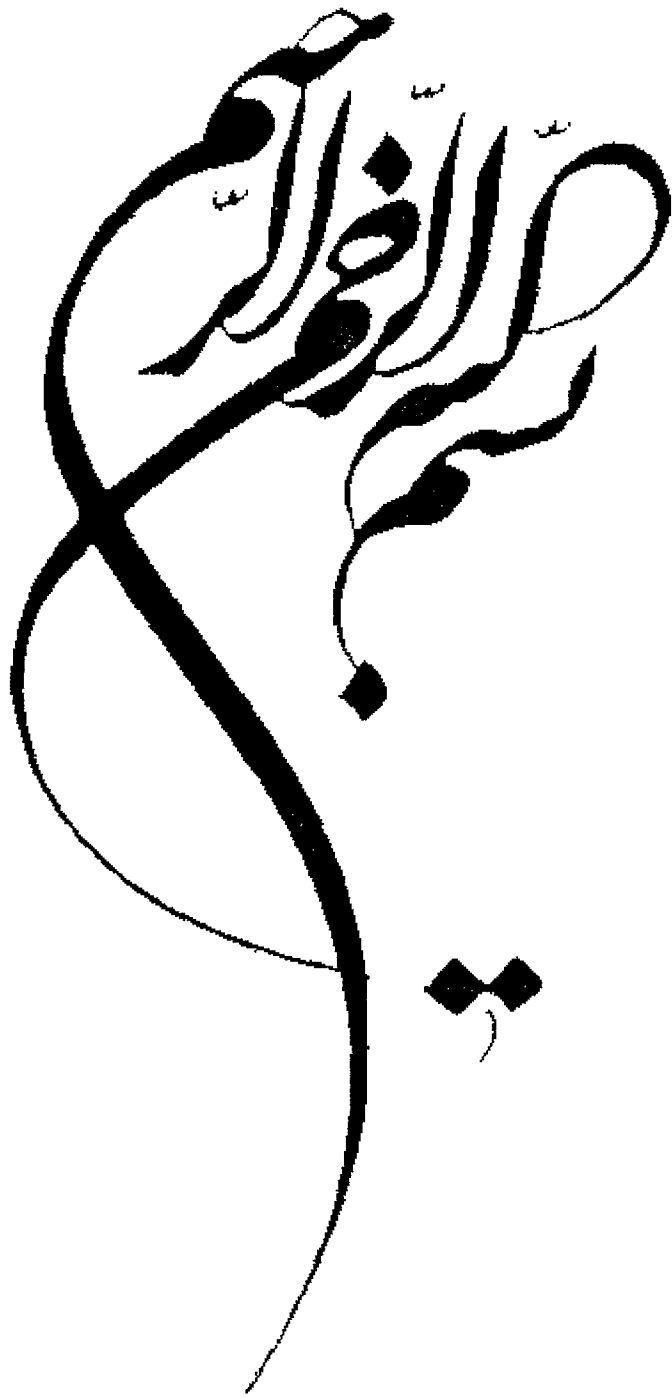
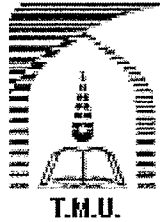


۱۲۲



۱۲۲

سید علی  
پایان نامه رساله دکتری  
[Signature]



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد  
مهندسی معدن - فرآوری مواد معدنی

## بررسی عوامل موثر بر انتقال عناصر خطرناک پسماندهای کارخانه لیچینگ روی به محیط زیست

نگارش:

بهزاد صداقت

اساتید راهنما:

دکتر احمد خدادادی

دکتر داود مرادخانی

استاد مشاور:

دکتر سید محمد جواد کلینی

پاییز ۱۳۸۶

۹۳۱۷۷

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران  
توسعه پایدار

۱۳۸۷ / ۲ / ۰۵



بسمه تعالی

## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای بهزاد صداقت پایان نامه ۶ واحدی خود ۱۰ با عنوان بررسی عوامل موثر در انتقال عناصر خطرناک پسماندهای کارخانه لیچینگ، بی به محیط زیست در تاریخ ۱۳۸۶/۷/۲۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن - فرآوری مواد معدنی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر احمد خدادادی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر سید محمد جواد کلینی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمود عبدلهی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر مهدی سالاری راد		
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمود عبدلهی	دانشیار	
استاد ناظر راهنما می (بوم)	دکتر داود مرادخانی	استادیار	

## دستور العمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران لازم است اعضای هیات علمی دانشجویان دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان نامه رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است موارد ذیل را رعایت نمایید:

ماده ۱: حقوق مادی و معنوی پایان نامه ها / رساله های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هر گونه بهره برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین نامه ها و دستورالعمل های مصوب دانشگاه باشد.

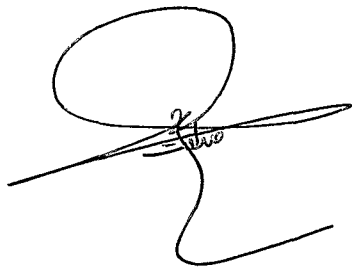
ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی می باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما نویسنده مسئول مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان نامه / رساله نیز منتشر می شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین نامه های مصوب انجام می شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره های ملی، منطقه ای و بین المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه / رساله و تمامی طرح های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسید و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هر گونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.



تقدیم به

پدرم که وجودش یادآور استواری است

مادرم که نشان بی نظیر محبت است

برادران و خواهرانم که مایه دلگرمی

و آرامش من هستند.

## تقدیر و تشکر

بنام تو ای یگانه هستی بخش، که قلم را قداست و انسان را کرامت بخشیدی. خدایا تو مرا بر کشیده ای، به جایگاه نور کشانده ای، بر خوان کرم استادان پر علم و بینش نهاده ای و این همه را بی هر علتی عنایت فرموده ای. از زحمات اساتید محترم دکتر احمد خدادادی و دکتر داوود مرادخانی که در طول انجام این تحقیق مرا از راهنمایی های ارزنده شان بی نصیب نمودند صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می کنم. از اساتید محترم دکتر سید محمد جواد کلینی، دکتر محمود عبداللهی، دکتر اکبر فرزانهگان و دکتر مهدی سالاری راد که در طی این چند سال از تجارب خود مرا بهره مند ساخته اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می کنم.

از دوستان عزیزم: مهندس رضا قیطاسی، مهندس علیرضا عیوضی، مهندس مصطفی محمدی، مهندس علی غفاری و دکتر محمد رضا آخوند که در انجام این پایان نامه هر یک به نوعی به من کمک کردند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از واحد آزمایشگاه شرکت مهندسی و تحقیقاتی فلزات غیر آهنی خانم ها: معصومه مشایخی، پریناز کریمیان، سعیده حسینی، نسیم میربها و هدی نصیرا و همچنین خانم مهندس مریم محمدی که در زمان انجام پایان نامه نهایت همکاری را داشته اند صمیمانه تشکر می کنم.

از پرسنل محترم شرکت مهندسی و تحقیقاتی فلزات غیر آهنی آقایان: جلیل عالمی، محمد مظفری، نصرت رحمتی، علی بهمنی، اکبر میری سیاهی، جمشید نیکوکار و شهنام بیات و از مهندسین محترم شرکت: داود بهنیان، محمد حیدرزاده و علی رشتچی و همچنین از دکتر مقدم که در انجام پایان نامه من را یاری کردند نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان از تمامی کسانی که بنحوی در انجام این تحقیق مرا یاری کردند و نامی از آنها برده نشد پوزش طلبیده، صمیمانه از آنها تشکر می کنم و موفقیت و سلامتی روز افزون ایشان را آرزو می کنم.

## چکیده

پسماندهای خطرناک یکی از مسائل مهم زیست محیطی فرآوری مواد معدنی می‌باشد که در کشور ما به دلیل عدم معرفی آنها و عدم تعیین استانداردهای لازم در مورد نحوه دفن و یا نابودی آنها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا لازم است این باطله‌ها در مراحل مختلف فرآیند شناسایی و برای کاهش آنها و یا کاربرد آنها برنامه ریزی گردد. در این پایان نامه به بررسی عوامل موثر بر انتقال عناصر خطرناک از پسماندهای کارخانه لیچینگ روی به محیط زیست پرداخته شده است که طی آن شناسایی و بررسی دو کیک فیلتر تصفیه گرم و تصفیه سرد در سه فاز انجام گردید. در فاز اول به بررسی رفتار و میزان حلالیت فلزات سنگین و خطرناک روی، نیکل، کبالت، کادمیم، منگنز و سرب در آزمایشهای لیچینگ مخزنی پرداخته شد که طی آن پارامترهای  $pH$ ، دما، نسبت جامد به مایع و زمان مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین درصد حلالیت برای کیک فیلتر گرم تحت شرایط:  $pH=4$ ، دما:  $30^\circ C$  درجه سانتیگراد، نسبت جامد به مایع:  $1:7$  و زمان:  $1$  ساعت و برای کیک فیلتر سرد تحت شرایط:  $pH=4$ ، دما:  $30^\circ C$  درجه سانتیگراد، نسبت جامد به مایع:  $1:10$  و زمان:  $1$  ساعت بدست آمد. در فاز دوم به بررسی دقیق رفتار این پسماندها در آزمایشهای لیچینگ ستونی پرداخته شد. در این بخش پارامترهای دانه بندی، دبی، غلظت اسید و زمان مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت بیشترین میزان حلالیت برای کیک فیلترهای گرم و سرد تحت شرایط: دانه بندی: مخلوط (طبیعی)، دبی:  $1$  سی سی در دقیقه،  $pH$  ورودی:  $5$  و زمان:  $30$  روز بدست آمد. در فاز سوم از روش‌هایی جهت خنثی سازی و کاهش انتقال عناصر خطرناک به محیط زیست استفاده گردید که طی آن دو عامل میزان تراکم و ضخامت لایه آهک مورد بررسی قرار گرفت. کمترین درصد حلالیت برای هر دو کیک فیلتر گرم و سرد در اثر تراکم تحت شرایط: میزان تراکم:  $31$  سانتیمتر و زمان:  $30$  روز و در اثر استفاده از آهک تحت شرایط: ضخامت آهک:  $1$  سانتیمتر و زمان:  $30$  روز بدست آمد. جهت تحلیل عوامل موثر بر انتقال عناصر خطرناک به محیط زیست از نرم افزار  $SPSS14$  استفاده گردید و با استفاده از رگرسیون چندگانه پارامترهای موثر مشخص شدند. پارامترهای  $pH$ ، زمان، دانه بندی و غلظت اسید از مهمترین و تاثیر گذارترین عوامل در انتقال عناصر خطرناک از هر دو کیک فیلتر گرم و سرد به محیط زیست شناخته شدند.

واژه های کلیدی: عناصر خطرناک، کارخانه لیچینگ روی، کیک گرم (کبالت)، کیک سرد (نیکل-کادمیم)

## پیشگفتار

هدف این پایان نامه بررسی عوامل موثر بر انتقال عناصر خطرناک از پسماندهای کارخانه لیچینگ روی به محیط زیست می باشد که طی آن در شش فصل به بررسی این موضوع پرداخته شد.

در **فصل اول** مقدمه ای در ارتباط با محیط زیست آمده است و در ادامه به بحث هایی در ارتباط با طبقه بندی فلزات سنگین، اثرات بیولوژیکی فلزات سنگین، اثرات سوء فلزات سنگین بر روی بدن و حد مجاز و استانداردهای تعیین شده برای فلزات سنگین پرداخته شده است.

در **فصل دوم** درباره پیشینه تحقیق مطالبی آورده شده است که طی آن کارهای انجام شده بر روی پسماندهای کارخانه سرب و روی در سه بخش مورد بررسی قرار گرفته است. بخش اول مربوط به مطالعات انجام شده بر روی بازیابی عناصر خطرناک از لحاظ زیست محیطی و ارزشمند از لحاظ اقتصادی در پسماندهای مختلف کارخانه روی در ایران و جهان می باشد. در بخش دوم به بررسی مطالعات زیست محیطی انجام شده بر روی پسماندهای مختلف ایران و جهان پرداخته شده است. بخش سوم مربوط به مطالعات انجام شده در زمینه نحوه تثبیت و خنثی سازی پسماندها و کاهش حلالیت فلزات سنگین می باشد.

در **فصل سوم** به شرح فرآیند تولید ورق روی در شرکت مهندسی و تحقیقاتی فلزات غیر آهنی پرداخته شد که طی آن محل تولید پسماندها مشخص گردید. در ادامه به شرح نمونه برداری از کیک های گرم و سرد پرداخته شد و در نهایت آنالیز  $XRF$ ،  $XRD$ ، جذب اتمی، آنالیز سرنندی، مشخصات و خصوصیات فیزیکی و میزان نفوذپذیری پسماندها مورد بررسی قرار گرفت.

در **فصل چهارم** آزمایشهای انجام شده در پایان نامه آورده شده است. انجام آزمایشهای لیچینگ مخزنی جهت بدست آوردن بیشترین درصد حلالیت عناصر خطرناک پسماندها، رسم منحنیهای درصد حلالیت،  $pH$  و میزان حلالیت در مقابل زمان، بدست آوردن مدل تغییرات درصد حلالیت و در نهایت محاسبات آماری مربوط از جمله بحث هایی است که در این بخش آورده شده است.

در **فصل پنجم** به آزمایشهای فروشویی ستونی انجام شده در پایان نامه پرداخته شده است که طی آن به بررسی پارامترهایی مانند دانه بندی، دبی و غلظت اسید پرداخته شد. رسم منحنیهای درصد حلالیت،  $pH$  و میزان حلالیت در مقابل زمان، بدست آوردن مدل تغییرات درصد حلالیت و در نهایت محاسبات آماری مربوطه توسط نرم افزار  $SPSS14$  از جمله مباحثی است که در این بخش به آن اشاره شده است.



در فصل ششم آزمایشهای مربوط به خنثی سازی و کاهش انتقال عناصر خطرناک از پسماندهای کارخانه لیچینگ به محیط زیست آورده شده است. دو سری آزمایش های تراکم و استفاده از آهک بر روی دو کیک فیلتر گرم و سرد کارخانه لیچینگ روی مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل هفتم به نتیجه گیری و پیشنهادها پرداخته شد.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول : مقدمه

۲	۱-۱- مقدمه .....
۴	۲-۱- فلزات و طبقه بندی آن ها .....
۴	۳-۱- فلزات سنگین .....
۴	۱-۳-۱- مقدمه .....
۵	۲-۳-۱- اثرات بیولوژیکی فلزات سنگین .....
۵	۳-۳-۱- تاثیر فلزات سنگین در بدن .....
۷	۴-۳-۱- انواع فلزات سنگین .....
۷	۵-۳-۱- فلزات سنگین، اثرات سوء آن ها بر بدن و عوامل موثر بر قابلیت جذب آن ها .....
۷	۱-۵-۳-۱- عوامل موثر بر جذب فلزات سنگین در محیط .....
۸	۲-۵-۳-۱- تغییرات و تجمع فلزات سنگین در بدن .....
۸	۶-۳-۱- منابع آلاینده محیط زیست به فلزات سنگین .....
۹	۷-۳-۱- فلزات سنگین در آب .....
۱۰	۸-۳-۱- راه های ورود فلزات سنگین به بدن موجودات زنده آبی .....

- ۱-۳-۹- تاثیر آب آبیاری بر تجمع فلزات سنگین در خاک ..... ۱۰
- ۱-۳-۱۰- حمل و جابجایی فلزات سنگین توسط آب ..... ۱۱
- ۱-۳-۱۱- فلزات سنگین در خاک ..... ۱۱
- ۱-۳-۱۲- حد مجاز و استاندارد های تعیین شده برای عناصر سنگین در خاک ها ..... ۱۲

### فصل دوم : پیشینه تحقیق

- ۱-۲-۱- مقدمه ..... ۱۵
- ۲-۲-۱- بازیابی عناصر خطرناک از پسماندهای کارخانه روی ..... ۱۵
- ۱-۲-۲- سرب و روی ..... ۱۵
- ۲-۲-۲- کبالت ..... ۱۶
- ۳-۲-۲- کادمیم ..... ۱۶
- ۳-۲-۳- بررسی وضعیت پسماندها در نقاط مختلف جهان ..... ۱۷
- ۱-۳-۲- کارخانه ذوب روی نیوجرسی آمریکا ..... ۱۷
- ۲-۳-۲- کارخانه سینکار ترکیه ..... ۱۸
- ۱-۲-۳-۲- مقدمه ..... ۱۸
- ۲-۲-۳-۲- ترکیب پسماندها ..... ۱۸
- ۳-۲-۳-۲- تاثیر  $pH$  ..... ۱۹
- ۴-۲-۳-۲- تاثیر نسبت مایع به جامد ..... ۲۰
- ۵-۲-۳-۲- تاثیر استخراج متوالی ..... ۲۱
- ۳-۳-۲- کارخانه های روی ایران ..... ۲۳
- ۴-۲- کاهش حلالیت و خنثی سازی خاک های آلوده به فلزات خطرناک ..... ۲۴
- ۱-۴-۲- کاهش حلالیت فلزات سنگین بوسیله ترکیب با کربن ..... ۲۵
- ۲-۴-۲- تثبیت پسماندهای آلوده در ایران ..... ۲۷

### فصل سوم : نمونه برداری، شناسایی و بررسی خصوصیات پسماندها

- ۱-۳-۱- مقدمه ..... ۳۰
- ۱-۱-۳- گزارش خط تولید روی در شرکت مهندسی و تحقیقاتی فلزات غیر آهنی ..... ۳۰
- ۱-۱-۳-۱-۱- خریدایش ..... ۳۰
- ۱-۱-۳-۲- انحلال ..... ۳۰
- ۱-۱-۳-۳- تصفیه ..... ۳۲
- ۱-۱-۳-۴- الکترووینینگ ..... ۳۵

۳۶	.....نمونه برداری	۲-۳
۳۶	.....روش های نمونه برداری	۱-۲-۳
۳۶	.....نمونه برداری یک بعدی کاملاً تصادفی (کیک کبالت)	۱-۱-۲-۳
۳۶	.....نمونه برداری دو بعدی کاملاً تصادفی (کیک نیکل - کادمیم)	۲-۱-۲-۳
۳۷	.....آماده سازی نمونه ها (کیک های کبالت و نیکل - کادمیم)	۲-۲-۳
۳۷	.....خشک کردن	۱-۲-۲-۳
۳۷	.....خرد کردن نمونه	۲-۲-۲-۳
۳۷	.....تقسیم و کاهش وزن نمونه ها	۳-۲-۲-۳
۳۸	.....روش های برآورد وزن نمونه لازم	۳-۲-۳
۳۹	.....روش های صرفاً تجربی تخمین وزن نمونه	۱-۳-۲-۳
۳۹	.....روش های تجربی - آماری تخمین وزن نمونه	۲-۳-۲-۳
۴۱	.....شناسایی کیک فیلترها	۳-۳
۴۱	.....آنالیز <i>XRD</i>	۱-۳-۳
۴۳	.....آنالیز <i>XRF</i>	۲-۳-۳
۴۴	.....آنالیز جذب اتمی	۳-۳-۳
۴۵	.....تجزیه سرنندی	۴-۳-۳
۴۶	.....روش انجام آزمایش	۱-۴-۳-۳
۵۰	.....اندازه گیری برخی از خصوصیات فیزیکی کیک ها	۴-۳
۵۱	.....نفوذپذیری	۵-۳
۵۳	.....محاسبه میزان نفوذپذیری کیک های کبالت و نیکل - کادمیم	۱-۵-۳

### فصل چهارم: آزمایشهای فروشویی مخزنی

۵۶	.....مقدمه	۱-۴
۵۶	.....طراحی آزمایش ها	۲-۴
۵۷	.....آزمایش بررسی تاثیر <i>pH</i>	۳-۴
۵۷	.....آزمایش استاندارد <i>EPA ۹۰۴۵</i>	۱-۳-۴
۵۷	.....شرایط و نحوه انجام آزمایش بررسی تاثیر <i>pH</i>	۲-۳-۴
۵۸	.....کیک کبالت	۱-۲-۳-۴
۵۹	.....کیک نیکل - کادمیم	۲-۲-۳-۴
۶۲	.....آزمایش بررسی تاثیر دما	۴-۴
۶۲	.....شرایط و نحوه انجام آزمایش بررسی تاثیر دما	۱-۴-۴

۶۲	..... ۴-۱-۱-۴-کیک کبالت
۶۴	..... ۴-۱-۲-کیک نیکل-کادمیم
۶۶	..... ۴-۵-آزمایش نسبت مایع به جامد
۶۶	..... ۴-۵-۱-شرایط و نحوه انجام آزمایش بررسی تاثیر نسبت مایع به جامد
۶۶	..... ۴-۱-۱-۵-کیک کبالت
۶۸	..... ۴-۱-۲-۵-کیک نیکل-کادمیم
۷۰	..... ۴-۶-آزمایش بررسی تاثیر زمان
۷۱	..... ۴-۶-۱-شرایط و نحوه انجام آزمایش بررسی تاثیر زمان
۷۱	..... ۴-۱-۱-۶-کیک کبالت
۷۳	..... ۴-۱-۲-۶-کیک نیکل-کادمیم
۷۵	..... ۴-۷-تاثیر عوامل مختلف بر روی حلالیت
۷۵	..... ۴-۷-۱-تاثیر هر یک از عوامل در کیک کبالت
۷۵	..... ۴-۱-۱-۷-روی
۷۶	..... ۴-۱-۲-۷-نیکل
۷۷	..... ۴-۱-۳-۷-کبالت
۷۷	..... ۴-۱-۴-۷-کادمیم
۷۸	..... ۴-۱-۵-۷-سرب
۷۹	..... ۴-۱-۶-۷-منگنز
۷۹	..... ۴-۷-۲-تاثیر هر یک از عوامل در کیک نیکل-کادمیم
۸۰	..... ۴-۱-۲-۷-روی
۸۰	..... ۴-۲-۲-۷-نیکل
۸۱	..... ۴-۲-۳-۷-کبالت
۸۲	..... ۴-۲-۴-۷-کادمیم
۸۲	..... ۴-۲-۵-۷-سرب
۸۳	..... ۴-۲-۶-۷-منگنز

### فصل پنجم: آزمایشهای روشی ستونی

۸۶	..... ۵-۱-مقدمه
۸۷	..... ۵-۲-شرح دستگاه
۸۸	..... ۵-۳-روش انجام آزمایش
۸۹	..... ۵-۴-طراحی آزمایشها

۹۰	..... ۵-۵-آزمایش دانه بندی
۹۰	..... ۵-۵-۱-شرایط آزمایش
۹۰	..... ۵-۵-۱-۱-کیک کبالت
۹۶	..... ۵-۵-۲-کیک نیکل-کادمیم
۱۰۱	..... ۵-۶-آزمایش دبی ورودی
۱۰۲	..... ۵-۶-۱-شرایط آزمایش
۱۰۲	..... ۵-۶-۱-۱-کیک کبالت
۱۰۸	..... ۵-۶-۲-کیک نیکل-کادمیم
۱۱۳	..... ۵-۷-آزمایش غلظت اسید
۱۱۳	..... ۵-۷-۱-شرایط آزمایش
۱۱۴	..... ۵-۷-۱-۱-کیک کبالت
۱۱۹	..... ۵-۷-۲-کیک نیکل-کادمیم
۱۲۴	..... ۵-۸-تاثیر عوامل مختلف بر روی حلالیت
۱۲۴	..... ۵-۸-۱-تاثیر هر یک از عوامل در کیک کبالت
۱۲۴	..... ۵-۸-۱-۱-روی
۱۲۵	..... ۵-۸-۲-نیکل
۱۲۶	..... ۵-۸-۳-کبالت
۱۲۷	..... ۵-۸-۴-کادمیم
۱۲۷	..... ۵-۸-۵-سرب
۱۲۸	..... ۵-۸-۶-منگنز
۱۲۹	..... ۵-۸-۲-تاثیر هر یک از عوامل در کیک نیکل-کادمیم
۱۳۰	..... ۵-۸-۲-۱-روی
۱۳۰	..... ۵-۸-۲-۲-نیکل
۱۳۱	..... ۵-۸-۳-۲-کبالت
۱۳۲	..... ۵-۸-۴-۲-کادمیم
۱۳۲	..... ۵-۸-۵-۲-سرب
۱۳۳	..... ۵-۸-۶-۲-منگنز

### فصل ششم: آزمایشهای خنثی سازی و کاهش انتقال عناصر خطرناک

۱۳۶	..... ۶-۱-مقدمه
۱۳۶	..... ۶-۲-آزمایش تاثیر تراکم

۱۳۷	..... ۱-۲-۶-شرایط آزمایش
۱۳۷	..... ۱-۱-۲-۶-کیک کبالت
۱۴۲	..... ۲-۱-۲-۶-کیک نیکل-کادمیم
۱۴۶	..... ۳-۶-بررسی اثر ضخامت آهک
۱۴۷	..... ۱-۳-۶-شرایط آزمایش
۱۴۷	..... ۱-۱-۳-۶-کیک کبالت
۱۵۲	..... ۲-۱-۳-۶-کیک نیکل-کادمیم
۱۵۶	..... ۴-۶-تاثیر عوامل مختلف بر روی حلالیت
۱۵۶	..... ۱-۴-۶-تاثیر هر یک از عوامل در کیک کبالت
۱۵۶	..... ۱-۱-۴-۶-روی
۱۵۷	..... ۲-۱-۴-۶-نیکل
۱۵۸	..... ۳-۱-۴-۶-کبالت
۱۵۸	..... ۴-۱-۴-۶-کادمیم
۱۵۹	..... ۵-۱-۴-۶-سرب
۱۵۹	..... ۶-۱-۴-۶-منگنز
۱۶۰	..... ۲-۴-۶-تاثیر هر یک از عوامل در کیک نیکل-کادمیم
۱۶۰	..... ۱-۲-۴-۶-روی
۱۶۱	..... ۲-۲-۴-۶-نیکل
۱۶۱	..... ۳-۲-۴-۶-کبالت
۱۶۲	..... ۴-۲-۴-۶-کادمیم
۱۶۳	..... ۵-۲-۴-۶-سرب
۱۶۳	..... ۶-۲-۴-۶-منگنز

### فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۱۶۶	..... ۱-۷-نتیجه گیری
۱۷۱	..... ۲-۷-پیشنهادها
۱۷۲	..... منابع

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱. مراحل ورود و اثرات فلزات سنگین به محیط زیست [۴]..... ۷
- شکل ۱-۲. تغییرات غلظت فلزات با زمان تماس در pH های مختلف برای کیک ۱ (راست) و کیک ۲ (چپ)..... ۲۰
- شکل ۲-۲. تغییرات غلظت فلز با نسبت مایع به جامد در pH های مختلف برای کیک ۱ (راست) و کیک ۲ (چپ)..... ۲۱
- شکل ۳-۲. تغییرات غلظت فلزات با تعداد مراحل استخراج در pH های مختلف برای کیک ۱ (راست) و کیک ۲ (چپ)..... ۲۲
- شکل ۴-۲. درصد حلالیت فلزات در پایان بیستمین مرحله استخراج برای کیک های ۱ و ۲..... ۲۲
- شکل ۵-۲. تاثیر درصد  $CO_2$  بر روی حلالیت عناصر در زمان های مختلف (درصد رطوبت: ۶٪ و درجه حرارات: ۳۷ درجه سانتیگراد) [۱۹]..... ۲۵
- شکل ۶-۲. تاثیر درجه حرارات بر روی حلالیت عناصر در زمان های مختلف (درصد رطوبت: ۶٪ و درصد  $CO_2$ : ۱۰٪) [۱۹]..... ۲۶
- شکل ۷-۲. تاثیر درصد رطوبت بر روی حلالیت عناصر در زمان های مختلف (درجه حرارات: ۵۰ درجه سانتیگراد و درصد  $CO_2$ : ۱۰٪) [۱۹]..... ۲۶
- شکل ۱-۳. تانک های تصفیه گرم و تصفیه سرد و *Check* تانک..... ۳۳
- شکل ۲-۳. فیلتر پرس های تصفیه گرم و تصفیه سرد..... ۳۴
- شکل ۳-۳. کیک فیلتر های کبالت و نیکل-کادمیم..... ۳۵
- شکل ۴-۳. شماره گذاری و نحوه نمونه برداری از کیسه ها..... ۳۶
- شکل ۵-۳. تقسیم بندی کیک و نحوه برداشت نمونه از سلول ها..... ۳۷
- شکل ۶-۳. نمودار نتایج آنالیز نمونه معرف کیک فیلتر کبالت به روش *XRD*..... ۴۲
- شکل ۷-۳. نمودار نتایج آنالیز نمونه معرف کیک فیلتر نیکل-کادمیم به روش *XRD*..... ۴۳
- شکل ۸-۳. منحنی دانه بندی کیک فیلتر کبالت در آزمایش اول..... ۴۷
- شکل ۹-۳. منحنی دانه بندی کیک فیلتر کبالت در آزمایش دوم..... ۴۸
- شکل ۱۰-۳. منحنی دانه بندی کیک فیلتر نیکل-کادمیم در آزمایش اول..... ۴۹
- شکل ۱۱-۳. منحنی دانه بندی کیک فیلتر نیکل-کادمیم در آزمایش دوم..... ۵۰
- شکل ۱۲-۳. ساختمان خاک شامل ذرات جامد (S)، فضای خالی با هوا (A) و آب (W) [۲۹]..... ۵۲
- شکل ۱۳-۳. رابطه بین حجم و جرم برای یک خاک نشان داده شده در دیاگرام فازی [۲۹]..... ۵۲
- شکل ۱۴-۳. میزان نفوذپذیری کیک کبالت نسبت به فضای خالی..... ۵۴
- شکل ۱۵-۳. میزان نفوذپذیری کیک نیکل-کادمیم نسبت به فضای خالی..... ۵۴
- شکل ۱-۴. غلظت روی در کیک فیلتر کبالت در pH های مختلف..... ۵۸
- شکل ۲-۴. غلظت عناصر نیکل، کبالت، کادمیم، سرب و منگنز در کیک فیلتر کبالت در pH های مختلف..... ۵۸
- شکل ۳-۴. درصد حلالیت فلزات سنگین در کیک فیلتر گرم در pH های مختلف..... ۵۹
- شکل ۴-۴. غلظت روی در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در pH های مختلف..... ۶۰
- شکل ۵-۴. غلظت عناصر نیکل و کادمیم در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در pH های مختلف..... ۶۰



- شکل ۴-۶. غلظت عناصر کبالت، سرب و منگنز در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در  $pH$  های مختلف ..... ۶۰
- شکل ۴-۷. درصد حلالیت فلزات سنگین در کیک فیلتر سرد در  $pH$  های مختلف ..... ۶۱
- شکل ۴-۸. غلظت روی در کیک فیلتر کبالت در دماهای مختلف ..... ۶۳
- شکل ۴-۹. غلظت عناصر نیکل، کادمیم، کبالت، سرب و منگنز در کیک فیلتر کبالت در دماهای مختلف ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۰. درصد حلالیت فلزات سنگین در کیک فیلتر گرم در دماهای مختلف ..... ۶۳
- شکل ۴-۱۱. غلظت عناصر روی، نیکل و کادمیم در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در دماهای مختلف ..... ۶۴
- شکل ۴-۱۲. غلظت عناصر کبالت، سرب و منگنز در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در دماهای مختلف ..... ۶۵
- شکل ۴-۱۳. درصد حلالیت فلزات سنگین در کیک فیلتر سرد در دماهای مختلف ..... ۶۵
- شکل ۴-۱۴. غلظت عنصر روی در کیک فیلتر کبالت در نسبت های  $L/S$  مختلف ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۵. غلظت عناصر نیکل، کادمیم و کبالت در کیک فیلتر کبالت در نسبت های  $L/S$  مختلف ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۶. غلظت عناصر سرب و منگنز در کیک فیلتر کبالت در نسبت های  $L/S$  مختلف ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۷. درصد حلالیت فلزات سنگین در کیک فیلتر گرم در نسبت های  $L/S$  مختلف ..... ۶۸
- شکل ۴-۱۸. غلظت عنصر روی در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در نسبت های  $L/S$  مختلف ..... ۶۹
- شکل ۴-۱۹. غلظت عناصر نیکل و کادمیم در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در نسبت های  $L/S$  مختلف ..... ۶۹
- شکل ۴-۲۰. غلظت عناصر منگنز، کبالت و سرب در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در نسبت های  $L/S$  مختلف ..... ۶۹
- شکل ۴-۲۱. درصد حلالیت فلزات سنگین در کیک فیلتر سرد در نسبت های  $L/S$  مختلف ..... ۷۰
- شکل ۴-۲۲. غلظت عنصر روی در کیک فیلتر کبالت در زمان های مختلف ..... ۷۱
- شکل ۴-۲۳. غلظت عناصر نیکل، کادمیم، کبالت، سرب و منگنز در کیک فیلتر کبالت در زمان های مختلف ..... ۷۲
- شکل ۴-۲۴. درصد حلالیت فلزات سنگین در کیک فیلتر گرم در زمان های مختلف ..... ۷۲
- شکل ۴-۲۵. غلظت عنصر روی در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در زمان های مختلف ..... ۷۳
- شکل ۴-۲۶. غلظت عناصر نیکل و کادمیم در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در زمان های مختلف ..... ۷۳
- شکل ۴-۲۷. غلظت عناصر کبالت، سرب و منگنز در کیک فیلتر نیکل-کادمیم در زمان های مختلف ..... ۷۴
- شکل ۴-۲۸. درصد حلالیت فلزات سنگین در کیک فیلتر سرد در زمان های مختلف ..... ۷۴
- شکل ۵-۱. دستگاه آزمایش لیچینگ ستونی ..... ۸۸
- شکل ۵-۲. میزان حلالیت عنصر روی در سه دانه بندی متفاوت برای کیک کبالت ..... ۹۱
- شکل ۵-۳. میزان حلالیت عنصر نیکل در سه دانه بندی مختلف برای کیک کبالت ..... ۹۱
- شکل ۵-۴. میزان حلالیت عنصر کبالت در سه دانه بندی متفاوت برای کیک کبالت ..... ۹۲
- شکل ۵-۵. میزان حلالیت عنصر کادمیم در سه دانه بندی متفاوت برای کیک کبالت ..... ۹۲
- شکل ۵-۶. میزان حلالیت عنصر سرب در سه دانه بندی مختلف برای کیک کبالت ..... ۹۳
- شکل ۵-۷. میزان حلالیت عنصر منگنز در سه دانه بندی مختلف برای کیک کبالت ..... ۹۳
- شکل ۵-۸. درصد حلالیت عناصر در سه دانه بندی مختلف پس از گذشت ۳۰ روز برای کیک کبالت ..... ۹۴

- شکل ۵-۹.  $pH$  محلول خروجی در سه دانه بندی مختلف برای کیک کبالت ..... ۹۴
- شکل ۵-۱۰. میزان حلالیت عنصر روی در سه دانه بندی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۹۶
- شکل ۵-۱۱. میزان حلالیت عنصر نیکل در سه دانه بندی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۹۷
- شکل ۵-۱۲. میزان حلالیت عنصر کبالت در سه دانه بندی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۹۷
- شکل ۵-۱۳. میزان حلالیت عنصر کادمیم در سه دانه بندی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۹۸
- شکل ۵-۱۴. میزان حلالیت عنصر سرب در سه دانه بندی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۹۸
- شکل ۵-۱۵. میزان حلالیت عنصر منگنز در سه دانه بندی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۹۹
- شکل ۵-۱۶. درصد حلالیت عناصر در سه دانه بندی مختلف پس از گذشت ۳۰ روز برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۹۹
- شکل ۵-۱۷.  $pH$  محلول خروجی در سه دانه بندی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۸. غلظت عنصر روی در سه دبی متفاوت برای کیک کبالت ..... ۱۰۳
- شکل ۵-۱۹. غلظت عنصر نیکل در سه دبی مختلف برای کیک کبالت ..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۰. غلظت عنصر کبالت در سه دبی متفاوت برای کیک کبالت ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۱. غلظت عنصر کادمیم در سه دبی متفاوت برای کیک کبالت ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۲. غلظت عنصر سرب در سه دبی مختلف برای کیک کبالت ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۳. غلظت عنصر منگنز در سه دبی مختلف برای کیک کبالت ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۴. درصد حلالیت عناصر در سه دبی مختلف پس از گذشت ۳۰ روز برای کیک کبالت ..... ۱۰۶
- شکل ۵-۲۵.  $pH$  محلول خروجی در سه دبی مختلف برای کیک کبالت ..... ۱۰۶
- شکل ۵-۲۶. غلظت عنصر روی در سه دبی متفاوت برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۰۸
- شکل ۵-۲۷. غلظت عنصر نیکل در سه دبی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۰۸
- شکل ۵-۲۸. غلظت عنصر کبالت در سه دبی متفاوت برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۰۹
- شکل ۵-۲۹. غلظت عنصر کادمیم در سه دبی متفاوت برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۰۹
- شکل ۵-۳۰. غلظت عنصر سرب در سه دبی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۱۰
- شکل ۵-۳۱. غلظت عنصر منگنز در سه دبی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۱۰
- شکل ۵-۳۲. درصد حلالیت عناصر در سه دبی مختلف پس از گذشت ۳۰ روز برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۳۳.  $pH$  محلول خروجی در سه دبی مختلف برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۳۴. میزان حلالیت عنصر روی در سه غلظت متفاوت برای کیک کبالت ..... ۱۱۴
- شکل ۵-۳۵. میزان حلالیت عنصر نیکل در سه غلظت مختلف برای کیک کبالت ..... ۱۱۵
- شکل ۵-۳۶. میزان حلالیت عنصر کبالت در سه غلظت متفاوت برای کیک کبالت ..... ۱۱۵
- شکل ۵-۳۷. میزان حلالیت عنصر کادمیم در سه غلظت متفاوت برای کیک کبالت ..... ۱۱۶
- شکل ۵-۳۸. میزان حلالیت عنصر سرب در سه غلظت مختلف برای کیک کبالت ..... ۱۱۶
- شکل ۵-۳۹. میزان حلالیت عنصر منگنز در سه غلظت مختلف برای کیک کبالت ..... ۱۱۷

- شکل ۵-۴۰. درصد حلالیت عناصر در سه غلظت مختلف پس از گذشت ۳۰ روز برای کیک کبالت..... ۱۱۷
- شکل ۵-۴۱.  $pH$  محلول خروجی در سه غلظت مختلف برای کیک کبالت..... ۱۱۸
- شکل ۵-۴۲. میزان حلالیت عنصر روی در سه غلظت متفاوت برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۱۹
- شکل ۵-۴۳. میزان حلالیت عنصر نیکل در سه غلظت مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۲۰
- شکل ۵-۴۴. میزان حلالیت عنصر کبالت در سه غلظت متفاوت برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۲۰
- شکل ۵-۴۵. میزان حلالیت عنصر کادمیم در سه غلظت متفاوت برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۲۱
- شکل ۵-۴۶. میزان حلالیت عنصر سرب در سه غلظت مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۲۱
- شکل ۵-۴۷. میزان حلالیت عنصر منگنز در سه غلظت مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۲۲
- شکل ۵-۴۸. درصد حلالیت عناصر در سه غلظت مختلف پس از گذشت ۳۰ روز برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۲۲
- شکل ۵-۴۹.  $pH$  محلول خروجی در سه غلظت مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۲۳
- شکل ۶-۱. درصد حلالیت عنصر روی در سه تراکم متفاوت برای کیک کبالت..... ۱۳۸
- شکل ۶-۲. درصد حلالیت عنصر نیکل در سه تراکم مختلف برای کیک کبالت..... ۱۳۸
- شکل ۶-۳. درصد حلالیت عنصر کبالت در سه تراکم متفاوت برای کیک کبالت..... ۱۳۹
- شکل ۶-۴. درصد حلالیت عنصر کادمیم در سه تراکم متفاوت برای کیک کبالت..... ۱۳۹
- شکل ۶-۵. درصد حلالیت عنصر سرب در سه تراکم مختلف برای کیک کبالت..... ۱۴۰
- شکل ۶-۶. درصد حلالیت عنصر منگنز در سه تراکم مختلف برای کیک کبالت..... ۱۴۰
- شکل ۶-۷.  $pH$  محلول خروجی در سه تراکم مختلف برای کیک کبالت..... ۱۴۱
- شکل ۶-۸. درصد حلالیت عنصر روی در سه تراکم مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۴۲
- شکل ۶-۹. درصد حلالیت عنصر نیکل در سه تراکم مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۴۳
- شکل ۶-۱۰. درصد حلالیت عنصر کبالت در سه تراکم مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۴۳
- شکل ۶-۱۱. درصد حلالیت عنصر کادمیم در سه تراکم مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۴۴
- شکل ۶-۱۲. درصد حلالیت عنصر سرب در سه تراکم مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۴۴
- شکل ۶-۱۳. درصد حلالیت عنصر منگنز در سه تراکم مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۴۵
- شکل ۶-۱۴.  $pH$  محلول خروجی در سه تراکم مختلف برای کیک نیکل-کادمیم..... ۱۴۵
- شکل ۶-۱۵. درصد حلالیت عنصر روی در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک کبالت..... ۱۴۷
- شکل ۶-۱۶. درصد حلالیت عنصر نیکل در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک کبالت..... ۱۴۸
- شکل ۶-۱۷. درصد حلالیت عنصر کبالت در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک کبالت..... ۱۴۸
- شکل ۶-۱۸. درصد حلالیت عنصر کادمیم در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک کبالت..... ۱۴۹
- شکل ۶-۱۹. درصد حلالیت عنصر سرب در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک کبالت..... ۱۴۹
- شکل ۶-۲۰. درصد حلالیت عنصر منگنز در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک کبالت..... ۱۵۰
- شکل ۶-۲۱.  $pH$  محلول خروجی در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک کبالت..... ۱۵۰

- شکل ۶-۲۲. درصد حلالیت عنصر روی در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۵۲
- شکل ۶-۲۳. درصد حلالیت عنصر نیکل در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۵۲
- شکل ۶-۲۴. درصد حلالیت عنصر کبالت در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۵۳
- شکل ۶-۲۵. درصد حلالیت عنصر کادمیم در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۵۳
- شکل ۶-۲۶. درصد حلالیت عنصر سرب در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۵۴
- شکل ۶-۲۷. درصد حلالیت عنصر منگنز در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۵۴
- شکل ۶-۲۸.  $pH$  محلول خروجی در سه ضخامت مختلف آهک برای کیک نیکل-کادمیم ..... ۱۵۵