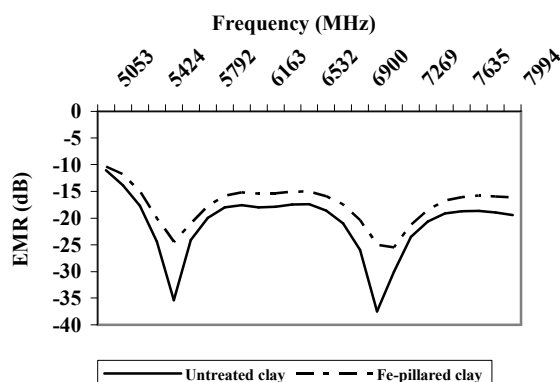
در سطح لایه‌های رس بارالکتریکی ایجاد می‌کند که مقداری از کل موج تابیده شده انعکاس یافته و مقداری در همان جهت تابش بازگشت نخواهد کرد که منجر به اتلاف امواج و افزایش جذب آنها توسط رنگدانه‌ها می‌شود. برخی محققان ادعا کرده‌اند که بخشی از انرژی جذب شده در شکل حرارت از دست می‌رود. لذا رنگدانه نانواکسید آهن-رس تهیه شده می‌تواند در دسته نانو رنگدانه‌های با قابلیت بالای جذب امواج الکترومغناطیس قرار گیرد که بخشی از انرژی الکترومغناطیس را به انرژی حرارتی تبدیل می‌کند [۴۰-۴۳، ۴۸].

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه رنگدانه نانواکسید آهن - رس توسط روش پراکنشی بطور موفقیت‌آمیزی تهیه شد. آزمون‌های طیف‌سنجی زیر قرمز و پراش پرتو ایکس برهم‌کنش لایه‌های رس را با پلی‌کاتیون‌های آهن نشان دادند. ذرات رس عمل نشده کاهش وزن زیاد را در دمای پایین‌تر از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل دفع مولکول‌های آب جذب شده در اثر حرارت را نشان دادند. در مقابل رنگدانه نانواکسید آهن - رس حاوی نانوذرات اکسید شده آهن اکسید شده در لایه رس، مقاومت حرارتی بالاتری را در مقایسه با رس عمل نشده نشان داد که به دلیل افزایش مقاومت حرارتی نانواکسید آهن در مقایسه با رس یا افزایش فاصله لایه‌های رس توسط نانوذرات اکسید آهن می‌تواند باشد. نتایج به دست آمده از آزمون اسپکتروفوتومتر انعکاسی نشان داد که سطح رنگدانه نانواکسید آهن - رس حاوی ذرات آهن اکسید شده بخشی از پرتو مرئی را منعکس می‌کند. بعلاوه منحنی‌های انعکاسی رنگدانه حاوی نانواکسید آهن کاهش در انعکاس را نشان دادند که می‌تواند به اندازه ذرات اکسید آهن و خاصیت ذاتی آن در انعکاس نور نسبت داده شود. همچنین نتایج نشان داد که انعکاس لایه‌های رس توسط پلی‌کاتیون‌های آهن کاهش یافته است. با توجه به این پژوهش پیشنهاد می‌شود که رنگدانه نانواکسید آهن-رس تهیه شده در کامپوزیت‌های پلیمری مختلف به عنوان جاذب امواج الکترومغناطیس و بهبود دهنده مقاومت حرارتی استفاده شود.



شکل ۱۱: انتقال الکترومغناطیس رس عمل نشده و رنگدانه نانواکسید آهن - رس.



شکل ۱۲: انعکاس الکترومغناطیس رس عمل نشده و رنگدانه نانواکسید آهن - رس.

کاهش شدت منحنی‌ها می‌تواند به رزونانس الکترونی آهن و شکل هندسی سطح رس و خصوصیات آهن مرتبط باشد. می‌توان اظهار کرد که مقاومت ظاهری (امپدانس) امواج منعکس شده از رنگدانه نانواکسید آهن-رس متفاوت از رس عمل نشده است. این پدیده مستقل از ضخامت ذرات بوده و در نتیجه خصوصیات الکترومغناطیس ذرات است. هنگامیکه امواج الکترومغناطیس به سطح رنگدانه نانواکسید آهن-رس تهیه شده به روش اکسیداسیون برخورد می‌کند،

۵- مراجع

- J. Bujda'k, Effect of the layer charge of clay minerals on optical properties of organic dyes. A review. *Appl. Clay Sci.* 34(2006), 58-73.
- S. Sinha Ray, M. Okamoto, Polymer/layered silicate nanocomposites: A review from preparation to processing. *Prog. Polym. Sci.* 28(2003), 1539-1641.
- A. Leszczyn'ska, J. Njuguna, K. Pielichowski, J. R. Banerjee, Polymer/montmorillonite nanocomposites with improved thermal properties: Part I. Factors influencing thermal stability and mechanisms of thermal stability improvement. *Thermochim. Acta.* 453(2007), 75-96.
- A. Leszczyn'ska, J. Njuguna, K. Pielichowski, J. R. Banerjee, Polymer/montmorillonite nanocomposites with improved thermal properties: Part II. Thermal stability of montmorillonite nanocomposites based on different polymeric matrixes. *Thermochim. Acta.* 454(2007), 1-22.
- S. S. Pesetskii, S. P. Bogdanovich, N. K. Myshkin, Tribological behavior of nanocomposites produced by the dispersion of nanofillers in polymer melts. *J. Frict. Wear.* 28(2007), 457-475.
- G. Bhat, R. R. Hegde, M. G. Kamath, B. Deshpande, Nanoclay reinforced fibers and nonwovens. *J. Eng. Fiber.*

- Fabr.* 3(2008), 22-34.
7. J. Njuguna, K. Pielichowski, S. Desai, Nanofiller-reinforced polymer nanocomposites. *Polym. Adv. Technol.* 19(2008), 947-959.
 8. J. Ma, J. Xu, J. H Ren, Z. Z Yu, Y. W Mai, A new approach to polymer/montmorillonite nanocomposites. *Polymer.* 44(2003), 4619-4624.
 9. D. Burgentzle, J. Duchet, J. F. Ge' rard, A. Jupin, B. Fillon, Solvent-based nanocomposite coatings: I. Dispersion of organophilic montmorillonite in organic solvents. *J. Colloid Interface Sci.* 278(2004), 26-39.
 10. M. Modesti, S. Besco, A Lorenzetti., V. Causin, C. Marega, J. W. Gilman, D. M Fox., P. C. Trulove, H. C De Long, M. Zammarano, ABS/clay nanocomposites obtained by a solution technique: Influence of clay organic modifiers. *Polym. Degrad. Stabil.* 92(2007), 2206-2213.
 11. L. B. D. Paiva, A. R. Morales, F. R. V Di' az, Nanocompósitos de argila MMT em matriz polimérica de EVA/PVC. *Appl. Clay Sci.* 42(2008), 8-24.
 12. M. Parvinzadeh, S. Moradian., A. Rashidi, M. E Yazdanshenas, Surface characterization of polyethylene terephthalate/silica nanocomposites. *Appl. Surf. Sci.* 256(2010), 2792-2802.
 13. M. Parvinzadeh, S. Moradian, A. Rashidi, M. E Yazdanshenas, Effect of the addition of modified nanoclays on the surface properties of the resultant polyethylene terephthalate/clay nanocomposites. *Polym. Plast. Technol.* 49(2010), 874-884.
 14. M. Xanthos, in Functional Fillers for Plastics, Ed. by Xanthos M. Wiley, Weinheim, 2005 163-1400.
 15. H. Changwen, L. Danfeng, G. Yihang, W. Enbo, Photocatalytic degradation of aqueous organochlorine pesticide on the layered double hydroxide pillared by Paratungstate A ion, $Mg_{12}Al_6(OH)_{36}(W_7O_{24}) \cdot 4H_2O$. *Chin. Sci. Bull.* 46(2001), 1061-1066.
 16. T. Yamaguchi, Y. Sakai, K. Kitajima, Effects of particle size on thermal durability and microporous characteristics for sintered bodies of alumina-pillared fluorine micas. *J. Mater. Sci.* 34(1999), 5771-5776.
 17. N. N. Binitha, S. Sugunan, Preparation, characterization and catalytic activity of titania pillared montmorillonite clays. *Microporous Mesoporous Mater.* 93(2006), 82.
 18. Y. S. Shin, S. G. Oh, B. H. Ha, Pore structures and acidities of al-pillared montmorillonite. *Korean J. Chem. Eng.* 20(2003), 77-89.
 19. R. P. Marinkovic-Neducin, E. E. Kiss, T. Z. Cukic, D. Z. Obadovic, Thermal behavior of Al-, AlFe- and AlCu-pillared interlayered clays. *J. Therm. Anal. Calorim.* 78(2004), 307-321.
 20. D. T. Karamanis, X. A. Aslanoglou, P. A. Assimakopoulos, N. H. Gangas, Characterization of an aluminum pillared montmorillonite with cation exchange properties. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 242(1999), 3-9.
 21. M. M. G. Ramos Vianna, J. Dweck, V. F. J. Kozievitch, Valenzuela-Diaz F. R, Bu' chler P. M, Characterization and study of sorptive properties of differently prepared organoclays from a Brazilian natural bentonite. *J. Therm. Anal. Calorim.* 82(2005), 595-602.
 22. N. R. Sanabria, R. Molina, S. Moreno, Pillared clays with Al-Fe and Al-Ce-Fe in concentrated medium: Synthesis and catalytic activity. *Catal. Lett.* 130(2009), 664-671.
 23. L. Chmielarz, P. Kus' trowski, Z. Piwowarska, M. Michalik, B. Dudek, R. Dziembaj, Comparison study of titania pillared interlayered clays and porous clay heterostructures modified with copper and iron as catalysts of the DeNO_x process. *Top. Catal.* 52(2009), 1017-1022.
 24. G. Xianji, H. Wenhua, Y. Qijie, C. Yi, Pillared layered transition metal oxides. *Chin. Sci. Bull.* 48(2003), 101-110.
 25. H. Guo, X. Jing, L. Zhang, J. Wang, Preparation of inorganic-organic pillared montmorillonite using ultrasonic treatment. *J. Mater. Sci.* 42(2007), 6951-6955.
 26. D. Tichit, C. Ge' rardin, R. Durand, B. Coq, Layered double hydroxides: Precursors for multifunctional catalysts. *Top. Catal.* 39(2006), 89-96.
 27. A. Takagaki, R. Sasaki, C. Tagusagawa, K. Domen, Nanosheets as highly active solid acid catalysts for green chemical syntheses. *Top. Catal.* 52(2009), 592-596.
 28. E. G. Garrido-Ram' rez, B. K. G. Theng, M. L. Mora, Clays and oxide minerals as catalysts and nanocatalysts in Fenton-like reactions-A review. *Appl. Clay Sci.* 47(2010), 182-192.
 29. M. Mashlan, H. Bartonkova, D. Jancik, J. Tucek, P. Martinec, Iron oxide modified minerals. *Hyperfine Interact.* 191(2009), 151.
 30. X. Peng, Z. Luan, H. Zhang, Montmorillonite-Cu(II)/Fe(III) oxides magnetic material as adsorbent for removal of humic acid and its thermal regeneration. *Chemosphere.* 63(2006), 300.
 31. L. C. A. Oliveira, R. V. R. A. Rios, J. D. Fabris, K. Sapag, V. K. Garg, R. M. Lago, Clay-iron oxide magnetic composites for the adsorption of contaminants in water. *Appl. Clay Sci.* 22(2003), 169.
 32. P. Yuan, F. Annabi-Bergaya, Q. Tao, M. Fan, Z. Liu, Zhu J., He H., Chen T., A combined study by XRD, FTIR, TG and HRTEM on the structure of delaminated Fe-intercalated/pillared clay. *J. Colloid Interface Sci.* 324(2008), 142.
 33. J. Herney-Ramirez, M. A. Vicente, L. M. Madeira, Heterogeneous photo-Fenton oxidation with pillared clay-based catalysts for wastewater treatment: A review. *Appl. Catal. B.* 98(2010), 10.
 34. D. Tabet, M. Saidi, M. Houari, P. Pichat, H. Khalaf, Fe-pillared clay as a Fenton-type heterogeneous catalyst for cinnamic acid degradation. *J. Environ. Manag.* 80(2006), 342.
 35. M. A De Leo' n., J. Castiglioni, J. Castiglioni, J. Bussi, M. Sergio, Catalytic activity of an iron-pillared montmorillonitic clay mineral in heterogeneous photo-Fenton process. *Catal. Today.* 600(2008), 133-135.
 36. O. S. N. Sum, J. Feng, X. Hu, P. L. Yue, A diffuse-interface method for simulating two-phase flows of complex fluids. *Chem. Eng. Sci.* 59(2004), 52-69.
 37. Y. Li, Y. Lu, X. Zhu, Photo-Fenton discoloration of the azo dye X-3B over pillared bentonites containing iron. *J. Hazard. Mater. B.* 132(2006), 196.
 38. Q. Chen, P. Wu, Y. Li, N. Zhu, Z. Dang, Heterogeneous photo-Fenton photodegradation of reactive brilliant orange X-GN over iron-pillared montmorillonite under visible irradiation. *J. Hazard. Mater.* 168(2009), 901.
 39. H. Kusic', N. Koprivanac, I. Selanec, Photo-assisted Fenton type processes for the degradation of phenol: A kinetic study. *Chemosphere.* 65(2006), 65.
 40. J. D. Sudha, S. Sivakala, R. Prasanth, V. L. Reena, P. Radhakrishnan Nair, Development of electromagnetic shielding materials from the conductive blends of polyaniline and polyaniline-clay nanocomposite-EVA: Preparation and properties. *Compos. Sci. Technol.* 69(2009), 358.
 41. K. Lai, R. J Sun., M. Y. Chen, H. Wu, A. X Zha, Electro-

- magnetic shielding effectiveness of fabrics with metallized polyester filaments. *Text. Res. J.* 77(2007), 242.
42. D. Yuping, L. Shunhua, G. Hongtao, Investigation of Electromagnetic Characteristics of Polyaniline Composites. *J. Compos. Mater.* 40(2006), 1093.
 43. W. S. Chin, D. G. Lee, Development of the composite RAS (radar absorbing structure) for the X-band frequency range. *J. Compos. Mater.* 41(2007), 403.
 44. M. C. Golt, S. Yarlagadda, Jr J. W. Gillespie, Magnetic and dielectric properties of materials consisting of oriented, iron flake filler within a thermoplastic host: Part II transport model review and evaluation. *J. Thermoplast. Compos. Mater.* 22(2009), 569.
 45. X. Wei, Y. Fu, L. Xu, F. Li, B. Bi, X. Liu, Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *J. Solid State Chem.* 181(2008), 1292.
 46. J. Yu, Q. X. Yang, Magnetization improvement of Fe-pillared clay with application of polyetheramine. *Appl. Clay Sci.* 48(2010), 185.
 47. V. L. Reena, C. Pavithran, V. Verma, J. D. Sudha, Nanostructured multifunctional electromagnetic materials from the guest host inorganic organic hybrid ternary system of a polyaniline clay polyhydroxy iron composite: preparation and properties. *J. Phys. Chem. B*, 114(2010), 2578.
 48. C. Bachir, Y. Lan, V. Mereacre, A. K. Powell, C. B. Koch, P. G. Weidler, Magnetic titanium-pillared clays (Ti-M-PILC): Magnetic studies and Mossbauer spectroscopy. *Clay. Clay Miner.* 57(2009), 433.
 49. M. Parvinzadeh Gashti, A. Almasian, S. Eslami, Preparation of electromagnetic radiation absorbent pigment using aluminium ion exchanged and oxidation processing in clay layers. *J. Color Sci. Tech.* 6(2013), 291-302.
 50. M. Cheng, W. Song, W. Ma, C. Chen, J. Zhao, J. Lin, H. Zhu, Catalytic activity of iron species in layered clays for photodegradation of organic dyes under visible irradiation. *Appl. Catal. B.* 77(2008), 355.
 51. J. Chen, L. Zhu, UV-Fenton discolouration and mineralization of Orange II over hydroxyl-Fe-pillared bentonite. *J. Photochem. Photobiol. A.* 188(2007), 56.
 52. D. R. Brezinski, in An Infrared Spectroscopy Atlas for the Coatings Industry, ed. by Brezinski D. R. Federation of Societies for Coating Technology. *Pennsylvania.* 1991 250,.
 53. M. Parvinzadeh, I. Ebrahimi, Atmospheric air-plasma treatment of polyester fiber to improve the performance of nanoemulsion silicone. *Appl. Surf. Sci.* 257(2011), 4062.
 54. www.hunterlab.com/appnotes/an09_96a.pdf.