

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



کارشناسی ارشد شیمی (تجزیه)

مطالعه حذف تکی و دوتایی یون‌های سرب (II)، کروم (III) و کروم (VI) از محلول‌های آبی با استفاده از برگ سنجد و پیش تغلیظ یون کبالت (II) با استخراج به روش نقطه ابری

استاد راهنما:

دکتر جواد ذوالقرنین

استاد مشاور:

دکتر محمدرضا سنگی

پژوهشگر:

سعیده آهنگرانی فراهانی

دانشگاه اراک

بهمن 89

## بسم الله الرحمن الرحيم

مطالعه حذف تکی و دوتایی یون های سرب (II)، کروم (III) و کروم (VI) از محلول های آبی با استفاده از برگ سنجد

و

پیش تغلیظ یون کبالت (II) با استخراج به روش نقطه ابری

توسط:

سعیده آهنگرانی فراهانی

پایان نامه ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته شیمی (گرایش تجزیه)

از دانشگاه اراک

اراک - ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با نمره: ۱۹,۱ <sup>عالی</sup> درجه

دکتر جواد ذوالقرنین (استاد راهنما).....  
دانشیار

دکتر علیرضا صلابت (داور خارجی).....  
دانشیار

دکتر فرزاد بامداد (داور داخلی).....  
استادیار

دکتر محمد رضا سنگی (استاد مشاور).....  
استادیار

## مطالعه حذف تکی و دوتایی یون‌های سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) از محلول‌های آبی با استفاده از برگ سنجد

و

### پیش تغلیظ یون کبالت(II) با استخراج به روش نقطه ابری

در این مطالعه از برگ درخت سنجد برای حذف تکی و دوتایی یون‌های سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) از محیط‌های آبی استفاده شد. اثر تعدادی از عوامل موثر مانند pH، دما، مقدار جاذب، غلظت اولیه یون فلزی و اثر زمان تماس مورد بررسی قرار گرفت. برای حذف تکی یون‌های ذکر شده از همدم‌های لانگمویر، فروندلیچ، دابینین-رادشکوچ و برای حذف همزمان یون‌های سرب(II) و کروم(III) از همدم‌های لانگمویر اصلاح شده، لانگمویر تا حدی رقابتی و فروندلیچ سه پارامتری استفاده شد. برای هر سه یون مدل لانگمویر تطابق بهتری با داده‌های تجربی نشان می‌دهد. ترتیب ظرفیت جذب یون‌های فلزی مورد مطالعه بر جاذب سنجد به ترتیب:  $Pb(II) > Cr(III) > Cr(VI)$ . داده‌های سینتیکی با استفاده از مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم مورد مطالعه قرار گرفت. سینتیک فرآیند جذب یون‌های سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد از مدل سینتیکی درجه دوم تبعیت می‌کند. اثر نمک‌های نیترات منیزیم، نیترات کلسیم، نیترات سدیم و نیترات پتاسیم بر روی راندمان حذف یون‌های سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) بررسی شد، نتایج نشان می‌دهد که حضور کاتیون‌های  $Na^+$ ،  $K^+$ ،  $Mg^{2+}$  و  $Ca^{2+}$  اثر قابل ملاحظه‌ای بر بازده حذف یون‌های مورد بررسی ندارد. ضمناً وا جذبی این یون‌ها به وسیله  $HCl$ ،  $HNO_3$  و  $CH_3COOH$  بررسی شد.

پس از بهینه‌سازی با روش یک عامل در زمان، از روش طرح آماری آزمایش برای بهینه‌کردن شرایط جذب زیستی یون‌های سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) بر برگ سنجد استفاده شد. از طرح باکس - بنکن برای بررسی اثر ۴ عامل اصلی pH، دما، غلظت جاذب ( $C_s$ ) و غلظت یون فلزی ( $C_m$ ) بر جذب سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد در سه سطح استفاده

شد. اثرات اصلی و اثرات متقابل بین عامل‌ها بررسی و یک مدل ریاضی مناسب برای فرآیند جذب پیشنهاد شد. بررسی طیف FT-IR برای جاذب قبل و پس از افزودن یون‌های فلزی نشان دهنده گروه‌های عاملی در گیرشونده در فرآیند جذب زیستی است.

از تکنیک استخراج نقطه‌ی ابری (CPE) جهت استخراج و اندازه‌گیری کبالت (II) با روش جذب اتمی شعله به کار گرفته شد. به منظور بهینه کردن متغیرهای موثر در استخراج و جداسازی از روش یک عامل در زمان و سپس روش طرح باکس-بنکن استفاده شد. تحت شرایط بهینه  $\text{pH}=6/2$ ، غلظت لیگاند دی‌تیزون برابر با  $10^{-5}$  مولار و غلظت سورفاکتانت تریتون X-114 برابر با  $0/26$  (v/v)٪ و زمان حمام  $13/2$  دقیقه برای  $10$  میلی لیتر محلول شامل کبالت (II)، فاکتور تغلیظ برابر با  $5$  به دست آمد. اثرات اصلی و اثرات متقابل بین عامل‌ها بررسی و یک مدل ریاضی مناسب برای فرآیند استخراج پیشنهاد شد. منحنی کالیبراسیون روش از  $15$  تا  $40$  میکروگرم بر لیتر خطی با ضریب تعیین برابر  $0/9992$  گزارش شد. حد تشخیص روش تحت شرایط بهینه برابر  $0/28$  میکروگرم بر لیتر به دست آمد. درصد خطای نسبی (RSD) برابر  $1/3$ ٪ حاصل شد.

1	فصل اول - مقدمه
2	1-1 مقدمه
3	2-1 روش‌های زیستی حذف فلزات سنگین
4	3-1 جذب زیستی
4	1-3-1 مکانیسم‌های جذب زیستی
6	2-3-1 مزایای جذب زیستی
7	4-1 ویژگی‌های جاذب زیستی کارآمد
8	5-1 احیا و بازیابی
8	6-1 فلزات سنگین
9	1-6-1 سرب
9	2-6-1 کروم
10	7-1 همدماهای جذب
11	1-7-1 طبقه بندی همدماهای جذب از نظر کیفی
13	8-1 روش‌های بهینه‌سازی
13	1-8-1 روش تغییر یک عامل در زمان
13	2-8-1 روش طرح آزمایش
14	3-8-1 روش شناسی سطح پاسخ
15	4-8-1 روش باکس - بنکن

17.....	فصل دوم- مروری بر تاریخچه.....
18 .....	1-2 مروری بر تاریخچه .....
28.....	فصل سوم- کار تجربی .....
29.....	1-3 کار تجربی .....
29 .....	1-1-3 مواد و وسایل مورد استفاده .....
30.....	2-1-3 روش کار .....
32.....	2-3 بررسی جذب محلول‌های تک فلزی سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد.....
32.....	1-2-3 مطالعه بازده جذب به صورت تابعی از زمان.....
34.....	1-1-2-3 مطالعه بازده حذف محلول‌های سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) به صورت تابعی از زمان .....
34.....	2-2-3 اثر pH بر بازده حذف و ظرفیت جذب .....
34.....	1-2-2-3 اثر pH بر بازده حذف و ظرفیت جذب یون‌های سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد.....
36.....	3-2-3 اثر غلظت جاذب بر بازده حذف و ظرفیت جذب.....
36.....	1-3-2-3 اثر غلظت جاذب بر بازده حذف و ظرفیت جذب سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد.....
38.....	4-2-3 اثر غلظت اولیه یون فلزی بر بازده حذف و ظرفیت جذب .....
38.....	1-4-2-3 اثر غلظت اولیه سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) بر بازده حذف و ظرفیت جذب سنجد.....

40.....	5-2-3 مطالعه همدمای جذب
40.....	1-5-2-3 همدمای لانگمویر
45.....	2-5-2-3 همدمای فروندلیچ
50.....	3-5-2-3 همدمای دابنین -رادشکوچ (D-R)
54.....	4-5-2-1 فاکتور جداسازی
55.....	6-2-3 سینتیک جذب سرب(II) و کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد
55.....	1-6-2-3 مدل سینتیکی شبه مرتبه اول
56.....	2-6-2-3 مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم
56.....	3-6-2-3 مدل سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم برای جذب سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد
58.....	7-2-3 فرآیند نفوذ درون ذره ای
61.....	8-2-3 اثر دما و محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی
61.....	1-8-2-3 اثر دما و محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی یون های سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI)
64.....	9-2-3 اثر نمک بر بازده جذب سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI)
64.....	1-9-2-3 اثر نمک بر بازده جذب سرب(II) توسط جاذب سنجد
65.....	2-9-2-3 اثر نمک بر بازده جذب کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد
66.....	10-2-3 احیا و وا جذبی
68.....	11-2-3 بررسی میزان جذب سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد در نمونه‌های حقیقی



12-2-3	بهینه سازی عوامل موثر بر حذف سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط برگ سنجد با استفاده از	69
1-12-2-3	طرح آماری آزمایش	69
1-12-2-3	اجرای طرح باکس - بنکن	69
2-12-2-3	تعیین عوامل تاثیرگذار بر بازده و ظرفیت جذب	74
3-11-2-3	نقش عوامل اصلی	77
4-11-2-3	اثرات متقابل بین عامل‌ها	79
5-11-2-3	ارائه مدل مناسب حذف	88
6-11-2-3	بهینه سازی همزمان با استفاده از روش طرح آزمایش	91
2-3	بررسی جذب مخلوط دوفلزی سرب(II) و کروم(III) توسط جاذب سنجد	92
1-2-3	مطالعه درصد حذف مخلوط سرب(II) - کروم(III) به صورت تابعی از زمان	92
2-2-3	اثر pH بر درصد حذف و ظرفیت جذب مخلوط‌های دوفلزی	93
1-2-2-3	اثر pH بر درصد حذف و ظرفیت جذب مخلوط سرب(II) - کروم(III) توسط جاذب سنجد	93
3-2-1	اثر غلظت اولیه یون‌های سرب(II) و کروم(III) بر درصد حذف و ظرفیت جذب مخلوط سرب(II) -	95
3-2-1	کروم(III) توسط جاذب سنجد	95
4-2-3	اثر غلظت جاذب بر بازده حذف و ظرفیت جذب مخلوط سرب(II) - کروم(III) توسط جاذب سنجد	97
5-2-3	مطالعه همدمای جذب در سیستم دو جزیی	98
1-5-2-3	همدمای لانگمویر اصلاح شده	98
2-5-2-3	مدل لانگمویر تا حدی رقابتی	100

102.....	3-5-2-3 مدل فروندلیچ سه پارامتری
104.....	6-2-3 اثر نمک‌ها بر بازده جذب مخلوط سرب(II) – کروم(III) توسط جاذب سنجد
105.....	7-2-3 احیا و واجذبی مخلوط سرب(II) – کروم(III) از جاذب سنجد
107.....	فصل چهارم - بحث و نتیجه گیری
108.....	1-4 اثر زمان تماس جاذب بر بازده جذب فلز
109.....	2-4 اثر pH
110.....	3-4 اثر جرم جاذب
110.....	4-4 اثر غلظت اولیه فلز
111.....	5-4 همدماهای جذب
112.....	1-5-4 همدماهای لانگمویر، فروندلیچ و D-R در حذف یون سرب، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد
114.....	2-5-4 مدل‌های همدمای لانگمویر تغییر یافته، لانگمویر تا حدی رقابتی و فروندلیچ سه پارامتری در حذف همزمان یون‌های سرب(II) و کروم(III)
115.....	6-4 بررسی سینتیک جذب یون‌های سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد
116.....	1-6-4 فرایند نفوذ درون ذره‌ای
117.....	7-4 اثر دما و پارامترهای ترمودینامیکی
117.....	8-4 بررسی اثر مزاحمت نمک‌ها بر فرایند جذب
118.....	9-4 بررسی واجذبی و احیا

119.....	10-4 بررسی گروه‌های عاملی .....
122.....	11-4 جمع‌بندی کلی .....
123.....	فصل پنجم - پیش تغلیظ مقادیر کم کبالت (II) با روش استخراج نقطه ابری.....
124.....	1-5 مقدمه .....
124.....	1-1-5 کبالت.....
124.....	2-1-5 ۱،۵- دی فنیل تیوکاربازون .....
125.....	3-1-5 مواد فعال سطحی .....
126.....	4-1-5 تشکیل مایسل و غلظت بحرانی مایسل (CMC) .....
127.....	5-1-5 استخراج نقطه‌ی ابری (CPE).....
127.....	2-5 تاریخچه .....
129.....	3-5 دستگاه‌ها و مواد مورد نیاز .....
130.....	4-5 تعیین گستره خطی دستگاه جذب اتمی شعله .....
130.....	5-5 بررسی پارامترها و بهینه سازی عوامل مؤثر بر استخراج کبالت با استفاده از روش یک متغیر در زمان .....
131.....	1-5-5 بهینه سازی pH .....
132.....	2-5-5 بهینه سازی غلظت لیگاند.....
133.....	3-5-5 بهینه سازی غلظت تریتون X-114.....
134.....	4-5-5 بهینه سازی دما .....

135.....	5-5-5 بهینه سازی زمان حمام.....
136.....	6-5-5 بهینه سازی زمان سانتریفیوژ.....
137.....	7-5-5 بهینه سازی سرعت چرخش سانتریفیوژ.....
138.....	8-5-5 شرایط بهینه.....
139.....	6-5 بررسی پارامترها و بهینه سازی عوامل مؤثر بر استخراج کبالت با استفاده از طرح آزمایش.....
141.....	1-6-5 تعیین عوامل تاثیرگذار بر استخراج یون کبالت(II).....
141.....	2-6-5 نقش عوامل اصلی.....
142.....	3-6-5 اثرات متقابل بین عامل ها.....
143.....	4-6-5 ارائه مدل مناسب استخراج کبالت(II).....
143.....	5-6-5 بهینه سازی توسط طرح آزمایش آماری.....
146.....	7-5 ارقام شایستگی روش.....
146.....	1-7-5 منحنی کالیبراسیون.....
147.....	2-7-5 حد تشخیص (LOD).....
147.....	3-7-5 دقت روش.....
148.....	8-5 نتیجه گیری.....
149.....	منابع.....

فصل سوم

- جدول 3-1 بازده جذب یون‌های سرب (II)، کروم (III) و کروم (VI) توسط 5 جاذب گیاهی ..... 32
- جدول 3-2 پارامترهای مدل لانگمویر خطی در جذب سرب، کروم (III) و کروم (VI) توسط جاذب سنجد در pH های 2 تا 5 ..... 44
- جدول 3-3 پارامترهای مدل لانگمویر غیر خطی در جذب سرب، کروم (III) و کروم (VI) توسط جاذب سنجد در pH های 2 تا 5 ..... 44
- جدول 3-4 پارامترهای مدل فروندلیچ خطی در جذب سرب، کروم (III) و کروم (VI) با جاذب سنجد ..... 46
- جدول 3-5 پارامترهای مدل فروندلیچ غیر خطی در جذب سرب، کروم (III) و کروم (VI) با جاذب سنجد ..... 46
- جدول 3-6 پارامترهای مدل D-R در جذب سرب (II)، کروم (III) و کروم (VI) با جاذب سنجد ..... 52
- جدول 3-7 پارامترهای مدل سینتیکی مرتبه اول و مرتبه دوم در جذب سرب، کروم (III) و کروم (VI) توسط جاذب سنجد ..... 57
- جدول 3-8 پارامترهای مدل نفوذ درون ذره‌ای برای جذب یون‌های سرب، کروم (III) و کروم (VI) توسط جاذب سنجد ..... 59
- جدول 3-9 پارامترهای ترمودینامیکی در جذب سرب (II)، کروم (III) و کروم (VI) برای جاذب سنجد ..... 64
- جدول 3-10 بازده واجذبی سرب، کروم (III) و کروم (VI) توسط HCl، HNO<sub>3</sub> و CH<sub>3</sub>COOH در غلظت‌های مختلف برای جاذب سنجد ..... 67
- جدول 3-11 یون‌های موجود در پساب‌های آبکاری و کلروفریک ..... 68
- جدول 3-12 میزان حذف یون‌های سرب و کروم در پساب‌های آبکاری و کلروفریک در pH طبیعی پسابها ..... 68
- جدول 3-13 عامل‌های اصلی در طرح باکس- بنکن برای جذب سرب (II)، کروم (III) و کروم (VI) توسط جاذب سنجد ..... 70
- جدول 3-14 طرح باکس - بنکن با 4 عامل، 3 بار تکرار در نقطه مرکزی و 2 بار تکرار هر آزمایش برای پاسخ بازده حذف (R) و Lnq در حذف سرب (II) توسط جاذب سنجد ..... 71

- جدول 3-15 طرح باکس - بنکن با 4 عامل، 3 بار تکرار در نقطه مرکزی و 2 بار تکرار هر آزمایش برای پاسخ بازده حذف (R) و پاسخ  $\ln q$  در حذف کروم (III) توسط جاذب سنجد.....72
- جدول 3-16 طرح باکس - بنکن با 4 عامل، 3 بار تکرار در نقطه مرکزی و 2 بار تکرار هر آزمایش برای پاسخ بازده حذف (R) و پاسخ  $\ln q$  در حذف کروم (VI) توسط جاذب سنجد.....73
- جدول 3-17 پارامترهای آماری برای طرح باکس - بنکن انجام شده برای پاسخ بازده حذف (R) سرب (II) توسط جاذب سنجد.....74
- جدول 3-18 پارامترهای آماری برای طرح باکس - بنکن انجام شده برای پاسخ بازده حذف (R) کروم (III) توسط جاذب سنجد.....75
- جدول 3-19 پارامترهای آماری برای طرح باکس - بنکن انجام شده برای پاسخ بازده حذف (R) کروم (VI) توسط جاذب سنجد.....75
- جدول 3-20 پارامترهای آماری برای طرح باکس - بنکن انجام شده برای پاسخ  $\ln q$  سرب (II) توسط جاذب سنجد.....76
- جدول 3-21 پارامترهای آماری برای طرح باکس - بنکن انجام شده برای پاسخ  $\ln q$  کروم (III) توسط جاذب سنجد.....76
- جدول 3-22 پارامترهای آماری برای طرح باکس - بنکن انجام شده برای پاسخ  $\ln q$  کروم (VI) توسط جاذب سنجد.....77
- جدول 3-23 نتایج آنالیز واریانس برای پاسخ R مربوط به جذب سرب (II) توسط جاذب سنجد.....83
- جدول 3-24 نتایج آنالیز واریانس برای پاسخ R مربوط به جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد.....83
- جدول 3-25 نتایج آنالیز واریانس برای پاسخ R مربوط به جذب کروم (VI) توسط جاذب سنجد.....84
- جدول 3-26 نتایج آنالیز واریانس برای پاسخ  $\ln q$  مربوط به جذب سرب (II) توسط جاذب سنجد.....84
- جدول 3-27 نتایج آنالیز واریانس برای پاسخ  $\ln q$  مربوط به جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد.....84
- جدول 3-28 نتایج آنالیز واریانس برای پاسخ  $\ln q$  مربوط به جذب کروم (VI) توسط جاذب سنجد.....85
- جدول 3-29 بهینه سازی همزمان R و  $\ln q$ .....91

جدول 3-30 پارامترهای مدل لانگمویر تغییر یافته غیرخطی در جذب یون‌های سرب (II) و کروم (III) توسط جاذب  
سنجد در مخلوط سرب (II) – کروم (III) ..... 99

جدول 3-31 پارامترهای مدل لانگمویر تا حدی رقابتی غیرخطی در جذب یون‌های سرب (II) و کروم (III) توسط  
جاذب سنجد در مخلوط سرب (II) – کروم (III) ..... 101

جدول 3-32 پارامترهای مدل فروندلیچ سه پارامتری غیرخطی در جذب یون‌های سرب (II) و کروم (III) توسط  
جاذب سنجد در مخلوط سرب (II) – کروم (III) ..... 103

جدول 3-33 بازده واجذبی سرب (II) و کروم (III) توسط HCl ، HNO<sub>3</sub> و CH<sub>3</sub>COOH در غلظت‌های مختلف  
برای جاذب سنجد ..... 106

#### فصل چهارم

جدول 4-1 مشخصات برخی پیک های IR در جذب یون‌های سرب (II)، کروم (III) و کروم (VI) و در جذب مخلوط  
یون‌های سرب – کروم (III) ..... 119

#### فصل پنجم

جدول 5-1 شرایط بهینه بدست آمده برای استخراج یون کبالت (II) ..... 138

جدول 5-2 عامل‌های اصلی در طرح باکس - بنکن برای جذب سرب کروم (III) و کروم (VI) توسط جاذب سنجد ..... 139

جدول 5-3 طرح باکس – بنکن با 4 عامل، 3 بار تکرار در نقطه مرکزی و 2 بار تکرار هر آزمایش برای پاسخ جذب  
(ABS) در استخراج نقطه ابری برای پیش تغلیظ مقادیر فرا ناچیز کبالت (II) ..... 140

جدول 5-4 پارامترهای آماری برای طرح باکس - بنکن انجام شده برای پاسخ جذب (ABS) در استخراج نقطه  
ابری برای پیش تغلیظ مقادیر فرا ناچیز کبالت (II) ..... 141

جدول 5-5 نتایج آنالیز واریانس برای پاسخ جذب (ABS) در استخراج نقطه ابری برای پیش تغلیظ مقادیر فرا  
ناچیز کبالت (II) ..... 144

جدول 5-6 نتایج به دست آمده برای حدتشیص ..... 147

جدول 5-7 نتایج به دست آمده برای دقت روش ..... 148



فصل اول

- شکل 1-1 انواع روش های حذف زیستی ..... 4
- شکل 2-1 ساختار دیواره سلول گیاهی ..... 5
- شکل 3-1 دسته بندی همدماهای جذب از نظر کیفی ..... 12
- شکل 4-1 طرح تغییر یک عامل در زمان با سه متغیر ..... 16
- شکل 5-1 طرح باکس-بنکن با سه متغیر ..... 16

فصل سوم

- شکل 1-3 برگ سنجد ..... 29
- شکل 2-3 نمودار تغییرات درصد حذف سرب برای جاذب سنجد بر حسب زمان تماس ..... 33
- شکل 3-3 نمودار تغییرات درصد حذف کروم (III) و کروم (VI) برای جاذب سنجد بر حسب زمان تماس ..... 33
- شکل 4-3 نمودار اثر pH محلول بر درصد حذف و ظرفیت جذب سرب ..... 35
- شکل 5-3 نمودار اثر pH محلول بر درصد حذف و ظرفیت جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد ..... 35
- شکل 6-3 نمودار اثر pH محلول بر درصد حذف و ظرفیت جذب کروم (VI) توسط جاذب سنجد ..... 35
- شکل 7-3 نمودار اثر غلظت جاذب سنجد بر درصد حذف و ظرفیت جذب سرب ..... 37
- شکل 8-3 نمودار اثر غلظت جاذب سنجد بر درصد حذف و ظرفیت جذب کروم (III) ..... 37
- شکل 9-3 نمودار اثر غلظت جاذب سنجد بر درصد حذف و ظرفیت جذب کروم (VI) ..... 37
- شکل 10-3 نمودار تغییرات درصد حذف و ظرفیت جذب سرب توسط سنجد بر حسب غلظت تعادلی سرب ..... 39
- شکل 11-3 نمودار تغییرات بازده حذف و ظرفیت جذب کروم (III) توسط سنجد بر حسب غلظت تعادلی کروم ..... 39

- شکل 3-12 نمودار تغییرات بازده حذف و ظرفیت جذب کروم (VI) توسط سنجد بر حسب غلظت تعادلی کروم... 39
- شکل 3-13 نمودار مدل لانگمویر غیرخطی در جذب سرب (II) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 5 ..... 41
- شکل 3-14 نمودار مدل لانگمویر غیرخطی در جذب سرب (II) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 4 ..... 41
- شکل 3-15 نمودار مدل لانگمویر غیرخطی در جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 5 ..... 42
- شکل 3-16 نمودار مدل لانگمویر غیرخطی در جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 4 ..... 42
- شکل 3-17 نمودار مدل لانگمویر غیرخطی در جذب کروم (VI) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 4 ..... 43
- شکل 3-18 نمودار مدل لانگمویر غیرخطی در جذب کروم (VI) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 5 ..... 43
- شکل 3-19 نمودار مدل لانگمویر خطی در جذب سرب توسط جاذب سنجد در pH های 2 تا 5 ..... 43
- شکل 3-20 نمودار مدل لانگمویر خطی در جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد در pH های 2 تا 5 ..... 43
- شکل 3-21 نمودار همدمای فروندلیچ خطی در جذب سرب (II) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 4 ..... 46
- شکل 3-22 نمودار همدمای فروندلیچ خطی در جذب سرب (II) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و ..... 47
- شکل 3-23 نمودار همدمای فروندلیچ خطی در جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 5 ..... 47
- شکل 3-24 نمودار همدمای فروندلیچ خطی در جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 4 ..... 47
- شکل 3-25 نمودار همدمای فروندلیچ خطی در جذب کروم (VI) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 4 ..... 48
- شکل 3-26 نمودار همدمای فروندلیچ خطی در جذب کروم (VI) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 5 ..... 48
- شکل 3-27 نمودار همدمای فروندلیچ غیر خطی در جذب سرب (II) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 4 ..... 48
- شکل 3-28 نمودار همدمای فروندلیچ غیر خطی در جذب سرب (II) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 5 ..... 49
- شکل 3-29 نمودار همدمای فروندلیچ غیر خطی در جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 5 ..... 49
- شکل 3-30 نمودار همدمای فروندلیچ غیر خطی در جذب کروم (III) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 4 ... 49

- شکل 3-31 نمودار همدمای فروندلیچ غیر خطی در جذب کروم(VI) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 4.....50
- شکل 3-32 نمودار همدمای فروندلیچ غیر خطی در جذب کروم(VI) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 5.....50
- شکل 3-33 نمودار هم دمای D-R در جذب سرب(II) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 4.....52
- شکل 3-34 نمودار هم دمای D-R در جذب سرب(II) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 5.....52
- شکل 3-35 نمودار هم دمای D-R در جذب کروم(III) توسط جاذب سنجد در pH های 2 تا 5 .....53
- شکل 3-36 نمودار هم دمای D-R در جذب کروم(VI) توسط جاذب سنجد در pH های 2 و 4.....53
- شکل 3-37 نمودار هم دمای D-R در جذب کروم(VI) توسط جاذب سنجد در pH های 3 و 5 .....53
- شکل 3-38 نمودار RL بر حسب  $C_0$  برای جذب سرب بر روی جاذب سنجد در pH بهینه .....54
- شکل 3-39 نمودار RL بر حسب  $C_0$  برای جذب کروم(III) در  $pH = 4$  و جذب کروم(VI) در  $pH = 3$  بر روی جاذب سنجد .....54
- شکل 3-40 نمودار مدل سینتیکی مرتبه اول در جذب سرب(II) توسط جاذب سنجد.....57
- شکل 3-41 نمودار مدل سینتیکی مرتبه اول در جذب کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد .....57
- شکل 3-42 نمودار مدل سینتیکی مرتبه دوم در جذب سرب(II) توسط جاذب سنجد.....58
- شکل 3-43 نمودار مدل سینتیکی مرتبه دوم در جذب کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد.....58
- شکل 3-44 نمودار ظرفیت جذب یون سرب(II) بر حسب جذر زمان در سه غلظت 50، 200 و 500 میلی گرم بر لیتر توسط جاذب سنجد .....60
- شکل 3-45 نمودار ظرفیت جذب کروم(III) بر حسب جذر زمان در سه غلظت 12/55، 50 و 200 میلی گرم بر لیتر توسط جاذب سنجد .....60

- شکل 3-46 نمودار ظرفیت جذب کروم(VI) بر حسب جذر زمان در سه غلظت 12/55، 50 و 200 میلی گرم بر لیتر توسط جاذب سنجد.....60
- شکل 3-47 نمودار اثر دما بر ظرفیت جذب سرب(II) توسط جاذب سنجد.....61
- شکل 3-48 نمودار اثر دما بر ظرفیت جذب کروم(III) توسط جاذب سنجد.....62
- شکل 3-49 نمودار اثر دما بر ظرفیت جذب کروم(VI) توسط جاذب سنجد.....62
- شکل 3-50 نمودار  $\ln Kc$  در مقابل  $1/T$  در حذف سرب(II)، کروم(III) و کروم(VI) توسط جاذب سنجد.....63
- شکل 3-51 نمودار اثر حضور نیترات منیزیم، نیترات کلسیم، نیترات پتاسیم و نیترات سدیم بر درصد حذف سرب(II) در محلول با جاذب سنجد.....65
- شکل 3-52 نمودار اثر حضور نیترات منیزیم، نیترات کلسیم، نیترات پتاسیم و نیترات سدیم بر درصد حذف کروم(III) در محلول با جاذب سنجد.....66
- شکل 3-53 نمودار اثر حضور نیترات منیزیم، نیترات کلسیم، نیترات پتاسیم و نیترات سدیم بر درصد حذف کروم(VI) در محلول با جاذب سنجد.....66
- شکل 3-54 نمودار اثرات اصلی برای پاسخ R مربوط به جذب سرب(II) توسط جاذب سنجد.....78
- شکل 3-55 نمودار اثرات اصلی برای پاسخ R مربوط به جذب کروم(III) توسط جاذب سنجد.....78
- شکل 3-56 نمودار اثرات اصلی برای پاسخ R مربوط به جذب کروم(VI) توسط جاذب سنجد.....78
- شکل 3-57 نمودار اثرات اصلی برای پاسخ  $\ln q$  مربوط به جذب سرب(II) توسط جاذب سنجد.....78
- شکل 3-58 نمودار اثرات اصلی برای پاسخ  $\ln q$  مربوط به جذب کروم(III) توسط جاذب سنجد.....79