



سنتز و بررسی نانوجاذبه‌های اصلاح شده SBA-15 به منظور حذف رنگ کاتیونی متیل اورانژ

سعید مسعودنیا

استاد گروه صنعت، مرکز آموزش علمی کاربردی خانه کارگر جمهوری اسلامی ایران، تشکیلات شهرستان

ساوجبلاغ، کرج، ایران.

d.r_saeid@yahoo.com

شادی رائی

دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی فناوری ایمنی، سلامت و محیط زیست، مرکز آموزش علمی کاربردی خانه کارگر

جمهوری اسلامی ایران، تشکیلات شهرستان ساوجبلاغ، کرج، ایران.

Shadirasi1133@gmail.com

افسانه سلطانی

استاد گروه صنعت، مرکز آموزش علمی کاربردی خانه کارگر جمهوری اسلامی ایران، تشکیلات شهرستان

ساوجبلاغ، کرج، ایران.

afsaneh.soltani@gmail.com

1

چکیده

ترکیبات رنگی، به‌خصوص رنگ‌زاهای آلی، از پرمصرفترین مواد در صنعت و صنایع مختلف هستند که در طی مراحل مختلف فرآیندهای صنعتی به محیط‌زیست وارد شده و به جهت ساختار پیچیده مولکولی و همچنین پایداری در برابر نور، حرارت و تجزیه بیولوژیکی، با روشهای معمول تصفیه پساب به آسانی و به طور کامل حذف نمیشوند. متیل اورانژ جز دسته رنگهای کاتیونی میباشد. متیل اورانژ به عنوان یک رنگ کاتیونی آزو کاربرد گسترده‌ای در صنایع رنگرزی پنبه، پشم، ابریشم، چرم، رنگ مو و... دارد. این رنگ میتواند سبب بروز آثار زیانباری چون سوزش چشم، تشنج، سیانوز، تپش قلب، تنگی نفس و سوزش پوست در انسان شود. روش های ته نشینی، هم رسوبی و تبادل یون، فیلتراسیون غشایی و جذب سطحی به منظور حذف رنگ از محیط های آبی به کار برده شده است که از میان آن ها جذب سطحی یک روش با راندمان و اقتصادی برای تصفیه آب است. در این پژوهش حذف رنگ متیل اورانژ از محیط های آبی با استفاده از نانوجاذب های هیبریدی عامل دار شده SBA-15 مورد بررسی قرار گرفت. جاذب های SBA-15 طی مراحل سنتز و عامل دار شدند. ساختار نانوجاذب و حضور گروه های عاملی به وسیله طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوریه و تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تایید شد. عوامل تاثیرگذار مانند نوع جاذب، مقدار جاذب بهینه، زمان تماس و pH بهینه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین میزان حذف متیل اورانژ با پس از ۵ دقیقه با استفاده از ۰.۳ گرم از نانوجاذب SBA-15 آمینی در pH بهینه ۷ امکان پذیر است و همچنین مشخص شد که فرآیند جذب از مدل هم دمای لانگمویر و فرندلیچ تبعیت می کند.

کلمات کلیدی: نانوجاذبه‌های اصلاح شده، SBA-15، حذف، رنگ کاتیونی، متیل اورانژ



۱. مقدمه

ترکیبات رنگی، بهخصوص رنگزاهای آلی، از پرمصرفترین مواد در صنعت و صنایع مختلف هستند که در طی مراحل مختلف فرآیندهای صنعتی به محیطزیست وارد شده و به جهت ساختار پیچیده مولکولی و همچنین پایداری در برابر نور، حرارت و تجزیه بیولوژیکی، با روشهای معمول تصفیه پساب به آسانی و به طور کامل حذف نمیشوند. بررسیها نشان داده است مواد رنگزا و رنگدانههای تجاری علاوه بر آلودگیهای اولیه، طی فرآیندهای شیمیایی میتوانند به ترکیبات ثانویه بسیار خطرناک سرطازنا و سمی تجزیه شوند. بنابراین برنامهریزی برای حذف این مواد باید در دستور کار صاحبان صنایع قرار گیرد. صنعت نساجی در زمینه تنوع در مواد اولیه مصرفی و میزان بالای بار آلودگی، از صنایع شاخص محسوب شده که همواره با مشکل حذف رنگ فاضلاب صنعتی روبرو است. رنگزاهای کاتیونی از جمله رنگزاهایی هستند که به طور گسترده در فرآیندهای نساجی استفاده میشوند. متیل اورانژ جز دسته رنگهای کاتیونی میباشد. متیل اورانژ به عنوان یک رنگ کاتیونی آزو به فرمول مولکولی $C_{16}H_{18}N_3SCl$ و جرم مولی ۳۱۹٫۸۵ گرم بر مول کاربرد گستردهای در صنایع رنگرزی پنبه، پشم، ابریشم، چرم، رنگ مو و... دارد. این رنگ میتواند سبب بروز آثار زیانباری چون سوزش چشم، تشنج، سیانوز، تپش قلب، تنگی نفس و سوزش پوست در انسان شود. بنابراین حذف رنگهایی مانند متیل اورانژ از پسابهای صنعتی یکی از چالشهای بزرگ زیستمحیطی میباشد. روشهای مختلفی از قبیل جذب، تجزیه بیولوژیکی، انعقاد، اکسیداسیون شیمیایی، فرآیندهای الکتروشیمیایی، فیلتراسیون و اسمز معکوس برای حذف رنگ از فاضلاب وجد دارد. از بین روشهای حذف رنگ، جذب سطحی به دلیل هزینه پایین، سهولت بهرهبرداری و راندمان بالا یک فرآیند کارا و موثر است. کربن فعال پرکاربردترین جاذب مورد استفاده استبا این وجود مهمترین مشکل این جاذب هزینه بالای تولید و احیای آن است. بنابراین در سالهای اخیر مطالعات زیادی برای یافتن جاذبهای ارزانتر و موثرتر در حال انجام است. یکی از مهمترین جاذبهای متخلخل که میتواند در حذف رنگ مورد استفاده قرار گیرد SBA-۱۵ بوده است. در سال ۱۹۹۸ گروهی از محققین دانشگاه سانتا باربارا، با استفاده از سطح فعالهای غیریونی، موادی را به نام SBA-۱۵ معرفی کردند. ساختار مواد نانو متخلخل SBA-۱۵ تقریباً لانه زنبوری است به طوری که نانوحفرههای شش وجهی به وسیله دیوارهای سیلیکاتی پیوسته جدا میشوند. خواص منحصر به فرد الکهای مولکولی نانوحفرههای SBA-۱۵ مانند سطح ویژه بالا، نظم زیاد حفرهها، بزرگ بودن اندازه حفرهها، شکل منظم و یکنواختی حفرهها، پایداری حرارتی و گرمایی و خواص شیمیایی و فیزیکی، منجر به قابلیتهای کاربردی آنها شده است. اصلاح خواص شیمیایی و فیزیکی این مواد نانوحفره با اتصال دادن گروههای عاملی آلی بر روی سطح آنها، امکان توسعه کاتالیستهای جدید و جاذبهایی با گستره وسیعی از کاربردها را پدید آورده است. در این راستا، پژوهش حاضر به سنتز و بررسی نانوجاذبهای اصلاح شده SBA-۱۵ به منظور حذف رنگ کاتیونی متیل اورانژ میپردازد.

۲. بخش تجربی

۱.۲. مواد مورد استفاده

سطح فعال تری بلوک کوپلیمر (($EO_{20}PO_{70}EO_{20}$ -P-۱۲۳ از شرکت آلدریج خریداری شد. همچنین پیش ماده معدنی سیلیس دار تترا اتیل ارتو سیلان (TEOS) و عامل تخلخل تترا اتیلن تترا آمین ($C_6H_{18}N_4$) از شرکت مرک تهیه گردید. دو ماده ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان (HPTES) و ۳-مرکاپتوپروپیل تری متوکسی سیلان (MPTMS) از شرکت آلدریج خریداری شدند. اسید کلریدریک ۳۷٪ (HCl) و اتانول نیز از شرکت مرک خریداری شدند. برای تهیه محلول آرسنیک و اسید کلریدریک (۱،۹ M)، مقدار مناسب از هر کدام از آن ها با آب مقطر رقیق شد.



۲.۲. سنتز مزوپور سیلیسی SBA-15

۱.۲.۲. سنتز مزوپور سیلیسی SBA-15 ساده

روشهای مختلفی برای تهیه SBA-15 ابداع شده است که در این تحقیق از روش هیدروترومال استفاده شد. مراحل کار به این ترتیب بود که ابتدا سورفکتانت پلورونیک P-123 در محلول ۱،۹ مولار هیدروکلریک اسید تحت دمای ۴۵ درجه سانتیگراد به کمک همزن مغناطیسی و مگنت حل گردید. نقش سورفکتانت تشکیل قالب اصلی مزوپور SBA-15 است که به شکل شش وجهی است. پس از اینکه مخلوط کاملاً یک دست شد، منبع سیلیسی تترا اتیل ارتو سیلان (TEOS) به آهستگی به آن اضافه و به مدت ۲۴ ساعت تحت دمای ۴۵ درجه سانتیگراد روی همزن قرار گرفت. سپس با افزایش دما تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد، مخلوط واکنش در شرایط سکون قرار گرفت تا منبع سیلیسی بتواند روی قالب شش وجهی ایجاد شده توسط سورفکتانت قرار بگیرد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، ماده جامد سفید رنگ حاصل شد که به منظور خروج قالب سورفکتانتی به رسوب مورد نظر اتانول اضافه گردید و مخلوط واکنش به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۸ درجه سانتیگراد تحت شرایط رفلکس قرار گرفت. در مرحله آخر ماده جامد سفید رنگ با استفاده از کاغذ صافی جدا شد و با مقدار کمی آب مقطر شست و شو داده شد و به مدت ۲۰ دقیقه در داخل آون با درجه حرارت ۵۰ درجه سانتیگراد قرار داده شده تا پودری نرم و سفید رنگ حاصل گردید.

۲.۲.۲. سنتز مزوپور سیلیسی SBA-15 عاملدار شده آمینی

به منظور آمین دار نمودن سطح SBA-15 با گروه عاملی -NH_2 از ماده ای به نام ۳-آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان به عنوان منبع آمین استفاده شد. روش کار سنتز نانو جاذب SBA-15 با گروه -NH_2 مشابه سنتز SBA-15 است با این تفاوت که بعد از اضافه کردن TEOS، ۴۵ دقیقه بعد عامل آمین دار کننده به مخلوط روی همزن مغناطیسی اضافه شد. در پایان با بدست آمدن پودر سفید رنگ، نانو جاذب به نام SBA-15-NH₂ نامگذاری شد.

۳.۲.۲. سنتز مزوپور سیلیسی SBA-15 عاملدار شده گوگردی

به منظور عاملدار نمودن سطح SBA-15 با گروه عاملی -SH از ماده ای به نام ۳-مرکاپتو پروپیل تری متوکسی سیلان استفاده شد. همانند تهیه نانو جاذب SBA-15-NH₂ بعد از افزودن TEOS، ۴۵ دقیقه بعد عامل گوگردی به مخلوط روی همزن مغناطیسی اضافه شد. در پایان با بدست آمدن پودر سفید رنگ، نانو جاذب به نام SBA-15-SH نامگذاری شد.

۳.۲. شناسایی و تعیین ویژگیهای جاذب سنتز شده

به منظور مشخص نمودن شکل ظاهری و مورفولوژی مزوپور سیلیسی با استفاده از تصویر میکروسکوپ الکترونی^۱ که بوسیله میکروسکوپ SEM, LEO 1455 VP محصول کشور انگلستان تهیه گردید، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین آنالیز FT-IR به منظور شناسایی گروههای آلی قرار گرفته روی سطح مزوپور به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مادون قرمز^۲ انجام شد.

¹ Scanning Electron Microscopy (SEM)

² Infrared Spectrophotometer



۴.۲. بهینه‌سازی پارامترهای مختلف موثر بر حذف متیل اورانژ

۱.۴.۲. تعیین نوع جاذب بهینه

ابتدا محلول استاندارد از رنگ متیل اورانژ با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر ساخته شد. در شش ارلن مقدار ۲۵ میلی لیتر از آن ریخته شد، سپس مقدار ۰.۳ گرم از نانو جاذب های SBA-15 ساده، آمینی و گوگردی وزن شد و به ارلنهای حاوی محلول استاندارد رنگ اضافه گردید. ارلن ها به مدت ۳۰ دقیقه با دور ۱۲۰-۱۴۰ بر روی شیکر قرار داده شد. بعد از مدت زمان گفته شده محلول داخل ارلن صاف شد و برای آنالیز جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. که از میان نانو جاذب های مورد استفاده، جاذب آمینی، جذب بهتری داشت.

۲.۴.۲. تعیین مقدار جاذب بهینه

برای این کار، محلول استاندارد از رنگ متیل اورانژ با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر ساخته شد. ۲۵ میلی لیتر از محلول استاندارد به چهار ارلن منتقل شد. سپس وزن های مختلف از نانو جاذب SBA-15-NH₂ به مقدار ۰.۲، ۰.۳، ۰.۴، ۰.۵ گرم، توزین شد و همزمان به ارلن های حاوی محلول متیل اورانژ اضافه گردید. ارلن ها به مدت ۴۰ دقیقه با دور ۱۲۰-۱۴۰ روی شیکر قرار داده شد. بعد از این مدت زمان، محلول داخل ارلن صاف و برای آنالیز در دستگاه اسپکتروفوتومتر قرار داده شد.

۳.۴.۲. بررسی اثر pH

۲.۵ میلی لیتر از محلول متیل اورانژ بطور جداگانه درون شش بالن ریخته شد و توسط محلول های آبی با pH های مختلف (۲، ۴، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳) به حجم رسانده شد. سپس ۰.۳ گرم از نانو جاذب SBA-15-NH₂ وزن شد و به طور جداگانه به هر یک از محلول ها اضافه گردید. به مدت ۴۰ دقیقه با دور ۱۲۰-۱۴۰ روی شیکر قرار داده شد. پس از اتمام زمان گفته شده صاف و آنالیز توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر آماده‌سازی شد.

۴.۴.۲. بررسی اثر زمان

محلول متیل اورانژ توسط آب با pH=۸ ساخته شد. ۲۵ میلی لیتر از محلول فوق به درون ۴ ارلن منتقل شد. ۰.۳ گرم از نانو جاذب SBA-15-NH₂ وزن گردید و به طور همزمان به ۴ ارلن حاوی محلول استاندارد رنگ مورد نظر اضافه گردید. زمان شیکر روی ۲۰ دقیقه و با دور ۱۲۰-۱۴۰ تنظیم شد. هر ۵ دقیقه یکی از ارلن ها از روی شیکر برداشته و صاف شد. پس از آماده سازی جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد.

۳. بحث و نتایج

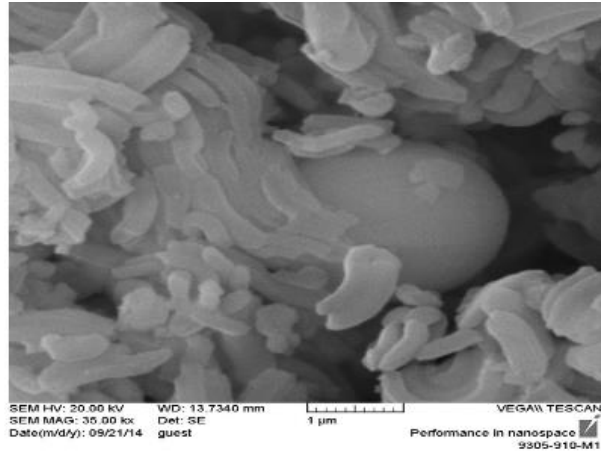
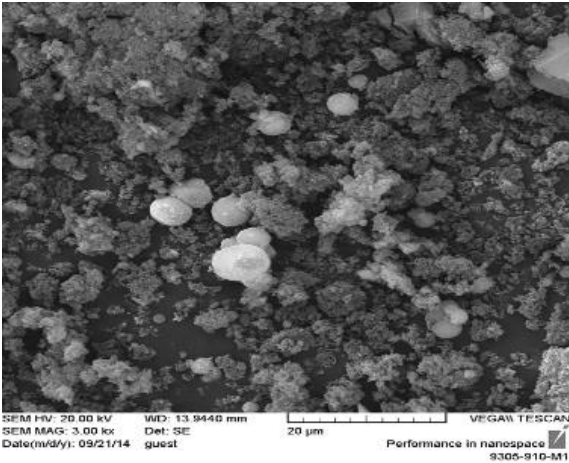
۱.۳. شناسایی و تعیین ویژگیهای جاذبهای سنتز شده

نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی در شکل ۳-۱ ارائه شده است. تصاویر SEM مزوپور سنتز شده حاکی از مورفولوژی ریسمانی شکل است که از نظر شکل ظاهری، SBA-15 سنتز شده کاملاً مطابق با نتایج مطالعات معتبر پیشین است. (۱۹). نتایج به دست آمده نشان میدهند اندازه حفرات در مقیاس نانو بوده، همچنین پلیمرهای آمینی و گوگردی به طور یکنواخت بر روی نانو ذرات SBA-15 قرار گرفته اند. که این، کارآمد بودن روش سنتز نانو ذرات را تأیید میکند.

نتایج طیف بینی FT-IR برای هر پنج جاذب سنتز شده در شکل ۶-۴ نشان داده شده است. در تمام نمونهها پیک مشاهده شده در ۸۱۱ و ۱۰۶۸ cm⁻¹ به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن پیوند Si-O-Si در شبکه بهم فشرده سیلیکاتی است. پیک تیز در ناحیه ۳۷۴۵ cm⁻¹ مربوط به حضور گروههای سیلانولی (Si-OH) است. باند جذب شده در ۱۵۷۰ cm⁻¹ مربوط به ارتعاشات خمشی گروه آمین قرار گرفته روی سطح مزوپور است. همچنین پیک مشاهده

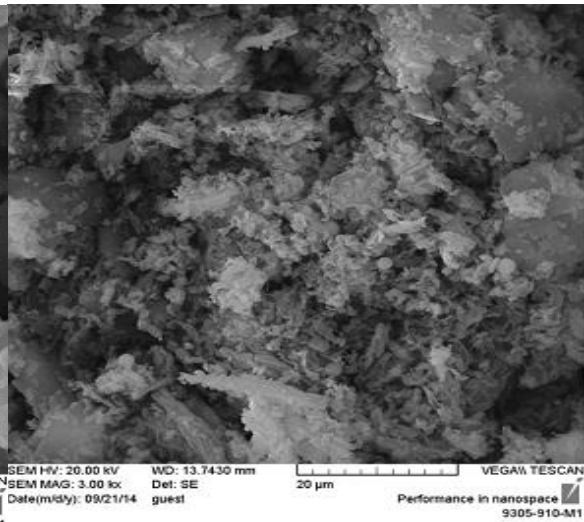
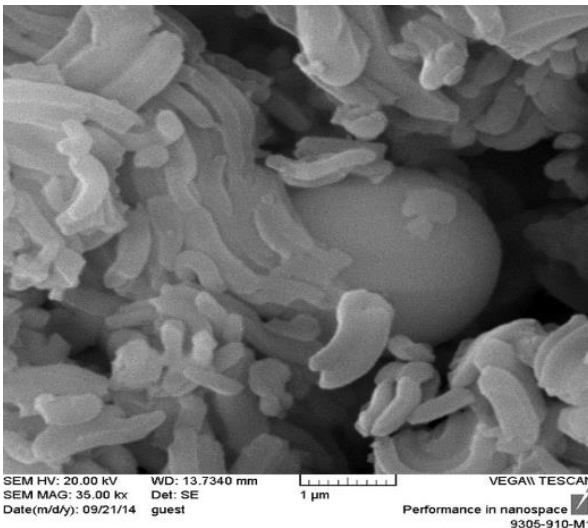


شده در 2854 cm^{-1} و 2958 cm^{-1} در نمونه آمین دار شده مربوط به ارتعاشات پیوند C-H در گروه پروپیل آمین است. همچنین پیک مشاهده شده در حدود 2570 cm^{-1} مربوط به حالت ارتعاشی گروه S-H است. با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز FT-IR می توان اظهار نمود که گروه آمینی و گوگردی با موفقیت روی سطح نانو حفره های مزوپور قرار گرفته اند.

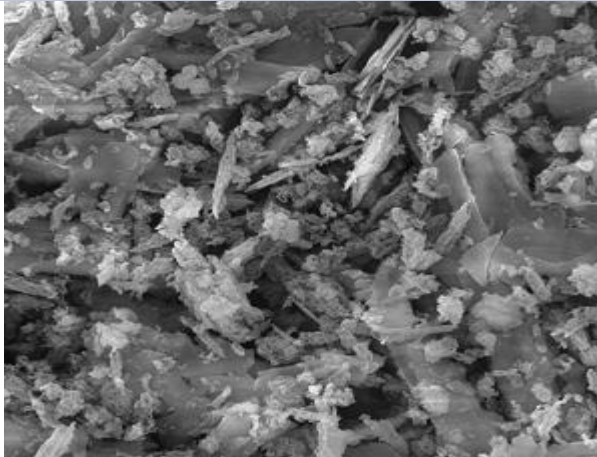


5

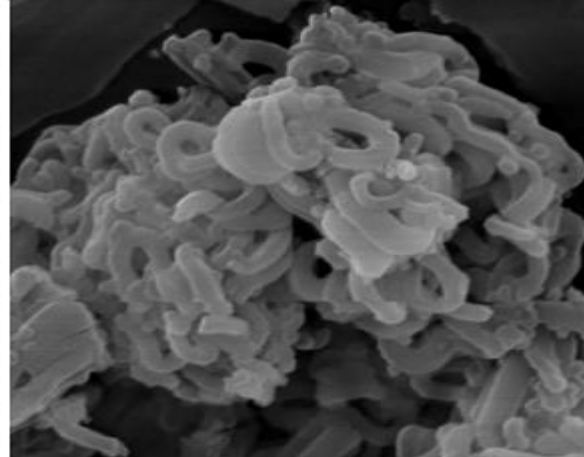
شکل ۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوجاذب SBA-15



شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوجاذب SBA-15-NH₂



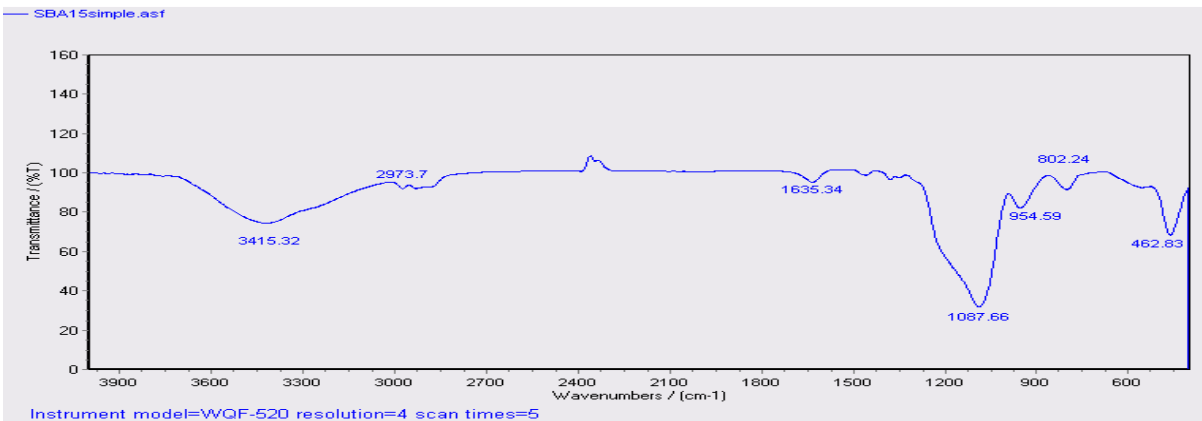
SEM HV: 20.00 kV WD: 13.7640 mm VEGA\\ TESCAN
SEM MAG: 3.00 kx Det: SE
Date(m/d/y): 09/21/14 guest Performance in nanospace 9305-910-M1



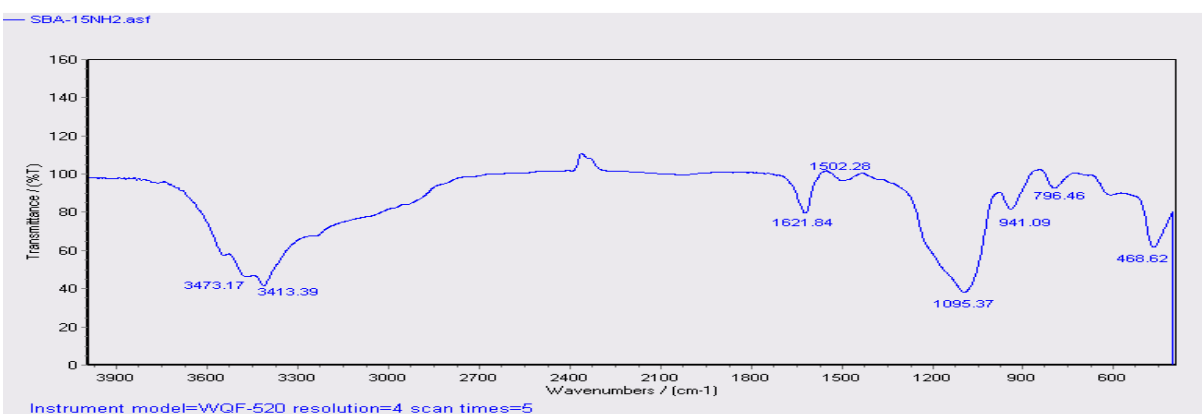
SEM HV: 20.00 kV WD: 13.7640 mm VEGA\\ TESCAN
SEM MAG: 35.00 kx Det: SE
Date(m/d/y): 09/21/14 guest Performance in nanospace

شکل ۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوجاذب SBA-15-SH

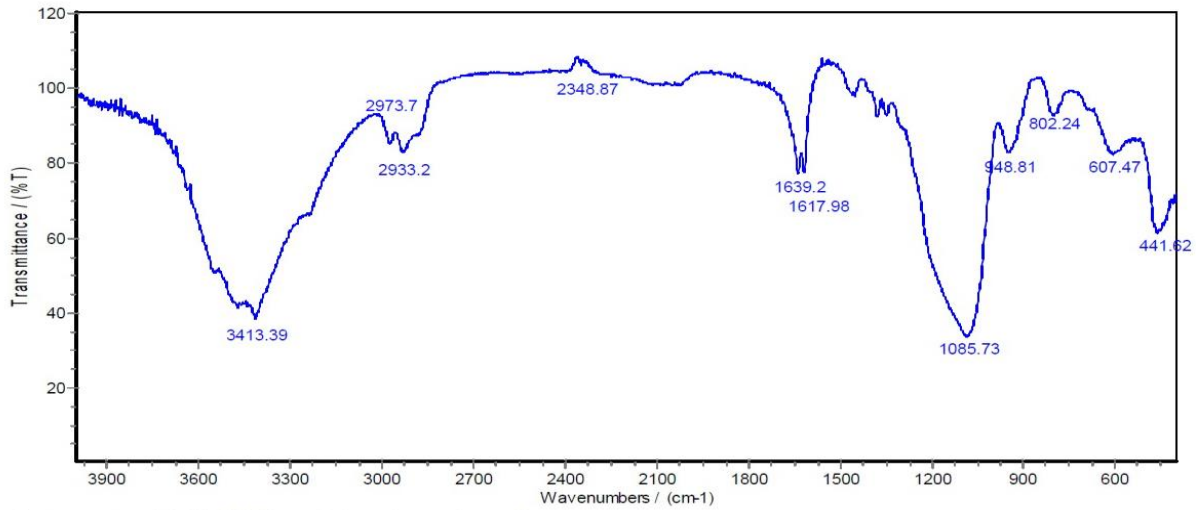
6



شکل ۴ FT-IR نانوجاذب SBA-15



شکل ۵ FT-IR نانوجاذب SBA-15-NH₂



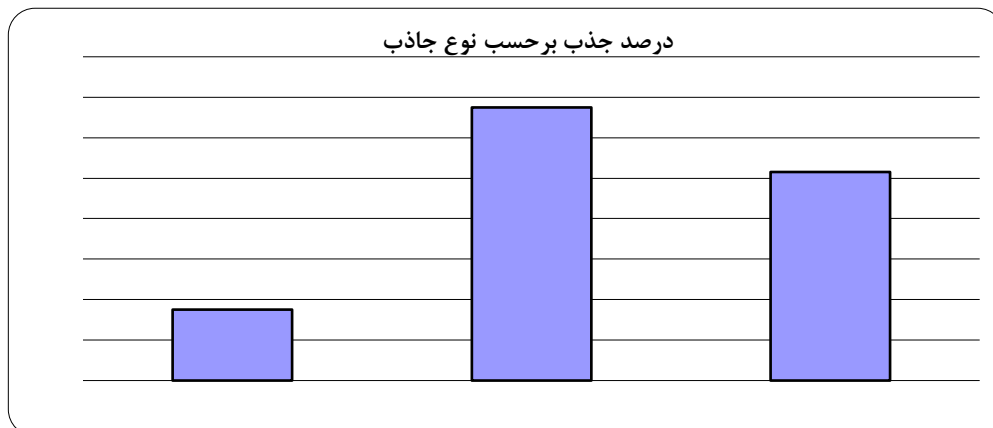
شکل ۶ FT-IR نانوجاذب SBA-15-SH

7

۲،۳. نتایج بررسی بهینه‌سازی پارامترهای موثر بر حذف رنگ متیل اورانژ

۱،۲،۳. انتخاب نوع جاذب

درصد جذب متیل اورانژ توسط جاذب های سیلیسی نانو متخلخل ساده، آمینی و گوگردی بررسی گردید. با توجه به نتایج ارائه شده در نمودار ۱، جاذب **SBA-15-NH₂** به دلیل وجود سایت های جذب بیشتر و ویژگی های جذبی بهتر نسبت به سایر جاذب ها به عنوان جاذب انتخاب گردید.



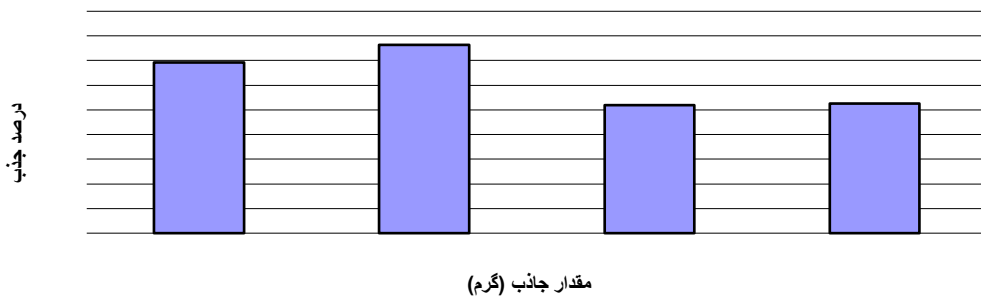
نمودار ۱ بررسی نوع جاذب بهینه برای حذف رنگ متیل اورانژ



۲،۲،۳. مقدار جاذب

مقدار جاذب از جمله مشخصه‌های مهم در روند حذف رنگ متیل اورانژ می باشد. مقدار کم جاذب، توانایی برای حذف رنگ را کاهش می دهد و از طرفی مقدار زیاد جاذب بدون تاثیر بر کارایی حذف، مقدار مصرف جاذب را بالا می برد. به منظور انتخاب موثرترین مقدار جاذب، آزمایش جذب متیل اورانژ با استفاده از **SBA-15-NH₂** و با مقادیر ۰،۲، ۰،۳، ۰،۴ و ۰،۵ گرم مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج در نمودار ۲ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج حاصل و دانستن اینکه پارامتر تعیین کننده مقدار جاذب بهینه درصد جذب می باشد، از بین مقادیر مورد مطالعه مقدار ۰،۳ گرم به دلیل داشتن درصد جذب بالاتر نسبت به سایر مقادیر به عنوان مقدار جاذب بهینه انتخاب شد. این اثر می تواند به دلیل سطح ویژه بالای جاذب باشد که باعث می شود حتی در مقادیر کم جاذب، مکان های جذب در دسترس جذب شونده باشد.

بهینه سازی مقدار جاذب

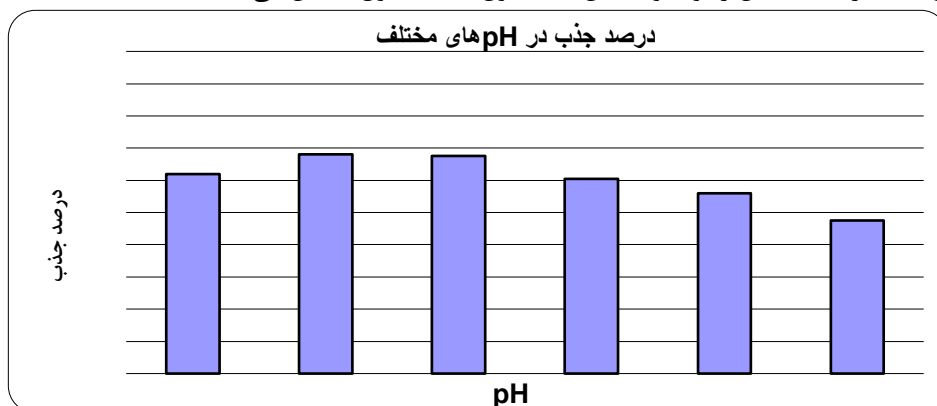


نمودار ۲ بررسی مقدار جاذب بهینه برای حذف متیل اورانژ

۳،۲،۳. اثر pH

مقدار **pH** محلول از دیگر عواملی است که با تاثیر بر تمایل سطح جاذب به رنگ اثر خود را نشان می دهد. با تغییر **pH** اولیه اثر این پارامتر روی میزان جذب مورد بررسی قرار گرفت. در نمودار ۳ اثر **pH** بر میزان جذب نشان داده شده است. طبق نتایج با افزایش **pH** از ۲ به ۴ و سپس به ۷ میزان جذب افزایش می یابد زیرا در این بازه حضور یون های هیدروژن در رقابت با یون های فلزی برای اشتغال سایت های جذبی قرار می گیرند و در نتیجه میزان جذب کاهش می یابد. همچنین در **pH** های اسیدی گروه های آمینی، پروتونه شده و برای جذب مولکولهای رنگ غیر فعال می شوند. در **pH** های بالاتر از ۷ نیز میزان جذب رنگ به دلیل رسوب و کاهش تعداد یون های محلول کاهش می یابد.

درصد جذب در pH های مختلف

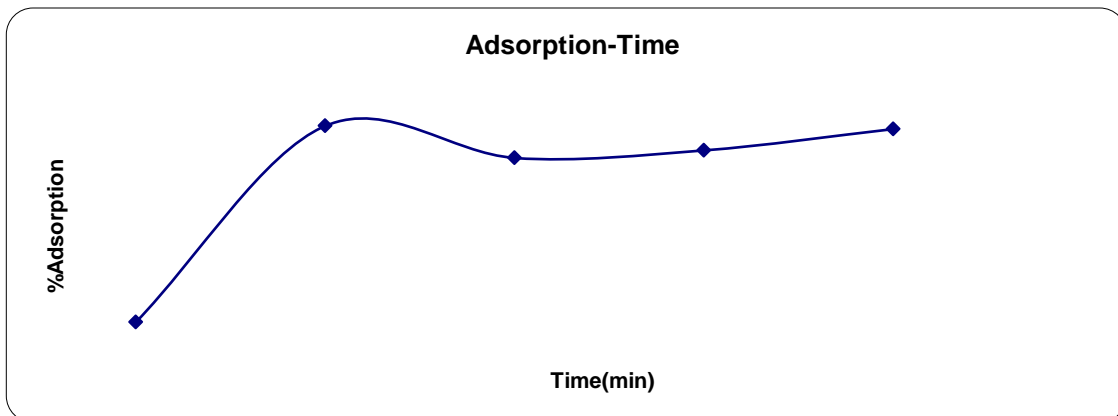




نمودار ۳ بررسی مقدار اثر pH برای حذف متیل اورانژ

۴،۲،۳. اثر زمان

زمان تماس محلول با جاذب از جمله مشخصه های تاثیرگذار بر روی روند فرآیند حذف است. که در این مطالعه نیز به آن پرداخته شده است. نتایج اثر زمان تماس در نمودار ۴ نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان می دهد که حذف متیل اورانژ در زمان تماس کوتاه، ۵ دقیقه، امکان پذیر می باشد. این نتایج در دسترس پذیری خوب مکان های فعال جاذب و برهمکنش نسبتا قوی بین مولکولهای رنگ و جاذب **SBA-15-NH₂** را تایید می کند.



نمودار ۴ بررسی مقدار اثر زمان برای حذف متیل اورانژ

۵،۲،۳. بررسی ایزوترم های جذب در حذف متیل اورانژ

ایزوترم های جذب، خواص جذبی و داده های تعادلی هستند که به توصیف چگونگی واکنش آلاینده ها با مواد جاذب می پردازند و در بهینه سازی مصرف جاذب نقش اساسی دارند. یک توصیف ریاضی دقیق از ظرفیت تعادلی جذب، برای یک پیش بینی قابل اعتماد از عوامل موثر در جذب و یک مقایسه کمی از رفتار جذبی سیستم های جذب متفاوت برای هر سامانه ضروری است. معادلات مختلفی برای بیان ارتباط جذب گونه ها بر جاذب های مختلف وجود دارد. برای هر سامانه مشخص، با انجام آزمایشاتی می توان تعیین نمود که کدام معادله می تواند به عنوان ایزوترم جذب مورد استفاده قرار گیرد. دو معادله که بیش از سایر معادلات در توصیف ایزوترم های جذب سامانه های جامد-مایع کاربرد دارند، معادلات لانگمویر و فرنللیچ هستند.

در مدل لانگمویر فرض می شود که جریان جذب سطحی شیمیایی سرانجام به تشکیل یک لایه تک مولکولی بر روی سطح جاذب منجر شود و منحنی هم دمای جذب سطحی از بررسی تعادلی به دست می آید که میان آنالیت و تک لایه ای که به شکل ناتمام تشکیل یافته، برقرار شده است. معادله لانگمویر می تواند به صورت معادله ۱ تعریف شود:



$$q_e = \frac{q_m \cdot k_L \cdot C_e}{1 + k_L C_e} \quad \text{معادله ۱}$$

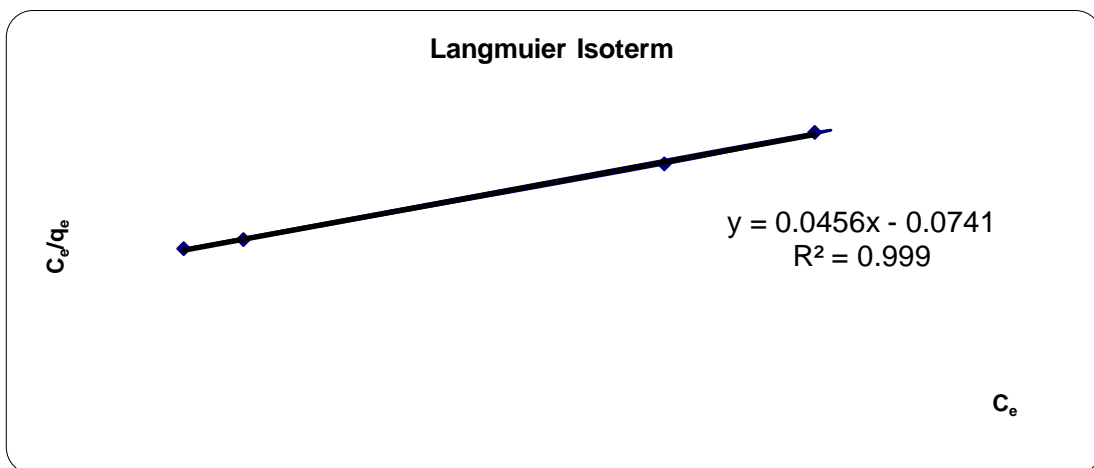
که در این معادله، q_m حداکثر فضای موجود برای جذب یا ظرفیت جذب، C_e غلظت تعادلی، k_L ثابت تعادل و q_e مقدار آرسنیک جذب شده بر واحد وزن جاذب است. فرم خطی معادله ۱ به صورت معادله ۲ خواهد بود:

$$C_e / q_e = 1 / k_L q_m + C_e / q_m \quad \text{معادله ۲}$$

طبق معادله ۱، اگر تغییرات C_e / q_e نسبت به C_e رسم شود، نتیجه بدست آمده یک خط خواهد بود که از شیب آن q_m و از عرض از مبدا آن k_L را می توان بدست آورد.

ایزوترم جذب که در نمودار ۵ ارائه شده است و وضعیت خطی آن ($R^2 = 0.999$) بیانگر تبعیت پدیده جذب سطحی از الگوی لانگمویر است. با توجه به مقدار q_m که نشان دهنده ظرفیت جذب جاذب می باشد، مشخص می گردد که این جاذب ظرفیت نسبتاً مناسبی برای جذب آرسنیک دارد.

10



نمودار ۵ ایزوترم جذب لانگمویر برای حذف متیل اورانژ بر روی SBA-15-NH₂

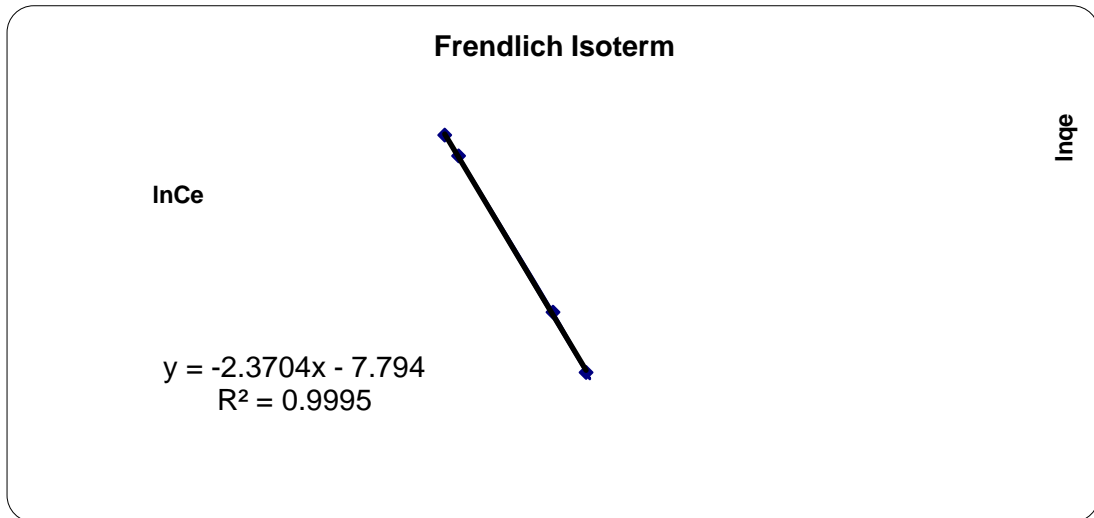
طبق مدل فرندلیچ، مقدار ماده جذب شده، تابع مشخصات ماده جذب شونده، غلظت آن در محلول و همچنین دما است. این مدل با فرض جذب روی سطوح غیریکنواخت همراه با برهمکنش بین مولکول های حل شونده و توزیع غیریکنواخت



گرمای جذب بر سطح مشتق شده است. ایزوترم فرندلیچ در حالت لگاریتمی به صورت خطی براساس معادله ۳ در نظر گرفته می شود:

$$\text{Ln}q_e = \text{Ln}k_f + \frac{1}{n_f} \text{Ln}C_e \quad \text{معادله ۳}$$

برای رسم ایزوترم جذب فرندلیچ باید $\text{Ln} C_e$ در برابر $\text{Ln} q_e$ رسم شود. نمودار این ایزوترم برای آرسنیک در نمودار ۶ آورده شده است. همانطور که از شکل مشخص است، مقدار ($R^2=0.999$) نشان می دهد که جذب آرسنیک بر روی جاذب SBA-15-NH₂ از مدل جذب فرندلیچ نیز پیروی می کند.



نمودار ۶ ایزوترم جذب فرندلیچ برای حذف متیل اورانژ بر روی SBA-15-NH₂

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه سعی گردید با سنتز مزوپور سیلیسی با سطح ویژه بالا (SBA-15) و همچنین اصلاح سطح آن با گروههای آمینی و گوگردی جاذب مناسبی برای حذف رنگ متیل اورانژ از محیط های آبی پیدا شود. نتایج نشان داد که حضور گروه های عاملی آمینی کارایی حذف را افزایش داده است و مقدار ۰٫۳ گرم از جاذب SBA-15-NH₂ می تواند طی مدت ۵ دقیقه بیشترین حذف متیل اورانژ موجود در محلول ۱۰ میلیگرم بر لیتر را داشته باشد در مقادیر pH بین ۴-۷، بار مثبت بر روی جاذب به دلیل پروتونه شدن گروه های آمینی و هیدروکسیل افزایش می یابد و در نتیجه جاذبه خوبی میان جاذب و جذب شونده ایجاد شده و در نتیجه حذف موثرتری نتیجه می شود. در نهایت مشخص شد که فرآیند جذب از مدل هم دمای لانگمویر و فرندلیچ تبعیت می کند، زیرا متیل اورانژ هم به صورت تک لایه و هم به صورت چند لایه در لایه های مختلف جذب می شود.

از آنجایی که جاذب ساخته شده از دسته مواد سیلیسی زیست سازگار بوده و از کارایی جذبی مناسبی برخوردار است لذا به منظور مطالعات آتی در حذف سایر رنگها و دیگر آلایندهها توصیه می گردد.



مراجع

حاجی آقابابایی، ل، ابوذری، س، بدیعی، ع، زرآبادی پور، پ، گنجعلی، م، محمدی زیارانی، ق، (۱۳۹۲)، حذف کارای رنگزای راکتیو سیاه ۵ با استفاده از جاذب نانومتخلخل SBA-15 عامل دار به روش هیدروترمال، نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوشش های نوین، شماره 337-348: 5

خرم فر، ش، محمودی، ن م، آرامی، م، قرنجیگ، ک، (1388)، رنگبری پساب رنگی نساجی با جاذب طبیعی پوسته تمر هندی: بررسی ایزوترم و سینتیک جذب، نشریه علوم و فناوری رنگ، 3، 88-81.

.Su C.C., Pukdee-Asa M., Ratanatamskul C., Lu M.C., (2011), Effect of operating parameters on decolorization and COD removal of three reactive dyes by Fenton's reagent using fluidized-bed reactor, *Desalination*, 278, 211–218.

.Donia A.M. et al., (2009), Effect of structural properties of acid dyes on their adsorption behaviour from aqueous solutions by amine modified silica, *Journal of hazardous materials*, 161(2), 1544-1550.

.Yu S., Liu M., Ma M., Qi M., Lü Z., Gao C., (2010), Impacts of membrane properties on reactive dye removal from dye/salt mixtures by asymmetric cellulose acetate and composite polyamide nanofiltration membranes, *Journal of Membrane Science*, 350(1–2), 83-91.

.Han R., Wang Y., Sun Q., Wang L., Song J., He X. et al, (2010), Malachite green adsorption onto natural zeolite and reuse by microwave irradiation, *Journal of Hazardous Materials*, 175(1):1056-61.

.Gök Ö., Özcan A.S., Özcan A., (2010), Adsorption behavior of a textile dye of Reactive Blue 19 from aqueous solutions onto modified bentonite, *Applied Surface Science*, 256(17), 5439-43.

.Alpat S.K., Özbayrak Ö., Alpat S., Akçay H., (2008), The adsorption kinetics and removal of cationic dye, Toluidine Blue O, from aqueous solution with Turkish zeolite, *Journal of Hazardous Materials*, 151(1), 213-20.

.Langmuir I., (1916), The constitution and fundamental properties of solids and liquids, *Journal of American Chemical Society*, 38, 2221–2295.

.Freundlich H.M.F., (1906), ber die adsorption in lo, sungen, *Z Physics Chemistry*, 57, 385-471.