



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

حذف آلاینده های رنگی آلی و فلزی از پساب با استفاده از نانوپرلیت

محمدرضا حیدر طائمه

استاد راهنما:

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

دکتر خشایار بدیعی

تابستان ۹۰

به نام خدایی که در این نزدیکیست

تقدیم به خانواده ام

به پاس دستهای بخشیده و مهر بی پایانشان

باسپاس بی پایان از استاد کرامت‌مردم جناب آقای دکتر خلیله بدیدی که در مقابل لطف و توجه‌شان نمراتوان سپاس است و نه زبان و صفت و همواره شکرسار شکیبایشان، بسم.

باسپاس فراوان از استاد کرامی ام جناب آقای دکتر فرامرز دولتیارده جانی که راهنمایی‌های ارزشمندشان بزرگترین سرمایه این پایان نامه است.

باسپاس ویژه از کارشناس آزمایشگاه رنگ و محیط زیست خانم مهندس امینی که به‌کاری‌های بی‌دینج و صمیمانه‌شان سهم بزرگی در پیشرفت این پایان نامه داشته است.

باسپاس از مسئولین محترم پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ و دانشگاه صنعتی شاهرود و کلیه کسانی که به‌هر نحوی در این پایان نامه یاری نمودند.

# فهرست مطالب

## فصل اول

### کلیات

۱	
۲	۱-۱-مقدمه
۵	۲-۱-استانداردهای تخلیه پساب
۷	۳-۱-روشهای متداول تصفیه پساب
۹	۱-۳-۱- روشهای مرحله اول یا فیزیکی / شیمیایی
۹	۱-۳-۱-۱- غربال کردن
۱۰	۱-۳-۱-۲- منعقد کردن و لخته سازی
۱۰	۱-۳-۱-۳- شناور سازی
۱۱	۱-۳-۱-۴- سانتریفیوژ کردن
۱۱	۱-۳-۱-۵- سیال سازی
۱۱	۱-۳-۱-۶- الکترولیز
۱۲	۱-۳-۱-۷- ته نشین سازی و رسوب دهی
۱۲	۲-۳-۱- روشهای مرحله دوم یا زیستی
۱۳	۳-۳-۱- روشهای مرحله سوم ، صاف نمودن با صافی های ظریف ، جذب سطحی یا تغلیظ سازی

۱۵ ۴-۳-۱- روشهای نهایی ، براق سازی و گند زدایی

## فصل دوم

۱۸ تئوری جذب سطحی و مروری بر جاذب ها

۱۹ مقدمه

۱۹ ۱-۲- انواع جاذبها

۲۲ ۲-۲- تئوری جذب سطحی

۲۲ ۱-۲-۲- مبانی شیمی سطح و کلونیدها

۲۳ ۲-۲-۲- سیستم های کلونیدی

۲۳ ۳-۲-۲- جذب سطحی ترکیبات محلول در آب

۲۴ ۴-۲-۲- تئوری جذب سطحی

۲۴ ۱-۴-۲-۲- جذب سطحی فیزیکی

۲۵ ۲-۴-۲-۲- جذب سطحی شیمیایی

۲۶ ۳-۴-۲-۲- جذب سطحی ویژه

۲۶ ۵-۲-۲- فاکتورهای مؤثر در جذب سطحی

۲۷ ۱-۵-۲-۲- سرعت هم زدن

۲۷ ۲-۵-۲-۲- خواص جاذب

۲۸ ۳-۵-۲-۲- حلالیت ماده جذب شونده

۲۸	اندازه مولکولهای جذب شونده -۴-۵-۲-۲
۲۹	pH -۵-۵-۲-۲
۲۹	دما -۶-۵-۲-۲
۲۹	فاکتورهای مؤثر بر ظرفیت جذب -۶-۲-۲
۳۰	قطبیت -۱-۶-۲-۲
۳۰	بار -۲-۶-۲-۲
۳۰	وزن مولکولی -۳-۶-۲-۲
۳۰	دما -۴-۶-۲-۲
۳۱	مساحت سطح -۵-۶-۲-۲
۳۱	توزیع حفره ها -۶-۶-۲-۲
۳۲	ایزوترم جذب -۷-۲-۲
۳۳	ایزوترمهای تک جزئی -۱-۷-۲-۲
۳۴	معادله لانگمویر -۱-۱-۷-۲-۲
۳۵	معادله فروندلیچ -۲-۱-۷-۲-۲
۳۷	دیگر معادلات ایزوترم با یک ماده حل شونده -۳-۱-۷-۲-۲
۳۸	ایزوترمهای چند جزئی -۲-۷-۲-۲
۴۱	جذب سطحی چند لایه -۳-۷-۲-۲
۴۳	پیش بینی ایزوترم -۴-۷-۲-۲

۴۴ -۵-۷-۲-۲ سینتیک جذب

۴۵ -۸-۲-۲ مدل سینتیکی

۴۸ -۹-۲-۲ پارامترهای ترمودینامیک

## فصل سوم

۴۹ تولید نانو پرلیت و نانو پرلیت مغناطیسی

۵۰ -۱-۳ مقدمه

۵۲ -۲-۳ نانو مواد ، نانو پودر ها و روش تهیه آن ها

۵۲ -۱-۲-۳ نانوفناوری

۵۲ -۲-۲-۳ نانو مواد

۵۵ -۳-۲-۳ روش های تولید نانو مواد

۵۵ -۱-۳-۲-۳ روش پاشش حرارتی

۵۶ -۲-۳-۲-۳ قوس پلاسما

۵۷ -۴-۳-۲-۳ روش رسوبدهی شیمیایی فاز بخار ( CVD )

۵۸ -۵-۳-۲-۳ روش رسوبدهی فیزیکی بخار

۵۹ -۵-۳-۲-۳ لایه نشانی الکترولیتی کاتد

۶۰ -۶-۳-۲-۳ روش سل - ژل

۶۲ -۷-۳-۲-۳ رسوب گذاری الکتریکی



۶۳	۳-۲-۸-سایش از طریق آسیاب های گلوله ای ، ساچمه اییا فلزی
۶۴	۳-۳- روش تولید نانو پرلیت
۶۴	۳-۳-۱- پرلیت
۶۵	۳-۳-۲- روش تولید نانو پرلیت
۶۶	۳-۳-۳- مواد و وسایل
۶۶	۳-۳-۱- مواد شیمیایی مورد نیاز
۶۷	۳-۳-۲- ابزار مورد استفاده
۶۸	۳-۳-۴- آنالیز نمونه ها در راستای تولید نانو پرلیت
۶۸	۳-۳-۱- آنالیز اندازه ذرات PSA
۶۹	۳-۳-۲- آنالیز XRD
۷۰	۳-۳-۳- آنالیز SEM
۷۱	۳-۳-۴- آنالیز FTIR
۷۳	۳-۳-۵- آنالیز AFM
۷۶	۳-۳-۵- آنالیز ZPC
۷۸	۳-۴- روش تولید نانو پرلیت مغناطیسی
۷۸	۳-۴-۱- مواد و وسایل
۷۸	۳-۴-۱-۱- مواد شیمیایی مورد نیاز
۷۹	۳-۴-۱-۲- ابزار مورد استفاده

۸۱	۳-۴-۲- آنالیز نمونه ها در راستای تولید نانو پرلیت مغناطیسی
۸۱	۳-۴-۲-۱- آنالیز XRD
۸۲	۳-۴-۲-۲- آنالیز SEM
۸۳	۳-۴-۲-۳- آنالیز FTIR
۸۵	۳-۴-۲-۴- آنالیز AFM
۸۷	۳-۴-۲-۵- آنالیز ZPC

## فصل چهارم

۸۹	آزمایش های حذف آلاینده های رنگی آلی و فلزی از پساب توسط نانو پرلیت
۹۰	۴-۱- آزمایش های مربوط به جذب سطحی رنگزای مالاشیت گرین بر روی نانو پرلیت
۹۲	۴-۱-۱- تأثیر غلظت رنگزا
۹۳	۴-۱-۲- تأثیر مقدار جاذب
۹۳	۴-۱-۳- تأثیر pH
۹۵	۴-۱-۴- دما
۹۷	۴-۲- نتایج آنالیزهای مربوط به جذب سطحی رنگزای مالاشیت گرین بر روی نانو پرلیت
۹۷	۴-۲-۱- آنالیز XRD
۹۸	۴-۲-۲- آنالیز SEM
۹۹	۴-۲-۳- آنالیز FTIR

- ۱۰۱-۳-۴- آزمایش های مربوط به جذب سطحی رنگزای مالاویت گرین بر روی نانو پرلیت مغناطیسی
- ۱۰۲-۱-۳-۴- تأثیر مقدار جاذب
- ۱۰۲-۲-۳-۴- تأثیر pH
- ۱۰۴-۴-۴- نتایج آنالیزهای مربوط به جذب سطحی رنگزای مالاویت گرین بر روی نانو پرلیت مغناطیسی
- ۱۰۴-۱-۴-۴- XRD آنالیز
- ۱۰۵-۲-۴-۴- SEM آنالیز
- ۱۰۶-۳-۴-۴- FTIR آنالیز
- ۱۰۸-۵-۴- نتایج آزمایش های مربوط به جذب سطحی فلز نیکل بر روی نانو پرلیت
- ۱۰۸-۱-۵-۴- مواد و وسایل
- ۱۰۸-۱-۱-۵-۴- مواد شیمیایی مورد نیاز
- ۱۰۹-۲-۱-۵-۴- ابزار مورد استفاده
- ۱۱۲-۲-۵-۴- تأثیر غلظت محلول فلز نیکل
- ۱۱۳-۳-۵-۴- تأثیر مقدار نانو جاذب
- ۱۱۳-۴-۵-۴- تأثیر pH
- ۱۱۶-۶-۴- آنالیز نمونه ها در راستای جذب سطحی فلز نیکل بر روی نانو پرلیت
- ۱۱۶-۱-۶-۴- SEM آنالیز
- ۱۱۷-۲-۶-۴- FTIR آنالیز
- ۱۱۹-۷-۴- نتایج آزمایش های مربوط به جذب سطحی فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت

۱۱۹	۴-۷-۱- مواد و وسایل
۱۱۹	۴-۷-۱-۱- مواد شیمیایی مورد نیاز
۱۲۰	۴-۷-۲- ابزار مورد استفاده
۱۲۲	۴-۷-۲- تأثیر غلظت محلول فلز کادمیوم
۱۲۲	۴-۷-۳- تأثیر مقدار نانو جاذب
۱۲۳	۴-۷-۴- تأثیر pH
۱۲۶	۴-۸- آنالیز نمونه ها در راستای جذب سطحی فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت
۱۲۶	۴-۸-۱- آنالیز SEM
۱۲۷	۴-۸-۲- آنالیز FTIR
۱۲۹	۴-۹- ایزوترم جذب
۱۳۴	۴-۱۰- سینتیک واکنش

## فصل پنجم

### نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۵۰	
۱۵۱	۵-۱- نتیجه گیری
۱۵۴	۵-۲- پیشنهادات

۱۵۵	منابع
-----	-------

## چکیده

جاذبهها در بسیاری از صنایع و فرآیندهای کنترل آلودگی، کاربرد دارند. فرآیندهای جداسازی مواد به روش جذب سطحی، در بسیاری از روشهای تصفیه مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. جذب سطحی در صورتی موثر خواهد بود که جریان پساب مورد تصفیه دارای ناخالصی یکنواخت بوده و غلظت مورد نیاز زیاد نباشد. جداسازی مواد مبتنی بر این واقعیت است که ماده آلاینده موجود در محلول‌های آبی جذب ماده جاذب می‌شوند و سپس می‌توان آن را همراه با ماده جاذب به روش‌هایی مانند فیلتر کردن، از آب جدا کرد. ماده جاذبی که از آلاینده اشباع شده است را می‌توان با روش‌هایی که منجر به نابود شدن ماده جاذب شده می‌گردد، بازیابی کرده و برای مصرف مجدد آماده ساخت. در این پروژه هدف ما حذف آلاینده‌ی رنگزای مالاشیت سبز از پساب شبیه سازی شده و همچنین جذب فزات سنگین نیکل و کادمیوم توسط جاذب نانو پرلیت می‌باشد که از جاذب پرلیت طبیعی در فرآیند سایش توسط آسیاب ماهواره ای تولید گردیده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که برخی از مزایای استفاده از این جاذب‌ها عبارتند از هزینه پایین فرآیند تصفیه، فضای اندک مورد نیاز، امکان بازیافت آب و مواد حل شده ارزشمند، راندمان نسبتاً بالا و عاری شدن آب مورد تصفیه از بوهای نامطبوع و غیره. همچنین جهت جداسازی نانو جاذب به روش فیزیکی آن را مغناطیسی نموده تا با استفاده از فرآیندهای مغناطیسی جدایش را در سیستم‌های پیوسته صنایع انجام داد.

# فصل اول

کلیات

## کلیات

### ۱-۱- مقدمه

آب مهمترین ماده حیات و آبادانی است. این ماده سرآغاز حیات و جزء اصلی تمام موجودات زنده است. در تمدن بشری آب اهمیت ویژه‌ای دارد و در ایران باستان آب یکی از چهار عنصر اصلی حیات بوده و تنهاماده-ای است که به صورت طبیعی در سه حالت جامد، مایع و گاز وجود دارد [۱].

اقیانوس‌ها، دریاها، رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی و یخ‌های قطبی که آب‌های روی زمین را تشکیل می‌دهند در مجموع  $0/3\%$  از وزن زمین را تشکیل داده‌اند و  $71\%$  از سطح زمین را پوشانده‌اند. از کل آب موجود در زمین  $97/3\%$  آن را اقیانوس‌ها، یخچال‌های طبیعی و یخ‌های قطبی  $2/1\%$  و آب‌های زیر زمینی  $0/6\%$  آن را تشکیل می‌دهند. از  $10^6 \times 400$  کیلومتر مکعب از آب موجود در کره زمین که به حالت مایع هستند تنها  $10^9 \times 0/1$  کیلومتر مکعب آن در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها وجود دارد و حجم آب به صورت بخار بسیار اندک و در محدوده  $10^6 \times 0/001$  تا  $10^6 \times 0/01$  کیلومتر مکعب می‌باشد. حفظ تعادل بین حالت مایع، گاز و جامد آب در روی کره زمین بر عهده نیروی خورشید بوده و به میزان انرژی آن بستگی دارد [۲].

آب یک سرمایه ملی است. تا چند سال گذشته مهمترین سرمایه ملی کشورها انرژی بود. اما در آینده‌ای نه چندان دور، آب جای خود را با نفت معاوضه خواهد کرد. برای روشن شدن این موضوع کفایت توجه کنیم که منابع ارزان و فراوان تولید انرژی به منظور جانشینی با سوخت‌های فسیلی وجود دارند اما در حال حاضر هیچ منبعی به عنوان جانشین برای منابع آبی وجود ندارد و امروزه استفاده بهینه از منابع آبی مرتباً تأکید می‌شود [۳].

برای حفظ تعادل بین توسعه تکنولوژی و محیط زیست، باید فن آوری‌های مناسبی مورد استفاده قرار

گیرند، که اهداف زیست محیطی را در اولویت کار خود قرار دهند. [۴].

بنابراین باید فعالیتهای مناسبی برای بهبود کیفی آبهای زیر زمینی ، آبهای آشامیدنی ، خاک و هوا توسعه یابند.

یکی از موارد اساسی آلودگی هوا این است که تولید کنندگان در صنعت برای کاهش قیمت کالاهای تولیدی از مواد خام آلوده کننده بدون تصفیه قبل از کاربرد آنها استفاده می کنند ، گرد و غبار و دودها ، گروه از آلوده کننده های هوا هستند. تکنولوژیهای جذب سطحی مدرن باید انتشار دی اکسید کربن را محدود کند و بدینوسیله از افزایش مقدار گرمای پخش شده در اتمسفر پیشگیری کند؛ این افزایش که سبب تغییر آب و هوا می شود را اثر گلخانه ای می نامند. تمام فاضلاب های صنعتی در تغییر کیفی جریان های آب موثرند. وقتی این تغییر به حدی رسید که دیگر نتوانیم از آب در مصارف عادی استفاده کنیم، آب را آلوده می گویند [ ۵].

با رشد و پیشرفت تکنولوژی، حجم تولید پساب های صنعتی افزایش یافته و طی فرآیندهای مختلف تولیدی، حجم زیادی از آلودگی های آلی و معدنی وارد پساب می شوند بنابراین لازم است همگام با رشد و افزایش تولیدات صنعتی روش های نوین تصفیه جهت برطرف کردن آلودگی های مختلف نیز گسترش یابد [۶].

صنایع مختلف بسته به نوع تولیدات و فعالیت های خود میزان و انواع آلودگی های متفاوتی دارند. به عنوان مثال نمونه هایی از میزان این آلودگی ها را در جدول ۱-۱ مشاهده می کنیم. در این جدول شاخص آلودگی صنایع نساجی، شیمیایی و غذایی نشان داده شده اند. چنانچه در جدول ۱-۱ مشاهده می شود، pH در پساب صنایع ذکر شده عموماً در محدوده pH های قلیایی بوده و مقادیر COD و BOD پساب تولیدی نسبتاً بالا هستند. وجود مقادیر بالا از مواد رنگزای آلی در پساب صنایع نساجی یکی از وجوه تمایز آن با پساب صنایع شیمیایی و غذایی است.



جدول ۱-۱- میزان آلودگی موجود در پساب‌های صنعتی [۶]

شاخص	صنایع نساجی		صنایع شیمیایی		صنایع غذایی	
	میانگین	محدوده	میانگین	محدوده	میانگین	محدوده
pH	۹/۶	۷/۱-۱۲/۹	۹/۵	۷/۵-۱۳/۴	۸	۷/۳-۹/۱
COD (mg/l)	۲۵۷۵	۶۶۰-۲۶۶۰	۲۹۲۱	۹۶۰-۴۲۸۰	۳۳۲۳	۶۳۰۰- ۱۴۰۰
BOD (mg/l)	۳۱۳	۱۸۰-۵۵۰	۶۹۹	۳۱۵-۹۴۲	۱۴۰۰	۴۰۰-۲۷۰۰
روغن و گریس (mg/l)	۱۳/۲	۱۱-۱۶	۳۵۹/۵	۸/۴-۶۷۰	۲۹۳	۵۰۰-۱۸۰
رنگزا (mg/l)	۵۲۵	۱۹۸-۵۵۰	-	۱>	-	۱>
فلزات سنگین (mg/l)	۰/۲۶	۰/۴۶-۰/۱۴	-	نامشخص	-	۰/۱>

لازم به ذکر است به راحتی با یک برنامه ریزی مناسب و با بهینه سازی مصرف مواد شیمیایی مصرفی در فرآیند تولید می‌توان علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید و هزینه تهیه مواد اولیه مورد نیاز، بار آلودگی پساب را کاهش داد که این امر منجر به کاهش هزینه‌های تصفیه پساب نیز می‌گردد [۵].

یکی از مهمترین آلاینده‌های موجود در پساب‌ها، مواد رنگزای آلی هستند. رنگزاهارا می‌توان براساس ساختار شیمیایی و نوع کاربرد آنها طبقه‌بندی نمود. رنگزاهارا بر اساس کاربردشان به دسته‌هایی تقسیم می‌شوند که طبق آن مشخص می‌شود رنگزاهارا قابلیت کاربرد برای کدام سطوح یا کالاها را دارد مانند رنگزاهارا

مستقیم و راکتیو یا گوگردی که برای رنگرزی الیاف پنبه‌ای به کار می‌روند یا رنگزاهای اسیدی که بیشتر در رنگرزی الیاف پشمی و نایلون به کار می‌روند و رنگزاهای دیسپرس که جهت رنگرزی الیاف پلی‌استر و نایلون به کار برده می‌شوند. دسته‌بندی بر اساس ساختار رنگزاها نوع ساختمان شیمیایی رنگزا را مشخص می‌کنند از آن جمله ساختارهای آزو، آنتراکینون، تری آریل متان و غیره را می‌توان نام برد [۷].

در این میان رنگزاهای راکتیو از پرمصرف‌ترین انواع رنگزاها بوده و رنگزاهای آزو در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد مصرف را به خود اختصاص داده‌اند [۸].

مواد رنگزای متفاوت دارای ساختارهای شیمیایی مختلفی هستند و بر مبنای موارد استفاده این رنگزاها طبقه‌بندی می‌شوند. بنابراین نوع ترکیبات موجود در پساب تولید شده از مصرف رنگزاهای مختلف، متفاوت هستند. فشار زیادی بر تولید کنندگان مواد رنگزا وجود دارد که آنان را مجبور می‌کند تولیدات خود را به نحوی تغییر دهند که کمترین نیاز را به مواد کمکی و بویژه به نمکها داشته باشند و بدین وسیله فرآیند تصفیه پساب آسان‌تر و با موفقیت بیشتری انجام می‌شود.

تصفیه پساب‌های تولید شده از صنایع مربوط به ساخت و کاربرد مواد رنگزا، به دلیل سمیت و طبیعت سرطانی این مواد اهمیت بسیار زیادی دارد بنابراین گسترش روش‌های موثر و اقتصادی برای برطرف کردن این دسته از آلاینده‌ها ضروری است [۹].

## ۱-۲- استانداردهای تخلیه پساب

در طی چند سال گذشته قوانین زیست محیطی شدیدتری به همراه افزایش محدودیت در تخلیه پساب در اکثر کشورها وضع شده است. این قوانین جدید به همراه فشارهای بین المللی مانند افزایش رقابت و معرفی بر چسب‌های زیست محیطی برای محصولات صنعتی در اروپا و آمریکا، بقای صنعت را در اکثر کشورهای صنعتی تهدید می‌کند. سازمان محیط زیست برای تخلیه پسابها بعد از انجام فرآیندهای صنعتی استانداردهایی

را وضع کرده است که قسمتی از آن در جدول ۱-۲ آورده شده است. به طور کلی هدف نهایی از تصفیه پسابها این است که بتوان آلودگی‌های پساب را تا حد مجاز و مورد قبول برای مصارف بعدی کاهش داد [۱۰].

جدول ۱-۲: بخشی از استانداردهای وضع شده از طرف سازمان محیط زیست برای تخلیه پساب [۱۰]

نوع آلودگی (mg/l)	تخلیه به منابع کشاورزی	تخلیه به چاه های جذبی	تخلیه به آبهای سطحی
BOD	۳۰	۳۰	۳۰
COD	۲۰۰	۶۰	۶۰
pH	۶-۸/۵	۵-۹	۶/۵-۸/۵

حد تشخیص محدوده وسیعی از رنگزها با چشم غیر مسلح در حدود  $0.05 \text{ mg/dm}^3$  می باشد و لذا حضور مواد رنگزا بیش از این مقدار از لحاظ تاثیر روانی و زیبایی شناختی مجاز نمی باشد. بنابراین حد مجاز رنگزها در پساب خروجی عموماً به منظور بر طرف کردن تاثیر روانی و نه مقدار سمیت آنها تعیین میشود [۱۱].

جدول ۱-۳: تقسیم بندی مواد معدنی بر اساس شدت آلاینده‌گی [۱۲]

شدت آلودگی	آلاینده هوا	آلاینده آب	آلاینده خاک	اثر بر فعالیت و سلامت انسان
شدید	آزبست-کرم-برلیوم- جیوه-کادمیوم-کبالت	اورانیوم-جیوه- سیانور	اورانیوم-برلیوم- کادمیوم	اورانیوم-برلیوم-کادمیوم- آرسنیک-آزبست
شدید تا متوسط	مس-اورانیوم- آرسنیک-سرب	مولیبدن-آرسنیک- برلیوم-آنتیموان- کادمیوم-کبالت	کبالت-آرسنیک- جیوه-منگنز-مس- کرم	مولیبدن-آنتیموان-سرب- کبالت-سیلیس
متوسط	آنتیموان-سیلیس	مس-منگنز-نیکل- کرم	آنتیموان-سرب- قلع-نیکل-آلومینیم	منگنز-کرم-نیکل
متوسط تا ضعیف	قلع-نیکل-آلومینیم- روی-آهن-منگنز- مولیبدن	آلومینیم-قلع- سرب-آهن-روی- کبالت	مولیبدن-روی	آلومینیم-آهن-روی-مس- قلع-زغالسنگ
ضعیف	-	-	زغالسنگ-سیلیس- آهن	-

### ۱-۳-روشهای متداول تصفیه پساب

کاهش میزان حجم پساب و مقدار آلودگی از اهداف مورد توجه صنایع است که به چند روش امکان پذیر است: کم کردن آلودگی‌های داخل پساب با مصرف به اندازه و کنترل شده مواد شیمیایی مورد نیاز و کم کردن تولید پساب با مصرف درست و به اندازه آب در فرآیند تولید. با کم کردن این دو مورد می‌توان مصرف آب، انرژی و هزینه‌های مربوطه را کاهش داده و از اثرات نامطلوب تولید پساب تا حد ممکن جلوگیری کرد اما در هر صورت، تولیدات صنعتی با تولید پساب همراه هستند و قوانین زیست محیطی ایجاب می‌کند که پساب‌های تولید شده، پیش از تخلیه به خارج، به حد استاندارد تعیین شده آلودگی برسند بنابراین لازم است بر روی این پساب‌ها عملیات تصفیه انجام شود [۱۳].

برای تصفیه پساب‌ها روش‌های متنوعی وجود دارد که بسته به نوع و میزان آلودگی آن و همچنین بر طبق انتظاری که از پساب تصفیه شده داریم و موارد مصرف پساب پس از تصفیه می‌توان روش‌های متفاوتی را انتخاب کرد.

روش‌های تصفیه پساب به چهار دسته کلی تقسیم می‌شوند:

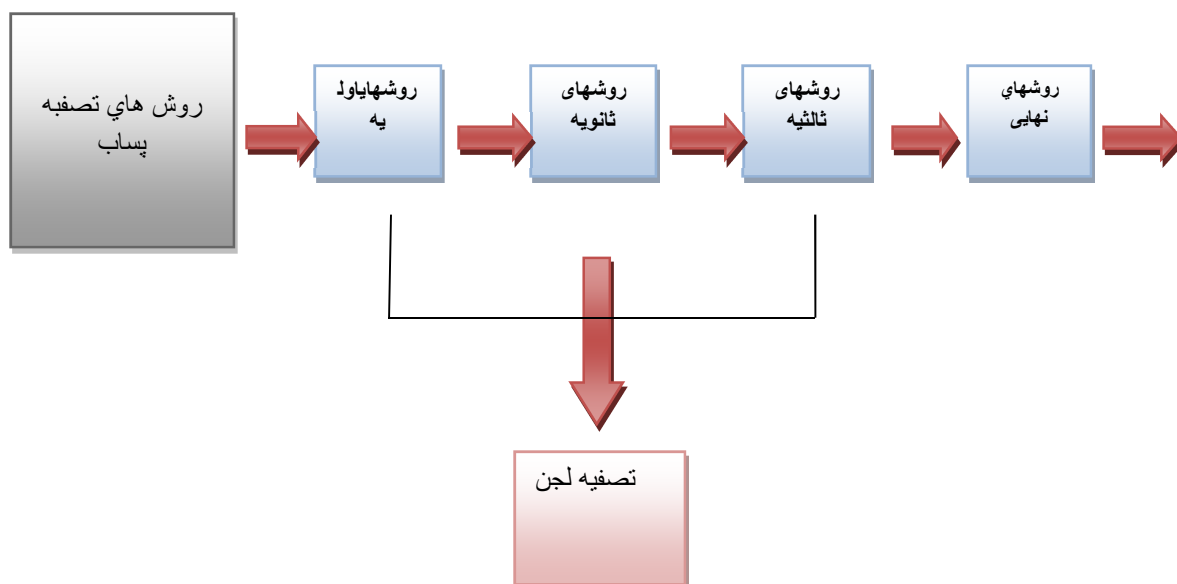
الف - روش‌های مرحله اول یا فیزیکی / شیمیایی

ب - روش‌های مرحله دوم یا زیستی

ج - روش‌های مرحله سوم ، صاف نمودن با صافی های ظریف ، جذب سطحی یا تغلیظ سازی

د - روش‌های نهایی ، براق سازی و گند زدایی

ر - تصفیه لجن تولیدی



شکل (۱-۱) نمایی از این مراحل و ارتباط بین آنها را نشان می‌دهد [۸۳].

### ۱-۳-۱- روش‌های مرحله اول یا فیزیکی / شیمیایی:

در این روشها با استفاده از اصول حاکم بر عملیات فیزیکی و واکنش های شیمیایی بخش عمده ای از آلودگی های موجود در پساب ، به خصوص ذرات معلق و کلوئید ها مجتمع و جدا می گردند. روش های مختلف متنوعی برای اجرای تصفیه در این مرحله وجود دارد که از آن جمله می توان موارد زیر را ذکر کرد:

الف - غربال کردن

ب - منعقد کردن

پ - لخته سازی

ت - شناور سازی

ث - سانتریفیوژ کردن

ج - سیال سازی

چ - الکترولیز

ح - ته نشین سازی

خ - رسوب دهی

### ۱-۳-۱-۱- غربال کردن

غربال ها به عنوان اولین واحد مورد استفاده در تصفیه پساب و آب خام با هدف جداسازی اجسام بزرگ و جلوگیری از آسیب رسیدن به سایر دستگاه های موجود در سیستم تصفیه پساب بوسیله ی اجسام بزرگ موجود در جریان سیال ، از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

### ۱-۳-۱-۲- منعقد کردن و لخته سازی

در بیشتر موارد دو فرایند منعقد کردن و لخته سازی به دنبال یکدیگر در بحث تصفیه پساب مطرح و استفاده می شوند. منعقد کردن به فرایندی گفته می شود که طی آن کلوئیدها با استفاده از افزودن یک عامل شیمیایی به عنوان منعقد کننده ، ناپایدار گردیده و در سیال پراکنده می شود [۱۵،۱۴].

روش رسوب گذاری برای برطرف کردن ذرات معلق به کار می روند که این ذرات شامل باکتری ها، ویروس ها، مواد کلوئیدی آلی و ذرات بسیار ریز معدنی هستند. همچنین این روش برای برطرف کردن مواد قابل رسوب گذاری و قابل ته نشینی که محلول در آب هستند به کار می رود [۱۶].

در عملیات لخته سازی با استفاده از مواد لخته کننده ، ذرات ریز تشکیل شده در اثر ناپایداری کلوئیدها بهم پیوسته و با ایجاد ذرات درشت تر ، امکان ته نشینی سریع تر آنها حاصل می گردد [ ۳].

### ۱-۳-۱-۳- شناور سازی

شناور سازی یک فرایند جداسازی با استفاده از اختلاف دانسیته ذرات جامد یا قطرات سیال نسبت به سیال حامل است. سه نوع شناور سازی وجود دارد که عبارتند از:

الف- شناور سازی طبیعی

ب- شناور سازی کمک شده

ج- شناور سازی القایی

### ۱-۳-۱-۴-سانتریفیوژ کردن

سانتریفیوژ کردن فرآیندی برای جداسازی است که در آن از کاربرد نیروی سانتریفیوژ یا گریز از مرکز برای تسریع در عمل ته نشینی ذرات در یک مخلوط مایع - جامد استفاده می شود و دو فاز اصلی در این فرآیند تشکیل می شود که عبارتند از:

الف- رسوب

ب - مایع سانتریفیوژ

### ۱-۳-۱-۵-سیال سازی

در این روش استفاده از بستر های سیال است . عامل اصلی در این نوع بستر ها که از ذرات جامد مجزا ساخته شده اند ، تعادل میان نیرو های جاذبه و اصطکاک است . این تعادل حد سرعتی را تعریفی می کند که به آن سرعت حد سیالات گفته می شود. اگر سرعت سیال از این حد بیشتر باشد ذرات جامد به حال سیال در آمده و از بستر خارج می شود .

### ۱-۳-۱-۶-الکترولیز

الکترولیز فرآیندی است که طی آن انرژی الکتریکی به شیمیایی تبدیل می شود . فرآیند در یک الکترولیت که محلول آبی یا نمک مذاب است ، انجام می شود . این محلول یا مذاب امکان انتقال یونها میان دو الکترود را فراهم می نمایند.



### ۱-۳-۱-۷ - ته نشین سازی و رسوب دهی

در هر دو این روش ها با استفاده از تفاوت دانسیته ذرات جامد با مایع و استفاده از نیروی جاذبه ، زمان کافی برای جدا شدن و ته نشین گردیدن ذرات جامد فراهم گردیده و بدین وسیله بخشی از تصفیه پساب انجام می گردد. تفاوت این دو در روند تشکیل جاذب است.

### ۱-۳-۲- روش های مرحله دوم یازیستی

در این مرحله از تصفیه پساب با استفاده از فرآیند های حیاتی و استفاده از موجودات زنده ، آلودگی موجود در پساب به عنوان خوراک مصرف گردیده و حاصل آن موادی لجن مانند است که طی آن جداسازی و تصفیه لجن از سیستم خارج می شود . در این فرآیند بار آلی پساب کاهش داده می شود . عامل اصلی این، انجام فرآیند انواع باکتری ها و قارچ های موجود در طبیعت است [۱۷].

فرآیند این روش با توجه به نیاز واکنش های زیستی موجود زنده به هوا به دو بخش زیر تقسیم می گردد:

### الف - تصفیه هوازی

در این فرآیند وجود اکسیژن ، به عنوان عامل اصلی در انجام این واکنش ها امری اجتناب ناپذیر است و از دمیدن هوای فشرده برای رساندن اکسیژن کافی به پساب در حال تصفیه استفاده می شود. سیستم های تصفیه بیولوژیکی هوازی شامل هوادهی، لجن فعال و صافی های بیولوژیکی استخرهای اکسیداسیون و سیستم های چرخان می باشند [۱۳، ۱۸، ۱].

## ب - تصفیه غیر هوازی

در این فرآیند اکسیژن لازم برای انجام واکنش های زیستی اصلی از طریق موجودی اکسیژن ترکیبات مختلف پساب تأمین می شود و در بسیاری از موارد حضور اکسیژن با تغییرات واکنش ها می تواند تأثیر مخربی بر روی فرآیند تصفیه پساب داشته باشد. روش های تصفیه بیولوژیکی غیرهوازی ساده هستند و نیاز به تجهیزات خاصی ندارند و بدون نیاز به صرف انرژی می توانند عملیات تصفیه را انجام دهند و به طور کلی روش های اقتصادی هستند اما مکان زیادی را اشغال می کنند و به تنهایی قادر نیستند غلظت بالای آلودگی را برطرف کنند و معمولاً از روش های تکمیلی دیگر برای تصفیه کامل پساب و رسیدن به حدود مجاز تخلیه پساب استفاده می شود [۱، ۱۹].

## ج - روش مردابی

در این روش حجم زیادی از پساب در یک استخر یا حوض بزرگ که به آن استخر زیستی یا پایدار کننده گفته می شود و مجموعه متنوعی از فرآیندهای فیزیکی، شیمی زیستی و زیستی را شامل می شود، انباشته می شود.

### ۱-۳-۳ روش های مرحله سوم، صاف نمودن با صافی های ظریف، جذب سطحی یا تغلیظ سازی

در این مرحله باقیمانده ذرات جامد نامحلول از پساب با استفاده از انواع صافی ها جدا شده و مواد محلول نیز از طریق سیستم های جذب سطحی، تبادل یونی و یا رقیق نمودن پساب جداسازی و یا حداقل شرایطی ایجاد می شود که حد استاندارد برای پساب رعایت شود.

## الف - صاف کردن

در این روش با استفاده از یک فرآیند فیزیکی و عبور پساب از میان لایه های مختلف با اندازه های خلل و فرج مختلف، تلاش می شود که ذرات جامد معلق و حتی مولکولهای محلول، بسته به روش صاف نمودن، در پساب جداسازی می شوند. در این بین فرآیند غشایی به شیوه های فیزیکی برای جداسازی حلال از نمک های محلول در آن با استفاده از غشاهای نیمه تراوا گفته می شود. در حال حاضر این فرآیند یکی از شیوه های اصلی شیرین سازی آب دریا محسوب می شود. فرآیند غشایی و فیلتراسیون براساس اندازه کوچکترین ذره که تحت تاثیر نیروی فشاری از غشاء عبور میکند به نام های میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون، اسمز معکوس نامیده می شوند [۳]

این غشاها دارای روزهایی با اندازه ۰/۰۱، ۰/۱، ۰/۲۲ و ۰/۴۵ میکرون می باشند و تمام آنها قادرند بیش از ۹۹ درصد آلودگی ها را برطرف کنند [۱۹].

در یک فرآیند غشایی بطور معمول دو فاز بوسیله فاز سوم که غشاء می باشد از یکدیگر جدا می شوند. غشاء تعیین کننده پدیده انتقال جرم است [۲۰]. استفاده از فیلترها می تواند به عنوان مرحله مکمل روش لخته سازی استفاده شده و بدین وسیله لخته های ایجاد شده را جداسازی کرد. در روش های شیمیایی ذرات رسوب با قطر حدود ۰/۰۵ میکرومتر تشکیل می شود و زدایش ذرات معلق ۱۰۰٪ انجام می شود که به راحتی توسط فیلترها می توان ۵۰ تا ۸۰ درصد این لخته ها را جمع آوری کرد [۲۱، ۳، ۱۳].

## ب - جذب سطحی

فرآیندهای جداسازی مواد به روش جذب سطحی، در بسیاری از روش های تصفیه مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، دارای اهمیت ویژه ای هستند. جذب سطحی در صورتی موثر خواهد بود که جریان پساب مورد تصفیه

دارای ناخالصی یکنواخت بوده و غلظت مورد نیاز زیاد نباشد. جداسازی مواد مبتنی بر این واقعیت است که ماده آلاینده موجود در محلول‌های آبی جذب ماده جاذب می‌شوند و سپس می‌توان آن را همراه با ماده جاذب به روش‌هایی مانند فیلتر کردن، از آب جدا کرد. ماده جاذبی که از آلاینده اشباع شده است را می‌توان با روش‌هایی که منجر به نابود شدن ماده جذب شده می‌گردد، بازیابی کرده و برای مصرف مجدد آماده ساخت. این کار به کمک فرآیندهایی مانند اکسیداسیون حرارتی یا کاتالیزوری صورت می‌گیرد. در صورتی که بازسازی ماده جاذب مورد نظر نباشد، باید ماده جاذب آلوده به نحو مقتضی دفع شود و یا در ساخت مواد دیگری مورد استفاده قرار گیرند که مشکل‌زیست محیطی نداشته باشد. برخی از مزایای استفاده از جاذب‌ها عبارتند از هزینه پایین فرآیند تصفیه، فضای اندک مورد نیاز، امکان بازیافت آب و مواد حل شده ارزشمند، راندمان نسبتاً بالا و عاری شدن آب مورد تصفیه از بوهای نامطبوع و غیره [۲۲].

#### ۱-۳-۴ روش‌های نهایی، براق‌سازی و گند زدایی

در این روش که در انتهای هرم تصفیه قرار دارد، آب خروجی از این مرحله عاری از هرگونه آلودگی، حتی میکروبی می‌شود. در حقیقت ته رنگ، بو و مزه باقیمانده در پساب تصفیه شده تنها در این مرحله قابل حذف است. در این روش‌ها با استفاده از عوامل مختلف مانند کاتالیست و اکسیدکننده‌های مختلف در کنار یکدیگر به فرآیند اکسیداسیون پیشرفته معروف هستند.

#### الف- روش‌های اکسایش پیشرفته

این دسته از واکنش‌ها، با بکارگیری بیش از یک روش اکسیداسیون انجام می‌شود زیرا گاهی استفاده از یک روش اکسیداسیون به تنهایی قادر نیست تمام رنگ‌زاهای موجود در محیط را اکسید کند. در این روش‌ها رادیکال هیدروکسیل تولید می‌شود که بسیار فعال است و در دما و فشار محیط می‌تواند آلودگی‌ها را اکسید

کند. این رادیکال ناپایدار است و به سرعت واکنش می‌دهد. این رادیکال باید طیواکنش‌های شیمیایی و فوتوشیمیایی مرتبا تولید شود. رادیکال‌های هیدروکسیل با روش‌های مختلفی از طریق جذب یک اتم هیدروژن از مولکول تولید می‌شوند [۲۳، ۲۴]. مواد اکسید کننده متنوعی برای تصفیه پساب به روش اکسیداسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند که در ادامه توضیح داده می‌شود. این تکنیک‌ها کاربری آسانی دارند، نسبت به راندمانشان پرمزینه نیستند، در حجم‌های بزرگ قابل استفاده هستند، احتیاج به فضای بزرگ ندارند، اغلب لجن تولید نمی‌کنند و در اکثر موارد برای محیط زیست مضر نیستند [۲۵]. فرایند اکسیداسیون آلاینده‌های موجود در پساب به روش‌های گوناگونی امکان پذیر است [۲۶].

اکسیداسیون به وسیله ترکیبات شیمیایی به عنوان یک راه حل برای حذف آلاینده‌های آلی مطرح است. این فرایند به تنهایی برای مقدار کم پساب و غلظت زیاد آلاینده مناسب است. اکسید کننده‌ها معمولا گونه‌های موجود در محلول را بدون گزینش اکسید می‌کنند [۲۷].

ازن یک گاز اکسیدکننده و بسیار سمی است که می‌تواند از طریق تنفس، پوست و چشم جذب بدن شده و به بدن آسیب برساند. غلظت‌های پایین ازن می‌تواند باعث سردرد، سرگیجه، حالت تهوع، تحریک بینی، خشک شدن گلو و انسداد مجاری تنفسی شود [۲۸]. ازن بیشتر برای تصفیه آب آشامیدنی به کار می‌رود اما در تصفیه پساب‌ها هم بازدهی خوبی دارد [۲۵].

تابش فرا بنفش یک نوع تابش الکترومغناطیسی است که در طول موج کمتر از نور مرئی و بیشتر از اشعه X و در محدوده ۱۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر قرار دارد و انرژی آن معادل ۳ تا ۱۲۴ الکترون ولت است [۲۹]. سه نوع تابش UV وجود دارد که در فرآیندهای تصفیه پساب بیشتر از دسته اول تابش‌ها استفاده می‌شود [۳۰].

۱- تابش Near UV در محدوده ۳۰۰-۴۰۰ نانومتر

۲- تابش Far UV در محدوده ۲۰۰-۳۰۰ نانومتر

۳- تابش Excessive UV در محدوده ۴-۲۰۰ نانومتر

واکنش‌های فنتون نخستین بار توسط فنتون در سال ۱۸۹۴ کشف شدند. در این روش در اثر واکنش یون آهن با هیدروژن پراکسید در محیط اسیدی، رادیکال هیدروکسیل تولید می‌شود که این رادیکال، اکسید کننده‌ای بسیار قوی است و پتانسیل اکسیدکنندگی آن برابر  $2/87$  ولت بوده که این مقدار فقط از پتانسیل فلورید ( $3/06\text{ev}$ ) کمتر است. این رادیکال قادر است به سرعت و به صورت غیر انتخابی به ساختار آلی حمله کرده و از طریق انتزاع هیدروژن پراکسید یا واکنش اضافی الکترون دوستی و/ یا انتقال الکترون، ترکیبات آلی را تبدیل به آب، دی‌اکسیدکربن و یون‌های معدنی کند. در طی این واکنشها یون آهن دو ظرفیتی به یون آهن سه ظرفیتی اکسید می‌شود [۳۱،۳۲،۳۳،۳۴،۳۵،۳۶].

مطالعات تجربی واکنش‌ها عموماً شامل تعیین سرعت واکنش‌هاست که تابعی از چندین متغیر مانند ترکیب شیمیایی، دما، فشار و یا حجم است. برای اینکه بتوان مطالعات انجام شده را در عمل نیز به کار برد لازم است این واکنش‌ها را با یک مدل ریاضی تطبیق بدهیم. سینتیک واکنش فنتون بسیار پیچیده است زیرا چندین مرحله در این واکنش‌ها وجود دارد که به طور همزمان اتفاق می‌افتند و ما بر آنها هیچ نظارتی نداریم [۳۷].

## ب - روش های طبیعی خالص سازی

در این روش ها با استفاده از توانایی های طبیعت در حذف آلاینده ها تلاش می گردد پساب خروجی از مراکز صنعت و یا حتی شهری خالص سازی شده و سپس وارد جریان اصلی طبیعت گردد . گیاه آزولا که در مناطق شمالی کشور و در مناطق حاصلخیز استان گیلان ، به عنوان یک آفت برنج شناخته شده است در عمل از آن جهت رنگبری از پساب می توان استفاده نمود.

# فصل دوم

تئوری جذب سطحی و مروری بر جاذب ها





در این بخش ابتدا به معرفی انواع جاذبها می پردازیم و سپس به بررسی تئوری جذب خواهیم پرداخت.

## ۲-۱- انواع جاذبها

جاذبها در بسیاری از صنایع و فرآیندهای کنترل آلودگی، کاربرد دارند. از جاذبهای جامد که بیشترین استفاده را در صنایع دارند می توان آلومینای فعال، سیلیکاژل و کربن فعال را نام برد [۳۹]. در این میان کربن فعال از جمله جاذبهایی است که بطور وسیع برای حذف فلزات سنگین و رنگزها از پساب مورد استفاده قرار گرفته است [۴۰]. از آنجا که کربن فعال گران است و نیاز به احیاء دارد، تلاش بر این است که آنرا با جاذبهای دیگر که از نظر زیستی تجزیه پذیر، ارزان قیمت و در دسترس تر و یا از محصولات فرعی صنایع تهیه می شوند، جایگزین کنند و با توجه به اینکه هزینه، پارامتری مهم در کشورهای در حال توسعه است، تلاش برای یافتن جاذب های ارزان قیمت با قابلیت جذب بالا ادامه دارد. در این راستا جاذبهایی مانند: تورب [۴۱]، چیتوسان [۴۲، ۴۳]، ساقه بلال [۴۴] خاکستر [۴۲، ۴۴]، پوست موز [۴۵]، چلتوک برنج [۴۶]، زئولیت [۴۷]، رسها [۴۸]، لیگنین [۴۹]، علفهای دریایی [۵۲] و ژانتات [۴۲]، دیاتومیت [۵۰]، کربن فعال [۵۱]، گیاه آزولا [۵۳]، آلومینای فعال [۵۴]، خاک اره [۵۲] و... مورد مطالعه قرار گرفته است. در ذیل چند جاذب به تفصیل بررسی شده است.

در جدول ۱-۲ تعدادی از جاذب ها آورده شده اند.

جدول ۱-۲ مروری بر جاذب ها

نام جاذب	توضیحات
کربن فعال	کربن فعال از مهمترین جاذبهای مورد استفاده است، زیرا مقدار وسیعی از ترکیبات شیمیایی آلی توسط کربن فعال قابل جذب می باشند. همچنین از کربن فعال برای بازیابی حلال، کنترل بو و تصفیه جریان گاز استفاده می شود [۵۱،۳۹،۱].
الکهای مولکولی	الکهای مولکولی ساختارهای بلوری دارند. معمولاً الکهای مولکولی از ژلهای آلومینوسیلیکات بی آب می باشند. [۵۱].
لیگنین	لیگنین ماده ای است که از لیکور سیاه رنگ بعنوان پساب صنایع کاغذسازی است، استخراج می شود. [۴۹].
پوست درختان و سایر مواد غنی از جوهر مازو	پوست درخت بعنوان محصول جانبی در صنایع چوب است. پوست درخت به دلیل مقدار بالای جوهر مازو در آن قابلیت جذب خوبی دارد. گروههای پلی هیدروکسیل پلی فنول در جوهر مازو بعنوان سایتیهای فعال در فرآیند جذب شناخته می شوند. [۵۲].
خاک اره	خاک اره محصول دیگر صنایع چوب است. به عبارت دیگر بعنوان باطله صنایع چوب بعنوان جاذب فلزات سنگین مورد توجه قرار گرفته است. [۵۲].
چیتوسان و پسمانده فرآیندهای آماده سازی غذاهای دریایی	چیتین ماده ای است سلولزی که به مقدار فراوان در طبیعت یافت می شود و آنرا می توان در پوست خرچنگها، میگوها و سایر بندپایان و یا دیواره های سلولی انواع قارچها و همچنین بعنوان تفاله خوراک خرچنگ و میگو، در صنعت کنسرو سازی بدست می آید [۴۲ و ۴۳].
ژانتات	ژانتاتها از واکنش مواد آلی حاوی هیدروکسیل با دی سولفید کربن بدست می آیند. ژانتات کم هزینه، قابل دسترس و بسیار نا محلول است. قابلیت جذب ژانتات با افزایش عمر آن (۱۸٪ در ۴۷ روز) کاهش می یابد. [۴۲].
زئولیتها	زئولیتها بصورت طبیعی بعنوان کانیهی سیلیکاته در دسترس می باشند (که البته بصورت مصنوعی هم قابل تولید می باشند). کانی کلینوپتیلولیت به تنهایی ۴۰٪ از خانواده زئولیتها را تشکیل می دهد [۴۷].
چلتوک برنج و اجزاء آلی مرده	مواد آلی مرده قابلیت بالایی در جذب یونهای فلزات سنگین مانند کادمیم دارند. سلولهای مرده به مقدار برابر یا حتی بیشتر از سلولهای زنده، فلزات را در خود انباشته می کنند. [۵۴،۴۶].
علفهای دریایی	علف دریایی بعنوان یک منبع فراوان از مواد آلی در جذب فلزات سنگین محسوب می شود. برخی از علفهای دریایی به دلیل وجود پلی ساکارید در ترکیباتشان قابلیت تبادل یونی از خود نشان می دهند. [۵۲].
رسها	مانند زئولیت، قابلیت جذب رس نیز بدلیل وجود بار منفی، همچنین ساختار ریز دانه انواع کانیهی سیلیکاته و سطح مخصوص بالای آن است. سه خانواده اصلی برای رسها شناخته شده است: کائولینیت، میکاها و اسمکتیت. [۴۸].

خاکستر	خاکستر بعنوان باطله و یک ماده قلیایی قوی از نیروگاه حرارتی بدست می آید. حاوی کربن، اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیم و آهن می باشد. خاکستر خود می تواند حاوی فلزات سنگین و مقدار اندکی عناصر رادیو اکتیو باشد که در هنگام استفاده از آن باید به میزان این مواد در آن توجه کرد [۴۳،۵۰،۴۲،۴۴،۲۸،۴۱].
تورب	تورب در واقع یک ماده خاکی آلی است که در مراحل مختلف تحت فرآیندهای تجزیه قرار گرفته است. این ماده حاوی لیگنین و سلولز است که بعنوان ترکیبات اصلی تورب می باشند [۴۱،۴۲].
گیاه آزولا	گیاه آزولا که در مناطق شمالی کشور و در مناطق حاصلخیز استان گیلان ، به عنوان یک آفت برنج شناخته شده است در عمل از آن جهت رنگبری از پساب می توان استفاده نمود. [۵۳]
گل قرمز	گل قرمز باطله کارخانه آلومینیم می باشد که در طول فرآیند کانه بوکسیت صنعتی بدست می آید. گل قرمز بعنوان یک جاذب ارزان قیمت و فراوان می باشد. ترکیبات شیمیایی گل قرمز شامل: هماتیت، رتیل، سیلیس، اکسید آلومینیم، اکسید سدیم و مقدار کمی مواد قابل اشتعال می باشد. [۵۵،۵۶].
آلومینای فعال	. آلومینای فعال به شکلهای توپی، پودری گلوله ای و گرانولی در دسترس می باشد. میانگین قطر خلل و فرج ها $48^{\circ}A$ تا $18$ ( آنگستروم ) می باشد [۵۷].
پوست موز	پوست موز به عنوان جاذب طبیعی، ارزش قیمت، در دسترس و با کارایی بالا مورد مورد بررسی قرار گرفته است. [۵۸،۵۹].

## ۲-۲-تئوری جذب سطحی

### ۲-۲-۱- مبانی شیمی سطح و کلوئیدها

شیمی سطح مطالعه رابطه بین دو فاز توده ای در تماس با هم است. با توجه به سه حالت ماده، انواع تماسهای ممکن بصورت زیر می باشد:

الف - مایع - مایع

ب - مایع - گاز

پ - جامد - جامد

ت - جامد - گاز

ث - جامد - مایع

از آنجایی که مخلوط گازها همیشه محلولهای حقیقی ای را تشکیل می دهند و از طرفی بین دو گاز لایه جدا کننده وجود ندارد، می توان از شیمی سطح برای توضیح و پیش بینی رفتار بسیاری از سیستم های تماسی استفاده کرد. پخش یک قطره روغن روی آب و تبخیر از سطح یک مایع مثالهایی از تماس دو فاز مایع - مایع و گاز - مایع می باشند. چسبندگی دو ماده جامد، باعث تماس دو فاز جامد - جامد می شود و جذب سطحی یک گاز روی یک جامد در تماس دو فاز جامد - گاز اتفاق می افتد. تماس بین دو فاز جامد و مایع، اولین نوع تماس بود که مورد توجه مهندسان محیط زیست قرار گرفت. این نوع تماس نقش اساسی را در پایداری آلودگی های کلوئیدی موجود در آب و پساب بازی می کند. دانش شیمی سطح، برای فهم مکانیزم هایی که از طریق آنها چنین سیستم هایی تخریب می شوند، ضروری است. همچنین شیمی سطح زمانی که حذف ناخالصی های حل شده توسط جذب سطحی بر روی جاذب مطرح است، مورد توجه می باشد [۳۹].

## ۲-۲-۲ سیستم های کلوئیدی

سیستم های کلوئیدی به عنوان سیستمی تعریف می شوند که در آن ذرات در یک محیط پیوسته پخش شده اند. ذرات، فاز پخش شده و محیطی که در آن وجود دارند، فاز پخش کننده نامیده می شود. در این تماس انتقال واضحی بین یک توده و فاز دیگر وجود ندارد اما یک ناحیه انتقال موجود است که خواص متفاوتی از هر دو فاز توده ای نشان می دهد. سطح انتقال خیلی کوچک است اما نقش مهمی در تخمین رفتار هر سیستم بازی می کند. ذرات کلوئیدی به گروه ویژه ای از مواد محدود نبوده و بر اساس اندازه تعریف می شوند. عموماً محدوده اندازه کلوئیدها از یک نانومتر تا یک میکرومتری باشد. سیستم کلوئیدی که در مهندسی محیط زیست اغلب با آن مواجه هستیم پخش جامد در مایع است، که توسط ذرات خاک رس موجود در آبهای سطحی تشکیل می شود. سیستمهای کلوئیدی را می توان بر اساس تمایل فاز پخش شده به محیط پخش شونده طبقه بندی کرد. سیستم ها تحت عنوان سیستم های هیدروفوب (آب گریز) زمانی که تمایل ضعیف وجود دارد و سیستم های هیدروفیل (آب دوست) زمانیکه تمایل قوی وجود دارد، بیان می شود. این عناوین زمانی استفاده می شود که آب، محیط پخش شونده است. کلوئیدهای آب گریز شامل موادی همچون رس، طلا و دیگر فلزات است، در حالیکه کلوئیدهای آب دوست توسط پروتئین ها، صابونها و شوینده های سنتزی ایجاد می شوند [۳۹].

## ۲-۲-۳ جذب سطحی ترکیبات محلول در آب

یکی از تکنیکهای معروف برای کنترل و از بین بردن ترکیبات آلی، جذب سطحی می باشد. اگرچه جذب سطحی برای کاهش ترکیبات آلی به کار می رود، در بعضی موارد برای کاهش فلزات از پساب نیز استفاده شده است. جذب سطحی یک فرآیند انتقال جرم است که بطور کلی بعنوان تراکم مواد در هنگام تماس دو فاز تعریف

می شود. مواد که ترکیبات شیمیایی روی آن جذب گردد، به عنوان جاذبه‌های سطحی و ترکیباتی که جذب می شوند (مانند مواد آلاینده) به مواد جذب شده معروف هستند [۵۱].

## ۲-۲-۴- تئوری جذب سطحی

جذب سطحی یک سیستم ترمودینامیکی است که ترکیبات مختلف برای رسیدن به تعادل در حال رقابت با یکدیگر هستند. فرآیند جذب سطحی در شرایط حالت پایدار و ناپایدار اتفاق می افتد. نیروهای اولیه مؤثر در جاذبه بین جذب کننده و جذب شونده، نیروهای جاذبه و دافعه الکترواستاتیک بین مولکولهای جذب کننده و جذب شونده می باشد که این نیروهای مؤثر می توانند فیزیکی یا شیمیایی باشند [۵۱، ۳۹، ۶۰].

## ۲-۲-۴-۱ جذب سطحی فیزیکی

جذب سطحی فیزیکی در نتیجه نیروهای بین مولکولی بین جاذب و جذب شونده ایجاد می شود. این نیروهای الکترواستاتیک فیزیکی شامل نیروی واندروالس است که به خاطر جاذبه و دافعه ضعیف بر همکنش های دوقطبی - دوقطبی، برهمکنش های تفرق و پیوند هیدروژنی می باشد. برهمکنش های دوقطبی - دوقطبی در اثر جهت گیری ترکیبات قطبی بر اساس بارهایشان حاصل می شود که در نتیجه آن انرژی آزاد ترکیب کمتر خواهد بود. بر همکنش تفرق، به علت نیروهای جاذبه بین الکترونها و پروتونها در سیستم های مولکولی ایجاد می شود. اگر مولکولها خیلی به هم نزدیک شوند نیروهای دافعه، مولکولها را از هم دور می کند. پیوند هیدروژنییک مورد ویژه از برهمکنش های دوقطبی - دوقطبی می باشد و در آن اتم هیدروژن در مولکول خود که دارای بار مثبت جزئی است، اتمها یا مولکولهای دیگر را که دارای بار منفی جزئی می باشد، جذب می کند. در سیستمهای فایز مایع، نیروی واندروالس، نیروی فیزیکی اولیه مؤثر در جذب سطحی است. جذب فیزیکی واکنش

به آسانی برگشت پذیر است. از آنجا که جذب فیزیکی، شامل تغییر ساختار الکترونی نیست، دارای انرژی جذب پایین تری خواهد بود و به طور مشخصی معین نمی شود. وقتی که نیروهای بین مولکولی بین یک مولکول شیمیایی در جریان مایع و یک جامد (جاذب) بزرگتر از نیروهای بین مولکولها در جریان مایع باشد، مواد شیمیایی در سطح جاذب جذب می شوند. بسیاری از فرآیندهای جذب سطحی در تصفیه پساب به طور خالص فرآیندهای فیزیکی شیمیایی نبوده و ترکیبی از آن دو هستند. تمایز بین این دو فرآیند مشکل است و خوشبختانه این نوع تمایز برای آنالیز و طراحی فرآیندهای جذب سطحی لازم نمی باشد [۳۹، ۵۱، ۶۰].

#### ۲-۲-۴-۲- جذب سطحی شیمیایی

جذب سطحی شیمیایی همانند جذب فیزیکی بر پایه نیروهای الکترواستاتیک استوار است. مکانیزمهای جذب شیمیایی شبیه جذب فیزیکی است ولی اغلب قویتر هستند. به نظر می رسد که این نوع جذب سطحی در جوانب و گوشه های میکروکریستالیت های تشکیل دهنده جاذب اتفاق می افتد. جذب شیمیایی با انتقال الکترونها و تشکیل پیوندهای شیمیایی بین جاذب و جذب شونده ایجاد می گردد. این امکان وجود دارد که واکنشها غیرقابل برگشت بوده و انرژیهای جذب بالایی داشته باشند. گرمای جذب به طور قابل توجهی بیش از جذب فیزیکی می باشد. این امر سبب می شود که به علت واکنش شیمیایی مواد جذب شونده دچار تغییر شوند. واکنش از طریق گروه های عاملی ویژه انجام می گردد [۳۹، ۵۱، ۶۰].

## ۲-۲-۴-۳- جذب سطحی ویژه

بعضی از واکنشها انرژیهای جذب بیش از جذب سطحی فیزیکی و کمتر از جذب سطحی شیمیایی دارند، این برهمکنشها به جذب سطحی ویژه معروفند. جذب سطحی ویژه شامل برخورد بین یک گروه عاملی ویژهها سطح جاذب می‌باشد. اما این برخورد باعث تشکیل یک پیوند شیمیایی واقعی نمی‌شود. مهمترین ویژگی جذب سطحی ویژه این است که انرژی جذب آن، بین جذب سطحی شیمیایی (قوی) و فیزیکی (ضعیف) قرار دارد. [۶۰، ۵۱، ۳۹].

## ۲-۲-۵- فاکتورهای مؤثر در جذب سطحی

در طول فرآیند جذب سطحی، مولکولهای حل شونده از محلول خارج شده و توسط جاذب، جذب می‌شوند. مقدار بیشتر مولکولها روی مساحت سطح بزرگی از تخلخلهای جاذب، جذب شده و به مقدار نسبتاً کمتری روی سطح بیرونی ذره، جذب می‌شوند. انتقال جذب شونده از محلول بر روی جاذب تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که غلظت حل شونده باقیمانده در محلول با غلظت حل شونده جذب شده توسط جاذب در حال تعادل باشد. زمانی که تعادل برقرار شد انتقال جذب شونده متوقف شده و این توزیع را که قابل اندازه گیری است به خوبی می‌توان تعیین کرد. خاصیت مهم دیگر، سینتیک سیستم است که سرعت برقراری تعادل را بیان می‌کند. سرعت جذب سطحی، زمان مورد نیاز برای تصفیه را تعیین می‌کند. سینتیک فرآیند، سرعت انتقال مولکولها از محلول به خلل و فرج های جاذب را شرح می‌دهد. برای انجام پدیده جذب سطحی سه مرحله مجزاء باید رخ دهد:

الف- مولکولهای جذب شونده باید از فاز محلول به سطح ذره جاذب انتقال یابد. مولکولهای جذب شونده باید از فیلم حلالی که ذره را احاطه کرده عبور کند. این فرآیند را نفوذ در فیلم می‌نامند.

ب- مولکولهای جذب شده باید به سایتهای جاذب که درون خلل و فرجها موجود هستند، انتقال یابند. این فرآیند را نفوذ در تخلخل می‌نامند.



پ- ذره در فاز محلول باید به سطح ماده بچسبد، به عبارت دیگر جذب شود.

سرعت واکنشهای جذب سطحی و مقدار جذب یک ماده ویژه تحت تأثیر فاکتورهای زیادی قرار دارد، که در اینجا مورد بررسی قرار می گیرد [۳۹،۵۱،۶۱].

#### ۲-۲-۵-۱- سرعت هم زدن

سرعت جذب سطحی توسط نفوذ در فیلم و یا توسط نفوذ در حفره‌های جاذب کنترل می‌شود که به زمان و شدت هم زدن در سیستم بستگی دارد. اگر هم زدن به طور نسبتاً آرام بین ذره جاذب و محلول انجام شود، لایه سطحی مایع اطراف ذره ضخیم خواهد بود و احتمالاً مرحله نفوذ در فیلم مرحله تعیین کننده سرعت خواهد بود. اگر هم زدن با سرعت زیادی انجام گیرد، سرعت نفوذ در فیلم افزایش خواهد یافت، تا نقطه‌ای که نفوذ در حفرات جاذب مرحله تعیین کننده سرعت گردد. براساس نظریه وبر عموماً نفوذ در تخلخل در سیستم‌های تماسی نوع ناپیوسته که اغتشاش زیادی در آن ایجاد می‌شود، مرحله تعیین کننده سرعت است. نفوذ در فیلم به احتمال بسیار زیاد مرحله تعیین کننده سرعت در سیستم‌های پیوسته است [۳۹،۵۱،۶۰].

#### ۲-۲-۵-۲- خواص جاذب

اندازه ذره و مساحت سطح، دو خاصیت مهم جاذب می‌باشد. اندازه جاذب بر سرعتی که جذب سطحی در آن اتفاق می‌افتد تأثیر می‌گذارد. سرعت جذب سطحی با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد. بنابراین، سرعت جذب سطحی بر روی جاذب در حالت پودری سریعتر از مقدار آن در فرم دانه‌ای می‌باشد. ظرفیت جذب سطحی کل جاذب به مساحت سطح کل آن بستگی دارد.

#### ۲-۲-۵-۳ - حلالیت ماده جذب شونده

برای اینکه پدیده جذب سطحی اتفاق بیافتد باید یک مولکول از غشاء یا لایه حلال جدا شده و به سطح جاذب متصل شود. اگر تمایل ماندن ترکیبات محلول در حلال زیاد باشد در نتیجه جذب آنها نسبت به ترکیبات غیرمحلول سخت تر است. هر چند، استثنائاتی وجود دارد. تلاشهایی برای پیدا کردن یک نسبت کمی بین قابلیت جذب شدن و قابلیت حل شدن انجام شده است که در این زمینه موفقیت‌های محدودی به دست آمده است [۳۹،۵۱،۶۰].

#### ۲-۲-۵-۴ - اندازه مولکولهای جذب شونده

اندازه مولکولی جذب شونده در جذب سطحی بسیار مؤثر است، به طوریکه مولکولها باید وارد میکروپوره‌های ذره جاذب شده و سپس جذب گردند. اگر اندازه مولکولی به اندازه تخلخلهای جاذب نزدیک باشد نیروهای جاذبه بین جاذب و مولکول جذب شده زیاد است. قویترین جذب سطحی زمانی خواهد بود که خلل و فرجها تا اندازه ای بزرگ بوده که به مولکولها اجازه ورود دهند. اکثر پسابها شامل مخلوطی از ترکیبات می‌باشند که در آن اندازه‌های مختلفی از مولکولها وجود دارند. در این وضعیت مشکل غربال مولکولی به وجود می‌آید. مولکولهای بزرگ تخلخلها را مسدود کرده و از ورود مولکولهای کوچک جلوگیری می‌کنند. به هر حال شکل نامنظم مولکولها و تخلخلها همانند حرکت ثابت مولکولها، از انسداد جلوگیری می‌نماید.

علاوه بر این، تحرک بیشتر مولکولهای کوچک در مقایسه با مولکولهای بزرگ به آنها اجازه می‌دهد که سریعتر نفوذ کرده و وارد تخلخلها شوند [۳۹].

## ۲-۲-۵-۵-pH

pHهایی که در آن جذب سطحی اتفاق می‌افتد تأثیر زیادی بر مقدار جذب سطحی دارد. زیرا خود یونهای هیدروژن به مقدار زیاد جذب می‌شوند. pH به مقدار جزئی بر یونیزاسیون و بنابراین بر جذب سطحی بسیاری از ترکیبات تأثیر می‌گذارد. اسیدهای آلی بیشترین جذب سطحی را در pH پایین نشان می‌دهند، در حالیکه جذب سطحی موادی که دارای بازهای آلی هستند، در pH های بالا مطلوب است. pH بهینه برای هر یک از فرآیندهای جذب سطحی باید توسط تستهای آزمایشگاهی اندازه‌گیری شود.

## ۲-۲-۵-۶-دما

دمایی که در آن فرآیند جذب رخ می‌دهد بر سرعت جذب سطحی و مقدار جذب سطحی تأثیر می‌گذارد. سرعت‌های جذب سطحی با افزایش دما افزایش یافته و با کاهش دما، کاهش می‌یابد. از آنجا که جذب سطحی فرآیند گرمازا است، مقدار جذب سطحی در دماهای پایین افزایش و در دماهای بالا کاهش می‌یابد. جذب سطحی فرآیندی بسیار پیچیده بوده و باید به دقت آنالیز شود تا در نتیجه آن طراحی فرآیندهای بهینه را تضمین کند.

## ۲-۲-۶-فاکتورهای مؤثر بر ظرفیت جذب

به طور کلی، ظرفیت جذب جاذب به مساحت سطح موجود بستگی دارد هر چند فاکتورهای دیگری وجود دارند که بر جذب سطحی تأثیر گذارند. در انتخاب جاذب مناسب برای یک کاربرد مشخص باید چندین عامل در نظر گرفته شود. این فاکتورها به طور خلاصه در بخشهای ذیل بحث شده است [۳۹،۵۱،۶۱].

## ۲-۲-۶-۱ - قطبیت

کربن فعال ترجیحاً ترکیبات شیمیایی غیرقطبی را جذب می‌کند، زیرا این جاذب غیرقطبی است. قطبیت توسط نیروهای فیزیکی و شیمیایی مانند برهمکنش‌های دوقطبی - دوقطبی، برهمکنش‌های تفرق و پیوند هیدروژنی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. قطبیت یکی از فاکتورهای مهم در جاذب‌های رزینی می‌باشد.

## ۲-۲-۶-۲ - بار

جذب سطحی ترکیبات شیمیایی یونی (باردار) به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از جذب سطحی ذرات غیرباردار می‌باشد.

## ۲-۲-۶-۳ - وزن مولکولی

بطور کلی مولکول‌های بزرگتر بهتر جذب می‌شوند، مگر اینکه اندازه مولکول بزرگتر از قطر میکروپورهای ذره جاذب باشد.

## ۲-۲-۶-۴ - دما

زمانیکه جذب ترکیبات شیمیایی آلی فرار مطرح باشد، دمای سیستم عامل بسیار مهمی می‌باشد. ظرفیت جذب با دما رابطه عکس دارد. با افزایش دما ظرفیت جذب کاهش می‌یابد. این اصل بر پایه انرژی آزاد گیبس می‌باشد. انرژی آزاد گیبس (G) مقیاسی از تغییر خود به خودی در یک سیستم است. تغییرات انرژی آزاد گیبس یک سیستم، در دما و فشار ثابت، مقیاسی از قابلیت جذب یک ترکیب می‌باشد. زمانی که  $\Delta G < 0$  است، سیستم به طور خودبخودی واکنش می‌دهد و جذب سطحی اتفاق می‌افتد. ترکیباتی که در دمای داده شده واکنش نمی‌دهند، یا جذب نمی‌کنند ( $\Delta G > 0$ )، ممکن است در دماهای پایین‌تر جذب کنند

(اگر  $\Delta G < 0$  باشد). در هر حال، زمانی که دما کاهش می‌یابد، سرعت‌های واکنش سینتیکی نیز کم می‌شوند. جذب سطحی یک واکنش گرمازا است. وقتی منطقه جذب در بستر جاذب جابجا می‌شود، دمای بستر افزایش می‌یابد و گرما به مایع منتقل می‌گردد. برای برخی از ترکیبات شیمیایی و جاذب، گرمای منتقل شده می‌تواند قابل توجه باشد. در طول جذب شیمیایی گرمای منتقل شده تقریباً برابر با گرمای واکنش شیمیایی است [۳۹،۵۱،۶۰].

#### ۲-۲-۶-۵- مساحت سطح

خصوصیات فیزیکی در انتخاب مواد جاذب بسیار مهم هستند. یکی از خصوصیات قابل توجه در انتخاب مواد به عنوان جاذب، مساحت سطح آنها است. مواد جاذبی که برای تصفیه مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای تخلخل زیاد هستند. بزرگی مساحت سطح یک ذره جاذب به ساختار تخلخل آن بستگی دارد. از خواص دیگر مساحت سطح که بر جذب سطحی اثر می‌گذارد، توزیع اندازه قطر ذرات می‌باشد. مولکولهای بزرگتر جذب شونده فقط می‌توانند در قطرهای بزرگتر خلل و فرجها، جذب گردند. دو ذره جاذب با توزیع اندازه ذرات متفاوت دارای جذبه‌های متفاوتی هستند. مساحت سطح ذره به قطر ذره جاذب بستگی دارد. قطر ذره جاذب بر سرعت جذب مؤثر است.

#### ۲-۲-۶-۶- توزیع حفره ها

توزیع حفره ها مقیاسی از درصد فضاییک ذره اشغال شده توسط میکروپرها (قطر تخلخل  $2A^0$ )، مزوپرها (قطر ذرات  $20A^0$  و  $500A^0$ ) و ماکروپرها (قطر ذرات  $500A^0$ ) می‌باشد. یک مولکول نمی‌تواند در تخلخلی کوچکتر از قطر مینیمم داده شده رسوخ نماید (بسته به اندازه مولکول). این فرآیند مولکولهای بزرگتر را غربال

کرده و مولکولهای کوچکتر اجازه می‌یابند تا روی ذره جاذب رسوخ نموده و یا وارد حفرات با قطر کوچکتر گردند.

## ۲-۲-۷ ایزوترم جذب

جذب سطحی یک ترکیب بر روی جاذب را می‌توان از طریق روابط ریاضی توسط یک ایزوترم جذب شرح داد. بطور ساده، مقدار ماده جذب شونده که می‌تواند بر روی یک جاذب ویژه جذب گردد، تابع غلظت ماده جذب شونده و دما است. ایزوترم‌ها مقیاسی از ظرفیت یک جاذب بعنوان تابعی از غلظت ماده جذب شونده در پساب هستند. مطالعات انجام شده در زمینه قابلیت تصفیه، دقیق‌ترین تعریف را برای اندازه‌گیری خواص جذب سطحی ویژه یک جریان پساب، برای جاذب مورد نظر ارائه می‌دهند. مقدار آزمایشی را می‌توان بر پایه روش حجمی، گراویمتری یا کروماتوگرافی اندازه‌گیری کرد. بر اساس روش حجمی، جاذب را در معرض چندین غلظت جذب شونده قرار داده و یک تعادل جرمی برای اندازه‌گیری غلظت جذب شونده استفاده می‌گردد.

روش حجمی به دلیل هزینه پایین و سادگی روش، متداولترین روش مورد استفاده می‌باشد. در عمومی‌ترین حالت، غلظت تعادلی یک جذب شونده را می‌توان بصورت رابطه (۲-۱) بیان نمود.

$$Q^* = f(C_0, T) \quad (1-2)$$

به طوریکه:

$$Q^* = \text{غلظت تعادلی}$$

$$C_0 = \text{غلظت ورودی}$$

$$T = \text{دمای جذب شونده در جریان خوراک}$$

ایزوترم های جذب برای یک آلاینده معمولاً رابطه بین غلظت جذب شده روی سطوح جامد (S) و غلظت آلاینده در فاز محلول (C) را در حالت تعادل درجه ثابت بیان می دارند. در مورد آلاینده هایی همچون مواد رنگزا که از صنایع مختلف مانند صنایع نساجی ناشی شده است، دانستن توزیع آنها بین جاذبها و محلولهای حاوی مواد رنگزا تحت شرایط تعادلی در تعیین ظرفیت و قابلیت جاذب ها برای فرآیند رنگبری بسیار مهم می باشد. ایزوترم های جذب در آزمایشگاه ها از تست های سیستم ناپیوسته حاصل می شوند.

## ۲-۲-۷-۱- ایزوترمهای تک جزئی

چندین ایزوترم برای مدلسازی معادله جذب سطحی پیشنهاد شده است [۵۱، ۶۲].

از متداولترین معادلاتی که برای شرح تعادل بین یک سطح (جاذب) و یک ماده شیمیایی (جذب شونده) مورد استفاده قرار می گیرند، معادلات فروندلیچ و لانگمویر می باشند.

از معادلات تک جزئی دیگر، می توان به معادلات: BET، فروندلیچ، لانگمویر، توٹ و انیلان و سه معادله دابینین اشاره نمود. معادلات پیچیده که داده های جذب سطحی را بسیار دقیق مدلسازی می کنند، نیاز به جمع آوری داده های بیشتر دارند و فرآیند های وقت گیر و پر هزینه ای می باشند. در انتخاب یک معادله، طراح باید ساده ترین معادله ای را که می تواند برای شرایط غیر ایده ال مشاهده شده در داده ها دلیل موجه ارائه دهد، انتخاب نماید. در بسیاری موارد معادلات فروندلیچ و لانگمویر کافی هستند.

## ۲-۲-۷-۱-۱- معادله لانگمویر

معادله لانگمویر به بر همکنش بین جاذب و ماده جذب شونده به عنوان یک واکنش شیمیایی تک لایه، برگشت پذیر و خطی مربوط می شود که توسط لانگمویر در سال ۱۹۱۵ بیان شد. این معادله یک مدل نسبتاً آسان است و فرض می کند که سطح جاذب کاملاً یکنواخت بوده و هر سایت جاذب می تواند حداکثر یک مولکول جذب شونده را احاطه نماید و هیچ برهمکنشی بین مولکولهای جذب شونده وجود ندارد. این ایزوترم بر این فرض استوار است که نقاطی از ظرفیت روی سطح جاذب وجود دارد و هر کدام از این سایتها می توانند یک مولکول را جذب کنند. همچنین فرض می شود که همه سایتهای جذب تمایل یکسانی برای مولکولهای ماده جذب شونده دارند.

مدل جذب لانگمویر را می توان به فرم زیر بیان کرد:

$$q_e = \frac{Q_0 K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2-2)$$

به طوریکه:

$q_e$  = بار تعادلی روی جاذب (mg/g)

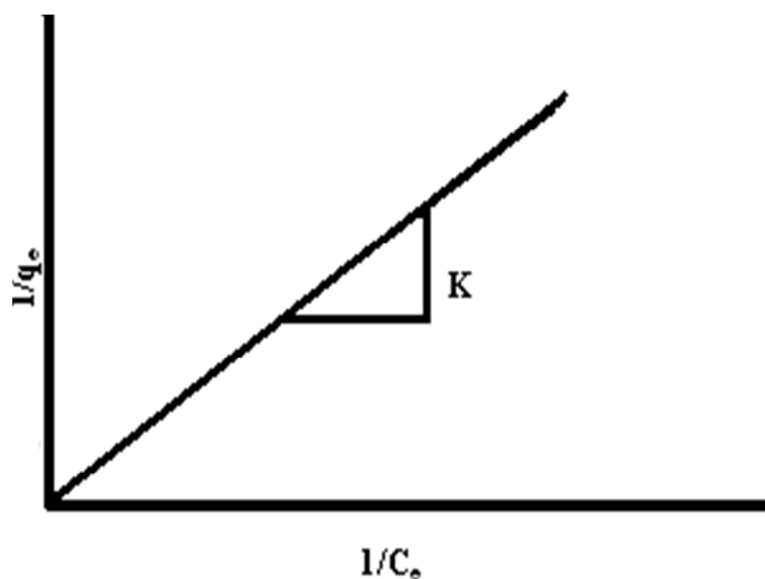
$Q_0$  = ظرفیت جذب نهایی جاذب (mg/g)

$K_L$  = انرژی نسبی جذب سطحی (ثابت تعادل اندازه گیری شده به روش تجربی) (mg/l) که گاهی تحت عنوان  $b$  بیان می شود.

$C_e$  = غلظت تعادلی در سیستم (mg/l)



از مزایای دیگر این معادله، سادگی و کاربرد آن در محدوده وسیعی از داده ها می باشد. محدودیتهای مدل، شامل فرض تک لایه، برگشت پذیری پیوندی و سرعت های جذب ثابت می باشد. نمودار خطی مقادیر آزمایشگاهی برای ایزوترم لانگمویر در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل ۱-۲ نمودار خطی مقادیر آزمایشگاهی برای ایزوترم لانگمویر [۳۹]

#### ۲-۲-۷-۱-۲ - معادله فروندلیچ

معادله فروندلیچ معادله ای است که بطور تجربی از مدل لگاریتمی بدست آمده است و اثرات سطوح انرژی جذب سطحی مختلف را بررسی می کند. معادله فروندلیچ بر پایه این فرض استوار است که جاذب دارای سطح غیر یکنواختی می باشد که از سطوح مختلفی از سایتهای جذب تشکیل شده است و جذب بر روی هر سطح از سایت، از ایزوترم لانگمویر تبعیت می کند. این مدل فرض می کند که تعداد سایتهای شرکت کننده با یک انرژی آزاد ویژه جذب سطحی، با افزایش سطح انرژی آزاد، بطور نمایی کاهش می یابد.

مدل جذب سطحی فروندلیچ را می توان به فرم زیر بیان نمود:

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (۳-۲)$$

بطوریکه:

$q_e$  = بار تعادلی روی جاذب (mg/g)

$K_F$  = ظرفیت جذب سطحی در واحد غلظت  $(\text{mg/g})^{1/n}$

$1/n$  = شدت جذب سطحی که به طور تجربی اندازه گیری می شود و گاهی با  $\beta$  (بدون بعد) نشان داده می شود.

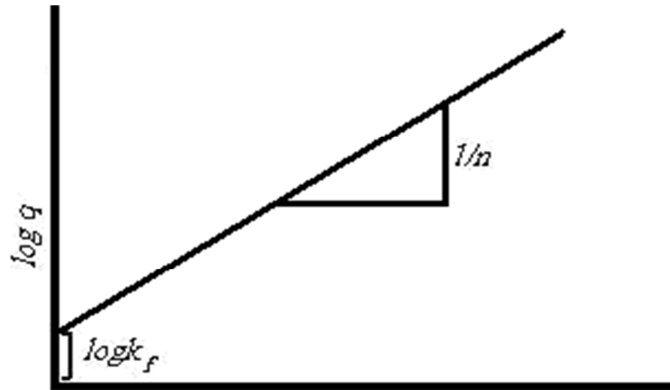
$C_e$  = غلظت تعادلی در سیستم (mg/l)

زمانی که معادله بر اساس  $\log - \log$  رسم شود از خط راست تبعیت می کند. می توان معادله فروندلیچ را به فرم زیر نوشت:

$$\log q_e = \log K_F + (1/n) \log C_e \quad (۴-۲)$$

و از آن می توان برای اندازه گیری آزمایشی  $K_F$  و  $1/n$  استفاده نمود.

برای مواد شیمیایی جذب شده برگشت ناپذیر  $0 = (\text{شیب خط}) 1/n$ ، برای مواد شیمیایی که بطور مطلوب جذب شده اند  $0 < 1/n < 1$  و برای مواد شیمیایی که جذب نشده اند  $1/n$  خیلی بزرگ است. در بسیاری از موارد، شرایط حد واسط بین ایزوترم های لانگمویر و فروندلیچ مشاهده می شود که در این صورت طراح باید از معادلات ایزوترم مختلف استفاده کند یا هر کدام از دو معادله ای که بهترین تناسب را با محدوده داده های کاربردی داشته باشد انتخاب نماید. نمودار ایزوترم فروندلیچ در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲ نمودار خطی مقادیر آزمایشگاهی برای ایزوترم فروندلیچ [۳۹]

### ۲-۲-۷-۱-۳ - دیگر معادلات ایزوترم با یک ماده حل شونده

هر چند معادلات ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ متداول ترین معادلات با یک ماده حل شونده هستند، معادلات دیگری نیز برای یک ماده حل شونده وجود دارند [۶۰، ۶۱].

یکی از آنها معادله لانگمویر - فروندلیچ است:

$$q = \frac{bq_m C_e^{\frac{1}{n}}}{1 + bC_e^{\frac{1}{n}}} \quad (۵-۲)$$

این معادله سه پارامتر  $b$ ،  $q_m$  و  $1/n$  دارد. از این معادله معمولاً زمانی استفاده می شود که داده ها با معادله دو پارامتری مطابقت نداشته باشند.

رادکه و پراس نیتز معادله تجربی سه پارامتری زیر را پیشنهاد دادند:

$$(1/q) = (1/aC) + (1/bC^b) \quad (۶-۲)$$

این معادله زمانی  $C \rightarrow 0$  باشد به صورت قانون هنری در می‌آید و زمانیکه  $C \rightarrow \infty$  به معادله فروندلیچ و اگر  $\beta = 0$  به معادله لانگمویر تبدیل می‌گردد. آنها این معادله را برای تطابق داده های جذب سطحی ارائه دادند.

معادله توث، معادله ایزوترم سه پارامتری دیگری است که غالباً برای توصیف جذب سطحی گازها به کار می رود.

$$q = \frac{q_m C_e}{(b + C_e)^{1/n}} \quad (7-2)$$

چون سیستمهای با یک ماده حل شونده اکثراً از معادلات دو پارامتری لانگمویر و فروندلیچ تبعیت می کنند، معادلات سه پارامتری بحث شده در اینجا به ندرت استفاده می شوند.

#### ۲-۷-۲-۲ - ایزوترمهای چند جزئی

یکی از مدل‌های متداول برای جذب سطحی رقابتی، تئوری محلول جذب شده ایده آل IAS می باشد. مدل IAS از ایزوترمهای هر کدام از تک جزئی ها برای پیش بینی رقابت و بنابراین غلظتهای تعادلی در میان مواد شیمیایی استفاده می کند. فرم عمومی مدل IAS بصورت زیر است:

$$C_{ei} = \frac{q_i}{\sum_{j=1}^N n_j} \left[ \frac{\sum_{j=1}^N n_j q_j}{n_i K_{Fi}} \right]^{n_i} \quad (8-2)$$

بطوریکه:

$C_{ei}$  = غلظت تعادلی فاز مایع آ امین ماده شیمیایی

$q_i$  = بار تعادلی روی جاذب برای آ امین ماده شیمیایی

$K_{Fi}$  = ثابت ظرفیت جذب فروندلیچ برای آ امین ماده شیمیایی

$n_i$  = شدت جذب متقابل آ امین ماده شیمیایی

$N$  = تعداد اجزاء

محاسبات جذب سطحی چند جزئی به علت پیچیده بودن محاسبات، معمولاً با استفاده از کامپیوتر انجام می شود [۳۹].

برای یک سیستم چند جزئی که از مواد شیمیایی تشکیل شده و به طور ویژه از ایزوترم لانگمویر تبعیت می کند، می توان از معادله زیر برای پیش بینی نسبت تعادل استفاده کرد:

$$q_{ei} = \frac{q_{oi} K_{Li} C_{ei}}{1 + \sum_j^{N-1} K_{Lj} C_{ej}} \quad (9-2)$$

به طوریکه:

$q_{ei}$  = بار تعادلی روی جاذب

$q_{oi}$  = ظرفیت جذب نهایی جاذب برای آ امین ماده شیمیایی

$K_{Lj}$  = انرژی نسبی جذب آ امین ماده شیمیایی است و همچنین به عنوان ثابت تعادل شناخته می شود که معمولاً به طریقه تجربی اندازه گیری می شود.

$C_{ei}$  = غلظت تعادلی آ امین ماده شیمیایی در جریان پساب می باشند.

معادلات ایزوترم لانگمویر برای سیستم دارای دو ماده حل شونده بصورت زیر است:

$$q_1 = \frac{b_1 q_{m1} C_1}{1 + b_1 C_1 + b_2 C_2} \quad (10-2)$$

$$q_2 = \frac{b_2 q_{m2} C_2}{1 + b_1 C_1 + b_2 C_2} \quad (11-2)$$

در این معادلات که معمولاً داده های چند جزئی به خوبی از آنها تبعیت نمی کنند، فرض می شود که این دو ماده حل شونده دقیقاً روی سایتهای یکسانی رقابت می کنند. هرچند که در برخی از سایتهای جذب سطحی رقابتی نیست. بنابراین جاین و سنونیک برای ارزیابی این واقعیت اصلاحاتی بر روی معادلات ایجاد کردند. این معادلات اصلاح شده بر این فرض استوار است که ماده حل شونده دارای سایتهای جذب سطحی برابر  $(q_{m1} - q_{m2})$  است که عبارتند از:

$$q_1 = \frac{(q_{m1} - q_{m2}) b_1 C_1}{1 + b_1 C_1} + \frac{q_{m2} b_1 C_1}{1 + b_1 C_1 + b_2 C_2} \quad (12-2)$$

$$q_2 = \frac{q_{m2} b_2 C_2}{1 + b_1 C_1 + b_2 C_2} \quad (13-2)$$

اما در عمل، معادلات لانگمویر چند جزئی علی رغم شکل دقیق آنها مزیت محدودی دارند، چون معادلات لانگمویر با یک ماده حل شونده نیز به خوبی داده های جذب سطحی فاز مایع با آنها مطابقت می کنند.

معادلات فروندلیچ برای سیستم دارای دو ماده حل شونده بصورت زیر است:

$$q_1 = \frac{a_1 C_1^{1/n_1}}{b_1 C_1^{1/n_1} + b_2 C_2^{1/n_2}} \quad (14-2)$$

$$q_2 = \frac{a_2 C_2^{1/n_2}}{b_1 C_1^{1/n_1} + b_2 C_2^{1/n_2}} \quad (15-2)$$

معادلات لانگمویر - فروندلیچ برای سیستم دارای دو جزء حل شونده عبارتند از:

$$q_1 = \frac{a_1 C_1^{1/n_1}}{1 + b_1 C_1^{1/n_1} + b_2 C_2^{1/n_2}} \quad (16-2)$$

$$q_2 = \frac{a_2 C_2^{1/n_2}}{1 + b_1 C_1^{1/n_1} + b_2 C_2^{1/n_2}} \quad (17-2)$$

چون شش پارامتر وجود دارد داده های چند جزئی به خوبی با این معادلات مطابقت می کنند. اکثر سیستمهای تصفیه عملی یا شامل یک آلاینده غالب (مانند فنول) بوده و معادلات ایزوترم با یک ماده حل شونده لازم دارند یا شامل مقادیر زیادی آلاینده هستند. به ندرت اتفاق می افتد که یک موقعیت چند جزئی شامل تنها دو ماده حل شونده باشد. بنابراین معادلات ایزوترم دو ماده حل شونده ذکر شده به ندرت مورد استفاده قرار می گیرند [۶۰، ۶۲].

### ۲-۲-۷-۳- جذب سطحی چند لایه

همه موضوعات مورد بحث تاکنون تنها برای جذب سطحی تک لایه استفاده می شوند. در بیشتر سیستمهای واکنش دهنده، واکنش به یک لایه محدود می گردد و بنابراین برای فهم واکنشها، جذب سطحی اولین لایه بررسی می شود. جذب سطحی چند لایه به طور اساسی با جذب سطحی تک لایه متفاوت است. در اولین مقاله در این مورد، در سال ۱۹۳۸ برانر، امت و تدر اولین ایزوترم را برای جذب سطحی چند لایه ارائه دادند. این ایزوترم به معادله BET معروف است.

ایزوترم BET بر این فرض استوار است که مولکولها می توانند بیش از یک لایه ضخامت، بر روی سطح جاذب جذب شوند و سطح جاذب از سایتهای هم شکل تشکیل شده است که جذب سطحی در یک سایت بر جذب سطحی سایتهای مجاور تأثیر نمی گذارد. همچنین فرض می شود که انرژی جذب سطحی، اولین تک لایه را تشکیل می دهد، اما انرژی تراکم ماده جذب شونده مسئول جذب لایه های متوالی است.

معادله BET به فرم زیر بیان می شود:

$$\frac{x}{m} = \frac{ACX_m}{(C_s - C) \left[ 1 + (A-1) \frac{C}{C_s} \right]} \quad (18-2)$$

بطوریکه:

$X =$  مقدار ماده حل شده‌ای است که جذب شده (mgr, moles)

$m =$  وزن جاذب (mgr, gr)

$X_m =$  مقدار ماده حل شده‌ای که در تشکیل یک تک لایه کامل جذب شده است (mgr/gr, moles/gr)

$C_s =$  غلظت اشباع ماده حل شده (moles/l, mg/l)

$C =$  غلظت ماده حل شده در محلول در لحظه تعادل (moles/l, mg/l)

$A =$  ثابتی که انرژی برهمکنش بین ماده حل شده و سطح جاذب را شرح می‌دهد

با جایگزین کردن معادله BET رابطه زیر بدست می‌آید:

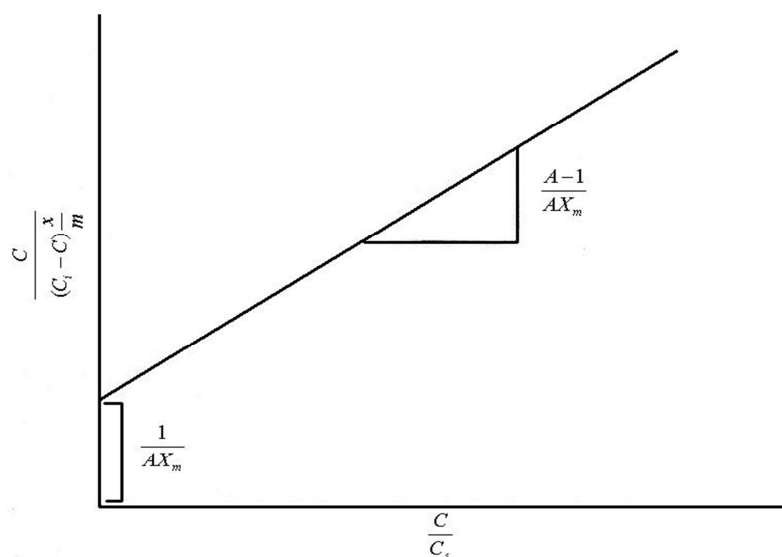
$$\frac{C}{(C_s - C) \frac{x}{m}} = \frac{1}{A(X_m)} + \frac{A-1}{AX_m} \left( \frac{C}{C_s} \right) \quad (19-2)$$

در این معادله در صورتیکه  $\frac{C}{(C_s - C) \frac{x}{m}}$  را نسبت به  $C/C_s$  رسم کنیم، یک خط راست بدست می‌آید که داری شیب

خط  $(A-1)/AX_m$  و عرض از مبدا  $1/AX_m$  می‌باشد.

در شکل (۳-۲) نمونه خطی ایزوترم BET نشان داده شده است.





شکل ۳-۲ نمودار خطی مقادیر آزمایشگاهی [۳۹BET]

#### ۴-۷-۲-۲ - پیش بینی ایزوترم

به دلیل اینکه داده های ایزوترم همیشه به آسانی در دسترس نیست، مدل های مختلفی برای تخمین ظرفیت جذب بدون داده های آزمایشی ارائه گردیده اند. متداولترین مدل مورد استفاده تکنیکهای رابطه کمی فعالیت ساختار QSAR می باشد. مانند: تئوری پتانسیل جذب سطحی دابینین - پلانی.

تکنیک QSAR بر پایه دو فرض استوار است: با دانستن ایزوترم یک ماده شیمیایی روی یک جاذب، ایزوترم هر ماده شیمیایی دیگر (مشابه) را می توان محاسبه کرد و با دانستن ایزوترم یک ماده شیمیایی در دمای مورد نظر، ایزوترم در دماهای دیگر قابل محاسبه است. زمانی که داده های ایزوترم موجود باشد، تعدادی معادله با داده های تجربی باید رسم و مقدار بهینه بطور آماری اندازه گیری شود. اکثر برنامه های کامپیوتری حاوی برنامه های تجزیه ای هستند که شامل رگرسیون خطی و غیر خطی می شود. مقایسه ضریب همبستگی نمونه بین معادلات جذب سطحی مختلف، ایده خوبی به طراح می دهد که با بیشترین دقت ایزوترم جذب را پیش بینی کند. طراح

باید مطمئن باشد که معادله ایزوترم مورد استفاده به خوبی، جذب سطحی را در محدوده شرایط کاربرد، مدل سازی کند [۳۹].

## ۲-۲-۷-۵ - سینتیک جذب

مطالعه سینتیک جذب یک پارامتر بسیار مهم در طراحی سیستم های مناسب برای تصفیه که بر اساس جذب کار می کنند، می باشد. جذب آلاینده ها از فاز مایع و انتقال آن به فاز جامد می تواند به خوبی توسط یک واکنش برگشت پذیر و تحت شرایط تعادلی بین دو فاز بیان گردد.

به منظور بررسی اثرات سینتیک، معادله شبه درجه اول لاگرگرینمی تواند جهت محاسبه ثابت های سرعت به کار گرفته شود. فرم معادله بصورت زیر می باشد:

$$\log(S_e - S_t) = \log S_e - \frac{K_{1.ad}}{2.303}(t) \quad (2-20)$$

بطوریکه:

$$S_e = \text{مقدار آلاینده جذب شده در حالت تعادل (mg/g)}$$

$$S_t = \text{مقدار آلاینده جذب شده در زمان } t \text{ (mg/g)}$$

$$t = \text{زمان (min)}$$

$$K_{1.ad} = \text{ثابت سرعت شبه درجه اول (min}^{-1}\text{)}$$

در بسیاری حالتها معادله (۲-۲۰) نمی تواند به خوبی و بطور کامل سینتیک فرآیند جذب را تشریح نماید. در این موارد از یک معادله شبه درجه دوم بصورت زیر استفاده می شود:

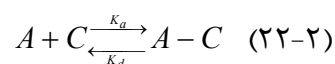
$$\frac{1}{S_t} = \frac{1}{K_{2.ad} S_e^2 t} + \frac{1}{S_e} \quad (21-2)$$

بطوریکه:

$$K_{2.ad} = \text{ثابت سرعت شبه مرتبه دوم (g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}\text{)}$$

### ۲-۲-۸- مدل سینتیکی

اکثر واکنشهای جذب و واجذب (دفع) سطحی را می توان توسط معادله زیر شرح داد [۵۵].



به طوریکه  $K_a$  و  $K_d$  به ترتیب ثابتهای سرعت جذب و واجذب سطحی می باشند.  $A$  جاذب موجود،  $C$  ماده جذب شونده و  $A-C$  مقدار ماده جذب شونده که بر روی جاذب جذب شده است.

لانگمویر سینتیک جذب و واجذب را بصورت زیر بیان کرد:

$$r_a = K_a C(1 - \theta) \quad (23-2)$$

$$r_d = K_d \theta \quad (24-2)$$

بطوریک  $\theta (Q/Q_0)$  کسر پوششی،  $C (0 \leq \theta \leq 1)$  غلظت تعادلی حل شونده،  $r_d, r_a$  سرعت جذب و واجذب سطحی می باشند.

از آنجا که ثابت تعادلی برای محاسبه ثابتهای سینتیک لازم است، ثابتهای جذب و واجذب را نمی توان بصورت مستقل اندازه گیری کرد. بنابراین در اینجا از روشی که توسط چانگ، لو، کوان و وانگ شرح داده شد، برای اندازه

گیری ثابتهای جذب و واجذب سطحی بطور جداگانه استفاده شده است. نمودار  $\theta$  در مقابل  $t$  به دو بخش محدوده ابتدایی واکنش و محدوده انتهایی واکنش تقسیم می‌شود. آنالیز داده‌های رگراسیون خطی که از مرحله ابتدایی جمع‌آوری شده شیب  $K_0$  را نتیجه خواهد داد که سرعت اولیه جذب سطحی نامیده می‌شود و تقاطع داده‌ها با محور عمودی در مرحله بعدی کسر پوششی تعادلی  $\theta_e$  را می‌دهد.

$$\theta = K_0 t \quad (25-2)$$

$$\theta = \theta_e \quad (26-2)$$

با ترکیب دو معادله بطوریکه  $t_{ie}$  زمان تعادلی اولیه می باشد.

$$t_{ie} = \frac{\theta_e}{K_0} \quad (27-2)$$

با قرار دادن  $\theta$  از معادله ۲۵-۲ در ۲۳-۲ و ۲۴-۲ خواهیم داشت:

$$r_a = K_a C(1 - K_0 t) \quad (28-2)$$

$$r_a = K_d K_0 t \quad (29-2)$$

اگر در هنگام تعادل  $r_a$  و  $r_d$  با هم مساوی باشند داریم:

$$K_a C(1 - K_0 t) = K_d K_0 t \quad (30-2)$$

کسر پوششی تعادلی  $(\theta_e)$  را می توان به صورت ریاضی بیان کرد:

$$\theta_e = \int_0^{t_{ie}} (r_a - r_d) dt \quad (31-2)$$

با جایگزینی  $\alpha$  و  $\tau_d$  از معادلات ۲۸-۲ و ۲۹-۲ خواهیم داشت:

$$\theta_e = \int_0^{t_{ie}} [K_a C (1 - K_0 t) - K_d K_0 t] dt \quad (32-2)$$

پس از انتگرالگیری معادله را مرتب کرده و با جایگزینی  $K_a C$  از معادله ۳۰-۲ معادله زیر را نتیجه می‌دهد:

$$\theta_e = \frac{1}{2} K_a C t_{ie} \quad (33-2)$$

$$\theta_e = \frac{1}{2} K_d \frac{K_0 (t_{ie})^2}{1 - K_0 t_{ie}} \quad (34-2)$$

همچنین با ترکیب معادله ۲۷-۲ با ۳۳-۲ و ۳۴-۲،  $K_a$  و  $K_d$  به فرم زیر بیان می‌شوند:

$$K_a = \frac{2K_0}{C} \quad (35-2)$$

$$K_d = \frac{2(1 - K_0 t_{ie})}{t_{ie}} \quad (36-2)$$

می‌توان انرژی فعال سازی جذب و واجذب سطحی را جداگانه با استفاده از معادله آرنیوس اندازه گیری کرد:

$$K_a = A e^{(-E_a/RT)} \quad (37-2)$$

$$K_d = A e^{(-E_d/RT)} \quad (38-2)$$

به طوریکه:

$$E_b \text{ و } E_a = \text{انرژی فعال سازی جذب و دفع سطحی است}$$

$$A = \text{فاکتور فرکانس}$$

R = ثابت عمومی گازها

T = دمای مطلق

## ۲-۹-۲- پارامترهای ترمودینامیک

برای توضیح اثر جذب می توان از پارامترهای ترمودینامیکی مانند تغییرات در انرژی آزاد گیبس ( $\Delta G$ )، آنتالپی استاندارد ( $\Delta H$ ) و آنتروپی ( $\Delta S$ ) استفاده کرد، که طبق روابط زیر محاسبه می شوند:

$$\Delta G = -RT \ln K_{ad} \quad (۳۹-۲)$$

بطوریکه:

$K_{ad}$  = ثابت تعادلی جذب سطحی (از مدل لانگمویر)

T = دمای مطلق

R = ثابت عمومی گازها

ارتباط بین  $K_{ad}$  و پارامترهای ترمودینامیک  $\Delta H$  و  $\Delta S$  توسط معادله وانت هوف بیان می شود:

$$\ln K_{ad} = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (۴۰-۲)$$

مقدار مثبت  $\Delta H$  بیانگر طبیعت گرماگیر فرآیند جذب سطحی و مقدار منفی آن طبیعت گرمازای فرآیند را نشان می دهد. مقدار منفی  $\Delta G$  بیانگر خودبخودی بودن فرآیند جذب سطحی و مقدار مثبت  $\Delta S$  افزایش بی نظمی را در رویارویی دو فاز جامد- محلول در طول فرآیند جذب سطحی را نشان می دهد.

# فصل سوم

تولید نانو پرلیت و نانو پرلیت مغناطیسی

امروزه در پساب بسیاری از صنایع موجود، ته رنگ چهره ناخوشایندی را برای رودخانه ها و دیگر اکوسیستم های طبیعی ایجاد نموده است. این پساب های رنگی که غالباً رنگهای آلی هستند ، حاصل از فرآیند های صنعتی صنایع نساجی ، کاغذ سازی ، پلاستیک سازی ، چرم سازی ، صنایع غذایی و بهداشتی و کارخانجات فرآوری مواد معدنی هستند [۶۳].

در نتیجه بخش بزرگی (حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد) از مواد رنگزای مورد استفاده در صنایع نساجی در پساب این صنایع ظاهر می گردد. اکثر این ترکیبات، حتی در غلظت های کم بسیار سمی و خطرناک هستند. هرچند که بخش بزرگی از این مواد در فرآیندهای مختلف تصفیه پساب حذف می گردند، ولی بخش ناچیزی از آنها در پساب باقی خواهد ماند که البته در این حد نیز بسیار خطرناک بوده و باید حذف گردند. یکی از روش های مناسب جهت حذف این مواد استفاده از جاذب ها و فرآیند جذب سطحی فیزیکی است که در صورت استفاده از انواع طبیعی آن امکان دفع مناسب تر آنها وجود خواهد داشت. در تحقیق حاضر دو نوع ماده طبیعی کلسیت و پرلیت، به عنوان جاذب، انتخاب گردیده اند و توانایی آنها در حذف رنگزای سبز مالاشیت، از خانواده رنگزاهای آلی بازی، که بسیار سمی است، با یکدیگر مقایسه شده است. تحقیقات نشان داده است که pH نقش بسیار موثری در انتخاب این دو جاذب و برتری یکی بر دیگری در فرآیند جذب سطحی و همچنین امکان احیای این جاذب ها دارد [۶۴].

در خروجی پساب های نساجی علاوه بر رنگها ، امکان وجود ترکیبات دیگری چون پلی اکریلات ها ، فسفونات ها و عوامل ضد لخته و ... نیز می باشد که این نوع رنگزاهای آلی علاوه بر این آلودگیها ، ممکن است تجزیه شوند و ترکیبات سرطانونا و سمی تولید کنند [۶۵].

جهت حفظ تعادل اکولوژیکی ، رنگبری از این پساب ها همچنین حذف آلاینده های سمی از خروجی پساب در حد استاندارد برای این صنایع امری اجتناب ناپذیر است ، لذا حذف رنگ و میزان حذف این آلاینده ها مهم می



باشد. حذف رنگ ها ی آلی به جهت ساختار پیچیده مولکولی و پایداری در مقابل نور، گرما و تجزیه بیولوژیکی، با روش های معمول تصفیه پساب ، به آسانی امکان پذیر نمی باشد [۶۶،۶۵].

در چند دهه ی اخیر محققین تلاش های بسیاری در جهت حذف این رنگ ها ی آلی از پساب صنایع انجام داده اند که در این راستا از جاذب هایی از جمله کربن فعال ، زئولیت ، پوست پرتقال ، خاک اره ، رس ها و پرلیت ، دیاتومیت ، کائولن ، تفاله زیتون ، چلتوک برنج ، گل قرمز، کلسیت، پرلیت و غیره وجود دارند، اما کار کردن با بسیاری از آنها مقرون به صرفه نیست؛ این در حالی است که جاذب های طبیعی از لحاظ اقتصادی به صرفه هستند و در طبیعت نیز به سهولت حذف می شوند [۶۷،۶۸].

در چند دهه ی اخیر کربن فعال بعنوان رایج ترین و قوی ترین جاذب بوده ولی بدلیل گرانی و مشکلاتی که در تهیه آن موجود می باشد محققان را به آن وا داشت که جاذب های دیگری را جایگزین کنند که علاوه بر کارایی مناسب ، ارزانتر بوده و در دسترس باشد [۶۳،۶۹].

هدف از این تحقیق بررسی پتانسیل جذب سطحی پرلیت به عنوان یک ماده معدنی و جاذب طبیعی است که کارایی بالایی در جهت حذف انواع آلاینده های آلی، به خصوص ترکیبات رنگی و فلزات سنگین نشان داده است و تحقیقات گسترده ای در زمینه استفاده از آن انجام پذیرفته است. از طرف دیگر با ورود به عرصه نانو می توان نسبت سطح به جرم جاذب را به میزان گسترده ای افزایش داد و در ضمن با عنایت به تغییر پاره ای از خواص مواد در این محدوده، استفاده از پرلیت در اندازه های نانومتری امکانات جدیدی را در جهت افزایش پتانسیل حذف جاذب فراهم می آورد لذا در ابتدا نانو فناوری را توضیح و سپس به بررسی تولید نانو پرلیت می پردازیم.

### ۲-۳ - نانو مواد، نانو پودرها و روش تهیه آنها

#### ۱-۲-۳- نانوفناوری

نانوفناوریتولید کارآمد مواد و دستگاهها و سیستمها با کنترل ماده در مقیاس طولی نانومتر، و بهره برداری از خواص و پدیده های نوظهوری است که در مقیاس نانو توسعه یافته اند.

#### ۲-۲-۳ - نانو مواد

یک نانومتر یک میلیاردم متر ( $10^{-9}m$ ) است. این مقدار حدوداً چهار برابر قطر یک اتم است. مکعبی با ابعاد  $2/5$  نانومتر ممکن است حدود  $1000$  اتم را شامل شود. کوچکترین IC های امروزی با ابعادی در حدود  $250$  نانومتر در هر لایه به ارتفاع یک اتم، حدود یک میلیون اتم را در بردارند. در مقایسه یک جسم نانومتری با اندازه های حدود  $10$  نانومتر، هزار برابر کوچکتر از قطر یک موی انسان است.

امکان مهندسی در مقیاس مولکولی برای اولین بار توسط ریچارد فاینمن (R.Feynman)، برنده جایزه نوبل فیزیک، مطرح شد [۷۰]. فین من طی یک سخنرانی در انستیتو تکنولوژی کالیفرنیا در سال ۱۹۵۹ اشاره کرد که اصول و مبانی فیزیک امکان ساخت اتم به اتم چیزها را رد نمی کند. وی اظهار داشت که می توان با استفاده از ماشین های کوچک ماشین هایی به مراتب کوچک تر ساخت و سپس این کاهش ابعاد را تا سطح خود اتم ادامه داد. همین عبارت های افسانه وار فاینمن من راهگشای یکی از جذاب ترین زمینه های نانو تکنولوژی یعنی ساخت روبات هایی در مقیاس نانو شد. در واقع تصور در اختیار داشتن لشکری از نانوماشین هایی در ابعاد میکروب که هر کدام تحت فرمان یک پردازنده مرکزی هستند ، هر دانشمندی را به وجد می آورد.

در رویای دانشمندانی مثل جی استورس هال (J.Storrs Hall) و اریک درکسلر (E.Drexler) این روبات ها یا ماشین های مونتاژکن کوچک تحت فرمان پردازنده مرکزی به هر شکل دلخواهی درمی آیند. شاید در آینده ای نه چندان دور بتوانید به کمک اجرای برنامه ای در کامپیوتر، تختخوابتان را تبدیل به اتومبیل کنید و با آن به محل کارتان بروید [۷۱].

در مقیاس نانو خواص موجی شکل (مکانیک کوانتومی) الکترونیهای داخل ماده و اثر متقابل اتمها با یکدیگر از جابجایی مواد در مقیاس نانومتر اثر می پذیرند. با تولید ساختارهایی در مقیاس نانومتر، امکان کنترل خواص ذاتی مواد از جمله دمای ذوب، خواص مغناطیسی، ظرفیت بار و حتی رنگ مواد بدون تغییر در ترکیب شیمیایی بوجود می آید. استفاده از این پتانسیل به محصولات و تکنولوژیهای جدیدی با کارایی بالا منتهی می شود که پیش از این میسر نبود. نظام سیستماتیک ماده در مقیاس نانومتری، کلیدی برای سیستمهای بیولوژیکی است. نانوتکنولوژی به ما اجازه می دهد تا اجزاء و ترکیبات را داخل سلولها قرار داده و مواد جدیدی را با استفاده از روشهای جدید خود\_اسمبلی بسازیم. در روش خود\_اسمبلی به هیچ روبات یا ابزار دیگری برای سرهم کردن اجزاء نیازی نیست. این ترکیب پر قدرت علم مواد و بیوتکنولوژی به فرایندها و صنایع جدیدی منتهی خواهد شد. ساختارهایی در مقیاس نانو مانند نانوذرات و نانولایه ها دارای نسبت سطح به حجم بالایی هستند که آنها را برای استفاده در مواد کامپوزیت، واکنشهای شیمیایی، تهیه دارو و ذخیره انرژی ایده ال می سازد. سرامیک های نانو ساختاری غالباً سخت تر و غیر شکننده تر از مشابه مقیاس میکرونی خود هستند. کاتالیزورهای مقیاس نانو راندمان واکنشهای شیمیایی و احتراق را افزایش داده و به میزان چشمگیری از مواد زائد و آلودگی آن کمی کنند. وسایل الکترونیکی جدید، مدارهای کوچکتر و سریعتر و ... با مصرف خیلی کمتر می توانند با کنترل واکنش ها در نانو ساختار بطور همزمان بدست آیند. اینها تنها اندکی از فواید و مزایای تهیه مواد در مقیاس نانومتر است. مفهوم جدید نانوتکنولوژی آنقدر گسترده و ناشناخته است که ممکن است روی علم و تکنولوژی در مسیرهای غیرقابل پیش بینی تأثیر بگذارد.

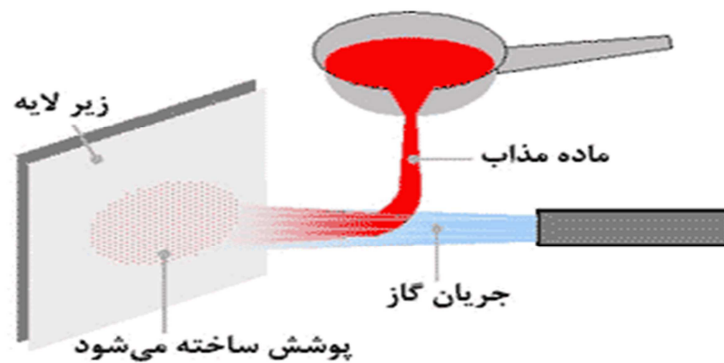
محصولات موجود نانوتکنولوژی عبارتند از:

مواد جاذب در مقیاس نانو جهت تصفیه ( آب ، پساب ، خاک و هوا) ، لاستیکهای مقاوم در برابر سایش که از ترکیب ذرات خاک رس با پلیمرها بدست آمده اند، شیشه هایی که خودبخود تمیز میشوند، مواد دارویی که در مقیاس نانو ذرات درست شده اند، ذرات مغناطیسی باهوش برای پمپهای مکنده و روان سازها، هد دیسکهای لیزری و مغناطیسی که با کنترل دقیق ضخامت لایه ها از کیفیت بالاتری برخوردارند، چاپگرهای عالی با استفاده از نانو ذرات با بهترین خواص جوهر و رنگ دانه و مثال های متعدد دیگر .

### ۳-۲-۳ - روش های تولید نانو مواد

#### ۳-۲-۳-۱- روش پاشش حرارتی

هنگامی که قصد داریم دو قطعه پلاستیکی را به همبچسبانیم آسان‌ترین راه (بدون استفاده از وسایل جانبی مانند چسب) ذوب کردن یک قطعه و فشردن آن روی قطعه دیگر است. (شکل ۱-۳)



شکل ۱-۳ شماتیکی از روش پاشش حرارتی

برای تولید پوشش هم می‌توانیم همین عمل را با کمی تغییر انجام دهیم. در این حالتاز پودر برای تولید پوشش استفاده می‌شود. به این صورت که پودر را با قدرت به سمتقطعه مورد نظر می‌پاشیم و در مسیر پاشش، پرتو لیزر را قرار می‌دهیم. پرتو لیزر باسرعت و قدرت زیاد محیط را گرم می‌کند و باعث می‌شود پودر در مسیر به صورت مذابدرآید. وقتی پودر با سطح تماس پیدا می‌کند، به علت اختلاف دما، پس از برخورد سریعاًسرد می‌شود و پوشش نانوساختار را شکل می‌دهد

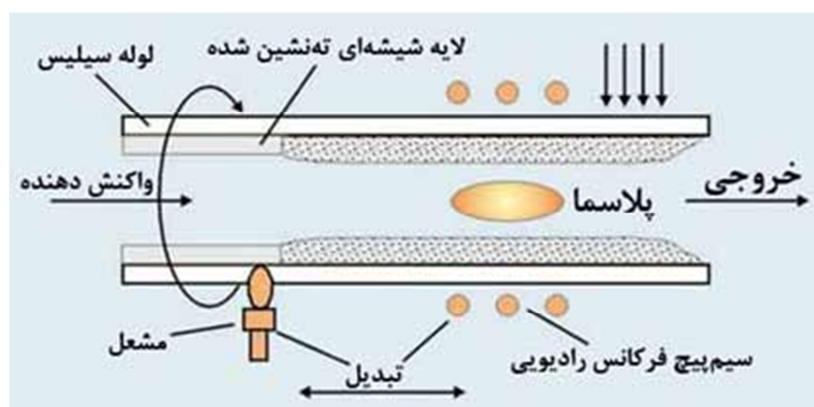
### ۳-۲-۲-۲- قوس پلاسما

پلاسما، گازی است که به یون تبدیل شده است. با اعمال یک اختلاف پتانسیل الکتریکی میان دو الکترود در محیطی که گاز در آن جریان دارد، مولکول های گاز، الکترون را از دست داده و یونیزه می شوند و در نتیجه امکان هدایت الکتریکی گاز از این طریق فراهم می گردد. در یک خلأ یا در محیطی که یک گاز بی اثر در آن جریان دارد، الکترود ها را می توان طوری ساخت که فرار باشند. در اثر گرمای تولید شده، الکترود ها و یا حتی سایر مواد را میتوان تبخیر و یا یونیزه کرد. قوس پلاسما در تشکیل نانو تیوبهای کربنی، تکنیک بسیار مهمی می باشد. یونیزاسیون در شعله یک تغییر بعمل آمده در قوس پلاسما است. هر گاه ماده ای تحت تاثیر دماهای فوق العاده بالا به صورت ذرات بسیار کوچک به درون شعله پاشیده پاشیده شود، یونها پدید می آیند که آنها را می توان جمع آوری نمود و به شکل نانو کریستال بر روی یک سطح رسوب گذاری نمود [۷۲].

محصول نانو تیوب، رسوب متراکم، فشرده و به هم پیوسته ای است که بر روی کاتد نشسته و ریخت شناسی میله ای شکلی دارد. در صورتی که کبالت به آن اضافه شود، ساختاری به صورت تار عنکبوت با رشته های تابیده یک میلیمتری یا همین ضخامت پدید می آید که از کاتد به سمت دیواره های ظرف واکنش کشیده می شوند. ساختار تار مانند شامل رشته هایی از نانو تیوب های تک دیواره است که از طریق این روش تولید می شود [۷۳، ۷۴].

### ۳-۲-۳-۳ - روش رسوب‌دهی شیمیایی فاز بخار (CVD)

فرآیند CVD در فاز گازی انجام می‌شود. یعنی مواد واکنش‌زا گاز هستند و فرایندهای شیمیایی بین گازها صورت می‌گیرد. ماده آنقدر گرم می‌شود تا بصورت گاز در بیاید در نتیجه گازها از یک دریچه وارد می‌شوند و بعد از رسوب بر روی یک زیرلایه، به‌صورت شیمیایی واکنش می‌دهند. معمولاً تحت خلاء رسوب‌گذاری تحت خلأ می‌شود. (شکل ۲-۳)



شکل ۲-۳-۳-۳ شماتیکی از روش CVD [۷۵].

این روش لایه‌نشانی ممکن است از طریق چند نوع واکنش شیمیایی انجام شود:

الف- پیرولیز که در آن از دمای زیاد برای تجزیه ماده استفاده می‌شود.

ب- فوتولیز که در آن از نور فرابنفش یا فرورسرخ (زیر قرمز) برای تجزیه ترکیب‌های گازی استفاده می‌شود. به خاطر دمای بالای فرآیند، لایه به سطح ماده نفوذ می‌کند و تشکیل یک لایه نازک آلیاژی می‌دهد. به عنوان مثال، مبنای این روش را می‌توان به صورت ذیل شرح داد؛ ماده مورد نظر با یک گاز یا بخار مخلوط می‌شود تا ترکیب فرآری ایجاد شود. این ماده فرآر به سطح زیرلایه منتقل و به خاطر گرمای زیاد روی زیرلایه نشاندگی می‌شود و پس از سرد شدن تشکیل یک لایه جامد نازک را می‌دهد [۷۵].

### ۳-۲-۳-۴- روش رسوب‌دهی فیزیکی بخار

واضح است که در اثر گرم کردن ماده (جامد یا مایع) اتم‌ها یا مولکول‌ها از روی سطح آزاد می‌شوند. برای آنکه مولکولی بتواند سطح خود را ترک کند، باید مؤلفه عمودی نیرو که نتیجه حرارت است بزرگتر از نیروی جاذبه بین مولکولی باشد. پس با افزایش دما تعداد ذره‌هایی که از سطح کنده می‌شوند افزایش می‌یابد. وقتی اتم‌های کنده شده از سطح به مقدار معینی رسیدند، واکنش‌های شیمیایی در حالت بخار صورت می‌گیرند. بعد از آن بخار سرد می‌شود و یک لایه نازک روی سطح ایجاد می‌گردد. در روش‌های رسوب‌نشانی، به علت وجود انواع روش‌های تبخیر، روش‌های مختلفی برای پوشش‌دهی داریم. اما برای اغلب مواد فقط یک روش تبخیر بهینه وجود دارد. تبخیر بهینه به روش تبخیر، دمای تبخیر و سرعت تبخیر مربوط می‌شود و درجه خلوص لایه نیز وابسته به سیستم تبخیر است.

روش‌های مختلف تبخیر عبارت‌از گرم کردن مقاومتی مستقیم، گرم کردن به وسیله باریکه الکترونی، روش جرقه‌ای و غیره هستند.



### ۳-۲-۳-۵- لایه‌نشانی الکترولیتی کاتد

برای تولید پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی، استفاده از اکسید همان فلز ساده‌ترین نوع پوشش است. اکسایش کاتد عموماً در تهیه لایه‌های اکسیدهای فلزهای معینی مثل آلومینیوم به کار می‌رود. قطعه‌ای کهمی خواهد پوشش داده شود، به قطب کاتد وصل می‌شود و در محلول الکترولیت قرار می‌گیرد. در این حالت اکسیژن‌های موجود در الکترولیت را جذب می‌کند. یون‌ها از میان‌لایه‌ای که اکسیده شده است به وسیله یک میدان الکتریکی تقویت و با اتم‌های قطعه فلزی ترکیب می‌شود و مولکول‌های اکسید را روی سطح تشکیل می‌دهد. معمولاً از نمک‌های مذاب مختلف، یا در برخی موارد از اسیدها، به عنوان الکترولیت استفاده می‌شود. از نکاتی که باید مورد توجه قرار گیرد، ماده الکترولیت است. بعضی از الکترولیت‌ها فوراً اکسید تشکیل شده را در خود حل می‌کنند و در لایه ایجاد شده تداخل ایجاد می‌نمایند. نمونه‌ای از این روش، اکسید شدن آلومینیوم در اسید سولفوریک یا سیترا آمونیوم است. این محلول‌ها روی اکسید هیچ اثر حلالیتی ندارند. بنابراین، با رسیدن به یک ضخامت مشخص (با ولتاژ ثابت) اکسایش متوقف می‌شود. در سطح فلزهایی مانند آلومینیوم، ضخامت لایه نازک حدود سه چهار نانومتر است.

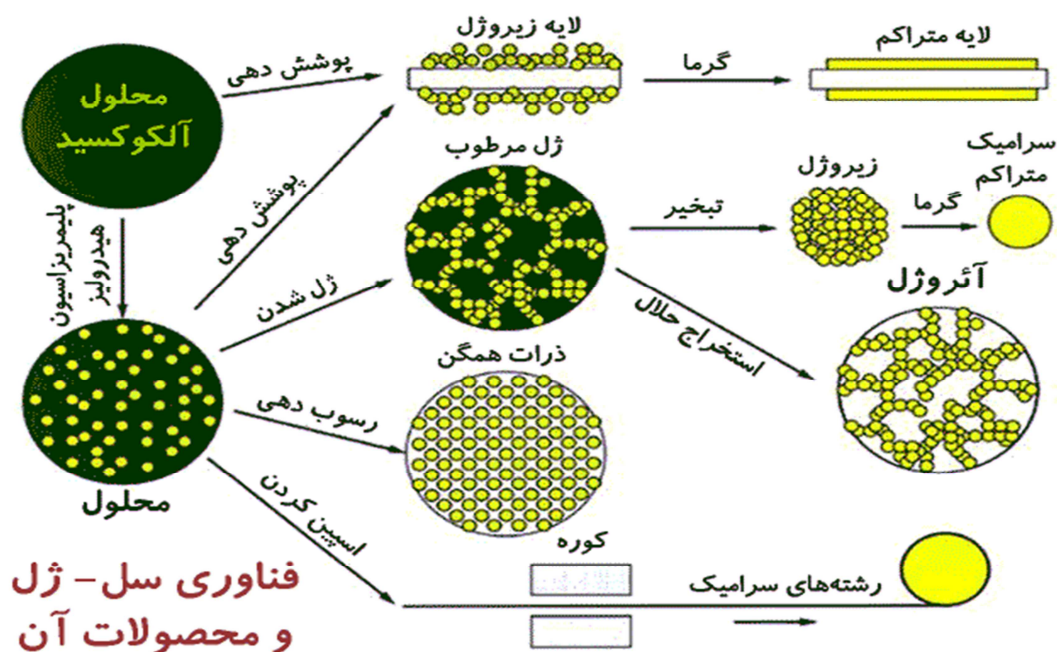
### ۳-۲-۳-۶- روش سل - ژل

سل \_ ژل عبارت است از یک فرآیند خود آرایی، خود بهم پیوستگی یا خود انباشتگی که در آن نانو مواد تشکیل می شوند. کلئیدها، مخلوطهای معلق جامد در مایع (سوسپانسیون) میباشند که دارای مولکول هایی با ابعاد فوق در یک حلال می باشند. در نتیجه، ذرات کلئید از مولکولهایی با ابعاد معمولی یا نانو ذرات بسیار بزرگتر از مولکول هستند، اما هنوز آنقدر بزرگ نشده اند که آنها را بتوان با یک مسکروسکوپ نوری مشاهده نمود. در هر صورت، آنها وقتی با یک مایع مخلوط می شوند اغلب بصورت ابری یا حتی شیری به نظر می رسند، در حالی که مولکولهای نانو سائز در محلول همیشه شفاف دیده می شوند. کلئیدی که در یک مایع معلق شده است سل نامیده می شود. سوسپانسیونی که شکل خودش را حفظ می کند، ژل نامیده می شود. در نتیجه، سل - ژل سوسپانسیونهایی از کلئیدها در مایعات می باشند که شکل خود را نگه می دارند.

این فرایند، همانطور که از اسمش پیداست مستلزم، تکمیل تدریجی شبکه ها از طریق تشکیل یک سوسپانسیون کلئیدها (سل) و ژله ای شدن، سل برای تشکیل در یک فاز مایع پیوسته (ژل) می باشد.

پیش ماده های لازم برای سنتز این کلئیدها، عموماً شامل یونهایی از یک فلز است اما گاهی اوقات سایر عناصر از طریق گونه های فعالی که لیگاند نامیده می شود، احاطه شده اند. در این روش در واقع از اصل محلول سازی و رسوبدهی جامدات در مایعات با استفاده از تغییر پارامترهایی مثل دما استفاده می کنیم و محصولاتی مثل پوشش و پودر را به دست می آوریم. برای این کار، ابتدا از ماده ای که می خواهیم پوشش دهیم یک محلول تهیه می کنیم و بعد با حرارت دادن این محلول آن را تبدیل به یک ماده ژلاتینی می نماییم. با ادامه حرارت دادن، مواد معلق در محلول را روی ماده پذیرنده پوشش رسوب می دهیم. حال این رسوب می تواند به صورت یک لایه پیوسته باشد که در آن صورت یک لایه نانومتری تشکیل می شود، یا اگر ضخامت این لایه از ۱۰۰ نانومتر بیشتر باشد، به علت اینکه از ذرات نانومتری تشکیل شده است، یک لایه نانوساختار است. اما باید دقت کرد که دما و سرعت حرارت دهی و... ممکن است باعث شود که به جای یک لایه پیوسته، مجموعه ای از ذرات

تشکیل دهنده لایه به صورت پودر تشکیل شوند. البته باید یادآور شد که پوشش‌هایی که از این روش تولید می‌شوند دارای تخلخل‌هایی هستند که خواص آنها را ضعیف می‌کند. در شکل (۳-۳) نمایی از تولید محصولات به روش سل - ژل را مشاهده می‌کنید [۷۶].



شکل ۳-۳ محصولات قابل تولید با فرایند سل ژل [۷۶].

از این روش در تولید فلزات بلور ساختار استفاده می‌شود که به آن روش بلور مایع می‌گویند. این بسط و توسعه مستلزم انحلال فلزات و حفظ دوباره ی الگوهای ساختار بلور مایع می‌شود [۷۷]. این روش اهمیت بسیاری دارد زیرا کاتالیست های فلزی از جمله پلاتین ( Pt ) و پالادیوم ( Pd ) و نانو کریستال نیکل-فريت روی [۷۸] را شامل می‌شود که با این روش تولید شده اند.

### ۳-۲-۳-۷- رسوب گذاری الکتریکی

رسوب گذاری الکتریکی برای ساخت مواد پوشش داده شده با لایه ی نازکی از فلزات به طریقه ی الکتریکی، به کار رفته است. وزن ماده منتقل شده را از طریق قانون فارادی در الکترولیز می توان بدست آورد.

رسوب گذاری الکتریکی را می توان برای پر کردن سوراخها ، حفرات و یا تخلخل های موجود در مواد به کار برد تا بدین ترتیب بتوان، نانو مواد را ساخت. نانو حفره ها یا ناو سوراخ ها به طور استراتژیکی یا فنی در غشا ها ، جای گرفته اند. این دسته از مواد با بمباران یک ورقه ی پلیمری از طریق یون ها ی سنگین پر انرژی به وسیله ی یک شتاب دهنده یا ( سیکلوترون ) شروع به کار نموده اند. یون های سنگین از میان ورقه ها می گذرند و بر روی مسیر حرکت خود، اثر حروف را بر جای می گذارند. اصلاح شیمیایی سطوح یا عملیات شیمیایی بر روی سطوح به منظور هدایت این تأثیرات بر جای مانده به درون حفرات ( نانو حفرات) با قطری در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر به کار می رود. پر کردن نانو سوراخ ها در غشا های پلیمری با ترکیبات مختلفی از فلزات ، نانو کامپوزیت ها را که کاربرد های گوناگونی دارند ، تولید می کنند [۷۹].

### ۳-۲-۳-۸ سایش از طریق آسیاب های گلوله ای ، ساچمه ای یا فلزی

در این فرآیند که بهتر است آن را خرد شدن مکانیکی بنامیم ، گلوله های کوچک در درون یک استوانه ی غربال می چرخند و با نیروی ثقل بر روی ماده ی جامد وارد شده سقوط می کنند.سایش از طریق آسیاب شدن گلوله ای ساختار ماده جامد، تا حد نانوکریستال ها ، می شکنند و بسیار ریز می کنند. مهمترین مزیت این روش این است که، آن را می توان براحتی در مقیاس صنعتی ، اجرا و تجاری نمود . نانو تیوب های کربنی از این دسته تولیدات می باشند [۸۰، ۸۱]. همچنین این روش در تهیه انواع نانو تیوب ها مثل نانو تیوب های نیتريد بور و پودر های عنصری و اکسیدی، مفید است [۸۲].

در این پروژه از این روش سنتز نانو مواد استفاده گردیده است که به بررسی آن می پردازیم.

### ۳-۳ - روش تولید نانو پرلیت

#### ۳-۳-۱ - پرلیت

پرلیت نوعی سنگ آتشفشانی با ترکیب اسیدی تا حد واسط است که در محیط آب و یا مرطوب تشکیل می شود. پرلیت دارای بافت شیشه ای است و به سبب همراه داشتن آب، اشکال کروی در آن ایجاد شده است. میزان آب همراه با پرلیت در حدود ۲ تا ۵ درصد است. بعضی از دانشمندان معتقدند پرلیت از هیدراسیون افسدین حاصل گردیده است و آب موجود در آن بصورت مولکولی و هیدروکسیل است [۸]. نسبت مقدار این دو نوع آب در پرلیت به میزان فراوانی اکسید کلسیم و منیزیم در آن بستگی دارد. این ماده معدنی ترکیبی از  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  است. پرلیت ها ناپایدارند و با گذشت زمان شروع به تبلور می کنند و سپس خاصیت اصلی خود را از دست می دهند. بیشتر پرلیت های جهان به دوران سوم و چهارم زمین شناسی تعلق دارند. چنانچه پرلیت آلتره شود به مونتموریونیت، سپس به اوپال و کلسیدنی تبدیل می شود [۸۴].

ترکیب شیمیایی پرلیت چند کشور در جدول زیر آمده است :

جدول ۳-۱ ترکیب شیمیایی پرلیت های چند کشور [ ۸۵ ]

ردیف	اکسیدها	امریکا	یونان	بلغارستان	ژاپن
1	SiO <sub>2</sub>	73.6	74.2	73.8	74.2
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.2	12.3	12.8	12.9
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8	0.95	0.56	0.68
4	TiO <sub>2</sub>	0.07	0.08	0.07	0.06
5	CaO	0.6	0.85	0.5	0.45
6	MgO	0.6	0.13	0.03	0.05
7	Na <sub>2</sub> O	0.1	4	3	4.1
8	K <sub>2</sub> O	0.25	4.4	4.9	4
9	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.3	2.8	4	2.3

مصارف عمده پرلیت در تهیه بتن سبک وزن، به عنوان پرکننده، در سرامیک‌ها، عایق حرارتی و صوتی، کشاورزی ، سرامیک ، به عنوان صافی و ساینده می‌باشد [۶۴].

### ۳-۳-۲ - روش تولید نانو پرلیت

در این پروژه در راستای تولید جاذب معدنی نانو پرلیت ، پرلیت طی فرآیند سایش خشک و تر در سیستم آسیاب ماهواره‌ای مدل EQ-PC1-12 در حد نانو خرد شده و سپس ذرات خروجی از آسیاب، پس از ارزیابی بوسیله دستگاه SEM و مناسب بودن اندازه جهت آماده‌سازی نهایی به خشک‌کن پاششی ارسال می‌شود (ابعاد اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی ( SEM ) در محدوده ۵۰ الی ۲۰۰ نانومتر است.) سپس قطعات درشت از ذرات ریز موجود در مخلوط بوسیله سانتریفوژ مدل Hettich EBA20

جداسازی شد و بخش حاوی نانوذرات با استفاده از خشک کن پاششی خشک گردید و پودر نانوی حاصل جهت فرآیند جذب سطحی در جای خشک نگهداری شد.

۳-۳-۳ - مواد و وسایل:

۳-۳-۳-۱- مواد شیمیایی مورد نیاز

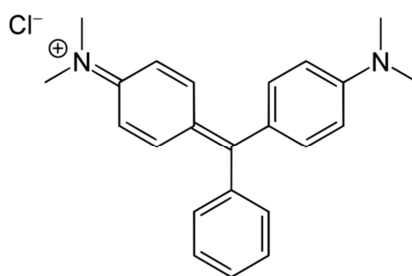
◀ پرلیت تجاری

◀ رنگزای بازی مالاویت گرین که ساختار شیمیایی آن در شکل (۳-۴) نشان داده شده است

◀ آب مقطر

◀ اسید کلریدریک Merck

◀ سود سوزآور Merck



شکل ۳-۴ ساختار شیمیایی رنگزای بازی مالاویت سبز.

۳-۳-۳-۲ - ابزار مورد استفاده

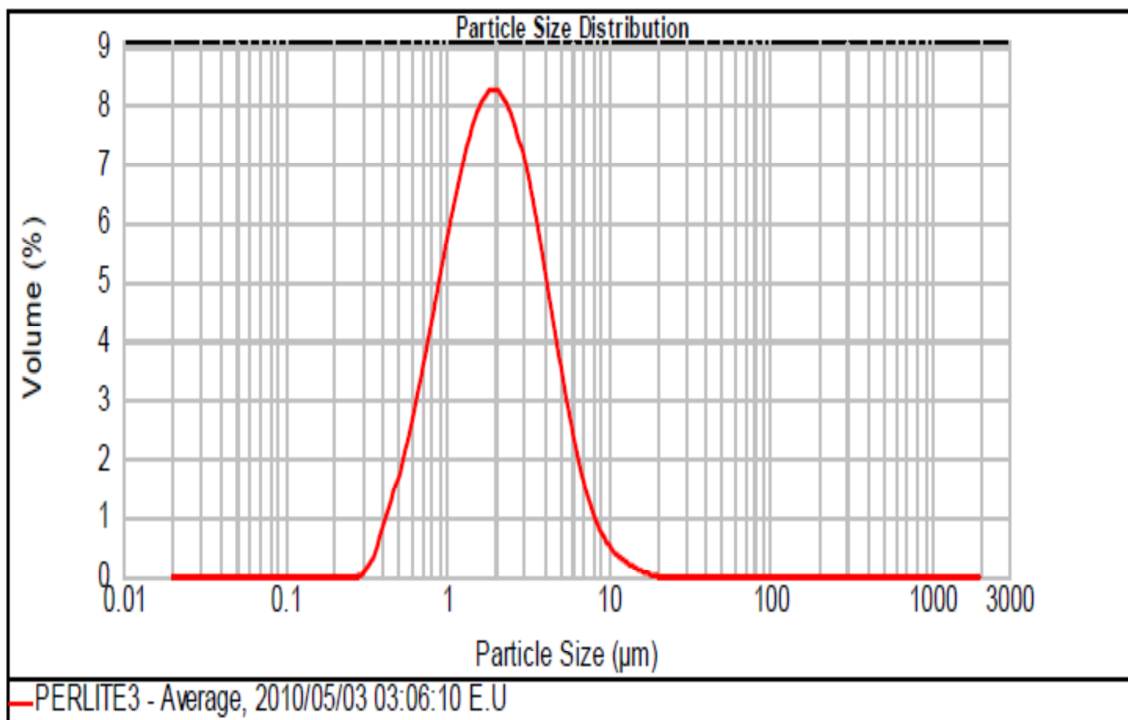


- ◀ دستگاه طیف‌سنج UV/Visible مدل CECIL2021
- ◀ دستگاه سانتریفوژ مدل Hettich EBA20
- ◀ دستگاه صفحه داغ با همزن مغناطیسی
- ◀ دستگاه pH متر مدل Metrohm 713 مجهز به سنسور دما
- ◀ آسیاب ماهواره ای مدل EQ-PC1-12
- ◀ دستگاه خشک کن پاششی مدل BUCHI B-191
- ◀ دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)
- ◀ دستگاه پراش اشعه مجهول (XRD)
- ◀ آون °C ۱۰۰
- ◀ دستگاه آنالیز FTIR
- ◀ دستگاه آنالیز پتانسیل زتا ZPC
- ◀ دستگاه آنالیز AFM
- ◀ دستگاه آنالیز BET
- ◀ دستگاه آنالیز PCA
- ◀ ترازوی چهار رقمی جهت توزین نمونه ها Sartorius-d=0.1 mg, Max 120g .

۳-۳-۴ - آنالیز نمونه ها در راستای تولید نانو پرلیت

### ۱-۴-۳-۳ - آنالیز اندازه ذرات PSA

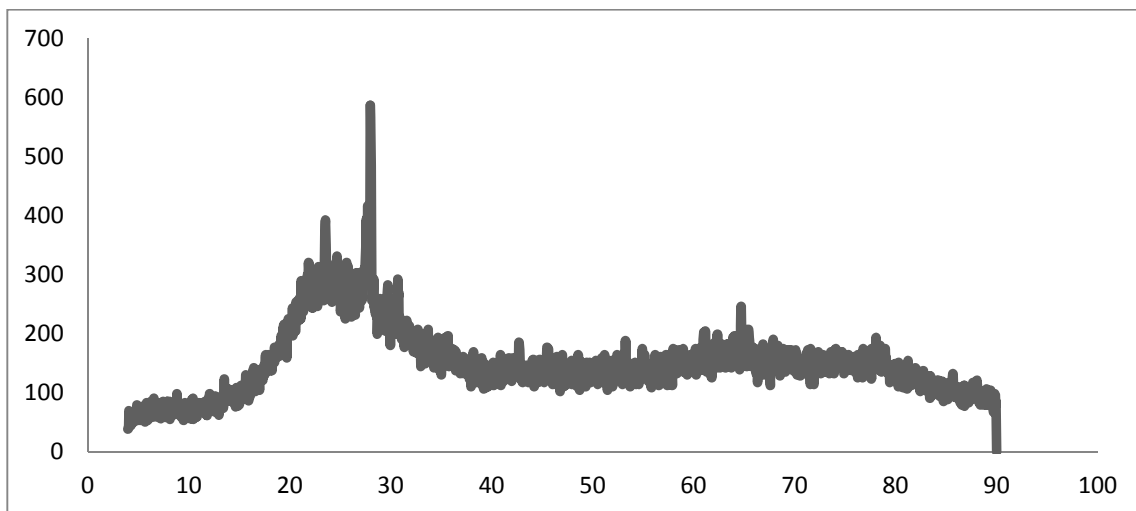
بعد از مرحله ی خشکساز در آسیاب ماهواره ای آنالیز اندازه ذرات گرفته شد که نتایج اولیه به صورت زیر می باشد. همانطور که در شکل زیر دیده می شود در نمونه که بصورت سوسپانسیون تهیه شده بیشترین ابعاد اولیه ذرات در گستره ۱ تا ۵ میکرو متر می باشد (شکل ۱-۳).



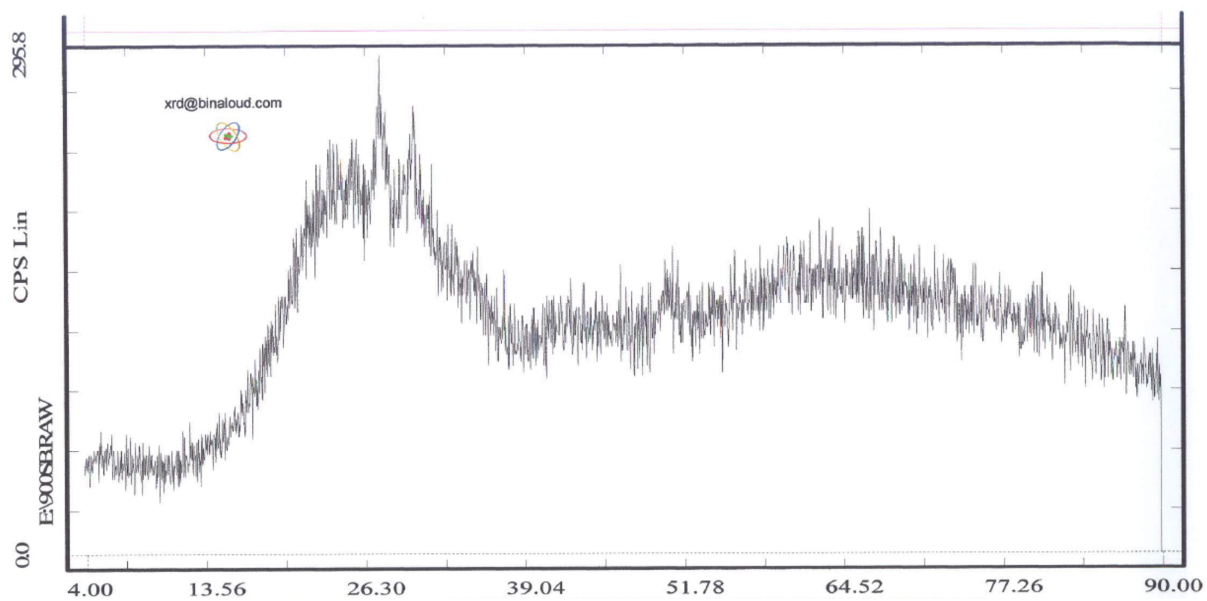
شکل ۱-۳ آنالیز اندازه ذرات

### ۲-۴-۳-۳ - آنالیز XRD

شکل های ۲-۳ ، ۳-۳ بترتیب مربوط به آنالیز XRD پرلیت خام و پرلیت در ابعاد نانو می باشد.



شکل ۲-۳ نمودار پراش اشعه X مربوط به نمونه پرلیت.

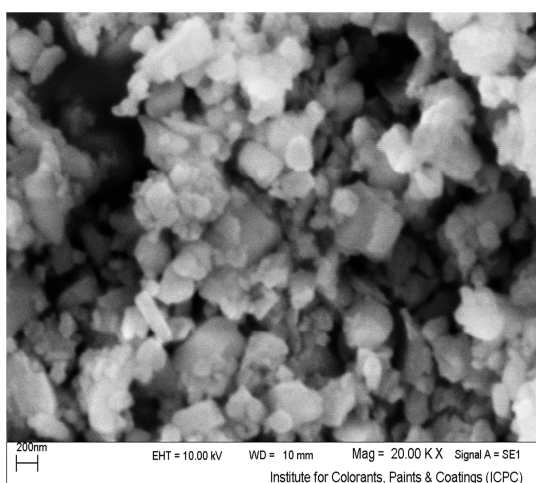


شکل ۳-۳ نمودار پراش اشعه X مربوط به نمونه نانو پرلیت.

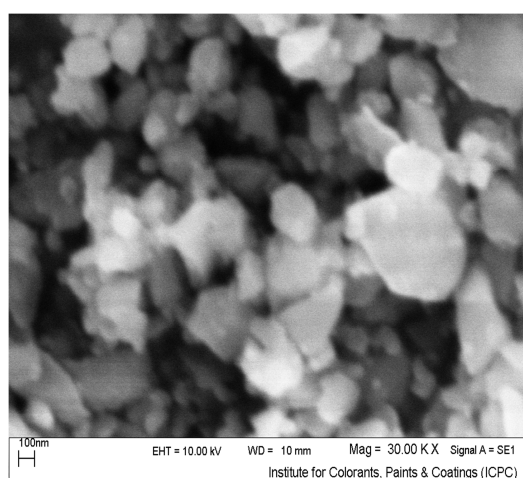
### ۳-۴-۳-۳ آنالیز SEM

تصاویر SEM از سطوح پرلیت در ابعاد نانویی در شکل زیر گرفته شده است (شکل ۴-۳).

همانطور که در تصاویر دیده می شود بیش از ۸۰٪ ابعاد ذرات نانو پرلیت زیر ۱۰۰ نانومتر می باشد.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۴ ابعاد اندازه گیری شده نانو پرلیت تولید شده با استفاده از SEM.

در قسمت (الف) در مقیاس ۲۰۰ نانومتر تصاویر گرفته شده است و در قسمت (ب) در مقیاس ۱۰۰ نانومتر ابعاد ذرات کاملاً مشخص می باشند.

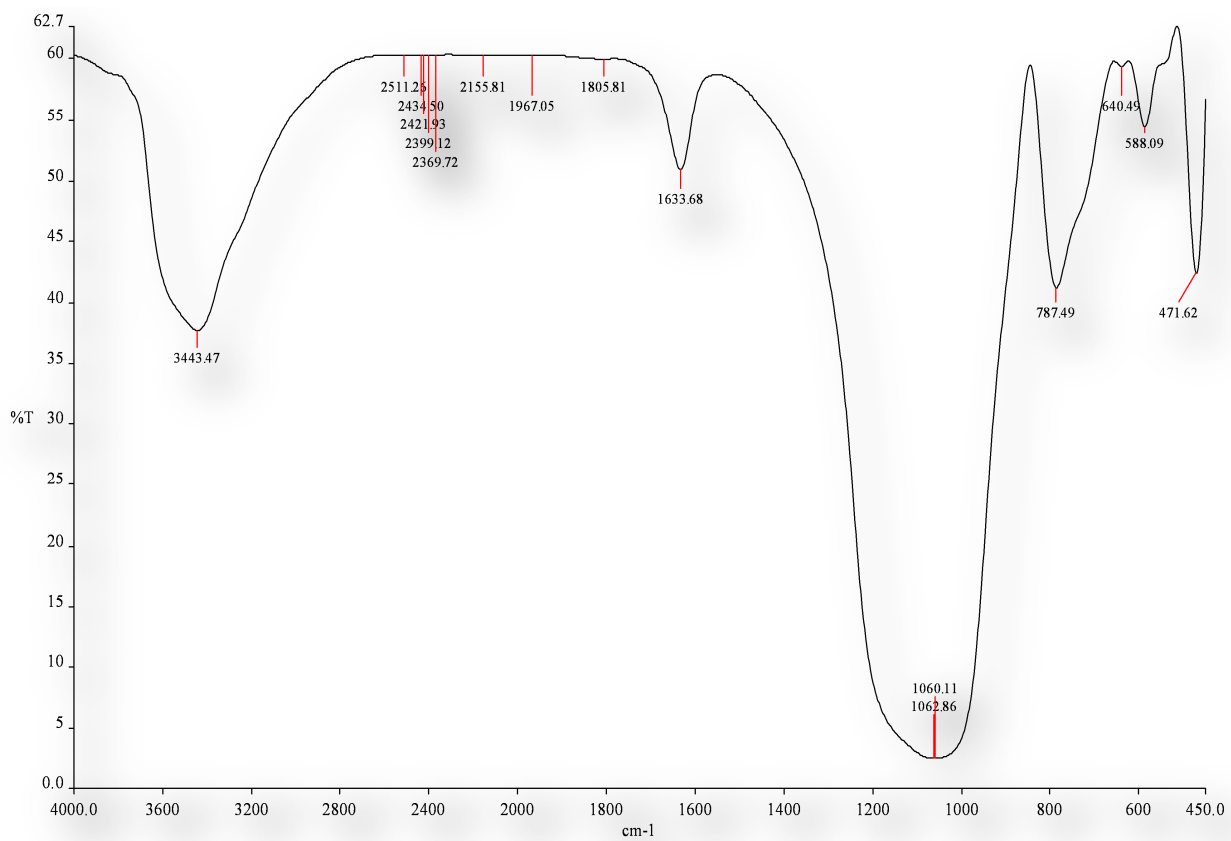
### ۳-۳-۴-۴- آنالیز FTIR

این تست به منظور مشخص کردن خصوصیات سطح جاذب در رنج ۴۵۰ تا  $4000\text{ cm}^{-1}$  صورت پذیرفت که نمونه بصورت سوسپانسیون رقیق آماده گردیده است. در شکل (۳-۵) خصوصیات سطح جاذب در حالت نانو

پرلیت در شکل زیر آورده شده است. موقعیت های پیک برای نانو پرلیت در نقاط :

۱۸۰۵/۸۱، ۱۹۶۷/۰۵، ۲۱۵۵/۸۱، ۲۳۶۹/۷۲، ۲۳۹۹/۱۲، ۲۴۲۳/۹۳، ۲۴۳۴/۵۰، ۲۵۱۱/۲۶، ۳۴۴۳/۴۷  
۴۷۱/۶۲، ۵۸۸/۰۹، ۶۴۰/۴۹، ۷۸۷/۴۹ ، ۱۰۶۲/۸۶، ۱۰۶۰/۱۱، ۱۶۳۳/۶۸،  
شود که در واقع این پیک ها باند های اصلی جذب محسوب می شود.

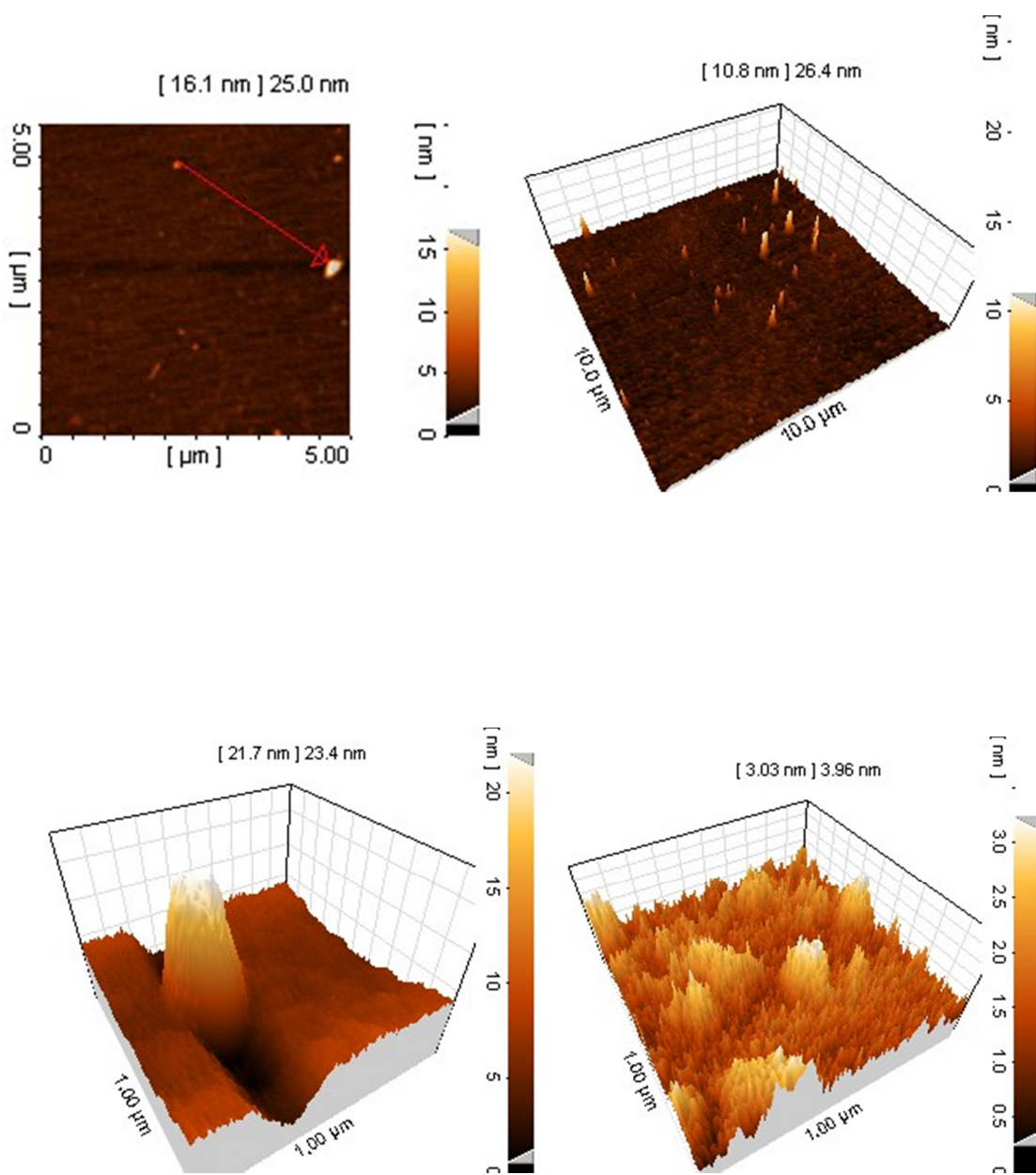
۳۴۴۳/۳۷ مربوط به گروه ازاد سیلانول ( Si-O-H ) ، ۱۶۳۳ /۶۸ مربوط به ارتعاس خمشی پیوند ( H-O-H )  
آب ۱۰۶۲/۸۶ حاصل باز تابیدن گروه سیلوکسان ( Si-O-Si ) و ۷۸۷/۴۹ مربوط به گروه ازاد سیلانول ( Si-O-H )  
(می باشد).



شکل ۳-۵ طیف مربوط به نانو پرلیت

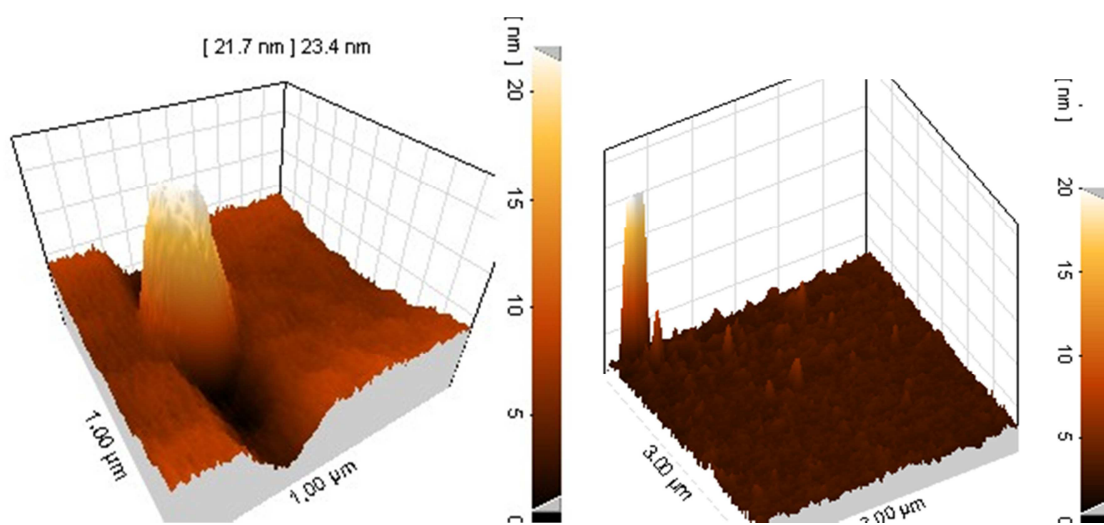
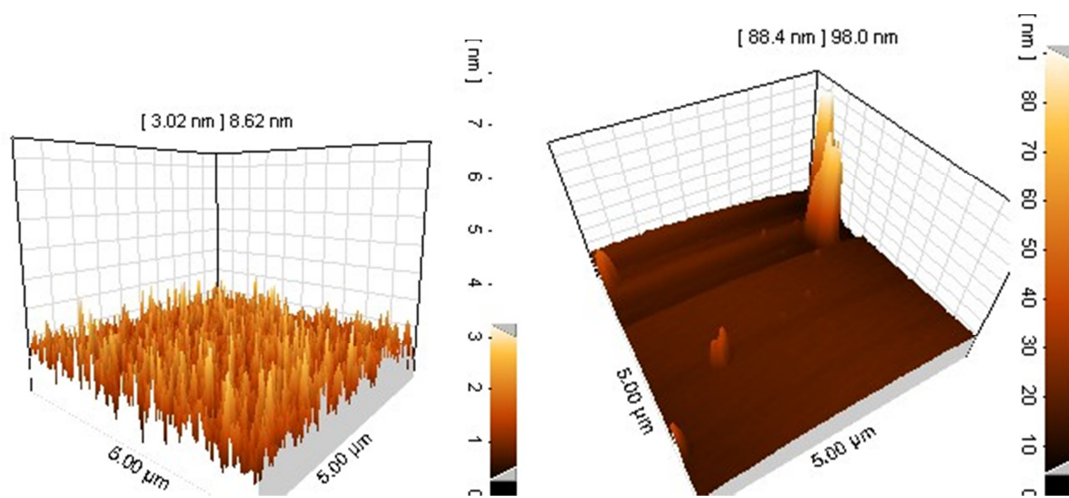
### ۳-۳-۴-۵ - آنالیز AFM

میکروسکوپ اثر نیروی اتمی تصویر توپولوژیکی را از طریق حرکت منظم قلمی نوک تیز به طول  $2 \mu\text{m}$  در رأس یک پایه ی ثابت به شکل میله یا تیرک که در عرض سطحی در درون هوا یا مایع قرار گرفته است نشان می دهد. در شکل (۳-۶) همانطور که مشاهده می شود فرآیند تولید نانو پرلیت با موفقیت انجام گردیده و خاصیت نانو تیوب بودن کاملاً مشهود است و نانو پرلیت با استفاده از این خلل و فرج توانایی جذب بالاتری را از خود نشان می دهد.



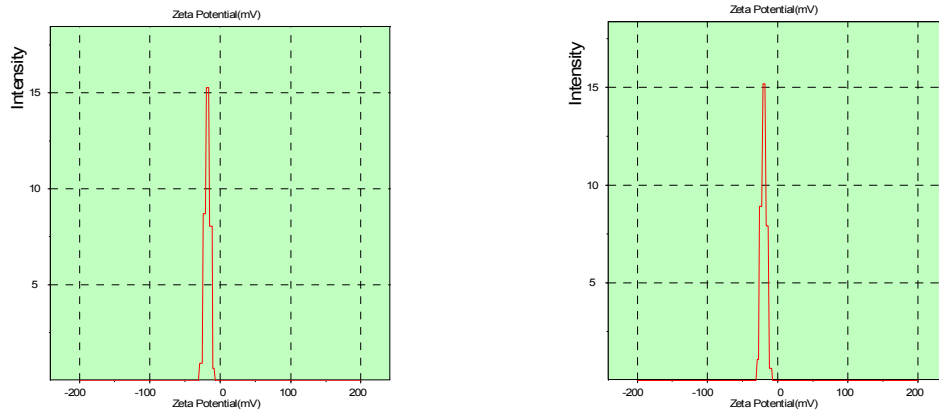
شکل ۳-۶ آنالیز میکروسکوپ اثر نیروی اتمی AFM که در طی آن خلل و فرج موجود در نانو پرلیت کاملاً مشهود است.





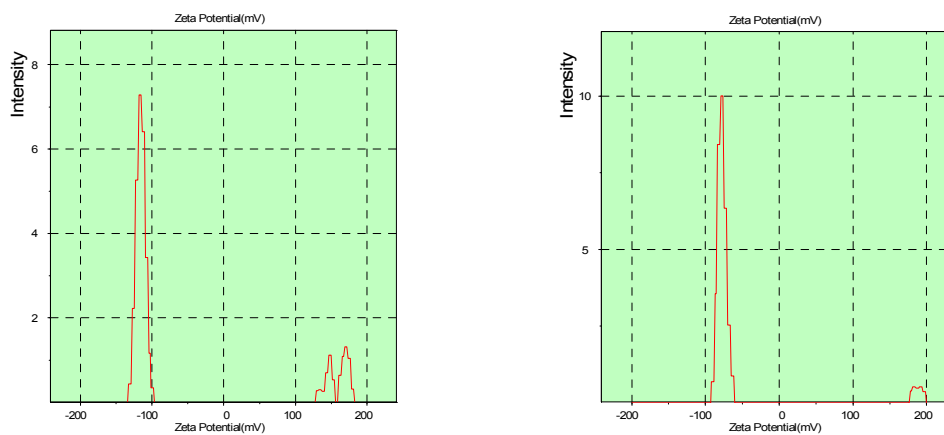
### ۳-۳-۴-۶- آنالیز ZPC

سوسپانسیون محلول پرلیت با آب مقطر را در  $\text{pH}=3$  (اسیدی) تهیه و جهت آنالیز ZPC ارسال می کنیم .  
آزمایشات حاصل از آنالیز ZPC نشان می دهد که میانگین ZPC در  $\text{pH}=3$  در گستره  $2/4$  می باشد.



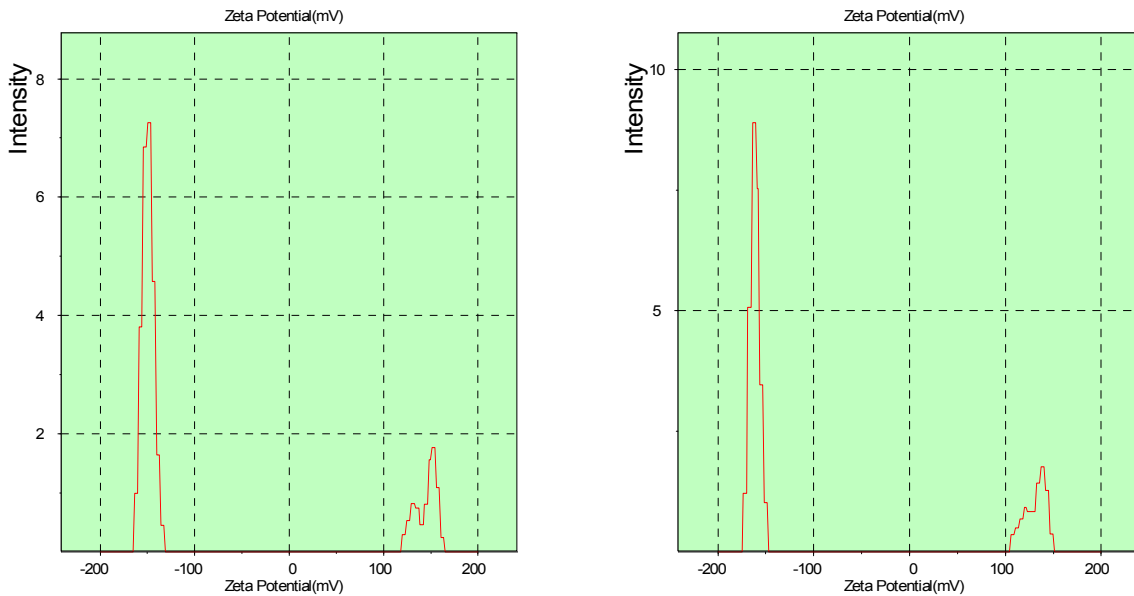
شکل ۳-۷ آنالیز ZPC مربوط به محلول پرلیت در  $\text{pH}=3$

سوسپانسیون محلول پرلیت با آب مقطر را در  $\text{pH}=6$  (ساخته) و جهت آنالیز ZPC ارسال می نمایم . آزمایشات حاصل از آنالیز ZPC نشان می دهد که میانگین ZPC در  $\text{pH}=6$  در گستره  $19/12$  می باشد.



شکل ۳-۸ آنالیز ZPC مربوط به محلول پرلیت در  $\text{pH}=6$

سوسپانسیون محلول پرلیت با آب مقطر را در  $\text{pH}=9$  (بازی) تهیه و جهت آنالیز ZPC ارسال می نمایم. آزمایشات حاصل از آنالیز ZPC نشان می دهد که میانگین ZPC در  $\text{pH}=9$  در گستره ۲۴/۳۶ می باشد.



شکل ۳-۹ آنالیز ZPC مربوط به محلول پرلیت در  $\text{pH}=9$

نتایج حاصل از آنالیزهای ZPC در  $\text{pH}$  های (۳، ۶، ۹) نشان می دهد که در  $\text{pH}$  های اسیدی ZPC به سمت بار خنثی سوق پیدا می کنیم.

### ۳-۴- روش تولید نانو پرلیت مغناطیسی

۳-۴-۱ - مواد و وسایل:

۳-۴-۱-۱ - مواد شیمیایی مورد نیاز

◀ جاذب پرلیت نانویی

◀ رنگزای بازی مالاویت گرین

◀ آب مقطر،

◀ اسید کلریدریک Merck

◀ سود سوزآور Merck

◀  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (Merck) بصورت نیترات

◀  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Merck) بصورت نیترات.

### ۳-۴-۱-۲ - ابزار مورد استفاده

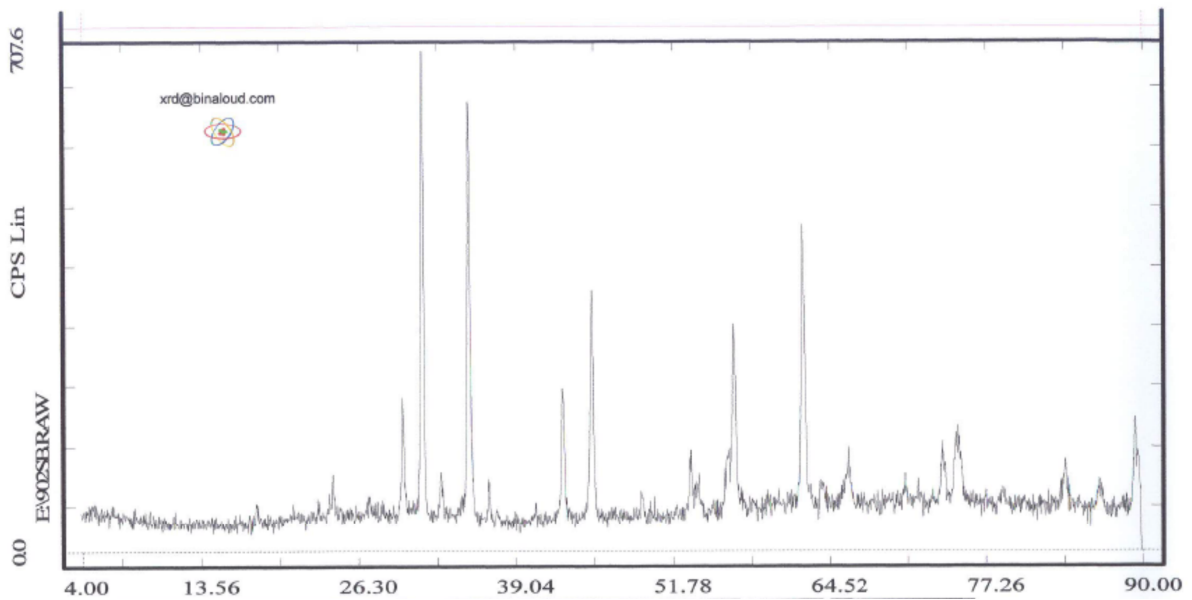
- ◀ دستگاه طیف‌سنج UV/Visible مدل CECIL2021.
- ◀ دستگاه سانتریفوژ مدل Hettich EBA20
- ◀ دستگاه صفحه داغ با همزن مغناطیسی
- ◀ دستگاه pH متر مدل Metrohm 713 مجهز به سنسور دما،
- ◀ آسیاب ماهواره ای مدل EQ-PC1-12
- ◀ دستگاه خشک‌کن پاششی مدل BUCHI B-191
- ◀ دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)
- ◀ دستگاه پراش اشعه مجهول (XRD)
- ◀ آون °C ۱۰۰
- ◀ کوره آرگن °C ۱۲۰۰
- ◀ دستگاه آنالیز FTIR
- ◀ دستگاه آنالیز پتانسیل زتا ZPC
- ◀ دستگاه آنالیز AFM
- ◀ دستگاه آنالیز BET
- ◀ ترازوی چهار رقمی جهت توزین نمونه ها Sartorius-d=0.1 mg, Max 120g.

در این مرحله با استفاده از ترکیب نمودن ۰/۲ گرم نانو پرلیت تولید شده در این پروژه و حجم ۲۰ میلی لیتر محلول مغناطیسی ای که شامل  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$  و  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  که بترتیب با نسبت های ۱ به ۲ تهیه شده است ، یک محلول دارای ویسکوزیته بالا تولید شده است. جهت مغناطیسی نمودن می بایست میزان pH محلول حاوی پرلیت را به ۱۰/۵ الی ۱۱ تهیه شد که با استفاده از اسید HCl این فرآیند را انجام می دهیم. در این مرحله ، محلول تهیه شده که دارای خاصیت مغناطیسی می باشد را از کاغذ صافی عبور داده و کاغذ را که محتوی HCl پرلیت مغناطیسی می باشد در دمای محیط خشک نموده و سپس جهت کلسینه نمودن ماده بدست آمده از روی کاغذ صافی را در کوره آرگون به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد خشکمی نمائیم. محتوی بدست آمده از کوره را جهت تولید نانو پرلیت مغناطیسی طی فرآیند سایش خشک و تر در سیستم آسیاب ماهواره ای مدل EQ-PC1-12 در حد نانو خرد گردید. ذرات خروجی از آسیاب، پس از ارزیابی بوسیله دستگاه SEM و مناسب بودن اندازه جهت آماده سازی نهایی به خشک کن پاششی ارسال می گردند (ابعاد اندازه گیری شده با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) در محدوده ۵۰ الی ۱۰۰ نانومتر است). بدین ترتیب نانو پرلیت مغناطیسی تولید می شود ، پودر نانوی حاصل جهت فرآیند جذب سطحی و کاتالیست در جای خشک نگهداری شد.

### ۳-۴-۲ - آنالیز نمونه ها در راستای تولید نانو پرلیت مغناطیسی

#### ۳-۴-۲-۱ - آنالیز XRD

شکل (۳-۱۰) مربوط به آنالیز XRD پرلیت مغناطیسی در ابعاد نانو می باشد.

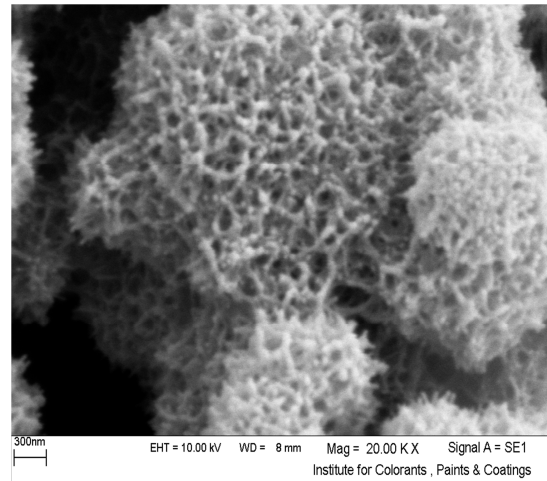
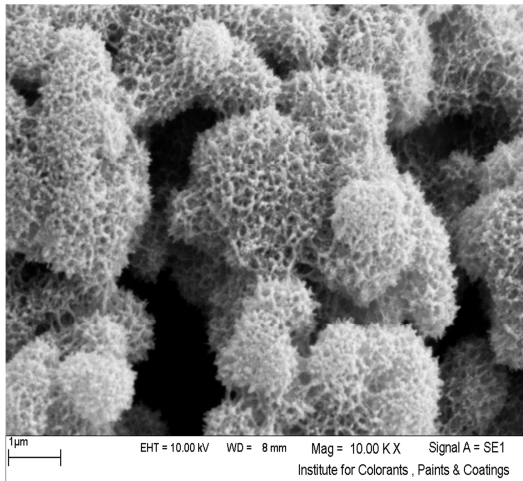


شکل ۳-۱۰ نمودار پراش اشعه X مربوط به نمونه نانو پرلیت مغناطیسی .

### ۳-۴-۲-۲- آنالیز SEM

تصاویر SEM از سطوح پرلیت مغناطیسی در ابعاد نانویی در شکل زیر گرفته شده است .

شکل بسیار زیبای زیر حاکی از آن است که ماده مورد نظر دارای حالت نانو تیوبی شده است. ابعاد این روزنه ها زیر ۱۰۰ نانومتر می باشند .



شکل ۳-۱۱ ابعاد اندازه گیری شده نانو پرلیت مغناطیسی تولید شده با استفاده از SEM.

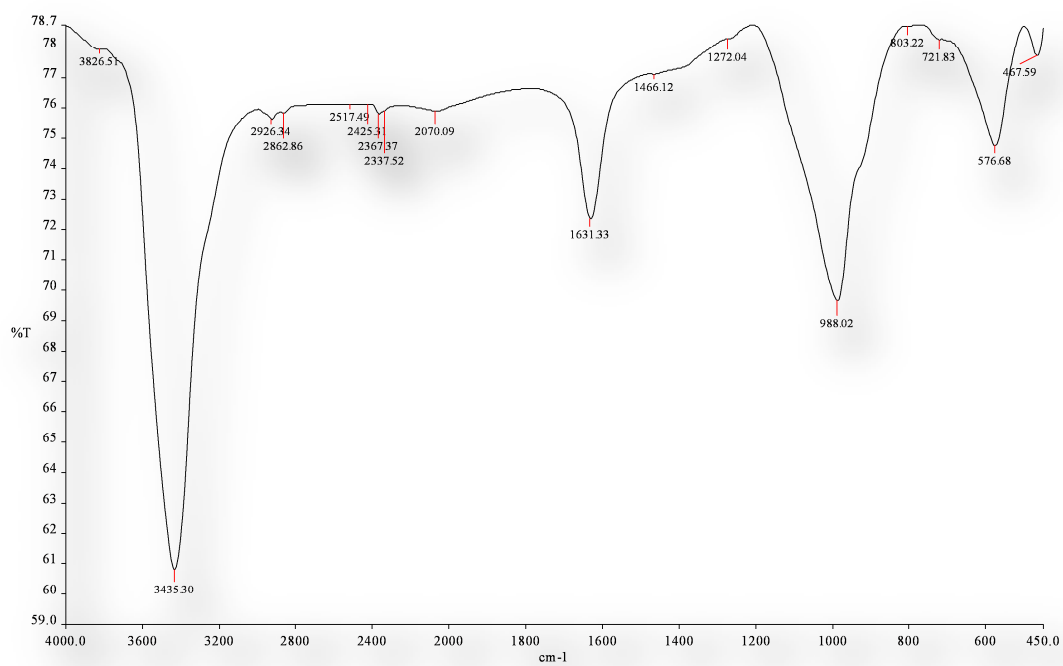


### ۳-۲-۴-۳ - آنالیز FTIR

این تست به منظور مشخص کردن خصوصیات سطح جاذب در رنج ۴۵۰ تا  $4000\text{ cm}^{-1}$  صورت پذیرفت. در شکل (۳-۱۰) خصوصیات سطح جاذب در حالت نانو پرلیت در شکل زیر آورده شده است. موقعیت های پیک برای نانو پرلیت مغناطیسی در نقاط :

۲۰۷۰/۰۹، ۲۳۳۷/۵۲، ۲۳۶۷/۳۷، ۲۴۲۵/۳۰، ۲۵۱۷/۴۹، ۲۸۶۲/۸۶، ۲۹۲۶/۳۴، ۳۴۳۵/۳۰، ۳۸۲۶/۵۱  
۴۶۷/۵۹، ۵۷۶/۶۸، ۷۲۱/۸۳، ۹۰۳/۲۲، ۹۸۸/۰۲، ۱۲۷۲/۰۴، ۱۴۶۶/۱۲، ۱۶۳۱/۳۳،  
وضوح دیده می شود که در واقع این پیک ها باند های اصلی جذب محسوب می شود.

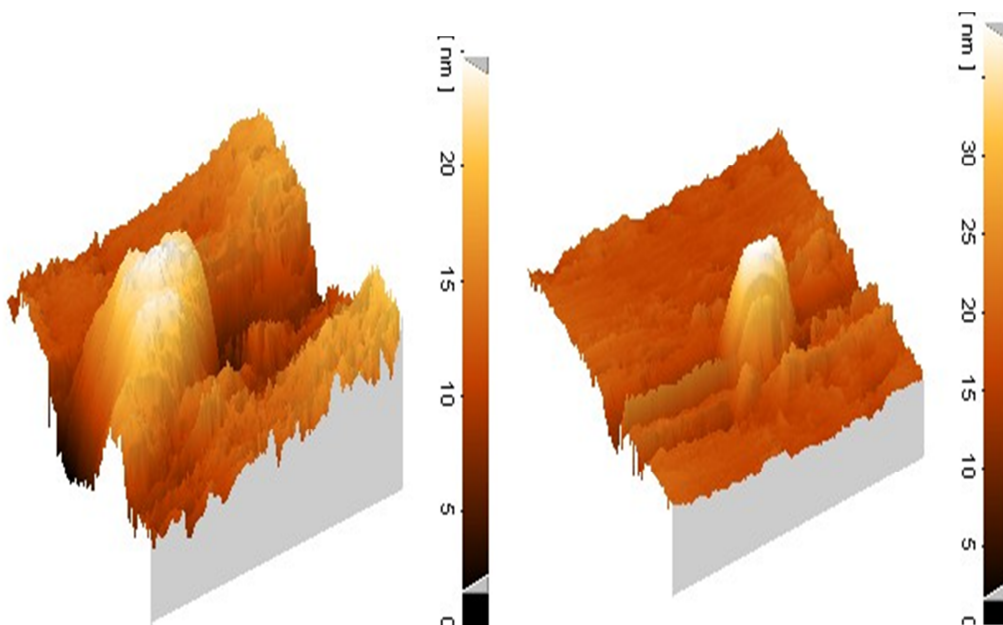
۳۴۳۵/۳۰ مربوط به گروه ازاد سیلانول ( Si-O-H ) ، ۱۶۳۱/۳۳ مربوط به ارتعاش خمشی پیوند ( H-O-H )  
آب ۹۸۸/۰۲ حاصل باز تابیدن گروه سیلوکسان ( Si-O-Si ) می باشد.



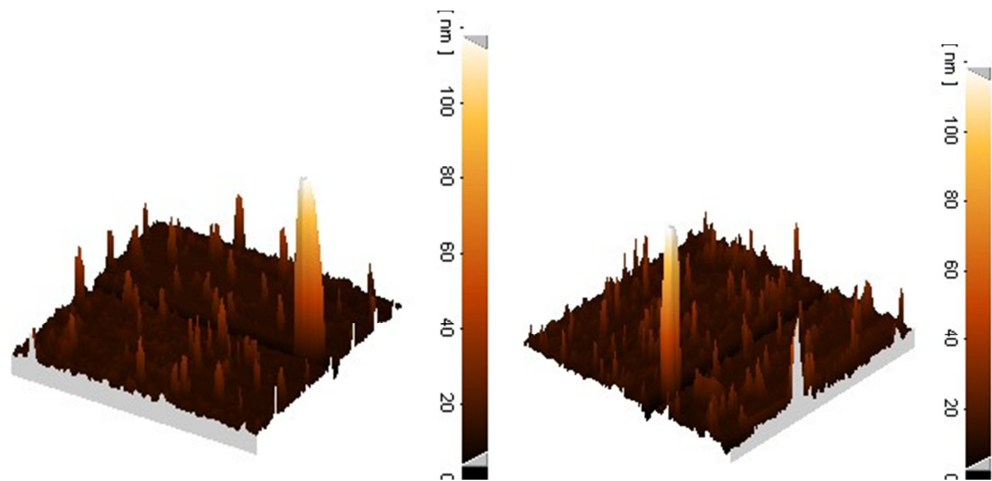
شکل ۱۱-۳ طیف مربوط به نانو پرلیت مغناطیسی

### ۳-۴-۲-۴- آنالیز AFM

میکروسکوپ اثر نیروی اتمی تصویر توپولوژیکی را از طریق حرکت منظم قلمی نوک تیز به طول  $2\ \mu\text{m}$  در رأس یک پایه ی ثابت به شکل میله یا تیرک که در عرض سطحی در درون هوا یا مایع قرار گرفته است نشان می دهد .



شکل ۳-۱۲ آنالیز میکروسکوپ اثر نیروی اتمی AFM

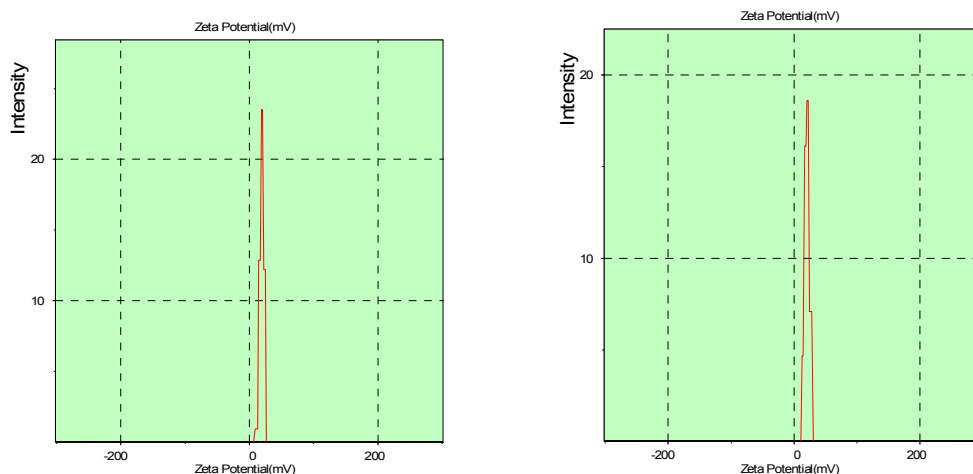


شکل ۳-۱۲ آنالیز میکروسکوپ اثر نیروی اتمی AFM

همانطور که مشاهده می شود ذرات دارای زبری و پستی و بلندی می باشند که ابعاد این پستی و بلندی که حاکی از نانو بودن است زیر ۱۰۰ نانو متر می باشد. نانو جاذب ها کاربرد های بیشماری دارند.

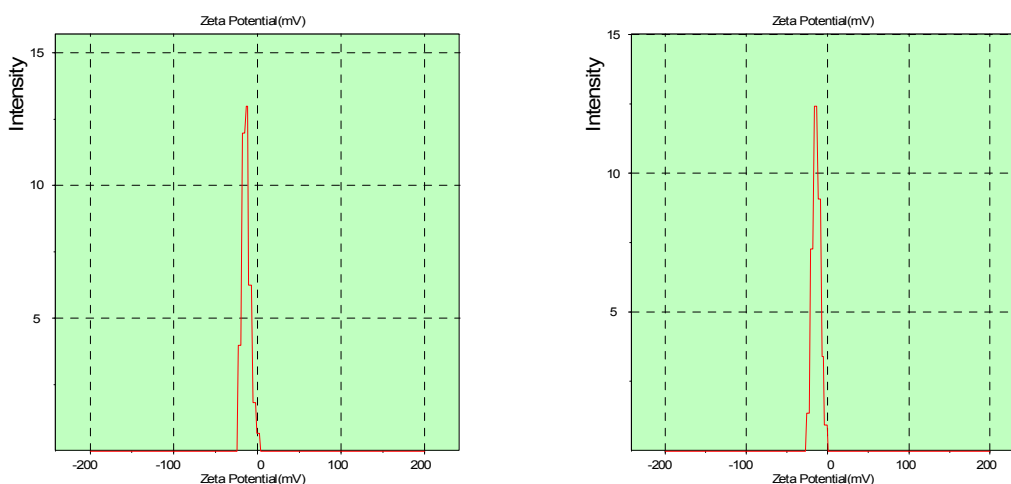
### ۳-۴-۲-۵- آنالیز ZPC

سوسپانسیون محلول پرلیت با آب مقطر را در  $\text{pH}=3$  (اسیدی) تهیه و جهت آنالیز ZPC ارسال شد. آزمایشات حاصل از آنالیز ZPC نشان می دهد که میانگین ZPC در  $\text{pH}=3$  در گستره  $0/775$  می باشد.



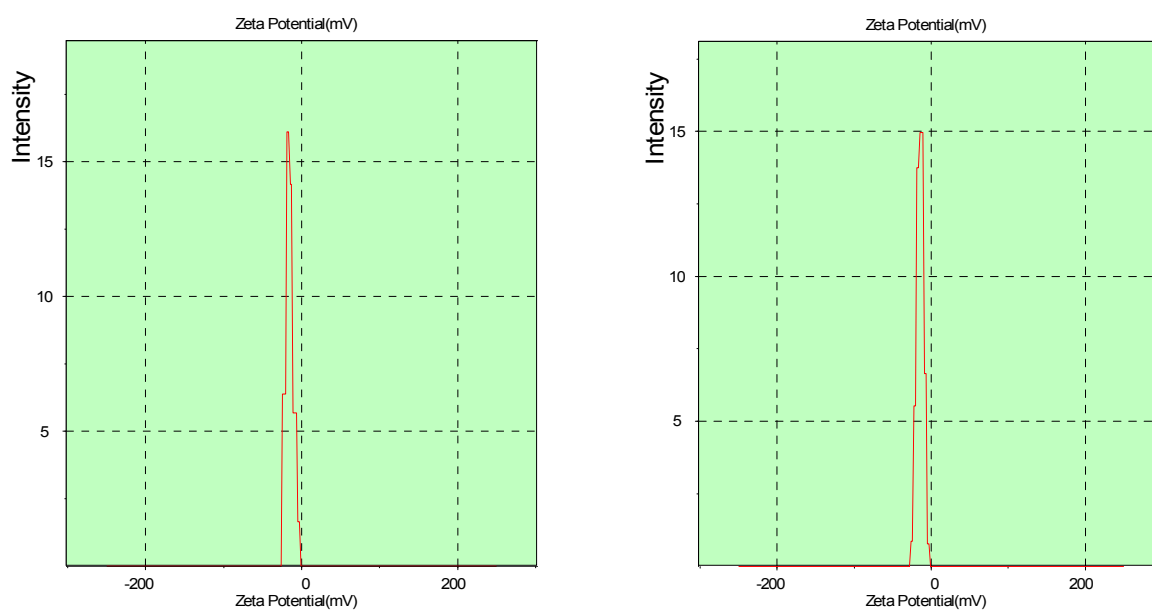
شکل ۳-۱۳ آنالیز ZPC مربوط به محلول پرلیت در  $\text{pH}=3$

سوسپانسیون محلول پرلیت با آب مقطر را در  $\text{pH}=6$  تهیه و جهت آنالیز ZPC ارسال شد. آزمایشات حاصل از آنالیز ZPC نشان می دهد که میانگین ZPC در  $\text{pH}=6$  در گستره  $0/525$  می باشد.



شکل ۳-۱۴ آنالیز ZPC مربوط به محلول پرلیت در  $\text{pH}=6$

سوسپنسیون محلول پرلیت با آب مقطر را در  $\text{pH}=9$  (بازی) ساخته و جهت آنالیز ZPC ارسال شد. آزمایشات حاصل از آنالیز ZPC نشان می دهد که میانگین ZPC در  $\text{pH}=9$  در گستره  $0/95$  می باشد



شکل ۳-۱۵ آنالیز ZPC مربوط به محلول پرلیت در  $\text{pH}=9$

نتایج حاصل از آنالیزهای ZPC در  $\text{pH}$  های (۳، ۶، ۹) نشان می دهد که در  $\text{pH}$  های خنثی ZPC به سمت بار خنثی سوق پیدا می کنیم.

# فصل چهارم

آزمایش های حذف آلاینده های رنگی آلی و فلزی از پساب

توسط نانو پرلیت

در این فصل به بررسی آزمایش های مربوط به جذب سطحی رنگزای مالاویت سبز بر روی نانو پرایت و نانو پرلیت مغناطیسی و همچنین جذب سطحی ۲ فلز نیکل و کادمیوم بر روی نانو پرلیت می پردازیم.

#### ۴-۱ - آزمایش های مربوط به جذب سطحی رنگزای مالاویت سبز بر روی نانو پرلیت

پارامتر های زیر در فرآیند رنگبری جذب سطحی رنگزای مالاویت سبز مورد بررسی قرار گرفتند :

الف - غلظت رنگزا

ب - مقدار جاذب

پ - pH

ت - دما

ث - زمان

در این قسمت با بررسی هر کدام از این پارامتر ها ( با تغییر یک پارامتر و ثابت نگهداشتن بقیه پارامتر ها) برای رنگزای مالاویت سبز مقدار بهینه مشخص شده و آنگاه با فراهم نمودن کلیه شرایط برای جاذب، میزان جذب نهایی تعیین می شود [۶۷،۶۶]. نانو پودر تهیه شده جهت تعیین میزان کارایی آن، به عنوان جاذب مورد ارزیابی قرار گرفت.

در مرحله اول برای امتحان نانو جاذب، از ۲۵ ml محلول رنگزای مالاویت سبز با غلظت های رنگزای ۲۰،۱۲،۶ ppm و pH های ۶،۸،۱۲ در دمای محیط (حدود  $25^{\circ}\text{C}$ ) آزمایش بعمل آمد. برای تنظیم pH از سود  $0.1\text{NaOH}$  و اسید کلریدریک  $1\text{M}$  استفاده شده است. در مرحله بعد، نانو جاذب به محلول پساب



شبیه‌سازی شده افزوده گردید و مخلوط به مدت کافی با سرعت ۴۰۰ rpm با استفاده از یک سیستم مغناطیسی همزده شد. پس از زمان های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ بر حسب دقیقه عملیات اختلاط متوقف گردید. در زمان های مختلف، جاذب با استفاده از سانتریفوژ، در دور حدود ۴۰۰۰ rpm، از مخلوط جدا گردیده شده و مایع باقی مانده از نظر میزان حذف آلاینده به وسیله دستگاه طیف‌سنج UV/Visible مورد ارزیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است که طول موج مالاشیت سبز ۶۱۹ می باشد. نتایج حاصل نشان دهنده درصد جذب و همچنین سرعت عمل نانو ذرات پرلیت استکه از طریق معادلات زیر بدست آمده است.

در صد جذب و میزان رنگزای جذب شده در واحد وزن جاذب از معادلات (۱-۴) و (۲-۴) بدست می آیند:

$$R \% = 100 * \frac{C_e - C_o}{C_e} \quad (1-4)$$

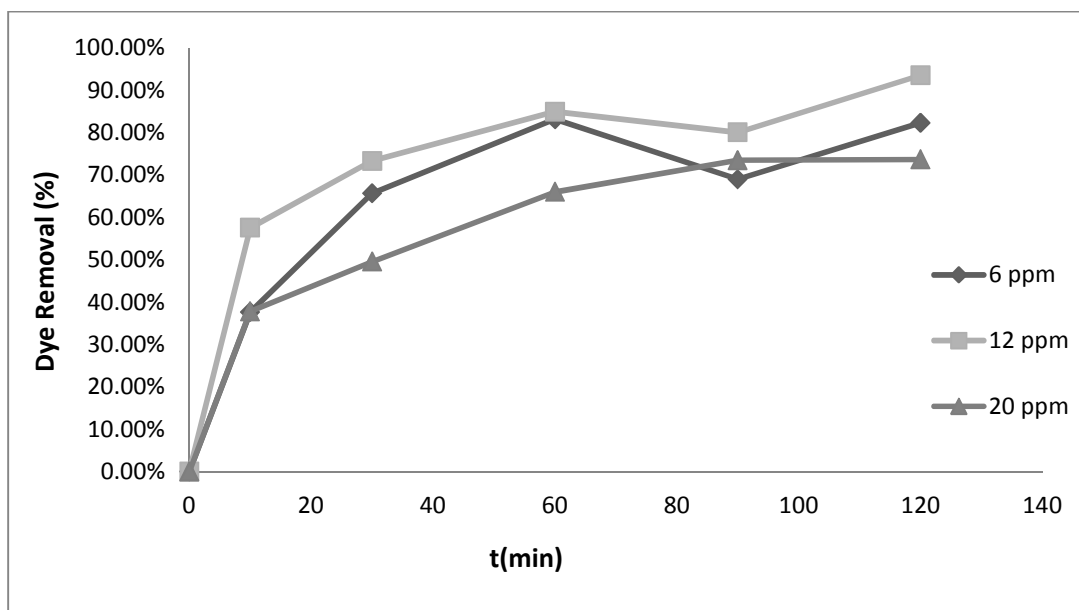
که در آن  $C_o$  و  $C_e$  غلظت رنگزای نساجی در مرحله ابتدایی و نهایی می باشد.

$$q_e = \frac{V}{m} \left( \frac{ml}{g} \right) \times (C_o - C_e) \quad (2-4)$$

$V$  حجم محلول رنگزا ( میلی لیتر ) و  $m$  وزن جاذب بر حسب گرم می باشد.

#### ۴-۱-۱- تأثیر غلظت رنگزا

تغییر غلظت رنگزا اولیه بر فرآیند جذب برای غلظت های ۱۲، ۶، ۲۰ ppm در دمای  $25^{\circ}\text{C}$ ، دور همزن rpm ۴۰۰۰ و دور سانتریفیوژ rpm ۴۰۰۰ در  $\text{pH} = 6$  برای ۰/۰۵ گرم از نانو پرلیت تحت بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که بیشینه طول موج مالا شیت سبز ۶۱۹ می باشد. نمودار مربوط به تأثیر غلظت رنگزا را در زمان های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ دقیقه نشان داده شده است. بطوریکه مشاهده می شود برای غلظت رنگزا ۱۲ ppm نمودار زیر در صد حذف ۹۳/۵۶٪ بدست آمده است (شکل ۴-۱).

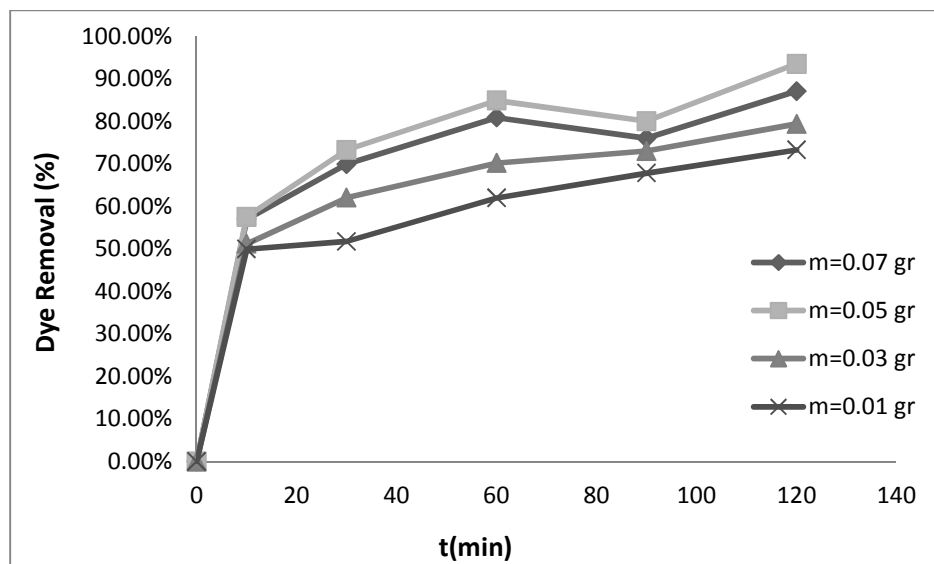


شکل ۴-۱- تأثیر تغییر غلظت رنگزا ی مالا شیت سبز بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در

غلظت های ۲۰ ppm، ۶، ۱۲، ۶ ppm و وزن جاذب  $m=0/05\text{ gr}$ .

#### ۴-۱-۲ - تأثیر مقدار جاذب

در این قسمت وابستگی میزان جذب رنگزای مالاویت سبز، مقادیر وزنی از نانو جاذب مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی تأثیر مقدار جاذب مقدار جذب رنگزا برای غلظت های ۱۲ ppm در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  و دور همزن ۴۰۰۰ rpm، دور سانتریفیوژ ۴۰۰۰ rpm در pH ۶ برای ۰.۰۱، ۰.۰۳، ۰.۰۵، ۰.۰۷ گرم از نانو پرلیت تحت بررسی قرار گرفته است که مقدار ۰/۰۵ گرم مقدار بهینه انتخاب شده است (شکل ۲-۴).

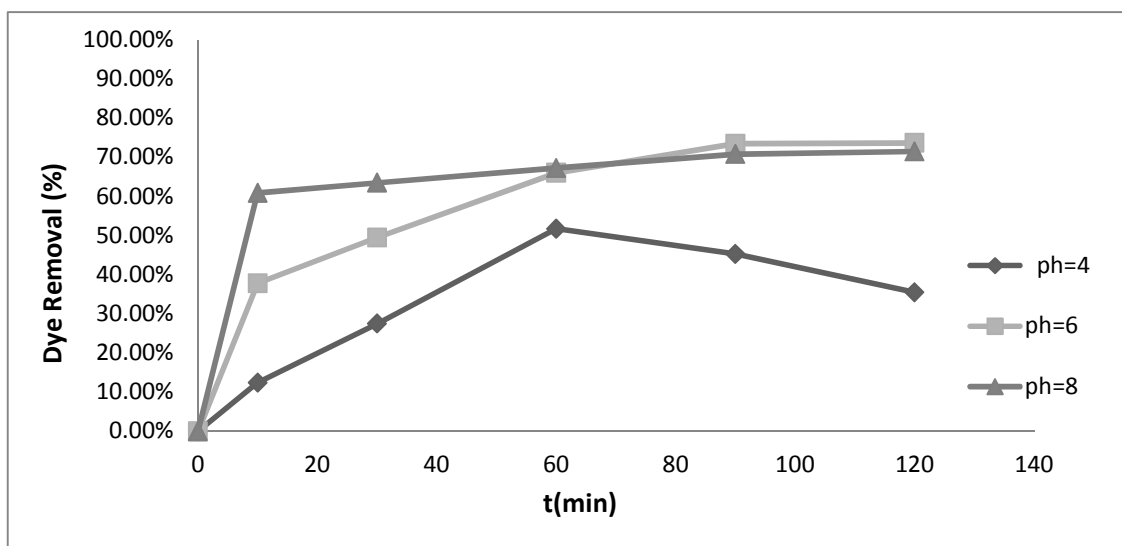


شکل ۲-۴ - نمودار های تغییر غلظت محلول رنگزای مالاویت سبز بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در ppm=12, pH=6

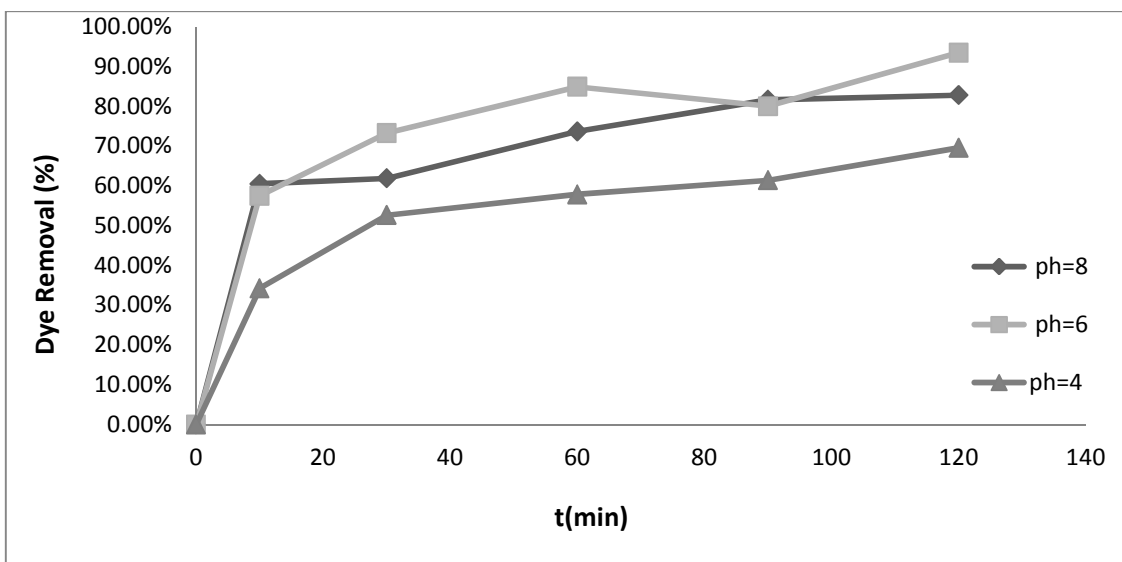
#### ۴-۱-۳ - تأثیر pH

pH محلولها پارامتر بسیار مهمی در جذب رنگزاها توسط نانو جاذب است. تغییرات pH در گستره pH ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، توسط جاذب نانو پرلیت، برای غلظت های ۶، ۱۲، ۲۰ ppm در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  و دور همزن ۴۰۰۰ rpm، دور

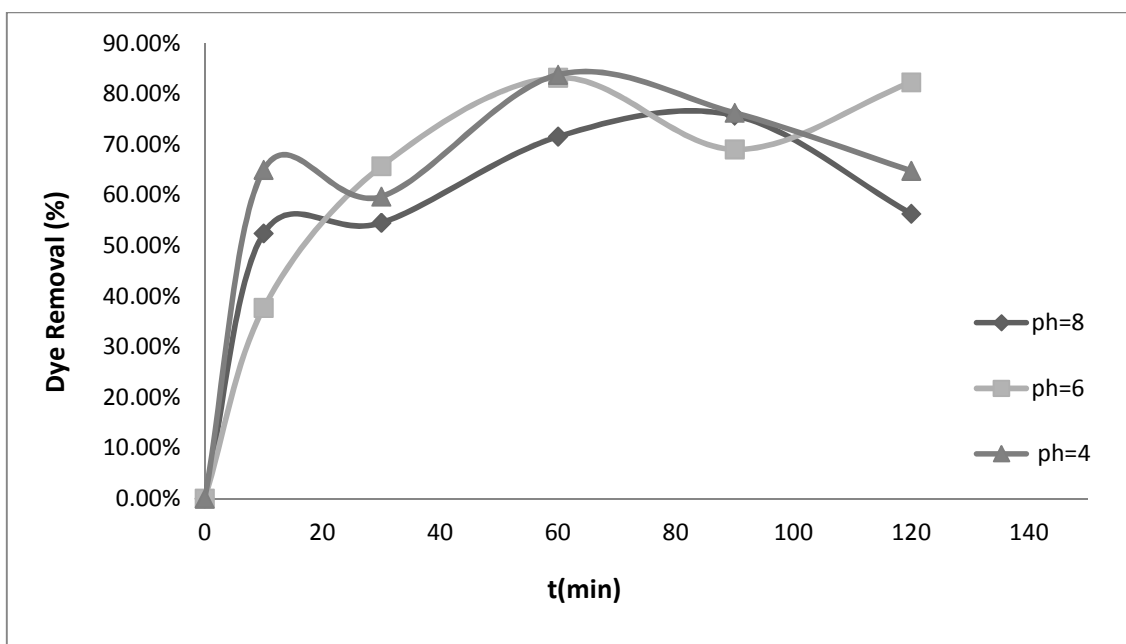
سانتریفیوژ ۴۰۰۰ rpm، تحت بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده در (شکل ۳-۴، ۴-۴، ۵-۴) آمده است که در طی آن  $pH=6$  بعنوان  $pH$  بهینه انتخاب شده است.



شکل ۳-۴- نمودار های تغییر  $pH$  محلول رنگزای مالاشیت گرین بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در  $ppm=20, m=0/05gr$



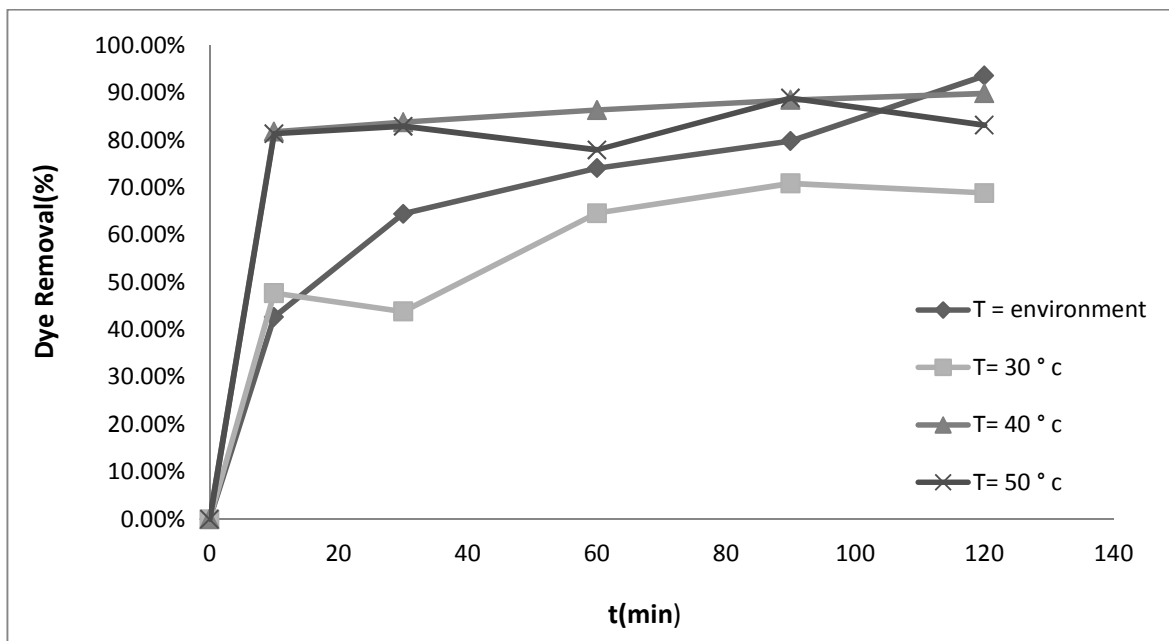
شکل ۴-۴- نمودار های تغییر  $pH$  محلول رنگزای مالاشیت سبز بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در  $ppm=12, m=0/05gr$



شکل ۴-۵- نمودار های تغییر pH محلول رنگزای مالاشیت سبز بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در ppm=6, m=0/05gr

#### ۴-۱-۴- دما

به منظور بررسی اثر تغییرات دما بر فرآیند جذب رنگزا مالاشیت سبز بر روی نانو پرلیت ، میزان حذف رنگزا با انتخاب پارامتر های بهینه در دماهای ۳۰ ، ۴۰ ، ۵۰ درجه سانتی گراد و دمای محیط مورد بررسی قرار گرفتو نتایج حاصل از آن در (شکل ۴-۶) آورده شده است .

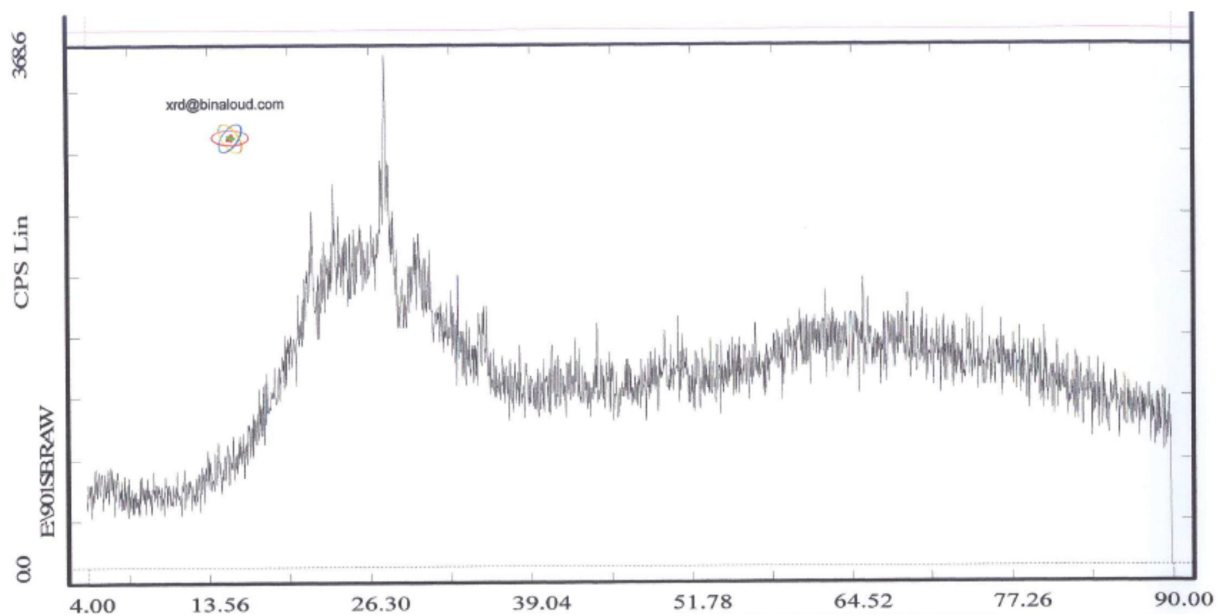


شکل ۴-۶- نمودار تغییر دما اعمال شده محلول رنگزای مالاشیت سبز بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در  
 ppm=12 ,pH=6 و m=0/05gr

#### ۴-۲ - نتایج آنالیزهای مربوط به جذب سطحی رنگزای مالاویت سبز بر روی نانو پرلیت

#### ۴-۲-۱- آنالیز XRD

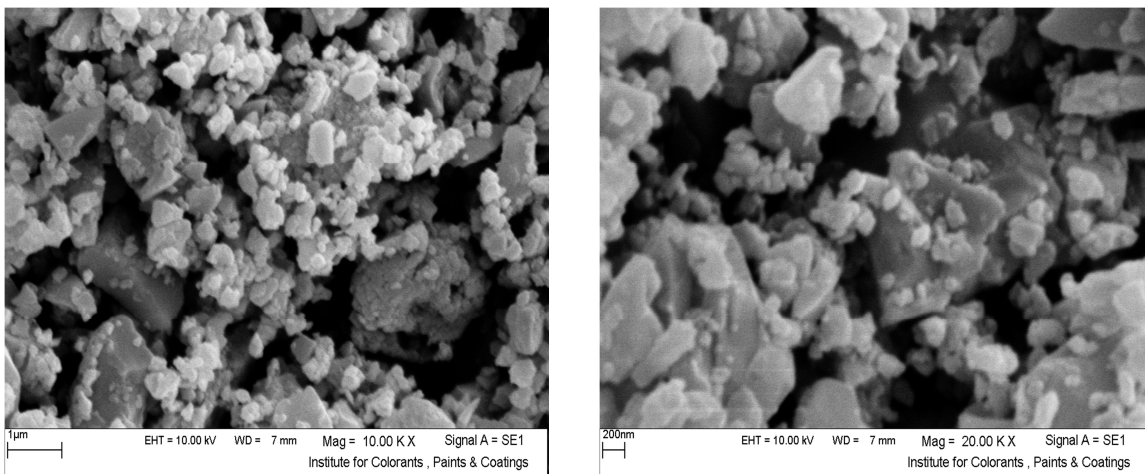
شکل ۴-۷ مربوط به آنالیز XRD نانو پرلیت بعد از جذب رنگزا مالاویت سبز می باشد.



شکل ۴-۷- نمودار پراش اشعه X مربوط به نمونه نانو پرلیت بعد از جذب رنگزا مالاویت سبز.

#### ۲-۲-۴ - آنالیز SEM

تصاویر SEM از سطوح نانو پرلیت بعد از جذب رنگزای مالاشیت سبز گرفته شد (شکل ۴-۸). نتایج حاصل شده از آنالیز نشان دهنده آن است که بیش از ۷۰ درصد ابعاد ذرات زیر ۱۰۰ نانومتر می باشد و ذرات ریز تر پرلیت نانویی می باشد.



شکل ۴-۸- ابعاد اندازه گیری شده نانو پرلیت تولید شده بعد از جذب رنگزا مالاشیت سبز با استفاده از SEM.

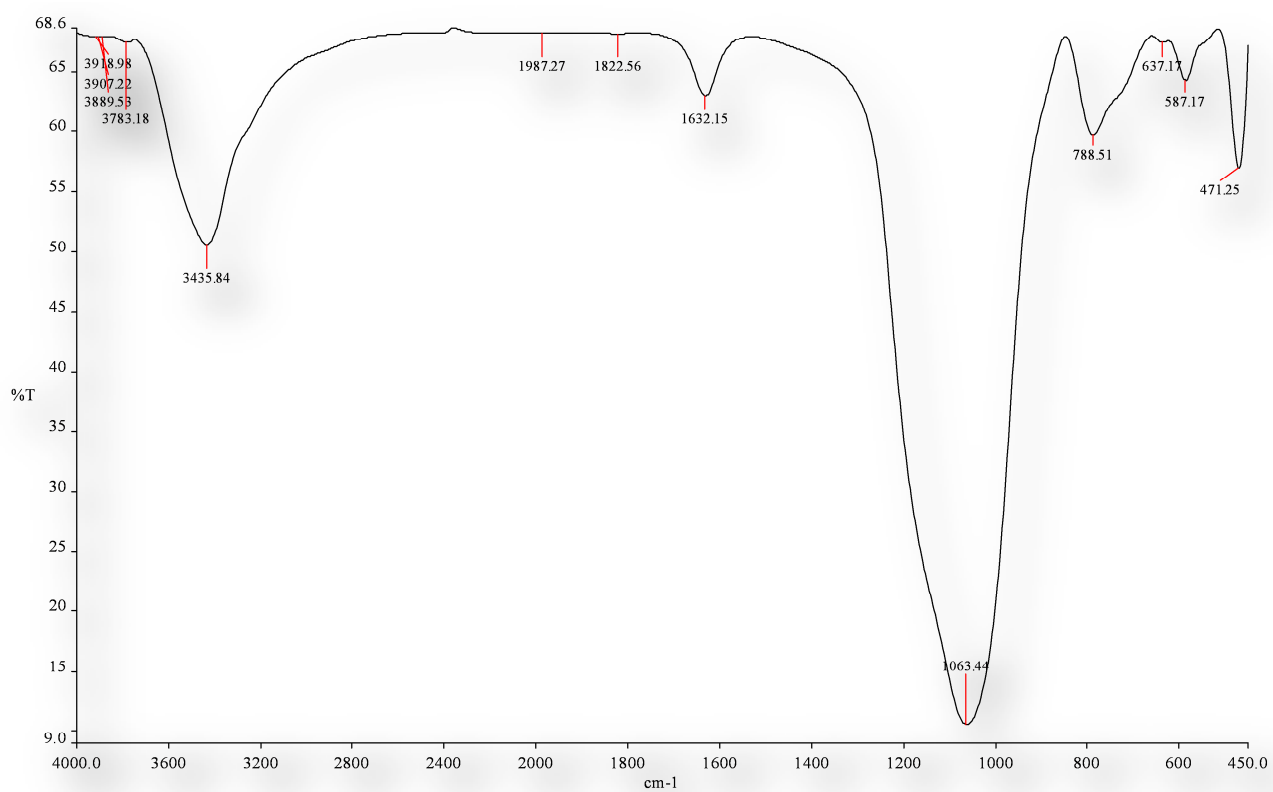


#### ۴-۲-۳- آنالیز FTIR

این تست به منظور مشخص کردن خصوصیات سطح جاذب در رنج ۴۵۰ تا  $4000\text{cm}^{-1}$  صورت پذیرفت. در شکل ۴-۹ خصوصیات سطح جاذب در حالت نانو پرلیت بعد از جذب رنگزا مالاشیت سبز در شکل زیر آورده شده است. موقعیت های پیک برای نانو پرلیت بعد از جذب رنگزا مالاشیت سبز در نقاط :

۱۰۶۳/۴۴، ۱۶۳۲/۱۵، ۱۸۲۲/۸۶، ۱۹۸۷/۲۷، ۳۴۳۵/۸۴، ۳۸۷۳/۱۸، ۳۸۸۹/۵۳، ۳۹۰۷/۲۳ ، ۳۹۱۸/۹۸  
۴۷۱/۲۵، ۵۸۷/۱۷، ۶۳۷/۱۲، ۷۷۸/۵۱،  
اصلی جذب محسوب می شود.

۳۴۳۵/۸۴ مربوط به گروه آزاد سیلانول ( Si-O-H ) ، ۱۰۶۳/۴۴ مربوط به ارتعاش خمشی پیوند ( H-O-H )  
آب ۷۸۸/۵۱ حاصل باز تابیدن گروه سیلوکسان ( Si-O-Si ) می باشد.



شکل ۴-۹ - طیف مربوط به نانو پرلیت بعد از جذب رنگزا مالاشیت سبز.

#### ۳-۴ - آزمایش های مربوط به جذب سطحی رنگزای مالاشیت سبز بر روی نانو پرلیت مغناطیسی

در این قسمت نیز مشابه نانو پرلیت، پارامتر هایی در فرآیند رنگبری جذب سطحی رنگزای مالاشیت سبز بر روی نانو پرلیت مغناطیسی مورد بررسی قرار گرفته اند که دیگر به بررسی آنها نمی پردازیم و فقط پارامتر های زیر که حاصل آن نمودار های مطرح شده می باشد را مورد بررسی قرار می دهیم :

۱- pH

۲- زمان

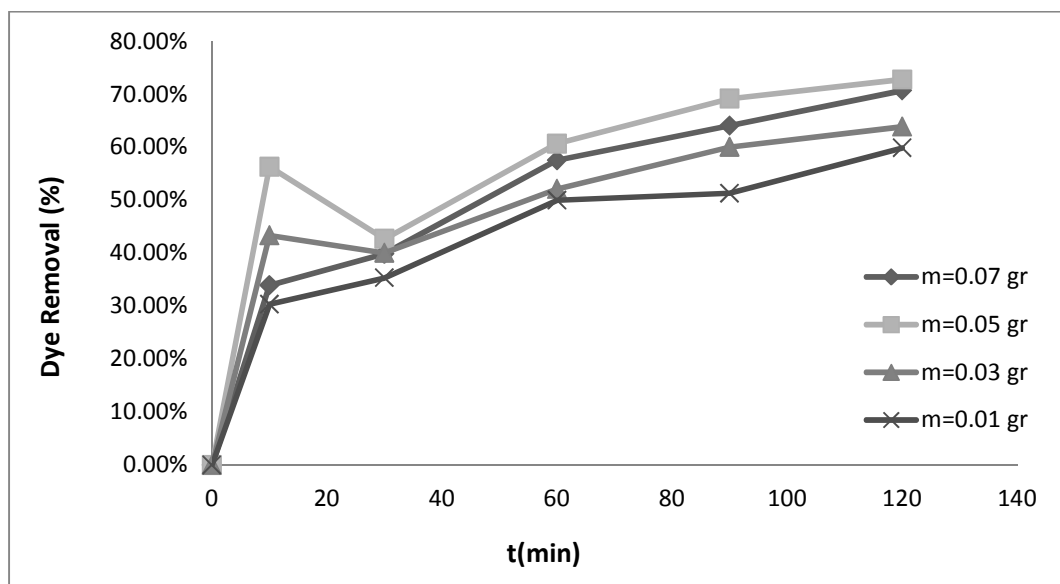
۳- هم زدن با مگنت و بدون مگنت

۴- تأثیر مقدار جاذب

روش انجام آزمایش مشابه نانو پرلیت می باشد، و در شکل های مطرح شده زمان های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ میزان جذب بر حسب دقیقه نشان داده می شود.

#### ۱-۳-۴ - تأثیر مقدار جاذب

در این قسمت وابستگی میزان جذب رنگزا برای مقادیر وزنی از نانو جاذب مورد بررسی قرار گرفته است. در این حالت که برای ۰.۰۱، ۰.۰۳، ۰.۰۵، ۰.۰۷ گرم از نانو پرلیت مغناطیسی تحت بررسی قرار گرفته است که مقدار ۰/۰۵ گرم در غلظت های ۲۰ ppm در دمای ۲۵ °C و دور همزن ۴۰۰rpm و دور سانتریفیوژ ۴۰۰۰ rpm و pH=6، مقدار بهینه انتخاب شده است (شکل ۱۰-۴)

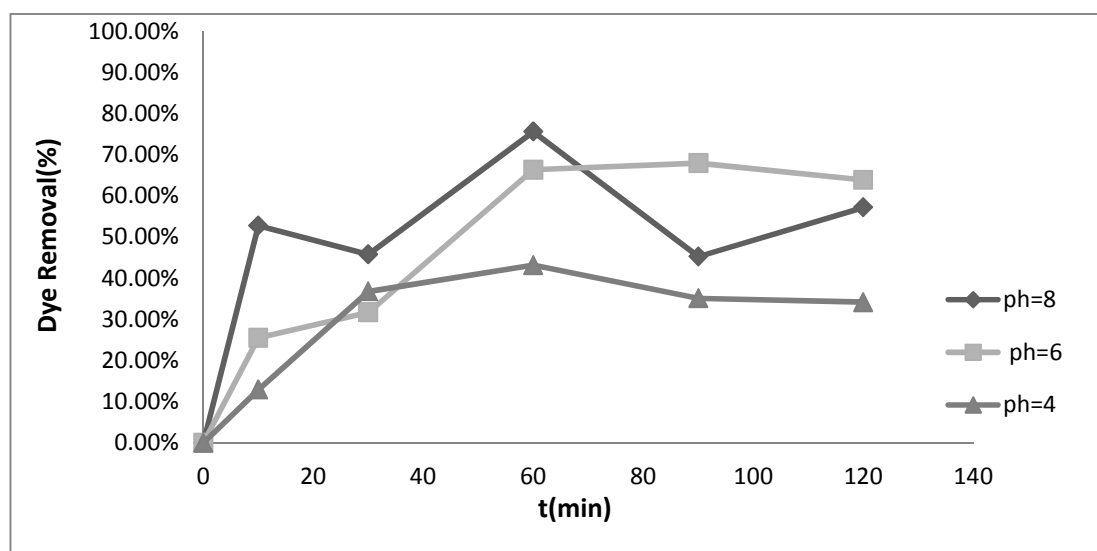


شکل ۱۰-۴ - نمودار جذب رنگزای مالاویت سبز توسط نانو جاذب مغناطیسیبا مگنت در ۲۰ ppm و pH=6

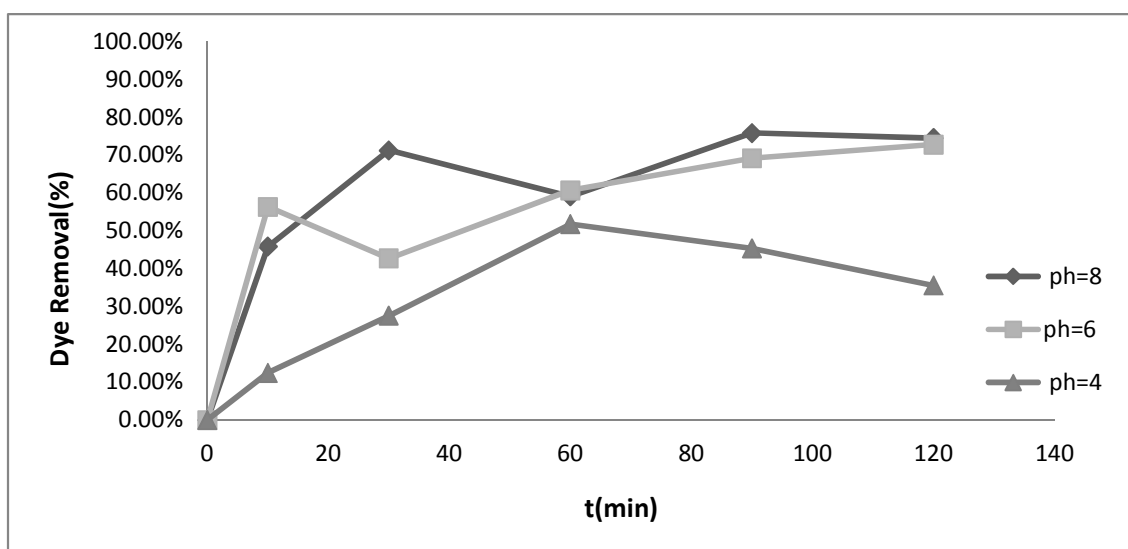
#### ۲-۳-۴ - تأثیر pH

pH محلول ها پارامتر بسیار مهمی در جذب رنگزا ها توسط نانو جاذب مغناطیسی است. تغییرات pH برای pH های ۴، ۶، ۸ توسط جاذب نانو پرلیت مغناطیسی، برای غلظت های ۲۰ ppm در دمای ۲۵ °C و دور همزن ۴۰۰rpm و دور سانتریفیوژ ۴۰۰۰ rpm، برای ۰/۰۵ گرم از نانو پرلیت مغناطیسی در شکل ۹-۴ بدون مگنت و

شکل ۴-۱۱ با مگنت مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که مشاهده می شود در حالت هم زدن با مگنت سرعت جذب بیشتر می باشد.



شکل ۴-۱۱- نمودار جذب رنگزای مالاویت سبز توسط نانو جاذب مغناطیسی بدون مگنت در  $m=0/05gr$  و  $ppm=20$

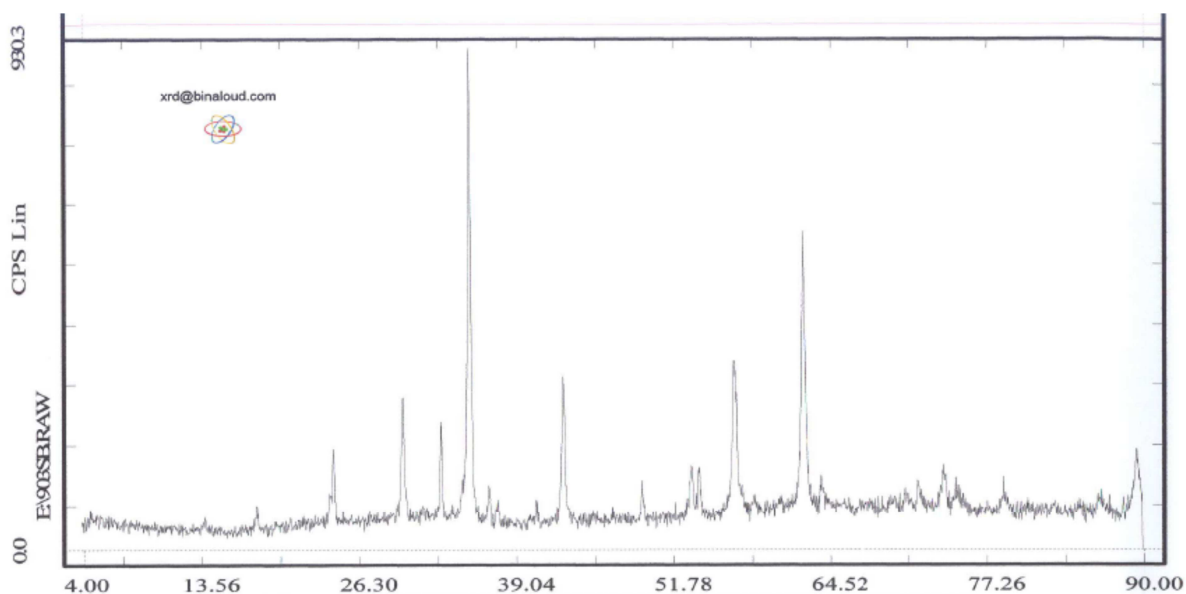


شکل ۴-۱۲- نمودار جذب رنگزای مالاویت گرین توسط نانو جاذب مغناطیسیبا مگنت در  $m=0/05gr$  و  $ppm=20$

۴-۴ - نتایج آنالیزهای مربوط به جذب سطحی رنگزای مالاشیت سبز بر روی نانو پرلیت مغناطیسی

#### ۴-۴-۱- آنالیز XRD

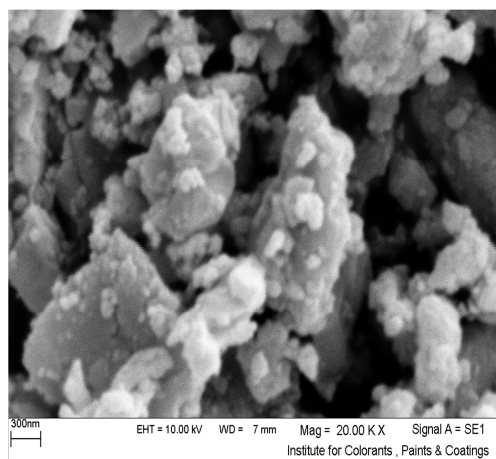
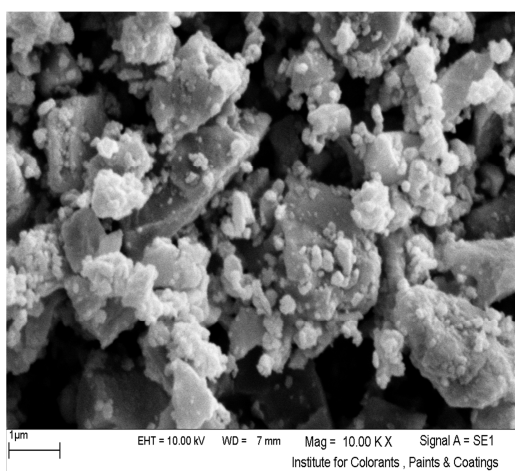
شکل ۴-۱۳ مربوط به آنالیز XRD نانو پرلیت مغناطیسی بعد از جذب رنگزا مالاشیت سبز می باشد.



شکل ۴-۱۳- نمودار پراش اشعه X مربوط به نمونه نانو پرلیت مغناطیسی بعد از جذب رنگزا مالاشیت سبز.

#### ۲-۴-۴ - آنالیز SEM

تصاویر SEM از سطوح نانو پرلیت بعد از جذب رنگزای مالاشیت سبز گرفته شده است ( شکل ۴-۱۴ ). همانطور که دیده می شود یون های آهن را که بر روی ذرات نانو پرلیت نشانده ایم، رنگزای مالاشیت سبز را جذب نموده است. بیش از ۷۰ درصد ذرات دارای رنج ابعاد زیر ۱۰۰ نانومتر می باشد.



شکل ۴-۱۴ ابعاد اندازه گیری شده نانو پرلیت مغناطیسی بعد از جذب رنگزا مالاشیت گرین با استفاده از SEM.

#### ۳-۴-۴ - آنالیز FTIR

این تست به منظور مشخص کردن خصوصیات سطح جاذب در رنج ۴۵۰ تا  $4000\text{ cm}^{-1}$  صورت پذیرفت. خصوصیات سطح جاذب در حالت نانو پرلیت بعد از جذب رنگزا مالاشیت سبز در شکل زیر آورده شده است. موقعیت های پیک برای نانو پرلیت بعد از جذب رنگزا مالاشیت گرین در نقاط :

، ۲۳۳۷/۵۲ ، ۲۳۶۷/۳۷ ، ۲۴۲۵/۳۱ ، ۲۷۱۷/۴۹ ، ۲۸۶۲/۸۶ ، ۲۹۲۶/ ۳۴ ، ۳۴۳۵/۳۰ ، ۳۸۲۶/۵۱

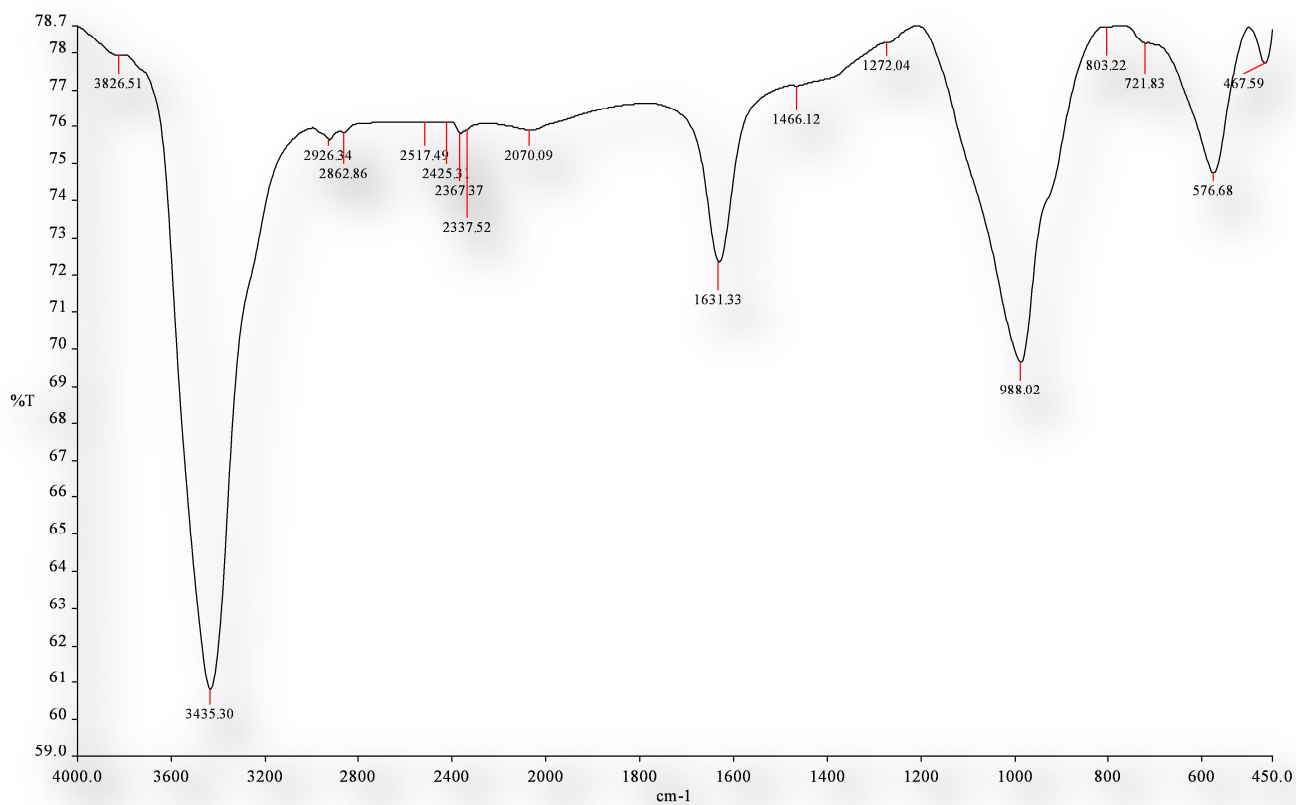
در ۴۵۷/۵۹ ، ۵۷۶/۶۸ ، ۷۲۱/۸۳ ، ۸۰۳/۲۲ ، ۹۸۸/۰۲ ، ۱۲۷۲/۰۴ ، ۱۴۶۶/۱۲ ، ۱۶۳۱/۳۳ ، ۲۰۷۰/۰۹

این شکل به وضوح دیده می شود که در واقع این پیک ها باند های اصلی جذب محسوب می شود.

۳۴۳۵/۳۰ مربوط به ارتعاش خمشی پیوند ( H-O-H ) آب ، ۱۶۳۱/۳۳ مربوط به گروه آزاد سیلانول ( Si-O-H

( و ۹۸۸/۰۲ حاصل باز تابیدن گروه سیلوکسان ( Si-O-Si ) می باشد.





شکل ۴-۱۵- طیف مربوط به نانو پرلیت بعد از جذب رنگزا مالاشیت سبز.

#### ۴-۵- نتایج آزمایش های مربوط به جذب سطحی فلز نیکل بر روی نانو پرلیت

سمیت منابع آبی به علت وارد شدن فاضلابهای صنعتی، یک مشکل عمده جهانی است. پسابهای صنعت یاغلب دارای مقادیر قابل توجه یون فلزات سنگین و آلاینده های آلی است که میتوانند سلامت عمومی و محیط زیست را به خطر بیندازند. فلزات سنگین میتوانند از طریق پدیدههای فعالیت های انسانی وارد محیط زیست شوند [۸۶].

#### ۴-۵-۱- مواد و وسایل:

#### ۴-۵-۱-۱- مواد شیمیایی مورد نیاز

◀ جاذب نانو پرلیت تولید شده در پروژه،

◀ نمک نیترات فلز نیکل خریداری شده از شرکت Merck،

◀ آب مقطر،

◀ اسید کلریدریک Merck،

◀ سود سوزآور Merck.

#### ۴-۵-۱-۲ - ابزار مورد استفاده

- ◀ دستگاه سانتریفوژ مدل Hettich EBA20.
- ◀ دستگاه صفحه داغ با همزن مغناطیسی،
- ◀ دستگاه pH متر مدل Metrohm 713 مجهز به سنسور دما،
- ◀ دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)
- ◀ دستگاه پراش اشعه مجهول (XRD)
- ◀ دستگاه آنالیز FTIR
- ◀ دستگاه جذب اتمی AAS
- ◀ ترازوی چهار رقمی جهت توزین نمونه ها Sartorius-d=0.1 mg, Max 120g .

در این مرحله از کار آزمایشگاهی در ابتدا نمک فلز نیکل از شرکت Merck خریداری شد؛ محلول ppm ۵۰۰ از نیترات فلز نیکل به عنوان محلول مادر ساخته شد، حال در این بخش از کار تهیه غلظت های مختلف از فلز اعمال تغییرات بر روی pH و مقدار جاذب میزان جذب سطحی بر روی نانو پرلیت را بررسی می کنیم.

پارامتر های زیر در فرآیند جذب سطحی فلز سنگین نیکل بر روی نانو پرلیت مورد بررسی قرار

می گیرند :

الف - غلظت محلول فلز نیکل

ب - مقدار جاذب

پ - pH

ت - زمان

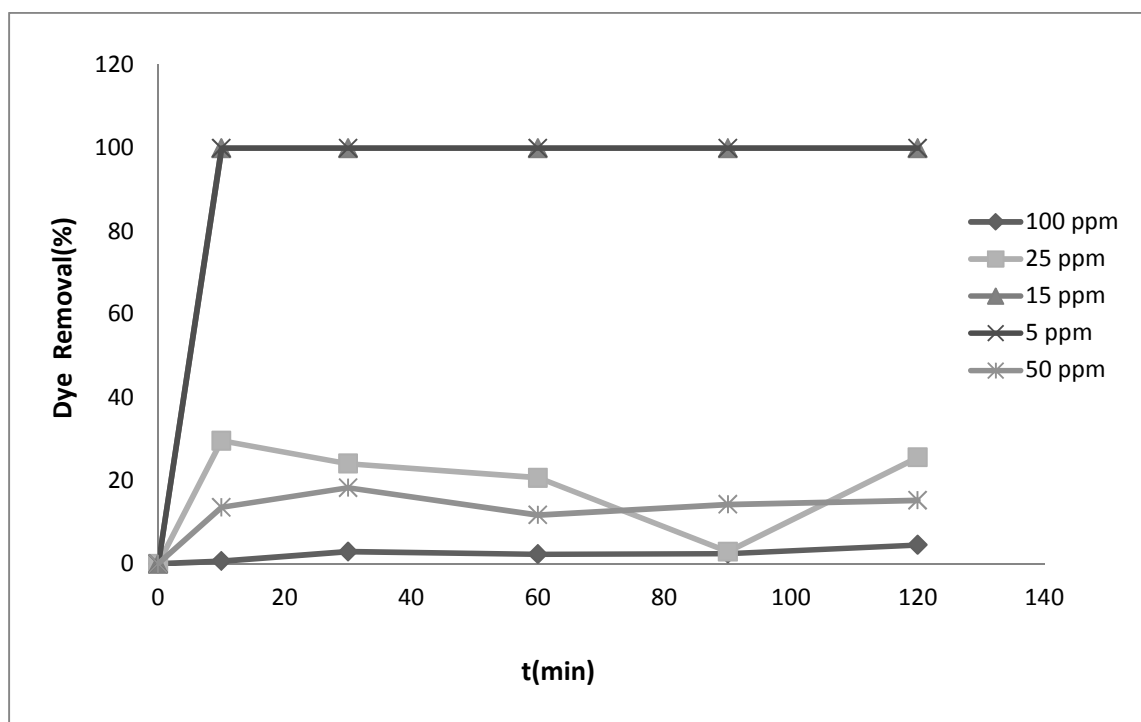
در این قسمت با بررسی هر کدام از این پارامتر ها ( با تغییر یک پارامتر و ثابت نگهداشتن بقیه پارامتر ها ) برای فلز نیکل مقدار بهینه مشخص شده و آنگاه با فراهم نمودن کلیه شرایط برای نانو جاذب ،میزان جذب نهایی تعیین می شود. نانو پودر تهیه شده جهت تعیین میزان کارایی آن، به عنوان نانو جاذب مورد ارزیابی قرار می گیرد.

در مرحله اول برای امتحان نانو جاذب، از ۲۵ml محلول فلز نیکل با غلظت های ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ppm و pH های ۳، ۴، ۵، ۶ در دمای محیط (حدود ۲۵ °C) آزمایش بعمل آمد. برای تنظیم pH از NaOH سود M ۰/۱ و اسید کلریدریک ۱ M استفاده شده است. در مرحله بعد، نانو جاذب به محلول فلز نیکل افزوده گردید و مخلوط به مدت زمان هایی که ذکر خواهد شد با سرعت ۴۰۰ rpm با استفاده از یک سیستم مغناطیسی همزده شد. پس از زمان های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ بر حسب دقیقه عملیات اختلاط متوقف گردید. در زمان های مختلف، جاذب با استفاده از سانتریفوژ، در دور حدود ۴۰۰۰ rpm ، از مخلوط جدا گردیده شده و مایع باقی مانده از نظر میزان حذف آلاینده به وسیله دستگاه جذب اتمی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این منحنی کهنشان

دهنده درصد جذب و همچنین سرعت عمل نانو ذرات پرلایت است از طریق معادلات ( ۱-۴ ) و ( ۲-۴ ) که در ابتدای فصل بیان شده ، بدست آمده است.

#### ۴-۵-۲- تأثیر غلظت محلول فلز نیکل

تغییر غلظت محلول فلز نیکل اولیه بر فرآیند جذب برای غلظت های ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ppm در دمای ۲۵ °C، دور همزن ۴۰۰ rpm و دور سانتریفیوژ ۴۰۰۰ rpm در pH=۶ برای ۰/۰۵ گرم از نانو پرلیت تحت بررسی قرار گرفته است و آن مقدار بهینه تعیین شده است. نمودار مربوط به تأثیر غلظت محلول فلز نیکل در زمان های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ دقیقه نشان داده شده است. بطوریکه مشاهده می شود برای غلظت محلول فلز نیکل ۵، ۱۵، ۲۵ ppm شکل ۴-۱۶ میزان در صد حذف ۱۰۰٪ بدست آمده است.



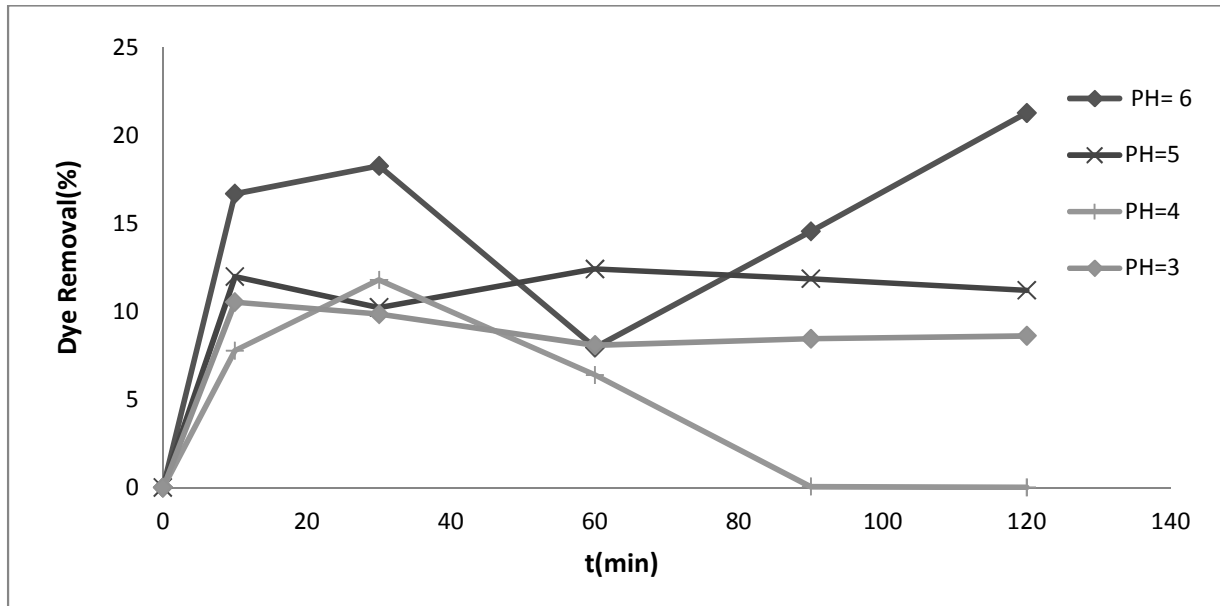
شکل ۴-۱۶- تأثیر غلظت محلول فلز نیکل بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در pH=6، m=0/05 gr و V=25 ml.

#### ۴-۵-۳- تأثیر مقدار نانو جاذب

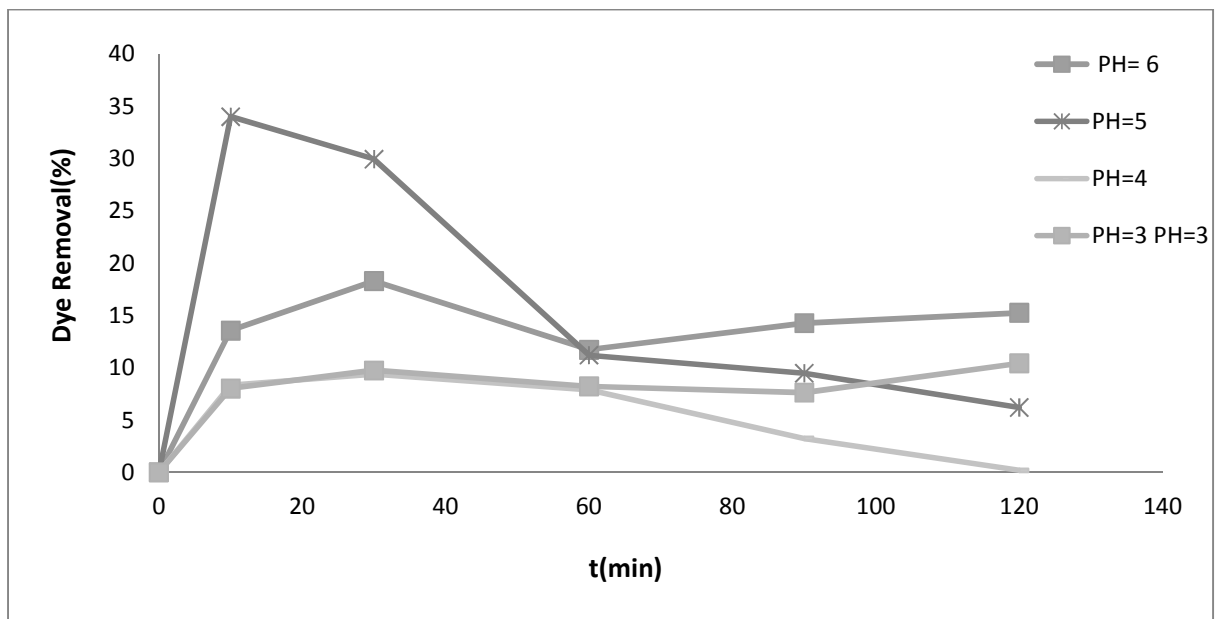
در این قسمت وابستگی میزان جذب محلول فلز نیکل برای مقادیر وزنی از نانو جاذب مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی مقدار جذب محلول فلز نیکل برای غلظت های ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۵، ۵ ppm در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  دور همزن rpm ۴۰۰ و دور سانتریفیوژ rpm ۴۰۰۰ در PH های ۳، ۴، ۵، ۶ برای ۰.۰۳، ۰.۰۵، ۰.۰۷ گرم از نانو پرلیت تحت بررسی قرار گرفت که مقدار ۰/۰۵ گرم مقدار بهینه انتخاب شد (شکل ۴-۱۷، ۴-۱۸).

#### ۴-۵-۴- تأثیر pH

pH محلول ها پارامتر بسیار مهمی در جذب محلول فلز نیکل توسط نانو جاذب است. اثر تغییرات pH در گستره pH های ۳، ۴، ۵، ۶ توسط جاذب نانو پرلیت، برای غلظت های ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۵، ۵ PPM در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  و دور همزن rpm ۴۰۰، دور سانتریفیوژ rpm ۴۰۰۰ و برای ۰.۰۳، ۰.۰۵، ۰.۰۷ گرم از نانو پرلیت تحت بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده بر آن است که در طی آن  $\text{PH} = 6$  بعنوان PH بهینه انتخاب (شکل ۴-۱۷، ۴-۱۸، ۴-۱۹).

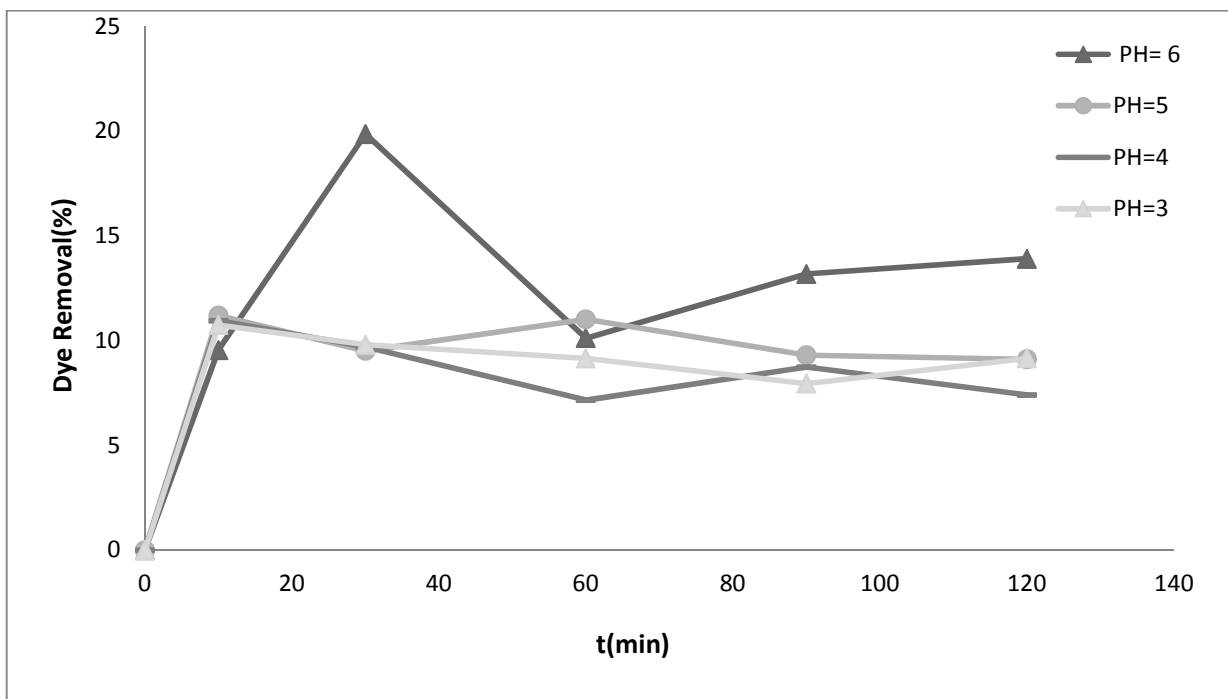


شکل ۴-۱۷- تأثیر مقدار نانو جاذب و تأثیر pH محلول فلز نیکل بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در  $m=0.07$  gr,  $V=25$  ml و  $ppm=50$ .



شکل ۴-۱۸- تأثیر مقدار نانو جاذب و تأثیر pH محلول فلز نیکل بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در  $m=0.05$  gr,  $V=25$  ml و  $ppm=50$ .



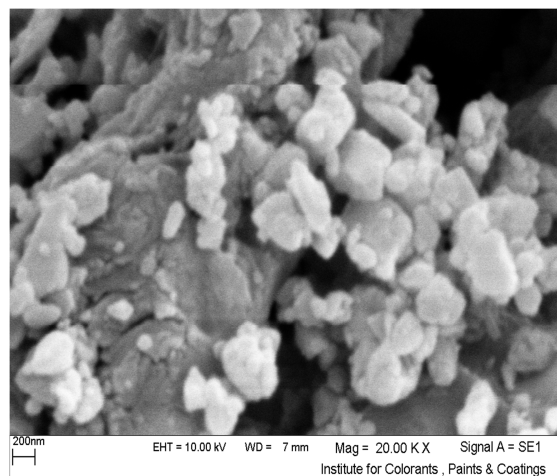
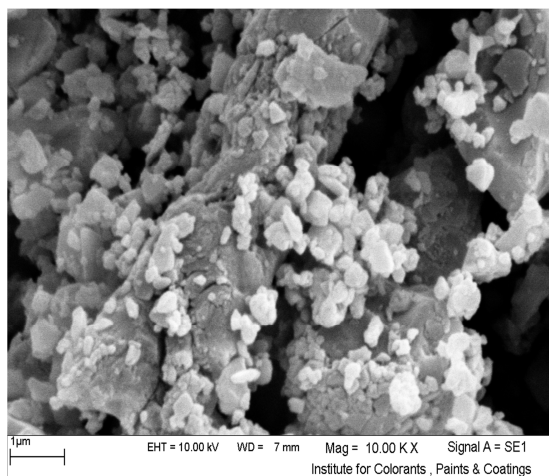


شکل ۴-۱۹- تأثیر مقدار نانو جاذب و تأثیر pH محلول فلز نیکل بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در  $m=0/03$  gr,  $ppm=50$  و  $V=25$  ml.

#### ۴-۶ - آنالیز نمونه ها در راستای جذب سطحی فلز نیکل بر روی نانو پرلیت

##### ۴-۶-۱ - آنالیز SEM

تصاویر SEM از سطوح جذب سطحی فلز نیکل بر روی نانو پرلیت گرفته شد. (شکل ۴-۲۰) همانطور که دیده می شود ذرات نانو پرلیت نشان داده شده است. ذرات نانو پرلیت کاملاً مشهود می باشد همچنین رنگزا نیز دیده می شود.



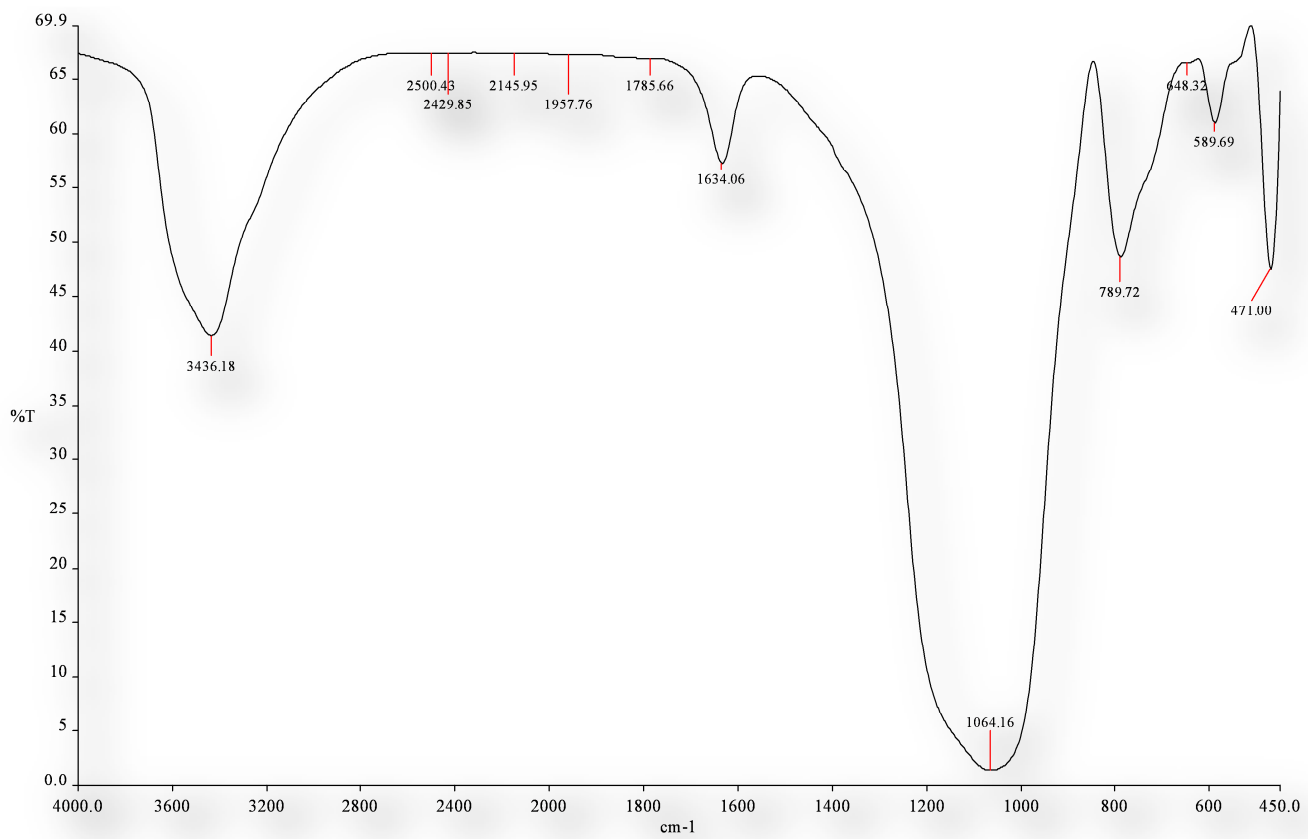
شکل ۴-۲۰ - ابعاد اندازه گیری شده جذب سطحی فلز نیکل بر روی نانو پرلیت با استفاده از دستگاه SEM.

#### ۴-۶-۲- آنالیز FTIR

این تست به منظور مشخص کردن خصوصیات سطح جاذب در رنج ۴۵۰ تا  $4000\text{cm}^{-1}$  صورت پذیرفت. خصوصیات سطح جاذب در حالت نانو پرلیت در شکل زیر آورده شده است. موقعیت های پیک برای نانو پرلیت در نقاط :

۸۷۹/۷۹ ، ۱۰۶۴/۱۶ ، ۱۶۳۴/۰۶ ، ۱۸۷۵/۶۶ ، ۱۹۵۷/۷۶ ، ۲۱۴۵/۹۵ ، ۲۴۲۹/۸۵ ، ۲۵۰۰/۴۳ ، ۳۴۳۶/۱۸  
۴۷۱/۰۰ ، ۵۸۹/۶۹ ، ۶۴۸/۳۲ در این شکل به وضوح دیده می شود که در واقع این پیک ها باند های اصلی جاذب محسوب می شود. (شکل ۴-۲۱)

۳۴۳۶/۱۸ مربوط به گروه ازاد سیلانول (Si-O-H) ، ۱۰۶۴/۱۶ مربوط به ارتعاش خمشی پیوند (H-O-H) آب  
۷۸۹۸/۷۲ حاصل باز تابیدن گروه سیلوکسان (Si-O-Si) می باشد.



شکل ۴-۲۱- طیف مربوط به جذب سطحی فلز نیکل بر روی نانو پرلیت.

۴-۷ - نتایج آزمایش های مربوط به جذب سطحی فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت

۴-۷-۱ - مواد و وسایل:

۴-۷-۱-۱ - مواد شیمیایی مورد نیاز

◀ جاذب نانو پرلیت تولید شده در پروژه

◀ نمک نیترات فلز کادمیوم خریداری شده از شرکت Merck

◀ آب مقطر

◀ اسید کلریدریک Merck

◀ سود سوزآور Merck.

#### ۴-۷-۱-۲ - ابزار مورد استفاده

- ◀ دستگاه سانتریفوژ مدل Hettich EBA20
- ◀ دستگاه صفحه داغ با همزن مغناطیسی
- ◀ دستگاه pH متر مدل Metrohm 713 مجهز به سنسور دما
- ◀ دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)
- ◀ دستگاه پراش اشعه مجهول (XRD)
- ◀ دستگاه آنالیز FTIR
- ◀ دستگاه جذب اتمی AAS
- ◀ ترازوی چهار رقمی جهت توزین نمونه ها Sartorius-d=0.1 mg, Max 120g.

در این مرحله از کار آزمایشگاهی در ابتدا محلول ۵۰۰ ppm از نمک نیترات فلز کادمیوم خریداری شده از شرکت Merck به عنوان محلول مادر ساخته شد. در این بخش از کار ، تهیه غلظت های مختلف از فلز را اعمال تغییرات بر روی pH و مقدار جاذب میزان جذب سطحی بر روی نانو پرلیت را بررسی می کنیم.

پارامتر های زیر در فرآیند جذب سطحی فلز سنگین کادمیوم بر روی نانو پرلیت مورد بررسی قرار

می گیرند :

الف - غلظت محلول فلز کادمیوم

ب - مقدار جاذب

پ - PH

ج - زمان

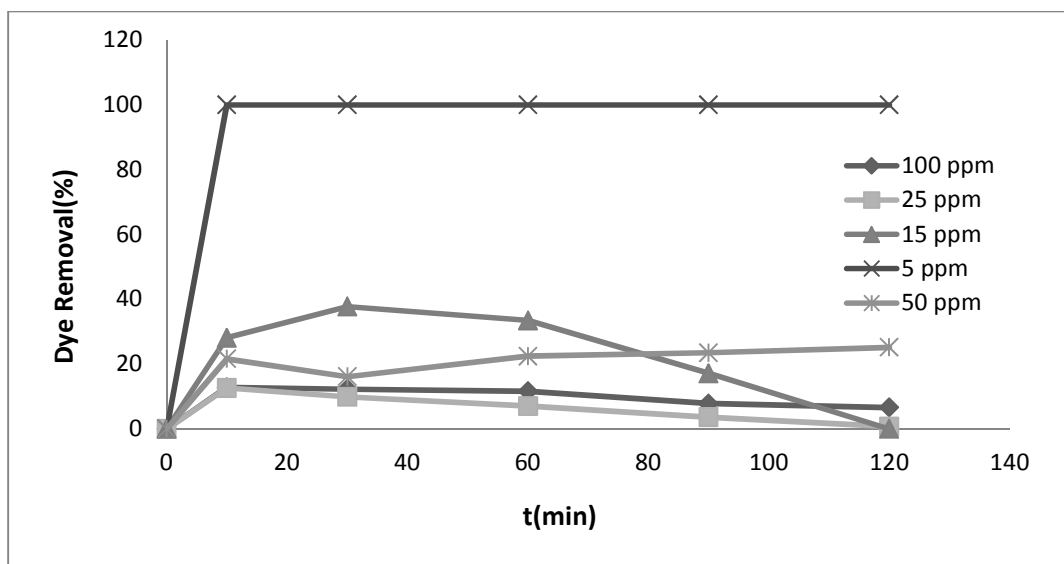
در این قسمت با بررسی هر کدام از این پارامتر ها (با تغییر یک پارامتر و ثابت نگهداشتن بقیه پارامتر ها) برای فلز کادمیوم مقدار بهینه مشخص شده و آنگاه با فراهم نمودن کلیه شرایط برای نانو جاذب، میزان جذب نهایی تعیین می شود. نانو پودر تهیه شده جهت تعیین میزان کارآیی آن، به عنوان نانو جاذب مورد ارزیابی قرار می گیرد.

در مرحله اول برای امتحان نانو جاذب، از ۲۵ ml محلول فلز کادمیوم با غلظت های ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۵، ۵ ppm و pH های ۳، ۴، ۵، ۶ در دمای محیط (حدود ۲۵ °C) آزمایش بعمل آمد. برای تنظیم pH از سود ۰/۱ M و اسید کلریدریک ۱ M استفاده شده است. در مرحله بعد، نانو جاذب به محلول فلز کادمیوم افزوده گردید و مخلوط به مدت کافی با سرعت ۴۰۰ rpm با استفاده از یک سیستم همزن مغناطیسی همزده شد. پس از زمان های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ بر حسب دقیقه عملیات اختلاط متوقف گردید. در زمان های مختلف، جاذب با استفاده از سانتریفوژ، در دور حدود ۴۰۰۰ rpm، از مخلوط جدا گردیده شده و مایع باقی مانده از نظر میزان حذف آلاینده به وسیله دستگاه جذب اتمی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این منحنی کهنشان دهنده درصد جذب و همچنین سرعت عمل نانو ذرات پرلیت است از طریق معادلات (۴-۱) و (۴-۲) که در ابتدای فصل بیان شده، بدست آمده شده است.

#### ۴-۷-۲ - تأثیر غلظت محلول فلز کادمیوم

تغییر غلظت محلول فلز کادمیوم اولیه بر فرآیند جذب برای غلظت های ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ PPM در دمای  $25^{\circ}\text{C}$ ، دور همزن ۴۰۰ rpm و دور سانتریفیوژ ۴۰۰۰ rpm در  $\text{pH}=4$  برای ۰/۰۵ گرم از نانو پرلیت تحت بررسی قرار گرفت و مقدار بهینه تعیین شده است.

نمودار مربوط به تأثیر غلظت محلول فلز کادمیوم را در زمان های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ دقیقه نشان داده شده است. بطوریکه مشاهده می شود برای غلظت محلول فلز کادمیوم ۵ PPM در شکل ۴-۲۲ در صد حذف ۱۰۰٪ بدست آمده است.



شکل ۴-۲۲ - تأثیر غلظت محلول فلز کادمیوم اولیه بر فرآیند جذب سطحی بر روی نانو پرلیت در  $\text{pH}=4$ ،  $m=0/05\text{ gr}$  و  $V=25\text{ ml}$ .

#### ۴-۷-۳ - تأثیر مقدار نانو جاذب

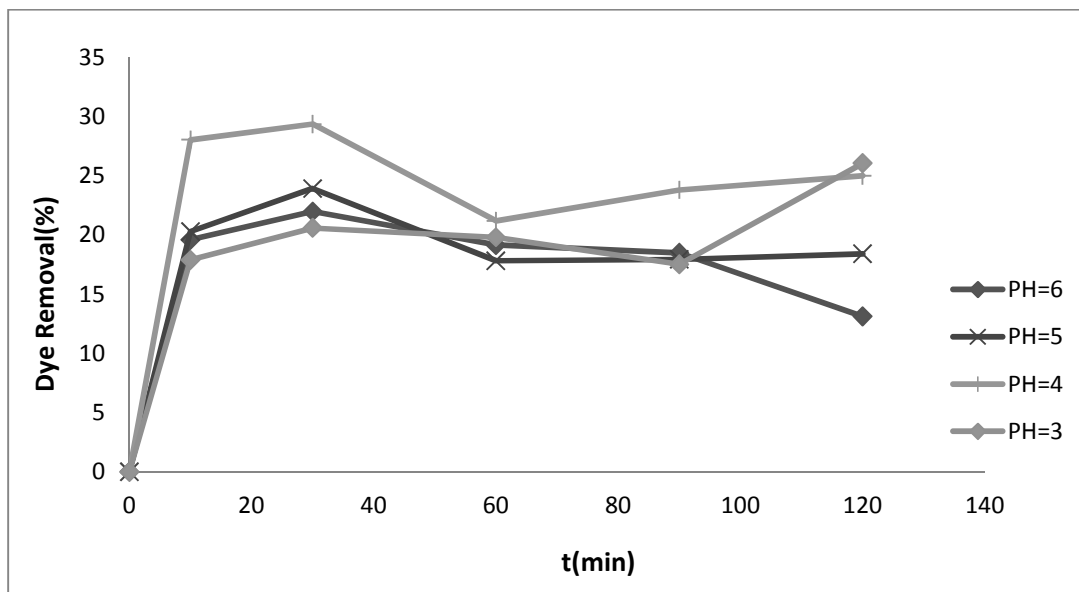
در این قسمت وابستگی میزان جذب محلول فلز کادمیوم برای مقادیر وزنی از نانو جاذب مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی مقدار جذب محلول فلز کادمیوم برای غلظت های ۵، ۱۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ PPM در دمای  $25^{\circ}\text{C}$



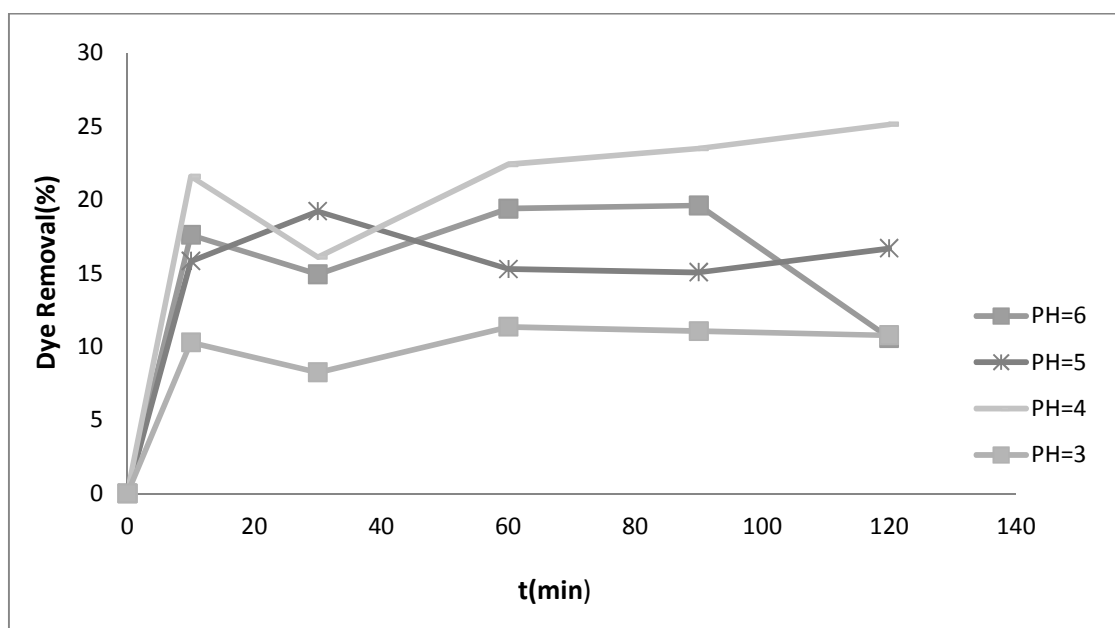
و دور همزن rpm ۴۰۰ ، دور سانتریفیوژ rpm ۴۰۰۰ در pH های ۳، ۴، ۵، ۶ برای ۰.۰۳ ، ۰.۰۵ ، ۰.۰۷ گرم از نانو پرلیت تحت بررسی قرار گرفت که مقدار ۰/۰۵ گرم مقدار بهینه انتخاب شد ( شکل ۴-۲۳ ، ۴-۲۴ ، ۴-۲۵).

#### ۴-۷-۴ - تأثیر pH

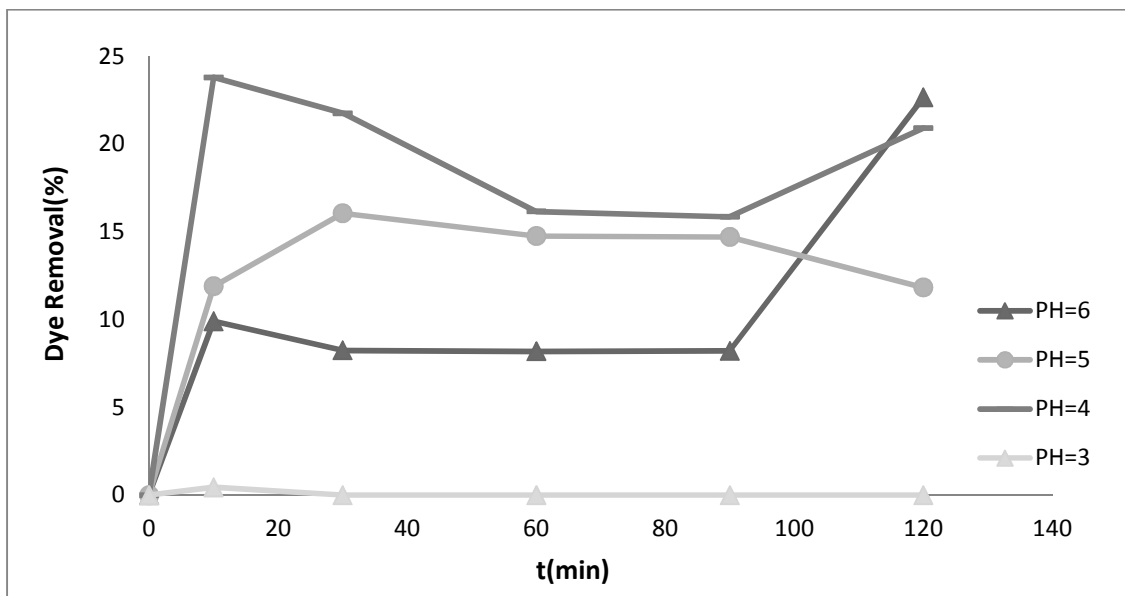
pH محلول ها پارامتر بسیار مهمی در جذب محلول فلز کادمیوم توسط نانو جاذب است. تغییرات pH در گستره pH های ۳ ، ۴ ، ۵ ، ۶ توسط جاذب نانو پرلیت ، برای غلظت های ۱۰۰ ، ۵۰ ، ۲۵ ، ۱۵ ، ۵ PPM در دمای °C ۲۵ و دور همزن rpm ۴۰۰ ، دور سانتریفیوژ rpm ۴۰۰۰ ، برای ۰.۰۳ ، ۰.۰۵ ، ۰.۰۷ گرم از نانو پرلیت تحت بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده در نمودار زیر آمده است که در طی آن  $pH = 4$  بعنوان pH بهینه انتخاب شده است ( شکل ۴-۲۳ ، ۴-۲۴ ، ۴-۲۵).



شکل ۴-۲۳- تأثیر pH و مقدار نانو جاذب بر وابستگی جذب محلول فلز کادمیوم توسط نانو پرلیتدر  $m=0/07$  gr ,ppm=50 و  $V=25$  ml.



شکل ۴-۲۴- تأثیر pH و مقدار نانو جاذب بر وابستگی جذب محلول فلز کادمیوم توسط نانو پرلیت در  $m=0/05$  gr ,ppm=50 و  $V=25$  ml.

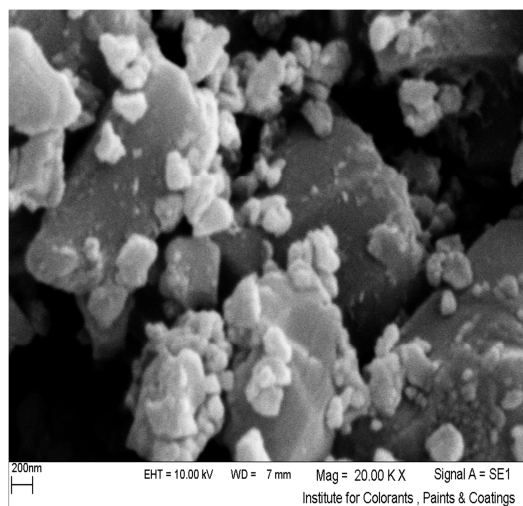
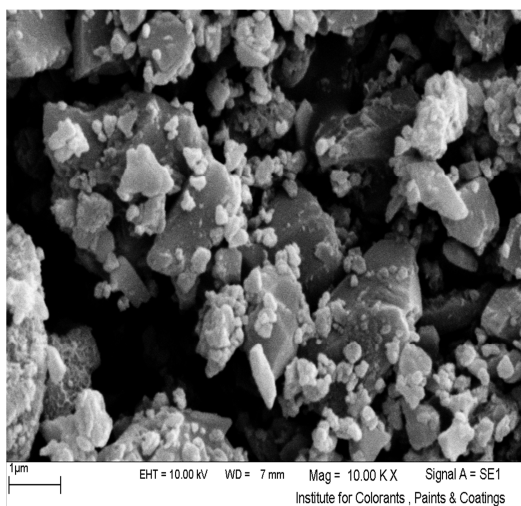


شکل ۴-۲۵- تأثیر pH و مقدار نانو جاذب بر وابستگی جذب محلول فلز کادمیوم توسط نانو پرلیت در  $V=25\text{ ml}$  و  $m=0/03\text{ gr}$ ،  $\text{ppm}=50$ .

## ۸-۴ - آنالیز نمونه ها در راستای جذب سطحی فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت

### ۱-۸-۴ آنالیز SEM

تصاویر SEM از سطوح پرلیت در ابعاد نانویی در شکل (۴-۲۶) گرفته شده است. فلز کادمیوم توسط نانو ذرات پرلیت جذب شده اند.



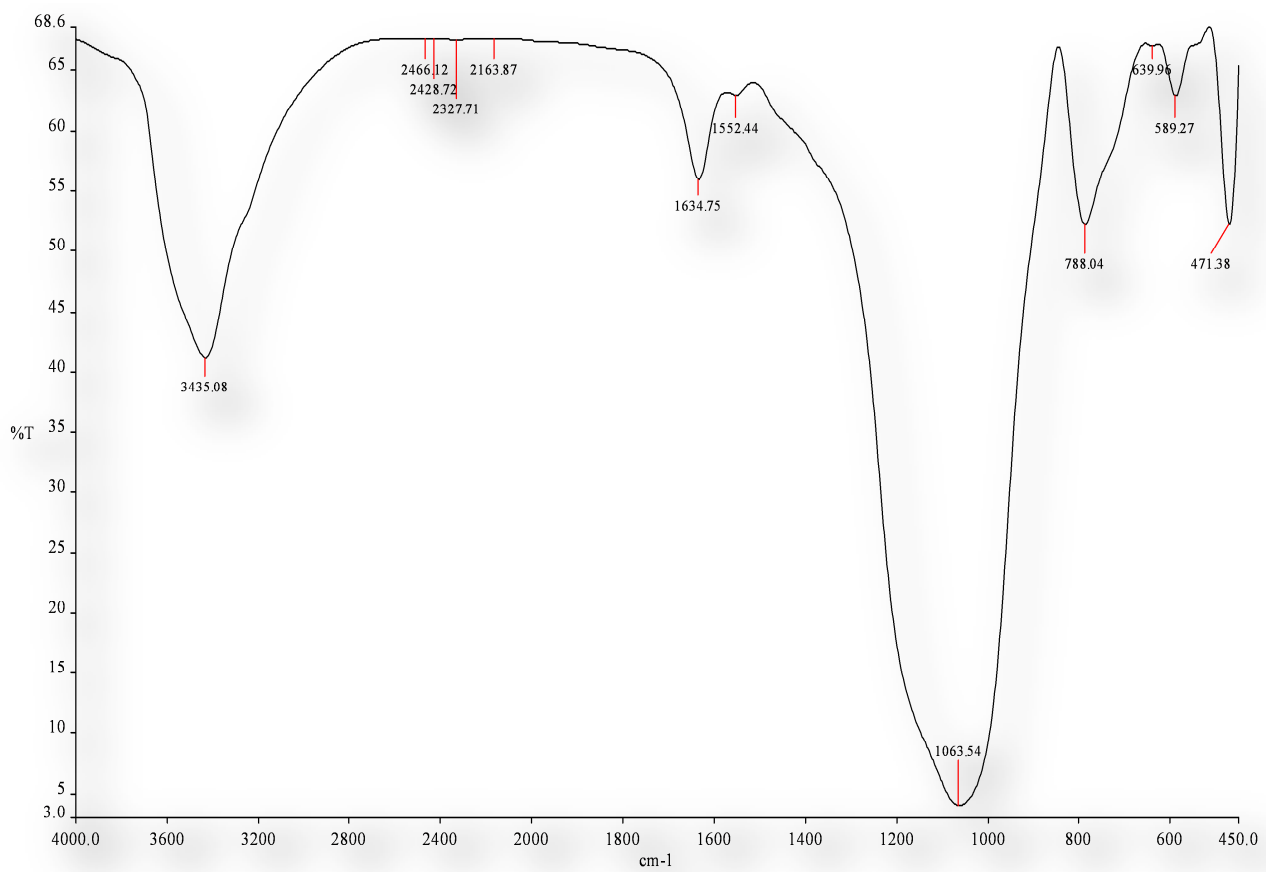
شکل ۴-۲۶- ابعاد اندازه گیری شده جذب سطحی فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت با استفاده از SEM.

#### ۴-۸-۲ - آنالیز FTIR

این تست به منظور مشخص کردن خصوصیات سطح جاذب در رنج ۴۵۰ تا  $4000\text{ cm}^{-1}$  صورت پذیرفت. خصوصیات سطح جاذب در حالت نانو پرلایت در شکل زیر آورده شده است. موقعیت های پیک برای نانو پرلایت در نقاط :

۳۴۳۵/۰۸ ، ۲۴۶۶/۱۲ ، ۲۴۲۸/۷۲ ، ۲۳۲۷/۷۱ ، ۲۱۶۳/۸۷ ، ۱۶۳۴/۷۵ ، ۱۵۵۲/۴۴ ، ۱۰۶۳/۵۴ ، ۸۷۷/۰۴ ، ۶۳۹/۹۶ ، ۵۸۹/۲۷ ، ۴۷۱/۳۸ در این شکل به وضوح دیده می شود که در واقع این پیک ها باند های اصلی جذب محسوب می شود. (شکل ۴-۲۷)

۳۴۳۵/۰۸ مربوط به ارتعاش خمشی پیوند ( H-O-H ) ، ۱۰۶۳/۵۴ مربوط به گروه آزاد سیلانول ( Si-O-H ) و ۷۸۸/۰۴ حاصل باز تابیدن گروه سیلوکسان ( Si-O-Si ) می باشد.

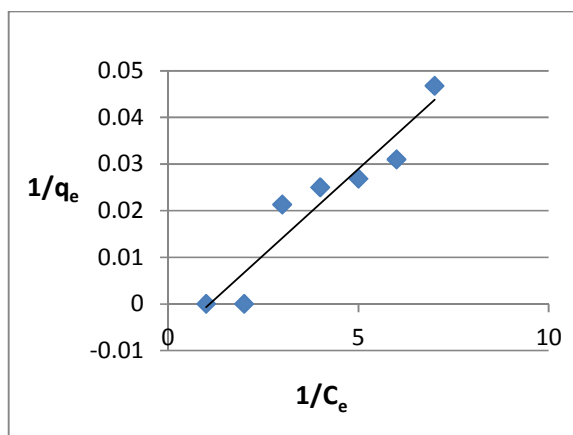


شکل ۴-۲۷- طیف مربوط به نانو پرلیت بعد از جذب فلز کادمیوم.

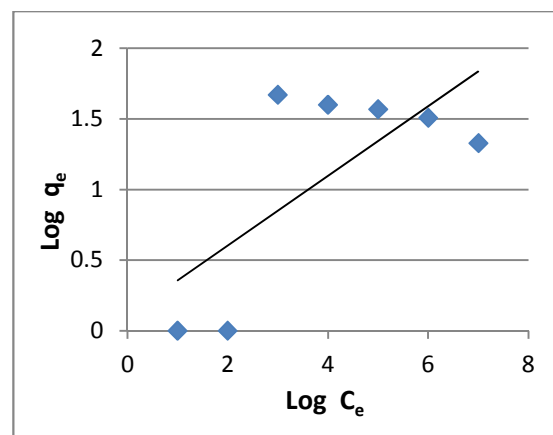
#### ۹-۴ ایزوترم جذب

معادلات ایزوترم در طراحی سیستم های جذب بسیار مهم هستند ، برای تخمین ویژگی های جذب جاذب ، ایزوترم های جذب را بررسی می نماییم که ارتباط بین مواد جذب شده در واحد جرم جاذب و غلظت تعادلی محلول را در دمای ثابت بیان می نماید.

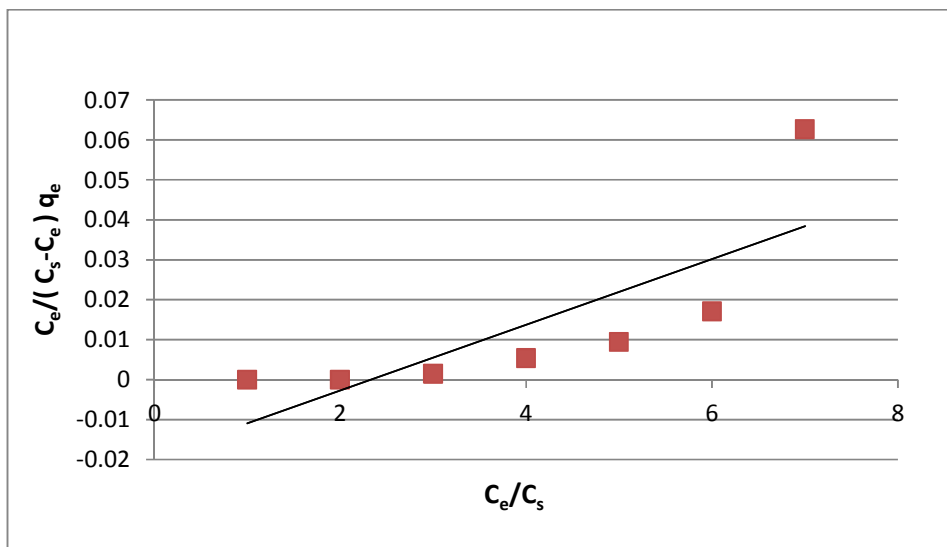
در این مرحله برای بررسی چگونگی جذب در سطح جاذب از سه مدل ایزوترم شناخته شده لانگمویر، فروندلیش و BET استفاده شده است. در شکل های (۲۸-۴، ۲۹-۴، ۳۰-۴) ایزوترم را برای رنگزا مالاشیت سبز، (۳۱-۴، ۳۲-۴، ۳۳-۴) ایزوترم را برای فلز نیکل و (۳۴-۴، ۳۵-۴، ۳۶-۴) ایزوترم را برای فلز کادمیوم بررسی می کنیم.



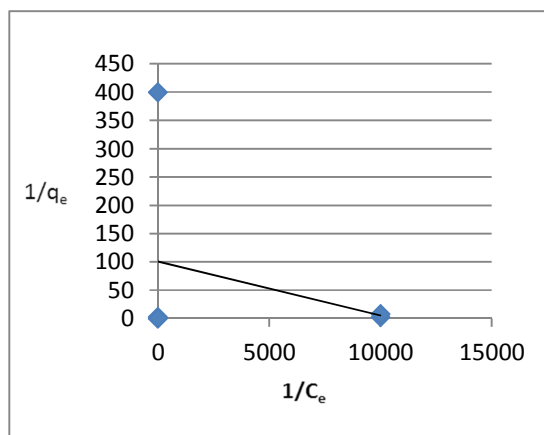
شکل ۲۹-۴- نمودار خطی ایزوترم فروندلیش برای جذب رنگزا مالاشیت سبز بر روی نانو پرلیت



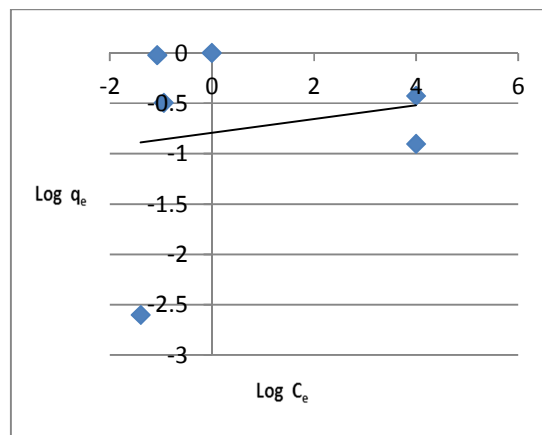
شکل ۲۸-۴- نمودار خطی ایزوترم لانگمویر برای جذب رنگزا مالاشیت سبز بر روی نانو پرلیت



شکل ۳۰-۴- ایزوترم BET مربوط به جذب رنگزای مالاشیت سبز توسط نانو پرلیت

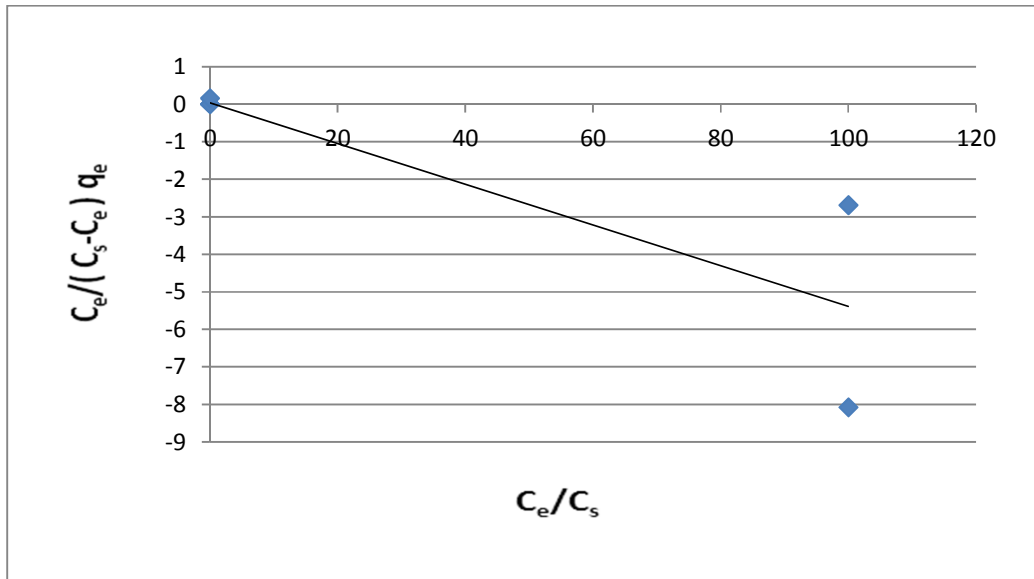


شکل ۳۲-۴- نمودار خطی ایزوترم فروندلیش برای جذبفلز نیکل برروی نانو پرلیت

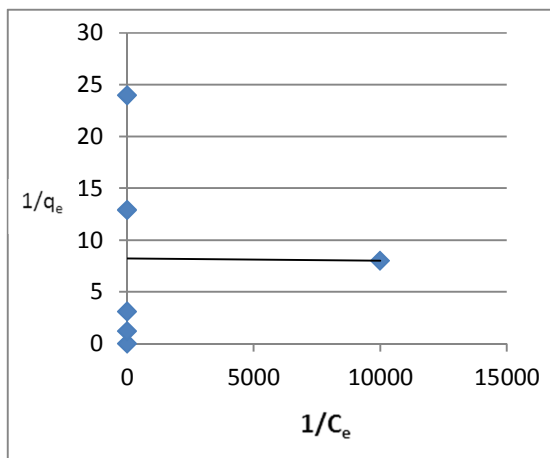


شکل ۳۱-۴- نمودار خطی ایزوترم لانگمویر برای جذب فلز نیکل برروی نانو پرلیت

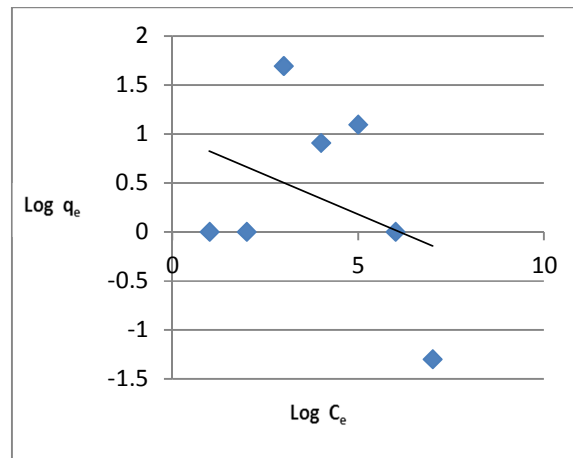




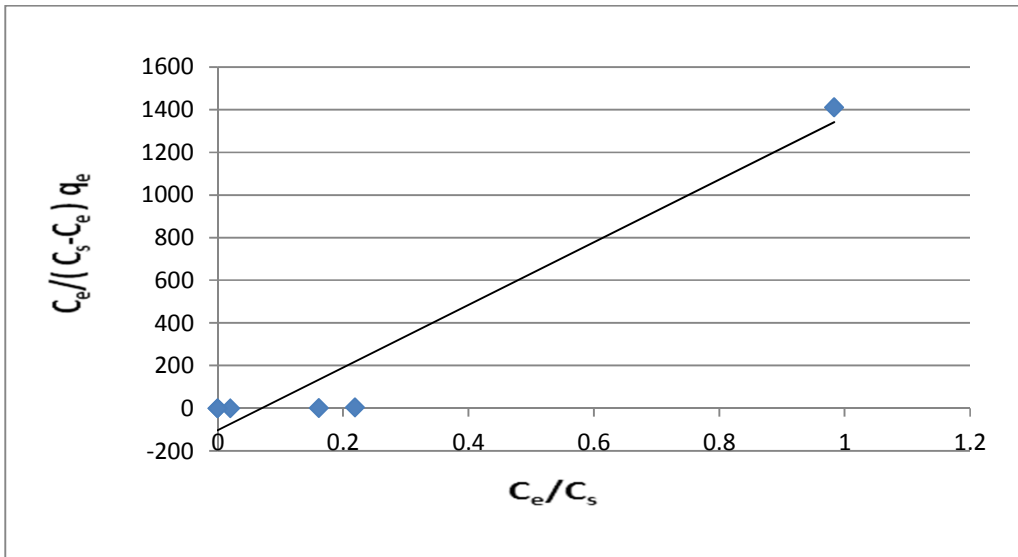
شکل ۴-۳۳- ایزوترم BET مربوط به جذب فلز نیکل توسط نانو پرلیت



شکل ۴-۳۵- نمودار خطی ایزوترم فروندلیش برای جذب فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت



شکل ۴-۳۴- نمودار خطی ایزوترم لانگمویر برای جذب فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت



شکل ۴-۳۶- ایزوترم BET مربوط به جذب فلز کادمیوم توسط نانو پرلیت

جدول ۱-۴ ثابت های ایزوترم های لانگمویر، فروندلیش و بت را برای حذف رنگزا، فلز نیکل و فلز کادمیوم نشان

می دهد.

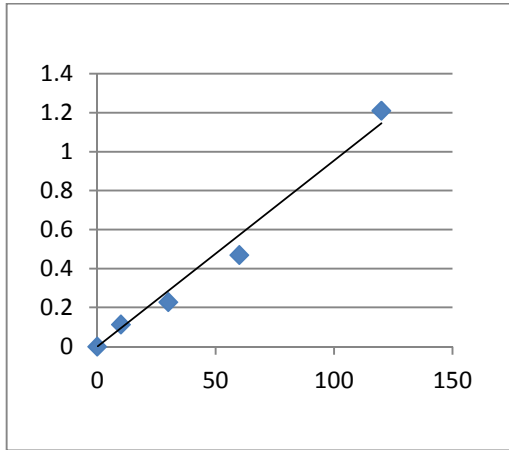
جدول ۱-۴ ثابت های ایزوترم

		فروندلیش			لانگمویر			BET		
نوع جاذب	نوع رنگزا و فلز	$Q_0$	$K_f$	$R_1^2$	$K_l$	$\frac{1}{n}$	$R_2^2$	$k_b$	$q_m$	$R_3^2$
نانو پرلیت	مالاشیت سبز	۱۲	۰/۱۰۸۸	۰/۴۹۵۵	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۷۴	۰/۹۱۰۹	۰/۰۰۸۲	۰/۰۱	۰/۶۲۵۸
نانو پرلیت	فلز نیکل	۱۰۰	۰/۱۹۰۷	۰/۰۳۱۷	-۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۹۶	۰/۰۹۲۹	۱۴۶۹/۸	۰/۲	۰/۷۳
نانو پرلیت	فلز کادمیوم	۱۰۰	۰/۲۴۵۹	۰/۰۰۲۵	-۲E-۰۵	۲E-۰۵	۱E-۰۴	-۰/۰۵۴۳	۱/۰۳	۰/۹۴۲۳

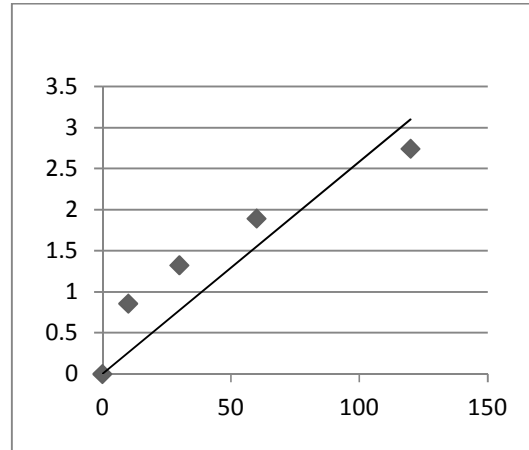
همانطور که مشاهده می شود ایزوترم لانگمویر برای رنگزای مالاشیت گرین و ایزوترم BET برای فلز نیکل و فلز کادمیوم مناسب در نظر گرفته شده است (برای فلز نیکل نتیجه مطلوبی حاصل نشده است لذا مستلزم تحقیقات بیشتری می باشد).

#### ۴-۱۰- سینتیک واکنش

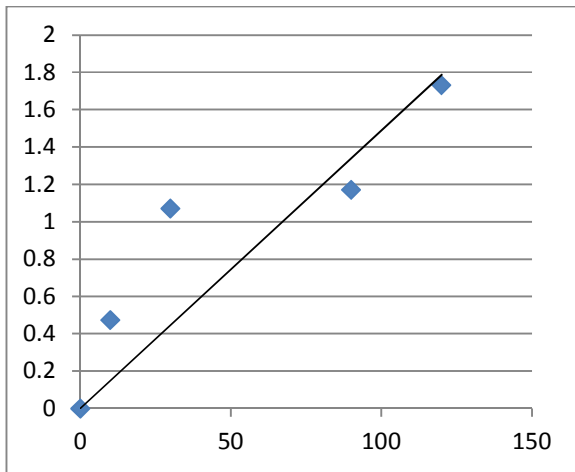
مروری بر سینتیک واکنش در فصل دوم آمده است در ادامه بحث پارامترهای های مربوطه را بررسی می کنیم.



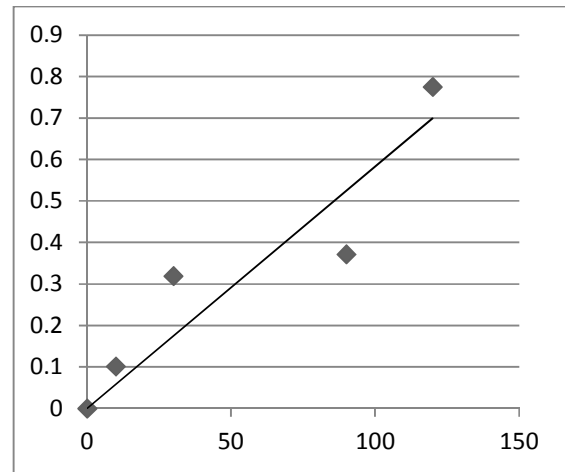
شکل ۴-۳۸- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به مرحله جذب رنگزا در  $\text{pH}=6$ ,  $\text{ppm}=12$  توسط نانو پرلیت



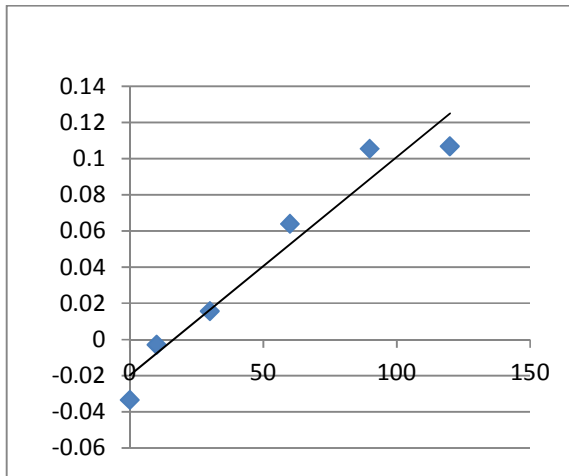
شکل ۴-۳۷- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به مرحله جذب رنگزا در  $\text{pH}=6$ ,  $\text{ppm}=12$  توسط نانو پرلیت



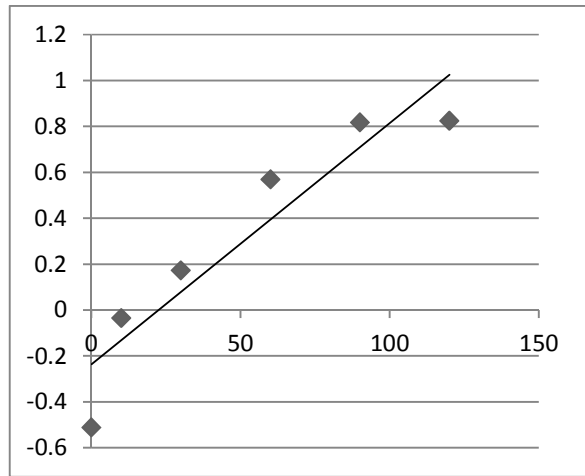
شکل ۴-۴۰- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به مرحله جذب رنگزا در  $\text{pH}=6$ ,  $\text{ppm}=6$  توسط نانو پرلیت



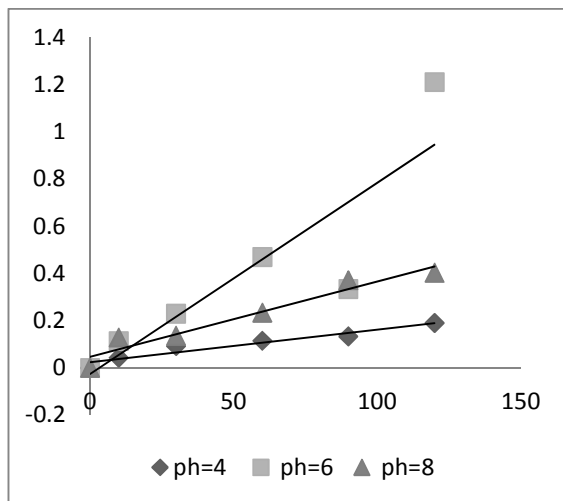
شکل ۴-۳۹- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به مرحله جذب رنگزا در  $\text{pH}=6$ ,  $\text{ppm}=6$  توسط نانو پرلیت



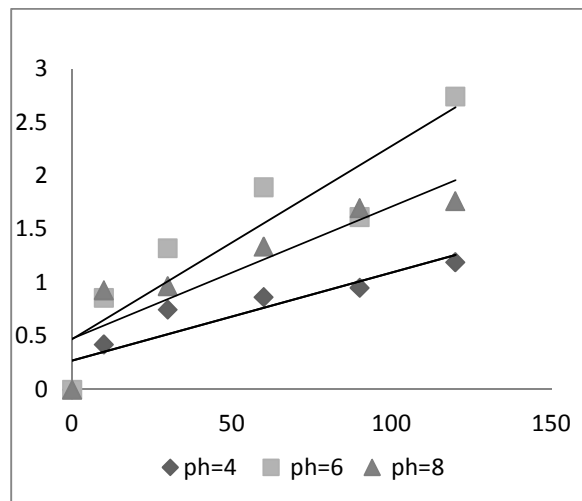
شکل ۴-۴۲- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به مرحله جذب در رنگزا در  $\text{pH}=6$ ,  $\text{ppm}=20$  توسط نانو پرلیت



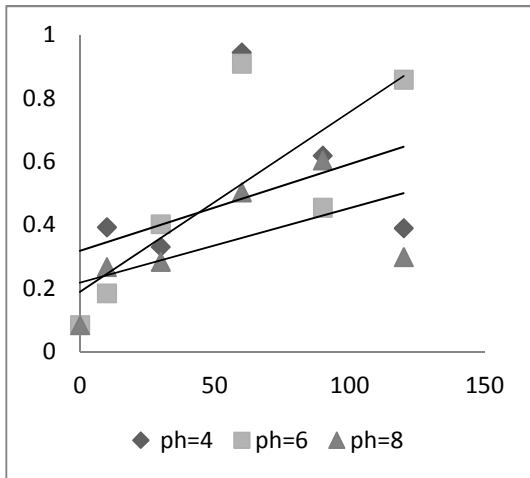
شکل ۴-۴۱- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به مرحله جذب رنگزا در  $\text{pH}=6$ ,  $\text{ppm}=20$  توسط نانو پرلیت



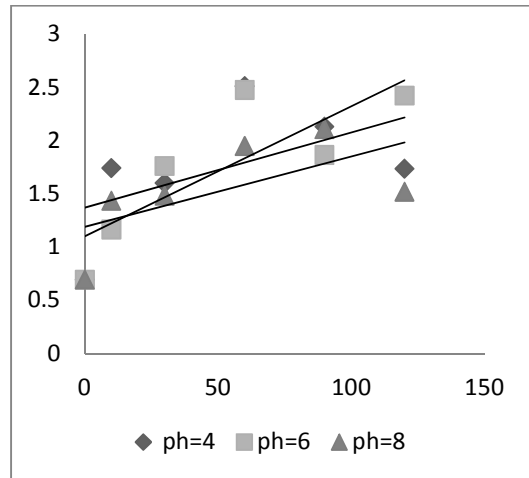
شکل ۴-۴۴- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به مرحله جذب رنگزادر  $\text{pH}=4,6,8$ ،  $\text{ppm}=12$  توسط نانو پرلیت



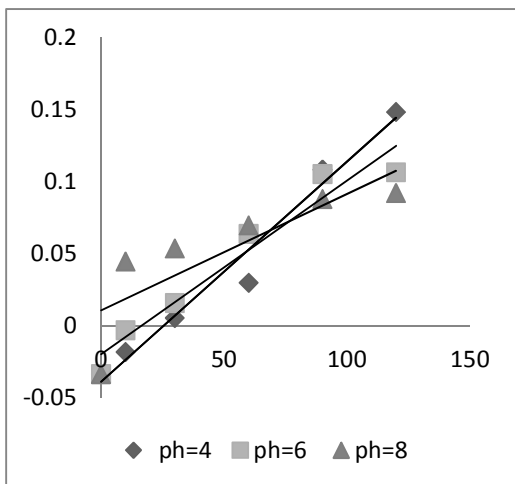
شکل ۴-۴۳- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به مرحله جذب رنگزادر  $\text{pH}=4,6,8$ ،  $\text{ppm}=12$  توسط نانو پرلیت



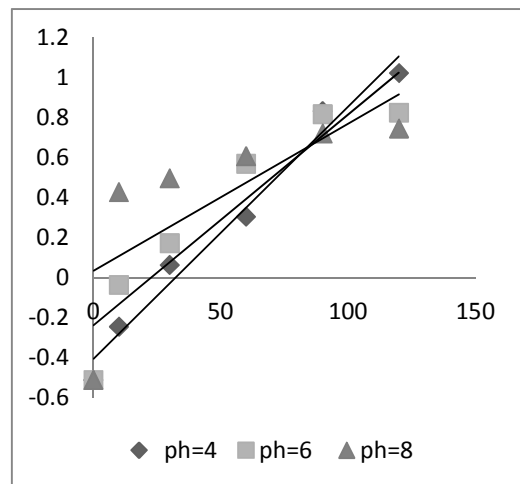
شکل ۴-۴۶- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به مرحله جذب رنگزادر ppm=6 ، pH=4,6,8 توسط نانو پرلیت



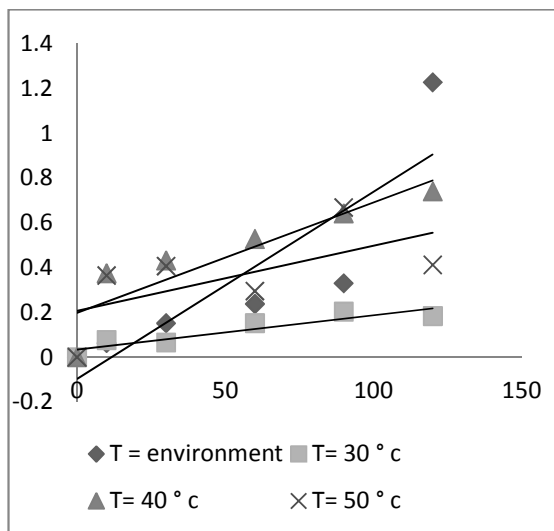
شکل ۴-۴۵- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به مرحله جذب رنگزا در pH=4,6,8 ، ppm=6 توسط نانو پرلیت



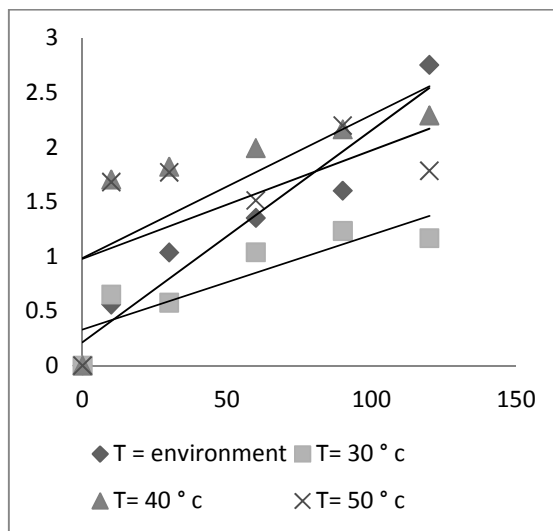
شکل ۴-۴۸- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به مرحله جذب در ppm=20 ، pH=4,6,8 توسط نانو پرلیت



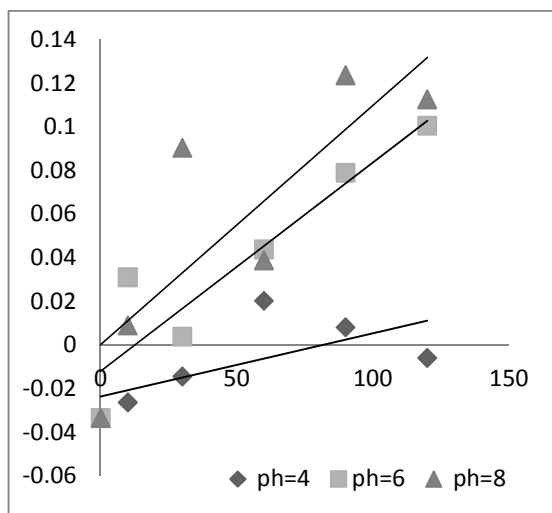
شکل ۴-۴۷- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به مرحله جذب در ppm=20 ، pH=4,6,8 توسط نانو پرلیت



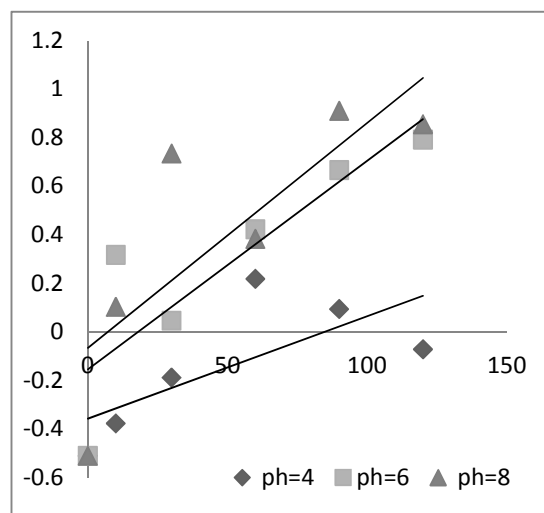
شکل ۴-۵۰- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به دما در  
 pH=6, ppm=12 توسط نانو پرلیت



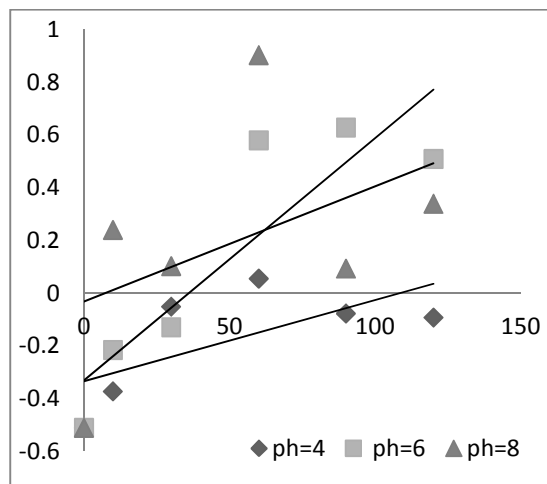
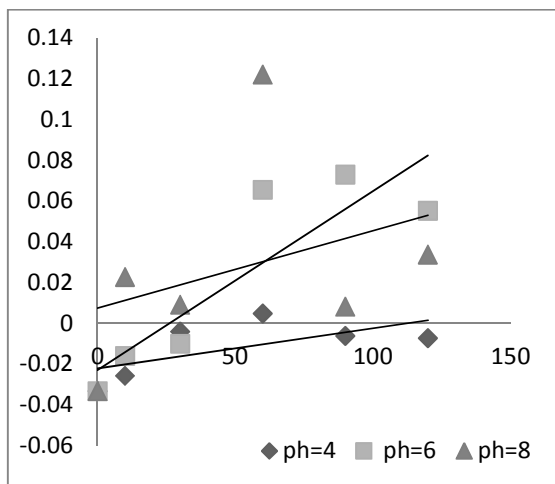
شکل ۴-۴۹- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به دما  
 در pH=6, ppm=12 توسط نانو پرلیت



شکل ۴-۵۲- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به مرحله  
 جذب با مگنت در pH=6,4,8, ppm=20 توسط نانو پرلیت  
 مغناطیسی

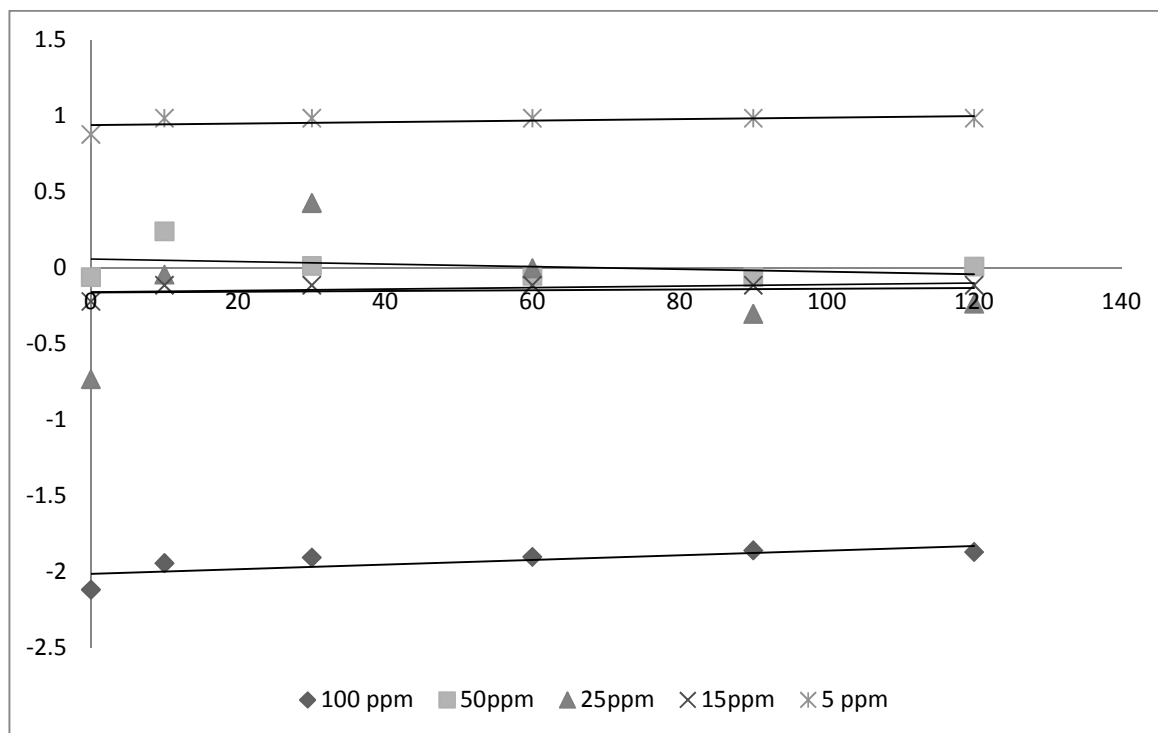


شکل ۴-۵۱- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به مرحله  
 جذب با مگنت در pH=4,6,8, ppm=20 توسط نانو پرلیت  
 مغناطیسی



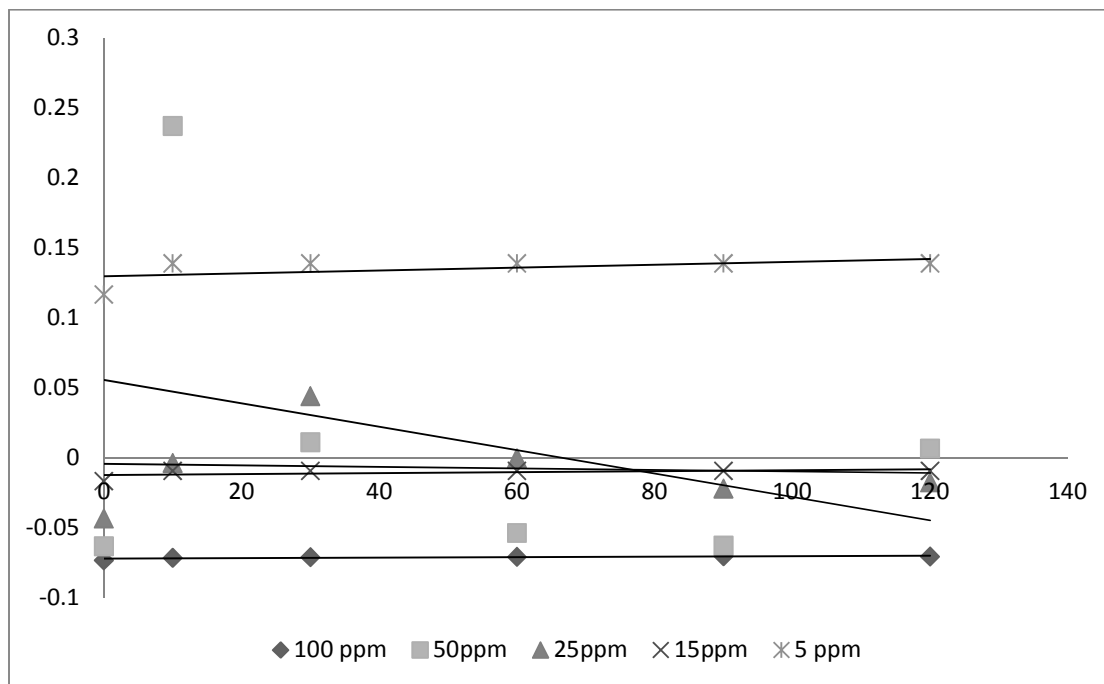
شکل ۴-۵۴- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به مرحله جذب بدون مگنت در  $pH=4,6,8, ppm=20$  توسط نانو پرلیت مغناطیسی

شکل ۴-۵۳- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به مرحله جذب بدون مگنت در  $pH=4,6,8, ppm=20$  توسط نانو پرلیت مغناطیسی

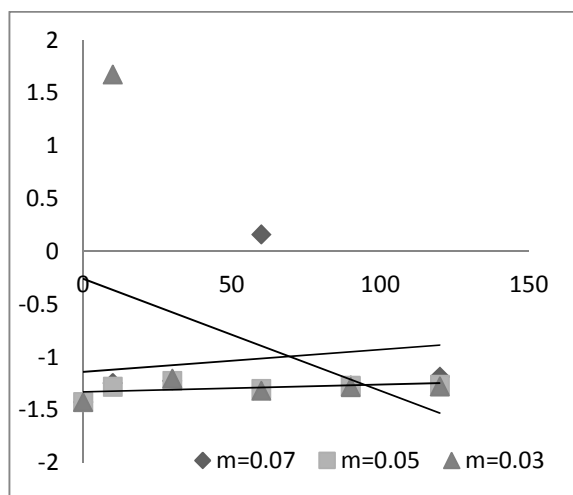


شکل ۴-۵۵- سینتیک مرتبه اول مربوط به غلظت محلول فلز نیکل بعد از جذب توسط نانو پرلیت

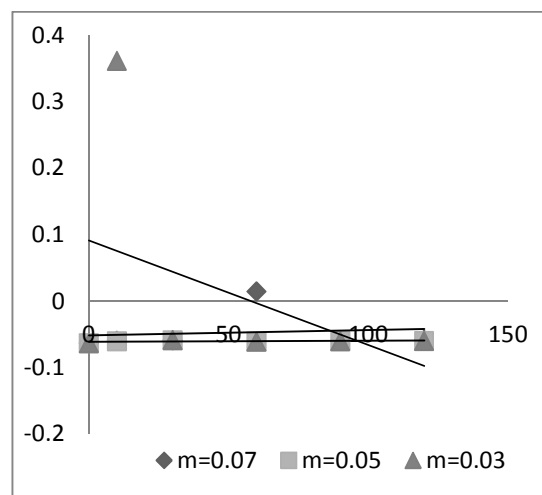




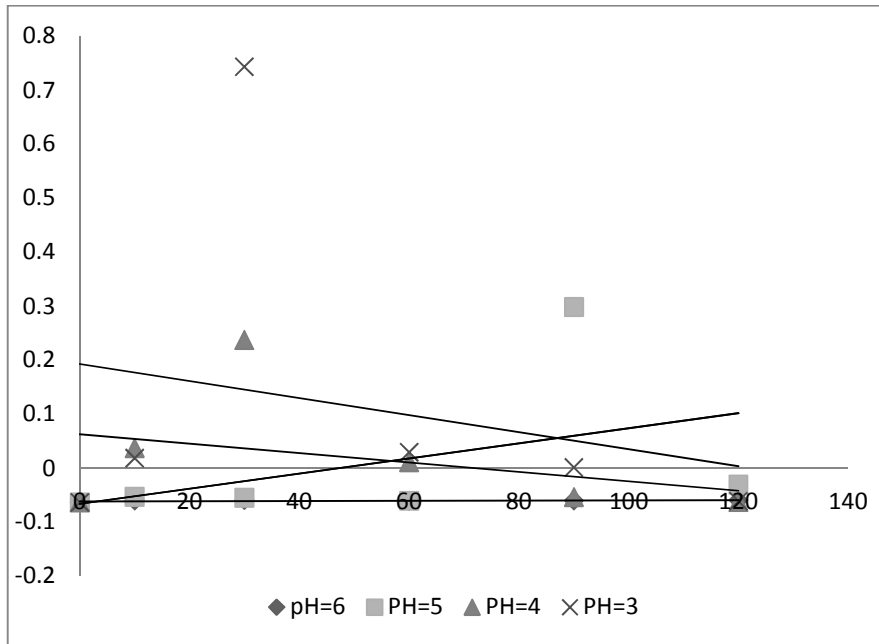
شکل ۴-۵۶- سینتیک مرتبه دوم مربوط به غلظت محلول فلز نیکل بعد از جذب توسط نانو پرلیت



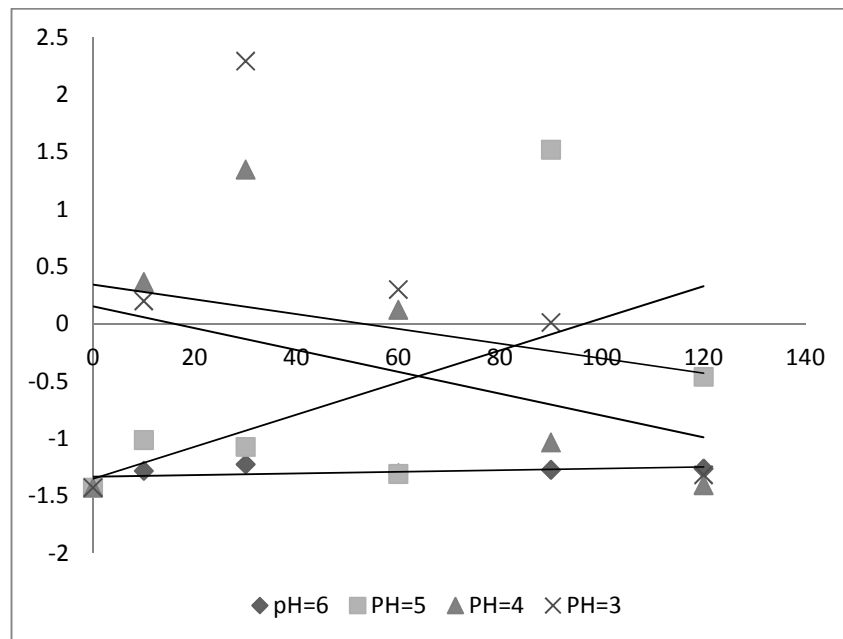
شکل ۴-۵۸- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به جذب فلز نیکل در  $pH=6$ ،  $ppm=50$  توسط نانو پرلیت



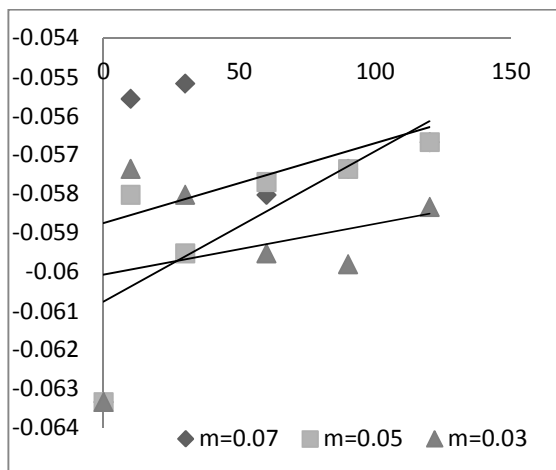
شکل ۴-۵۷- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به جذب فلز نیکل در  $pH=6$ ،  $ppm=50$  توسط نانو پرلیت



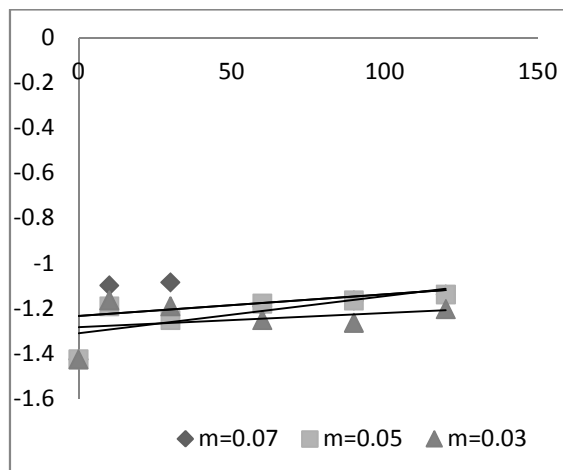
شکل ۴-۵۹- سینتیک مرتبه دوم مربوط به تغییرات pH محلول فلز نیکل ، جذب توسط نانو پرلیت



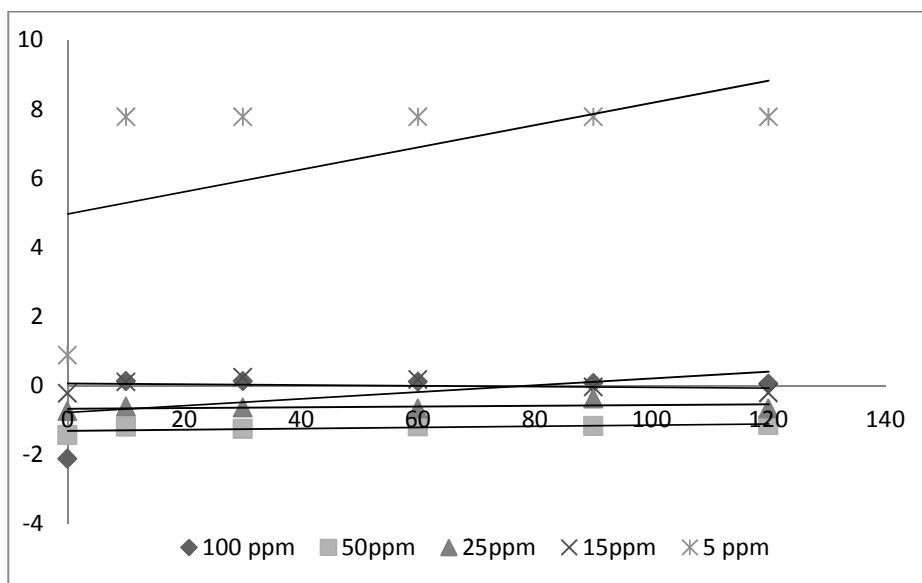
شکل ۴-۶۰- سینتیک مرتبه اول مربوط به تغییرات pH محلول فلز نیکل ، جذب توسط نانو پرلیت



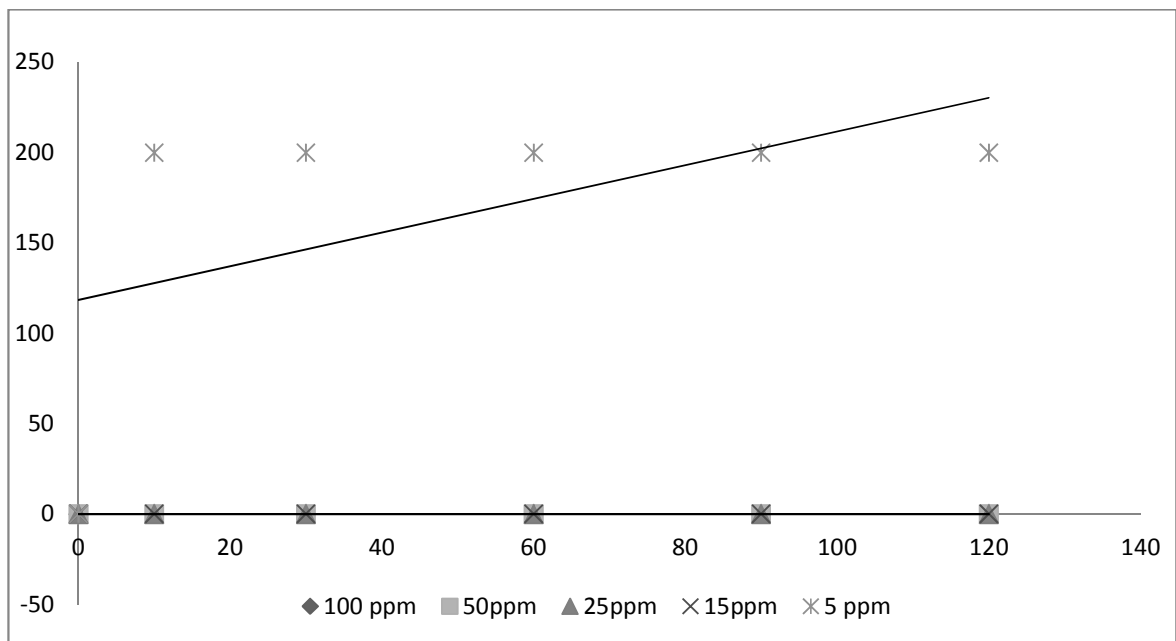
شکل ۴-۶۲- نمودار سینتیک مرتبه اول مربوط به جذب فلز کادمیوم در  $\text{pH}=4$ ،  $\text{ppm}=50$  توسط نانو پرلیت



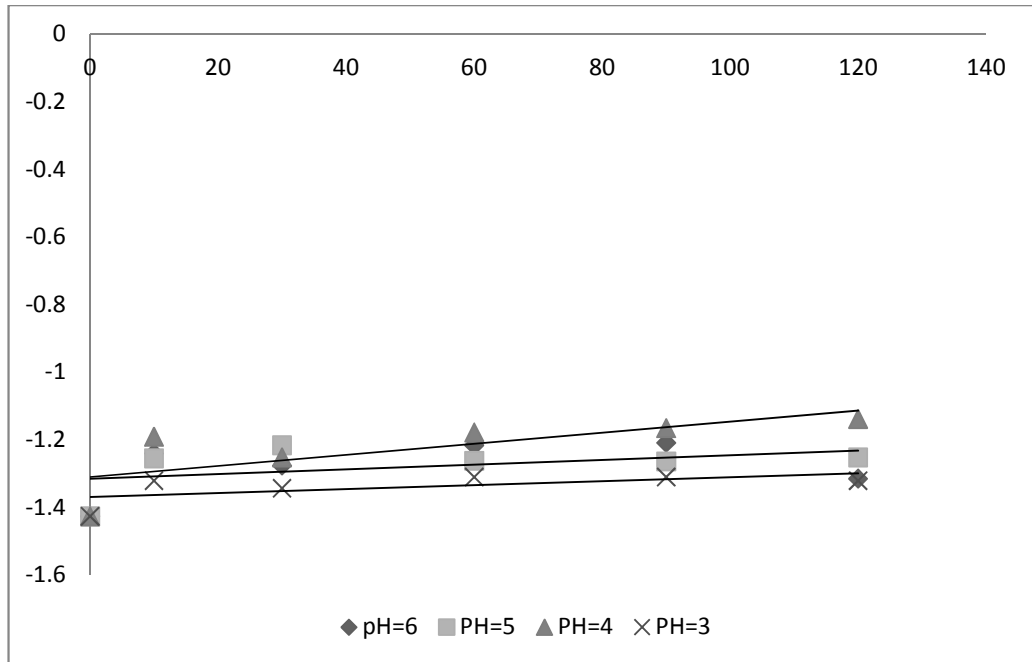
شکل ۴-۶۱- نمودار سینتیک مرتبه دوم مربوط به جذب فلز کادمیوم در  $\text{pH}=4$ ،  $\text{ppm}=50$  توسط نانو پرلیت



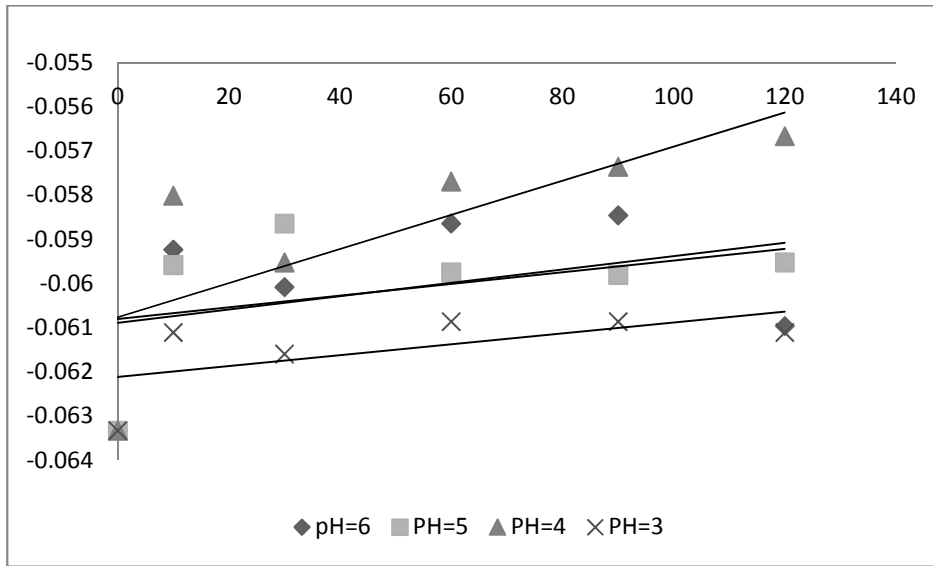
شکل ۴-۶۳- سینتیک مرتبه اول مربوط به تغییرات غلظت محلول فلز کادمیوم جذب توسط نانو پرلیت



شکل ۴-۶۴- سینتیک مرتبه دوم مربوط به تغییرات غلظت محلول فلز کادمیوم جذب توسط نانو پرلیت



شکل ۴-۶۵- سینتیک مرتبه اول مربوط به تغییرات pH محلول فلز کادمیوم جذب توسط نانو پرلیت



شکل ۴-۶- سینتیک مرتبه دوم مربوط به تغییرات pH محلول فلز کادمیوم جذب توسط نانو پرلیت

جدول ۴-۲- ثابتهای سینتیک جذب سطحی رنگزای مالاویت سبز بر روی نانو پرلیت در غلظت های مختلف رنگزای مالاویت سبز را نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم پیروی می کند.

تأثیر پارامتر $C_e$	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
12ppm,pH=6	۰/۰۰۹۶	۰/۹۸۰۴	۰/۰۲۵۸	۰/۷۸۹۸
6ppm,pH=6	۰/۰۰۵۸	۰/۸۵۵۷	۰/۰۱۴۹	۰/۷۰۵۹
20ppm,pH=6	۰/۰۰۱۴	۰/۹۱۸	۰/۰۱۳۶	۰/۷۴۲۸

جدول ۴-۳- ثابتهای سینتیک جذب سطحی رنگزای مالاویت سبز بر روی نانو پرلیت در pH مختلف از رنگزای مالاویت سبز را نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود pH، در غلظت ۱۲،۲۰ ppm از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم و در غلظت ۶ ppm از مدل سینتیک شبه مرتبه اول پیروی می کند.

اثر پارامتر pH	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
6ppm,pH=4	۰/۰۰۲۷	۰/۱۹۴۷	۰/۰۰۷	۰/۲۹۵۶
6ppm,pH=6	۰/۰۰۵۷	۰/۶۱۸	۰/۰۱۴۹	۰/۷۰۵۹
6ppm,pH=8	۰/۰۰۲۴	۰/۳۵۷۷	۰/۰۰۶۶	۰/۳۹۵۹
12ppm,pH=4	۰/۰۰۱۴	۰/۹۲۷	۰/۰۰۸۲	۰/۸۳۴۹
12ppm,pH=6	۰/۰۰۸۱	۰/۷۷۵۹	۰/۰۱۸۱	۰/۸۳۴۹
12ppm,pH=8	۰/۰۰۳۲	۰/۹۴۳	۰/۰۱۲۴	۰/۸۰۳۴
20ppm,pH=4	۰/۰۰۱۵	۰/۹۷۳۶	۰/۰۱۲۶	۰/۹۷۷۳
20ppm,pH=6	۰/۰۰۱۲	۰/۹۴۴۷	۰/۰۱۰۵	۰/۸۷۴۴
20ppm,pH=8	۰/۰۰۰۸	۰/۶۸۵۳	۰/۰۰۷۳	۰/۵۴۱۳

جدول ۴-۴- ثابتهای سینتیک جذب سطحی رنگزای مالاویت سبز در ۱۲ppm و pH=6 بر روی نانو پرلیت در دماهای مختلف را نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود فقط در دمای محیط از مدل سینتیک شبه مرتبه اول پیروی می کند.

اثر پارامتر T	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
Environment	۰/۰۰۸۴	۰/۷۵۴۹	۰/۰۱۹۴	۰/۹۳۳۲
30°C	۰/۰۰۱۵	۰/۸۴۳۹	۰/۰۰۸۷	۰/۷۶۵۹
40°C	۰/۰۰۴۹	۰/۸۰۲۲	۰/۰۱۳۱	۰/۵۳۹۶
50°C	۰/۰۰۲۹	۰/۴۰۲۸	۰/۰۱	۰/۳۷۵۹

جدول ۴-۵- ثابتهای سینتیک جذب سطحی رنگزای مالاویت سبز بر روی نانو پرلیت مغناطیسی با مگنت را در ۲۰ppm در pHهای مختلف نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود فقط در pH=۴ از مدل سینتیک شبه اول پیروی می کند.

اثر پارامتر pH	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
pH=4	۰/۰۰۰۳	۰/۴۴۷۴	۰/۰۰۴۲	۰/۵۱۲۸
pH=6	۰/۰۰۱	۰/۸۵۱	۰/۰۰۸۶	۰/۷۳۷
pH=8	۰/۰۰۱۱	۰/۶۸۵	۰/۰۰۹۳	۰/۶۳۶۱

جدول ۴-۶- ثابتهای سینتیک جذب سطحی رنگزای مالاویت سبز بر روی نانو پرلیت مغناطیسی بدون مگنت را در ۲۰ppm pHهای مختلف نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود از مدل سینتیک شبه اول پیروی می کند.

پارامتر pH	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
pH=4	۰/۰۰۰۲	۰/۴۱۵۷	۰/۰۰۳۱	۰/۴۴۷۵
pH=6	۰/۰۰۰۹	۰/۷۶۶۹	۰/۰۰۹۲	۰/۷۸۶۱
pH=8	۰/۰۰۰۴	۰/۱۱۹۱	۰/۰۰۴۴	۰/۲۰۳۳

جدول ۴-۷- ثابتهای سینتیک جذب سطحی محلول فلز نیکل بر روی نانو پرلیت در غلظت های مختلف فلز نیکل را نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود از مدل سینتیک شبه مرتبه اول پیروی می کند.

پارامتر $C_e$	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
100ppm	۰/۰۰۱۵	۰/۵۶۴۲	$2E-05$	۰/۵۹۰۸
50ppm	-۰/۰۰۰۸	۰/۱۱۶۵	-۰/۰۰۰۸	۰/۱۱۶۵
25ppm	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۹	$-2E-05$	۰/۰۰۷۷
15ppm	-۰/۰۰۱۴	۰/۲۸۹	$3E-05$	۰/۲۸۹
5ppm	۰/۰۸۲۶	۰/۲۸۹	۰/۰۰۸۴	۰/۲۸۹



جدول ۴-۸- ثابتهای سینتیک جذب سطحی محلول فلز نیکل بر روی نانو پرلیت در مقادیر وزنی مختلف جاذب نانو پرلیت را نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود در فقط در  $m=0.07 \text{ gr}$  از مدل سینتیک شبه مرتبه اول پیروی می کند.

پارامتر M	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
M=0.07 gr	-0.0106	0.168	2E-05	0.2178
M=0.05 gr	0.0007	0.227	8E-05	0.153
M=0.03 gr	0.0021	0.289	-0.0016	0.185

جدول ۴-۹- ثابتهای سینتیک جذب سطحی محلول فلز نیکل بر روی نانو پرلیت در pH مختلف از محلول فلز نیکل را نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود فقط در pH از مدل سینتیک شبه مرتبه اول پیروی می کند.

پارامتر pH	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
pH=6	2E-05	0.2178	0.0007	0.227
pH=5	0.0014	0.2099	0.014	0.3562
pH=4	-0.0009	0.1263	-0.0095	0.1576
pH=3	-0.0016	0.0566	-0.0064	0.0501

جدول ۴-۱۰- ثابتهای سینتیک جذب سطحی محلول فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت در مقادیر وزنی مختلف جاذب نانو پرلیت را نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود از مدل سینتیک شبه مرتبه اول پیروی می کند.

پارامتر M	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
M=0.07 gr	۲E-۰۵	۰/۱۰۶۳	۰/۰۰۱	۰/۱۲۷۳
M=0.05 gr	۴E-۰۵	۰/۵۵۸۳	۰/۰۰۱۶	۰/۵۵۳۳
M=0.03 gr	۱E-۰۵	۰/۰۸۲۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۹۸۱

جدول ۴-۱۱- ثابتهای سینتیک جذب سطحی محلول فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت در غلظت های مختلف فلز کادمیوم را نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود در غلظت ۵۰،۱۵ppm از مدل سینتیک شبه مرتبه اول و در دیگر غلظت ها از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم پیروی می کند.

پارامتر $C_e$	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
100ppm	۰/۰۰۹۹	۰/۲۶۲۴	۰/۰۰۰۳	۰/۲۲۴۷
50ppm	۰/۰۰۱۶	۰/۵۳۳۳	۴E-۰۵	۰/۵۵۸۳
25ppm	۰/۰۰۱۱	۰/۱۶۸	۵E-۰۵	۰/۱۶۵۲
15ppm	۰/۰۰۱۱	۰/۰۷۲۴	-۱E-۰۵	۰/۰۷۷۶
5ppm	۰/۰۳۲۲	۰/۲۸۹	۰/۹۳۱۴	۰/۲۸۹

جدول ۴-۱۲- ثابتهای سینتیک جذب سطحی محلول فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت در pH مختلف از محلول فلز کادمیوم را نشان می دهد؛ همانطور که دیده می شود در pH = ۴,۵ از مدل سینتیک شبه مرتبه اول و در pH = ۳,۶ از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم پیروی می کند.

پارامتر pH	مدل شبه مرتبه دوم		مدل شبه مرتبه اول	
	$k_2$	$R_2^2$	$k_1$	$R_1^2$
pH=6	۰/۰۰۰۶	۰/۱۲۲۴	$۱E-05$	۰/۱۱۶
pH=5	۰/۰۰۰۷	۰/۱۹۸۲	$۱E-05$	۰/۳۷۷۲
pH=4	۰/۰۰۱۶	۰/۵۳۳۳	$۴E-05$	۰/۵۵۸۳
pH=3	۰/۰۰۰۶	۰/۳۷۴۵	$۲E-05$	۰/۱۸۸۹

# فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

## ۵-۱- نتیجه گیری

در این پروژه بدلیل آنکه ماده اولیه جهت انجام تست ها و آزمایش های لازم چه در داخل کشور و چه در خارج کشور موجود نبود، بر آن شدیم که پا به عرصه نانو گذاشته و خود نانو جاذب و نانو جاذب مغناطیسی مورد نیاز را تولید کنیم.

در ابتدا در راستای تولید جاذب معدنی نانو پرلیت، پرلیت طی فرآیند سایش خشک و تر در سیستم آسیاب ماهواره‌ای در حد نانو خرد گردیده است. ذرات خروجی از آسیاب، پس از ارزیابی بوسیله دستگاه SEM و مناسب بودن اندازه جهت آماده‌سازی نهایی به خشک‌کن پاششی ارسال می‌گردند. ابعاد اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) در محدوده ۵۰ الی ۲۰۰ نانومتر است. سپس قطعات درشت از ریز موجود در مخلوط بوسیله سانتریفوژ جداسازی شده و بخش حاوی نانوذرات با استفاده از خشک‌کن پاششی خشک گردید و پودر نانوی حاصل جهت فرآیند جذب سطحی در جای خشک نگهداری شد.

همچنین در ادامه جهت تولید نانو پرلیت مغناطیسی با استفاده از ترکیب نمودن ۰/۲ گرم نانو پرلیت تولید شده در این پروژه و حجم ۲۰ سی سی محلول مغناطیسی که شامل  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$  و  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  که بترتیب با نسبت های ۱ به ۲ تهیه شده است، یک محلول دارای ویسکوزیته بالا تولید شده است. حال جهت مغناطیسی نمودن می بایست میزان pH محلول حاوی پرلیت را به ۱۰/۵ الی ۱۱ برسانیم که با استفاده از اسید HCl این فرآیند را انجام می دهیم. در این مرحله محلول تهیه شده که دارای خاصیت مغناطیسی می باشد را از کاغذ صافی عبور داده و ماده مورد نظر را در کوره آرگن در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد خشک می نمائیم. محتوی بدست آمده از کوره را جهت تولید نانو پرلیت مغناطیسی طی فرآیند سایش خشک و تر در سیستم آسیاب ماهواره‌ای در حد نانو خرد گردیده است. ذرات خروجی از آسیاب، پس از ارزیابی بوسیله دستگاه SEM و مناسب بودن اندازه جهت آماده‌سازی نهایی به خشک‌کن پاششی ارسال می‌گردند. ابعاد اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) در محدوده ۵۰ الی ۱۰۰ نانومتر است. بدین ترتیب نانو پرلیت

مغناطیسی تولید می شود ، پودر نانوی حاصل جهت فرآیند جذب سطحی و کاتالیست در جای خشک نگهداری می شود.

در این مرحله نانو جاذب و نانو جاذب مغناطیسی مورد نیاز خود را تولید نموده سپس با بررسی فرآیند رنگبری و همچنین جذب فلزات سنگین به روش جذب سطحی توسط نانو جاذب پرلیت و نانو جاذب پرلیت مغناطیسی که به شرح زیر می باشد عمل نمائیم :

پارامتر های زیر در فرآیند رنگبری جذب سطحی رنگزا مالاشیت گرین مورد بررسی قرار گرفت.

غلظت رنگزا ، مقدار جاذب، دما، زمان، pH؛ که مهمترین پارامتر های موجود مقدار جاذب، زمان و pH می باشد. در این قسمت با بررسی هر کدام از این پارامتر ها ( با تغییر یک پارامتر و ثابت نگهداشتن بقیه پارامتر ها) برای رنگزای مالاشیت گرین مقدار بهینه مشخص شده و آنگاه با فراهم نمودن کلیه شرایط برای جاذب، میزان جذب نهایی تعیین شد. لازم به ذکر می باشد که نانو پودر تهیه شده جهت تعیین میزان کارآیی آن، به عنوان جاذب مورد ارزیابی قرار می گرفت.

در فرآیند جذب سطحی رنگزای مالاشیت سبز با استفاده از نانو پرلیت مقدار ۰/۰۵ گرم از نانو پرلیت در pH ۶ = برای غلظت رنگزا ۱۲ PPM درصد حذف بیش از ۹۳٪ بدست آمده است. در مورد فرآیند جذب سطحی رنگزای مالاشیت سبز با استفاده از نانو پرلیت مغناطیسی مقدار ۰/۰۵ گرم از نانو پرلیت مغناطیسی برای غلظت های ۲۰ PPM در pH = ۶ در صد حذف بیش از ۷۴٪ بدست آمده است.

در فرآیند جذب سطحی فلز نیکل با استفاده از نانو پرلیت از نظر میزان حذف آلاینده به وسیله دستگاه جذب اتمی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده بر آن است که در طی آن pH = ۶ و مقدار ۰/۰۵ گرم از نانو پرلیت به عنوان مقادیر بهینه در غلظت محلول فلز نیکل ۱۵،۵ PPM باعث ۱۰۰٪ حذف می باشد.

همچنین در فرآیند جذب سطحی فلز کادمیوم با استفاده از نانو پرلیت مورد بررسی قرار گرفته است که در طی آن  $\text{pH} = 4$  و مقدار  $0.05$  گرم از نانو پرلیت بعنوان  $\text{pH}$  و مقدار بهینه انتخاب شده است و غلظت محلول فلز نیکل در  $5\text{ppm}$ ،  $100\%$  حذف را نشان می دهد.

در محاسبه ایزوترم ها ایزوترم لانگمویر برای رنگزای مالاشیت سبز و ایزوترم BET برای فلز نیکل و فلز کادمیوم مناسب در نظر گرفته شده است (برای فلز نیکل نتیجه مطلوبی حاصل نشده است لذا مستلزم تحقیقات بیشتری می باشد).

پارامتر های بدست آمده از ثابتهای سینتیک جذب سطحی رنگزای مالاشیت سبز بر روی نانو پرلیت نشان می دهد اثر غلظت از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم، اثر  $\text{pH}$  در غلظت های  $20.12\text{ppm}$  از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم و همچنین اثر دما در دماهای بالاتر از دمای محیط از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم پیروی می کند. پارامتر های بدست آمده از ثابتهای سینتیک جذب سطحی فلز نیکل بر روی نانو پرلیت نشان می دهد اثر غلظت و  $\text{pH}$  از مدل سینتیک شبه مرتبه اول و اثر مقدار وزنی جاذب بجز  $0.07\text{ gr}$  از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم پیروی می کند. پارامتر های بدست آمده از ثابتهای سینتیک جذب سطحی فلز کادمیوم بر روی نانو پرلیت نشان می دهد فقط در غلظت های  $50.15\text{ppm}$  و  $4.5\text{pH}$  از مدل سینتیک شبه مرتبه اول و همچنین اثر مقدار وزنی جاذب از مدل سینتیک شبه مرتبه اول پیروی می کند.

## ۵-۲ - پیشنهادات

با توجه به نیاز روز افزون جوامع بین الملل به جاذب های طبیعی و اهمیت اقتصاد بین الملل در راهبرد این مهم و همچنین با توجه به نتایج مطلوب بدست آمده از تست های حاصل شده از این پروژه ، پرلیت و مشتقات آن (نانو جاذب پرلیت و نانو جاذب پرلیت مغناطیسی ) بعنوان یک جاذب طبیعی ، ارزان قیمت و در دسترس توانایی قابل قبولی در جذب سطحی دارد و می توان با در نظر گرفتن از بین بردن بارهای مالی سنگین از روی صنایع و خود کفا نمودن کشور از واردات جاذب های دیگر ، می توان از آن ها در تصفیه پساب های معدنی و صنعتی و بویژه پساب های حاوی فلزات سنگین استفاده نمود.

موارد زیر از جمله پیشنهاداتی که در این پروژه دیده می شود که به آنها اشاره می کنیم :

✓ مقایسه میزان جذب با فلزات دیگر،

✓ مقایسه میزان جذب برای خانواده های متنوع رنگزاهای آلی موجود،

✓ بررسی تأثیر درجه حرارت در فرآیند کلسینه نمودن بر توانایی جاذب در حذف آلاینده ها،

✓ بررسی میزان جذب آلاینده ها برای پساب های واقعی،

✓ بررسی ایزوترم های جذب جدید.

در نتیجه بها دادن به این دانش و استفاده از این جاذب به عنوان یک جایگزین مناسب برای کربن اکتیو در مطالعات زیست محیطی معادن، تصفیه پساب های صنایع مختلف از جمله نساجی و کارخانه های فرآوری مواد معدنی و حذف فلزات سنگین چه در دیوهای باطله و چه در فرآیندهای مرحله ای در کارخانه های فرآوری براساس فرآیند جذب سطحی، از مهمترین پیشنهادهای این تحقیق می باشد.



## منابع:

- ۱) م. پیکری، ا. مهربانی، مبانی تصفیه آب، انتشارات اشکان، ۱۳۸۳.
- 2) G. Schwedt, The Essential Guide to Environmental Chemistry, John Wiley & Sons, LTD, 2001.
- ۳) م. امیری، اصول تصفیه آب، نشر ارکان اصفهان، ۱۳۸۱.
- 4) Bolto BA, Barcicki J, Kozak Z, in: Pawlowski L, Verdier A J, Lacy W J (Eds) (1984), Chemistry for protection of the environment. Elsevier Amsterdam.
- 5) M.I. Badawy, M.E.M. Ali, Fenton's peroxidation and coagulation processes for the treatment of combined industrial and domestic wastewater, *J. Hazard. Mater* B136 (2006) 961–966.
- ۶) م. حسینیان، طراحی تصفیه خانه های پساب صنایع نساجی، ۱۳۷۸.
- 7) C. ONill, F.R Hawkes, L. Hawkes, D. Lourenco, M. Pinheiro, W. Delee, Color in textile effluent –sources, measurmant, discharge consents and simulation:areview, *J.Chem Tech Biotech* 74(1999) 1009-1018.
- 8) J. Ramirez, M. Duarte, F.G. Martins, A. Costa, L.M.Madeira, Modeling of the synthetic dye orange II degradation using fenton's reagent: from batch to continuous reactor operation, *Chemical Eng New Yourk* 148 (2009) 394-404.
- 9) H. Kusic, A.L. Bozic, N. Koprivanac, Fenton type processes for minimization of organic content in colored wastewaters. Part I: Processes optimization, *Dyes Pigments* 74 (2007) 380-387.
- 10) Available at [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/en\\_reg\\_std\\_water04.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/en_reg_std_water04.html).
- 11) I.G.Laing, R.Prog, Impact of effluent ragulations on th eddyng industry, *Coloration* 21 (1991) 56-71.
- 12) D.C. Trainor (1960), A Hand Book of Industrial Toxicology Sydney, Angus and Robertson.

13) H.F.Liu, G. Liptak, WasteWater Treatment, Lewis Publisher, 1999

14) Papic S, Koprivanac N, Loncaric Bozic A, Metes A (2004). Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined AL (111) Coagulation/carbon adsorption process dyes and pigments, VOL 62, PP 291-298.

۱۵) ن. دانشور، شیمی تصفیه آب و پساب های صنعتی، انتشارات عمیدی، ۱۳۸۸

16) I.G.Laing, R.Prog, Impact of effluent regulations on the eddy industry, *Coloration* 21 (1991) 56-71.

17) So L M, Chu L M, Wong P K (2003). Chemosphere Microbial Enhancement of  $Cu^{+2}$  removal capacity of *Eichhornia crassipes*. Elsevier, Department of Biology, The Chinese University of Hong Kong. VOL 52, PP 1499-1503.

18) C. Park, M. Lee, B. Lee, S.W. Kim, H. A.Chase, J. Lee, S. Kim, Biodegradation and biosorption for decolorization of synthetic dyes by *Funalia troglia*, *Eng Journ-Canada* 36 (2007) 59-65.

19) C. Park, M. Lee, B. Lee, S.W. Kim, H. A.Chase, J. Lee, S. Kim, Biodegradation and biosorption for decolorization of synthetic dyes by *Funalia troglia*, *Eng Journ-Canada* 36 (2007) 59-65.

20) Xu Y ,Lebrun R E (1999).Treatment of textile dye plant effluent by nanofiltration membrane.Separ.Sci. technol. VOL 34, PP 2501-2519.

21) I.G.Laing, R.Prog, Impact of effluent ragulations on th eddying industry, *Coloration* 21 (1991) 56-71.

۲۲) ن. دانشور، شیمی تصفیه آب و پساب های صنعتی، انتشارات عمیدی، ۱۳۸۸.

23) Ribel, A.H. et al., Ozonation of carbon-nitrogen bonds. I. Nucleophilic attack of ozon, *J. Am. Chem. Soc.* 82 (1960) 1801-1807.

24) L. D. Benefield, B.L. Weand, Process Chemistry For Water and Wastewater Treatment, Prentice - Hall,Inc, 1997

25) A.B.C. Alvares; C.D. diaper; S.A. Parsons, Partial oxidation by ozonation remove recalcitrance from wastewater- a review, *Environ. Tech.* 22 (2001) 409-427.

26) V.K Gupta, Suhas, Application of low-cost adsorbents for dye removal, *Journal of Eviron Manang*, 90 (2009) 2313-2342.

27) Ribel, A.H. et al., Ozonation of carbon-nitrogen bonds. I. Nucleophilic attack of ozon, *J. Am. Chem. Soc.* 82 (1960) 1801-1807.

- 28) A. Uygur, An overview of oxidative and photooxidative decolorisation treatment of textile wastewater, *JSDC* 13 (1997) 211-217.
- 29) ultraviolet radiation, M. Luckiesh, Slusser Press 2007.
- 30) A. Uygur, An overview of oxidative and photooxidative decolorisation treatment of textile wastewater, *JSDC* 13 (1997) 211-217.
- 31) P. Bautista, A.F. Mohedano, J.A. Casas, J. A. Zazo, J.J. Rodriguez, An overview of the application of fentonoxidation to industrial wastewater treatment, *J. Chem Technol Biotechnol* 83 (2008) 1323–1338.
- 32) A. Rathi, H.K. Rajor, R.K. Sharma, Photoderadation of direct yellow-12 using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / Fe<sup>2+</sup>, *J. Hazard Mater* B102 (2003) 231–241.
- 33) Sayra, Orozco, Erick R. Bandala, Camilo A. Arancibia-Bulnes, B. Serrano, R. Suarez-Parraa, I. Hernandez-Perez, Effect of iron salt on the color removal of water containing the azo-dye reactive blue 69 using photo-assisted Fe(II)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Fe(III)/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> system, *J. Photochemistry and Photobiology Chemistry* 198 (2008) 144–149.
- 34) A. Rathi, H.K. Rajor, R.K. Sharma, Photoderadation of direct yellow-12 using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / Fe<sup>2+</sup>, *J. Hazard Mater* B102 (2003) 231–241.

- 35) S.M. Kim and A. Vogelpohl, Degradation of Organic Pollutants by the Photo-Fenton-Process, *Chem. Eng. Technol.* 21 (1998) 256-261.
- 36) S. Wang, Comparative study of Fenton and Fenton-like reaction kinetics in decolorization of wastewater, *Dyes Pigments* 76 (2008) 714-720.
- 37) Gabriel Bitton, *Wastewater Microbiology, Third Edition, Willey Liss, A JOHN WILEY & SONS, INC, Publication, 2005.*
- 38) F. Torrades, J.A. Garcia-Hortal, L. Nnuez, Fenton and photo-Fenton oxidation of a model mixture of dyes – overall kinetic analysis, *Coloration Technol* 124 (2008) 370-374.
- 39) Larry D. Benefield, Joseph F. Judkins, Ban-on L. Wend (1982) .Process Chemistry for water and wastewater treatment . Prentice – Hall, INC. PP 191-210.
- 40) Choy K K H, McKay 0, Porter J F (1999). *Solption Of acid dyes from effluents using activated carbon. Resour. Conserve.Recy, Vol 27, PP 57-71.*
- 41) Alien SJ, Me Kay 0, Khader KYH (1988). *Multicomponent sorption isotherms of basic dyes onto peat . Environ. Pollut. Vol 52, PP 39-53.*
- 42) Chiou MS, Ho PY , Li HY (2004). *Adsorption of anionic dyes in acid solutions using chemically cross-linked chitosan beads. Dyes and Pigments, Vol 60, PP 69-84.*

- 43) *EL – Geundi MS (1991) .Color removal from textile effluents by adsorption technique. Water Res. Vol 25 , PP 271-273.*
- 44) *Wang S, Boyjoo Y, Choueib A, Zhu Z H (2005). Removal of dyes from aqueous solution using fly ash and red mud. Water res. Vol 39, PP 129-138.*
- 45) *Low K.S, Lee CK, Leo AC (1995). Removal of metals from electroplating Wastes using banana pith. Bioresource Technol. Vol 51 , PP 227-231.*
- 46) *Cimino G, Passerini A, Toscano G (2000). Removal of Toxic cation and Cr (VI) from aqueous solution by hazelnut shell., Water Res. Vol 34, PP 2955-62.*
- 47) *Leppert D (1990). Heavy metal sorption with clinoptilolite zeolite : alternatives for treating contaminated soil and water ,. Mining Eng. Vol 42 , PP 604 -608.*
- 48) *Orifin R.A., Frost R.R., Au A.K., Robinson G. D. and shrimp N. F (1977). Attention of pollutants in municipal landfill leachate by clay minerals: heavy metal adsorption . Environ. Geol. Notes Vol 79, PP 1- 47.*
- 49) *Srivastava S. K., Singh A. K. and Sharma A (1994). Studies on the uptake of lead and Zinc by lignin obtained from black liquor , Environ. Technol. Vol 15 , PP 353-361.*

- 50) *Al Degs, Y ., Khraisheh , M.A.N., Tutunji , M.F (2001). Sorption of lead ions diatomite and managanese oxides modified diatomite ., Water res. Vol 35,3724-3728.*
- 51) *E.Roberts Alley (2000) ., Water quality control handbook. MC GRA W-HILL, INC. chap. 8, PP 125-141.*
- 52) *Susan E. Bailey , Trudy J. Olin, R. Mark Bricka and D. Dean Adrian (1999). A review of potentially Low-Cost sorbent for heavy metals. Wat. Res. Vol. 33 , PP . 2469-2479.*
- 53) *Badii Kh., F. Doulati Ardejani, A . Marandi , M. Gerayeshnejad , F. Amini , N. Yousefi Limaee , M. Abasssi, A. Golkar Narenji, “ Use of Azolla Plant for decolorization of Wastewater contains Acid Blue 92 Colorant”. 2<sup>nd</sup> International congress of Biological Science, Olympics Inter national Hotel, Tehran,Iran(6-7 Feb. 2008 ).*
- 54) *Badii Kh., F. Doulati Ardejani,N. Yousefi Limaee, “ A numerical finite element model for the removal of direct dyes from aqueous solution by soy meal hull:optimization and sensitivity analyses”, First confrance and Workshop on Mathematical Chemistry Tarbiat Modares University , Tehran,Iran, 57-64 (29-31 Lan., 2008 ).*
- ۵۵) *فرهادی ف.، ف. دولتی ارده جانی ، خ. بدیعی ، " ارائه يك مدل عددی حجم های محدود برای حذف آلاینده های فلزی از محلول های آبی با استفاده از جاذب گل قرمز "، دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست ، دانشگاه تهران ، ایران، ۸ ص. (۲۸ اردیبهشت الی ۱ خرداد ماه ۱۳۸۷ )*
- ۵۶) *نوروزی ش.، خ. بدیعی ، ف. دولتی ارده جانی ،"بررسی حذف رنگزای اسید آبی ۹۲ از محلول های آبی با استفاده از جاذب گل قرمز "، همایش ملی تکنولوژی های نوین در محیط زیست ، دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد تهران شمال ، تهران ، ایران، ۴۳ (۱۴ اسفند ۱۳۸۶ ) .*
- 57) *Bishnoi N R, Bajaj M, Sharma N, Gupta A (2004).Adsorption of Cr (VI) on activated rice husk carbon and activated alumina. Bioresource technol. Vol 91 , PP 305 -307.*

58) J.F. Osma et al, Banana skin: A novel waste for laccase production by *Trametes pubescens* under solid-state conditions. Application to synthetic dye decolouration. *Dyes and Pigments*, 75, 2007, 32-37

59) M.Arami et al, Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorption: Equilibrium and Kinetic studies, *Journal of Colloid and Interface Science*, 288, 2005, 371-376

60) Cooney D.O (1999). *Adsorption design for Wastewater Treatment*. Lewis Publishers, Boca Raton.

61) Frank Woodard (2001). *Industrial Waste treatment handbook*. PP 376-451.

62) Masel R. I (1996). *Principles of adsorption & reaction on solid surfaces*. Wiley, New York.

63) Emid Erdem., Gulay Colgecen., Ramazan Donat (2005). The removal of textile dyes By Diatomite earth. *Colloid and Interface Science*. Vol 282, PP 314-319.

۶۴) حیدر طائمه م.، بدیعی خ.، دولتی ارده جانی.، "مقایسه دو جاذب طبیعی کلسیت و پرلیت جهت حذف آلاینده‌های بازی رنگی (سبز مالاشیت) "چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران، ص. ۳۷۳ (آبان ۱۳۸۹).

65) Arami M, Yousefi Limace N, Mahmoodi NM and Salman Tabrizi N (2005), Removal of dyes from coloured textile wastewater by orange peel adsorbent: Equilibrium and Kinetics Studies. *Journal of colloid and inter face Science*. Vol 288, PP 371-376.



- 66) M. A. AL –Ghouti, M. A. M. Khraisheh, S. J. Alien and M. N. Ahmad (2003). *The removal of dyes from textile Wastewater: a Study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth. Journal of Environmental Manegment Vol 69 , PP 229-238.*
- 67) Doulati Ardejani F , Badii Kh , Yousefi Limace N , Mahmoodi NM , Arami M , Shafaei SZ and Mirhabibi AR (2006). *Numerical modeling and laboratory Studies on the removal of Direct Red 23 and Direct 80 dyes from textile effluent Using orange peel, a low cost adsorbent. Dyes and pigment , In press.*
- 68) Badii Khashayar et al, Adsorption of Acid Blue 25 dye on diatomite in aqueous solutions, *Indian Journal of Chemical Technology*, Vol. 17, Nr. 1, 2010, pp. 7-18.
- 69) Sincero, Arcadio P. and sincero ,Gregoria A . (1996). *Environmental Engineerring :A Design Approach .new jersey :Prentice Hall.*
- 70) Feyman RP (1960) *Engineering and science*. California Institute of Technology, February edn.
- 71) Drexler K E (1990) *Engines of creation*. Fourth Estate , London, 296 PP.
- 72) Pank LSK, Vassallo AM & Wilson MA (1992) *Energy and Fuel* 6: 176-79.
- 73) Ajayan PM, Lambert JM, Bernier P, Barbedette L, Colliex C & Planieux JM (1993) *Chem. Phys. Letters* 215: 509-14.

- 74) Kalman JF, Nordlund C, patney HK, Evans LA & Wilson MA (2001) Carbon 39: 137-44.
- 75) Cassell AM, Raymakers JA, Kong J & Dai H (1999) J. Phys. Chem. B 103: 6484-92.
- 76) Attard GS, Glyde JC & Goltner C (1995) Nature 378: 366-68.
- 77) Attard GS, Edgar M & Goltner CG (1998) Acta Materialia 46: 751- 58.
- 78) M. Popovici, C. Savii\*, D. Niznanskya, J. Subrta, J. Bohaceka, D. Becherescub, C. Caizerc, C. Enache, C. Ionescu . Nanocrystalline Ni-Zn Ferrites Prepared By Sol-Gel Method,. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 5, No. 1, March 2003, p. 251 – 256.
- 79) Attard GS, Bartlett PN, Coleman NRB, Elliott JM, Oven JR & Wang JH (1997) Science 278: 838-40.
- 80) Chen Y, Fitzgerald J, Chaderton LT & Chaffron L (1999) Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials 2-6 : 375-80:
- 81) Pierard N, Fonesca A, Konya Z, Willems I, Van Tenderloo G & Nagy JB (2001) Chem. Phys. Letters 335: 1-8.

82) Chopra NG, Luyken RJ, Crespi VH, Cherrey K, Zettl A & Cohen ML(1995) Science 269: 966-70.

۸۳) بدیعی، خشایار و تهرانی‌بهاء، علیرضا؛ مجموعه مطالب چهارمین کارگاه آموزشی تصفیه پسابهای رنگی به روش های نوین، پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ و پوشش، ویرایش سوم، ۱۳۸۸.

۸۴) کریم پور م. سعادت س. زمین شناسی کاربردی. ویرایش دوم، ایران، نشر مشهد، ۱۳۸۱.

85) Kadey ,Fredric L ., 1983. Perlite : Industrial Minerals and rocks by Lefond, 5<sup>th</sup> Edition, PP 997-709.

## Abstract

Adsorption are applied in many industrials. separation process with adsorption method is important in industrials. In this paper, at first grinding granule perlite is (120-170 mesh) by mill that is a physical method. particle size showed that With mealy method size particle is about 1  $\mu\text{m}$  for attain to nano size range we select wet method that Results experimental SEM showed size particle is under 100 nm. The results show that adsorption capacities and removal percentage of MG and heavy metal on nano perlite size from wastewater increased with increasing size particle on nano scale. Perlite is a mineral compound. It is a mixture of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and so on. A novel sorbent is nano perlite that employ for the removal of malachite green and heavy metal from aqueous solution in batch equilibrium experiments, in order to investigate its adsorption properties.

**Keywords:** Adsorption, Nano Perlite, Wastewater treatment, Malachite Green (MG) dye, Nano scale, heavy metal (Cd & Ni).



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Mining and Geophysics**

**Removal of Organic and Metallic Colored Pollutants from  
Wastewater with nano-Perlite**

**Mohammad Reza Heydartaemeh**

Supervisors:

**Dr. Faramarz Doulati Ardejani**

**Dr. Khashayar Badii**

July 2011