

## بررسی ویژگی جذبی جاذب طبیعی خاک رس سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی ( $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4/Sepiolite$ ) در حذف رنگ کاتیونی متیلن بلو از محلول آبی

فاطمه والی نیا<sup>۱</sup>، ناهید رسولی<sup>۱\*</sup>، مریم یوسفی فرد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده شیمی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷، تهران، ایران

<sup>۲</sup>دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی: ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۰۹

تاریخ تصحیح: ۹۶/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۵

### چکیده

جذب سطحی توسط جاذب های طبیعی مغناطیسی به دلیل ارزانی، دسترسی زیاد، نداشتن خطرات زیست محیطی و قابلیت جداسازی از محیط توسط میدان مغناطیسی روشی مناسب برای حذف رنگ از پساب های صنعتی می باشد. در این تحقیق خاک رس سپیولایت اصلاح یافته مغناطیسی ( $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4/Sepiolite$ ) با استفاده از خاک رس طبیعی سپیولایت و نمکهای نیترات فلزات آهن، روی و نیکل با روشی ساده و سریع سنتز گردید. خصوصیات ساختاری جاذب مغناطیسی سنتز شده توسط تکنیکهای پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روشی (SEM) و تجزیه آنالیز عنصری (EDX) بررسی گردید. جذب سطحی رنگ کاتیونی متیلن بلو توسط خاک رس سپیولایت اصلاح یافته مغناطیسی تحت تاثیر پارامترهایی مانند pH، غلظت رنگ، دوز جاذب و دما مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ماکزیمم میزان جذب در  $pH=10$  به دست آمد. با افزایش دما کارایی جذب به وضوح افزایش یافت. برای تعیین نوع ایزوترم جذب از معادلات ایزوترم جذب لانگمایر و فرندلیش استفاده شد که نتایج انطباق بهتری با ایزوترم جذب لانگمایر را نشان می دهد. همچنین نتایج توسط دو مدل سینتیکی شبه مرتبه اول و دوم تحلیل گردید. نتایج حاصل از مطالعات سینتیکی نشان داد که فرآیند جذب از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت می کند.

**کلمات کلیدی:** متیلن بلو، سپیولایت ایرانی، جاذب مغناطیسی، ایزوترم جذب، سینتیک.

### ۱- مقدمه

امروزه مشکلات ناشی از آلاینده های محیط زیست بیشتر مورد توجه است. در حدود ۲۵ درصد بیماری ها مربوط به آلودگی های محیطی شامل آلودگی آب، خاک و هوا می باشد. بخش عمده ترکیبهای آلی که باعث ایجاد آلودگی در آبهای طبیعی می گردند، مواد رنگزای شیمیایی هستند که در رنگرزی منسوجات به کار می رود. رنگ ها به مقدار گسترده در برخی کاربردهای صنعتی مانند منسوجات، پلاستیک، کاغذ و پوشش لاستیک استفاده می شود که در حین فرایند رنگ کردن از بین رفته و وارد پساب شده و باعث آلودگی آنها می شوند. این مواد رنگزا سمی و سرطان زا می باشند. حضور مواد رنگزای شیمیایی افزون بر آن

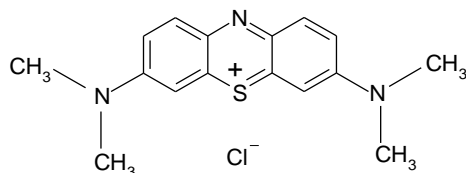
که بر آلودگی منابع آبی تاثیر گذار هستند، با متوقف کردن تولید اکسیژن و جلوگیری از نفوذ نور خورشید موجب مرگ موجودات زنده و وارد آمدن صدمه های جدی به محیط زیست می گردند. از طرفی تصفیه پساب های دارای مواد رنگزای آلی بسیار مشکل است. زیرا ساختار شیمیایی آنها طوری است که در مقابل تجزیه زیستی و اکسید کننده ها مقاوم هستند. بنابراین حذف مواد رنگی از پساب های صنایع نساجی و سایر صنایع مصرف کننده رنگ ها به دلیل سمیت این مواد و اثرات نامطلوب آنها بسیار مورد توجه است [۲ و ۱]. متیلن بلو رایج ترین ترکیب رنگی مورد استفاده به منظور رنگ آمیزی پنبه، پشم و ابریشم است. استنشاق این ترکیب می تواند سبب اختلال در تنفس شده و تماس مستقیم با آن می تواند باعث بروز آسیب های دائمی به چشم های انسان و حیوانات، سوختگی های موضعی، تهوع و استفراغ، افزایش تعریق و اختلالات ذهنی شود [۳]. تاکنون روشهای گوناگونی برای حذف رنگ متیلن بلو توسط جاذبهای مختلف گزارش گردیده است. روشهای مورد استفاده برای حذف متیلن بلو شامل فرآیند اکسیداسیون پیشرفته [۴]، روشهای بیولوژیکی [۵ و ۶]، الکترولیز [۷]، جذب سطحی [۸-۱۰] و استفاده از فوتوکاتالیست ها [۱۱] می باشد. موثرترین روش جهت حذف رنگ فرایند جذب سطحی می باشد، زیرا ترکیبات رنگی موجود در فاضلاب به سادگی به فاز جامد منتقل می شود و می تواند مجدداً احیاء شده و در فرایند جذب مورد استفاده قرار گیرد [۱۲]. همچنین فرایند جذب سطحی به لحاظ هزینه کم، طراحی آسان، راحتی کار و عدم حساسیت نسبت به مواد سمی به عنوان یک روش مفید مورد استفاده قرار می گیرد. امروزه تلاشهای بسیاری در جهت جایگزین کردن جاذبهای کم هزینه و دارای کارایی بالا انجام شده است. اخیراً استفاده از رس ها به عنوان جاذب برای حذف آلاینده ها به دلیل فراوانی، سهولت دسترسی، مقرون به صرفه بودن و سازگاری با محیط زیست افزایش یافته است [۱۳]. خاک های رس نقش مهمی را در محیط زیست به عنوان جاذب طبیعی آلاینده ها از طریق تبادل یون یا جذب و یا هر دو، ایفا می کنند [۱۴]. سپیولایت یک کانی رسی طبیعی است که دارای ساختار سیلیکات منیزیم هیدرات با فرمول شیمیایی  $(\text{H}_2\text{O})_4 (\text{OH})_6 \text{Si}_{12}\text{Mg}_8\text{O}_{30}$  می باشد. این کانی از گروه رس های سیلیکاتی است که معمولاً در خاک های مناطق خشک و نیمه خشک، به همراه کربنات ها یافت می شوند. این رس ها به لحاظ ساختمانی، سوزنی شکل بوده و منافذ میکروسکوپی ریزی که به صورت موازی در طول فیبرها قرار گرفته اند، منجر به تشکیل یک جسم جامد متخلخل با سطوح خارجی زیاد می گردد. این ساختار خاص موجب نفوذ مواد آلی و معدنی به سطح کانی گردیده و سپیولایت را در زمره جاذب های مناسب قرار داده است [۱۵]. در مطالعات اخیر از سپیولایت طبیعی به عنوان جاذب جهت حذف یونهای فلزات سنگین و آلاینده های آلی مختلف استفاده گردیده است [۱۶-۱۸]. به دلیل جداسازی مشکل ذرات ریز سپیولایت از محیط آبی، این ذرات به صورت سوسپانسیون تا مدت زمان طولانی در محیط آبی باقی می مانند. بنابراین یک روش مناسب جهت رفع این مشکل ترکیب رس سپیولایت با ذرات مغناطیسی و سنتز کامپوزیت هایی با خاصیت آهنربایی است. بنابراین تحقیق در زمینه تهیه کامپوزیتهای مغناطیسی شامل خاکهای رس افزایش چشمگیری یافته است. در اغلب تحقیقات

انجام گرفته جزء مغناطیسی به کار رفته در ساختار کامپوزیتهای مغناطیسی، مگنتیت  $Fe_3O_4$  می باشد. با وجود اینکه مگنتیت یک مغناطیس قوی است ولی به آسانی در محیط مرطوب تبدیل به ترکیب  $Fe_2O_3$  می گردد و خاصیت مغناطیسی آن از بین می رود [۱۹]. به همین منظور استفاده از سایر اکسیدهای فلزی مانند  $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  به دلیل خاصیت مغناطیسی بالا و پایداری بیشتر در مقایسه با  $Fe_3O_4$  لازم و ضروری می باشد. از طرفی از آنجایی که پژوهش بر روی ذخایر طبیعی ایرانی کانی سپیولایت محدود بوده و خواص این کانی با توجه به منشا آن تغییر می کند، در این تحقیق قابلیت کانی سپیولایت ایرانی در حذف رنگ کاتیونی متیلن بلو مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا خاک رس سپیولایت اصلاح شده توسط جزء مغناطیسی  $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  به روشی بسیار ساده و سریع سنتز گردیده و کارایی آن به عنوان جاذب مغناطیسی برای حذف رنگ کاتیونی متیلن بلو به عنوان آلاینده مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اثر پارامترهای مهم مانند pH، غلظت رنگ، دوز جاذب و دما بررسی و به دنبال آن ایزوترم جذب و پارامترهای سینتیکی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد شیمیایی و تجهیزات دستگاهی مورد استفاده

کانی سپیولایت مورد استفاده در این پژوهش از ذخایر آن در شاهرود تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. کانی طبیعی سپیولایت، بعد از تهیه به منظور آماده سازی اولیه به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از آسیاب گلولهای، به شکل پودری درآمده و با عبور از الک های ۲۰۰ مش با اندازه ۵۰ میکرون مورد استفاده قرار گرفت. به منظور آگاهی از میزان خلوص کانی سپیولایت و شناسایی کانی های همراه نمونه پودری تهیه شده از مرحله قبل با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس فیلیپس (مدل Xpert Mpd) بررسی شد و نتایج حضور کانی سپیولایت را به عنوان فاز اصلی و کانی کوارتز را به صورت همراه نشان داد (شکل ۲ الف)). آهن (III) نیترات نه آبه، روی (II) نیترات شش آبه، نیکل (II) نیترات شش آبه و سدیم هیدروکسید به صورت تجاری از شرکت مرک تهیه شدند. همچنین رنگ کاتیونی متیلن بلو (شکل ۱) مورد استفاده از شرکت سیگما آلدریج تهیه گردید.



شکل ۱- ساختار شیمیایی رنگ کاتیونی متیلن بلو

تجهیزات مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) مدل Xpert Mpd ساخت شرکت فیلیپس، دستگاه میکروسکوپ الکترونی (SEM) مدل Hitachi S-4160، دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis مدل ۲۵۵۰ ساخت شرکت شیمادزو، دستگاه سانتریفیوژ از شرکت هتلیج (مدل EBA 20) و دستگاه pH متر محصول شرکت متروهم مدل ۷۷۴.

### ۳-روش های آزمایشگاهی

#### ۳-۱- سنتز خاک رس سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی (Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Sepiolite)

خاک رس سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی (Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Sepiolite) به روشی ساده و سریع تهیه شد. در این روش ابتدا در یک بشر مقدار ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر ریخته و روی همزن مغناطیسی قرار داده و مقدار ۳ گرم خاک رس سپیولایت به آن اضافه گردید. در بشر دیگر، مقدار ۵۰ میلی لیتر آب مقطر ریخته و مقادیر ۰/۲۹۷ گرم روی (II) نیترات شش آبه، ۰/۲۹ گرم نیکل (II) نیترات شش آبه و ۱/۶۶ گرم آهن (III) نیترات نه آبه اضافه گردید. بعد از این که محلول روی همزن مغناطیسی همزده شد، به بشر اول اضافه گردید. در نهایت مقدار ۴/۸ گرم سدیم هیدروکسید محلول در ۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید. دمای محلول را روی ۸۰°C تنظیم کرده به مدت سه ساعت حرارت داده و پس از آن ماده حاصله که pH قلیایی دارد را با آب مقطر شستشو داده تا pH محلول خنثی شود. سپس رسوب حاصل را صاف و در آون تحت دمای ۳۰°C خشک نموده و کارآیی آن به عنوان جاذب مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۳-۲- تهیه محلول های رنگ مورد استفاده

در این تحقیق غلظت های مختلف ۲۵، ۵۰، ۸۵ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر از رنگ متیلن بلو (MW= ۳۱۹/۸۵ g mol<sup>-1</sup>) تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

#### ۳-۳- آزمایشات جذب سطحی

آزمایشات جذب از طریق تماس مقادیر متفاوت از جاذب (۰/۳-۰/۵۰ گرم) با ۱۰۰ میلی لیتر محلول از رنگزای متیلن بلو با غلظت های اولیه مختلف (۱۰۰-۲۵ میلی گرم بر لیتر) در شرایط دمایی ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتیگراد و pH متفاوت (۱۰-۴) انجام شد. pH محلول توسط محلول های ۰/۱ نرمال NaOH و HCl در محدوده ۴ تا ۱۰ تنظیم شد. محفظه های آزمایش برای انجام فرایند جذب سطحی به دستگاه تکان دهنده با شدت ۲۰۰ rpm برای بازه های زمانی مختلف منتقل شدند. پس از اتمام فرآیند، با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ rpm به مدت ۲۵ دقیقه جاذب از محلول جداسازی شد. غلظت رنگ در محلول قبل و بعد از فرآیند جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-vis اندازه گیری شد. مقدار رنگزای جذب شده توسط جاذب (q<sub>e</sub>) و میزان درصد حذف رنگ (%R) توسط روابط (۱) و (۲) محاسبه گردید:

$$\%R = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \quad (1)$$

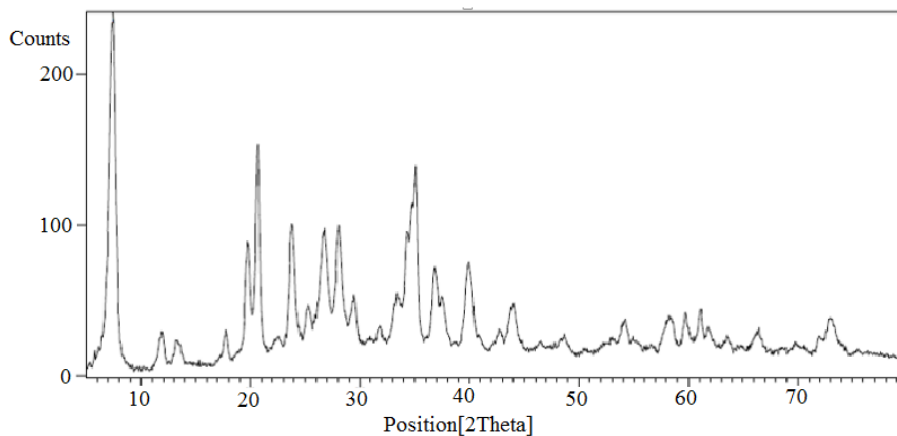
$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (2)$$

که در این روابط  $A_1$  میزان جذب اولیه از محلول رنگ،  $A_2$  میزان جذب نهایی از محلول رنگ،  $R$  درصد حذف رنگ،  $C_0$  و  $C_e$  غلظت اولیه و غلظت نهایی رنگ (mg/l)،  $V$  حجم محلول (l)،  $W$  جرم جاذب (g) و  $q_e$  میزان رنگزای جذب شده توسط جاذب (mg/g) می باشد.

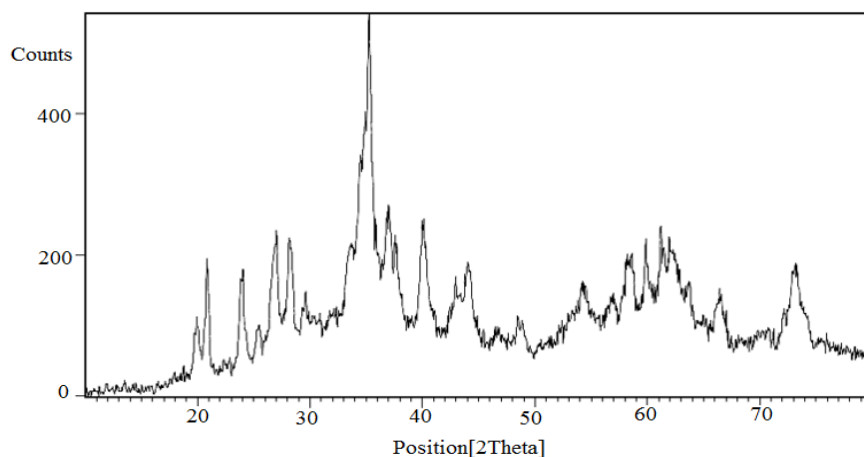
#### ۴- نتایج و بحث

##### ۴-۱- شناسایی جاذب

به منظور تأییدی بر سنتز خاک رس سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی از دستگاه پراش اشعه ایکس استفاده گردید. پیکهای مشاهده شده در محدوده  $2\theta = 0-80^\circ$  و در مقادیر  $7/18^\circ$ ،  $19/7^\circ$ ،  $20/5^\circ$ ،  $23/7^\circ$ ،  $26/6^\circ$ ،  $27/9^\circ$ ،  $34/7^\circ$ ،  $36/8^\circ$  و  $39/8^\circ$  نشان دهنده ساختار رس طبیعی سپیولایت می باشد که در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است [۲۰]. پراش اصلی مربوط به ترکیب سپیولایت در زاویه  $2\theta = 7/1^\circ$  مشاهده می شود. نتایج XRD نشان می دهد که اصلاح سپیولایت توسط اکسید فلزی  $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  باعث ایجاد تغییراتی در ساختار کریستالی سپیولایت گردیده است. همانطور که در شکل ۲ (ب) مشاهده می شود، تشکیل ساختار جدید همراه با حذف پیک در محدوده  $19/7^\circ < 2\theta < 7/18^\circ$  و افزایش شدت پیکها می باشد. شدت پیکهای XRD ارتباط مستقیم با ساختار کریستالی و اندازه ذرات نمونه دارد. بنابراین افزایش شدت پیکها در الگوی XRD مربوط به نمونه سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی نشان دهنده جاگیری اکسید فلزی در ساختار لایه ای سپیولایت و افزایش اندازه ذرات می باشد [۲۱].



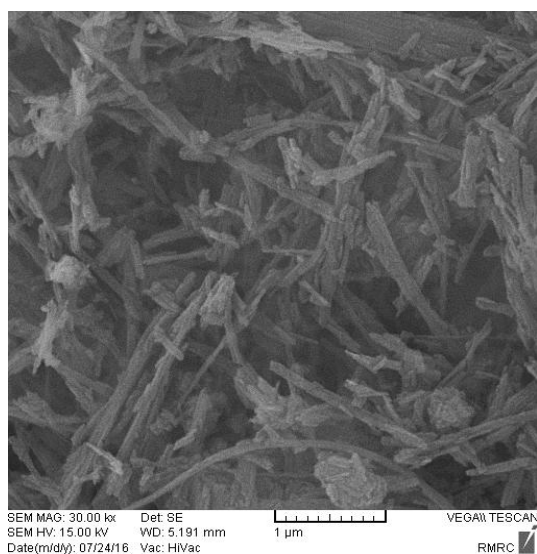
(الف)



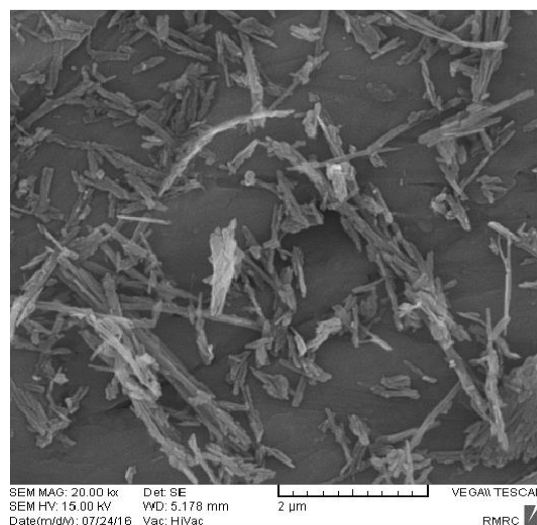
(ب)

شکل ۲- الگوی پراش اشعه ایکس (الف) سپیولایت طبیعی (ب) سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی

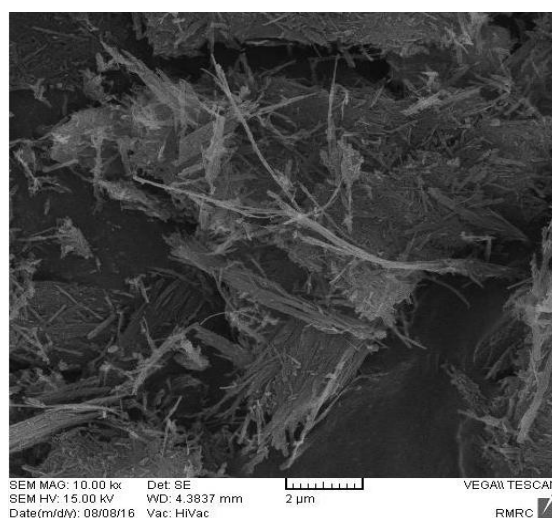
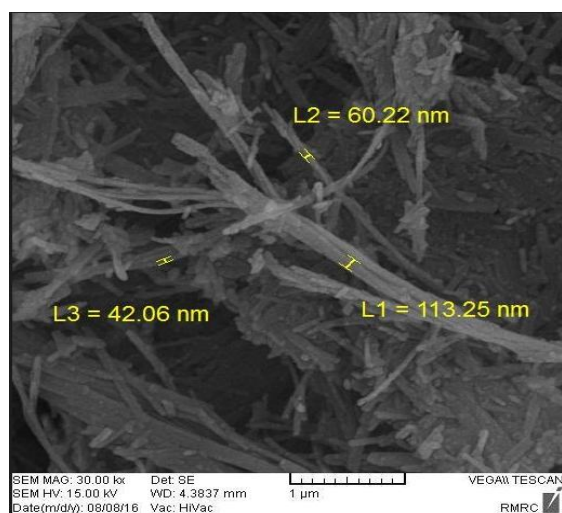
مورفولوژی سطح رس سپیولایت قبل و بعد از مغناطیس شدن توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. طبق شکل ۳ (الف) مشاهده می گردد که رس طبیعی سپیولایت دارای ساختار رشته ای است که طول آنها در حد میکرومتر و قطر ذرات در محدوده ۶۵-۱۴۵ نانومتر می باشند که این امر کار آمد بودن روش آماده سازی خاک رس طبیعی سپیولایت را نشان می دهد. تصویر SEM مشاهده شده در شکل ۳ (ب) نشان می دهد که مورفولوژی رشته ای سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی حفظ شده است.



(الف)

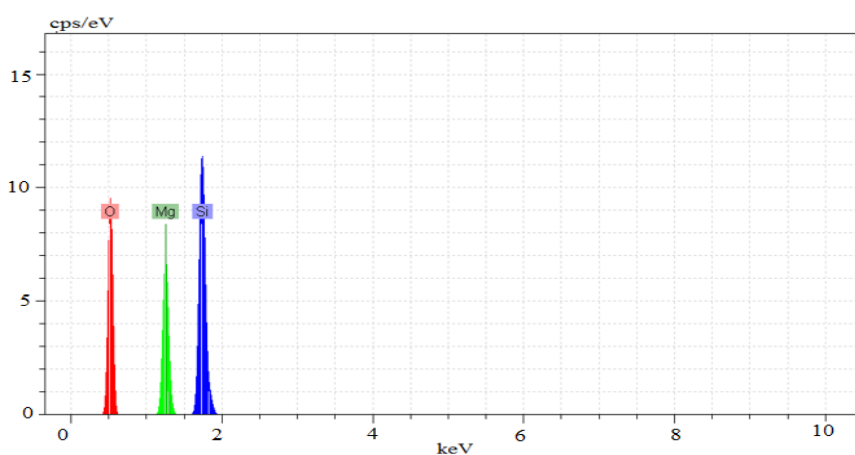


(ب)

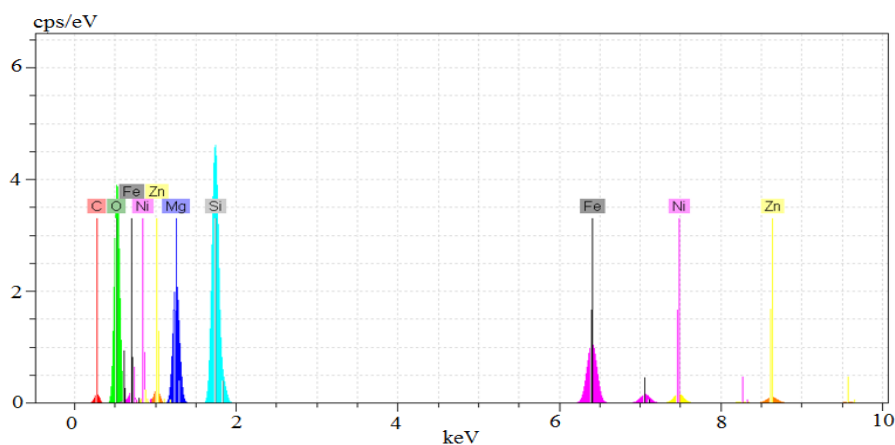


شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) سپیولایت طبیعی (ب) سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی

با توجه به نتایج آنالیز انرژی پراکندگی پرتو ایکس خاک رس سپیولایت شکل ۴ (الف) و خاک رس سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی ( $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4/Sepiolite$ ) شکل ۴ (ب) وجود عناصر منیزیم، سیلیسیم، اکسیژن، نیکل، آهن و روی سنتز ترکیب سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی تایید می گردد.



(الف)



(ب)

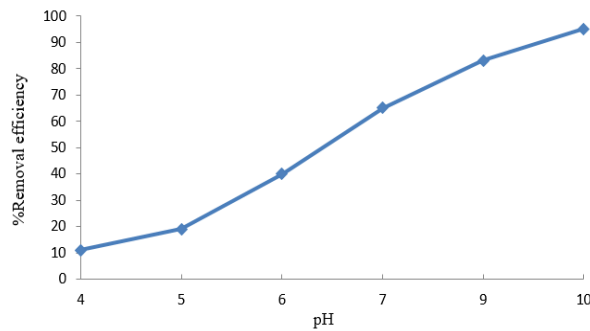
شکل ۴- آنالیز انرژی پراکندگی پرتو ایکس (الف) خاک رس سپیولایت و (ب) خاک رس سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی ( $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4/Sepiolite$ )

#### ۴-۲- بهینه سازی پارامترهای موثر در فرایند جذب سطحی

##### ۴-۲-۱- اثر pH

pH یک عامل مهم در فرایند جذب می باشد. این آزمایش در شرایط غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر رنگ متیلن بلو، مقدار ۰/۲ گرم جاذب، دمای محیط و در محدوده pH=۴-۱۰ برای جاذب سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی انجام شد. pH محلول متیلن بلو خالص برابر ۶/۴ می باشد. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود، pH=۱۰ به عنوان بهترین pH برای این فرایند جذب می باشد. این امر به دلیل تولید یون های هیدروکسیل با بار منفی در محیط و ایجاد بار منفی بر روی جاذب و جاذبه بین جاذب و رنگ کاتیونی متیلن بلو می گردد.

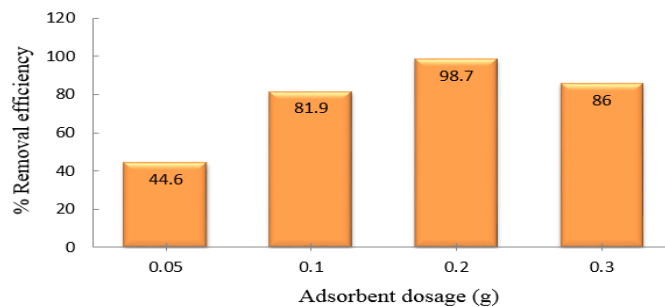




شکل ۵- تاثیر pH بر جذب رنگ متیلن بلو بر روی جاذب سیپولایت اصلاح شده مغناطیسی

#### ۴-۲-۲- اثر میزان جاذب

به منظور بهینه کردن میزان جاذب مصرفی از جاذب سیپولایت اصلاح شده مغناطیسی به میزان (۰/۳-۰/۵ گرم) استفاده شده است. نتایج در شکل ۶ نشان دهنده افزایش میزان جذب رنگ بر روی جاذب تا میزان ۰/۲ گرم جاذب می باشد. این امر به دلیل افزایش سایت های پذیرنده رنگ می باشد. اما با افزایش بیشتر جاذب همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود، جذب افزایش نمی یابد که این امر به دلیل تجمع ذرات جاذب با یکدیگر است. بنابراین میزان بهینه مصرفی جاذب ۰/۲ گرم تعیین گردید.



شکل ۶- تاثیر دوز جاذب بر جذب رنگ متیلن بلو توسط جاذب سیپولایت اصلاح شده مغناطیسی

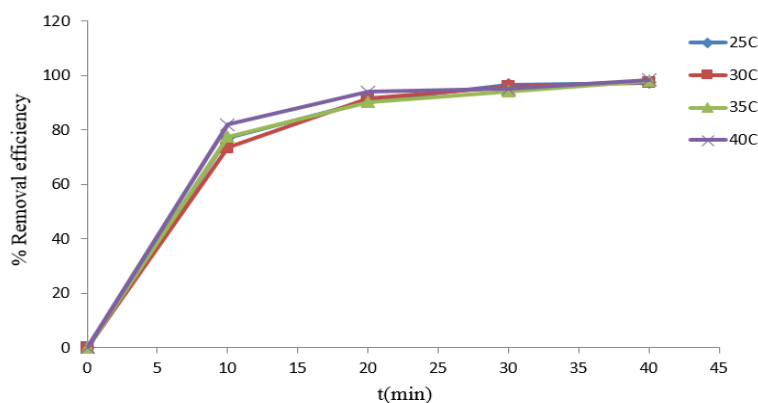
#### ۴-۲-۳- اثر غلظت اولیه رنگ

آزمایشات جذب سطحی در غلظتهای مختلف ۲۵، ۵۰، ۸۵ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر از رنگ متیلن بلو انجام گردید. نتایج نشان داد که درصد جذب سطحی با افزایش غلظت رنگ کاهش یافته است (جدول ۱). در غلظت های پایین رنگ متیلن بلو تعداد مولکول های رنگ نسبت به تعداد جایگاه های قابل دسترس بر روی سطح جاذب پایین است. در صورتیکه در غلظت های بالاتر رنگ تعداد جایگاه های در دسترس بر روی سطح جاذب کاهش یافته و در نهایت درصد جذب سطحی کاهش می یابد.

جدول ۱. اثر غلظت اولیه رنگ متیلن بلو بر روی درصد حذف رنگ

$C_0$	$C_e$	$q_e$	$C_e/q_e$	%R
25	0.5	4.5	0.11	98.8
50	1.3	10.1	0.136	96.3
85	3.5	16.7	0.209	95
100	4.7	18.6	0.251	93.2

همان طور که در شکل ۷ مشاهده می شود جذب سطحی رنگ متیلن بلو در ابتدای زمان تماس بسیار سریع افزایش می یابد به طوری که بعد از مدت زمان ۴۰ دقیقه تغییر قابل ملاحظه ای در درصد حذف رنگ متیلن بلو مشاهده نمی گردد. بنابراین زمان بهینه ۴۰ دقیقه می باشد. همچنین با افزایش دما میزان جذب سطحی نیز افزایش یافته است ، که این امر نشان دهنده گرماگیر بودن فرایند جذب می باشد.



شکل ۷- تاثیر دما بر جذب رنگ متیلن بلو توسط جاذب سپیولایت اصلاح شده مغناطیسی

#### ۴-۲-۴- مطالعه ایزوترم جذب

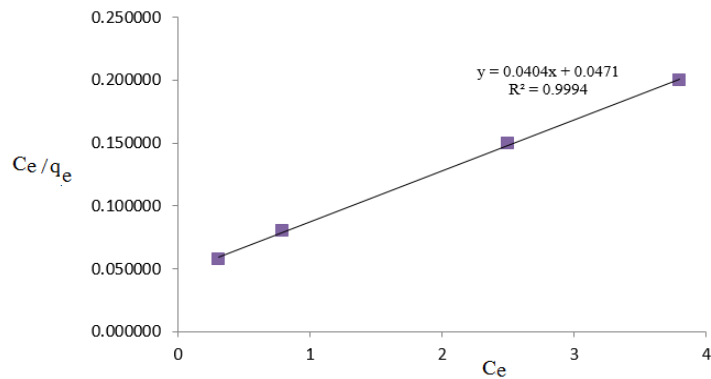
ایزوترم های جذب نشان دهنده مقدار جذب به عنوان تابعی از غلظت تعادلی جذب شونده هستند. به منظور برازش جذب سطحی متیلن بلو از دو مدل لانگمایر و فروندلیچ استفاده شد. در معادله ایزوترم جذبی لانگمایر ( رابطه (۳)) از رسم نمودار  $C_e/q_e$  بر حسب  $C_e$  مقادیر ثابت لانگمایر ( $K_L$ ) و ماکزیمم ظرفیت جذب  $q_m$  تعیین گردید که در جدول ۲ گزارش شده است.

$$C_e/q_e = C_e/q_m + 1/K_L q_m \quad (3)$$

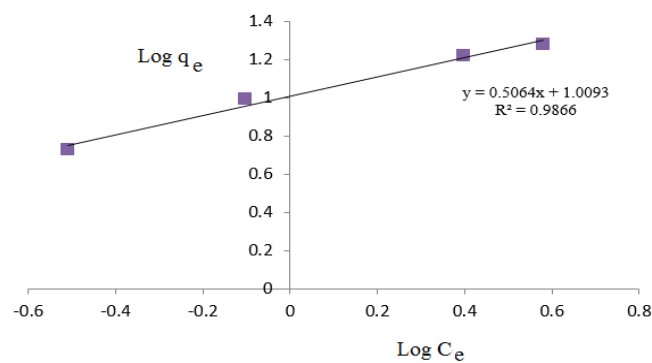
بررسی پدیده جذب با استفاده از معادله فروندلیچ (رابطه (۴)) با رسم منحنی لگاریتم  $q_e$  به صورت تابعی از لگاریتم  $C_e$  در شکل ۸ (ب) ارائه شده است. بر اساس معادله به دست آمده، مقادیر  $K_F$  و  $1/n$  به ترتیب به مقدار  $۱۰/۲۱۶$  و  $۰/۵۰۶۴$  محاسبه شد. با توجه به اینکه مقدار عددی  $1/n$  بین ۰ تا ۱ قرار دارد، بنابراین می توان گفت که سطح جاذب حالت ناهمگنی دارد.

$$\text{Log } q_e = \text{log } K_f + (1/n) \text{log } C_e \quad (4)$$

نتایج نشان می دهد که با توجه به بیشتر بودن ضریب همبستگی در معادله حاصل از مدل لانگمایر در مقایسه با مدل فروندلیچ، ایزوترم لانگمایر مدل بهتری برای جذب رنگزای متیلن بلو با استفاده از جاذب است.



(الف)



(ب)

شکل ۸- نمودار خطی سازی (الف) ایزوترم جذب فرندلیش (ب) ایزوترم جذب لانگمایر

جدول ۲. پارامترهای لانگمایر و فرندلیش برای جذب سطحی متیلن بلو توسط سیولایت اصلاح شده مغناطیسی

رنگ	مدل لانگمایر			مدل فرندلیش		
متیلن بلو	$q_m(\text{mg/g})$	$K_L(\text{l/g})$	$R^2$	$1/n$	$K_f(\text{l/g})$	$R^2$
	۲۴/۷۵	۰/۸۵۷	۰/۹۹۹۴	۰/۵۰۶۴	۱۰/۲۱۶	۰/۹۸۶۶

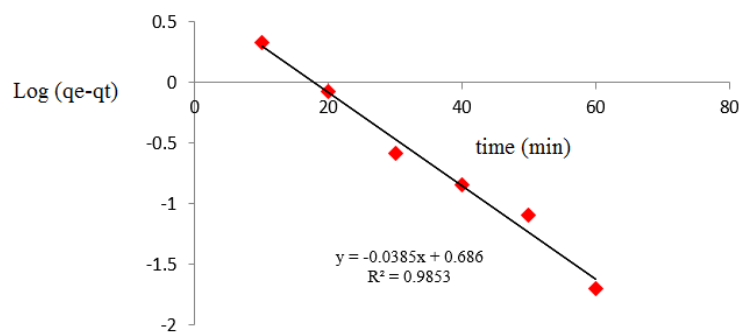
#### ۴-۲-۵- مطالعه سینتیک جذب

برای تعیین سینتیک جذب از معادلات سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم استفاده شد که معادلات آنها در روابط (۵) و (۶) نشان داده شده است.

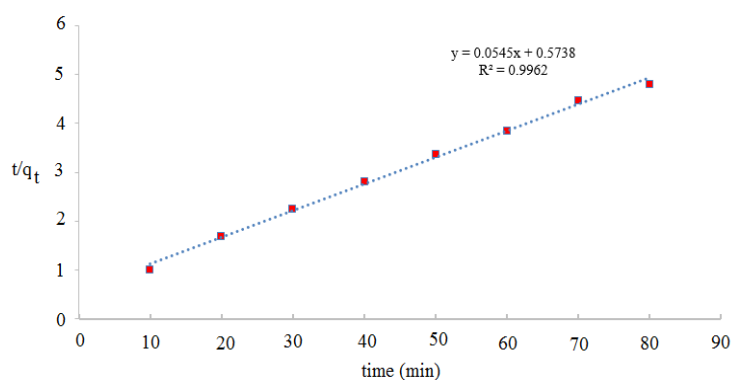
$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (۵)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (۶)$$

با توجه به نتایج بدست آمده از شکل ۹ که در جدول ۳ آورده شده است، می توان مشاهده نمود که معادله سینتیکی شبه مرتبه دوم دارای ضریب همبستگی بالاتری بوده و انطباق مناسب تری را نشان می دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۹- (الف) سینتیک جذب شبه مرتبه اول (ب) سینتیک جذب شبه مرتبه دوم

جدول ۳- ضرایب معادلات سینتیک جذب شبه مرتبه اول و دوم

معادله شبه مرتبه دوم	معادله شبه مرتبه اول
$q_e = 18/35$	$q_e = 1/98$
$k_2 = 0/00517$	$k_1 = 0/0385$
$R^2 = 0/9962$	$R^2 = 0/9853$

در مقایسه با مطالعات پیشین که توسط محققین مختلف انجام شده، مقایسه گردید (جدول ۴). همانطور که مشاهده می شود، بیشترین میزان جذب در این پژوهش در مقایسه با سایر جاذب ها قابل توجه می باشد.

جدول ۴- ظرفیت جذب جاذب های مختلف در جذب رنگ متیلن بلو

مرجع	ظرفیت جذب (mg/g)	زمان تماس	جاذب
[۲۲]	۷۰/۹	۳۱۵ دقیقه	ضایعات نارگیل
[۲۳]	۶/۹	۶۰ دقیقه	خاکستر پوسته برنج
[۲۴]	۱/۹	۷۲ ساعت	خاکستر بیولوژیکی لجن
[۲۵]	۰/۸	۷۲ ساعت (اصلاح شده با اسید سولفوریک)	خاکستر پر
[۲۶]	۲/۳۹	۱۸۰ دقیقه	رسوبات پیرولیز شده
[۲۷]	۳۰/۸	۱۸۰ دقیقه	HDL-ZnAl-PW <sub>10</sub> Mo <sub>2</sub>
این تحقیق	۲۴/۷	۴۰ دقیقه	سپیولایت مغناطیسی

## ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق خاک رس سپیولایت مغناطیسی (Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Sepiolite) سنتز و به عنوان جاذب برای جذب رنگ کاتیونی متیلن بلو از محیط های آبی به کار گرفته شد. خصوصیات ساختاری جاذب سنتز شده با استفاده از تکنیکهای پراش اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی و تجزیه آنالیز عنصری بررسی شد. پارامترهای موثر بر فرآیند جذب مانند اثر pH، غلظت رنگ، دما و میزان دوز جاذب مورد بررسی قرار گرفتند. شرایط بهینه به دست آمده عبارت است از pH=۱۰، زمان ۴۰ دقیقه و میزان جاذب ۰/۲ گرم می باشد. برای تعیین معادله سینتیک جذب از معادلات شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم استفاده شد. نتایج در این بخش انطباق با معادله سینتیک شبه مرتبه دوم را نشان می دهد.

## ۶- مراجع

- [1] B. Royer, N.F. Cardoso, E.C. Lima, J.C.P Vagheti, N.M. Simon, T. Calvete and R.C. Veses, *Journal of Hazardous Materials*, **164** (2009)1213.
- [2] E.C. Lima, B. Royer, J.C.P. Vagheti, N.M. Simon, B.M. Cunha, F.A. Pavan, E.V. Benvenuti, R. Cataluna-Veses and C. Aioldi, *Journal of Hazardous Materials*, **155** (2008) 536.
- [3] V. Ponnusami, R. Madhuram, V. Krithika and S.N. Srivastava, *Chemical Engineering Journal*, **140** (2008) 136.

[۴] مومنی، محمد محسن؛ غایب، یوسف، دانشگاه سمنان، مجله علمی-پژوهشی شیمی کاربردی، شماره ۴۰ (۱۳۹۵) ص ۱۲۱.

[۵] زارع، محمدعلی؛ عمادی، معصومه؛ ایرانپور، مریم؛ بازرگان لاری، رضا، مجله مواد نوین، شماره ۴ (۱۳۹۳) ص ۸۱.

- [۶] بذرافشان، ادريس؛ كرد مصطفی پور، فردوس، دانشگاه خراسان شمالی، مجله علمی-پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی، شماره ۴ (۱۳۹۱) ص ۵۲۳.
- [۷] ملکوتیان، محمد؛ نبویان، محمدرضا، دانشگاه رفسنجان، مجله علمی-پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی، شماره ۹ (۱۳۹۴) ص ۷۵۵.
- [۸] انصاری، رضا؛ محمدپور تسبی، امیر؛ رسولی گرمارودی، اسماعیل؛ کرمانیان، حسین، دانشگاه سمنان، مجله علمی-پژوهشی شیمی کاربردی، شماره ۴۶ (۱۳۹۷) ص ۲۱۹.
- [۹] بهارلویی، عاطفه؛ جلیل نژاد، الهام؛ سیروس آذر، محمد، دانشگاه سمنان، مجله علمی-پژوهشی شیمی کاربردی، شماره ۴۳ (۱۳۹۶) ص ۱۹۳.
- [۱۰] عربی، سید حسن؛ لطف الهی، محمد نادر، دانشگاه سمنان، مجله علمی-پژوهشی شیمی کاربردی، شماره ۴۴ (۱۳۹۶) ص ۱۸۷.
- [۱۱] موحدی، مریم؛ حسینیان، اکرم؛ بخشائی، مهسا؛ رحیمی، محدثه؛ ارشد نیا، ایلیا، دانشگاه سمنان، مجله علمی-پژوهشی شیمی کاربردی، شماره ۴۱ (۱۳۹۵) ص ۱۱.
- [12] E.C. Lima, B. Royer, J.C.P. Vagheti, N.M. Simon, B.M. Cunha, F.A. Pavan, E.V. Benvenuti, R. Cataluna-Veses and C. Airoidi, *Journal of Hazardous Materials*, **155** (2008) 536.
- [13] S. Kubilay, R. Gürkan, A. Savran and T. Sahan, *Adsorption*, **13** (2007) 41.
- [14] Y. Asci, M. Nurbas and Y.S. Acikel, *Journal of Environmental Management*, **88** (2008) 383.
- [15] S. Lazarević, I. Janković-Častvan, D. Jovanović, S. Milonjić, D. Janačković and R. Petrović, *Applied Clay Science*, **37** (2007) 47.
- [16] O. Duman, S. Tunc and T. Gürkan Plot, *Microporous & Mesoporous Materials*, **210** (2015) 176.
- [17] S.C.R. Santos and R.A.R. Boaventura, *J of Environmental Chemical Engineering*, **4** (2016) 1473.
- [18] E. Errais, J. Duplay, F. Darragi, A. Aubert, F. Huber and G. Morvan, *Desalination*, **275** (2011) 74.
- [19] Y. Huang, Q. Feng and W. Wang, *Advanced Materials Research*, **284** (2011) 114.
- [20] G.W. Brindely, *American Mineralogist*, **44** (1959) 495.
- [21] E. Eren, H. Gumus and N. Ozbay, *Desalination*, **262** (2010) 43.
- [22] P. Leechart, W. Nakbanpote and P. Thiravetyan, *Journal of Environmental Management*, **90** (2009) 912.
- [23] D. Sarkar and A. Bandyopadhyay, *Journal of Water Resource and Protection*, **2** (2010) 424.
- [24] C. H. Weng and Y. F. Pan, *Colloids and Surfaces A*, **274** (1) (2006) 154.
- [25] J. X. Lin, S. L. Zhan, M. H. Fang, X. Q. Qian and H. Yang, *Journal of Environmental Management*, **87** (2008) 193.
- [26] A.Z. Aroguz, J. Gulen and R.H. Evers, *Bioresource Technology*, **99** (2008) 1503.
- [27] B. Bi, L. Xu, B. Xu and X. Liu, *Applied Clay Science*, **54** (2011) 242.