

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گرایش اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

امکان‌سنجی استفاده از نانو بوکسیت جهت حذف آلاینده‌های موجود در پساب صنعتی

محبوبه طبری

اساتید راهنما

دکتر آرزو عابدی

دکتر کیومرث سیف پناهی شعبانی

اساتید مشاور

دکتر نیاز محمد محمودی

مهندس سودابه سعیدی

آذر ماه ۱۳۹۴

دانشگاه شاهرود

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم محبوبه طبری به شماره دانشجویی: ۹۲۰۹۳۱۴

تحت عنوان: امکان‌سنجی استفاده از نانو بوکسیت جهت حذف آلاینده‌های موجود در پساب صنعتی

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد

پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: دکتر نیاز محمد محمودی		نام و نام خانوادگی : دکتر آرزو عابدی
	نام و نام خانوادگی: مهندس سودابه سعیدی		نام و نام خانوادگی : دکتر کیومرث سیف پناهی شعبانی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم ہے:

پدرم کہ ہمارے بہترین آموزگارم ہونے سے

و

مادرم کے پاس سال ہی رنج و مہربانی

شکر و قدردانی

باساس از الطاف بیکران او

و با شکر از اساتید ارجمند سرکار خانم دکتر آرزو جلدی و جناب آقای دکتر کیومرث سیف‌پناهی شعبانی که صبورانه راهنمایی این تحقیق را بر همه‌ها داشتند.

با تقدیر فراوان از مشاورین پایان نامه جناب آقای دکتر نیاز محمد محمودی و سرکار خانم مهندس سودابه سعیدی، مهندس عباسیان کارشناس آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی، دکتر بهرامیان

بر پاس مشوره فراوان و جناب آقای شاه حسینی مسئول دفتر دانشکده که خالصانه در پی مساعدت به دانشجویان هستند.

همچنین بر خود لازم می‌دانم تا از ساد و ویژه توسعه فناوری نانو جهت تقبل بخشی از هزینه‌های انجام پایان نامه شکر نمایم.

محبوبه طبری

آذرماه ۱۳۹۴

## چکیده

پساب خروجی بسیاری از کارخانه‌ها و معادن حاوی مقادیر بالایی از فلزات سنگین سمی و آلاینده‌های آلی می‌باشد. تاکنون روش‌های فیزیکی و شیمیایی فراوانی برای حذف آلاینده‌های فلزی و آلی مورد استفاده قرار گرفته است که از بین آن‌ها جذب سطحی یک روش ساده و اقتصادی است. در این تحقیق امکان حذف آلاینده‌های آلی و فلزی با تولید نانوذرات بوکسیت مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا حذف رنگزا بازیک قرمز ۴۶ و بازیک بنفش ۱۰ از محلول آبی، حذف یون‌های فلزی Ni و Co از محلول آبی، حذف یون‌های Cu و Mn از پساب صنعتی با شناسایی عوامل تأثیر گذار بر رفتار حذف نظیر pH، دما، زمان تماس، غلظت آلاینده و مقدار جاذب بررسی شد و داده‌های حاصل از آزمایش با ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و نفوذ درون ذره‌ای مدل‌سازی شدند. نتایج نشان داد در تمام آزمایش‌ها با افزایش مقدار جاذب و کاهش غلظت اولیه آلاینده طی زمان تعادل که تقریباً ۱۲۰ دقیقه است مقدار حذف آلاینده افزایش می‌یابد و پس از آن تا رسیدن به واجذب ثابت می‌ماند. راندمان حذف رنگزای بازیک قرمز ۴۶ (در شرایط pH ۵، دما ۲۱°C، غلظت رنگزا (بازیک قرمز ۴۶) ۴۶ ppm و مقدار جاذب ۰/۲g) در واکنش گرماده، برابر با ۵۷/۲۸٪ بدست آمد. در شرایط pH ۶/۵، دما ۲۱°C، غلظت رنگزا بازیک بنفش ۱۰، مقدار جاذب ۰/۲g راندمان حذف ۵۳/۶۶٪ و واکنش گرماگیر بوده است. همچنین برای حذف فلزات سنگین در شرایط pH ۶/۲۹ و دما ۲۰°C و مقدار ۰/۲g جاذب مقدار حذف Ni ۹۷/۸۵٪، در همین شرایط دمایی و مقدار جاذب با pH ۷ مقدار حذف Co ۹۷/۰۹٪ بوده است. حذف یون‌های Cu و Mn از محلول دوتایی راندمانی حدود ۹۹/۶۸٪ برای Cu و ۸۸/۳۲٪ برای Mn بدست آمده است.

کلمات کلیدی: ایزوترم، سینتیک، جذب سطحی، نانو بوکسیت.

### لیست مقالات مستخرج

طبری م، عابدی آ، سیف پناهی شعبانی ک، (۱۳۹۴)، " حذف رنگزای بازیک قرمز ۴۶ از پساب آلوده با استفاده از جاذب نانو ذرات بوکسیت"، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دامغان.

طبری م، عابدی آ، سیف پناهی شعبانی ک، (۱۳۹۴)، " مطالعه ایزوترم و سینتیک حذف رنگزای بازیک بنفش-۱۰ با جاذب نانو ذرات بوکسیت"، دومین همایش یافته‌های نوین در محیط زیست و اکو سیستم-های کشاورزی، دانشگاه تهران.

## فهرست مطالب

### فصل اول کلیات

۱-۱-مقدمه .....	۱
۲-۱-زهاب اسیدی .....	۲
۳-۱-روش‌های حذف آلاینده‌ها.....	۳
۴-۱-جذب سطحی.....	۵
۵-۱-انواع سیستم‌های جذب.....	۶
۱-۵-۱-سیستم ناپیوسته .....	۶
۲-۵-۱-عوامل مؤثر بر جذب در سیستم ناپیوسته .....	۷
۳-۵-۱-سیستم پیوسته .....	۹
۴-۵-۱-عوامل مؤثر بر جذب در سیستم پیوسته .....	۹
۶-۱-ایزوترم جذب.....	۱۰
۷-۱-سینتیک جذب.....	۱۴
۸-۱-مطالعات ترمودینامیکی.....	۱۶
۱-۸-۱-تغییرات انرژی آزاد گیبس ( $\Delta G^\circ$ ) .....	۱۶
۲-۸-۱-تغییرات آنتالپی $\Delta H^\circ$ و آنتروپی $\Delta S^\circ$ .....	۱۶
۳-۸-۱-رابطه بین سینتیک و ترمودینامیک .....	۱۷
۴-۸-۱-پسماند جنبشی یا شبه برگشت ناپذیری .....	۱۸
۹-۱-انواع جاذب‌ها.....	۱۸
۱۰-۱-استفاده از فناوری نانو در حذف آلاینده‌ها.....	۱۹
۱۱-۱-تعریف مسأله .....	۲۰



۱۲-۱- ضرورت تحقیق حاضر ..... ۲۱

۱۳-۱- اهداف تحقیق ..... ۲۱

### فصل دوم پیشینه تحقیق

۱-۲- مقدمه ..... ۲۴

۲-۲- حذف آلاینده‌های رنگی ..... ۲۴

۳-۲- حذف آلاینده‌های فلزی ..... ۲۷

۴-۲- استفاده از بوکسیت به عنوان جاذب ..... ۲۹

### فصل سوم روش انجام تحقیق

۱-۳- ..... ۳۲

۲-۳- جاذب مورد استفاده (باطله بوکسیت تاش) ..... ۳۳

۱-۲-۳- آماده سازی جاذب ..... ۳۳

۳-۳- شناسایی جاذب ..... ۳۴

۱-۳-۳- تجزیه XRF ..... ۳۴

۲-۳-۳- آنالیز XRD ..... ۳۵

۳-۳-۳- تصویر SEM ..... ۳۶

۴-۳-۳- طیف FT-IR ..... ۳۸

۵-۳-۳- بررسی آزمایشگاهی ..... ۴۰

۶-۳-۳- آزمایش حذف رنگزا ..... ۴۰

۱-۶-۳-۳- بررسی تأثیر pH بر فرآیند جذب سطحی رنگزا ..... ۴۳

۲-۶-۳-۳- بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی رنگزا ..... ۴۴

۳-۶-۳-۳- بررسی تأثیر مقدار غلظت اولیه رنگزا بر فرآیند جذب سطحی رنگزا ..... ۴۵

- ۳-۳-۶-۴- بررسی تأثیر دما بر فرایند جذب سطحی رنگزا..... ۴۵
- ۳-۳-۶-۵- ایزوترم جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت  
..... ۴۶
- ۳-۳-۶-۶- سینتیک جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 بر روی جاذب نانو ذرات  
بوکسیت..... ۵۰
- ۳-۳-۶-۷- مطالعات ترمودینامیکی فرایند جذب سطحی رنگزا..... ۵۳
- ۳-۳-۷- آزمایش حذف فلزات سنگین..... ۵۴
- ۳-۳-۷-۱- بررسی تأثیر pH بر فرآیند جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II)..... ۵۴
- ۳-۳-۷-۲- بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت  
(II)..... ۵۵
- ۳-۳-۷-۳- بررسی تأثیر غلظت اولیه یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II) بر فرآیند جذب  
سطحی..... ۵۶
- ۳-۳-۷-۴- بررسی تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II)..... ۵۷
- ۳-۳-۷-۵- بررسی ایزوترم‌های جذب یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) بر جاذب نانو ذرات  
بوکسیت..... ۵
- ۳-۳-۷-۶- بررسی سینتیک جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) بر جاذب نانو ذرات  
بوکسیت..... ۶۱
- ۳-۳-۷-۷- طیف FT-IR پس از فرآیند جذب سطحی یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II)..... ۶۴
- ۳-۳-۷-۸- مطالعات ترمودینامیکی فرآیند جذب سطحی یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت  
(II)..... ۶۶
- ۳-۳-۸- حذف آلاینده از پساب دوتایی بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت..... ۶۶
- ۳-۳-۸-۱- حذف مس و منگنز از محلول دوتایی..... ۶۴
- ۳-۳-۸-۲- بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی مس و منگنز دو ظرفیتی..... ۶۷
- ۳-۳-۸-۳- بررسی تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی مس و منگنز دو ظرفیتی..... ۶۸
- ۳-۳-۸-۴- طیف FT-IR پس از حذف یون‌های مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دوتایی..... ۶۸
- ۳-۳-۸-۵- ایزوترم جذب مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دو تایی..... ۶۹

فصل چهارم نتیجه گیری و پیشنهادها

۴-۱-نتیجه گیری ..... ۷۴

۴-۱-۱-نتایج بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی ..... ۷۴

۴-۱-۲-مطالعات آزمایشگاهی آلاینده‌های آلی ..... ۷۵

۴-۱-۳-مطالعات آزمایشگاهی آلاینده‌های معدنی (فلزات سنگین) ..... ۷۶

۴-۱-۳-۱-مطالعه پساب مصنوعی ..... ۷۶

۴-۱-۴-۱-مطالعات پساب دوتایی ..... ۷۸

۴-۲-پیشنهادها ..... ۷۸

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱: مدل‌های سینتیکی جذب و واجذب ..... ۱۵
- جدول ۱-۳: نتایج آنالیز XRF نمونه جاذب ..... ۳۵
- جدول ۲-۳: تجزیه FT-IR نانو ذرات بوکسیت ..... ۳۹
- جدول ۳-۳: ویژگی رنگزای BR-46 ..... ۴۲
- جدول ۴-۳: ویژگی رنگزا BV-10 ..... ۴۲
- جدول ۵-۳: ضرایب ایزوترمهای جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برای جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 توسط جاذب نانو ذرات بوکسیت ..... ۴۹
- جدول ۶-۳: نتایج بررسی سینتیک فرایند جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت ..... ۵۲
- جدول ۷-۳: نتایج حاصل از مطالعات ترمودینامیکی فرایند جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت ..... ۵۳
- جدول ۸-۳: ضرایب ایزوترمهای جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برای جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) توسط جاذب نانو ذرات بوکسیت ..... ۶۱
- جدول ۹-۳: ثابت‌های سینتیک شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و نفوذ درون ذره‌ای فرآیند جذب سطحی یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II) ..... ۶۴
- جدول ۱۰-۳: نتایج مطالعات ترمودینامیکی فرایند جذب سطحی یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II) بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت ..... ۶۶
- جدول ۱۱-۳: نتایج حاصل از بررسی ایزوترمهای لانگمویر و فروندلیچ در حالت دوتایی برای حذف یون‌های مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دو تایی بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت ..... ۷۰
- جدول ۱۲-۳: نتایج حاصل از معادلسازی ایزوترم فروندلیچ و لانگمویر برای حذف یون مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دو تایی ..... ۷۱

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: روند انجام جذب در سیستم ناپیوسته..... ۷
- شکل ۲-۱: تغییرات انرژی در زمان.....
- شکل ۱-۳: نمونه با ابعاد  $>75$  میکرومتر، قبل از ورود به آسیای ماهواره ای ..... ۳۴
- شکل ۲-۳: نمونه پس از خشک شدن در دمای  $600^{\circ}\text{C}$ ..... ۳۴
- شکل ۳-۳: نتیجه آنالیز XRD نانو ذرات بوکسیت..... ۳۶
- شکل ۴-۳: برهم کنش پرتوی الکترونی و نمونه ..... ۳۷
- شکل ۵-۳: تصویر SEM نمونه جاذب ( نانو بوکسیت)..... ۳۸
- شکل ۶-۳: طیف FT-IR نانو ذرات بوکسیت..... ۳۹
- شکل ۷-۳: شمای کلی از مراحل انجام آزمایش..... ۴۱
- شکل ۸-۳: بررسی تأثیر pH بر فرآیند جذب سطحی در شرایط اولیه مقدار جاذب  $0.2\text{g}$ ، غلظت  $20\text{ ppm}$ ، دما  $21^{\circ}\text{C}$ ،  
الف) BR-46، ب) BV-10..... ۴۳
- شکل ۹-۳: بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی در شرایط دما  $20^{\circ}\text{C}$ ، حجم  $25\text{ml}$ ، مقدار جاذب  $0.2\text{g}$ ،  
الف) BR-46 pH=5، ب) BV-10 pH=6/5..... ۴۴
- شکل ۱۰-۳: بررسی تأثیر مقدار غلظت اولیه رنگزا بر فرآیند جذب سطحی در شرایط دما  $20^{\circ}\text{C}$ ، مقدار جاذب  $0.2\text{g}$ ،  
حجم  $25\text{ ml}$  و غلظت  $20\text{ ppm}$ ، الف) BR-46 pH=5، ب) BV-10 pH=6/5..... ۴۵
- شکل ۱۱-۳: بررسی تأثیر میزان دما بر فرآیند جذب سطحی رنگزا در شرایط غلظت ثابت  $20\text{ ppm}$  از رنگزا، مقدار جاذب  
 $0.2\text{g}$ ، حجم  $25\text{ml}$ ، الف) BR-46 pH=5، ب) BV-10 pH=6/5..... ۴۶
- شکل ۱۲-۳: ایزوترم‌های لانگمویر (الف)، فروندلیچ (ب)، و تمکین (ج) برای جذب سطحی رنگزای BR-46 بر روی  
جاذب نانو ذرات بوکسیت..... ۴۷
- شکل ۱۳-۳: ایزوترم‌های لانگمویر (الف)، فروندلیچ (ب)، تمکین (ج) برای جذب سطحی رنگزای BV-10 بر روی جاذب  
نانو ذرات بوکسیت..... ۴۸
- شکل ۱۴-۳: سینتیک شبه مرتبه اول (الف)، شبه مرتبه دوم (ب)، نفوذ درون ذره ای (ج) (BR-46)..... ۵۰
- شکل ۱۵-۳: سینتیک شبه مرتبه اول (الف)، شبه مرتبه دوم (ب)، نفوذ درون ذره‌های (ج) (BV-10)..... ۵۱
- شکل ۱۶-۳: شماتیک مراحل کنترل کننده فرآیند جذب ..... ۵۳

- شکل ۳-۱۷: بررسی تأثیر pH بر فرآیند جذب سطحی یون نیکل (II) و یون کبالت (II) روی جاذب نانو ذرات بوکسیت در شرایط دما  $20^{\circ}\text{C}$ ، غلظت اولیه محلول  $20\text{ ppm}$ ، حجم  $25\text{ ml}$  و مقدار جاذب  $0.1\text{ g}$ ..... ۵۵
- شکل ۳-۱۸: بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) در شرایط غلظت اولیه محلول  $20\text{ ppm}$ ، دما  $20^{\circ}\text{C}$ ، حجم  $25\text{ ml}$ ، مقدار جاذب  $0.1\text{ g}$ ، الف) یون نیکل (II)  $\text{pH}=6/2$ ، ب) یون کبالت (II)  $\text{pH}=7$ ..... ۵۶
- شکل ۳-۱۹: تأثیر غلظت اولیه یون‌های محلول نیکل (II) و کبالت (II) بر فرآیند جذب سطحی آنها در شرایط دما  $20^{\circ}\text{C}$ ، حجم  $25\text{ ml}$ ، مقدار جاذب  $0.2\text{ g}$ ، الف) یون نیکل (II)  $\text{pH}=6/29$ ، ب) یون کبالت (II)  $\text{pH}=7$ ..... ۵۷
- شکل ۳-۲۰: تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) در شرایط غلظت اولیه محلول  $20\text{ ppm}$ ، حجم  $25\text{ ml}$ ، مقدار جاذب  $0.2\text{ g}$ ، الف) یون نیکل (II)  $\text{pH}=6/29$ ، ب) یون کبالت (II)  $\text{pH}=7$ ..... ۵۸
- شکل ۳-۲۱: بررسی ایزوترم لانگمویر (الف)، فروندلیچ (ب)، تمکین (ج) فرآیند جذب سطحی یون نیکل (II) بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت..... ۵۹
- شکل ۳-۲۲: بررسی ایزوترم لانگمویر (الف)، فروندلیچ (ب)، تمکین (ج) جذب سطحی یون کبالت (II) بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت..... ۶۰
- شکل ۳-۲۳: سینتیک جذب شبه مرتبه اول (الف)، شبه مرتبه دوم (ب) و نفوذ درون ذره‌ای (ج) یون نیکل (II) بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت..... ۶۲
- شکل ۳-۲۴: بررسی سینتیک جذب سطحی شبه مرتبه اول (الف)، شبه مرتبه دوم (ب) و تمکین (ج) یون کبالت (II) بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت..... ۶۳
- شکل ۳-۲۵: طیف FT-IR پس از فرآیند جذب سطحی یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II) بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت..... ۶۵
- شکل ۳-۲۶: الف) تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی Mn در شرایط غلظت اولیه  $14/2\text{ ppm Mn}$ ، ب) تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی Cu در شرایط غلظت اولیه  $17/5\text{ ppm Cu}$ ..... ۶۷
- شکل ۳-۲۷: الف) بررسی تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی Mn در شرایط غلظت اولیه  $14/2\text{ ppm Mn}$ ، ب) بررسی تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی Cu در شرایط غلظت اولیه  $17/5\text{ ppm Cu}$ ..... ۶۸
- شکل ۳-۲۸: طیف FT-IR پس از حذف مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دو تایی بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت..... ۷۴

# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱- مقدمه

عوامل مختلفی محیط زیست انسان را آلوده می‌کنند. آلودگی محیط زیست ناشی از دو منبع طبیعی (توده معدنی) و انسانی است. از جمله فعالیت‌های انسانی که موجب آلودگی می‌شود می‌توان به رشد جمعیت، استفاده از سوخت‌های فسیلی، مواد شیمیایی ضد آفت در کشاورزی، مصرف کودهای شیمیایی، دفن زباله‌های هسته‌ای، فعالیت کارخانه‌ها، معدنکاری، فاضلاب‌های شهری، زهاب آلوده صنایع مختلف اشاره کرد. عملیات معدنکاری اغلب سبب آلودگی زیست محیطی طولانی مدت شده و محیط اطراف خود را دچار یکسری تغییرات می‌کند و مشکلات زیادی به بار می‌آورد، میزان آلودگی بستگی به شرایط زمین‌های اطراف معدن و مواد باطله تولید شده دارد. از جمله این اثرات می‌توان آلودگی هوا حاصل از عملیات معدنی، آلودگی آب ناشی از خروج پساب‌های معدنی، تولید زهاب اسیدی و تخلیه فلزات سنگین به داخل آب‌های سطحی و زیرزمینی را نام برد (دولتی ارده جانی و همکاران، ۱۳۸۴; Irani et al., 2011). یون‌های فلزی محلول از جمله بزرگترین مشکلات محیط زیست محسوب می‌شوند. صنایع مانند معدنکاری، کانه آرایی، تولید کود شیمیایی، دباغی، باتری‌سازی، تولید کاغذ و آفت کش‌ها از جمله مهم‌ترین تولید کنندگان فلزات سنگین هستند. حضور این فلزات که به صورت محلول در پساب و خروجی‌های صنایع یاد شده می‌باشند بسیار نامطلوب بوده چرا که مدت زمان ماندگاری آن‌ها در طبیعت بالاست و همچنین تمایل بسیار زیادی به جمع شدن در بافت‌های موجودات زنده داشته و سبب انواع ناتوانی‌ها و بیماری‌ها می‌گردند (Irani et al., 2011, Ijagbemi et al., 2009). آلاینده‌های آلی نظیر پساب صنعت نساجی با ویژگی‌های زیست تخریب پذیری کم و محتوای نمک بالا منبع آلودگی مربوط به رنگ است. بعلاوه ترکیبات رنگی مثل رنگ‌ها و رنگدانه‌های مختلف برای زندگی آبزیان در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها بسیار مضر است (Ahmad et al., 2015).

شناسایی و پاکسازی مواد شیمیایی سمی امری کلیدی در حفاظت محیط زیست است. در طی زمان از روش‌ها و جاذب‌های متعددی برای حذف آلاینده‌ها استفاده شده است. از جمله این



مواد استفاده شده می‌توان به جاذب‌های طبیعی نظیر گیاه، شلتوک برنج، جاذب‌های معدنی مانند رس‌ها، زئولیت و بوکسیت همچنین خاکستر و کربن فعال اشاره کرد.

با پیشرفت تکنولوژی در دهه‌های اخیر استفاده از فناوری نانو در پاکسازی محیط زیست کاربرد یافته است. تاکنون استفاده‌های مختلفی از محصولات نانو فناوری در زمینه محیط زیست شده است. نانو ذرات به دلیل داشتن سطح تماس بیشتر و بهسازی ساختاری موجب افزایش راندمان حذف آلاینده‌ها می‌شوند.

این پایان نامه به بررسی امکان‌سنجی استفاده از نانو ذرات بوکسیت جهت حذف آلاینده‌های موجود در پساب صنعتی می‌پردازد. در همین راستا این فصل به معرفی انواع آلاینده‌ها، روش‌های جذب، ایزوترم و سینتیک جذب سطحی و ... ارائه می‌شود.

## ۱-۲- زهاب اسیدی

زهاب اسیدی<sup>۱</sup> معدن یکی از منابع آلوده کننده محیط زیست است که در نتیجه اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت موجود در معدن و باطله‌های معدنی به وجود می‌آید. شدت و مدت زمان تشکیل AMD بستگی به عامل‌هایی چون زمین شناسی ذخیره، کانی شناسی، هیدرولوژی و تأثیرات آب و هوایی دارد. مشخصات عمده پساب عبارت است از: پایین بودن میزان pH، بالا بودن غلظت یون‌های فلزی، افزایش میزان سولفات‌ها و ایجاد لجن به صورت غیر طبیعی (دولتی ارده جانی و همکاران، ۱۳۸۴).

هوازدگی، اکسیداسیون و در نهایت انحلال کانی‌های سولفیدی در آب سبب ایجاد اسید سولفوریک و فلزات سنگین می‌شود که باعث کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. در حالیکه پیریت به عنوان اصلی‌ترین عامل تولید AMD گزارش شده است دیگر کانی‌های سولفیدی نظیر مارکازیت و کانی‌های سولفات‌ه مثل جاروسیت و آلونیت قابلیت تولید پساب‌های اسیدی در معادن روباز و زیرزمینی

---

۱ Acid Mine Drainage or AMD

و همچنین در باطله‌ها را دارا می‌باشند. کانی‌های کربناته (مثل کلسیت و دولومیت) نقش بسیار مهمی در کیفیت پساب‌های معدنی دارند. این کانی‌ها آب‌های اسیدی که در اثر اکسیداسیون پیریت ایجاد می‌شوند را خنثی می‌کنند. ایجاد پساب و تخلیه آن در اطراف معدن باعث آلودگی شدید زیست محیطی می‌گردد. با توجه به افزایش تعداد معادن متروک و بسته شده، پرهزینه بودن خنثی‌سازی پساب اسیدی (با استفاده از مواد کربناته و ساخت تالاب‌ها)، تولید پساب اسیدی معدن به صورت یک معضل در آمده است. پساب اسیدی پس از وارد شدن به رودخانه‌ها سبب اسیدی شدن آن‌ها می‌شود که منجر به مرگ جانوران آبی می‌گردد. از طرف دیگر (با توجه به اسیدی بودن پساب‌ها و حضور فلزات سنگین در آن‌ها) با ورود به چرخه جانداران موجب مسمومیت و حتی مرگ آن‌ها می‌شود (Carbone et al., 2013).

فلزات می‌توانند به دو صورت طبیعی و یا در اثر فعالیت‌های انسانی در آب، خاک و هوا پراکنده شوند. فلزات سنگین زیر مجموعه ای از فلزات با چگالی بیش از ۵ بوده و در مجموع شامل ۳۸ عنصر می‌باشد. برخی از این فلزات برای سلامت جانداران و محیط زیست مضر بوده (مانند کروم، سرب، آرسنیک، کادمیوم و جیوه) بعضی از آن‌ها سبب خوردگی می‌شوند (مانند سرب و روی) (دولتی ارده جانی و همکاران، ۱۳۸۴). سنگ محتوای فلزات آرسنیک، کبالت، مس، روی، کادمیوم و سرب پس از استخراج و در تماس با آب و انحلال فلزات سنگین به منابع آبی منطقه راه می‌یابند. فلزات سنگین زیست تخریب پذیر نبوده و در محیط باقی می‌مانند قابلیت تحرک پذیری فلزات سنگین نظیر آرسنیک باعث گسترده‌تری آلودگی می‌شود و در بسیاری از نقاطی که در شرایط طبیعی قبلا وجود نداشته هم یافت می‌شوند (Ijabemi et al., 2009).

### ۱-۳- روش‌های حذف آلاینده‌ها

در اصل هر ماده با سطح متخلخل می‌تواند به عنوان یک جاذب استفاده شود. مشخصه مهم جاذب ساختار و سطح آن است، بعلاوه قطبیت و طبیعت شیمیایی سطح جاذب می‌تواند نیروهای بین جاذب

و جذب شونده را تحت تأثیر قرار دهد (Irani et al., 2011). جذب تجمع یک جزء شیمیایی بین فاز جامد و محلول است که منجر به از دست دادن فاز محلول می‌شود. حذف گونه‌های سنگین فلزی و آلاینده‌های آلی در پساب یک عامل ضروری برای حفاظت سلامت بشر و محیط زیست است (Ijagbemi et al., 2009).

تاکنون روش‌های فیزیکی و شیمیایی فراوانی برای حذف آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که از میان آن‌ها می‌توان به تبادل یونی<sup>۱</sup>، فیلتراسیون<sup>۲</sup> (Irani et al., 2011; Vijayaraghara and Yun., 2008)، اکسیداسیون و احیا<sup>۳</sup>، الکترودیالیز<sup>۴</sup>، اولترافیلتراسیون<sup>۵</sup> (Sud et al., 2008)، رسوب شیمیایی<sup>۶</sup>، اسمز معکوس<sup>۷</sup> (Kapoor et al., 1999)، واکنش‌های الکتروشیمیایی<sup>۸</sup> (Irani et al., 2011; Kapoor et al., 1999) و کروماتوگرافی<sup>۹</sup> و جذب سطحی<sup>۱۰</sup> (Goldberg., 1990) اشاره نمود. این روش‌ها با وجود برخی مزایا، معایب فراوانی دارند. واکنش‌گرهای زیاد مورد نیاز، غیر قابل پیش‌بینی بودن حذف فلزات، تولید لجن‌های سمی که عموماً انهدام آن‌ها با مشکلات فراوان همراه است (Kapoor et al., 1999)، کارایی کم، شرایط عملیاتی حساس و کم اثر بودن برای آلودگی با غلظت‌های پایین از جمله مهم‌ترین این مشکلات می‌باشد. فناوری دیگری که استفاده می‌شود جذب به وسیله کربن فعال برای پاکسازی پساب‌های محلی و صنعتی است (Sud et al., 2008)، با این حال هزینه و استفاده از آن با محدودیت‌هایی همراه است (Irani et al., 2011).

#### ۱-۴- جذب سطحی

یک روش جداسازی است که در آن برخی از اجزاء فاز سیال به سطح یک جاذب سطحی جامد منتقل

۱ Ion exchange

۲ Filtration

۳Oxidation and reduction

۴ Electro dialysis

۵ Ultrafiltration

۶Chemical precipitation

۷ Revers Osmis

۸ Electrochemical reaction

۹Chromatography

۱۰ adsorption

می‌شوند. در این روش از جامد متخلخل استفاده می‌شود که منافذ آن سطح بسیار زیادی را ایجاد می‌کند (Kiyers et al., 2013). جذب سطحی یک فرآیند تبدیل جرم است که به صورت تراکم و مواد در هنگام تماس دو فاز تعریف می‌شود. به عبارت دیگر مواد موجود در فاز مایع که روی سطح غیر اشباع تجمع و تراکم یافته‌اند، سبب می‌شوند که مواد آلاینده از فاز مایع خارج شوند. موادی که ترکیبات شیمیایی و فلزات سمی محلول روی آن جذب می‌شوند، جاذب و ترکیباتی که به وسیله جذب می‌گردند (مانند آلاینده‌ها) مواد جذب شده نامیده می‌شوند (Wang et al., 2005; Foo and Hameed., 2010). ساز و کارهای جذب سطحی عامل انجام جذب سطحی هستند و عبارتند از (Yakun et al., 2011):

#### ۱- جذب سطحی فیزیکی<sup>۱</sup>

جذب سطحی فیزیکی در نتیجه نیروهای بین جاذب و جذب شونده ایجاد می‌شود. این نیروهای الکترواستاتیکی فیزیکی شامل نیروی واندروالس است که به خاطر جاذبه و دافعه ضعیف برهم‌کنش‌های دو قطبی- دو قطبی، برهم‌کنش‌های تفرق و پیوند هیدروژنی می‌باشد. پیوند هیدروژنی یک مورد ویژه از برهم‌کنش‌های دو قطبی-دوقطبی می‌باشد و در آن اتم هیدروژن در مولکول خود که دارای بار مثبت جزئی است، اتم‌ها یا مولکول‌های دیگر را که دارای بار منفی جزئی می‌باشند، جذب می‌کند. در سیستم‌های فاز مایع، نیروی واندروالس نیروی اولیه مؤثر در جذب سطحی است (Toit et al., 1998).

#### ۲- جذب سطحی شیمیایی<sup>۲</sup>

جذب شیمیایی همانند جذب فیزیکی بر پایه نیروهای الکترواستاتیک استوار است. ساز و کارهای جذب شیمیایی مشابه جذب فیزیکی است اما اغلب قوی‌تر هستند. به نظر می‌رسد که این نوع جذب سطحی در جوانب و گوشه‌های میکروکریستال‌های تشکیل دهنده جاذب اتفاق می‌افتد. گرمای جذب به طور قابل توجهی بیش از جذب فیزیکی می‌باشد. این امر سبب می‌شود که به علت واکنش شیمیایی مواد

۱ Physical adsorption

۲ Chemical adsorption

جذب شونده دچار تغییر شوند. در جذب سطحی شیمیایی واکنش از طریق گروه‌های عاملی ویژه که وجود دارند انجام می‌گردد (Toit et al., 1998).

### ۳- جذب سطحی ویژه<sup>۱</sup>

بعضی از واکنش‌ها انرژی جذب بیش از جذب سطحی فیزیکی و کمتر از جذب شیمیایی دارند، این برهم‌کنش‌ها به جذب سطحی ویژه معروفند که شامل برخورد بین یک گروه عاملی ویژه با سطح جاذب می‌باشد. این برخورد باعث 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 (Larry et al., 1982).

## ۱-۵- انواع سیستم‌های جذب

جذب به روش‌های مختلف انجام می‌گیرد که از میان آن‌ها دو روش سیستم ناپیوسته<sup>۲</sup> و سیستم پیوسته<sup>۳</sup> بیشترین کاربرد را در مطالعات آزمایشگاهی دارند.

### ۱-۵-۱- سیستم ناپیوسته

در این سیستم مقدار مشخصی از محلول حاوی یون یا پساب آلوده به همراه جاذب داخل یک محفظه ریخته شده و درب آن مسدود می‌گردد. سپس محفظه در محیطی با دمای مورد نظر و با مدت زمان خاص (تا زمان جذب یا واجذب<sup>۴</sup>) تکان داده می‌شود (Limousine et al., 2007). در این مدت جریانی به محفظه وارد یا از آن خارج نمی‌گردد. بیشترین زمان برای گردش، زمانی که دیگر جذب صورت نگیرد و بین غلظت فلز باقیمانده در پساب و میزان فلز جذب شده بر روی جاذب تعادل برقرار شود زمان تعادل<sup>۵</sup> نامیده می‌شود. در شکل ۱-۱ چگونگی انجام جذب در سیستم ناپیوسته مشاهده می‌گردد

۱ Specific adsorption

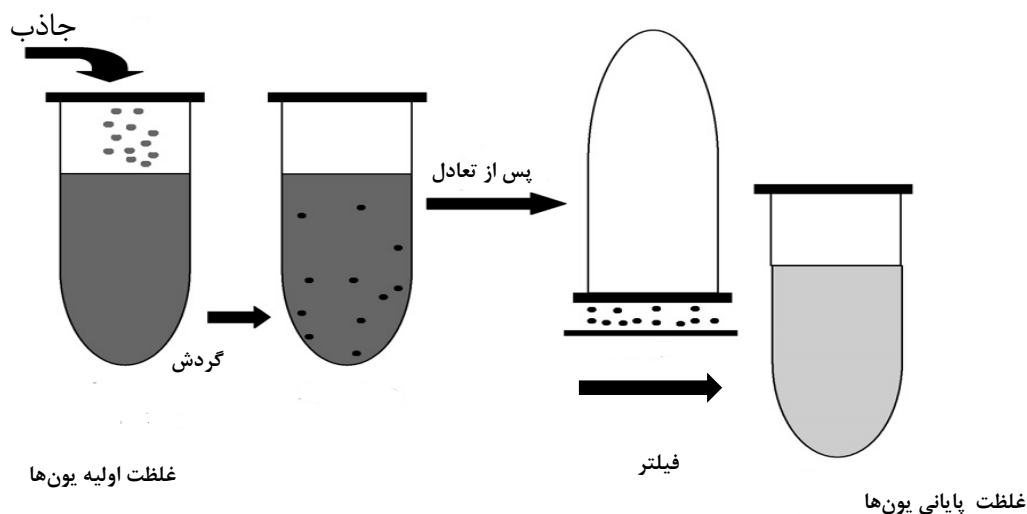
۴ Desorption

۲ Batch

۵ Equilibrium time

۳ Continuous

(Vijayaraghavan and Yun., 2008). با اینکه سیستم ناپیوسته به مراتب از روش‌های دیگر آسان‌تر است اما معایبی هم دارد، نسبت جامد به محلول اغلب در مقایسه با شرایط طبیعی در رودخانه‌ها یا بیش از حد بالاست و یا در مقایسه با شرایط واقعی تخلخل طبیعی بیش از حد کم است. علاوه بر این شرایط هیدرودینامیکی از محیط متخلخل طبیعی برآورد نشده است، همچنین تکان مداوم در مدت زمان طولانی می‌تواند منجر به واکنش در طی زمان آزمایش شود (Sposito, 1984).



شکل ۱-۱: روند انجام جذب در سیستم ناپیوسته (Vijayaraghavan and Yun., 2008)

## ۱-۵-۲- عوامل مؤثر بر جذب در سیستم ناپیوسته

مطالعات جذبی ناپیوسته معمولاً بر روی عوامل مؤثر در جذب انجام گردیده که در ارزیابی پتانسیل جذبی هر ماده بسیار با اهمیت می‌باشد. عوامل مهم و تأثیر گذار در سیستم ناپیوسته عبارتند از: غلظت اولیه آلودگی، pH پساب، دما، مقدار جاذب، اندازه ذرات جاذب و سرعت هم زدن. غلظت اولیه آلودگی: غلظت اولیه، نیروی محرکه مهمی برای غلبه بر مقاومت انتقال جرم از فاز محلول به جامد ایجاد می‌کند (Deniz and saygideger., 2010). با افزایش غلظت اولیه آلاینده میزان جذب کاهش می‌یابد (Olgun and Atar., 2009; Ratnamala et al., 2012).  
pH: در بسیاری از مطالعات جذبی pH یک عامل بسیار مهم و تأثیر گذار محسوب می‌شود. با این حال

در مطالعات مختلف به روش‌های مختلف از آن استفاده می‌شود. در برخی از آن‌ها pH اولیه، پایانی و یا کنترل شده در طول مدت جذب مورد توجه قرار گرفته اند. تغییراتی که در pH محیط به دلیل واکنش‌های شیمیایی بین جاذب و محلول حاصل می‌شود زمینه‌ساز این تفاوت‌ها می‌باشد. خصوصیات شیمیایی جاذب و همچنین ساز و کار جذب از جمله عوامل مؤثر در تغییر pH هستند (Kapoor et al., 1997). در بسیاری از مطالعات بر کنترل نمودن pH تا رسیدن به زمان تعادل تأکید شده است. اما انجام این کار چندان ساده نبوده زیرا نیازمند تجهیزات پیشرفته و افزودن واکنش‌گرهای شیمیایی برای نگه داشتن pH در گستره بهینه است. در برخی از مطالعات با این عقیده که pH در حالت تعادلی کارایی سیستم را تعیین می‌کند pH پایانی مورد توجه قرار گرفته است. pH محلول نقش بسیار مهمی در جذب داشته و روی خصوصیات شیمیایی پساب و فعالیت گروه‌های عاملی روی سطح جاذب تأثیر گذار است (Vijayaraghavan and Yun., 2008).

دما: دمایی که در آن فرآیند جذب رخ می‌دهد بر سرعت جذب و مقدار آن تأثیر گذار است. سرعت جذب با افزایش دما در واکنش‌های گرماگیر افزایش یافته و با کاهش دما در واکنش‌های گرماده افزایش می‌یابد. (Khambhaty et al., 2009).

اندازه ذرات: اندازه ذرات جذب شونده در جذب سطحی بسیار مؤثر است، به طوری که مولکول‌ها باید وارد منافذ جاذب شده و جذب گردند. اگر اندازه ذره به اندازه تخلخل‌های جاذب نزدیک باشد نیروهای جاذبه بین جاذب و جذب شونده زیاد است (Larry et al., 1982). هرچه اندازه ذرات جاذب کمتر باشد سطح جاذب افزایش پیدا کرده و در نتیجه جذب افزایش یافته و زمان رسیدن به تعادل کاهش می‌یابد (Vijiyaghavan and Yun. 2008).

سرعت هم زدن: سرعت هم زدن یک عامل تأثیر گذار دیگر است. 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 بطور نسبتاً آرام بین ذره جاذب و محلول انجام شود، لایه سطحی مایع اطراف ذره ضخیم خواهد بود و احتمالاً مرحله نفوذ مرحله تعیین کننده سرعت خواهد بود. اگر هم زدن با سرعت

زیادی انجام گیرد، سرعت نفوذ افزایش خواهد یافت، تا نقطه‌ای که نفوذ در حفرات جاذب مرحله تعیین کننده سرعت گردد (Larry et al., 1982).

### ۱-۵-۳- سیستم پیوسته

مطالعات جذب پیوسته، جهت امکان‌سنجی اجرای عملیات در مقیاس واقعی انجام می‌گیرد (Vijiyaraghavan and Yun., 2008). در عملیات جذب پیوسته از اختلاف غلظت به بهترین نحو بهره‌برداری گردیده و از حداکثر ظرفیت جاذب استفاده می‌گردد و در نتیجه در ابتدای عملیات، خروجی با غلظت آلودگی نزدیک به صفر بدست می‌آید (Aksu and Gone., 2004). سیستم پیوسته مزیت‌های فراوانی نسبت به سیستم ناپیوسته دارد. ساده‌تر بودن عملیات، جذب بیشتر، قابلیت بهتر برای تبدیل به مقیاس صنعتی و واجذب (انتشار ماده جذب شونده از سطح جاذب) راحت‌تر از جمله این مزایا می‌باشد. اما برای بدست آوردن اطلاعات اساسی مورد نیاز مانند کارایی و راندمان جذب، شرایط بهینه در عملیات تجربی، سرعت جذب، احتمال بازیابی جاذب و استفاده مجدد از آن سیستم ناپیوسته باید ابتدا آزمایش شود (Vijiyaghavan and Yun., 2008).

### ۱-۵-۴- عوامل مؤثر بر جذب در سیستم پیوسته

عوامل زیادی بر جذب در ستون نقش دارند اما سه عامل غلظت آلودگی در پساب ورودی، سرعت جریان و طول بستر از مهم‌ترین این عوامل هستند (Aksu et al., 2006). غلظت آلاینده در پساب ورودی (غلظت ورودی): غلظت آلاینده در ورودی یکی از عوامل مهم و مؤثر می‌باشد. به طوری که تغییرات در غلظت ورودی باعث ایجاد تغییرات در جذب می‌گردد. با افزایش غلظت ورودی زمان رخنه<sup>۱</sup> کاهش و میزان جذب تعادلی افزایش می‌یابد (Wu and Yu, 2008). سرعت جریان ورودی: سرعت جریان یکی از عوامل بسیار مهم در ارزیابی جذب در حالت پیوسته می‌باشد. به طور کلی، سرعت جریان پایین برای جذب مطلوب‌تر است، چرا که با افزایش سرعت جریان

<sup>۱</sup> Breakthrough time



زمان حضور پساب در ستون کاهش یافته و به این دلیل آلودگی زمان کافی برای تماس با جاذب و اتصال به آن را خواهد داشت (Aksu et al., 2006).

تغییرات طول ستون: طول ستون از دیگر عوامل جذب در ستون پیوسته می‌باشد، هرچه طول ستون بیشتر باشد پساب زمان بیشتری برای تماس با جاذب خواهد داشت و در نتیجه کارایی جذب ستون بالاتر خواهد رفت. همچنین در مقایسه با ستون‌های دیگر، پساب خروجی ستونی که طول بیشتری دارد در یک زمان معین کمتر می‌باشد. افزایش سطح جاذب و در نتیجه افزایش نقاط اتصال جاذب دلیل بالا رفتن جذب با افزایش طول ستون می‌باشد (Wu and Yu., 2008).

### ۱-۶- ایزوترم جذب

جذب سطحی یک ترکیب بر روی جاذب را می‌توان از طریق روابط ریاضی توسط یک ایزوترم<sup>۱</sup> جذب (کلمه ایزوترم به طور خاص به دلیل تأثیر دما بر واکنش‌های جذب انتخاب شده است.) شرح داد. بطور ساده مقدار جذب شونده که می‌تواند بر روی یک جاذب ویژه جذب گردد، تابع غلظت ماده جذب شونده و دماست. رابطه  $Q = F(C, T)$  ایزوترم جذب نامیده می‌شود که در آن  $Q$  غلظت تعادلی،  $C$  غلظت ورودی و  $T$  دمای جذب شونده در فرآیند جذب است. یکتایی این رابطه نیازمند آن است که واکنش‌های مختلف به تعادل رسیده و پارامترهای فیزیکی شیمیایی دیگر ثابت باشند (Werth and Reinhard., 1997). ایزوترم جذب اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با بهینه‌سازی جاذب فراهم می‌کند، میزان تمایل بین جذب شونده و جاذب، انرژی پیوند و ظرفیت جذب به کمک ایزوترم‌های جذب قابل محاسبه است (Ijabemi et al., 2009).

میزان جذب آلودگی توسط جاذب با محاسبه تفاوت بین غلظت اولیه آلودگی موجود در پساب و غلظت تعادلی (پایانی) (مقادیر اولیه آلودگی موجود در پساب و مقادیر باقیمانده) از طریق رابطه (۱-۱) بدست می‌آید (Volesky, 2007).

<sup>۱</sup> Isotherm

$$q = \frac{v(C_0 - C_e)}{x} \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

که در آن:  $q$  میزان آلودگی در واحد جرم جاذب (mg/g)،  $C_0$  و  $C_e$  به ترتیب غلظت اولیه و تعادلی آلودگی موجود در پساب (mg/l) و  $V$  حجم پساب (l) و  $x$  جرم جاذب g است.

بعضی از مدل‌های ایزوترمی که معمولاً استفاده می‌شوند شامل دو، سه و یا حتی چهار پارامتر برای مدل کردن داده‌ها می‌باشند. گرچه این مدل‌های کلاسیک، ساز و کار جذب را بطور کامل منعکس نمی‌کنند اما برای رسم منحنی‌های تجربی مناسب هستند (Kratchvil and Volesky., 2007).

لانگمویر<sup>۱</sup> و فروندلیچ<sup>۲</sup> مدل‌های دو پارامتری هستند که برای توصیف (تعریف روابط بین غلظت اولیه و تعادلی) ایزوترم جذب توصیف شده‌اند. این مدل‌ها، ساده، اثبات شده و دارای معنای فیزیکی هستند. مدل لانگمویر در رابطه (۲-۱) آمده است. این مدل به طور گسترده استفاده می‌شود.

$$Q = Q_{\max} \frac{K_1 C}{1 + K_1 C} \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

در این رابطه:  $Q$  مقدار آلودگی جذب شده در واحد جرم جاذب (mg/g)،  $Q_{\max}$  بیشینه مقدار آلودگی جذب شده در واحد جرم جاذب تا تشکیل یک تک لایه کامل بر روی سطح آن (mg/g)،  $C$  غلظت آلودگی باقیمانده در محلول،  $K_1$  ثابت لانگمویر (L/mg) است (Limousin et al., 2007).

در مدل لانگمویر از آنجا که فعالیت گونه‌های جذبی بطور کامل ترمودینامیکی تعریف نشده، قانون جرم نمی‌تواند بطور مستقیم بکار گرفته شود با این حال فرض شده است که تعداد مشخصی نقاط فعال با میل ترکیبی و انرژی یکسان (مقدار انرژی مستقل از مقدار جذب) بر روی سطح وجود دارد و جذب در یک لایه اتفاق می‌افتد و هیچگونه واکنشی بین مولکول‌های جذب شده رخ نمی‌دهد (Limousin et al., 2007). از  $Q_{\max}$  برای بررسی کارایی جاذب‌ها استفاده می‌شود، برای یک جاذب خوب، باید مقادیر  $Q_{\max}$  و  $K_1$  بالا باشند. بدست آوردن تعادل آزمایشگاهی برای یک جذب شونده (مقدار کمی از جاذب

۱ Langmuir

۲ Freundlich

در تماس با محلول شامل جذب شونده آزمایش می‌شود) ساده است، هرچند پارامترهای زیست محیطی در سیستم جذب (به ویژه pH) باید کنترل شود (Kratochvil and volesky., 2007).  
شکل خطی مدل لانگمویر در رابطه (۳-۱) مشاهده می‌شود.  $Q_{max}$  و  $K_L$  به ترتیب با استفاده از عرض از مبدا و شیب نمودار  $1/Q$  و  $1/C$  بدست می‌آیند (Kalin et al., 2005).

$$\frac{1}{Q} = \left( \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{K_L Q_{max}} \right) + \frac{1}{Q_{max}} \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

با استفاده از ثابت لانگمویر پارامتری بدون بعد به نام شاخص جدایش ( $R_L$ ) تعریف می‌شود که در رابطه (۴-۱) نمایش داده شده است. این شاخص به پیش‌بینی روند جذب کمک می‌کند، اگر  $R_L > 1$  فرآیند جذب نامطلوب،  $0 < R_L < 1$  فرآیند جذب مطلوب است.  $R_L = 1$  نشان دهنده فرآیند خطی و  $R_L = 0$  بیانگر فرآیند برگشت ناپذیر<sup>۱</sup> است (Alver and Metin., 2012).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C} \quad \text{رابطه (۴-۱)}$$

ایزوترم لانگمویر زمانی که بیش از یک نوع جذب شونده باشد، بصورت رابطه (۵-۱) بیان می‌شود. این رابطه تجربی بوده و اساس فیزیکی ندارد (Limousin et al., 2007).

$$Q_i = Q_{max,i} \frac{C_i L_i}{1 + \sum_{j=1}^n L_j C_j} \quad \text{رابطه (۵-۱)}$$

ایزوترم فروندلیچ برای جذب بر روی سطوح ناهمگن یا سطوحی که نقاط جذب کننده روی آن‌ها دارای میل ترکیبی مختلف هستند می‌باشد که در رابطه (۶-۱) آورده شده است (Lin and Yt., 2006). این معادله شامل دو ثابت می‌باشد.  $F$  بیانگر ظرفیت جذب بوده (L/kg) و  $n$  (بدون واحد) نشان دهنده شدت جذب می‌باشد. با لگاریتم گرفتن از دو طرف رابطه (۶-۱) شکل خطی ایزوترم فروندلیچ بدست می‌آید  
رابطه (۷-۱) (Limousin et al., 2007)

<sup>۱</sup> irreversible

$$Q = FC^n \quad \text{رابطه (۶-۱)}$$

$$\log Q = \log F + n \log C \quad \text{رابطه (۷-۱)}$$

مدل فروندلیچ برای زمانی که چند جذب شونده حضور داشته باشد از رابطه (۸-۱) محاسبه می شود.

$$Q_i = F_i C_i \left( \sum_{j=1}^m a_{i,j} C_j \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{رابطه (۸-۱)}$$

مدل دو پارامتری دیگر تمکین است که به صورت رابطه (۹-۱) می باشد (Lin and Yt., 2006).

$$q = \frac{RT}{b_{Te}} \ln(a_{Te} C_f) \quad \text{رابطه (۹-۱)}$$

در این رابطه  $b_{Te}$  ثابت تمکین مرتبط با حرارت جذب،  $a_{Te}$  ثابت ایزوترم تمکین،  $T$  دمای مطلق (K) و  $R$  ثابت گازها ( $8.314 \text{ J/molK}$ ) است.

## ۱-۷- سینتیک جذب

سینتیک<sup>۱</sup> جذب به منظور بررسی عوامل مؤثر بر سرعت فرآیند جذب مورد بررسی قرار می گیرد. مدل-های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم برای بیان کمی سینتیک جذب بکار می روند. مدل سینتیکی شبه مرتبه اول نشان می دهد که نفوذ از داخل یک لایه اتفاق می افتد و بر مبنای ظرفیت جامد می باشد که در آن تغییرات در مقدار جذب با زمان، متناسب با مکان های اشغال نشده در سطح جاذب است. شکل خطی مدل سینتیکی شبه مرتبه اول بصورت رابطه (۱۰-۱) است.

$$\log(Q_e - Q_t) = \log(Q_e) - \frac{K_1}{2.303} t \quad \text{رابطه (۱۰-۱)}$$

به طوری که  $Q_e$  (mg/g)، مقدار ماده جذب شده در حالت تعادل،  $Q_t$  مقدار ماده جذب شده در زمان  $t$  (mg/g)،  $K_1$  ثابت تعادلی سرعت سینتیکی مرتبه اول ( $\text{min}^{-1}$ ) می باشد.

۱ Kinetic

مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم نشان می‌دهد که جذب شیمیایی، مرحله کند کننده سرعت است و فرآیند جذب سطحی را کنترل می‌کند و بر مبنای جذب فاز جامد می‌باشد که در آن سرعت اشغال مکان‌های جذب متناسب با مجذور تعداد مکان‌های اشغال نشده است. شکل خطی مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم بصورت رابطه (۱۱-۱) است.

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad \text{رابطه (۱۱-۱)}$$

که در این رابطه  $Q_e$  مقدار ماده جذب شده در حالت تعادل (mg/g)،  $Q_t$  مقدار ماده جذب شده در زمان  $t$  (mg/g) و  $K_2$  ثابت تعادلی سرعت سینتیکی مرتبه دوم (mg/g.min) می‌باشد.

همچنین سینتیک نفوذ درون ذره‌ای<sup>۱</sup> بصورت رابطه (۱۲-۱) بیان می‌شود (Langmuir, 1918; Nouren and Bhatti., 2015)

$$Q_t = k_p t^{\frac{1}{2}} + C \quad \text{رابطه (۱۲-۱)}$$

در جدول ۱-۱ برخی از مدل‌های کلاسیک جذب و واجذب مشاهده می‌شود در این جدول  $C$  غلظت محلول،  $Q$  غلظت جامد،  $t$  زمان،  $\theta$  رطوبت حجمی و  $\rho$  چگالی حجمی است.

جدول ۱-۱: مدل‌های سینتیکی جذب (Murali and Aylmor, 1983)

مدل	فرمول
شبه مرتبه اول	$\frac{dq}{dt} = \frac{\theta}{\rho} K_1 - K_2 Q$
مرتبه n ام	$\frac{dq}{dt} = \frac{\theta}{\rho} K_1 C^n - K_2 Q$
مرتبه صفر Elovich	$\frac{dq}{dt} = K \exp(-PQ)$
انتقال جرم	$\frac{dq}{dt} = \frac{\theta}{\rho} K(C - C_{im})$
مرتبه اول (جذب سطحی برگشت ناپذیر)	$\frac{dq}{dt} = \frac{\theta}{\rho} K(C - C_{irr})$

۱ Intra particles

۱-۸- مطالعات ترمودینامیکی<sup>۱</sup>

پارامترهای ترمودینامیکی شامل انرژی آزاد گیبس<sup>۲</sup>، تغییر آنتالپی<sup>۳</sup> و تغییر آنتروپی<sup>۴</sup> می‌باشد (Li et al., 2015).

۱-۸-۱- تغییرات انرژی آزاد گیبس ( $\Delta G^\circ$ )

یک معیار برای تشخیص خود به خودی بودن یا نبودن فرآیند است. مقادیر منفی  $\Delta G^\circ$  نشان دهنده خود به خودی بودن فرآیند در دمای خاص است (Bhat et al., 2008). مقدار  $\Delta G^\circ$  از رابطه (۱-۱۳) بدست می‌آید (Wang et al., 2009).

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad \text{رابطه (۱-۱۳)}$$

که در آن R ثابت گازها، K ثابت تعادل، T دما (K) است.

۱-۸-۲- تغییرات آنتالپی  $\Delta H^\circ$  و آنتروپی  $\Delta S^\circ$ 

در صورت مثبت بودن تغییرات آنتالپی، واکنش گرماگیر، در غیر این صورت گرمازا خواهد بود. همچنین مقادیر مثبت آنتروپی نشان دهنده افزایش بی‌نظمی بوده و تمایل واکنش به انجام را نشان می‌دهد (Khambhaty, 2008). بین سه پارامتر آنتالپی، آنتروپی و انرژی آزاد گیبس رابطه‌های (۱-۱۴) و (۱-۱۵) برقرار است (Wang et al., 2009).

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad \text{رابطه (۱-۱۴)}$$

$$\ln K = -\Delta H^\circ / RT + \Delta S^\circ / R \quad \text{رابطه (۱-۱۵)}$$

## ۱-۸-۳- رابطه بین سینتیک و ترمودینامیک

ایزوترم جذب اغلب از اطلاعات بدست آمده از واکنش در حالت تعادل بدست آمده است. در این صورت

۱ Thermodynamic studies

۳ Enthalpy

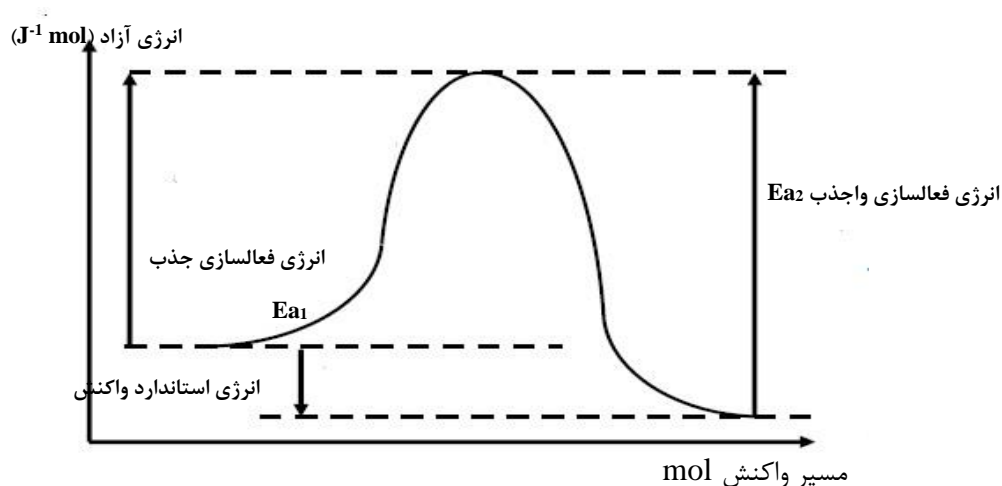
۲ Gibbs Free Energy

۴ Entropy

ایزوترم جذب بدست آمده از واکنش جذب تا تعادل و واکنش واجذب تا تعادل باید یکسان باشد. به همین دلیل نظریه تعادل ترمودینامیکی فرض برگشت پذیری کامل در واکنش‌های شیمیایی را منحصر به فرد دانسته است (sposito, 1989). با این حال ساز و کارهای جذب به وسیله سینتیک واکنش و یا پدیده‌های فیزیکی (که با اکسایش و کاهش همراه است) کنترل می‌شوند (Sparks, 1982). شکل ۱-۲ بیشترین تغییرات انرژی در زمان واکنش را نشان می‌دهد. در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود که انرژی جذب و واجذب برابر نبوده و انرژی واکنش مقداری منفی است. رابطه بین انرژی آزاد  $\Delta G^\circ$  و ثابت واکنش K از رابطه (۱-۱۶) بدست می‌آید (Limusin et al., 2007).

$$K = \exp(-\Delta G^\circ / RT) \quad \text{رابطه (۱-۱۶)}$$

در این رابطه R ثابت گازها و T دما بر حسب (K) است.



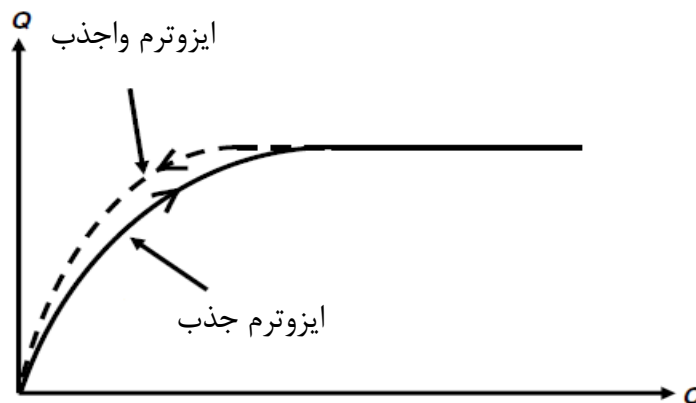
شکل ۱-۲: تغییرات انرژی در زمان (Limusin et al., 2007)

تفاوت بین انرژی فعالسازی واجذب و جذب برابر انرژی آزاد گیبس است (Limousin et al., 2007).

### ۱-۸-۴ - پسماند جنبشی یا شبه برگشت ناپذیری

شناخت اینکه چگونه سیستم به تعادل ترمودینامیکی می‌رسد سخت است، زیرا با توجه به شکل ۱-۳ معمولاً ایزوترم جذب و واجذب باهم مطابقت ندارند (Smith and Comans, 1996; Sparks, 1982). تطابق جذب و واجذب "شبه پسماند" یا "پسماند جنبشی" نامیده شد، که به طور ساده‌تر به آن برگشت

ناپذیری ظاهری گفته می‌شود (Limousin et al., 2007).



شکل ۱-۳: مقایسه شبه پسماند در جذب و واجذب زمانی که سیستم به تعادل رسیده است (Limousin et al., 2007)

## ۹-۱- انواع جاذب‌ها

تلاش قابل ملاحظه ای در چند دهه اخیر برای توسعه روش‌های حذف آلاینده‌های آلی و فلزی شده است (Safarzadeh-Amiri et al., 1997). به همین منظور مواد متنوعی برای حذف آلاینده‌های معدنی و آلی مربوط به صنایع مختلف در فاز آبی و حذف فلزات سنگین از زهاب اسیدی ناشی از صنایع معدنی و کارخانه‌ها مربوط به استحصال مواد معدنی فلزی به کار گرفته شده است. بخش زیادی از این مواد طبیعی، معدنی و در دسترس می‌باشند. از جمله جاذب‌هایی که برای حذف فلزات سمی و آلاینده‌های آلی از آن‌ها استفاده شده می‌توان به زئولیت (Alshameri et al., 2014)، پرلیت (Seifpanahi-shabani et al., 2013)، دیاتومیت (Daniel de Namor et al., 2012)، گل قرمز (Nadaroglu and Kalkan., 2013)، رس و کائولن (Lopes et al., 2014; Leiviska et al., 2012)، بوکسیت (Bhkat et al., 2006) دانه‌ها و ذرات سیلیسی یا سیلیکا (Najafi et al., 2011)، کربن فعال (Sud et al., 2008) و... اشاره کرد.

## ۱۰-۱- استفاده از فناوری نانو در حذف آلاینده‌ها



نیم قرن پیش فیمن<sup>۱</sup> متخصص کوانتوم نظری و دارنده جایزه نوبل در سخنرانی معروف خود در سال ۱۹۵۹ با عنوان "آن پایین فضای بیشتری هست"<sup>۲</sup> به بررسی بعد ریشه نیافته علم مواد پرداخت (Khajeh et al., 2013). فناوری نانو توانایی ساخت، کنترل و استفاده ماده در ابعاد نانو متری است. موضوع اصلی این فناوری توسعه و بکارگیری ساختارها در ابعاد کمتر از یک میکرومتر، معمولاً حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است (Drexler, 1992). اندازه ذرات در فناوری نانو بسیار مهم است چرا که در مقیاس نانو ابعاد ماده در خصوصیات آن بسیار تأثیر گذار است و خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تک تک اتمها و مولکولها با خواص توده متفاوت است (Drexler., 1986). نانو ذرات دارای مساحت سطح بسیار بزرگ و تعداد ذرات بالا در واحد جرم هستند. برای مثال یک ذره کربن با قطر ۶۰ میکرومتر دارای جرم ۰/۰۳ گرم و مساحت سطح ۰/۰۱ میلی متر مربع است، در حالیکه همان جرم کربن در شکل نانو ذرات که هر ذره قطر ۶۰ نانومتر داشته باشد مساحت سطحی برابر ۱۱/۳ میلی متر مربع دارد و شامل  $1 \times 10^3$  نانو ذره می باشد (Buze et al., 2007).

تفاوت اصلی فناوری نانو با فناوریهای دیگر در مقیاس مواد و ساختارهایی است که در این فناوری مورد استفاده قرار می گیرند، اما این خود می تواند خصوصیات ذاتی آنها از جمله رنگ، استحکام، مقاومت، خوردگی و ... را دستخوش تغییر کند. در این فناوری در حقیقت، این عناصر پایه هستند که معیار طبقه بندی محسوب می شوند. عناصر پایه همان عناصر نانو مقیاسی هستند که خواص آنها در مقیاس بزرگ تر تفاوت می کند. عناصر پایه مختلفی در حوزه نانو فناوری وجود دارد، در ادامه به معرفی سه مورد از اصلی ترین این عناصر پرداخته می شود (Drexler, 1992; Drexler, 1986; Khajeh et al., 2013).

۱- اولین و مهم ترین عنصر پایه، نانو ذره است. همانگونه که از نام آن مشخص است منظور از نانو ذره ذراتی است که دارای ابعاد نانو متری حداقل در یک بعد هستند.

<sup>۱</sup> Feynman

<sup>۲</sup> There is plenty of room in the bottom

۲- دومین عنصر پایه نانو کپسول‌ها هستند، همان طوری که از نام آن مشخص است کپسول‌هایی هستند که قطر نانو متری دارند، سال‌هاست که نانو کپسول‌ها در طبیعت تولید می‌شوند. مولکول‌های موسوم به فسفو لیپیدها که یک سر آن‌ها آبگریز و سر دیگر آن‌ها آبدوست است، خود به خود کپسول‌هایی را تشکیل می‌دهند که قسمت‌های آبگریز مولکول در درون آن‌ها واقع، و از تماس با آب محافظت می‌شود.

۳- عناصر پایه بعدی نانو لوله‌های کربنی است. این عناصر در سال ۱۹۹۱ در شرکت ان ای سی<sup>۱</sup> کشف شدند و در حقیقت لوله‌هایی هستند که از تغییر در ساختار لوله‌های گرافیتی حاصل می‌شوند. تعیین مشخصات نانو ذرات برای کنترل سنتز و کاربرد آن‌ها ضروری است. خواص این ترکیبات با استفاده از روش‌های گوناگونی نظیر STM<sup>۲</sup> و AFM<sup>۳</sup> پراش اشعه X (XRD)، میکروسکوپ الکترونی SEM<sup>۴</sup> و ... سنجیده می‌شوند (Sadeghi et al., 2009).

از کاربردهای نانو ذرات می‌توان به تجزیه آلاینده‌های زیست محیطی، ساخت فیلترهایی با ابعاد نانو، شناسایی سلول‌های سرطانی (Drexler, 1992) و... اشاره کرد.

### ۱-۱-۱- تعریف مسأله

آلودگی محیط زیست توسط فلزات سنگینی چون جیوه، آرسنیک، سرب، روی، مس، کروم، نیکل، منگنز، کبالت اثرات نامطلوبی بر سلامتی انسان و محیط زیست دارد. بنابراین برای حذف آلاینده‌ها از محیط زیست به ویژه منابع آبی نیاز مبرمی به توسعه روش‌های جدید، ارزان قیمت، اقتصادی و با بازده بالا وجود دارد.

### ۱-۱-۲- ضرورت تحقیق حاضر

مواد شیمیایی معدنی یکی از منابع آلوده کننده آب می‌باشد و معدنکاری آلاینده‌های زیادی را وارد

۱ NEC

۲ Scanning Tunneling Microscope

۳ Atomic Force Microscope

۴ Scanning Electron Microscope

محیط زیست می‌کند لذا نیاز به آن دیده می‌شود که از مواد معدنی برای حذف این آلاینده‌ها بخصوص آلاینده‌های معدنی استفاده شود.

باتوجه به اینکه حذف آلاینده‌ها برای پساب صنعتی (فلزی، آلی، رنگی) با نانو ذرات بوکسیت انجام نشده و از بوکسیت خام استفاده شده بنابراین حذف آلاینده‌ها با نانو بوکسیت نشان از نوآوری این تحقیق دارد.

### ۱-۱۳- اهداف تحقیق

در این پایان نامه به طور کلی اهداف زیر مد نظر می‌باشد:

- ✓ بررسی آزمایشگاهی نانو ذرات بوکسیت به عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌های آلی و معدنی، تعیین بازده جاذب و همچنین بررسی شرایط مختلف و تأثیر این شرایط بر فرآیند جذب
- ✓ آماده‌سازی و ساخت نانو جاذب بوکسیت و انجام مطالعات آزمایشگاهی برای بررسی کارایی نانو جاذب بوکسیت جهت تصفیه پساب‌های مصنوعی
- ✓ تعیین ایزوترم و سینتیک حاکم بر فرآیند جذب آلاینده‌های مختلف بر روی نانو جاذب بوکسیت
- ✓ تعیین پارامترهای ترمودینامیکی حاکم بر فرآیند جذب آلاینده‌های مختلف بر روی نانو جاذب بوکسیت.

### ۱-۱۴- ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر در ۴ فصل تنظیم گردیده که فصول آن عبارتند از:

فصل اول: کلیاتی در مورد منابع آلوده کننده آب، آلاینده‌ها، انواع روش‌های حذف آلاینده‌ها، جذب سطحی، ایزوترم و سینتیک جذب سطحی و...

فصل دوم: پیشینه تحقیق؛ مروری بر مطالعات انجام شده برای حذف آلاینده‌های آلی، حذف آلاینده‌های فلزی، مطالعات انجام شده حذف آلاینده‌های عالی و فلزی توسط بوکسیت.

فصل سوم: روش انجام تحقیق؛ شرح انجام آزمایش‌ها، تأثیر پارامترهای مؤثر، بررسی ایزوترم و سینتیک

حاکم بر فرآیند جذب و مطالعات ترمودینامیکی.

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادها.

## فصل دوم

# مروری بر پیشینه تحقیق

## ۲-۱- مقدمه

آب مایه حیات و فراوان‌ترین ماده بر روی سطح زمین می‌باشد. بیش از ۲/۳ سطح کره زمین را آب پوشانده است. با وجود این حجم عظیم آب تنها ۰.۲٪ از آب‌های کره زمین شیرین و قابل شرب است. آب به عنوان یکی از نیازهای اصلی بشر همواره نقش مهمی ایفا نموده و یکی از مشکلاتی که همواره بسیاری از جوامع با آن مواجه اند تأمین آب بهداشتی و سالم است (Gosh and Mujumdar, 2006). در کشور ما نیز مشکل آلودگی آب وجود داشته و ارائه راهکارهای مناسب برای تصفیه آب‌های آلوده جزء اولویت‌های تحقیقاتی می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های آب معرف‌های شیمیایی هستند. به گونه‌ای که می‌توان گفت، آب‌های آلوده شیمیایی شامل دو نوع اصلی از آلاینده هستند که عبارتند از (Wang et al., 2014):

۱- یون‌های فلزات واسطه و سنگین مانند سرب، مس، جیوه، روی، یون نیکل، کروم و کادمیوم.

۲- ترکیبات آلی مانند رنگزها و آلاینده‌های نفتی.

در چند دهه اخیر تلاش قابل ملاحظه‌ای برای توسعه روش‌های حذف آلاینده از فاز آبی شده است (Rivas et al., 2011; Safarzadeh-Amiri et al., 1997). در این فصل مروری اجمالی بر برخی مطالعات پیشین برای حذف آلاینده‌ها از فاز آبی انجام گردیده و عوامل مؤثر بر حذف این آلاینده‌ها بررسی گردیده است.

## ۲-۲- حذف آلاینده‌های رنگی

در سال (۱۳۸۸) تهرانی بقاء و همکاران رنگبری از پساب حاوی رنگزای بازیک زرد ۲۸ را با استفاده از کائولن بررسی کردند. نتایج نشان داد که این جاذب معدنی توانایی بسیار خوبی در حذف رنگزای کاتیونی دارد و فرآیند جذب بسیار سریع می‌باشد. حضور انواع الکترولیت و یا تغییر pH تأثیری بر رنگبری ندارد. داده‌های حاصل از آزمایش تطابق خوبی با مدل لانگمویر دارد و از مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم پیروی می‌کند که نشان دهنده کنترل فرآیند به وسیله جذب شیمیایی است (تهرانی بقاء و همکاران، ۱۳۸۸).

احمد و همکاران (۱۹۹۳) حذف رنگزای بازیک بنفش ۱۰ (Basic Violet-10: BV-10) از محلول را با استفاده از سیلیکا<sup>۱</sup> به عنوان جاذب بررسی کردند. مشاهدات نشان داد عوامل pH، زمان تماس و دما تأثیر گذارترین متغیرها هستند همچنین فرآیند گرمازا بوده و با افزایش دما میزان حذف کاهش می‌یابد. آن‌ها عنوان کردند که گرمازا بودن فرآیند ممکن است به دلیل فرار مولکول‌های رنگ از سطح در مرحله افزایش دما باشد (Ahmed et al., 1993).

در سال (۲۰۰۹) طی تحقیق الگون و عطار جذب سطحی دو رنگزای بازیک قرمز ۴۶ (BasicRed-) و بازیک زرد ۲۸ (BasicYellow-28) بر روی پسماند حاصل از کارخانه‌های تولید بور بررسی شده است. نتایج نشان داد که میزان جذب سطحی به pH، زمان تماس و رفتار الکتروستاتیکی پسماند بور بستگی دارد. جذب هر دو رنگزا بر روی پسماند بور گرمازا بوده و ظرفیت جذب با افزایش دما کاهش می‌یابد (Olgun and Atar, 2009).

راویچندران و همکاران (۲۰۱۲) حذف رنگزای BV-10 از محلول‌های اسیدی، بازی و خنثی را با استفاده از کربن فعال تهیه شده از باطله‌های نیشکر، برنج و پارچه‌های نساجی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد حذف به عوامل مختلفی نظیر غلظت اولیه رنگزا، دما، pH و مقدار اولیه جاذب بستگی دارد. همچنین کمترین مقدار حذف در pH ۶ بوده است (Ravichandran et al., 2012).  
الور و متین (۲۰۱۲) استفاده از زئولیت طبیعی اصلاح شده با هگزا متیلن دی آمین برای حذف رنگزاهای آنیونی قرمز ۲۳۹ (Reactive Red-239) و آبی ۲۵۰ (Reactive Blue-250) در سیستم‌های ناپیوسته بررسی کرده و نتیجه گرفته اند که جاذب در حذف رنگزا کارآمد بوده و افزایش دما باعث افزایش ظرفیت جذب شده است (Alver and Metin., 2012).

ابوالحسین و رحمان (۲۰۱۳)، با استفاده از برگ‌های چای سیاه<sup>۲</sup> BV-10 را از محلول خنثی حذف کردند، مشاهدات نشان داد در دمای C ۳۰ و pH ۶ جاذب بهترین کارایی را با مقدار تعادلی ۷۱/۴ mg/g

۱ silica

۲ Black tea leaves

دارد (Abul Hossain and Rahman, 2013).

در سال (۲۰۱۵) دوی و همکاران، استفاده از دو جاذب چیتوسان<sup>۱</sup> و چیتین<sup>۲</sup> را در حذف BV-10 بررسی کردند، نتایج نشان داد چیتوسان جاذب بهتری از چیتین بوده و ترکیب این دو جاذب در pH ۳ بهترین عملکرد را در حذف این رنگزا دارد (Devi et al., 2015).

### ۲-۳- حذف آلاینده‌های فلزی

بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) حذف کادمیوم از محلول‌های آبی را با استفاده از نانو ذرات مگنتیت اصلاح شده مطالعه کردند. برای تعیین ویژگی‌های نانو ذرات مگنتیت اصلاح شده تولیدی از SEM و XRD استفاده شده است. نتایج نشان داد که در سیستم ناپیوسته با ۵۰ ml محلول کادمیوم با غلظت ۱۰ mg/l و مقدار ۰/۱g جاذب، حداکثر ظرفیت جذب کادمیوم در زمان ۱۲h در pH=۶ با مقدار ۹/۶۰۴ mg/g بدست آمد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲).

احمدی و همکاران (۲۰۰۸) استفاده از جلبک قهوه‌ای<sup>۳</sup> برای حذف مس در سیستم ناپیوسته را بررسی کردند. نتایج مشاهدات آن‌ها نشان داد عملکرد تعداد زیادی از گروه‌های اسیدی در سطح (خصوصیات گروه‌های سطحی با دو روش تجزیه و تحلیل کیفی با مطالعه طیف FT-IR<sup>۴</sup> و تحلیل کمی با تیتراسیون پتانسیومتری تعیین شد) منجر به افزایش مقدار ظرفیت جذب پروتون‌ها و مس توسط ساز و کار تبادل یونی شده است. همچنین جلبک قهوه‌ای می‌تواند یک جاذب کم هزینه و مناسب برای حذف فلزات سنگین از پساب باشد (Ahmady et al., 2008).

ابوه و همکاران (۲۰۰۹) از ازگیل وحشی<sup>۵</sup> برای حذف یون‌های فلزی استفاده کردند. تأثیر متغیرهایی نظیر pH، زمان و مقدار جاذب بر روی روند حذف یون‌های فلزی  $Zn^{2+}$ ،  $Ni^{2+}$ ،  $Cu^{2+}$ ،  $Pb^{2+}$  بررسی شد. با توجه به نتایج مقاله زمان تعادل ۱۲۰ دقیقه یک متغیر اقتصادی برای تصفیه آب و پساب است. با

۱ Chitosan

۲ Chitin

۳ Brown alga

۴ Fourier Transform Infrared Spectrometer

۵ *Crysophyllum albidum*



افزایش pH از ۹-۵ مقدار حذف به تدریج کاهش می‌یابد. جاذب در زمان تعادل، ۷۶/۲٪، ۶۳٪، ۵۶/۴٪، ۴۲/۳٪ به ترتیب در حذف یون‌های  $\text{Cu}^{2+}$ ،  $\text{Ni}^{2+}$ ،  $\text{Zn}^{2+}$  و  $\text{Pb}^{2+}$  مؤثر بوده و مقدار ۱/۰۰ g از جاذب خشک ۶۶/۵٪ از یون  $\text{Ni}^{2+}$  را در pH برابر ۷ حذف کرده است (Oboh et al., 2009).

در سال (۲۰۱۰) شری واستاوا از کربن برای حذف آرسنیک از نمونه‌های آب و پساب در سیستم ناپیوسته استفاده کرد. وی برای آماده‌سازی جاذب از فرآیند اکسیداسیون شیمیایی و گاز زدایی از باطله<sup>۱</sup> مواد کربناتی مثل لاستیک خودرو (از خاکستر لاستیک خودرو) استفاده کرده است. مشاهدات نشان داد با افزایش مقدار pH جذب آرسنیک کاهش یافته و مقدار pH بهینه برابر ۶ بدست آمد. نتایج نهایی مطالعه نشان می‌دهد که کربن کارایی خوبی در حذف آرسنیک (۹۳/۶٪) در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  و pH برابر ۶ دارد (Sherivastava, 2010).

در سال (۲۰۱۱) عبدالحلیم و الدیاب حذف روی از محلول یون خود این فلز را با استفاده از سدیم آلزینات مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان از مؤثر بودن pH، مقدار جاذب، سرعت هم زدن و غلظت جذب شونده دارد (Abdel-halim and Al-Deyab., 2011).

سانتوش و دهاندپانی برای حذف یون کروم (VI) از کربن فعال مشتق شده از سنبل آبی<sup>۲</sup> استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان داد که در زمان تعادل ۵ ساعت بیشترین مقدار حذف (۹۸٪) برای کروم با غلظت ۱۰/۰۰ mg/l و بهینه pH بین ۰/۵-۱/۰۰ است. همچنین مقدار کربن فعال بهینه برای کروم با غلظت اولیه ۳۰/۰۰ mg/l برابر ۲۰/۰۰ mg/l بوده و شاخص‌های مؤثر بر جذب شامل pH، غلظت اولیه فلز، زمان تماس و مقدار جاذب است (Santhosh and Dhandapani., 2013).

## ۲-۴- استفاده از بوکسیت به عنوان جاذب

اردم و همکاران (۲۰۰۳) حذف یون کروم (VI) با استفاده از بوکسیت فعال شده با حرارت و تأثیر pH بر رفتار جذب را بررسی کردند. نتایج مشاهدات آن‌ها نشان می‌دهد که بوکسیت فعال شده جاذب

<sup>۱</sup> Junk

<sup>۲</sup> Water Hyacinth

ضعیفی برای یون Cr(VI) بوده و بیشترین مقدار حذف ۶۴/۹٪ در pH برابر ۲ با مقدار بوکسیت ۲۰ g/l و زمان تماس ۱۸۰ دقیقه با غلظت اولیه ۱۰ g/l کروم در دمای ۲۰°C بدست آمده است (Erdem et al., 2003).

بهکات و همکاران (۲۰۰۶) حذف As(V) از آب زیرزمینی (آب آشامیدنی) با استفاده از بوکسیت کلسینه را مورد بررسی قرار دادند، با توجه به مطالب ذکر شده در این مقاله بوکسیت در شکل کلسینه شده یک جاذب در دسترس بوده و برای حذف آرسنیک از آن استفاده شده است. نتایج آزمایش ها نشان می دهد که جذب وابستگی کمی به دما دارد و در محیط سیال تأثیر یون های دیگر ناچیز بوده است. ویژگی متمایز آب آشامیدنی بازه pH از ۶-۷/۵ بود. نتیجه مطالعات نشان می دهد بوکسیت در حذف آرسنیک به مقدار ۱۰۰٪-۹۹٪ در بازه ۲-۸ pH کارایی عالی داشته است. دلایل بالا بودن بازده بوکسیت پتانسیل جذب عالی، حداقل دخالت یون ها و تأثیر ناچیز حرارت می باشد (Bhakat et al., 2006).

ایوب و همکاران (۲۰۰۶) عملکرد بوکسیت کلسینه شده را برای حذف آرسنیک از محیط های آبی با جریان ثابت و سیستم ناپیوسته آزمایش کرده اند که مشاهدات آن ها نشان می دهد مقدار ۵g/l و غلظت اولیه ۲/۰۰ mg/l کارایی بالایی در حدود ۹۹/۲٪-۹۳٪ دارد. همچنین با توجه به نتایج ساز و کار حذف آرسنیک به pH و بار سطح وابسته است (Ayoob et al., 2006).

نوروزی و همکاران (۲۰۱۰) رنگزای اسید آبی ۹۲ (Acid blue-92) را با استفاده از باطله فعال شده بوکسیت (گل قرمز) حذف کردند. نتایج مطالعه بیانگر آن است که گروه عاملی OH<sup>-</sup> عامل مؤثر در حذف رنگزا بوده و مقدار حذف به عواملی نظیر زمان تماس، اندازه ذرات و مقدار مصرفی جاذب بستگی دارد (Noroozi et al., 2010).

سال (۲۰۱۳) طی تحقیق گئورگیادیس و همکاران با استفاده از بوکسیت خام، حذف رنگزای سبز مالاکیت (Malachite Green Dye) از محلول آبی مطالعه شد. با توجه به مشاهدات پیشینه حذف در نقطه ایزو الکتریک بوکسیت (pH = pHz<sub>PC</sub> = ۶/۵) اتفاق می افتد (Georgiadis et al., 2013).

استفاناکیس و سیرنتسس (۲۰۱۲) از بوکسیت برای حذف فلئوئور استفاده کردند. آن‌ها طی آزمایش‌هایی از سال ۲۰۰۸-۲۰۱۰ نمونه‌های پساب را در یک جریان عمودی با ساختن فیلتر از بوکسیت و زئولیت تصفیه کردند، نتایج مقایسه فیلترهای ساخته شده زئولیت، بوکسیت، زئولیت-بوکسیت نشان داد که زئولیت راندمان بالاتری در جذب فلئوئور داشته و در حذف مواد ارگانیکی مؤثر است، بوکسیت فیلتر کننده فسفر است و عامل حذف فسفر تا ۶۷٪ می‌باشد. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که فیلتر ترکیب بوکسیت و زئولیت بیشترین راندمان را در از بین بردن آلاینده‌ها دارد (Stefanakis and Tsihrintzis, 2012).

لی و همکاران (۲۰۱۲) اثر الکترولیت را در رفتار الکترولیتی موجود در بوکسیت دیاسپوری برای حذف  $Mg^{2+}$  از آب با سختی بالا آزمایش کردند. نتایج نشان داد که نه تنها غلظت یون‌های الکترولیت بلکه ظرفیت یون‌های کاتولینیت تأثیر می‌گذارد و سختی آب را کاهش داده و تا حدودی یون  $Ca^{2+}$  را حذف کرده است (Li et al., 2012).

اتاسوی و همکاران (۲۰۱۳) حذف فلئوئور از آب زیرزمینی آلوده شده (آب آشامیدنی) را به وسیله بوکسیت خام و اصلاح شده در مقیاس آزمایشگاهی مورد تحقیق قرار دادند. برای آماده‌سازی جاذب از محلول‌های کلرید منیزیم و کلرید سدیم استفاده شده است، غلظت فلئوئور اولیه با انحلال NaF تهیه شد. نتایج بیانگر افزایش میزان حذف با افزایش مقدار جاذب، کارایی بالاتر بوکسیت کلسینه شده با Mg با مقدار ثابت فروندلیچ ۰/۲۴۷ و کمترین مقدار حذف با بوکسیت خام است (Atasoy et al., 2013).

در سال (۲۰۱۴) توران و دوغان کاهش یون Cr(VI) از محلول‌های آبی توسط بوکسیت را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند کاهش کروم در محلول وابسته به برخی عوامل مثل زمان، مقدار اسید سولفوریک، مقدار بوکسیت، غلظت کروم اولیه، غلظت فرمیک اسید و درجه حرارت است. نتایج بدست آمده نشان داده مقدار اسید سولفوریک و مقدار بوکسیت و غلظت کروم اولیه محلول پارامترهای مؤثر در فرآیند جذب است. همچنین  $160/00g$  از مقدار بوکسیت برای کاهش ۱۰۰٪ کروم از محلول اسیدی در شرایط غلظت (۱۱۰/۰۰ mg/l) کافی است (Turan and Doğan., 2014).



# فصل سوم

روش انجام تحقیق

### ۳-۱- مقدمه

مدل‌ها نقش مهمی در انتقال فناوری از یک مقیاس آزمایشگاهی به مقیاس صنعتی دارند. مدل‌های مناسب به درک ساز و کار فرآیند، تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی، پیش‌بینی پاسخ به شرایط عملیاتی حساس و بهینه‌سازی فرآیندها کمک می‌کند. به کارگیری مدل ریاضی می‌تواند به عنوان یک تأثیر کمی برای پیش‌بینی ظرفیت اتصال، نقاط قوت و طراحی فرآیند جذب مفید باشد (Volesky and Holan, 1995; Limousion et al., 2007).

برای انجام عملیات آزمایشگاهی به منظور حذف آلاینده‌ها از مواد و دستگاه‌های زیر استفاده گردید.

- ✓ باطله بوکسیت معدن تاش به عنوان جاذب
- ✓ نمک فلزات سنگین کبالت، نیکل، مس و منگنز
- ✓ رنگزای بازیک قرمز ۴۶ و رنگزای بازیک بنفش ۱۰
- ✓ اسید کلریدریک
- ✓ سود سوز آور
- ✓ دستگاه pH متر مدل Az oH/mV/Temp.meter. 86502
- ✓ دستگاه همزن مدل SHPM-10
- ✓ دستگاه سانتریفیوژ مدل PIT320
- ✓ آسیای ماهواره‌ای مدل NAVA-MPM-2\*250H
- ✓ دستگاه میکروسکوپ الکترونی پوشی (SEM) مدل LEO-1455VP
- ✓ دستگاه پراش اشعه X (XRD) مدل D& Advance Bruker
- ✓ دستگاه تجزیه IR مدل Spectrum One
- ✓ ترازوی چهار رقمی جهت توزین نمونه‌ها مدل ER-180A
- ✓ دستگاه جذب اتمی مدل Thermo Elemental (S)

چگونگی آماده‌سازی جاذب، مطالعات کانی شناسی، ژئوشیمیایی جاذب و بررسی‌های آزمایشگاهی فرآیند جذب در این فصل ارائه می‌گردد. آزمایش‌های مربوط به فرآیند جذب در آزمایشگاه کانه آرایی و فلوتاسیون دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود انجام گردید.

### ۳-۲- جاذب مورد استفاده (باطله بوکسیت تاش)

نمونه مورد استفاده از باطله‌های معدن بوکسیت تاش در ۴۰ کیلومتری شمال شاهرود برداشت شده است. بر اساس مطالعات انجام گردیده (منفرد سروخورد و همکاران، ۱۳۹۲) بافت‌های تشکیل دهنده بوکسیت شامل بافت‌های صفحه‌ای تا میکروگرانولار، کلورمی-جریانی، اوئیدی و پیزوئیدی است. کانی‌های تشکیل دهنده این نهشته در ۶ دسته شامل هیدروکسیدهای آلومینیوم دار (دیاسپور)، اکسیدهای تیتان دار (آناناز و روتیل)، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن دار (هماتیت و گوتیت)، کانی‌های سیلیکاتی (کائولینیت، کلریت و کوارتز)، کانی‌های کربناتی (سیدریت، کلسیت) و کانی‌های سولفیدی (پیریت) قرار می‌گیرند. این کانی‌ها در طی سه مرحله هوازگی، دیاژنتیک و اپی ژنتیک تشکیل شده‌اند.

### ۳-۲-۱- آماده سازی جاذب

برای آماده سازی جاذب، ابتدا نمونه با سنگ شکن فکی<sup>۱</sup> خرد شد، پس از آن با سرنده<sup>۲</sup> کردن، نمونه‌ها (اندازه ذرات > ۷۵ میکرومتر) برای ورود به آسیای ماهواره‌ای انتخاب شدند. سپس با آسیای ماهواره‌ای ذرات به ابعاد نانومتر رسیدند. برای حذف رطوبت<sup>۳</sup> نمونه پودر شده به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰۰°C در کوره خشک شد. در شکل ۳-۲ نمونه قبل از ورود به آسیای ماهواره‌ای و در شکل ۳-۳ پس از خشک شدن مشاهده می‌شود.

۱ Jaw crusher

۳ Humidity

۲ Screen



شکل ۳-۱: نمونه با ابعاد  $>75$  میکرومتر، قبل از ورود به آسیای ماهواره ای



شکل ۳-۲: نمونه پس از خارج شدن از کوره در دمای  $600^{\circ}\text{C}$

### ۳-۳- شناسایی جاذب

به منظور تعیین نوع کانی‌های بوکسیت و عناصر تشکیل دهنده آن آنالیز XRF و XRD انجام گردید. همچنین برای تأیید نانو بودن ذرات تصویر SEM از نانو ذرات بوکسیت تهیه شد.

### ۳-۳-۱- تجزیه XRF

طیف سنج فلورسانس اشعه ایکس (XRF) معمولاً برای آنالیز مواد شیمیایی نسبتاً غیر مخرب از سنگ‌ها، کانی‌ها، رسوبات و مایعات استفاده می‌شود. اصول طیف سنجی این دستگاه بر اساس طول موج پراکنده است. XRF روش مناسبی برای توصیف حضور فلزات است. این تکنیک ویژگی‌های سودمندی مانند قابلیت چند عنصری، آشکارسازی خوب، دقت بالا، زمان کوتاه آنالیز و غیر مخرب بودن دارد، که باعث می‌شود این روش برای انواع زیادی از مواد مناسب باشد (Wanderson et al., 2010).

نمونه مورد نظر پس از آماده سازی در آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی دانشگاه شاهرود مورد تجزیه XRF



قرار گرفت. در جدول ۳-۱ نتایج حاصل از تجزیه XRF نمونه جاذب نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین حجم تشکیل دهنده نمونه جاذب اکسید آلومینیوم و پس از آن اکسید آهن می‌باشد.

جدول ۳-۱: نتایج آنالیز XRF نمونه جاذب

Analyte	Result (%)
ZnO	۰/۳۸۰۸
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴۰/۷۹۶۸
MnO	۰/۱۷۱۴
TiO <sub>2</sub>	۰/۱۲۱۵
CaO	۱/۲۵۸۰
K <sub>2</sub> O	۱/۴۶۷۲
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۰۸۲۴
SiO <sub>2</sub>	۳/۹۹۱۷
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴۸/۶۲۲۴
MgO	۰/۰۰۰۰
Na <sub>2</sub> O	۳/۱۰۷۸
جمع	۱۰۰

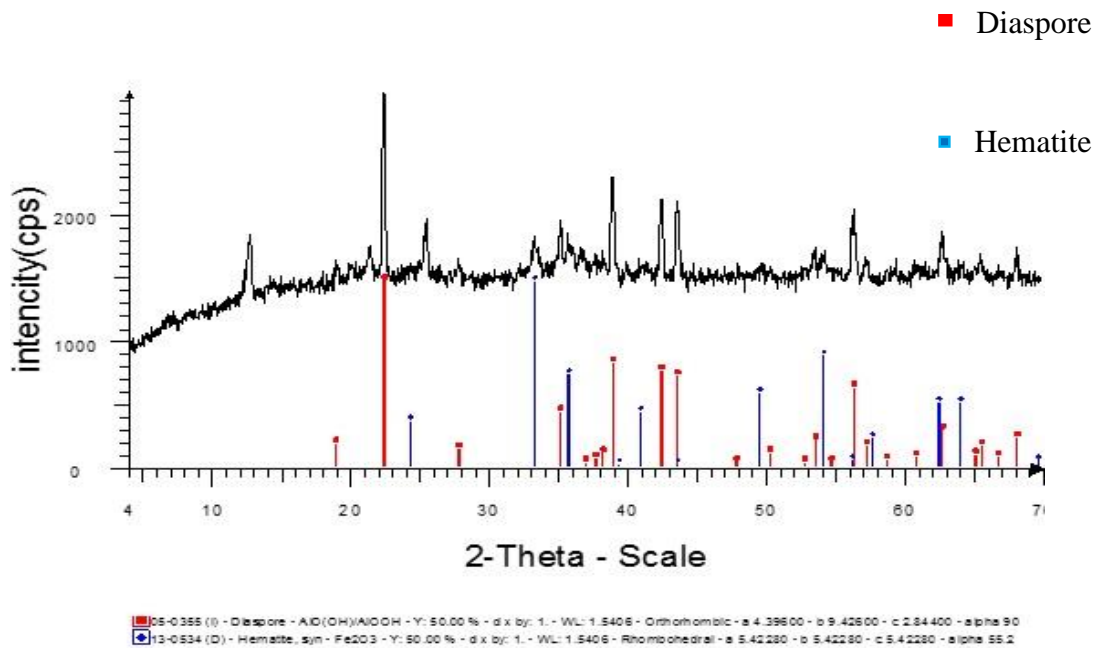
### ۳-۲-۳- آنالیز XRD

پراش اشعه ایکس اطلاعات جامعی درباره ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالین مواد طبیعی و صنعتی ارائه می‌دهد. هر کریستالی طرح<sup>۱</sup> اشعه ایکس منحصر به فرد خود را داراست که ممکن است به عنوان اثر انگشت<sup>۲</sup> برای تعیین هویت<sup>۳</sup> آن استفاده شود. گسترده ترین استفاده XRD در شناسایی ترکیبات کریستالین بر اساس طرح پراش آن‌هاست. از دیگر کاربردهای آن می‌توان به کاربرد گسترده در زمین شناسی، شیمی فیزیک، دانش مواد و صنعت دارو اشاره کرد. نمونه مورد نظر برای انجام آنالیز XRD به دانشگاه دامغان فرستاده شد. در شکل ۳-۳ نتیجه آنالیز XRD نانو ذرات بوکسیت مشاهده می‌شود.

۱ Pattern

۳ Identification

۲ Finger print



شکل ۳-۳: نتیجه آنالیز XRD نانو ذرات بوکسیت

شکل ۳-۳ نشان می‌دهد که فاز اصلی تشکیل دهنده نمونه مورد مطالعه دیاسپور  $\text{AlO(OH)}$  و هماتیت  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  است. با استفاده از رابطه شرر<sup>۱</sup> (رابطه ۳-۱) می‌توان از نتایج آنالیز XRD اندازه ذرات را بدست آورد (رجایی و همکاران، ۱۳۹۳).

$$D = 0.9 \lambda \cos \theta \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

با توجه به رابطه شرر میانگین اندازه بلورکها  $1/56$  نانومتر است.

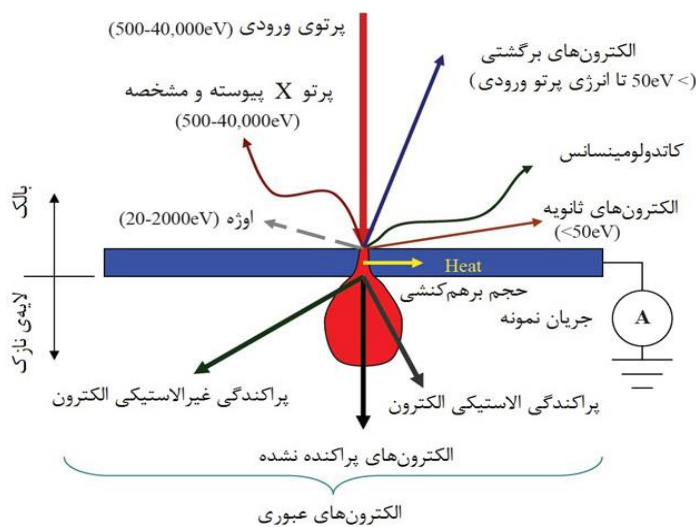
### ۳-۳-۳- تصویر SEM

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) یکی از انواع بسیار معروف میکروسکوپ‌های الکترونی است که به خصوص در فناوری نانو توسعه پیدا کرده است. بمباران نمونه با پرتوی الکترونی سبب می‌شود تا از نمونه الکترون‌ها و فوتون‌هایی خارج و به سمت آشکارسازها رها شوند که در آن قسمت تبدیل به سیگنال می‌شوند. حرکت پرتو بر روی نمونه مجموعه‌ای از سیگنال‌ها را فراهم می‌کند که

<sup>۱</sup>Scherrer

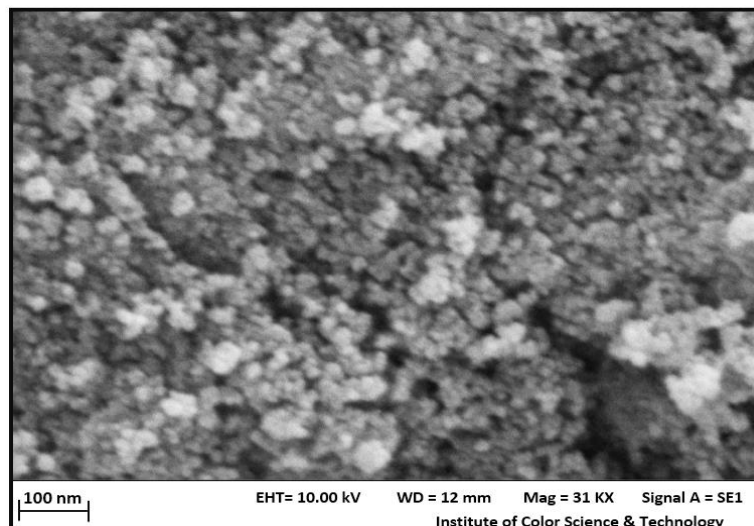
بر این اساس میکروسکوپ می‌تواند تصویر متقابل از سطح نمونه را به صورت لحظه به لحظه بر صفحه نمایش دهد. مزیت‌های اصلی دستگاه SEM تهیه تصاویر میکروسکوپی به طور مستقیم از نمونه‌های جامد، تجزیه و تحلیل ترکیب شیمیایی (با استفاده از اشعه X) و تشخیص وضعیت و اندازه بلورها است. اصول عملکرد SEM بر سه اصل استوار است که به صورت زنجیر وار با هم در ارتباط هستند (کرباسی، ۱۳۸۸):

- ۱- برهم کنش پرتوی الکترونی با نمونه
  - ۲- امکان تولید و کنترل مشخصه‌های پرتوی الکترونی روبشگر در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی
  - ۳- آشکارسازی پرتوهای ساطع شده از سوی نمونه در اثر برهم کنش آن با پرتوی الکترونی
- شکل ۳-۴ شماتیکی از پرتوهایی که از نمونه ساطع می‌شود را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴: برهم کنش پرتوی الکترونی و نمونه (academic urpm.edu)

تصویر SEM نمونه جاذب که در پژوهشکده علوم و فناوری رنگ تهران تهیه شد، در شکل ۳-۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۵: تصویر SEM نمونه جاذب (نانو بوکسیت)

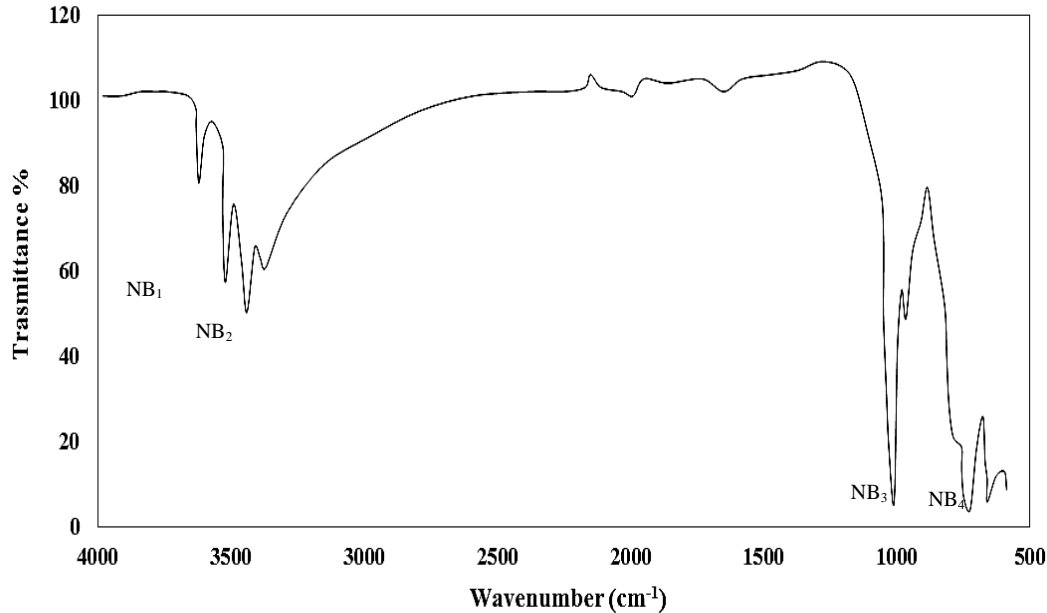
همانطور که در شکل ۳-۵ مشاهده می‌شود ذرات نانو بوکسیت بسیار ریز دانه و دارای بافت صفحه‌ای تا گرانولار (دانه‌ای) هستند.

### ۳-۳-۴- طیف FT-IR

طیف سنجی مادون قرمز بر اساس جذب تابش و بررسی جهش‌های ارتعاشی مولکول‌ها و یون‌های چند اتمی صورت می‌گیرد. این روش به عنوان روش پر قدرت و توسعه یافته برای تعیین ساختار و اندازه‌گیری گونه‌های شیمیایی، شناسایی کیفی و کمی ترکیبات آلی حاوی نانوذرات، تعیین نوع گروه عاملی و پیوندهای موجود در مولکول‌های آن و آنالیز برخی داروهای حاوی نانو ذرات بکار می‌رود. در طیف نورسنجی معمولی IR، طیف الکترومغناطیسی در ناحیه مرئی تا مادون قرمز گسترده و سپس بخش کوچکی از آن برحسب بسامد یا طول موج به آشکارساز رسیده و ثبت می‌شود. در این حالت طیف به دست آمده در محدوده طول موج ثبت خواهد شد. ویژگی FT-IR این است که تمام طول موج‌های طیفی ناحیه مورد نظر در یک زمان به نمونه تابیده می‌شود. بنابراین سرعت، قدرت تفکیک و نسبت سیگنال به زاید<sup>۱</sup> در روش تبدیل فوریه برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش معمولی IR دارد (Rolden

<sup>۱</sup> Noise

در شکل ۳-۶ تصویر آنالیز FT-IR نمونه جاذب که در پژوهشگاه پلیمر تهیه شد، مشاهده می شود. (et al., 2014).



شکل ۳-۶: طیف FT-IR نانو ذرات بوکسیت

همانطور که در شکل ۳-۵ مشاهده می شود، در تجزیه FT-IR نانو ذرات بوکسیت ۴ باند جذبی مشترک اصلی در فواصل  $4000-500 \text{ cm}^{-1}$  وجود دارد که توضیحات آن در جدول ۳-۲ آمده است.

جدول ۳-۲: تجزیه FT-IR نانو ذرات بوکسیت

شماره	طیف (FT-IR $\text{cm}^{-1}$ )	گروه عاملی
NB <sub>1</sub>	۳۴۳۳/۱۳	H-O-H
NB <sub>2</sub>	۳۴۵۵/۹۹	OH <sup>-</sup>
NB <sub>3</sub>	۱۰۰۰	آب مولکولی (کشیدگی)
NB <sub>4</sub>	۷۰۰	O-Fe (کشیدگی)

با توجه به جدول ۳-۲ گروه عامل اصلی جذب آلودگی از پساب بر روی سطح جاذب گروه عاملی OH<sup>-</sup> و آب درون منافذ است. باند جذبی با شماره NB<sub>1</sub> نشان می دهد که آب درون منافذ باعث کشیدگی شده است. طول موج های پایین ( $\leq 700 \text{ cm}^{-1}$ ) پیوندهای Fe-O را نشان می دهد. همچنین باندهای

۱۹۹۰، ۲۱۲۰، ۹۷۸، ۱۰۴۰، ۳۶۹۰ نشان دهنده  $\text{OH}^-$  موجود در دیاسپور و کائولینیت است. باندهای ۱۹۳۰، ۱۸۳۰، ۶۲۷ و ۷۴۸ نشان دهنده پیوند Al-O می باشد (Xu et al., 2014).

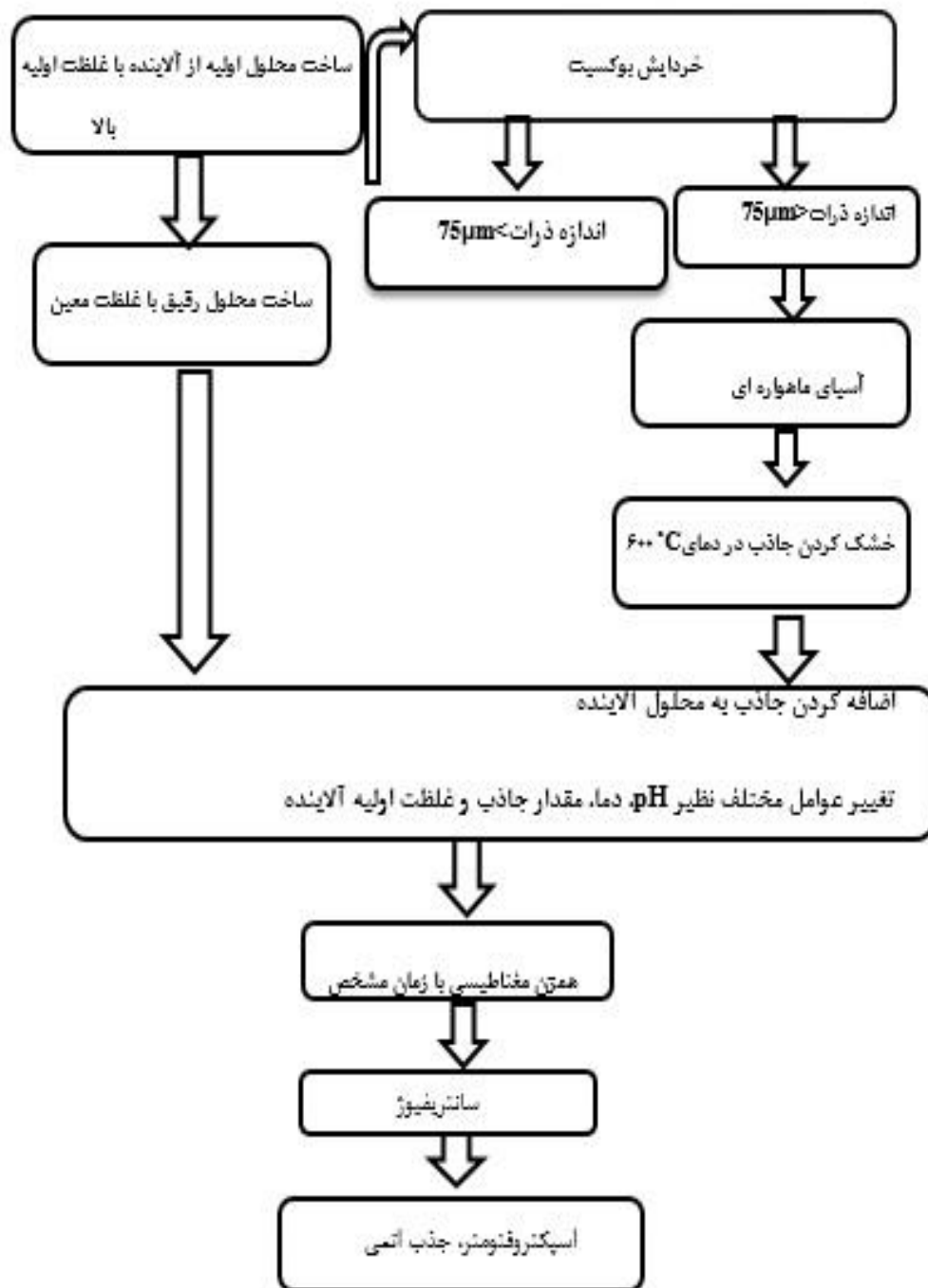
### ۳-۳-۵- بررسی آزمایشگاهی

در این بخش ابتدا آزمایش جذب سطحی آلاینده‌های آلی (رنگزاهای BR-46 و BV-10)، آزمایش جذب سطحی فلزات سنگین نیکل و کبالت موجود در محلول‌های مصنوعی و در نهایت آزمایش جذب سطحی یون‌های مس و منگنز دو ظرفیتی در محلول دو تایی بر روی نانو ذرات بوکسیت در سیستم ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفت. غلظت نهایی با استفاده از دستگاه جذب اتمی در آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی دانشگاه شاهرود اندازه گیری شد. اساس جذب اتمی بر روی تابش و جذب اتم‌های خنثی است. در اولین قدم آزمایش، محلول حاوی عنصر مورد نظر، بوسیله یک شعله که به عنوان مثال با هوا و استلین می سوزد و بخار می شود. در اثر بخار شدن، قسمت اعظم عناصر موجود در محلول به حالت خنثی در می آید و پرتوی تابش شده از لامپ‌های کاندی (لامپ مخصوص برای هر عنصر) توسط اتم‌های خنثی شده، جذب می شود. این حالت شدت اشعه تابش اولیه کمتر می شود. تفاوت شدت دو پرتوی تابشی و خروجی معیار غلظت عناصر موجود در محلول است. عیب اصلی این تکنیک، وجود نیاز به یک لامپ منبع جداگانه برای هر عنصر مورد تجزیه است. برای رفع این نقیصه کوشش‌هایی به عمل آمده است تا یک منبع پیوسته به همراه یک تکفام ساز (تکفام ساز، جلوی منبع نور قرار می گیرد و طول موج مورد نظر را عبور می‌دهد). با قدرت جداکنندگی بسیار بالا به کار گرفته شود. اما این تکنیک به اندازه به کارگیری یک لامپ مخصوص برای هر عنصر رضایت بخش نیست.

### ۳-۳-۶- آزمایش حذف رنگزا

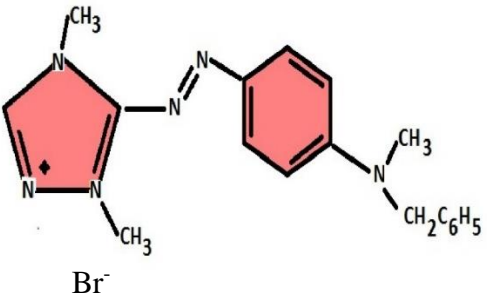
برای حذف دو رنگزای بازیگ بنفش ۱۰ و بازیگ قرمز ۴۶ با استفاده از نانو جاذب بوکسیت ابتدا محلول با غلظت بالا از این رنگزاهای ساخته شد و سپس با رقیق‌سازی محلول آزمایش‌ها با تغییر عوامل pH، دما، غلظت، مقدار جاذب در ۶ زمان ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ دقیقه انجام گردید. محلول ساخته شده برای زمان‌های معین بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفته و سپس به مدت ۵ دقیقه

با سرعت ۴۵۰۰ rpm سانتریفیوژ و غلظت باقیمانده رنگزا در محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. در شکل ۳-۶ شمای کلی مراحل انجام آزمایش نشان داده شد. همچنین در جدول ۳-۳ و ۳-۴ به ترتیب خصوصیات شیمیایی BR-46 و BV-10 آورده شده است.

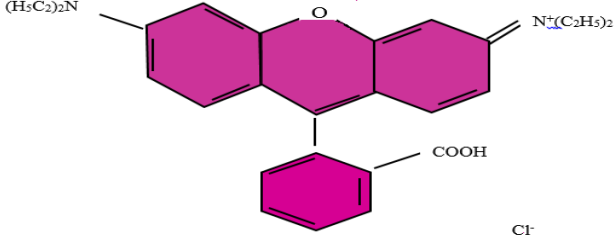


شکل ۳-۷: شمای کلی از مراحل انجام آزمایش

جدول ۳-۳: ویژگی رنگزای BR-46

N-Benzyl-4-[(1,4dimethyl-1,5dihydro-1,2,4-triazol-1-ium-5yl diazenyl]-N methyl anilani line, bromide	نام شیمیایی
	ساختار شیمیایی
رنگزا آزوی کاتیونی	نوع
۳۲/۴۰۳ mg/Kg	وزن مولکولی
C <sub>18</sub> H <sub>23</sub> BrN <sub>6</sub>	فرمول شیمیایی
۱۲۰۰ mg/Kg	LD <sub>50</sub> / oral / rat

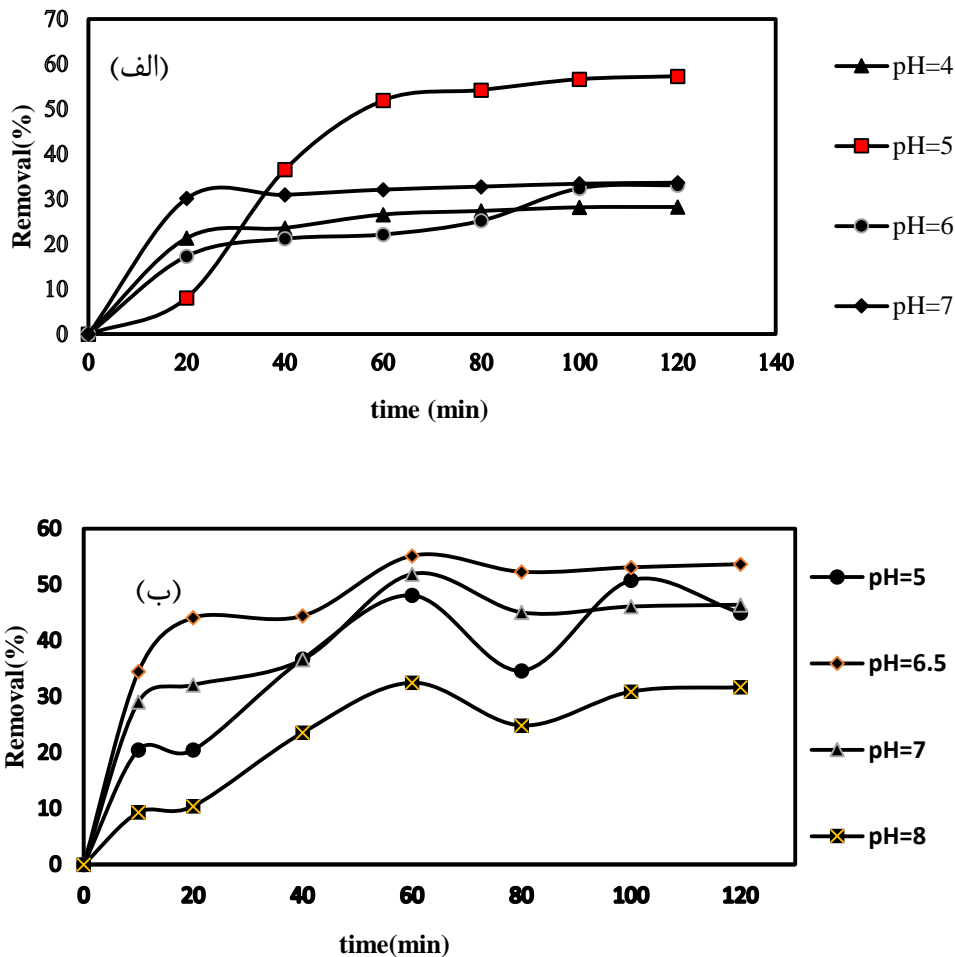
جدول ۳-۴: ویژگی رنگزا BV-10

<b>Rhodamine B</b>	نام علمی
	ساختار شیمیایی
رنگزا آزوی کاتیونی	نوع
۴۷۹/۰۱	فرمول مولکولی



### ۳-۳-۶-۱- بررسی تأثیر pH بر فرآیند جذب سطحی

میزان تأثیر pH بر روند جذب سطحی BR-46 و BV-10 در شرایط غلظت ثابت ۲۰ ppm و دمای ۲۱°C با مقدار جاذب ۰/۲g و حجم ۲۵ml، به ترتیب در pHهای ۴، ۵، ۶، ۷ و ۵، ۶/۵، ۷ و ۸ برای BR-46 و BV-10 در شکل ۳-۸ نشان داده شده است. بیشترین مقدار جذب در pH نرمال محلولها (۵) برای BR-46 و (۶/۵) برای BV-10 اتفاق می‌افتد.



شکل ۳-۸: بررسی تأثیر pH بر فرآیند جذب سطحی در شرایط اولیه مقدار جاذب ۰/۲g، غلظت ۲۰ ppm، دما ۲۱°C (الف)

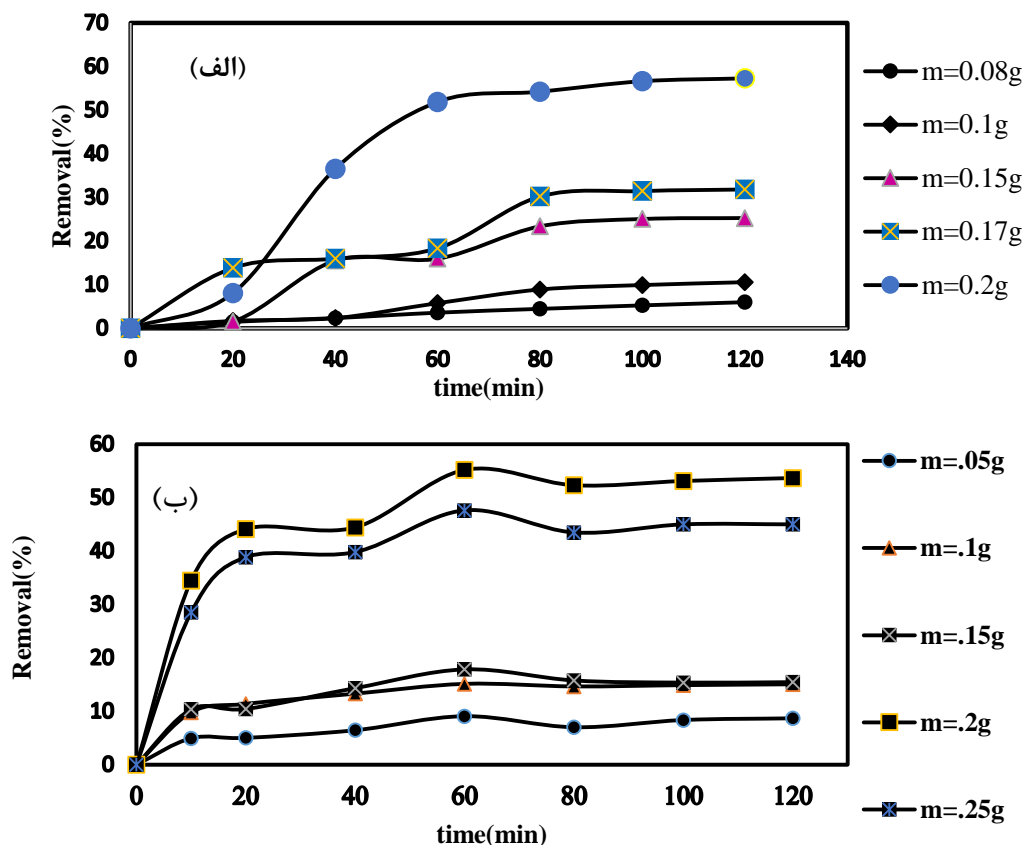
BV-10 (ب) BR-46

با توجه به شکل ۳-۸ و نتایج حاصل از این بررسی در pHهای اسیدی بار سطح جاذب مثبت است.

در pH های ۵ و ۶ با نزدیک شدن به نقطه صفر بار الکتریکی، بار مثبت ذرات کاهش یافته به علت ایجاد بار منفی در سطح جاذب توسط گروه‌های عاملی، بازده و ظرفیت جذب افزایش می‌یابد (عابدینی و کلاگری، ۱۳۹۲).

### ۳-۳-۶-۲- بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی رنگزا

تأثیر مقدار مصرفی جاذب بر حذف BR-46 و BV-10 در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. با افزایش مقدار نانو جاذب ( تا حد آستانه) مقدار جذب سطحی افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش محل‌های جذبی موجود در سطح نانو جاذب در مقابل مقادیر ثابت مولکول‌های رنگزا می‌باشد و در واقع جذب توسط جاذب افزایش می‌یابد و در نهایت ثابت می‌شود (Mall et al., 2005).

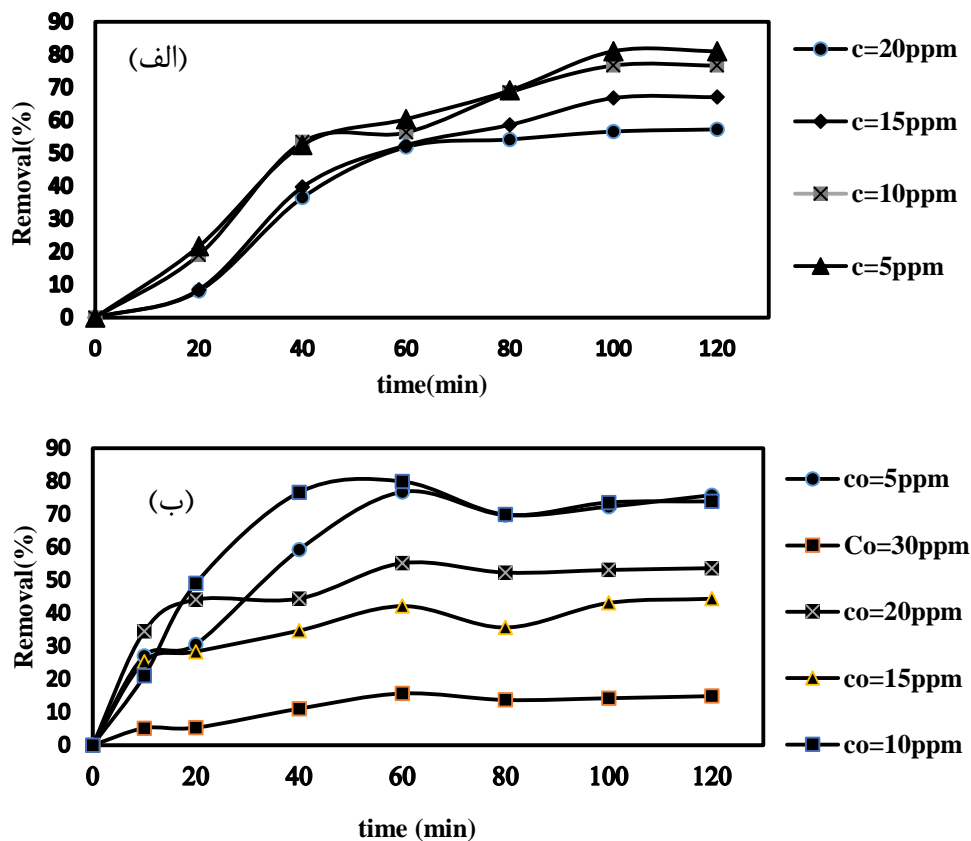


شکل ۳-۹: بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی در شرایط دما ۲۰°C، حجم ۲۵ml (الف) BR-46 pH=5 (ب)

pH=6/5 BV-10

### ۳-۳-۶-۳- بررسی تأثیر مقدار غلظت اولیه رنگزا بر فرآیند جذب سطحی رنگزا

تأثیر غلظت اولیه رنگزا بر فرآیند جذب سطحی در شرایط دمایی  $20^{\circ}\text{C}$  و مقدار  $\text{pH}$  برای BR-46 و  $6/5$  برای BV-10 در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است. با افزایش غلظت رنگزا میزان جذب کاهش می‌یابد.

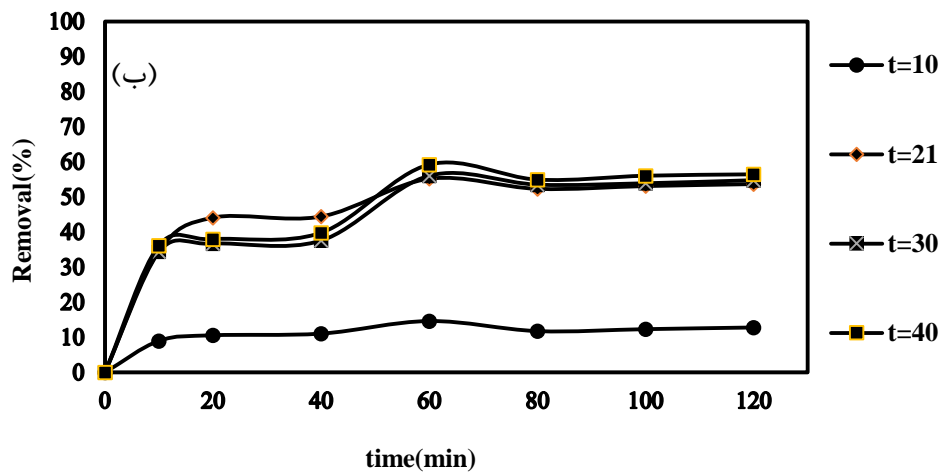
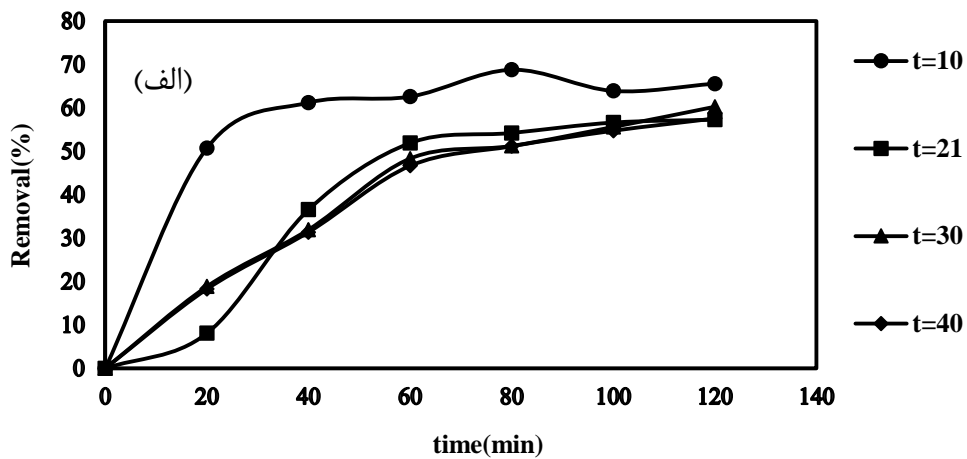


شکل ۳-۱۰: بررسی تأثیر مقدار غلظت اولیه رنگزا بر فرآیند جذب سطحی در شرایط دما  $20^{\circ}\text{C}$ ، مقدار جاذب  $0.2\text{g}$ ، حجم  $1\text{ml}$

۲۵ الف)  $\text{pH}=5$  BR-46، ب)  $\text{pH}=6/5$  BV-10

### ۳-۳-۶-۴- بررسی تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی رنگزا

میزان تأثیر دما بر حذف رنگزا در دماهای  $10^{\circ}\text{C}$ ،  $20^{\circ}\text{C}$ ،  $30^{\circ}\text{C}$  و  $40^{\circ}\text{C}$ ، غلظت ثابت  $20\text{ppm}$  از رنگزا و مقدار جاذب  $0.2\text{g}$  در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل بیانگر کاهش میزان جذب با افزایش دما در فرآیند حذف BR-46 و افزایش مقدار حذف در فرآیند حذف BV-10 است.



شکل ۳-۱۱: بررسی تأثیر میزان دما بر فرآیند جذب سطحی رنگزا در شرایط غلظت ثابت ۲۰ppm از رنگزا، مقدار جاذب ۰/۲g.

حجم ۲۵ml، الف) BR-46 pH=۵، ب) BV-10 pH=۶/۵

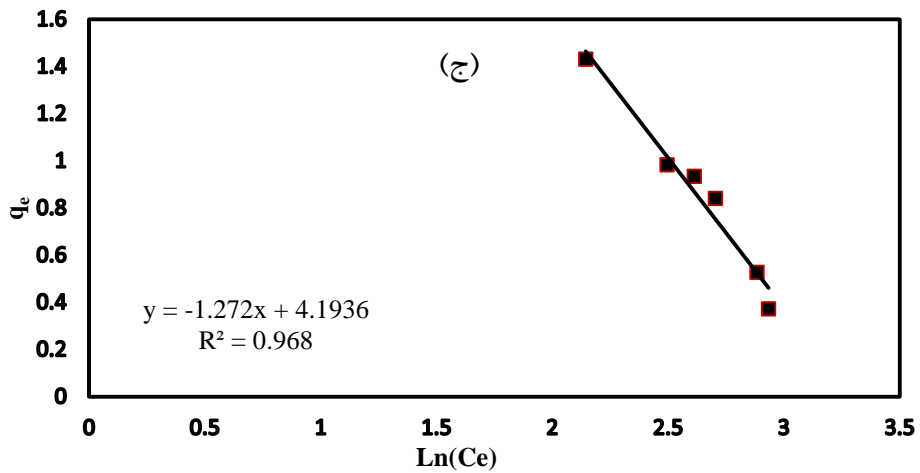
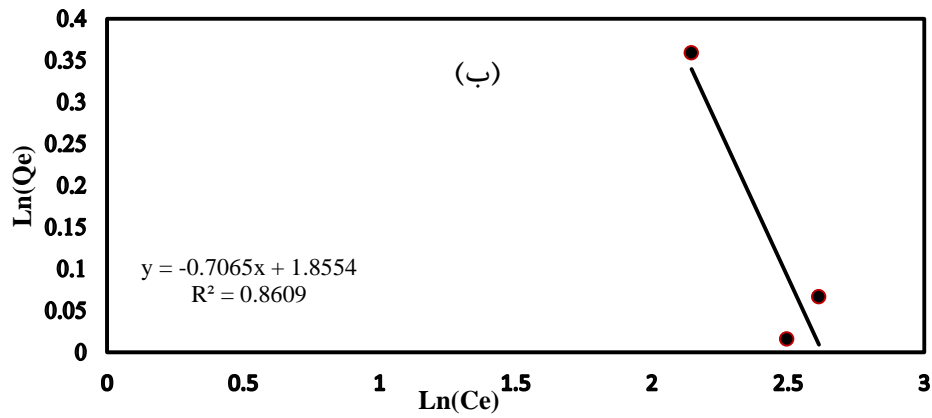
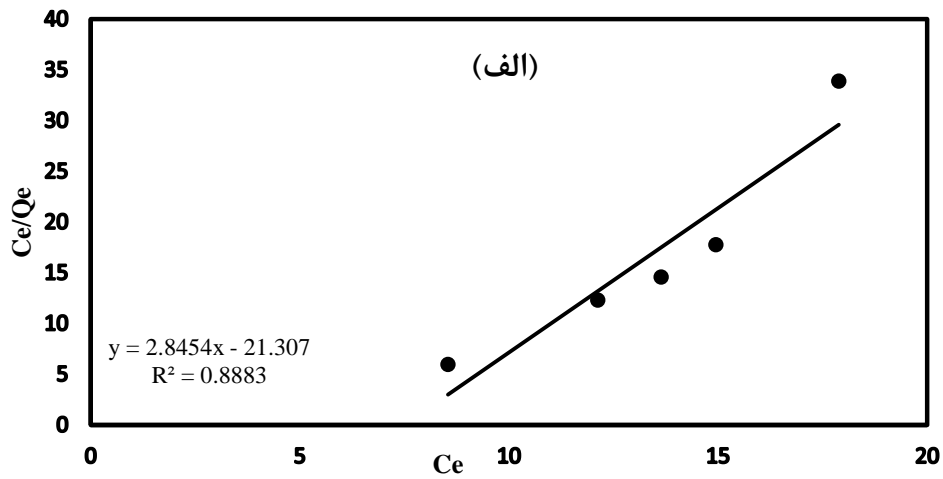
۳-۳-۶-۵- ایزوترم جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 بر روی جاذب نانو ذرات

بوکسیت

به منظور بررسی ایزوترم جذب، سه ایزوترم لانگمویر، فروندلیچ و تمکین بررسی شدند. در شکل ۳-۱۲

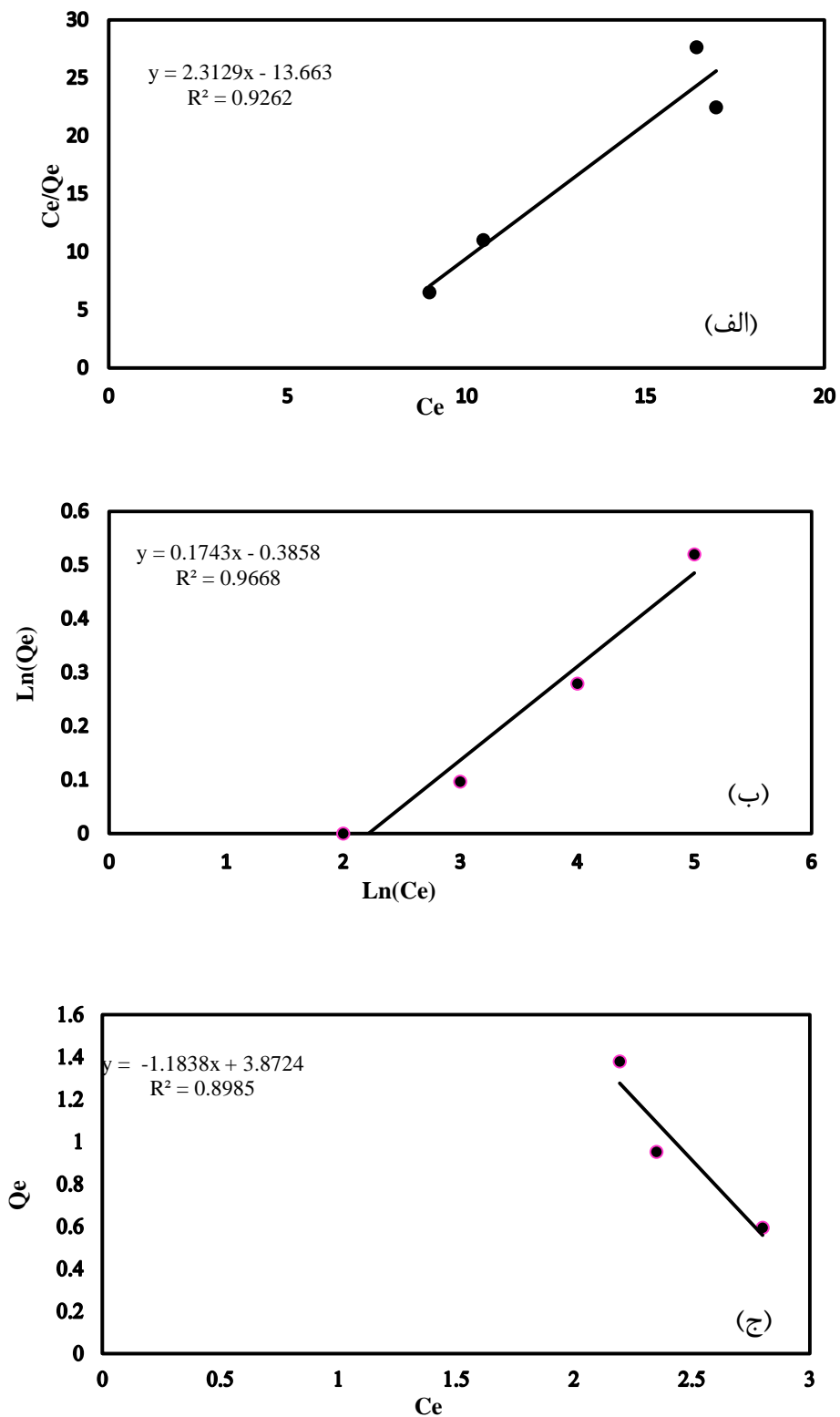
و شکل ۳-۱۳ ایزوترم لانگمویر، فروندلیچ، تمکین به ترتیب برای رنگزاهای BR-46 و BV-10 مشاهده

می‌شود.



شکل ۳-۱۲: ایزوترم‌های لانگمویر (الف)، فروندلیچ (ب)، و تمکین (ج) برای جذب سطحی رنگزای BR-46 بر روی جاذب نانو

ذرات بوکسیت



شکل ۳-۱۳: ایزوترم‌های لانگمویر (الف)، فروندلیچ (ب)، تمکین (ج) برای جذب سطحی رنگزای BV-10 بر روی جاذب نانو

ذرات بوکسیت

ضرایب ایزوترم‌های جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین در جدول ۳-۳ آورده شده است.

جدول ۳-۵: ضرایب ایزوترم‌های جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برای جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 توسط

جاذب نانو ذرات بوکسیت

رنگزاهای		ثابت ایزوترم	مدل ایزوترم
BV-10	BR-46		
۰/۹۲۶۲	۰/۸۸۸۳	$R^2$	لانگمویر
۰/۱۳۴۴۲۱	۵/۲۷۸۵	$K_L$	
۰/۵۴۴۴	۰/۵۵۵۹	$Q_0$	
۰/۹۶۶۸	۰/۸۶۰۹	$R^2$	فروندلیچ
۰/۱۷۴۳	۰/۷۰۶۵	$n$	
۱/۴۷۰۷۹	۶/۳۹۴۳	$C$	
۰/۸۹۸۵	۰/۹۶۸	$R^2$	تمکین
۰/۱۸۳۸	۱/۲۷۲	$B_1$	
۴۸/۰۵۷۵۹	۲۷/۰۲۷۵	$K_t$	

با توجه به جدول ۳-۵ جذب سطحی رنگزای BR-46 از ایزوترم تمکین با ضریب همبستگی ۹۶٪ و جذب سطحی رنگزای BV-10 از ایزوترم فروندلیچ با ضریب همبستگی ۹۶٪ پیروی می‌کند. پیروی از ایزوترم تمکین مؤید جذب شیمیایی بر روی نانو ذرات آهن است (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲). نانو ذرات در اثر برهم‌کنش‌های مستقیم بین ذره‌ای مانند نیروی واندروالس و برهم‌کنش مغناطیسی<sup>۱</sup> تمایل به هم‌آوری<sup>۲</sup> و تشکیل ذرات با اندازه بزرگتری را می‌دهند که باعث کاهش سطح ویژه و واکنش پذیری می‌شود. پیروی از ایزوترم فروندلیچ نشان می‌دهد که سطح نانو جاذب یک نواخت نبوده و مکان‌های جذب دارای انرژی متفاوتی هستند.

<sup>۱</sup>Magnetic Interaction

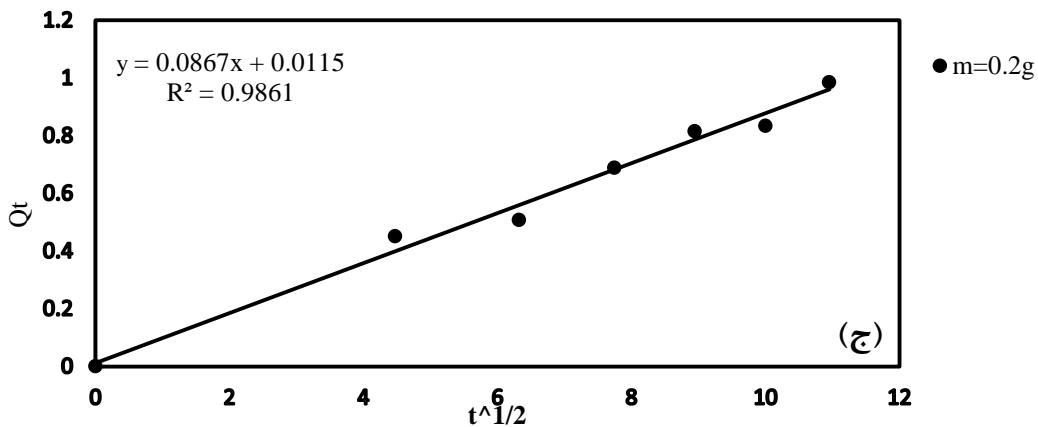
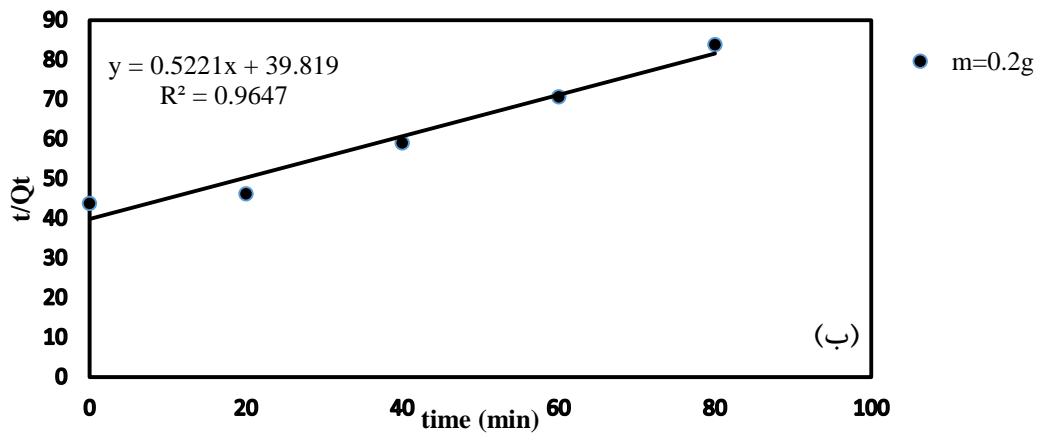
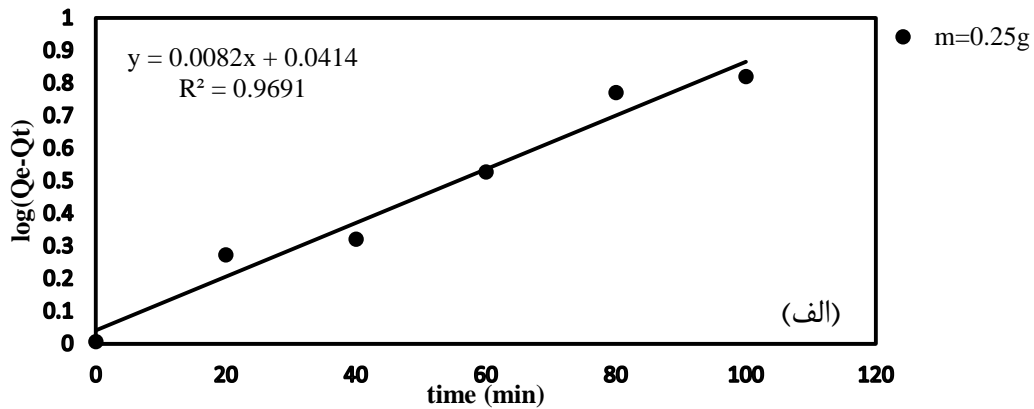
<sup>۲</sup> Agglomeration

۳-۳-۶- سینتیک جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 بر روی جاذب نانو بوکسیت

نتایج آزمایش با سینتیک‌های شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و سینتیک نفوذ درون ذره‌ای بررسی

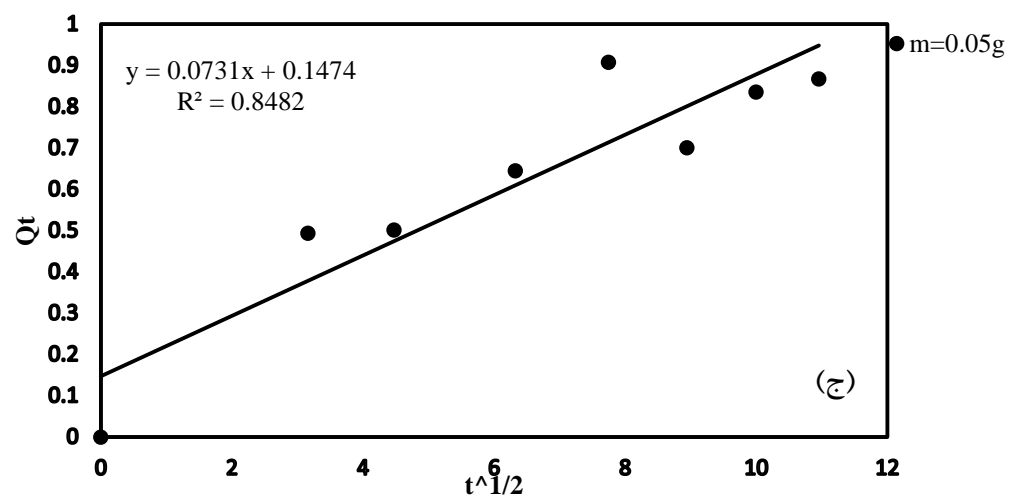
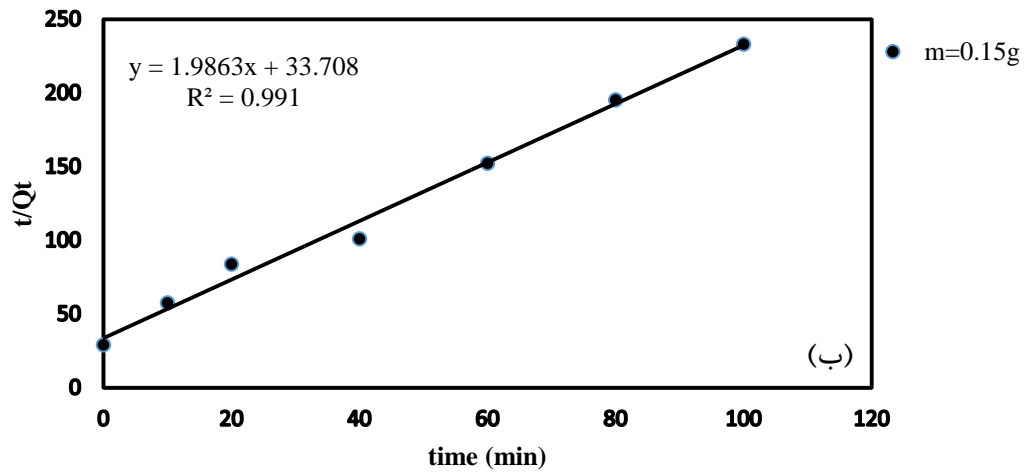
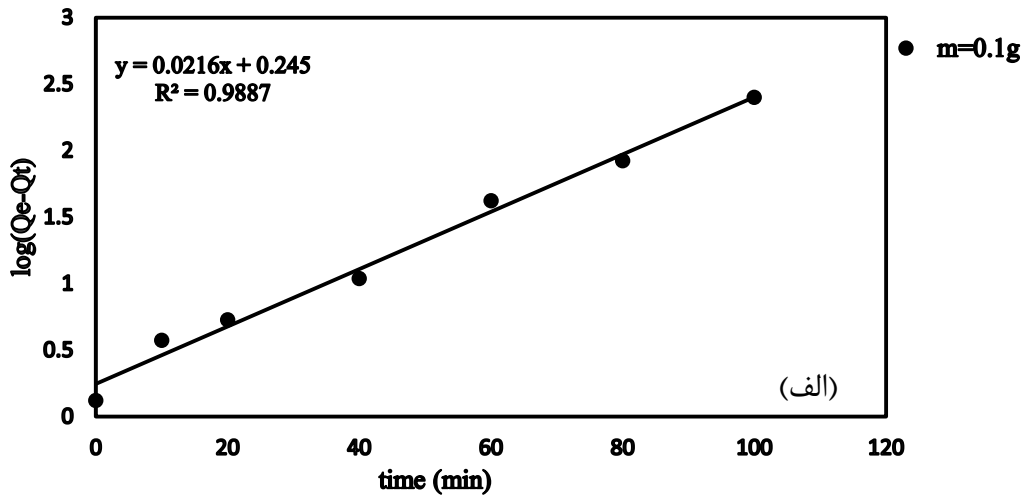
شدند. شکل ۳-۱۳ و شکل ۳-۱۴ و به ترتیب نتایج حاصل از این بررسی را برای رنگزاهای BR-46

و BV-10 نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۴: سینتیک شبه مرتبه اول (الف)، شبه مرتبه دوم (ب)، نفوذ درون ذره ای (ج) (BR-46)





شکل ۳-۱۵: سینتیک شبه مرتبه اول (الف)، شبه مرتبه دوم (ب)، نفوذ درون ذره‌ای (ج) (BV-10)

نتایج سینتیک‌های جذب سطحی در جدول ۳-۶ آورده شده است.

جدول ۳-۶: نتایج بررسی سینتیک فرایند جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت

رنگزا		ثابت سینتیک	مدل سینتیک
BV-10	BR-46		
۰/۰۱۲۸۲	۰/۰۱۷۸	$K_1 (\text{min}^{-1})$	شبه مرتبه اول
۱/۳۷۹۳	۰/۹۸۴۳	$q_e (\text{mg g}^{-1})$	
۰/۹۸۸۷	۰/۹۶۹۱	$R^2$	
۲/۷۲۰۳	۰/۳۹۰۲	$K_2 (\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1})$	شبه مرتبه دوم
۰/۷۵۶۳	۱/۴۳۱۹	$q_e (\text{mg g}^{-1})$	
۰/۹۹۱	۰/۹۶۴۷	$R^2$	
۰/۰۰۳۹	۰/۰۲۱۸	$K_i$	نفوذ درون ذره‌ای
۰/۸۴۸۲	۰/۹۸۶۱	$R^2$	
۲/۴۷۸۳	۲/۶۷۵۹	$q_{e.exp}$	

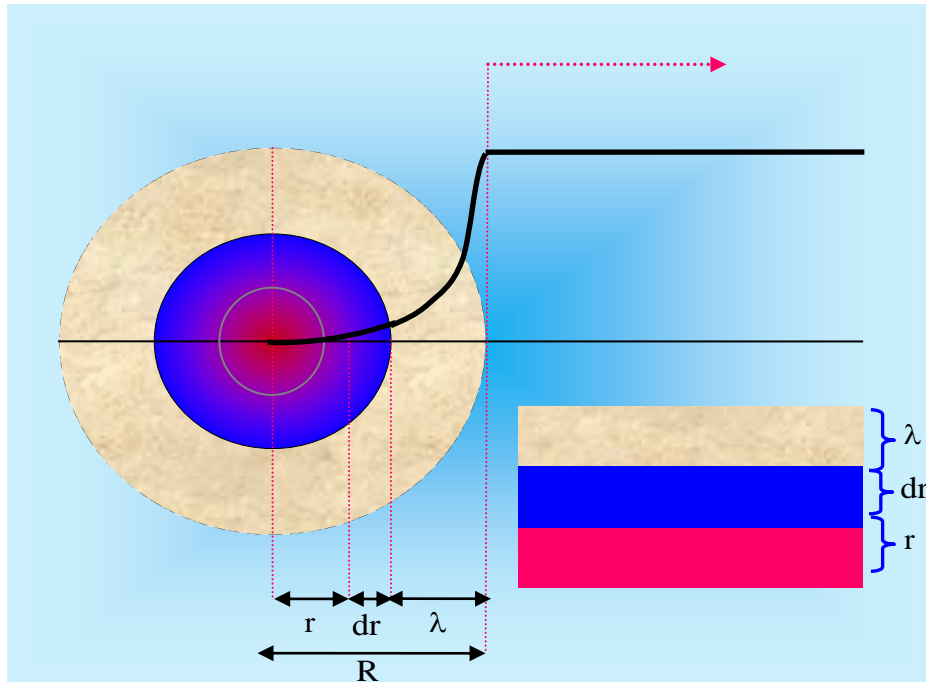
با توجه به جدول ۳-۶ حذف رنگزای BR-46 از سینتیک شبه مرتبه اول و نفوذ درون ذره‌ای تبعیت می‌کند که نشان می‌دهد سرعت واکنش به مقدار غلظت یک جز از اجزای واکنش (آلاینده یا جاذب) بستگی دارد، نفوذ از داخل یک لایه اتفاق می‌افتد و بر مبنای ظرفیت سطوح اشغال نشده نانو ذرات بوکسیت است. حذف رنگزا BV-10 از سینتیک شبه مرتبه دوم و نفوذ درون ذره‌ای تبعیت می‌کند. این نتیجه بیان‌گر آن است که جذب شیمیایی مرحله کند کننده سرعت است و فرآیند جذب را کنترل می‌کند. سرعت اشغال مکان‌های جذب متناسب با توان دوم تعداد مکان‌های اشغال نشده نانو ذرات بوکسیت است. همچنین در حذف رنگزها جذب با سه مرحله کنترل می‌شود:

۱- نفوذ به سطح ذرات جاذب (نفوذ در فیلم)

۲- انتقال از سطح جاذب به مکان‌های فعال ذرات (نفوذ در ذرات)

۳- ابقا در مکان‌های فعال از طریق جذب، پدیده بارش یا نفوذ درون ذره‌ای

فرض می‌شود که مرحله سوم بسیار سریع اتفاق می‌افتد و برای تعیین مرحله کند کننده فرآیند جذب لازم است تا بین مرحله نفوذ در فیلم و نفوذ در ذرات تمیز داده شود. در شکل ۳-۱ شماتیک مراحل کنترل کننده فرآیند جذب مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۱۶: شماتیک مراحل کنترل کننده فرآیند جذب (Seifpanahi-shabani et al., 2013).

### ۳-۶-۷- مطالعات ترمودینامیکی فرآیند جذب سطحی رنگزا

نتایج مطالعات ترمودینامیکی در جدول ۳-۷ بیان شده است.

جدول ۳-۷ نتایج حاصل از مطالعات ترمودینامیکی فرآیند جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 بر روی جاذب نانو ذرات

بوکسیت

$\Delta G^\circ$ (KJ/mol)				$\Delta S$ (KJ/mol K)	$\Delta H$ (KJ/molKg)	رنگزا
$313/15K^\circ$	$303/15K^\circ$	$294/15 K^\circ$	$283/15 K^\circ$			
-0/1498	-0/1467	-0/1438	-0/14045	0/3118	-52/2244	BR-46
2/4915	2/4520	2/4164	2/3729	-3/9533	1254/167	BV-10

با توجه به جدول ۳-۷ حذف رنگزای BR-46 به صورت گرماده و خودبه خودی انجام شده است.

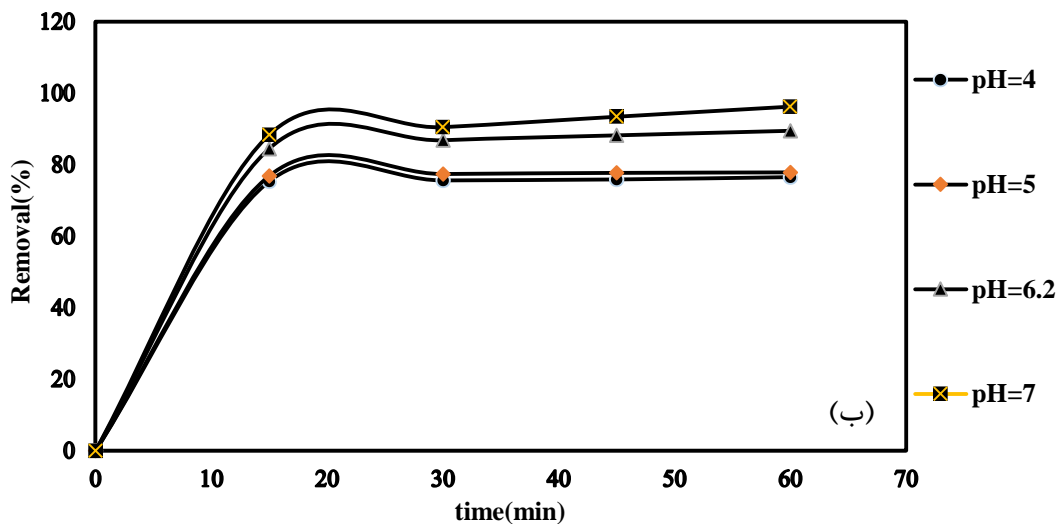
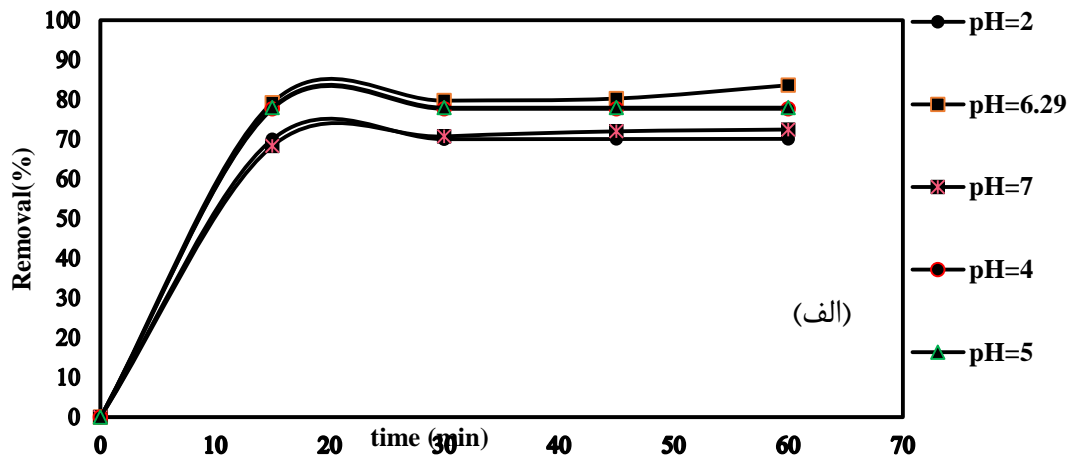
همچنین حذف رنگزای BV-10 به صورت گرماگیر بوده و افزایش بی نظمی در جهت کاهش جذب سطحی عمل می‌کند. در واکنش‌هایی که دو عامل آنتالپی و آنتروپی در جهت عکس هم عمل کنند دما عامل تأثیر گذار است، در دماهای بالاتر آنتروپی عامل غالب و در دماهای پایین‌تر آنتالپی عامل غالب است.

### ۳-۳-۷- آزمایش حذف فلزات سنگین

برای حذف یون کبالت (II) و یون نیکل (II)، همانند حذف رنگزها محلول با غلظت بالا از نمک فلزات و با استفاده از رقیق‌سازی محلول با غلظت معین ساخته شد، سپس با تغییر pH، غلظت، دما و مقدار جاذب آزمایش‌ها در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه انجام گردید، پس از سانتریفیوژ غلظت باقیمانده با دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

### ۳-۳-۷-۱- بررسی تأثیر pH بر فرآیند جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II)

به منظور بررسی تأثیر pH بر حذف یون نیکل (II) و یون کبالت (II) از محلول با استفاده از جاذب نانو ذرات بوکسیت، در پنج pH ۵، ۷، ۴، ۲ و pH طبیعی محلول ۶/۲۹ برای محلول یون نیکل (II) و چهار pH ۴، ۵، ۶/۲ (pH طبیعی محلول) و ۷ در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه با مقدار جاذب ۰/۱g و غلظت ۲۰ppm از محلول نمک این فلزها آزمایش انجام گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد جاذب در pH طبیعی محلول یون نیکل (II) و pH ۷ برای یون کبالت (II) بهترین کارایی را داشته است. در شکل ۳-۱۷ نتایج حاصل از این بررسی نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۷: بررسی تأثیر pH بر فرآیند جذب سطحی (الف) یون نیکل (II) و (ب) یون کبالت (II) روی جاذب نانو ذرات

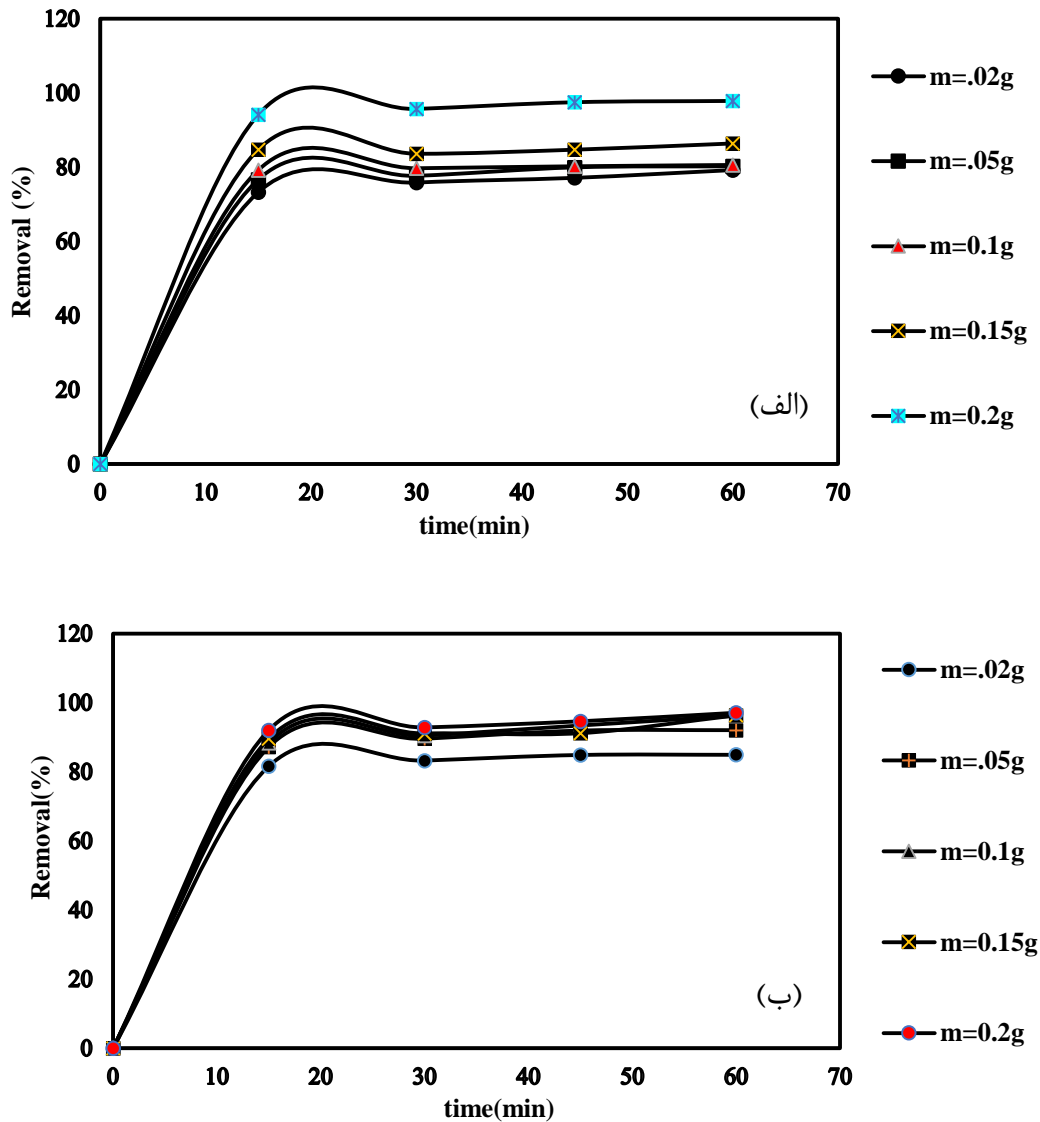
بوکسیت در شرایط دما  $20^{\circ}\text{C}$ ، غلظت اولیه محلول  $20\text{ppm}$ ، حجم  $25\text{ml}$  و مقدار جاذب  $0.1\text{g}$ .

در pH های پایین بار سطح جاذب مثبت بوده و سبب دفع یون های فلزی دو ظرفیتی می شود. همچنین رقابتی بین یون های  $\text{H}^+$  موجود در محیط و یون های دو ظرفیتی بر روی جاذب وجود دارد و باعث کاهش مقادیر جذب می گردد (عابدینی و کلاگری، ۱۳۹۲).

### ۳-۷-۱- بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند حذف یون های فلزی نیکل (II) و کبالت (II)

تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی در شرایط pH طبیعی محلول برای محلول یون نیکل (II) و

pH ۷ برای محلول یون کبالت (II) در دمای ۲۰°C بررسی شده است. نتایج حاصل در شکل ۳-۱۸ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار جاذب حذف افزایش می‌یابد.



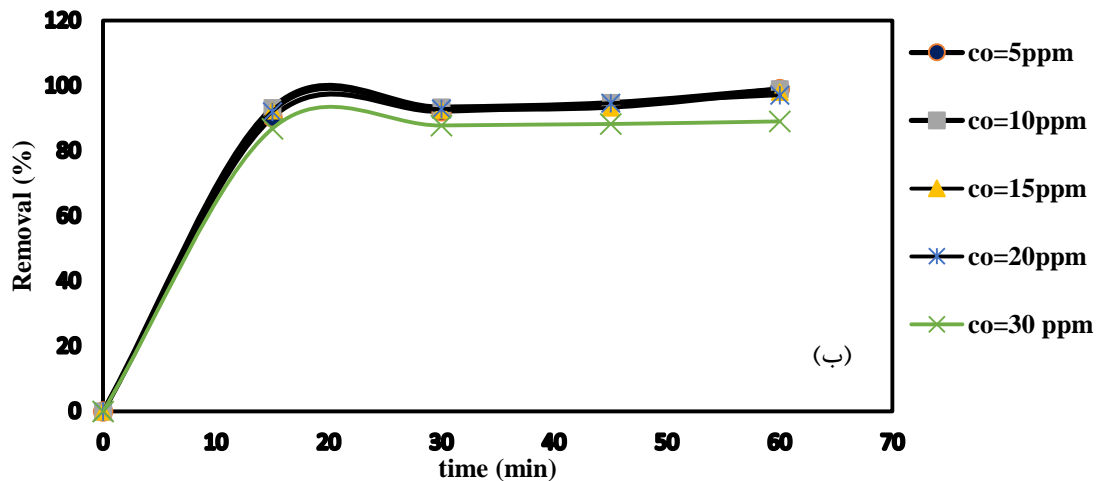
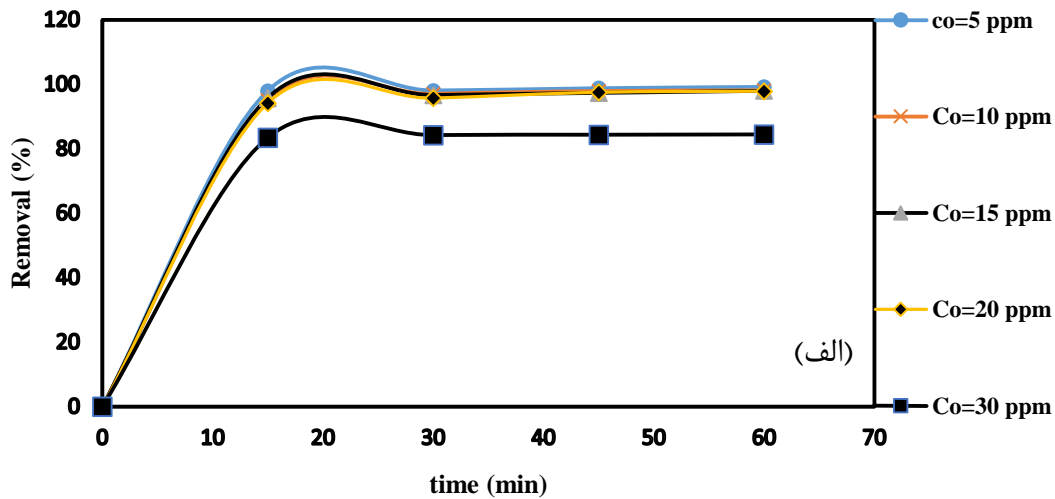
شکل ۳-۱۸: بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرایند جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) در شرایط غلظت اولیه محلول ۲۰ppm، دما ۲۰°C، حجم ۲۵ml، مقدار جاذب ۰/۱g، الف) یون نیکل (II) pH=۶/۲، ب) یون کبالت (II) pH=۷

۳-۷-۳-۳ بررسی تأثیر غلظت اولیه یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II) بر فرآیند حذف

فرآیند جذب سطحی با تغییر مقدار غلظت اولیه آلاینده از ۵ ppm تا ۳۰ ppm در pH طبیعی محلول

برای یون نیکل (II) و pH ۷ برای یون کبالت (II) با مقدار جاذب ۰/۲g بررسی شده است، نتایج بیانگر

آن است که با افزایش غلظت اولیه آلاینده راندمان حذف کاهش می‌یابد. در شکل ۳-۱۹ نتایج حاصل از این بررسی مشاهده می‌شود.

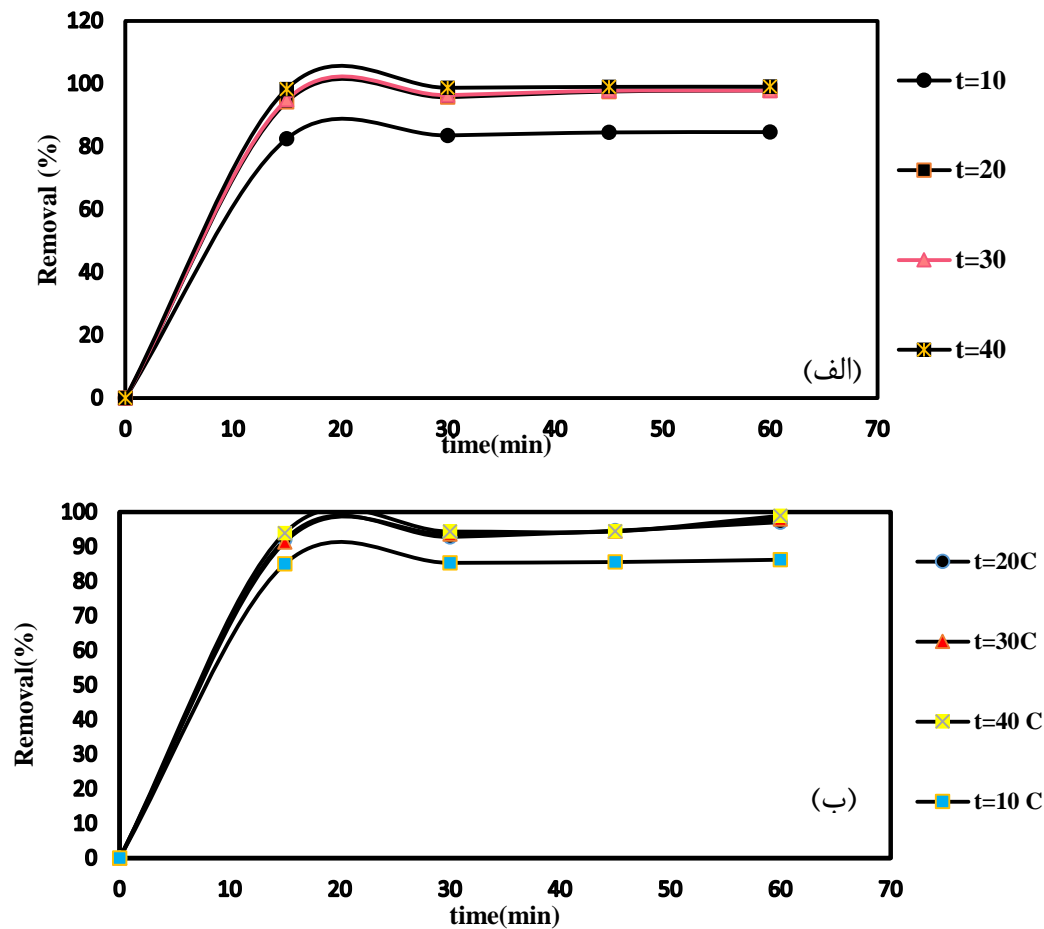


شکل ۳-۱۹: تأثیر غلظت اولیه یون‌های محلول نیکل (II) و کبالت (II) بر فرآیند جذب سطحی آن‌ها در شرایط دما  $20^{\circ}\text{C}$ .

حجم  $25\text{ml}$ ، مقدار جاذب  $0.2\text{g}$ ، (الف) یون نیکل (II)  $\text{pH}=6/29$ ، (ب) یون کبالت (II)  $\text{pH}=7$

### ۳-۳-۷-۴- بررسی تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II)

با افزایش دما از  $10^{\circ}\text{C}$  تا  $40^{\circ}\text{C}$  مقدار حذف افزایش می‌یابد. نتایج بدست آمده در شکل ۳-۲۰ مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۲۰: تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) در شرایط غلظت اولیه محلول ۲۰ ppm، حجم

۲۵ ml، مقدار جاذب ۰/۲ g، الف) یون نیکل (II) pH=۶/۲۹، ب) یون کبالت (II) pH=۷

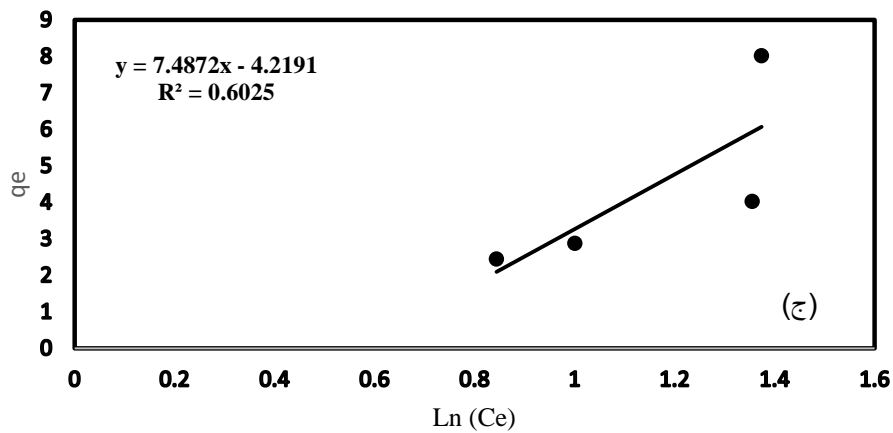
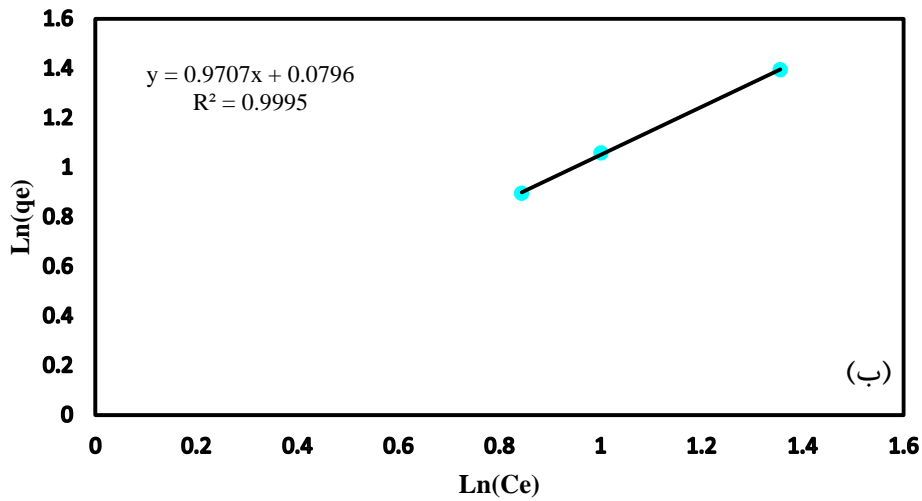
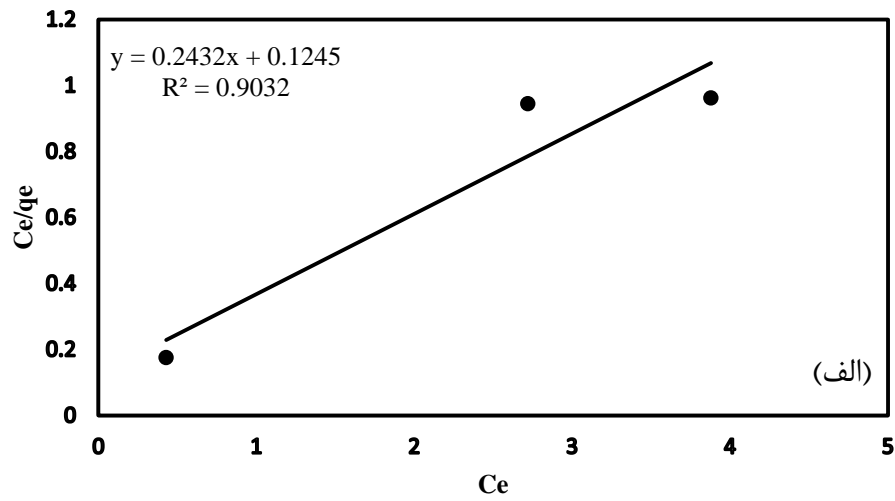
۳-۷-۵- بررسی ایزوترم‌های جذب یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) بر جاذب نانو ذرات

بوکسیت

داده‌های حاصل از آزمایش با سه ایزوترم لانگمویر، فروندلیچ و تمکین بررسی شد. نتایج حاصل از بررسی

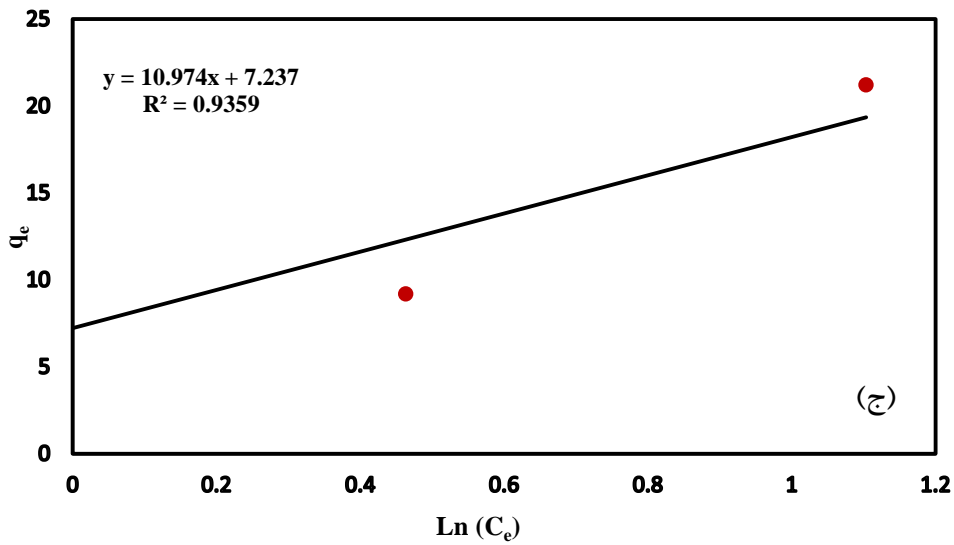
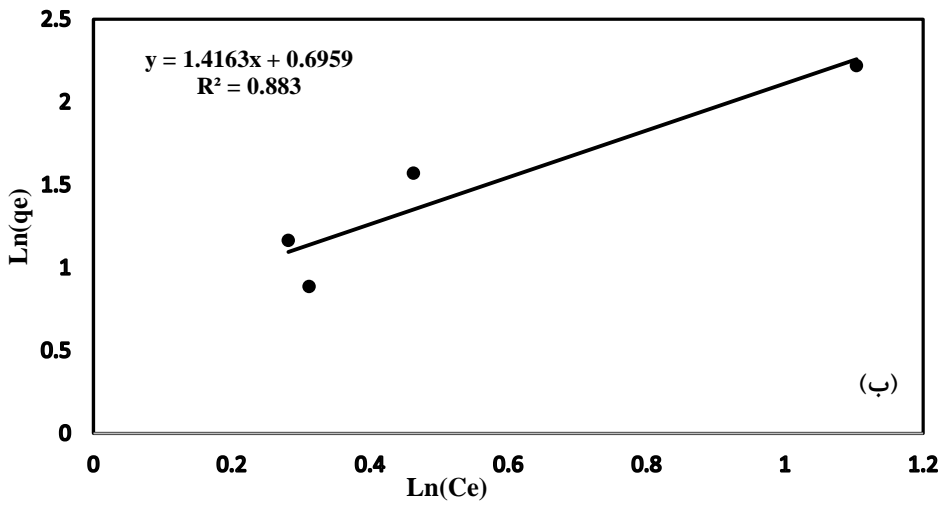
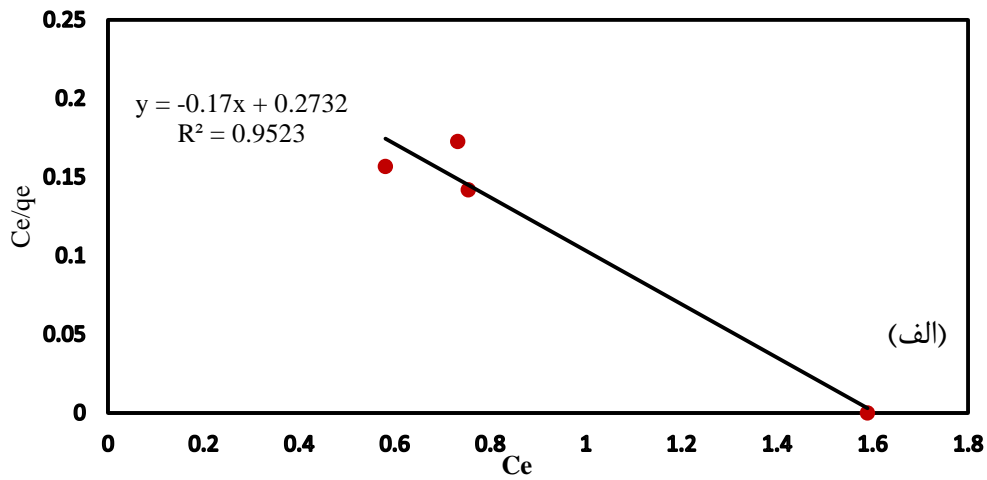
شکل‌های ۳-۲۱ و ۳-۲۲ به ترتیب برای یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) نشان داده شده است.





شکل ۳-۲۱: بررسی ایزوترم لانگمویر (الف)، فروندلیچ (ب)، تمکین (ج) فرآیند جذب سطحی یون نیکل (II) بر روی جاذب نانو

ذرات بوکسیت



شکل ۳-۲۲: بررسی ایزوترم لانگمویر (الف)، فروندلیچ (ب)، تمکین (ج) جذب سطحی یون کبالت (II) بر روی جاذب نانو ذرات

بوکسیت

ضرایب ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ و تمکین بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت در جدول ۳-۸ آورده شده است.

جدول ۳-۸: ضرایب ایزوترم‌های جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برای جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) توسط

جاذب نانو ذرات بوکسیت

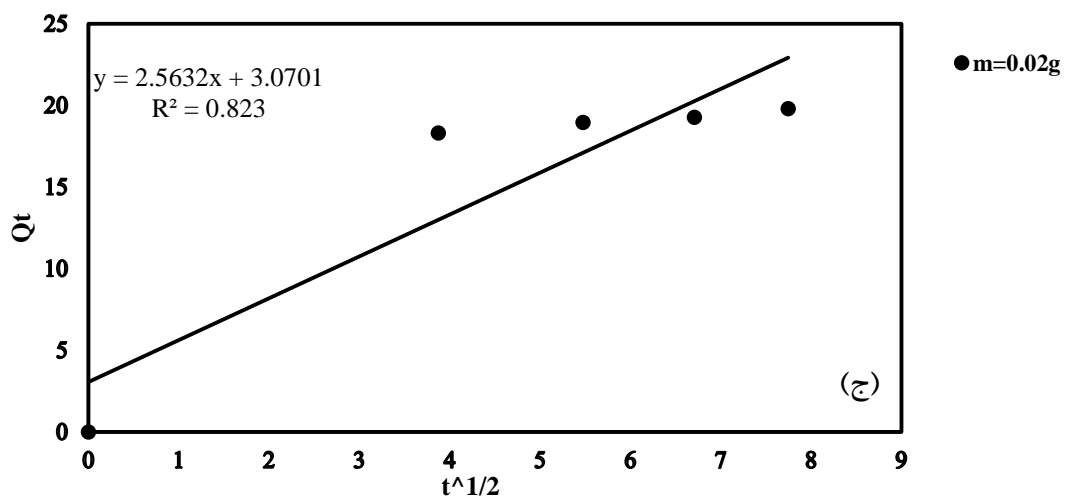
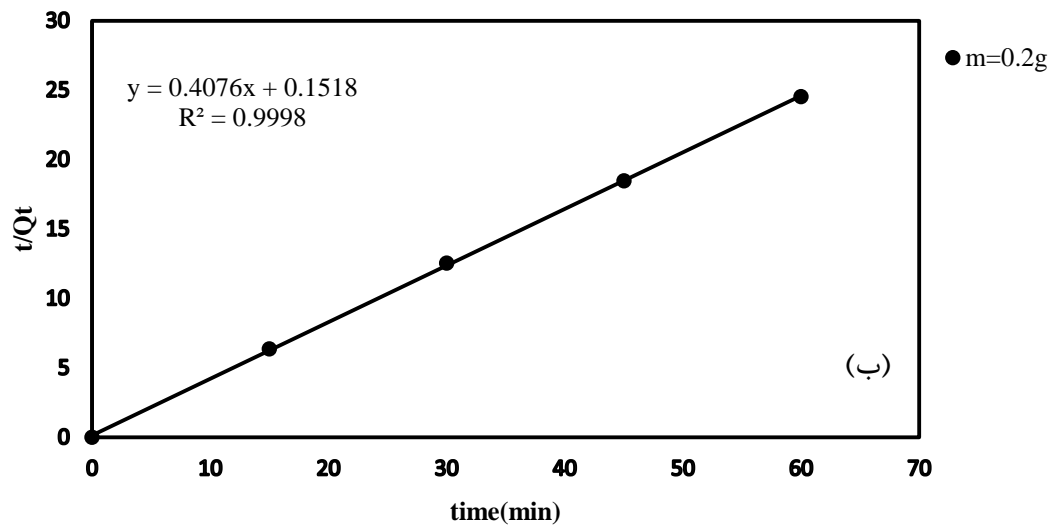
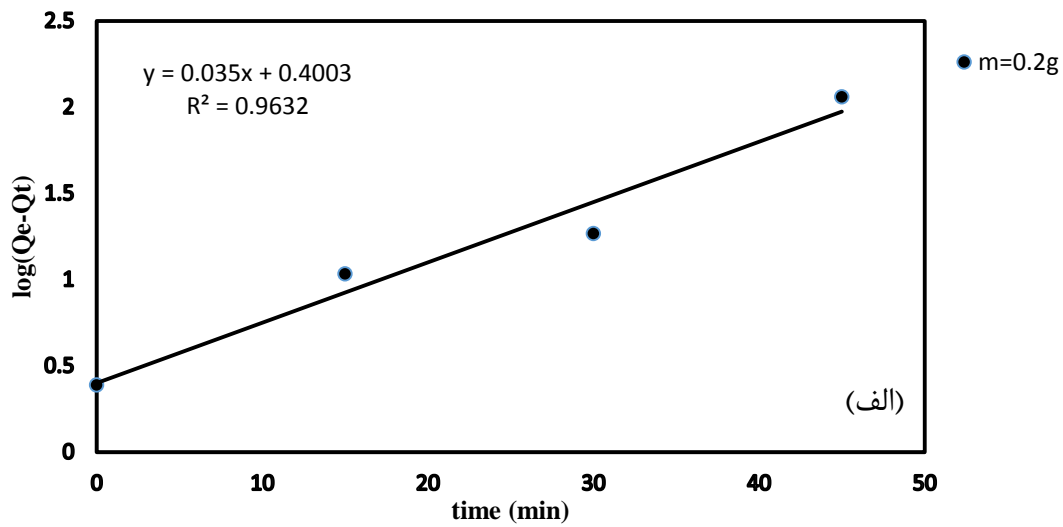
یون‌های فلزی		ثابت ایزوترم	مدل ایزوترم
کبالت (II)	نیکل (II)		
۳۳/۱۱۲۵	۱۲/۶۵۸۲	$Q_0$	لانگمویر
۷/۵۴۹۶	۰/۲۴۸۴	$K_L$	
۰/۹۵۲۳	۰/۹۰۳۲	$R^2$	
۱/۲۵۶۲	۰/۵۴۷	$n$	فروندلیچ
۰/۵۹۷۹	۳/۳۵۷۵	$C$	
۰/۸۸۳	۰/۹۹۹۵	$R^2$	
۱۰/۹۷۴	۳/۵۸۵۸	$B_1$	تمکین
۱۳۸۹/۹۱۸	۷۷/۰۸۴۳	$K_t$	
۰/۹۳۵۹	۰/۶۰۲۵	$R^2$	

با توجه به جدول ۳-۸ جذب سطحی یون نیکل (II) از ایزوترم فروندلیچ و جذب سطحی یون کبالت (II) از ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند.

۳-۳-۷-۶- بررسی سینتیک جذب سطحی یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) بر جاذب نانو

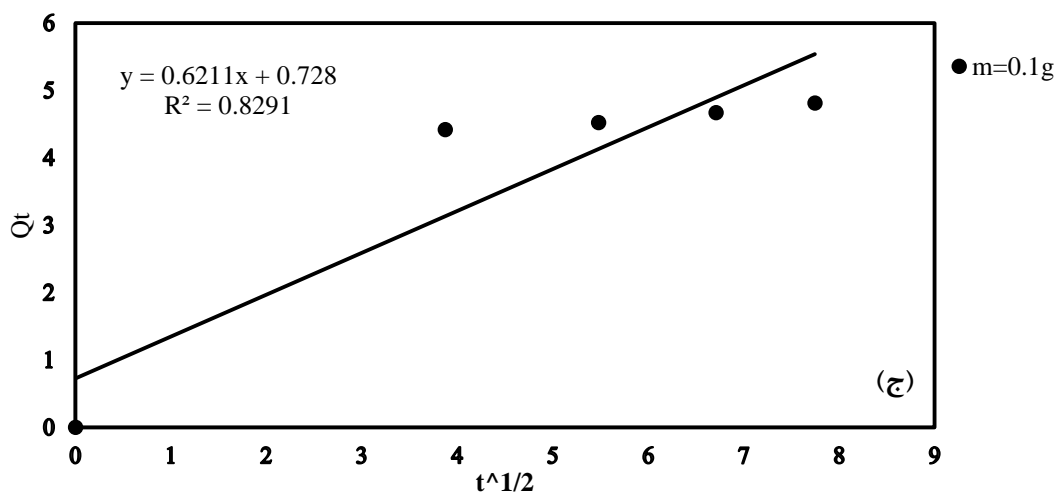
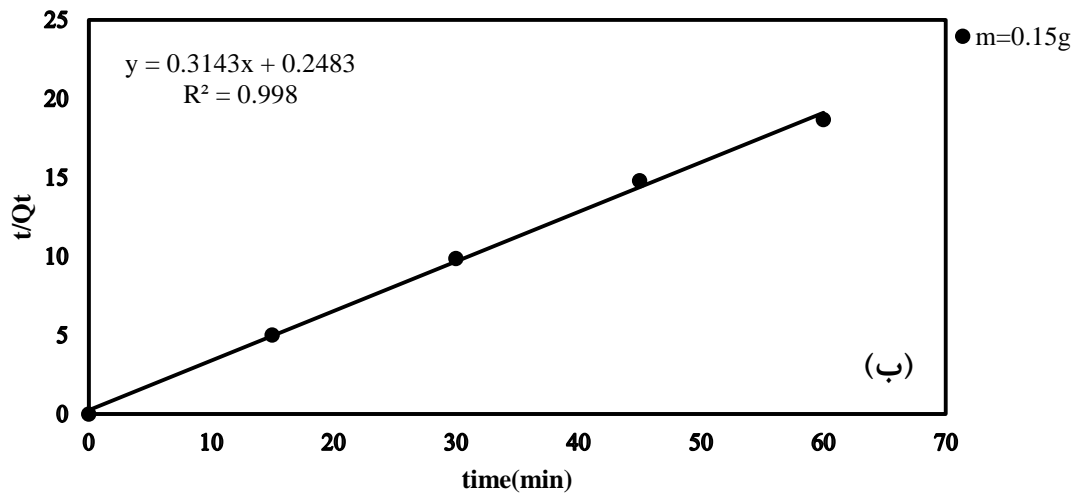
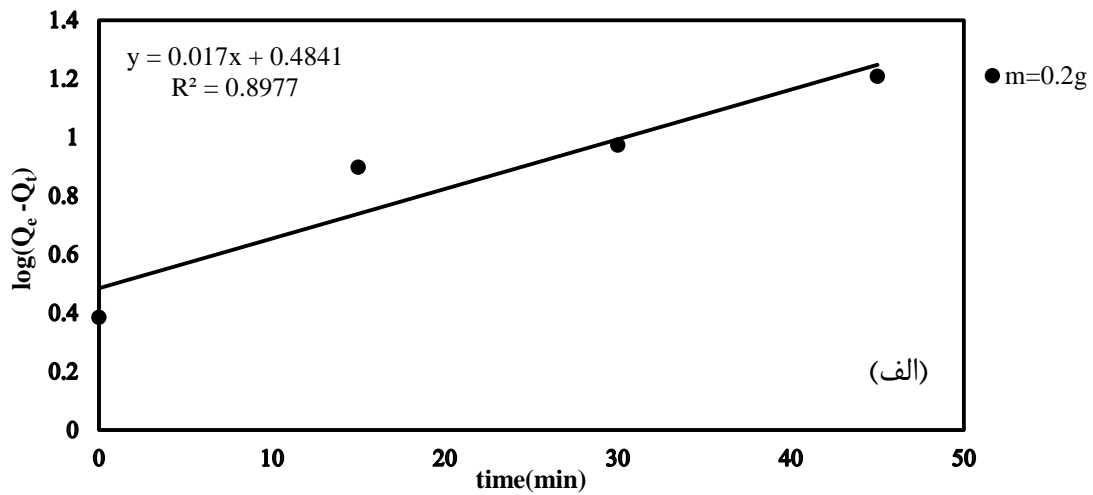
#### ذرات بوکسیت

داده‌های حاصل از آزمایش‌ها با سه مدل سینتیکی شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و نفوذ درون ذره ای بررسی شده است، شکل ۳-۲۳ و ۳-۲۴ به ترتیب نتایج بررسی سینتیک جذب سطحی یون نیکل (II) و یون کبالت (II) را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۳: سینتیک جذب شبه مرتبه اول (الف)، شبه مرتبه دوم (ب) و نفوذ درون ذره‌ای (ج) یون نیکل (II) بر روی جاذب

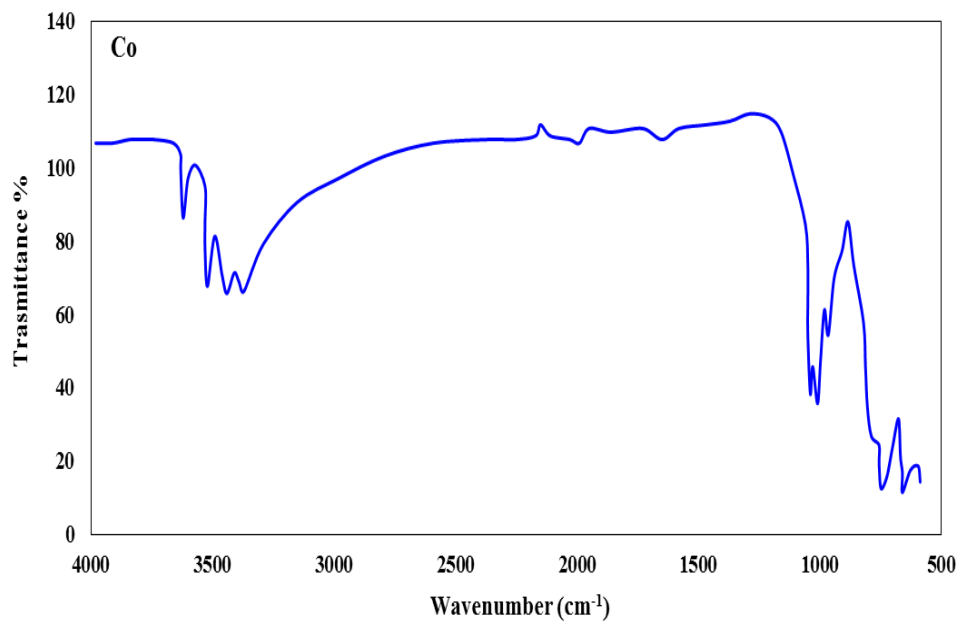
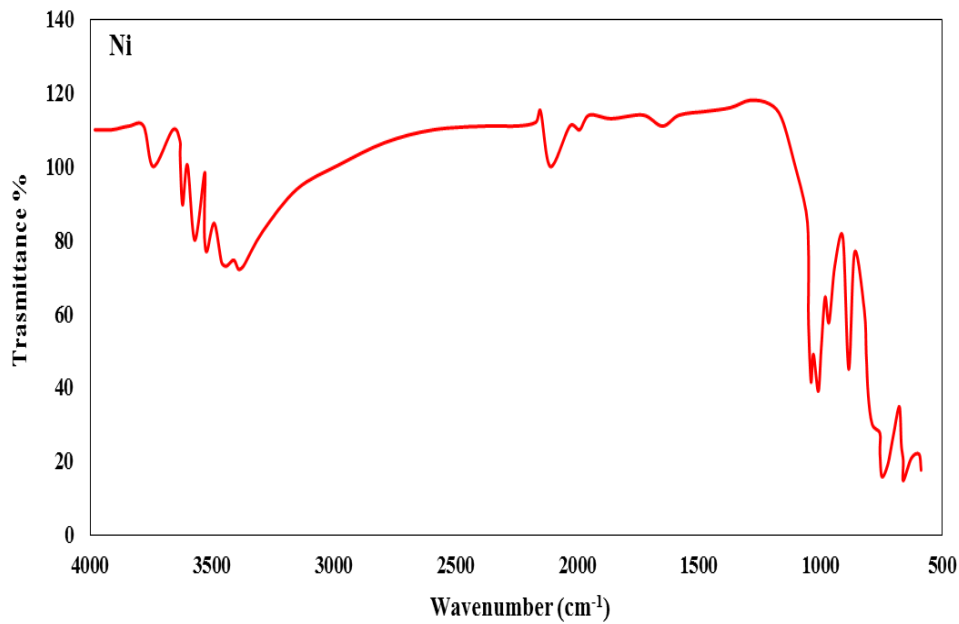
نانو ذرات بوکسیت



شکل ۳-۲۴: بررسی سینتیک جذب سطحی شبه مرتبه اول (الف)، شبه مرتبه دوم (ب) و تمکین (ج) یون کبالت (II) بر روی

جاذب نانو ذرات بوکسیت





شکل ۳-۲۵: طیف FT-IR پس از فرآیند جذب سطحی یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II) بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت.

شکل ۳-۲۵ نشان می‌دهد که پس از جذب یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II) مکان‌های جذب پرشده و شدت پیک هیدروکسیل کم شده است. همچنین باندهای  $1074/05$ ،  $968/86$ ،  $798/03$ ،  $784/83$  نشان دهنده اثر انگشتی گیبسیت می‌باشد. این نتیجه نشان دهنده خارج شدن احتمالی گیبسیت از فاز فرعی و حضور در فاز اصلی است.

۳-۷-۸- مطالعات ترمودینامیکی فرآیند جذب سطحی یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت

(II)

نتایج مطالعات ترمودینامیکی حذف یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) در جدول ۳-۱۰ آورده شده است.

جدول ۳-۱۰: نتایج مطالعات ترمودینامیکی فرایند جذب سطحی یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II) بر روی جاذب نانو ذرات

بوکسیت

$\Delta G^\circ$ (KJ/mol)				$\Delta S$ (KJ/mol K)	$\Delta H$ (KJ/mol Kg)	یون فلزی
$313/15 K^\circ$	$303/15 K^\circ$	$294/15 K^\circ$	$283/15 K^\circ$			
۵۵/۳۰۹۷	۵۴/۸۳۵۸	۵۴/۴۰۹۳	۵۳/۸۸۸	-۰/۰۴۷۳۹	۴۰/۴۷۶۱	نیکل (II)
۲۵/۹۱۰۵	۲۶/۲۱۸۲	۲۶/۴۹۵۰	۲۶/۸۳۳	۰/۳۰۷۶۲	۳۵/۵۳۹۰	کبالت (II)

جدول ۳-۱۰ نشان می‌دهد که واکنش‌ها گرماگیر و غیر خود به خودی می‌باشد. مقادیر  $\Delta H$  نشان می‌دهد که فرآیند جذب فیزیکی بوده ( $\Delta H < 40$ ) که این نتیجه با نتیجه بررسی سینتیک جذب که جذب شیمیایی مرحله کند کننده سرعت است تطابق دارد.

۳-۷-۸- حذف آلاینده از پساب دوتایی بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت

در این بخش فرآیند تصفیه محلول دو تایی در سیستم ناپیوسته با استفاده از نانو جاذب بوکسیت در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. برای حذف فلزات مس و منگنز از پساب در pH معین محلول با تغییر مقدار جاذب و دما، آزمایش‌ها به روش قبل انجام گردید و غلظت باقیمانده نیز با دستگاه جذب اتمی قرائت شد.

۳-۸-۱- حذف مس و منگنز از محلول دو تایی

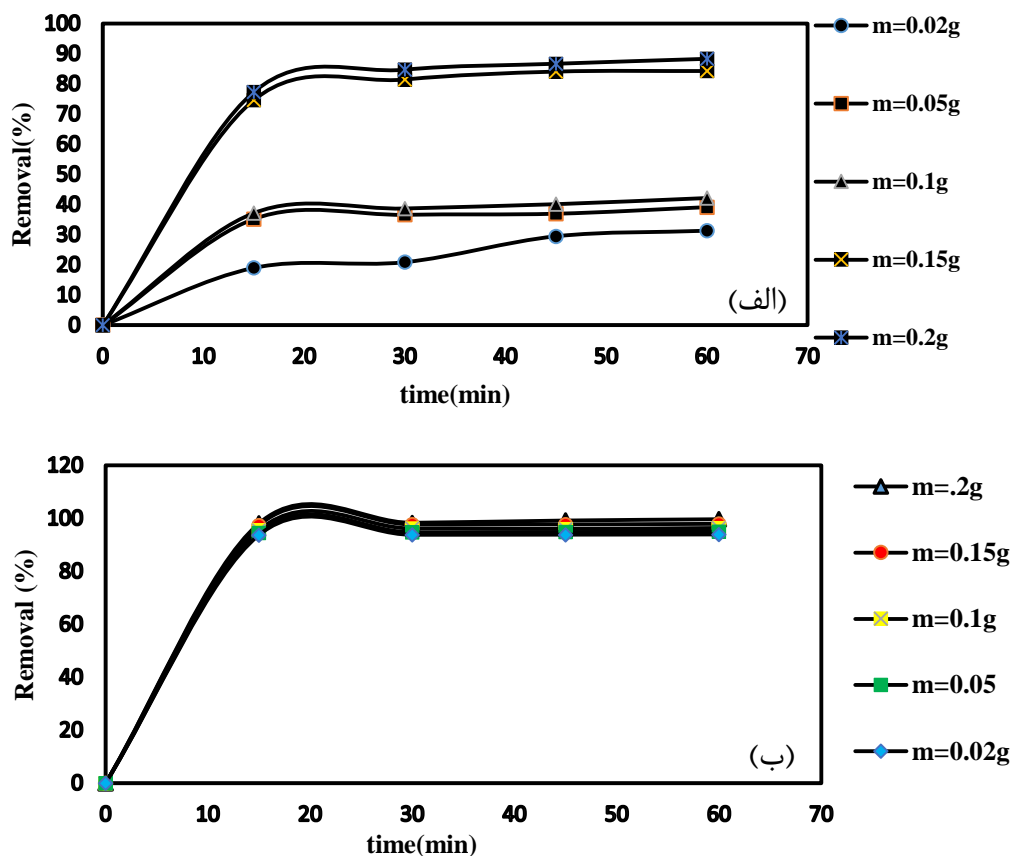
برای حذف یون‌های فلزی مس و منگنز از پساب در pH طبیعی محلول (pH برابر ۳/۱۶) تأثیر مقدار جاذب و دما بر فرآیند حذف در حالیکه غلظت اولیه یون مس در محلول ۱۷/۵ و یون منگنز ۱۴/۲ ppm بوده است، بررسی شد. نتایج بیانگر راندمان عالی نانو بوکسیت در حذف مس و راندمان خوب در حذف



منگنز است. در ادامه به بیان نتایج حاصل از این بررسی‌ها پرداخته می‌شود.

### ۳-۳-۸-۲- بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی مس و منگنز دو ظرفیتی

به منظور بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی با تغییر مقدار جاذب از ۰/۰۵g تا ۰/۲ g در ۴ زمان ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه آزمایش انجام گردید. نتایج حاصل در شکل ۳-۲۶ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۶: الف: تأثیر مقدار جاذب بر فرآیند جذب سطحی Mn در شرایط غلظت اولیه ۱۴/۲ppm Mn، ب: تأثیر مقدار

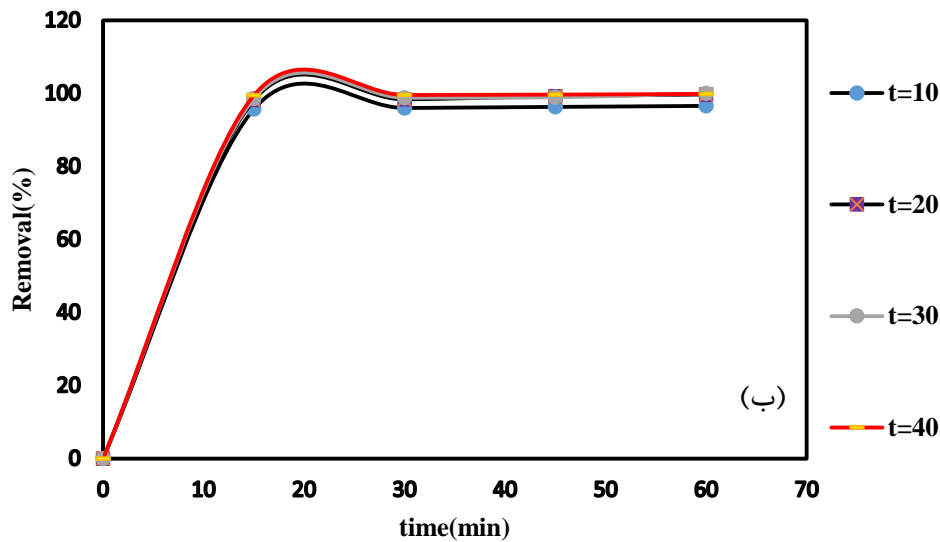
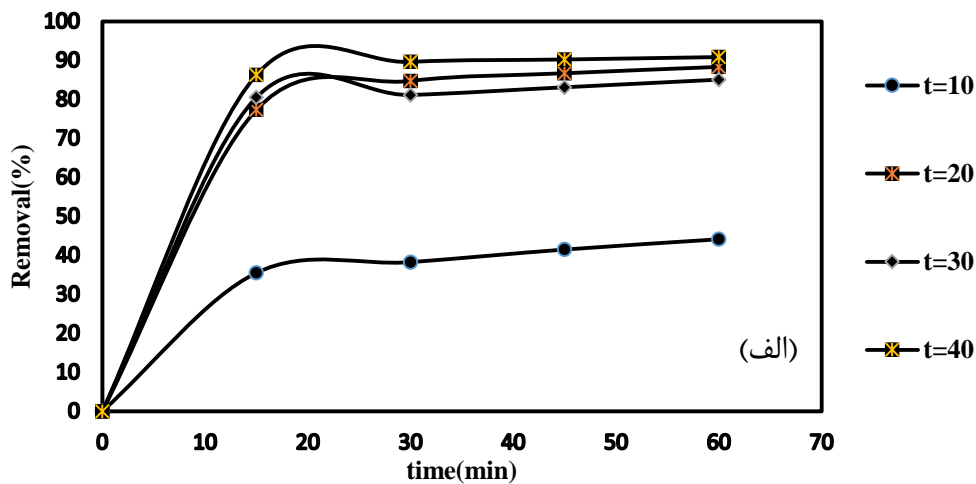
جاذب بر فرآیند جذب سطحی Cu در شرایط غلظت اولیه ۱۷/۵ ppm Cu

شکل ۳-۲۶ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نانو جاذب راندمان حذف افزایش می‌یابد. در حذف یون مس تغییر مقادیر جاذب بر فرآیند حذف تأثیر قابل ملاحظه‌ای نمی‌گذارد و راندمان حذف در تمام مقادیر آزمایش شده بیش از ۹۰٪ است که نشان می‌دهد دلیلی جزء افزایش مکان‌های جذبی نانو جاذب

در مقابل مقادیر ثابت مولکول‌های آلاینده است.

### ۳-۳-۸-۳- بررسی تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی مس و منگنز دو ظرفیتی

آزمایش‌های بررسی تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی در دماهای  $10^{\circ}\text{C}$ ،  $20^{\circ}\text{C}$ ،  $30^{\circ}\text{C}$  و  $40^{\circ}\text{C}$  انجام گردید. با افزایش دما مقدار حذف یون‌های فلزی افزایش می‌یابد شکل ۳-۲۷.



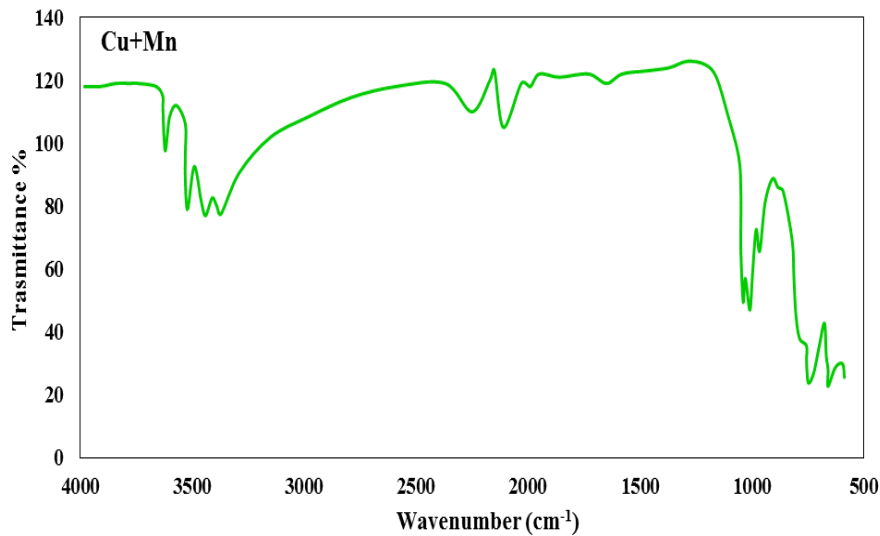
شکل ۳-۲۷: الف: بررسی تأثیر دما بر فرآیند جذب سطحی Mn در شرایط غلظت اولیه  $14/2\text{ ppm}$ ؛ ب: بررسی تأثیر دما بر

فرآیند جذب سطحی Cu در شرایط غلظت اولیه  $17/5$

### ۳-۳-۸-۴- طیف FT-IR پس از حذف یون‌های مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دوتایی

طیف FT-IR پس از حذف مس و منگنز دو ظرفیتی از پساب بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت در

شکل ۳-۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۸: طیف FT-IR پس از حذف مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دو تایی بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت

شکل ۳-۲۸ نشان می‌دهد که مکان‌های جذب پر شده و شدت پیک گروه عاملی هیدروکسیل که عامل اصلی جذب است کم شده است.

### ۳-۳-۸-۵- ایزوترم جذب مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دو تایی

برای بررسی ایزوترم جذب داده‌های حاصل با دو مدل ایزوترمی لانگمویر و فروندلیچ در حالت دو تایی مدل‌سازی شدند. نتایج حاصل از بررسی نشان می‌دهد که حذف از ایزوترم لانگمویر با ضریب همبستگی ۰/۹۹ پیروی می‌کند. نتایج بدست آمده از این بررسی در جدول ۳-۱۱ بیان شده است.

جدول ۳-۱۱: نتایج حاصل از بررسی ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ در حالت دوتایی برای حذف یون‌های مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دو تایی بر روی جاذب نانو ذرات بوکسیت

یون‌های فلزی		ثابت ایزوترم	مدل ایزوترم
منگنز (II)	مس (II)		
۰/۳۱۷۸	۶/۰۹۳۸	$Q_0$	لانگمویر
۰/۱۲۳۶	۱/۱۷۸۰	$K_L$	
۰/۹۹۷۷	۰/۹۱۵۶	$R^2$	
۰/۹۴۴	۰/۷۲۸۱	$n$	فروندلیچ
۱/۳۵۸۳	۱۹۰۵۴	$C$	
۰/۷۴۵۹	۰/۷۴۳۲	$R^2$	

مقادیر موجود در جدول ۳-۱۱ با رابطه‌های ۳-۵ و ۳-۶ که به ترتیب ایزوترم لانگمویر در حالت کلی و ایزوترم فروندلیچ در حالت کلی می‌باشد بدست آمده است (Khan and Khan, 2015).

$$q_{e,i} = \frac{Q_{0i} \times K_{L,i} \times C_{e,i}}{1 + \sum_{j=1}^m K_{L,j} \times C_{e,j}} \quad \text{رابطه (۳-۵)}$$

$$q_{e,i} = \frac{K_{F,i} \times C_{i,e}^{(1/n_{i,F})+X_i}}{C_{e,i}^{X_i} + Y_i \times C_{e,j}^{Z_i}} \quad \text{رابطه (۳-۶)}$$

که در این روابط  $q_{e,i}$  مقدار جذب شده در حالت تعادل برای آلاینده  $i$  (mg/g)،  $Q_{0i}$  بیشینه جذب آلاینده  $i$  (mg/g)،  $K_{L,i}$  ثابت لانگمویر برای آلاینده  $i$ ،  $K_{F,i}$  ثابت فروندلیچ برای آلاینده  $i$ ،  $C_{e,i}$  غلظت تعادلی آلاینده  $i$  در محلول (mg/l)،  $C_{e,j}$  غلظت تعادلی آلاینده  $j$  در محلول (mg/l). همچنین  $X_i = \ln(C_{i,e})$ ،  $Z_i = 1/\ln(q_i)$  و  $Y_i = \ln(C_{e,j})$

رابطه‌های (۳-۵) و (۳-۶) می‌توانند به صورت رابطه (۳-۷) معادل سازی شوند.

$$Z = A + BX + CY \quad \text{رابطه (۳-۷)}$$

که در ایزوترم لانگمویر  $X = C_{e,i,j}$ ،  $Y = C_{e,i,j}$ ،  $Z = 1/q_{e,i,j}$  و در ایزوترم فروندلیچ برابر مقادیر بکار رفته در

رابطه (۳-۶) است.

در جدول ۳-۱۲ مقادیر متغیرهای حاصل از بررسی فرآیند حذف مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دو تایی بر روی ذرات نانو بوکسیت مشاهده می‌شود.

جدول ۳-۱۲: نتایج حاصل از معادل‌سازی ایزوترم فروندلیچ و لانگمویر برای حذف یون مس و منگنز دو ظرفیتی از محلول دو

تایی

مدل ایزوترم	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>
لانگمویر	-۱/۲۱۵	۰/۲۰۶	۰/۲۱۴	۳/۹۶۶	۳۶۱۶۷/۵۸۶	-۰/۷۹۹
فروندلیچ	-۳/۸۷۵	۳۶۶۰۲/۰۰۵	-۰/۷۷۹	-۱/۱۲۴	۰/۲۰۹	۰/۲۱۴

در رابطه (۳-۸) و (۳-۹) روابط معادل‌سازی شده برای ایزوترم لانگمویر و در رابطه‌های (۳-۱۰) و (۳-۱۱) برای ایزوترم فروندلیچ آورده شده است.

$$Z = -2.604 + 0.2152X_1 + 0.213Y \quad \text{رابطه (۳-۸)}$$

$$Z = 9.4703 + 2.6691X_2 - 0.799Y_2 \quad \text{رابطه (۳-۹)}$$

$$Z = -0.799 + 2.9661X_1 + 9.4712Y_1 \quad \text{رابطه (۳-۱۰)}$$

$$Z = 0.2137 + 0.2152X_2 - 2.604Y_2 \quad \text{رابطه (۳-۱۱)}$$



## فصل چهارم

### نتیجه گیری و پیشنهادها

#### ۴-۱- نتیجه گیری

برای حذف آلاینده‌های آلی و فلزی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که جذب سطحی یکی از موفق‌ترین روش‌هاست. افزایش سطح مؤثر هدف اصلی استفاده از نانو جاذب است. با کاهش ابعاد جاذب مقدار حذف افزایش می‌یابد. در بررسی امکان‌سنجی استفاده از نانو بوکسیت جهت حذف آلاینده‌های موجود در پساب صنعتی، بوکسیت مورد استفاده از باطله‌های معدن بوکسیت تاش در شمال شاهرود برداشت شده است. نتایج حاصل از بررسی استفاده از این جاذب جهت حذف رنگزای BR-46، BV-10، یون نیکل (II)، یون کبالت (II)، همچنین مس و منگنز دو ظرفیتی موجود در محلول‌های دو تایی در سه بخش زیر ارائه می‌شود:

۱- ساخت نانو جاذب بوکسیت

۲- حذف رنگزا

۳- حذف یون‌های فلزی محلول و تصفیه پساب

#### ۴-۱-۱- نتایج بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی

۱- نتایج مطالعه XRF نشان می‌دهد که بیشترین تشکیل دهنده جاذب  $Al_2O_3$  با ۴۸٪ و پس از آن  $Fe_2O_3$  با ۴۰٪ می‌باشد.

۲- نتیجه مطالعه XRD نشان می‌دهد که فازهای اصلی و تشکیل دهنده نمونه جاذب دیاسپور  $AlO(OH)$  و هماتیت  $Fe_2O_3$  است. با توجه به فرمول شرر میانگین اندازه ذرات برابر  $1/56nm$  می‌باشد.

۳- تصویر SEM حاصل از جاذب نشان می‌دهد که جاذب دارای بافت صفحه‌ای تا گرانولار و ذرات بسیار ریز دانه است.

۴- تجزیه FT-IR نشان می‌دهد که ۴ باند اصلی جذب بر روی سطح نانو جاذب بوکسیت وجود دارد که باند اصلی جذب کننده آلاینده‌ها  $OH^-$  و گروه آزاد فنولی H-O-H می‌باشد.



## ۴-۱-۲- مطالعات آزمایشگاهی آلاینده‌های آلی

تأثیر پارامترهای pH، مقدار جاذب، دما، غلظت اولیه آلاینده، در فرآیند جذب مورد بررسی قرار گرفته است.

برای حذف رنگزای BR-46 مقدار pH بهینه ۵ (pH طبیعی محلول) و برای حذف رنگزای BV-10 مقدار pH بهینه ۶/۵ (pH طبیعی محلول) تعیین شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با افزایش زمان تماس مقدار حذف به دلیل افزایش برخورد بین مولکول‌های جاذب و جذب شونده تا رسیدن به تعادل افزایش می‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت آلاینده، درصد حذف رنگزاهای فوق کاهش می‌یابد. افزایش دما باعث کاهش حذف رنگزا BR-46 (که دلالت بر گرماده بودن و ماهیت شیمیایی جذب دارد. این نتیجه ممکن است به دلیل حضور احتمالی ناخالصی در جاذب و یا از دست دادن مولکول‌های آب و تجزیه گروه‌های هیدروکسیل که عامل اصلی و مؤثر جذب است باشد (Olgun and Atar., 2009))، و افزایش حذف رنگزا BV-10 می‌شود. همچنین برای هر دو رنگزای فوق نانو جاذب بوکسیت راندمانی کمتر از ۶۰٪ داشته است.

در ادامه فرآیند جذب به صورت تعادلی و سینتیکی بررسی شد. در حالت تعادلی نتایج نشان می‌دهد که ایزوترم حاکم بر فرآیند جذب سطحی رنگزاهای BR-46 و BV-10 به ترتیب ایزوترم تمکین و ایزوترم فروندلیچ بوده است. پیروی از ایزوترم تمکین مؤید جذب شیمیایی بر روی نانو ذرات آهن است (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲). نانو ذرات در اثر برهم‌کنش‌های مستقیم بین ذره‌ای مانند نیروی واندروالس و برهم‌کنش مغناطیسی تمایل به هم‌آوری و تشکیل ذرات با اندازه بزرگتری را می‌دهند که باعث کاهش سطح ویژه و واکنش پذیری می‌شود.

بررسی سینتیک جذب نشان می‌دهد که حذف رنگزا BR-46 از سینتیک شبه مرتبه اول و نفوذ درون ذره‌ای تبعیت می‌کند. نفوذ از داخل یک لایه اتفاق می‌افتد و بر مبنای سطوح اشغال نشده نانو ذرات بوکسیت است. حذف رنگزا BV-10 از سینتیک شبه مرتبه دوم و نفوذ درون ذره‌ای پیروی می‌کند. این

نتیجه بیان‌گر آن است که جذب شیمیایی مرحله کند کننده سرعت است و فرآیند جذب را کنترل می‌کند. سرعت اشغال مکان‌های جذب متناسب با توان دوم تعداد مکان‌های اشغال نشده نانو ذرات بوکسیت است.

#### ۴-۱-۳- مطالعات آزمایشگاهی آلاینده‌های معدنی (فلزات سنگین)

##### ۴-۱-۳-۱- مطالعه پساب مصنوعی

تأثیر پارامترهای pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه محلول آلاینده، زمان تماس و دما در فرآیند جذب مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه مطالعات ایزوترمی و سینتیکی در حالت تعادل و مطالعات ترمودینامیکی انجام گردید.

در حذف یون نیکل (II) از محلول نمک این فلز بررسی مقادیر مختلف pH نشان می‌دهد که جاذب در تمام pH های مورد آزمایش عملکرد خوبی داشته اما در pH ۶/۲۹ که pH طبیعی محلول است بهترین راندمان حذف را داشته است. بنابراین pH طبیعی محلول به عنوان pH بهینه تعیین شد و آزمایش‌های بعدی براساس این pH طراحی شدند. در pH های پایین بار سطح جاذب مثبت بوده و سبب دفع یون‌های فلزی دو ظرفیتی می‌شود. همچنین رقابتی بین یون‌های  $H^+$  موجود در محیط و یون‌های دو ظرفیتی بر روی جاذب وجود دارد و باعث کاهش مقادیر جذب می‌گردد.

نتایج نشان داد با افزایش مقدار جاذب مقدار حذف افزایش می‌یابد. تغییرات غلظت اولیه محلول حاوی یون فلزی نیکل (II) نشان داد که با کاهش غلظت اولیه مقدار حذف افزایش می‌یابد. افزایش دما باعث افزایش حذف یون نیکل (II) از محلول آبی شده است.

به طور کلی با مقدار ۰/۲g نانو ذرات بوکسیت در شرایط غلظت ۲۰ppm از محلول یون نیکل (II)، pH ۶/۲۹ و دمای  $20^{\circ}C$  جاذب کارایی در حدود ۹۷/۸۵٪ دارد. مطابقت خوب بین داده‌های حاصل از آزمایش با مدل ایزوترم فروندلیچ و مدل سینتیک شبه مرتبه دوم مشاهده می‌شود. این نتیجه بیان‌گر آن است که جذب شیمیایی مرحله کند کننده فرآیند است. سرعت واکنش متناسب با مجذور مکان‌های

فعال اشغال نشده سطح نانو ذرات بوکسیت است. مطالعات ترمودینامیکی نشان از عملکرد نامطلوب پارامترهای آنتالپی و آنتروپی دارد، واکنش گرماگیر و غیر خود به خودی بوده است. و فرآیند جذب به صورت فیزیکی می‌باشد.

در فرآیند حذف یون کبالت (II) بهترین کارایی جاذب در pH ۷ می‌باشد در حالیکه pH طبیعی محلول ۶/۲۹ می‌باشد. با افزایش مقدار نانو جاذب و در نتیجه افزایش مکان‌های جذب بازده حذف افزایش می‌یابد.

یون‌های فلزی نیکل (II) و کبالت (II) می‌توانند به شدت به وسیله اکسیدهای آهن (هماتیت) جذب سطحی شوند ولی این جذب وابسته به pH بوده و در شرایط pH پایین (محیط اسیدی) ضعیف‌تر است (Sparks, 1995).

با افزایش مقدار غظت اولیه محلول حاوی یون کبالت (II) مقدار حذف کاهش می‌یابد.

افزایش دما سبب افزایش مقدار حذف می‌شود. نتایج بیانگر پیروی فرآیند جذب از مدل ایزوترم فروندلیچ و مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم است.

فرآیند جذب سطحی یون کبالت (II) از محلول نمک این فلز با نانو ذرات بوکسیت نشان داد که واکنش گرماگیر بوده است. با توجه به عملکرد نامطلوب آنتالپی ( $\Delta H > 0$ ) و عملکرد مطلوب آنتروپی ( $\Delta S > 0$ ) می‌توان استنباط کرد که تغییرات مثبت آنتروپی در جهت افزایش جذب سطحی و تغییرات مثبت آنتالپی در جهت کاهش جذب سطحی آلاینده‌ها عمل می‌کند.

طیف FT-IR پس از حذف یون‌های نیکل (II) و کبالت (II) نشان می‌دهد که مکان‌های جذب پرشده و از شدت پیک گروه هیدروکسیل کاسته شده است.

افزون بر روبش و تمرکز عناصر توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، تغییر در شیمی محلول‌ها (تغییر pH)، حضور در فازهای مقاوم و تثبیت در فازهای نوشکل، جذب سطحی توسط کانی-های رسی و ژل‌های کائولینیتی موجود در جاذب نیز از جمله عوامل تأثیر گذار بر فرآیند جذب در خود نمونه جاذب بوده است.

#### ۴-۱-۳-۲- مطالعات پساب دوتایی

برای حذف مس و منگنز دو ظرفیتی از پساب (حاوی محلول یون‌های مس و منگنز دو ظرفیتی) تأثیر مقدار جاذب و دما در شرایط pH طبیعی محلول ۳/۱۶ بررسی شد. با افزایش مقدار جاذب مقدار حذف افزایش می‌یابد. این نتیجه در حالی است که در مقدار جاذب کمتر مورد آزمایش نیز بازده حذف بالا بوده است.

با افزایش دما از ۱۰ °C تا ۴۰ °C بازده حذف افزایش می‌یابد.

جاذب با ۹۹/۶۹٪ راندمان عالی در حذف یون مس دو ظرفیتی از پساب داشته است. داده‌های حاصل از آزمایش با مدل ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ در حالت دوتایی بررسی شده اند که نتایج بیانگر پیروی فرآیند جذب از ایزوترم لانگمویر با ضریب همبستگی ۰/۹۹ است.

#### ۴-۲- پیشنهادها

۱- با توجه کارایی عالی جاذب در حذف فلزات سنگین و با توجه به توجیه اقتصادی استفاده از باطله پیشنهاد می‌شود تا روبره‌های معادن بوکسیت به عنوان جاذب آلاینده‌های فلزی در مقیاس صنعتی بررسی شود.

۲- با توجه به وجود روش‌های مختلف برای تولید نانو ذرات بوکسیت پیشنهاد می‌شود تولید این نانو جاذب با روش پایین به بالا<sup>۱</sup> و مقایسه آن با روش بالا به پایین<sup>۲</sup> مزایا و معایب هر کدام مشخص شود.

۳- با توجه به حضور زیاد اکسید آهن در ترکیب جاذب و احتمال تأثیر گذاری آن بر حذف رنگزا، با روش جدایش مغناطیسی آهن جدا شده تا کارایی آن مشخص و با حالت اولیه مقایسه شود.

۴- با توجه به راندمان عالی جاذب در جذب سطحی فلزات سنگین، امکان‌سنجی استحصال یون فلزی جذب شده بر روی جاذب بررسی شود.

۵- با توجه به اینکه آهن صفر ظرفیتی (آهن آزاد) جاذبی موفق در حذف آلاینده های عالی و فلزی

۱ Bottom up

۲ Top to down

می‌باشد پیشنهاد می‌شود با وجود مقادیر زیاد آهن در جاذب امکان تولید آهن آزاد به عنوان یک جاذب موفق بررسی شود.

۶- کارایی جاذب در شرایط عملیاتی مختلف و پساب‌های صنعتی متفاوت بررسی شود.

۷- تأثیر یون‌های فلزی و نمک‌های محلول بر کارایی جاذب مورد بررسی قرار گیرد.

۸- کارایی جاذب در سیستم پیوسته مورد مطالعه قرار گیرد و با روش ناپیوسته مقایسه شود.

۹- حذف یون دو ظرفیتی مس و علت راندمان حذف زیاد توسط نانو جاذب بوکسیت بررسی شود.

۱۰- خطای ممکن در مدل‌سازی‌ها بهینه شده و اعتبار سنجی شود.

## منابع

- بهرامی م، برومند نسب س، کشکولی ح، فرخیان فیروزی ا و بابایی ع (۱۳۹۲) "حذف کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از نانو ذرات مگنتیت اصلاح شده" **مجله سلامت و محیط**، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ششم، شماره ۲، ص ۲۲۱-۲۳۲.
- تهرانی بقاء ع، محمودی ن، مرکزی م، طلایی نژاد ا (۱۳۸۸) "رنگبری از پساب حاوی رنگزای کاتیونی با استفاده از جاذب ارزان قیمت کائولن" **نشریه علمی- پژوهشی علوم و فناوری رنگ**، شماره ۳، ص ۱۴۵-۱۵۵.
- دولتی ارده جانی ف، شفایی تنکابنی س، میرحبیبی ع و بدیعی خ (۱۳۸۴) "**بیوتکنولوژی، ژئوشیمی زیست محیطی و مدیریت پساب‌ها**" جلد اول، چاپ اول، پژوهشکده صنایع رنگ ایران، تهران، ص ۱۰.
- رجایی ز، محمدی م، ساعتچی ا، (۱۳۹۳) "سنترز پروسکایت نانو بلورین  $Sr_{0.895}Y_{0.07}TiO_3$  به روش سل- ژل" **مجله مواد و فناوری‌های پیشرفته**، جلد ۳، شماره ۲، ص ۱۱-۱۸.
- عابدینی ع و کلاگری ع، (۱۳۹۰) "مطالعات ژئوشیمیایی نهشته‌های بوکسیتی- کائولینیتی پرمین در شمال سقز، استان کردستان" **مجله علوم زمین**، سال بیستم، شماره ۷۹، ص ۶۷-۷۴.
- کرباسی م، (۱۳۸۸) "میکروسکوپ الکترونی و کاربردهای آن در علوم مختلف و فناوری نانو" چاپ اول، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، اصفهان.
- منفرد سرخورد ز، شمعیان غ و عمران ه، (۱۳۹۲) "ویژگی‌های زمین شناسی، کانی شناسی و بافتی کانسار بوکسیت تاش"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

- Abdel-halim E.S. and Al Deyab S. (2011) "Removal of heavy metals from their aqueous solution through adsorption onto natural polymers" **J. of. Carbohyr. Polym.**, 84, pp 454-458.
- Abul Hossain M. and Rahman Md. (2013) "Removal of basic violet 10 from Neutral aqueous solution Adsorption by Black Tea leaves" **Int. J.Chem**, 2.
- Ahmady-Asbchin S., Yves A., Claire G., Pierre L.C. (2008) "Biosorption of Cu (II) from aqueous solution by *Fucus serratus*: surface characterization and sorption mechanism" **J. of. Bioresour. Technol.**, 99, pp 6150-6155.
- Ahmad M.A., Ahmad N., Solomon Bello O. (2015) " Adsorption Kinetic Studies for the Removal of Synthetic Dye using Activated Carbon" **J. of Dispersion Sci.Technol.**, 36, pp 670-684.
- Aksu Z. and Gonen F. (2004) "Bio sorption of phenol by immobilized activated sludge in a continuous packed bed: Prediction of breakthrough curves" **J. of. Process Biochem.**, 39, pp 599-613.
- Aksu Z., Cagtay S.S., Gonen F. (2006) "Continuous fixed bed biosorption of reactive dyes by dried *Rhizopus arrhizus*: Determination of column capacity" **J. of. Hazard Mater.**, 143, pp 362-371.
- Alshameri A., Yan Ch., Lie X. (2014) "Enhancement of phosphate removal from water by  $TiO_2$  Yemeni natural zeolite: preparation, characterization and thermodynamic" **J. of. Microporous Mesoporous Mater.**, 196, pp 145-157.
- Alver E. and Metin A.U. (2012) "Anionic dye removal from aqueous solution using modified zeolite: Adsorption Kinetic and isotherm studied" **J. of. Chem. Eng.**, 200-202, pp 59-67.
- Atasoy A.D., Yesilncar M.I., Sahin M.O. (2013) "Removal of Fluoride contaminated Ground Water using Raw and Modified Bauxite" **J.of. Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, 91, pp 595-599.
- Ayoob S., Gupta A.K., Bhakat P.B. (2007) "Performance evaluation of modified Calcined Bauxite in the sorptive removal of arsenic (III) from aqueous environment" **J. of. Colloids Surf., A.**, 293, pp 247-254.
- Bardossy G. (1982) "**Karst bauxite- bauxite deposit on carbonate rocks**" Development in Economic geology. Elsevier, Amsterdam, 27, 624p.
- Bhat S.V., Melo J.S., Chaugule B.B., Souza S.F. (2008) "Bio sorption characteristics of uranium(VI) from aqueous medium onto *Catenella repens*, a red alga" **J. of. Hazard**

**Mater.**, 158, pp 628-635.

Bhakat P.B., Gupta A.K., Ayoob s., Kundu S. (2006) “Investigations on arsenic (V) removal by modified calcined bauxite” **J.of. Colloids Surf A.**, 281, pp 237-245.

Buzea C., Pacheo I.I., Robbie K. (2007) “Nanomaterials and nanoparticles: source and toxicity” **J. of, Bio Mater Biolo inter faces.**

Carbone C., Dinelli E., Marescotti P., Gasparotto G., Lucchetti G. (2013) “The role of AMD secondary minerals in controlling environmental pollution: Indication from bulk leaching tests” **J. of. Geo Chem Explor.**, 132, pp 188-200.

Daniel de Namor A., Gamouz A.E., Frangie S., Martinez V., Valiente L., Webb O.A. (2012) “ Turning the volume down on heavy metals using tuned diatomite .A review of diatomite and modified diatomite for the extraction of heavy metals from water” **J. of. Hazard Mater.**, 241-242, pp 14-31.

Deb, A., Joshi, A. (2015) “Petrological studies on two East Coast Bauxite deposits of India and implication their genesis” **J. of Sedimen Geol.**, 39, 121-139.

Deniz F. and Saygideger S.D. (2010) “Investigation of adsorption characteristic of BasicRed46 on to gypsum: Equilibrium Kinetic and thermodynamic studies” **J. of. Desalination.**, 262, pp 161-165.

Devi S., Muruguppan A., Rajesh Kannan R. (2015) “The Comparative Study on Sorption of Basic Violet 10 by cost- effective sorbent” **Int J of Chem Tech Res**, 7, pp1772-1781.

Dissanayake C.B., Rupasinghe M.S (1995) “Environmental impact of mining erosion and sedimentation in Sri Lanka” **J. of. Environ stud.**, 51, pp 31-50.

Drexler K.E. (1992) “**Nano systems Molecular Machinery, Manufacturing and computation**” pp160.

Erdem M., Altundogan H.S., Tumen F. (2004) “Removal of hexavalent chromium by using heat-activated bauxite” **J. of. Miner Eng.**, 17, pp 1045-1052.

Foo K.Y., Hameed B.H. (2010) “Insights into the modeling of adsorption isotherm systems” **J. of. Chem. Eng.**, 156, pp 2-10.

Georgiadis I.k., Papadopoulos A., Filippidias, A., Godelitsa, A., Tsirambides, A., Vogiatzis, D., (2013) “Removal of Malachite Green dye from aqueous solution by diasporic Greek raw bauxite” bulletin of the geological society of Greece, XLVII.

Ghosh D., Sarkar S., Sengupta A.K., Gupta A. (2004) “Investigation on the long-term storage and fate of arsenic obtained as a treatment residual: A case study” **J. of. Hazard Mater.**, 271, pp 302-310.



- Goldberg S. (1990) "Adsorption Models incorporated into chemical equilibrium models" U.S, salinity laboratory.
- Ijagbemi O.Ch., Beak M.H., Kim S.D. (2009) "Montmorillonite surface properties and sorption characteristics for heavy metal removal from aqueous solutions" *J. of. Hazard Mater.*, 166, 538-546
- Irani M., Amjadi M., Mousavian M.A. (2011) "Comparative study of lead sorption onto natural perlite, dolomite and diatomite" *J. of. Hazard Mater.*, 178, pp 317-323.
- Kapoor A., Viraraghavan T., Cullimore D. R. (1999) "Removal of heavy metals using the fungus *Aspergillus niger*" *J. of. Biores. Technol.*, 70, pp 95-104.
- Khajeh H.D., Toshikazu K., Uichiro T., Ugur P. (2013) "A comparison of Laboratory Based and Synchrotron Based Nano X-ray CT for PEFC Micro Porous Layer" **J. of. Electrochem. Soc.**, 58, 345-352.
- Khambhaty Y. (2009) "Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies on Bio sorption of hexavalent chromium by dead fungal biomass of marine *Aspergillus niger*" **J.of. Chem Eng.**, 145, pp 489-495.
- Kiyers A., Zalesky R., Tydda M., Goworek J. (2013) "What can positronium tell us about adsorption?" **J. of. Adsorption.**, 19, pp 529-535.
- Kratchvil D., Voleskey B. (1998) "Advances in the biosorption of heavy metals" *J. of. TIBTECH.*, 16, pp 291–300.
- Langmuir, I. (1918) "Adsorption of gases on plain surfaces of glass mica platinum" **J. of Amer Chem Soc.**, 40, pp 1361-1403.
- Larry D. B., Judkins F.J., Wend B.L. (1982) "Process chemistry for water and wastewater treatment" Prentice-Hall, INC., pp191-210.
- Leiviska T., Sarpola A., Tanskanen J. (2012) "Removal of lipophilic extractives from debarking wastewater by adsorption on kaolin or enhanced coagulation with chitosan and kaolin" **J. of. Appl. Clay Sci.**, 61, pp 22-28.
- Li L.W., Wei S., Hua H.U. (2012) "Effects of water hardness on selective flocculation of diasporic bauxite" *Transaction of Nonferrous Metals Society of China.*, 22, pp 2248-2254.
- Li Ch., Duan H., Wang X., Meng X., Qin D. (2015) "Fabrication of porous resins via solubility differences for adsorption of cadmium (II)" **J. of. Chem Eng.**, 262, pp 250-259.
- Limousin, G., Gaudet, J.P., Charlet, L., Szenkecs, S., Barthes, V., Krimissa, M. (2007).

- J. of Appl Geo chem, 22, pp 249-275.
- Lin C.C., YT Lai. (2006) “Adsorption and recovery of lead (II) from aqueous solutions by immobilized *Pseudomonas aeruginosa* PU21 beads” **J. of Hazard Mater.**, 137, pp 99–105.
- Lopes T.J., Gonçalves O.H., Quadri M.G.N., Machado R.A.F., Quadri M.B. (2014) “Adsorption of anthocyanins using clay polyethylenanocomposite particles” **J. of Appl Clay Sci.**, 87, pp 298-302.
- Mameli P., Mongelli G. (2007) “Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra (Western Sardinia, Italy): insights on condition of formation and parental affinity” *J. Of. Earth Sci.*, 96, pp 887-902.
- Nadaroglu H., Kalkan E. (2013) “Removal of cobalt (II) ions from aqueous solution by using alternative adsorbent industrial red mud waste material” **J. of. Eng and Appl Sci.**, 8, pp 933-943.
- Najafi M., Yousefi Y., Rafati A.A.(2011) “Synthesis, characterization and adsorption studies of several heavy metal ions on amino-functionalized silica nano hollow sphere and silica gel” **J. of. Sep Purif Technol.**, 85, 193-205.
- Noroozi, Sh., Badi, Kh., Dolati Ardejani, F., (2010) “Activated bauxite waste as an adsorbent for removal of Acid blue 92 from aqueous solutions” **J. of. Water Sci Technol.**, 62.11, pp 2491-2500.
- Nouren, Sh., Bhatti, H.N., (2015) “Mechanistic study of degradation of basic violet 3 by Citrus Limon Peroxidase and phytotoxicity assessment of its degradation products” **J. of. Biochem Eng**, 95, 9-19.
- Olgun A., Atar, N. (2009) “Equilibrium and Kinetic Adsorption Study of Basic Yellow 28 and Basic Red46 by a Born Industry Waste” *J. of. Hazard Mater.*, 161, pp 148-156.
- Oboh I.O., Aluyor E.O., Audu T.O.k. (2009) “Use of *Chrysophyllum albidum* for the removal of metal ions from aqueous solution” **J. Of. Sci Res Essay.**, 4, pp 632-635.
- Ratnamala G.M., Shetty K.V., Serinikethan G. (2012) “Removal of Remazol Brilliant Blue Dye from Dye-Contaminated Water by Adsorption Using Red Mud: Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies” **J. of. Water Air Soil Pollut.**, 223, pp 6187-6199.
- Ravichandran, P., Sowmya, A., Minashki, S. (2012) “Removal of Basic Violet 10 from Aqueous Solution Using Activated Carbons prepared from Industrial waste” **J. of. Bioremediation.** 16, pp 86-96.
- Rivas B.L., Pereira E.D., Palencia M., Sánchez, J. (2011) “Water solufunctional polymers

in conjunction with membranes to remove pollutant ions from aqueous solutions” **J. of Prog. Polym Sci.**, 36, pp 294-322.

Roldan M.L., Silvia A., Rizzo C. (2014) “An improved methodology for the characterization and identification of sepia in works of art by normal Raman and SERS, complemented by FTIR, Py-GC/MS, and XRF<sup>†</sup>” **J. of Raman Spectrosc.**, 45, pp1160-1171.

Sadeghi M., Sarabadani P., Karami H. (2009) “Synthesis of maghemite nano-particles and its application as radionuclidic adsorbant to purify <sup>109</sup>Cd radionuclide” **J. of Radioanal Nucl Chem.**, 283, pp 297-303.

Santosh P., Dehandapani C. (2013) “Adsorption Studies on the Removal of Chromium (VI) from Wastewater Using Activated Carbon Derived from water Hyacinth” **J. of Nature Environ Pollut Technol.**, 12, pp 563-568.

Safarzadeh-Amiri A., Bolton J.R., Cater S.R. (1997) “Ferrioxalate mediated photo degradation of organic pollutants in contaminated water” **J. of Water Res.**, 31, pp 787-798.

Seifpanahi-Shabani Q., Dolati-Aredjani F., Badii Kh., Olya M.E. (2013) “Preparation and characterization of novel nano-mineral for the removal of several heavy metals from aqueous solution: Batch and continuous systems” **Arabian J. Chem.**, 20 pages.

Sips, R. (1948) “On the structure of a catalyst surface” **J. of Chem. Phys.** 16, pp 490.

Shenke E.D., Bond A.R., “Russian Bauxite Resources: Current Assessment” **J. of Int Geol.**, 35, pp 1052-1061.

Sherivastava A.K. (2010) “Remediation of arsenic from water /wastewater using engineered carbon (EC)” **Afr J. Pure Appl Chem.**, 4(8), pp. 166-172.

Sparks, D.L., Reheigl, J.E. (1982) “Comparison of batch and miscible displacement techniques to describe potassium adsorption kinetics in Delaware soils” **J. of Soil Sci. Soc. Am.** 46, pp 875–877.

Sposito, G. (1984) “**The Surface Chemistry of Soils**” Oxford University Press, New York, USA.

Sposito V.G. (1989) “**The chemistry of soil**” Oxford university.

Smith, J.T., Comans, R.N.J. (1996) “Modeling the diffusive transport and remobilisation of <sup>137</sup>Cs in sediments: the effects of sorption kinetics and reversibility” **J. of Geochim. Cosmochim Acta.**, 60, 995–1004.

- Stefanakis A.I., Tsihrintzis V.A. (2012) "Use of zeolite and bauxite as filter media treating the effluent of Vertical Flow Constructed Wetland" **J. Of. Microporous and Mesoporous Mater.**, 155, pp 106-116.
- Sud D., Mahajan G., Kaur M.P. (2008) "Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions A review" **J. of. Biores. Technol.**, 99, pp 6017-6027.
- Toit I., Jahnsen H., Johnstone A. (1998) "Assesing ground water quality trends after mine closure-the south African situation" symposium on mine water and environmental impact, P.J Norton., M. Veselic (Eds)., **prosseding Volume 2, Johannesburg, south Africa**, pp 355-369.
- Turan M.D., Altongugan H.S. (2014) "A study on Cr (VI) reduction from aqueous solutions by bauxite" **J. of. Cent south Univ T.** 21, pp1961-1967.
- Valton I. (1973) "Pre-bauxite Red sediments and the underlying sediments of Suriname and Guyana". **J. Of.Geol. Mijnbouw.**, 52, pp 317-334.
- Vijayaraghavan K., Yun YS., (2008) "Bacterial biosorbents and biosorption" **J. of. Bio tech adv.**, 26, pp 266-291.
- Volesky B., Holan Z.R (1995) "Biosorption of heavy metals" **J. of. Bio Technol.**, 11, pp 235-250.
- Volesky B. (2007) "Bio sorption and me" **J. of. Water Res.**, 41, pp 4017-4029.
- Volesky B., Holan Z.R (1995) "Biosorption of heavy metals" **J. of. Bio Technol.**, 11, pp 235-250.
- Wanderson R., Franco M.F., Bueno M., Eberlin N.M., De-Paoli M.A. (2010) "Analysing Metals in Bottle-Grade Poly(ethyleneterephthalate) by X-ray Fluorescence Spectrometry" **J. of. Appl Polym Sci.**, 117, pp 2993-3000.
- Wang R., Cai X., Shen F. (2014) "TiO<sub>2</sub>hollow microspheres with mesoporous surface: Superioradsorption performance for dye removal" **J. of. Appl Surf Sci.**, 305, pp 352-358.
- Wang S., Boyjoo Y., Chouib A., zhu Z.H. (2005) "Removal of dyes from solution using fly ash and red mud" **J.of. Water Res.**, 39(1), 129-138.
- Wang Q., Luan Z., Wei N., Li J., Liu C. (2009) "The color removal of dye wastewater by magnesium chloride/red mud (MRM) from aqueous solution" **J. of. Hazard Mater.**, 170, pp 690-698.
- Wu J., Yu H.Q. (2008) "Biosorption of 2, 4-dichlorophenol from aqueous solutions by Immobilized Phanerochaete chrysosporium biomass in a fixed-bed column" **J. of. Chem**

---

**Eng.**, 138, pp128-135.

Werth C.j., Reinhard M. (1997) “Effects of Temperature on Trichloroethylene Desorption from Silica Gel and Natural Sediments. 2. Kinetics” **J. of. Environ Sci. Technol.**, 31, 697-703.

Xu L., Hu Y., Dong F., Gao Z., Wu H., Wang Z. (2014) “Anisotropic adsorption of oleate on Diaspor and Kaolinite crystals: Implications for their flotation separation” **J. of. Appl. Surf. Sci.**, 32, 331-338.

Yakun H., Wenming D., Xia H., Jingnian X. (2011) “Fluoride Removal by Lanthanum Alginate Bead: Adsorbent Characterization and Adsorption Mechanism” **J. of. Sep Sci. Eng.**, 19(3), pp 365-370.

# Abstract

---

## Abstract

Waste water of many factory and mining industries contain high levels of toxic heavy metals and organic contaminants. Adsorption is one of the simplest and cheapest method, among the physical and chemical treatment method. In this investigation, the possibility of removing organic and metal contaminants by bauxite nanoparticles was considered. So removal of the Basic Red-46, Basic Violet-10 dyes; Ni, Co ion from aqueous solution; Cu and Mn from binary sewage were examined. During the removing experiments the effective parameters such as pH, temperature, time contact, initial concentration, dosage adsorbent were investigated. Experiment data were fitted by Langmuir, Freundlich, Temkin isotherm models and pseudo-first order, pseudo-second order and intra particle diffusion kinetic models. Based on the result, in all experiments the pollutant removal were increased with increasing dosage of adsorbent and decreasing of initial concentration, during the time balance (approximately 120 minutes) to reach desorption pollutants, removal increases and then remains constant. Removal efficiency for BR-46 was determined %57.28 within exothermic reaction in the following condition: (pH 5, temperature 21°C, basic red 46 solution concentration 20 ppm and adsorbent dosage 0.2g). With the same conditions of temperature, concentration, dosage of adsorbent, and pH 6.5 removal efficiency of %53.66 for Basic Violet-10 was in endothermic reaction respectively. Removal efficiency was determined %97.85 for Ni and %97.09 for Co in endothermic reaction in the following condition: (temperature=20°C, adsorbent dosage=0.2g, pH=6.29 for Ni ion, pH=7 for Co ion). Cu and Mn wastewater removal obtained efficiency of approximately %99/68 for Cu and %88.32 for Mn.

## Key Words

Adsorption, BR-46, BV-10, Ni and Co Ion, Isotherm, Kinetic.



**University of shahrood**

**Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering**

**Feasibility study of nano bauxite application for pollutants removal  
from industrial waste water**

**Mahboobe Tabari**

**Supervisor(s)**

**Dr. A. Abedi**

**Dr. K. Seifpanahi shabani**

**November 2015**