



۲۷۳۰۹



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

حذف فلزات سنگین از فاضلابهای صنعتی توسط
پوسته شلتوک برنج، خاک اره و خاک

مرکز اطلاعات مدرک علمی ایران
توسعه مدارک

پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی

فاطمه اسدی

۱۳۸۲ / ۷ / ۲۰

اساتید راهنما

دکتر حسین شریعتمداری
دکتر نور الله میر غفاری

۴۸۴۰۹

۱۳۸۱

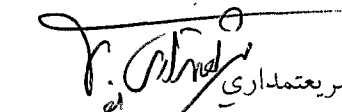



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی خانم فاطمه اسدی
تحت عنوان

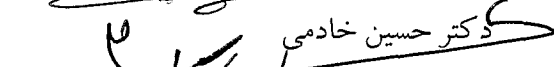
حذف فلزات سنگین از فاضلابهای صنعتی توسط
پوسته شلتوک برنج، خاک اره و خاک

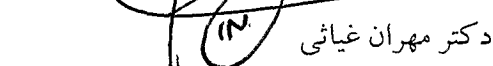
در تاریخ ۱۳۸۱/۱۲/۱۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

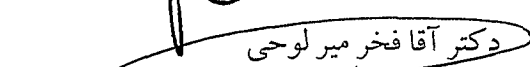

دکتر حسین شریعتمداری


دکتر نور الله میر غفاری


دکتر مجید افیونی


دکتر حسین خادمی


دکتر مهران غیائی


دکتر آقا فخر میر لوحی

۱- استاد راهنمای پایان نامه

۲- استاد راهنمای پایان نامه

۳- استاد مشاور پایان نامه

۴- استاد داور

۵- استاد داور

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

قدردانی

ستایش خداوند بخشنده را

که موجود کرد از عدم بنده را

که را قدرت وصف احسان اوست

که اوصاف مستغرق شأن اوست

عنايات حق با جارى شدن بر افكار نارسا و توان محدودم موجب گرديد كه صعود بر بلندای دیگری از مسیر زندگانیم را تجربه نمایم. خدا را سپاس گذارم، سپاسی آمیخته با عجز و نیاز، اگر نه به لطف و توفیق او بود، از سعی و تلاش موجودی که از عدم برخاسته، چه برآید؟

چو آمد به کوشیدنت خیر پیش

ز توفیق حق دان نه از سعی خویش

به رسم ادب و سنت حسنه سپاس، نام پدر و مادر عزیزم را آغازگر این مجموعه تقدیر قرار می دهم. آنان که تالو گوهر شب چراغ هستی شان و دورنگای ساحل حمایتشان، همواره مرا از غرق شدن در گرداب ناامنی ها وارهانده و طعم جانفزای چشمه جوشان مهرشان که با تار و پود دل و جانم آمیخته، گواراترین آب حیات است که در ظلمات دنیا نوشیده ام. گلگشت مصفای علم هرگز بی وجود اساتید فرهیخته ای که خود در گذر از فراز و فرودهای زندگی، چکیده آزمونها و دانششان را در قالب سخنانی موزون که چون از دل برآید لاجرم بر دل نشیند، پیش روی نوآموزانی چون من می نهند، معطر نمی گردد، لذا در اینجا سپاس عمیق قلبی خود را از یاریهای تک تک این عزیزان، به ویژه اساتید راهنمای فرهیخته، جناب آقایان دکتر حسین شریعتمداری و دکتر نورالله میر غفاری، استاد مشاور گرانقدرم جناب آقای دکتر مجید افیونی، اساتید داور جناب آقایان دکتر حسین خادمی و دکتر مهران غیائی - به پاس این که با مطالعه تقادانه این طرح و ارائه پیشنهادهای سازنده برای بهسازی و تدوین آن متحمل زحمت گشتند - و نیز کلیه اساتید محترم گروه خاکشناسی عرضه می دارم و پیوسته نام شریفشان را به نیکی یاد خواهم نمود.

زحمات کلیه مسئولین و کارکنان آزمایشگاههای گروه خاکشناسی و محیط زیست، مسئولین محترم تصفیه خانه شاهین شهر و کارخانه ذوب آهن اصفهان، پژوهشگاه صنعت نفت تهران و همیاری دانشکده های شیمی، مواد و نساجی در پیشبرد قدم به قدم اهداف این تحقیق موجب بسی تشکر است.

در پایان با تشکر از تمام همدوره ایها، همکلاسیها و دوستان بسیار عزیزم که گرمای حضورشان و طنین نغمه دلنشین و موزون مهرشان در گوش جانم، تلخی غربت را به حلاوت خاطره ای پویا که انعکاس جلوه های خیال انگیزش تا ابد در لوح ضمیرم ماندگار خواهد بود، بدل کرد آرزو دارم نامشان در دفتر ایام مخلص و جاوید و وجودشان سرشار از مهر و صفا باشد، به سان چراغی فروزان که گرد گذر ایام از درخششش نگاهد.

نظیر دوست اگر چه ندیدم از مه و مهر

نهادم آئینه ها مقابل رخ دوست

تقدیم به

پیشگاه آخرین کیمیای هستی انر نسل اولیا، تنها نماینده عرش بر فرش، آئینه جلوات جمیل
لایزال، او که نام نریبایش نریبنده هر سراغانریست.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که تمثیلی هستند از:

گند منرار در باد، دریایی نرمرین و در تکاپو

گند منرار در نور خورشید، که من در میان پرتوهای افسون گرش آوای خوش نرندگی
را آموختم.

گند منرار در نور ماه، تبلور دانه های حیات، که مه وجودشان چون کیمیا در ابهام ناب
نررینش نموده است.

به برادر و خواهرانی که شکفتن مرا خواهند دید.

به گوهر گرانقدری که خاموشی شمع دل آرای هستیش، بال و پر پروانه وجودم را سوزراند.

و

به دوستان بسیار عزیزم

که مهرشان مرا انرا عمیق بی کرانه های قلبم در غرفه مهر و نریدن اندیشه ام

نشانده ام.

بخشی از هزینه این تحقیق از طرح ملی تحقیقاتی تحت عنوان
"حذف فلزات سنگین از فاضلابهای صنعتی توسط پوسته شلتوك"
با حمایت سازمان مدیریت و برنامه ریزی اصفهان پرداخت گردید
که بدین وسیله تشکر و قدردانی می شود.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان
است.

چکیده

محدودیت منابع آبی، کمبود بارندگی، خطر بحران آب در کشور و اهمیت بازیابی مجدد آب از یک سو و افزایش آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی به وسیله فلزات سنگین و سایر آلاینده های حاصل از فاضلابهای صنعتی از سوی دیگر، یافتن راه حلهای قابل قبول زیست محیطی را در جهت حذف این مواد از منابع آبی ضروری می سازد. بدیهی است راه حلهای مذکور باید مؤثر، اقتصادی و قابل اجرا بوده و ما را در جهت رسیدن به توسعه پایدار یاری نمایند. در این راستا استفاده از ضایعات ارزان قیمت می تواند بسیار راهگشا باشد. در این تحقیق، از دو جاذب ارزان قیمت پوسته شلتوک برنج و خاک اره در مقایسه با یک نمونه خاک برای تصفیه تکمیلی سه فاضلاب صنعتی (فاضلابهای صنعتی شاهین شهر، ذوب آهن اصفهان و آبکاری) به منظور حذف فلزات سنگین استفاده شد. قدرت سه جاذب مذکور برای حذف فلزات سنگین Cu و Pb ، Cd ، Ni ، Zn از مجلولهای آزمایشگاهی نیز بررسی شد. به منظور اصلاح خصوصیات جذبی پوسته شلتوک برنج و خاک اره، مواد جاذب با سود و اسید (HCl) ۱ نرمال و حرارت (برای تهیه زغال) تیمار شدند. جذب در سوسپانسیونهای ۱ به ۱۰۰ جاذب به محلول (فاضلاب) انجام گرفت. امکان کاربرد ستون مواد جاذب نیز در تصفیه فاضلابها مورد آزمایش قرار گرفت. تعدادی از خصوصیات جاذبها از قبیل CEC، سطح ویژه (BET)، درصد عناصر جاذبها (SEM-EDX) و طیف FTIR آنها در حالت های خام و تیمار شده، قبل و بعد از جذب تعیین شدند. خلاصه نتایج به دست آمده به شرح زیر است:

در محلولهای آزمایشگاهی اثر افزایش pH محلول در افزایش جذب کاتیون فلزی در سطح ۱٪ معنی دار بود. در مقایسه سه جاذب، برای جذب یونهای فلزی، بعد از خاک، کماکان بیشترین جذب مربوط به پوسته شلتوک و سپس خاک اره بود. تفاوت جاذبها در جذب روی، نیکل، و کادمیوم و تفاوت تیمارها در جذب کادمیوم و سرب در سطح ۱٪ معنی دار بود. تأثیر تیمارها در جذب به این ترتیب بود: قلیایی < زغال < خام < اسیدی، به طوریکه در $\text{pH}=5$ بیشترین جذب سرب و کادمیوم با مقادیر میانگین مشابه 0.89 mg/g متعلق به پوسته شلتوک بازی بود. در همین pH مقایسه بین کاتیونهای فلزی نشان داد که سرب و کادمیوم با میانگینهای 0.88 mg/g و 0.84 mg/g بالاترین مقادیر جذب را داشتند. مس، روی و نیکل به ترتیب در رده های بعد قرار گرفتند. افزایش غلظت اولیه یون فلز نیز موجب افزایش جذب گردید. بررسی همدماهای جذب سطحی این فلزات نشان داد که در حالت خام برای هر دو جاذب و خاک داده ها با مدل فروندلیچ و در تیمار بازی نمونه ها با مدل لانگمویر تطابق داشت. برای تیمار زغال، جذب سرب با مدل فروندلیچ و جذب کادمیوم با لانگمویر تطبیق داشت. در فاضلاب صنعتی شاهین شهر، زغال پوسته شلتوک و زغال خاک اره و در فاضلابهای ذوب آهن و آبکاری، پوسته شلتوک و خاک اره بازی به ترتیب بیشترین مقادیر جذب Cu ، Ni و Zn را به خود اختصاص دادند. در فاضلاب آبکاری، پوسته شلتوک بازی $68/4 \text{ mg/g}$ روی جذب کرد. در آزمایش ستونی نیز با محلول روی و فاضلاب آبکاری نتایج تقریباً مشابهی به دست آمد. احیا ستون بعد از جذب، با استفاده از آب و اسید نشان داد امکان استفاده مجدد از جاذبها وجود دارد.

شش	فهرست مطالب
ده	فهرست جداول
یازده	فهرست شکلها
۱	چکیده

فصل اول : مقدمه و بررسی منابع

۲	۱-۱- اهمیت و کمبود منابع آب
۴	۲-۱- تصفیه فاضلاب
۴	۱-۲-۱- سابقه جمع آوری و تصفیه فاضلاب
۶	۲-۲-۱- اهمیت تصفیه فاضلاب
۸	۳-۱- فاضلابهای صنعتی
۱۰	۴-۱- صنایع مهم آلاینده
۱۰	۱-۴-۱- صنایع مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات
۱۱	۲-۴-۱- صنایع نساجی، پوشاک و چرم
۱۲	۳-۴-۱- صنایع سلولزی، چوب و کاغذ
۱۲	۴-۴-۱- صنایع شیمیایی و دارویی، نفت و زغال سنگ
۱۳	۵-۴-۱- صنایع محصولات کانی غیر فلزی
۱۳	۶-۴-۱- صنایع تولید فلزات اساسی
۱۸	۵-۱- فلزات سنگین
۱۸	۱-۵-۱- مس (Cu)
۲۱	۲-۵-۱- سرب (Pb)
۲۲	۳-۵-۱- کادمیوم (Cd)
۲۵	۴-۵-۱- روی (Zn)
۲۷	۵-۵-۱- نیکل (Ni)
۲۸	۶-۱- روشهای تصفیه فاضلاب
۲۹	۱-۶-۱- تصفیه فیزیکی
۳۲	۲-۶-۱- تصفیه شیمیایی
۳۳	۳-۶-۱- تصفیه زیستی
۳۴	۷-۱- ضایعات ارزان قیمت

صفحه	عنوان
۳۹	۱-۷-۱- پوسته شلتوک برنج
۴۳	۱-۷-۲- خاک اره
۴۴	۸-۱- خاک
۴۷	۹-۱- اهداف
فصل دوم: مواد و روشها	
۴۸	۱-۲- نمونه های جاذب
۴۸	۱-۱-۲- پوسته شلتوک
۴۸	۲-۱-۲- خاک اره
۴۹	۳-۱-۲- خاک
۴۹	۲-۲- تهیه محلولهای آزمایشگاهی حاوی فلزات سنگین
۴۹	۳-۲- انجام آزمایشات جذب
۴۹	۱-۳-۲- بررسی تأثیر pH در جذب
۵۰	۲-۳-۲- تهیه همدماهای جذب سطحی
۵۰	۳-۳-۲- بررسی اثر تعادل
۵۰	۴-۳-۲- بررسی تأثیر دانه بندی
۵۱	۴-۲- تیمار مواد جاذب
۵۱	۱-۴-۲- تیمار شیمیایی مواد جاذب با اسید و باز
۵۱	۲-۴-۲- تیمار حرارتی
۵۲	۵-۲- انجام آزمایشات جذب با استفاده از جاذبهای اصلاح شده
۵۲	۶-۲- تهیه نمونه های فاضلاب صنعتی
۵۲	۱-۶-۲- فاضلاب صنعتی شاهین شهر
۵۲	۲-۶-۲- فاضلاب آبکاری فلزات
۵۳	۳-۶-۲- فاضلاب کارخانه ذوب آهن اصفهان
۵۳	۷-۲- تجزیه شیمیایی و آزمایشات جذب نمونه های پساب
۵۳	۸-۲- آزمایش ستونی جاذبها
۵۶	۹-۲- کربن فعال تجارتي (گرانوله)
۵۶	۱۰-۲- رزین تبادل کاتیونی (گرانوله)
۵۶	۱۱-۲- اندازه گیری ها

۵۶.....	۲-۱۱-۱-EC و pH
۵۶.....	۲-۱۱-۲-فلزات سنگین
۵۷.....	۲-۱۱-۳-اندازه گیری CEC
۵۷.....	۲-۱۱-۴-اندازه گیری درصد عناصر
۵۷.....	۲-۱۱-۵-اندازه گیری سطح ویژه
۵۷.....	۲-۱۱-۶-طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

فصل سوم: نتایج و بحث

۵۹.....	۳-۱-۱-برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی جاذبها
۶۰.....	۳-۱-۱-۱-کلسیم، اکسیژن، کربن و آلومینیوم
۶۰.....	۳-۱-۱-۲-سیلیسیم
۶۰.....	۳-۱-۱-۳-CEC
۶۱.....	۳-۱-۱-۴-سطح ویژه
۶۳.....	۳-۲-برخی ویژگیهای فیزیکوشیمیایی خاک مورد آزمایش
۶۴.....	۳-۳-نتایج طیف سنجی FTIR
۶۴.....	۳-۳-۱-نتایج طیف سنجی FTIR خاک اره
۶۶.....	۳-۲-۲-نتایج طیف سنجی FTIR پوسته شلتوک برنج
۷۰.....	۳-۴-۱-اثر زمان تعادل
۷۳.....	۳-۵-۱-اثر pH در جذب
۸۳.....	۳-۶-۱-اثر نوع جاذب و یون فلز در جذب
۸۹.....	۳-۷-۱-اثر غلظت اولیه در جذب و همدماهای جذب سطحی
۹۴.....	۳-۷-۱-۱-معادله لانگمویر
۹۵.....	۳-۷-۲-معادله فروندلیچ
۱۰۰.....	۳-۸-۱-تأثیر دانه بندی
۱۰۰.....	۳-۹-۱-تأثیر تیمارهای اسیدی، بازی و حرارتی در جذب
۱۰۴.....	۳-۱۰-۱-نتایج مربوط به آنالیز نمونه های فاضلاب
۱۰۴.....	۳-۱۰-۱-۱-فاضلاب صنعتی شاهین شهر
۱۰۶.....	۳-۱۰-۲-فاضلاب صنعتی ذوب آهن
۱۰۶.....	۳-۱۰-۳-فاضلاب آبکاری

۱۰۷.....	۱۱-۳- کاربرد جاذبها به صورت ستون
۱۰۷.....	۱-۱۱-۳- آزمایش ستون با استفاده از محلولهای آزمایشگاهی
۱۰۸.....	۲-۱۱-۳- آزمایش ستون با استفاده از فاضلاب آبکاری
۱۱۰.....	۱۲-۳- نتایج کاربرد رزین و کرین فعال تجارتي

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۱۲.....	۱-۴- خلاصه نتایج
۱۱۵.....	۲-۴- پیشنهادات

۱۱۶.....	منابع علمی
----------	------------------

جدول ۱-۱- میزان مصرف آب در صنایع مختلف کشور	۷
جدول ۲-۱- میزان آب برداشتی از منابع مختلف برای انواع صنایع کشور در سال ۱۳۷۳	۸
جدول ۳-۱- مشخصات آلایندهای موجود در پساب خروجی صنایع چرم، مجتمع چرم تبریز	۱۲
جدول ۴-۱- مرز استاندارد آلایندها در پسابهای شهری و صنعتی برای تخلیه در پذیرنده های گوناگون	۱۵
جدول ۵-۱- مرز استاندارد عناصر شیمیایی در پسابهای تصفیه شده فاضلابها برای آبیاری به روش سطحی	۱۷
جدول ۶-۱- خلاصه ای از نتایج رسوب مس به صورت هیدروکسید در صنایع مختلف	۲۰
جدول ۷-۱- اثر تیمار رسوب هیدروکسید برای کاهش غلظت کادمیوم محلول	۲۴
جدول ۸-۱- خلاصه ای از نتایج تیمار رسوب هیدروکسید در کاهش غلظت روی فاضلاب	۲۶
جدول ۱-۲- مشخصات شیمیایی نمکهای مورد استفاده در آزمایش	۵۰
جدول ۱-۳- برخی خصوصیات شیمیایی خاک اره در حالت های خام و تیمار شده	۶۳
جدول ۲-۳- برخی خصوصیات شیمیایی پوسته شلتوک در حالت های خام و تیمار شده	۶۳
جدول ۳-۳- برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش	۶۴
جدول ۴-۳- مقایسه میانگین های اثر pH بر جذب یونهای فلزی به وسیله پوسته شلتوک، خاک اره و خاک	۷۳
جدول ۵-۳- مقایسه میانگین های اثر ۳ جذب بر جذب یونهای فلزات سنگین توسط جاذبهای مختلف	۸۲
جدول ۶-۳- میانگین مقدار جذب ۵ یون فلزی بر حسب cmol/kg	۸۷
جدول ۷-۳- مقادیر b, K و R ² معادلات لانگمویر و فروندلیچ برای جذب سطحی ۵ فلز سنگین	۹۶
جدول ۸-۳- تأثیر دانه بندی در مقدار جذب سه فلز نیکل، روی و مس توسط خاک اره و پوسته شلتوک خام	۱۰۰
جدول ۹-۳- مقایسه مقادیر جذب ۵ یون فلزی روی جاذبهای مختلف در pH = ۵	۱۰۲
جدول ۱۰-۳- مقایسه میانگین های اثر تیمار قلیایی و خام بر جذب یونهای فلزی	۱۰۴
جدول ۱۱-۳- غلظت فلزات سنگین فاضلاب صنعتی شاهین شهر (mg/l) قبل و بعد از تصفیه با جاذبهای مختلف	۱۰۵
جدول ۱۲-۳- غلظت فلزات سنگین فاضلاب صنعتی ذوب آهن (mg/l) قبل و بعد از تصفیه با جاذبهای مختلف	۱۰۶
جدول ۱۳-۳- غلظت فلزات سنگین فاضلاب آبکاری (mg/l) قبل و بعد از تصفیه با جاذبهای مختلف	۱۰۷
جدول ۱۴-۳- غلظت فلزات سنگین فاضلاب آبکاری (mg/l) بعد از عبور از ستون پوسته شلتوک و خاک اره بازی و احیا با آب و اسید	۱۰۹
جدول ۱۵-۳- غلظت فلزات سنگین فاضلاب آبکاری (mg/l) قبل و بعد از تماس با جاذبهای مختلف	۱۱۱

شکل ۱-۲- طرح شماتیک دستگاه تبادل یونی	۵۵
شکل ۱-۳- طیف FTIR خاک اره در حالت‌های خام و تیمار شده اسیدی، بازی و زغال	۶۸
شکل ۲-۳- طیف FTIR پوسته شلتوک در حالت‌های خام و تیمار شده اسیدی، بازی و زغال	۶۸
شکل ۳-۳- طیف FTIR خاک اره بازی قبل و بعد از جذب مس	۶۹
شکل ۴-۳- طیف FTIR پوسته شلتوک بازی قبل و بعد از جذب مس	۶۹
شکل ۵-۳- طیف FTIR پوسته شلتوک بازی قبل و بعد از جذب روی	۷۰
شکل ۶-۳- تأثیر زمان بر مقدار جذب روی به وسیله جاذبه‌های مختلف	۷۲
شکل ۷-۳- تأثیر زمان بر مقدار جذب مس به وسیله جاذبه‌های مختلف	۷۲
شکل ۸-۳- میانگین تغییر pH در جذب فلزات سنگین در تیمارهای اسیدی، بازی، زغال و خام سه جاذب خاک در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر	۷۵
شکل ۹-۳- تأثیر pH در جذب فلزات سنگین توسط خاک در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر	۷۵
شکل ۱۰-۳- تأثیر pH در جذب فلزات سنگین توسط خاک اره در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر	۷۶
شکل ۱۱-۳- تأثیر pH در جذب فلزات مختلف توسط پوسته شلتوک در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر	۷۶
شکل ۱۲-۳- تأثیر pH در مقدار جذب فلزات مختلف به وسیله تیمار قلیایی خاک اره	۷۷
شکل ۱۳-۳- تأثیر افزایش pH در مقدار جذب فلزات مختلف به وسیله تیمار قلیایی پوسته شلتوک	۷۷
شکل ۱۴-۳- اثر pH در جذب سرب توسط زغال پوسته شلتوک و خاک اره در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر	۷۸
شکل ۱۵-۳- اثر pH در جذب کادمیوم توسط زغال پوسته شلتوک و خاک اره در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر	۷۸
شکل ۱۶-۳- اثر pH در جذب سرب توسط خاک اره و پوسته شلتوک اسیدی در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر	۷۹
شکل ۱۷-۳- اثر pH در جذب کادمیوم توسط خاک اره و پوسته شلتوک اسیدی در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر	۷۹
شکل ۱۸-۳- اثر pH بر توزیع نسبی گونه‌های مس محلول	۸۱
شکل ۱۹-۳- مقایسه میانگین جذب فلزات مختلف توسط سه جاذب پوسته شلتوک، خاک اره و خاک	۸۳
شکل ۲۰-۳- رابطه شعاع یونی و میانگین جذب ظرفیت نگهداری فلزات سنگین توسط خاک اره، پوسته شلتوک و خاک	۸۶
شکل ۲۱-۳- همدم‌های جذب فلزات مختلف توسط پوسته شلتوک در pH=۵	۸۹
شکل ۲۲-۳- همدم‌های جذب فلزات مختلف توسط خاک اره در pH=۵	۸۹
شکل ۲۳-۳- همدم‌های جذب فلزات مختلف توسط خاک در pH=۵	۹۰

- شکل ۳-۲۴- همدماهای جذب سطحی فلزات سنگین توسط خاک اره قلیایی در $\text{pH} = 5$ ۹۰
- شکل ۳-۲۵- همدماهای جذب سطحی فلزات سنگین توسط پوسته شلتوک قلیایی در $\text{pH} = 5$ ۹۱
- شکل ۳-۲۶- همدماهای جذب سطحی سرب و کادمیوم توسط زغال خاک اره در $\text{pH} = 5$ ۹۱
- شکل ۳-۲۷- همدماهای جذب سطحی سرب و کادمیوم توسط زغال پوسته شلتوک در $\text{pH} = 5$ ۹۲
- شکل ۳-۲۸- برآزش داده های جذب سطحی روی به وسیله پوسته شلتوک با استفاده از مدل خطی فروندلیچ ۹۸
- شکل ۳-۲۹- برآزش داده های جذب سطحی کادمیوم به وسیله پوسته شلتوک با استفاده از مدل خطی فروندلیچ .. ۹۸
- شکل ۳-۳۰- برآزش داده های جذب سطحی کادمیوم به وسیله پوسته شلتوک با استفاده از مدل غیر خطی فروندلیچ ۹۹
- شکل ۳-۳۱- برآزش داده های جذب سطحی روی به وسیله پوسته شلتوک با استفاده از مدل غیر خطی فروندلیچ ۹۹
- شکل ۳-۳۲- اثر تیمارها بر جذب سرب و کادمیوم توسط پوسته شلتوک ۱۰۴
- شکل ۳-۳۳- مقدار روی جذب شده از محلول توسط ستون حاوی خاک اره و پوسته شلتوک خام و بازی ۱۰۸