١١٥٨١٤

دانشگاه بوعلی سینا

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه

کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران– گرایش مکانیک خاک و مهندسی پی

عنوان:

استفاده از نانورس‌ها در پروژه های ژئوتکنیک زیست‌محیطی به منظور جذب آلاینده‌های فلز سنگین

استاد راهنما:

دکتر وحیدرضا اوحدی

پژوهشگر:

محمد امیری

۱۳۸۸/۵/۱۳

اطلاعات مدارک

شعبه مدارک

زمستان ۱۳۸۷

۱۱۵۸۱۴

دانشگاه بوعلی سینا
دانشکده مهندسی

بسمه تعالی

تاریخ
شماره
پیوست

گواهی تصویب پایان نامه

موضوع پایان نامه : استفاده از نانو رس ها در پودرهای ژئوتکنیکی به منظور جذب آلاینده های فلزسنگین

بدینوسیله گواهی می شود جلسه دفاعیه پایان نامه خانم / آقای: محمد امیری .....
رشته: عمران - آب و سازه ورودی: ۱۳۸۵ نیمسال انتخابی: اول .....
در روز: سه شنبه مورخ: ۸۷/۱۱/۲۹ ساعت: ۱۰:۴۵ تحت سرپرستی:
۱- استاد راهنما: جناب آقای / سرکار خانم: دکتر وحید رضا اعتصامی
۲- استاد مشاور: جناب آقای / سرکار خانم: .....

در محل آبی تمار دانشکده مهندسی برگزار گردید که پس از بررسی از طرف نامبردگان پایان نامه فوق با نمره ۲۰ و درجه عالی در تاریخ ۸۷/۱۱/۲۹ به تصویب رسید.

نام و نام خانوادگی و امضاء استاد راهنما: دکتر وحید رضا اعتصامی
نام و نام خانوادگی و امضاء استاد مشاور: .....
نام و نام خانوادگی و امضاء اساتید مدعو: ۱- دکتر سید حسن طباطبایی
۲- دکتر محمد رضا کدخدایی
۳- .....
نام و نام خانوادگی و امضاء ناظر تحصیلات تکمیلی: دکتر مهرداد جابرزادگان
نام و نام خانوادگی مدیر گروه یا نماینده و امضاء: .....

مدیر گروه مهندسی : .....
نام و نام خانوادگی و امضاء : .....

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد و در صورت استفاده تمام یا بخشی از مطالب پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها باید نام دانشگاه بوعلی سینا (یا استاد راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این‌صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تقدیم به پدرم

که درس زندگی و تلاش را از همت والای او آموختم و هرچه دارم پس از دوست از اوست

و

تقدیم به مادرم

مظهر صبر و مهربانی و ایثار که وسعت بی کرانه قلبش ساحل امن من

است و هرچه دارم بعد از خدای از دعای خیر اوست

باشد که پذیرا باشند.

با تشکر فراوان از روشنگریهای دلسوزانه

استاد ارجمند

دکتر وحید رضا اوحدی

حمد و سپاس بی انتها پروردگار دانا و توانا که توفیقم داد تا سرشارترین لحظه های زندگیم را در راه دانش سپری کنم. خدایا تو را با تمام وجود سپاس می گویم که هدایتم کردی و لطفت را شامل حالم ساختی از تو مدد می گیرم تا سپاسم را بر تمامی آنانی که گامهای استوارشان و دستان پر از لطفشان تکیه گاه خستگی راهم بودند تقدیم کنم.

از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر وحید رضا اوحدی به خاطر تمام محبت ها و راهنمائی های ارزنده شان و تمامی زحماتی که در طول انجام پروژه متحمل شدند بسیار متشکرم.

از دوست عزیزم جناب آقای مهندس امیر رضا گودرزی به خاطر آنچه که از علم ایشان آموختم و راهنمایی های ایشان سپاسگزاری می کنم.

از اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر محمد ملکی، جناب آقای دکتر عباس قدیمی و جناب آقای دکتر مسعود مکارچیان که افتخار شاگردی آن ها را در این دوره داشته ام بسیار متشکرم.

از یکایک اعضای خانواده ام و دوستانی که خالق بهترین و زیباترین خاطراتم هستند بسیار متشکرم.

مولفین این مقاله از حمایت مالی "ستاد ویژه توسعه فناوری نانو" که امکان انجام مناسب‌تر و عمیق‌تر این تحقیق را فراهم آورد تشکر می‌نمایند.

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمد امیری

عنوان پایان نامه: استفاده از نانورس‌ها در پروژه‌های ژئوتکنیک زیست‌محیطی برای جذب آلاینده‌های فلز سنگین

استاد راهنما: دکتر وحیدرضا اوحدی

درجه: کارشناسی ارشد مهندسی عمران **گرایش:** مکانیک خاک و پی
دانشکده: فنی مهندسی- دانشگاه بوعلی سینا **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۷

کلمات کلیدی: نانورس، آلاینده فلز سنگین، بنتونیت، سرب، ظرفیت بافرینگ، پراش اشعه ایکس

چکیده:

در سال‌های اخیر استفاده از نانورس‌ها در پروژه‌های مختلف مهندسی گزارش شده‌است. لیکن در زمینه کاربرد ژئوتکنیک زیست محیطی نانورس‌ها، تحقیقات قابل توجهی صورت نگرفته است. در این پژوهش امکان استفاده از نانورس‌ها در پروژه‌های ژئوتکنیک زیست محیطی به منظور جذب آلاینده-های فلز سنگین مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار گرفته است. همچنین روشی برای تولید نانورس‌های با خلوص بالا ارائه شده است.

در این پژوهش به بررسی رفتاری نانورس‌ها در پروژه‌های ژئوتکنیک زیست‌محیطی به منظور جذب آلاینده‌های فلز سنگین پرداخته شده است. با انجام یکسری آزمایش‌های ژئوتکنیک زیست محیطی، شامل آزمایش‌های اندازه‌گیری ظرفیت بافرینگ، اندازه‌گیری قابلیت جذب آلاینده فلزسنگین در خاک، آزمایش‌های تعیین سطح مخصوص، و قابلیت تبادل کاتیونی خاک و آزمایش‌های میکروسکوپ الکترونی (SEM) و اشعه ایکس (XRD)، فرایند اندرکنش نانورس-آلاینده سنگین مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا رفتار ژئوتکنیک زیست محیطی چهار نمونه نانورس کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A، کلوزایت۳۰B، نمونه‌های رسی کائولینیت و بنتونیت، مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی قرار گرفته است. بررسی ظرفیت بافرینگ و میزان نگهداری فلز سنگین به وسیله نانوذرات اصلاح شده و همچنین تغییرات pH محیط با حضور آلاینده فلز سنگین نشان می‌دهد که ظرفیت تبادل کاتیونی، سطح مخصوص و کربنات، تأثیر قابل توجهی در ظرفیت بافرینگ خاک و میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین دارند. بررسی ظرفیت بافرینگ و میزان نگهداری فلز سنگین سرب به وسیله نانوذرات اصلاح شده در حضور کربنات نشان می‌دهد که در مقایسه سطح مخصوص و کربنات، بخش قابل توجهی از ظرفیت بافرینگ خاک ناشی از حضور کربنات است. از سوی دیگر نتایج آزمایش‌های ریز ساختاری پراش اشعه ایکس (XRD) و تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) انطباق مناسبی با نتایج قابلیت نگهداری آلاینده دارد. نتایج بخش اول تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در نمونه‌های بنتونیت، کائولینیت و چهار نانورس مورد

مطالعه، ترتیب قابلیت نگهداری آلودگی نمونه‌های خاک مورد آزمایش به صورت ذیل بوده است:
Bentonite > Cloisite®Na^+ > Kaolinite >Cloisite®30B > Cloisite®20A > Cloisite®15A

در بخش دوم مطالعات با افزایش درصدهای متفاوت کربنات به نمونه‌ها تلاش شد، به بررسی تاثیر کربنات، ظرفیت تبادل کاتیونی و سطح مخصوص در فرایند میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین و ظرفیت بافرینگ نمونه‌ها پرداخته شود. بر اساس نتایج حاصل از این بخش تأثیر حضور کربنات در قابلیت نگهداری آلاینده به وضوح مشخص شد، به نحوی که میزان قابلیت نگهداری آلاینده‌های فلز سنگین در نمونه نانورس کلوزایتNa^+ حاوی ۸٪ کربنات نسبت به نمونه بنتونیت مرجع افزایش ۴۰٪ را در غلظت ۱۰۰ cmol/kg-soil نشان می‌دهد. نتایج مطالعات بخش‌های اول و دوم، ما را به سوی فرایند جداسازی بخش‌های مختلف نمونه‌های رسی کائولینیت و بنتونیت با نگرش ویژه به جداسازی کربنات رهنمون کرد. از این‌رو در بخش سوم به جداسازی بخش‌های مختلف نمونه‌های رسی کائولینیت و بنتونیت پرداخته و سپس به تعیین خصوصیات اولیه نمونه‌ها از طریق آزمایش‌های ریز ساختاری پراش اشعه ایکس (XRD)، و تصاویر میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) و تعیین محدوده اندازه ذرات پرداخته شد. همچنین در این بخش به بررسی قابلیت نگهداری آلاینده فلز سنگین و بررسی میزان ظرفیت بافرینگ بخش‌های جداسازی شده نمونه‌های رسی پرداخته شد. از نتایج مهم حاصل در این بخش می‌توان به قابلیت نگهداری بسیار قابل‌توجه بخش تحتانی ته نشین شده در نمونه رسی بنتونیت بعد از مراحل مختلف سانتریفیوژ و شستشو اشاره کرد. راهکارهای ساده و جدید برای تولید میکرو و نانورس‌ها از دیگر مطالب این بخش می‌باشد. در بخش پایانی مطالعات نیز به بررسی شباهت‌های رفتاری نانورس‌های صنعتی و بخش نانو رس جداسازی شده از نمونه رسی بنتونیت پرداخته شده است، خلوص زیاد در نمونه تهیه شده آزمایشگاهی و مقایسه محدوده اندازه ذرات و همچنین پراش اشعه ایکس (XRD) این نمونه نسبت به نانورس کلوزایتNa^+ این نمونه را به عنوان جایگزین مناسبی برای نانورس وارداتی از کشورهای آمریکا، آلمان و چین معرفی می‌کند.
نتایج تحقیق حاضر در پروژه‌های دفن زباله‌های هسته‌ای، و پاکسازی خاک‌های آلوده کاربرد عملی دارد، همچنین امکان استفاده از نتایج تحقیق حاضر در صنایع مختلف و سازمان محیط زیست وجود دارد. قابل توجه است، مواد رسی و مواد ساخته شده حاضر از فرایندهای مکانیکی، کمتر زیست تخریب پذیرند و عدم زیست تخریب پذیری و قابلیت بازیافت قطعاً بر تجاری سازی یک ماده اثرگذار خواهد بود.

فهرست	صفحه

فهرست شکل‌ها ج

فهرست جداول س

مقدمه ۱

مُعرفی فناوری نانو ۳

معرفی و کاربرد رس‌ها و نانورس‌ها در پروژه‌های ژئوتکنیک زیست محیطی ۴

فصل اول: فناوری نانو، رس‌ها، نانورس‌ها و مهندسی ژئوتکنیک زیست محیطی ۹

پیش گفتار ۱۰

۱-۱- معرفی ۱۱

۱-۲- فناوری نانو ۱۱

۱-۲-۱- عناصر پایه در فناوری نانو ۱۱

۱-۲-۱-۱- منظور از نانوذره ۱۱

۱-۲-۱-۲- دومین عنصر پایه، نانوکپسول ۱۲

۱-۲-۱-۲-۱- انواع نانوکپسول‌ها عبارتند از ۱۲

۱-۲-۱-۳- عنصر پایه بُعدی، نانولوله کربنی ۱۲

۱-۲-۲- روش‌های ساخت عناصر پایه ۱۳

۱-۲-۳- کاربردهای فناوری نانو ۱۳

۱-۲-۴- مزایای نانوتکنولوژی ۱۴

۱-۲-۵- نانومواد و نانو پودرها ۱۴

۱-۲-۵-۱- تعریف نانومواد ۱۵

۱-۲-۶- روش‌های تولید نانومواد ۱۶

۱-۲-۶-۱- قوس پلاسما ۱۷

۱-۲-۶-۲- رسوب گذاری شیمیایی فاز بخار ۱۹

۱-۲-۶-۳- سل ـ ژل‌ها ۲۰

۱-۲-۶-۳- ۱- تشکیل سطوح نانو ساختار با استفاده از فرایند سل ـ ژل ۲۳

۱-۲-۶-۳- ۲- فناوری سل ـ ژل مزایای زیر را به دنبال دارد ۲۳

۱-۲-۶-۴ - رسوب گذاری الکتریکی ۲۴

۱-۲-۶-۵- سایش از طریق آسیاب‌های گلوله‌ای، ساچمه‌ای یا فلزی ۲۶

۱-۲-۶-۶- استفاده از نانوذرات طبیعی ۲۷

۱-۲-۷- کاربردهای نانومواد ۳۰

۱-۲-۷-۱- تابع فیلرهای پلیمر ۳۰

۱-۲-۷-۲- آرایش نانولوله ها و نانوسیم ها برای پوشش EMI ۳۱

۱-۲-۷-۳- الکترونیک و رشته‌های وابسته ۳۱

۱-۲-۷-۴- ضد رسوب آبی ۳۲

فهرست | صفحه

۱-۲-۷-۵- پوشش‌های دائمی ۳۲
۱-۲-۷-۶- کاتالیست ها ۳۲
۱-۲-۷-۷- ساخت و ساز ۳۳
۱-۲-۷-۸- محیط زیست ۳۴
۱-۳- رس‌ها ۳۵
۱-۳-۱- بافت خاک ۳۵
۱-۳-۲- کانی‌های رسی ۳۷
۱-۳-۳- کانی شناسی ۳۹
۱-۳-۳-۱- صفحات چهار وجهی ۳۹
۱-۳-۳-۲- صفحات هشت وجهی ۴۰
۱-۳-۴- بنتونیت ۴۱
۱-۳-۵- مونت‌موریلونیت ۴۲
۱-۳-۶- کائولینیت ۴۵
۱-۳-۷- مشخصات کانی رسی ۴۷
۱-۳-۷-۱- ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) ۴۷
۱-۳-۸- مواد آلی ۴۹
۱-۳-۹- کربنات و تأثیر بر قابلیت نگهداری خاک ۵۱
۱-۳-۱۰- ظرفیت بافرینگ ۵۲
۱-۴- رس‌ها در محیط زیست ۵۳
۱-۴-۱- کاربردهای عملی کانی‌های رسی در محیط زیست ۵۵
۱-۴-۱-۱- نسبت تأثیر رس‌ها بر روی یون‌های فلز سنگین متفاوت ۵۷
۱-۴-۲- تأثیرات زیست محیطی آلاینده‌های فلز سنگین سرب و مس با نگرش ویژه به ایران ۵۷
۱-۴-۲-۱- اثر سرب در آلودگی محیط زیست ۵۷
۱-۴-۲-۱-۱- تأثیر سرب در آلودگی خاک‌ها ۵۸
۱-۴-۲-۲- اثر مس در آلودگی محیط زیست ۶۰
۱-۵- ستون‌دار کردن رس‌ها و مواد جامد لایه‌ای ۶۱
۱-۵-۱- رس‌های اصلاح شده ۶۱
۱-۵-۲- پیشینه ستون‌دار کردن رس‌ها ۶۱
۱-۵-۳- جسم مرکب لایه‌ای ۶۲
۱-۵-۴- گروه‌افزایی ۶۳
۱-۵-۵- ستون‌دار کردن ۶۳
۱-۵-۶- عامل ستون‌دار کننده ۶۳

۱-۵-۷- ناحیه میان لایه‌ها ۶۴
۱-۵-۸- جسم لایه‌ای ستون‌دار یا ماده مرکب ستون‌دار ۶۴
۱-۵-۸-۱- توصیف دیاگرام لایه‌های جسم ستون‌دار ۶۵
۱-۵-۸-۲- نوع ماده مرکب میزبان ۶۵
۱-۵-۹- عامل ستون‌دار کننده ۶۶
۱-۵-۱۰- دسته‌بندی مواد ۶۶
۱-۵-۱۱- فعال سازی اسید ۶۷
۱-۶- نانورس‌ها ۶۷
نتیجه گیری ۷۱
فصل دوم: مواد و روش‌ها ۷۲
۲-۱- مواد مصرفی ۷۲
۲-۱-۱- فرایند جداسازی مکانیکی اجزاء نمونه رسی بنتونیت و کائولینیت به منظور دستیابی به میکرو و نانو ذرات رسی ۷۳
۲-۲-۱- مشخصات فیزیکی نانومواد و کانی‌های رسی مورد مطالعه ۷۸
۲-۲-۲- خصوصیات شیمیایی نانومواد و نمونه‌های رسی مورد مطالعه ۸۲
۲-۳- روش انجام مطالعات آزمایشگاهی ۹۱
۲-۳-۱- آزمایش تیتراسیون برای بررسی میزان نگهداشت نانومواد و کانی‌های رسی ۹۱
۲-۳-۲- روش بررسی اندرکنش نانومواد – فلزات سنگین و نمونه‌های رسی مورد مطالعه - فلزات سنگین و خصوصیات جذب و نگهداری خاک ۹۱
فصل سوم : بحث و بررسی نتایج ۹۳
۳-۱- بررسی آزمایش‌های رفتاری و ریز ساختاری نانومواد رسی صنعتی و کانی‌های رسی ۹۳
۳-۱-۱- آزمایش‌های رفتاری ۹۳
۳-۱-۱-۱- مشخصات ظرفیت نگهداشت در کانی‌های رسی کائولینیت، بنتونیت و نانومواد رسی صنعتی (کلوزایتNa^+، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) با استفاده از آزمایش تیتراسیون ۹۳
۳-۱-۱-۲- مشخصات جذب و نگهداری فلزات سنگین در نمونه‌های رسی کائولینیت، بنتونیت و نانومواد رسی صنعتی (کلوزایتNa^+، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت ۳۰B) ۹۶
۳-۱-۱-۳- بررسی تغییرات pH با میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین ۱۰۳
۳-۱-۲- آزمایش‌های ریز ساختاری ۱۰۶
۳-۱-۲-۱- بررسی نتایج آزمایش پراکنش اشعه ایکس (XRD) ۱۰۶

۳-۲- بررسی آزمایش‌های رفتاری و ریز ساختاری کانی‌های رسی و نانورس‌های غنی شده با درصدهای مختلف کربنات ۱۱۰
۳-۲-۱- آزمایش‌های رفتاری ۱۱۰
۳-۲-۱-۱- مشخصات ظرفیت نگهداشت در کانی‌های رسی کائولینیت، بنتونیت و نانومواد رسی صنعتی اصلاح شده (کلوزایت Na^+، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) در حضور کربنات با استفاده از آزمایش تیتراسیون ۱۱۰
۳-۲-۱-۲- مشخصات جذب و نگهداری فلزات سنگین (سرب، مس) در کانی‌های رسی کائولینیت، بنتونیت و نانومواد رسی صنعتی (کلوزایت Na^+، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) در حضور کربنات ۱۲۰
۳-۲-۱-۳- بررسی تغییرات pH با میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین ۱۴۶
۳-۲-۲- آزمایش‌های ریز ساختاری ۱۵۸
۳-۲-۲-۱- بررسی نتایج آزمایش پراکنش اشعه ایکس (XRD) ۱۵۸
۳-۳- بررسی آزمایش‌های رفتاری و ریز ساختاری بخش‌های جداسازی شده نمونه-های رسی از طریق فرایند مکانیکی ۱۵۹
۳-۳-۱- آزمایش‌های رفتاری نمونه رسی بنتونیت و بخش‌های جداسازی شده ۱۶۰
۳-۳-۱-۱- مشخصات ظرفیت نگهداشت بخش سطحی نمونه رسی بنتونیت (SLB) و بخش زیرین نمونه رسی بنتونیت (BLB) ۱۶۰
۳-۳-۱-۲- مشخصات جذب و نگهداری فلزات سنگین توسط بخش سطحی نمونه رسی بنتونیت (SLB) و بخش زیرین (تحتانی) نمونه رسی بنتونیت (BLB) ۱۶۳
۳-۳-۱-۳- بررسی تغییرات pH با میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین ۱۶۷
۳-۳-۱-۴- آزمایش‌های ریز ساختاری ۱۶۹
۳-۳-۱-۴-۱- بررسی نتایج آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD) ۱۶۹
۳-۳-۲- آزمایش‌های رفتاری نمونه رسی کائولینیت و بخش‌های جداسازی شده ۱۷۴
۳-۳-۲-۱- مشخصات ظرفیت نگهداشت، جذب و نگهداری فلزات سنگین و تغییرات pH با میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین در بخش سطحی کانی رسی کائولینیت (SLK) و بخش زیرین (تحتانی) کانی رسی کائولینیت (BLK) ۱۷۵
۳-۳-۲-۴- آزمایش‌های ریز ساختاری ۱۷۷
۳-۳-۲-۴-۱- بررسی نتایج آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD) ۱۷۷
۴- فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۷۸
۴-۱- نتیجه گیری ۱۷۸
۴-۲- پیشنهادات ۱۹۰
مراجع ۱۹۱

فهرست شکل‌ها

صفحه

شکل (۱-۱). نانوکپسول‌های کربنی ۱۲

شکل (۱-۲). شمای یک مولکول بدام افتاده در نانوکپسول ۱۲

شکل (۱-۳-الف). نانوکریستال‌های از: اکسید سریم CeO_2 ۱۶

شکل (۱-۳-ب). نانوکریستال‌های از: اکسید روی ZnO ۱۶

شکل (۱-۴). روش‌های تولید نانومواد ۱۸

شکل (۱-۵). مولکول‌های استوانه‌ای که در کنار هم از طریق رسوب گذاری شیمیایی فاز بخار گرد آمده‌اند ۱۹

شکل (۱-۶). الف. طرح مربوط به شناسای تشکیل نانوستون‌ها ۲۱

شکل (۱-۷). خلاصه فرایند سل-ژل ۲۴

شکل (۱-۸). نانوکامپوزیت‌های پلاستیک-فلز که در جداسازی انتخابی یون به کار می‌روند ۲۵

شکل (۱-۹). تشکیل فیلوسیلیکاتهای نانوساختار ۲۹

شکل (۱-۱۰). نمودار نمایش (A) یک لایه کانی رسی؛ (B) یک ذره، ساخته شده از یک توده لایه‌ها؛ انتقال وتغییر شکل لایه‌ها می‌تواند موجب تشکیل منافذ عدسی‌وار شود؛ (C) یک توده، نمایش فضای میان لایه‌ها و فضای میان ذرات؛ (D) یک تجمع از توده‌ها (ذرات)، نمایش فضای میان توده‌ها ۳۶

شکل (۱-۱۱). نمادهای تجمع ذرات در سوسپانسیون‌های رسی و اصطلاحات مربوط به آن ۳۷

شکل (۱-۱۲). کلیات طرح نشان دهنده روابط میان مشاهدات متفاوت در یک مطالعه زمین شناختی سنگ‌های تشکیل شدهٔ رسی است ۳۸

شکل (۱-۱۳). تصویر شماتیک تتراهدرال SiO_4^{4-} یا AlO_4^{5-} با ضخامت h_t معادل ۱۲,۱۲ A^O ۴۰

شکل (۱-۱۴). ساختار صفحه اکتاهدرال a) ضخامت با $RV = \cos\alpha$ ($\alpha = 35.26$) b) در اینجا b بعد صفحات سه اکتاهدرالی (بروسایت) دو اکتاهدرالی (گیبسایت) در واحد مولکولی به ترتیب ۹,۴۳ A^O و ۸,۴۶ است ($a = \frac{b}{\sqrt{3}}$) ۴۱

شکل (۱-۱۵). تصویر شماتیک از ساختار ۲:۱ لایه‌های سیلیکات (اسمکتایت) ۴۴

شکل (۱-۱۶). ساختار مونت‌موریولینیت ۴۵

شکل (۱-۱۷). ساختار کائولینیت ۴۵

شکل (۱-۱۸). ساختار سطح و لبه‌های سطوح کریستال‌های کائولینیت a) در pH قلیایی، پیوندهای گسیخته شده شبکه بلوری با گروه OH خنثی می‌شود. b) در یک pH اسیدی گروه‌های آلومینول، پروتون‌های H^+ را نگه داشته، بنابراین گروه‌های $Al_{(III)} - H_2O$ را که سایت‌های اسید لویس هستند، شکل می‌دهند ۴۹

شکل (۱-۱۹). نمایش شماتیک میان ظرفیت تبادل کاتیونی، بار درون لایه‌ای و نسبت سایت‌های نگهداری K^+ و NH_4^+ ۵۰

شکل (۱-۲۰). وضعیت کمپلکس‌های معمولی در سطح مشترک کانی- محلول و رابطه یون‌های پراکنده در یک لایه آلومینوسیلیکات ۵۷

شکل (۱-۲۱). زه‌آب یکی از معادن سرب ایران ۵۹

شکل (۱-۲۲-الف). متوسط نرخ رشد تولید جهانی سرب طی سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۹۷ ۵۹

شکل (۱-۲۲-ب). میزان سرب تولید شده درایران در سالهای ۲۰۰۳- ۱۹۹۹ ۵۹

شکل (۱-۲۳-الف). یون‌های مس در سطوح مختلف خاک ۶۰

شکل (۱-۲۳-ب). یون‌های مس در سطوح مختلف آب ۶۰

شکل (۱-۲۴). تصویر شماتیک نانو مواد سه بعدی ۶۸

شکل (۱-۲۵). تصویر شماتیک نانومواد دو بعدی (نانولوله کربنی و نانورس) ۶۹
شکل (۱-۲۶). تصویر SEM از کانی رسی مونت‌موریولینیت ۶۹
شکل (۱-۲۷). تأثیر افزودن نانورس پی‌کی در نایلون ۶ و افزایش (HDT) ۷۰
شکل (۲-۱). فرایند جدا سازی مکانیکی اجزا ء بنتونیت مرحله اول ۷۴
شکل (۲-۲). فرایند جدا سازی مکانیکی اجزا ء بنتونیت مرحله دوم ۷۶
شکل (۲-۳). فرایند جدا سازی مکانیکی اجزا ء بنتونیت مرحله سوم ۷۷
شکل (۳-۱). میزان ظرفیت بافرینگ نانورس‌های صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) ۹۳
شکل (۳-۲). منحنی تیتراسیون کانی‌های رسی کائولینیت، بنتونیت و نانورس‌های صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) ۹۴
شکل (۳-۳). بررسی میزان جذب آلاینده فلز سنگین سرب در چهار نمونه نانورس در مقایسه با نمونه بنتونیت ۹۷
شکل (۳-۴). بررسی میزان جذب آلاینده فلز سنگین مس در چهار نمونه نانورس در مقایسه با نمونه بنتونیت ۹۸
شکل (۳-۵). بررسی میزان جذب آلاینده فلز سنگین سرب در نمونه‌های کائولینیت، کلوزایت^{+}Na و کلوزایت۳۰B ۹۹
شکل (۳-۶). بررسی میزان جذب آلاینده فلز سنگین مس در نمونه‌های کائولینیت، کلوزایت^{+}Na و کلوزایت۳۰B ۱۰۰
شکل (۳-۷). مقایسه میزان جذب آلاینده فلز سنگین سرب و مس در نمونه‌های بنتونیت، کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵Aو کلوزایت۳۰B ۱۰۰
شکل (۳-۸). بررسی تغییرات pH نمونه رسی بنتونیت و نانومواد رسی صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) در حضور آلاینده فلز سنگین سرب ۱۰۴
شکل (۳-۹). بررسی تغییرات pH نمونه رسی بنتونیت و نانومواد رسی صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت ۲۰A و کلوزایت۳۰B) در حضور آلاینده فلز سنگین مس ۱۰۵
شکل (۳-۱۰- الف). بررسی تغییرات pH نمونه رسی بنتونیت، کائولینیت و کلوزایت^{+}Na در حضور آلاینده سرب ۱۰۶
شکل (۳-۱۰-ب). بررسی تغییرات pH نمونه رسی بنتونیت، کائولینیت و کلوزایت^{+}Na در حضور آلاینده سرب ۱۰۶
شکل (۳-۱۱). تغییرات شدت و موقعیت پیک در نانوماده رسی کلوزایت^{+}Na ناشی از افزایش غلظت آلاینده سرب ۱۰۷
(۳-۱۲). تغییرات شدت و موقعیت پیک در نانوماده رسی کلوزایت۱۵A ناشی از افزایش غلظت آلاینده سرب ۱۰۸
(۳-۱۳). تغییرات شدت و موقعیت پیک در نانوماده رسی کلوزایت۲۰A ناشی از افزایش غلظت آلاینده سرب ۱۰۹
(۳-۱۴). تغییرات شدت و موقعیت پیک در نانوماده رسی کلوزایت۳۰B ناشی از افزایش غلظت آلاینده سرب ۱۰۹
شکل (۳-۱۵). منحنی تیتراسیون چهار نانورس صنعتی ۱۱۱
شکل (۳-۱۶). منحنی تیتراسیون نانورس صنعتی کلوزایت^{+}Na در حضور درصدهای متفاوت کربنات ۱۱۲

شکل(۳-۱۷). منحنی تیتراسیون نانورس صنعتی کلوزایت۱۵A در حضور درصدهای متفاوت کربنات ۱۱۴
شکل (۳-۱۸). منحنی تیتراسیون نانورس صنعتی کلوزایت۲۰A در حضور درصدهای متفاوت کربنات ۱۱۶
شکل (۳-۱۹) . منحنی تیتراسیون نانورس صنعتی کلوزایت۳۰B در حضور درصدهای متفاوت کربنات ۱۱۷
شکل (۳-۲۰). میزان ظرفیت بافرینگ نانومواد رسی صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) در حضور ۴٪ کربنات در مقایسه با نمونه کائولینیت مرجع ۱۱۸
شکل (۳-۲۱). میزان ظرفیت بافرینگ نانومواد رسی صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) در حضور ۸٪ کربنات در مقایسه با نمونه بنتونیت مرجع ۱۱۹
شکل (۳-۲۲). میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط نانومواد رسی صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) ۱۲۱
شکل (۳-۲۳-الف). میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط نانورس صنعتی کلوزایت^{+}Na در حضور کربنات مصنوعی ۱۲۲
شکل (۳-۲۳-ب). نمودار ستونی میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط نانورس صنعتی کلوزایت^{+}Na در حضور کربنات مصنوعی ۱۲۳
(۳-۲۳-ج). درصد افزایش جذب و میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط نانورس صنعتی کلوزایت^{+}Na غنی شده با درصدهای متفاوت کربنات نسبت به بنتونیت، کائولینیت و کلوزایت^{+}Na در غلظت ۱۰۰ cmol/kg-soil ۱۲۵
(۳-۲۳-د). درصد افزایش جذب و میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط نانورس صنعتی کلوزایت^{+}Na غنی شده با درصدهای متفاوت کربنات نسبت به بنتونیت، کائولینیت و کلوزایت^{+}Na در غلظت ۲۵۰ cmol/kg-soil ۱۲۵
شکل (۳-۲۴). میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط نانورس صنعتی کلوزایت۱۵A در حضور کربنات مصنوعی ۱۲۷
شکل (۳-۲۵). میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط نانورس صنعتی کلوزایت۲۰A در حضور کربنات مصنوعی ۱۲۹
شکل (۳-۲۶). میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط نانورس صنعتی کلوزایت۳۰B در حضور کربنات مصنوعی ۱۳۱
شکل (۳-۲۷). میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط کانی رسی کائولینیت و نانومواد رسی صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A،کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) در حضور ۴٪ کربنات ۱۳۲
شکل (۳-۲۸). میزان نگهداری فلز سنگین سرب توسط نمونه رسی بنتونیت و نانومواد رسی صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) در حضور ۸٪ کربنات ۱۳۴
شکل (۳-۲۹). میزان نگهداری فلز سنگین مس توسط نانورس‌های صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B) ۱۳۶
شکل (۳-۳۰). میزان نگهداری فلز سنگین مس توسط نانورس صنعتی کلوزایت^{+}Na در حضور کربنات مصنوعی ۱۳۷
شکل (۳-۳۰-الف). میزان نگهداری فلز سنگین مس توسط نانورس صنعتی کلوزایت^{+}Na در حضور کربنات مصنوعی ۱۳۷
شکل (۳-۳۱). میزان نگهداری فلز سنگین مس توسط نانورس صنعتی کلوزایت۱۵A در حضور کربنات مصنوعی ۱۳۹
شکل (۳-۳۲). میزان نگهداری فلز سنگین مس توسط نانورس صنعتی کلوزایت۲۰A در حضور کربنات ۱۴۱

مصنوعی
شکل (۳-۳۳). میزان نگهداری فلز سنگین مس توسط نانورس صنعتی کلوزایت۳۰B در حضور کربنات مصنوعی ۱۴۲
شکل (۳-۳۴). میزان نگهداری فلز سنگین مس توسط نانوذرات رسی صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت ۲۰A و کلوزایت ۳۰B) در حضور ۸٪ کربنات ۱۴۴
شکل (۳-۳۵). میزان نگهداری فلز سنگین مس توسط نانوذرات رسی صنعتی (کلوزایت^{+}Na، کلوزایت۱۵A، کلوزایت ۲۰A و کلوزایت ۳۰B) در حضور ۸٪ کربنات ۱۴۵
شکل (۳-۳۶). بررسی تغییرات pH نمونه نانورس کلوزایت^{+}Na غنی شده با کربنات کلسیم در حضورغلظت‌های متفاوت فلز سنگین سرب ۱۴۶
شکل (۳-۳۷). بررسی تغییرات pH نمونه نانورس کلوزایت۱۵A غنی شده با کربنات کلسیم در حضورغلظت‌های متفاوت فلز سنگین سرب ۱۴۷
شکل (۳-۳۸). بررسی تغییرات pH نمونه نانورس کلوزایت۲۰A غنی شده با کربنات کلسیم در حضورغلظت‌های متفاوت فلز سنگین سرب ۱۴۹
شکل (۳-۳۹). بررسی تغییرات pH نمونه نانورس کلوزایت۳۰B غنی شده با کربنات کلسیم در حضورغلظت‌های متفاوت فلز سنگین سرب ۱۵۰
شکل (۳-۴۰). بررسی تغییرات درصد جذب فلز سنگین سرب، در نمونه کلوزایت^{+}Na غنی شده با کربنات کلسیم در برابر تغییرات pH ۱۵۱
شکل (۳-۴۱). بررسی تغییرات درصد جذب فلز سنگین سرب، در نمونه کلوزایت۱۵A غنی شده با کربنات کلسیم در برابر تغییرات pH ۱۵۱
شکل (۳-۴۲). بررسی تغییرات درصد جذب فلز سنگین سرب، در نمونه کلوزایت۲۰A غنی شده با کربنات کلسیم در برابر تغییرات pH ۱۵۱
شکل (۳-۴۳). بررسی تغییرات درصد جذب فلز سنگین سرب، در نمونه کلوزایت۳۰B غنی شده با کربنات کلسیم در برابر تغییرات pH ۱۵۱
شکل (۳-۴۴). بررسی تغییرات pH نمونه نانورس کلوزایت Na غنی شده با کربنات کلسیم در حضورغلظت‌های متفاوت فلز سنگین مس ۱۵۲
شکل (۳-۴۵). بررسی تغییرات pH نمونه نانورس کلوزایت۱۵A غنی شده با کربنات کلسیم در حضورغلظت‌های متفاوت فلز سنگین مس ۱۵۴
شکل (۳-۴۶). بررسی تغییرات pH نمونه نانورس کلوزایت۲۰A غنی شده با کربنات کلسیم در حضورغلظت‌های متفاوت فلز سنگین مس ۱۵۵
شکل (۳-۴۷). بررسی تغییرات pH نمونه نانورس کلوزایت۳۰B غنی شده با کربنات کلسیم در حضورغلظت‌های متفاوت فلز سنگین مس ۱۵۶
شکل (۳-۴۸). بررسی تغییرات درصد جذب فلز سنگین مس، در نمونه کلوزایت^{+}Na غنی شده با کربنات کلسیم در برابر تغییرات pH ۱۵۷
شکل (۳-۴۹). بررسی تغییرات درصد جذب فلز سنگین مس، در نمونه کلوزایت۱۵A غنی شده با کربنات کلسیم در برابر تغییرات pH ۱۵۷
شکل (۳-۵۰). بررسی تغییرات درصد جذب فلز سنگین مس، در نمونه کلوزایت۲۰A غنی شده با کربنات کلسیم در برابر تغییرات pH ۱۵۷

شکل (۳-۵۱). بررسی تغییرات درصد جذب فلز سنگین مس، در نمونه کلوزایتB۳۰ غنی شده با کربنات کلسیم در برابر تغییرات pH ۱۵۷
شکل (۳-۵۲- الف). منحنی پراش اشعه ایکس نانورس کلوزایتNa^+ غنی شده با ۸٪ کربنات کلسیم ۱۵۸
شکل (۳-۵۲- ب). منحنی پراش اشعه ایکس نانورس کلوزایتA۲۰ غنی شده با ۸٪ کربنات کلسیم ۱۵۹
شکل (۳-۵۳). میزان ظرفیت بافرینگ کانی رسی بنتونیت و بخش‌های جداسازی شده از طریق فرآیند مکانیکی (SLB و BLB) ۱۶۱
شکل (۳-۵۴). میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین سرب توسط کانی رسی بنتونیت و بخش‌های جداسازی شده از طریق فرآیند مکانیکی ۱۶۳
شکل (۳-۵۵). میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین مس توسط کانی رسی بنتونیت و بخش‌های جداسازی شده از طریق فرآیند مکانیکی (SLB و BLB) ۱۶۵
شکل (۳-۵۶). مقایسه میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین سرب و مس توسط کانی رسی بنتونیت و بخش‌های جداسازی شده از طریق فرآیند مکانیکی (SLB و BLB) ۱۶۶
شکل (۳-۵۷). بررسی تغییرات pH کانی رسی بنتونیت و بخش‌های جداسازی شده از طریق فرآیند مکانیکی (SLB و BLB) در حضور آلاینده فلز سنگین سرب ۱۶۷
شکل (۳-۵۸). بررسی تغییرات pH کانی رسی بنتونیت و بخش‌های جداسازی شده از طریق فرآیند مکانیکی در حضور آلاینده فلز سنگین مس ۱۶۹
شکل (۳-۵۹). پراش اشعه ایکس نمونه رسی بنتونیت مرجع ۱۷۰
شکل (۳-۶۰). پراش اشعه ایکس نمونه رسی SLB ۱۷۱
شکل (۳-۶۱). پراش اشعه ایکس نمونه رسی MLB ۱۷۲
شکل (۳-۶۲). پراش اشعه ایکس نمونه رسی BLB ۱۷۳
شکل (۳-۶۳). شدت پیک کانی مونت‌موریلونیت و دیگر اجزای بنتونیت در پراش اشعه ایکس نمونه-های رسی بنتونیت، SLBو BLB ۱۷۴
شکل (۳-۶۴). میزان ظرفیت بافرینگ کربنات کلسیم،کانی رسی کائولینیت و بخش‌های جداسازی شده از طریق فرایند مکانیکی ۱۷۵
شکل (۳-۶۵).میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین سرب توسط کانی رسی کائولینیت و بخش‌های جداسازی شده از طریق فرایند مکانیکی ۱۷۶
شکل (۳-۶۵). بررسی تغییرات pH کانی رسی کائولینیت و بخش‌های جداسازی شده از طریق فرایند مکانیکی در حضور آلاینده فلز سنگین سرب ۱۷۷
شکل (۳-۶۶). پراش اشعه ایکس نمونه رسی SLK ۱۷۷
شکل (۳-۶۷). پراش اشعه ایکس نمونه رسی BLK ۱۷۷
شکل (۴-۱). میزان ظرفیت بافرینگSLB (بخش جداسازی شده بنتونیت) و نانورس کلوزایتNa^+ ۱۸۷
شکل (۴-۲). میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین سرب توسط SLB و نانورس کلوزایتNa^+ ۱۸۸
شکل (۴-۳). میزان نگهداری آلاینده فلز سنگین مس توسط SLB و نانورس کلوزایتNa^+ ۱۸۸
شکل (۴-۴). بررسی تغییرات pH، SLB و نانورس کلوزایتNa^+ در حضور آلاینده فلز سنگین سرب ۱۸۸
شکل (۴-۵). بررسی تغییرات pH، SLB و نانورس کلوزایتNa^+ در حضور آلاینده فلز سنگین مس ۱۸۸
شکل (۴-۶). منحنی پراش اشعه ایکس نانورس کلوزایتNa^+ ۱۸۹
شکل (۴-۷). منحنی پراش اشعه ایکس نمونه SLB ۱۸۹

جدول (۱-۱). ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) چندین کانی رسی ۴۷
جدول (۲-۱). مشخصات فیزیکی نمونه رسی کائولینیت ۷۹
جدول (۲-۲). مشخصات فیزیکی نمونه رسی کائولینیت حاصل از فرایند جداسازی مکانیکی (Surface Layer Kaolinite = SLK) ۷۹
جدول (۲-۳). مشخصات فیزیکی بخش زیرین (تحتانی) نمونه رسی کائولینیت حاصل از فرایند جداسازی مکانیکی (Bottom Layer Kaolinite = BLK) ۷۹
جدول (۲-۴). مشخصات فیزیکی نمونه رسی بنتونیت ۸۰
جدول (۲-۵). مشخصات فیزیکی نمونه رسی بنتونیت حاصل از فرایند جداسازی مکانیکی (Surface Layer Bentonite = SLB) ۸۰
جدول (۲-۶). مشخصات فیزیکی بخش زیرین (تحتانی) نمونه رسی بنتونیت حاصل از فرایند جداسازی مکانیکی (Bottom Layer Bentonite = BLB) ۸۰
جدول (۲-۷). مشخصات فیزیکی نانوذرات رسی اصلاح شده کلوزایت Na^+ ۸۱
جدول (۲-۸). مشخصات فیزیکی نانوذرات رسی اصلاح شده کلوزایت۱۵A ۸۱
جدول (۲-۹). مشخصات فیزیکی نانوذرات رسی اصلاح شده کلوزایت۲۰A ۸۱
جدول (۲-۱۰). مشخصات فیزیکی نانوذرات رسی اصلاح شده کلوزایت۳۰B ۸۲
جدول (۲-۱۱). برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست محیطی نمونه رسی کائولینیت ۸۴
جدول (۲-۱۲). برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست محیطی نمونه رسی کائولینیت حاصل از فرایند جداسازی مکانیکی (Surface Layer Kaolinite = SLK) نمونه رسی کائولینیت ۸۴
جدول (۲-۱۳). برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست محیطی بخش زیرین (تحتانی) نمونه رسی کائولینیت حاصل از فرایند جداسازی مکانیکی (Bottom Layer Kaolinite = BLK) ۸۵
جدول (۲-۱۴). برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست محیطی نمونه رسی بنتونیت ۸۵
جدول (۲-۱۵). برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست محیطی نمونه رسی بنتونیت حاصل از فرایند جداسازی مکانیکی (Surface Layer Bentonite = SLB) ۸۶
جدول (۲-۱۶). مشخصات شیمیایی بخش زیرین (تحتانی) نمونه رسی بنتونیت حاصل از فرایند جداسازی مکانیکی (Bottom Layer Bentonite = BLB) ۸۶
جدول (۲-۱۷). برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست محیطی نانوذرات رسی اصلاح شده کلوزایتNa^+ ۸۷
جدول (۲-۱۸). برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست محیطی نانوذرات رسی اصلاح شده کلوزایت۱۵A ۸۸
جدول (۲-۱۹). برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست محیطی نانوذرات رسی اصلاح شده کلوزایت۲۰A ۸۹
جدول (۲-۲۰). برخی از مشخصات ژئوتکنیک زیست محیطی نانوذرات رسی اصلاح شده کلوزایت۳۰B ۹۰
جدول(۳-۱). بررسی ضریب بافرینگ درکانی‌های رسی و نانومواد طبیعی اصلاح شده (نانورس‌ها) ۹۶
جدول (۳-۲). بررسی کاهش درصد میزان جذب آلاینده فلز سنگین در نمونه‌های کلوزایت۱۵A، کلوزایت۲۰A و کلوزایت۳۰B نسبت به کلوزایتNa^+ ۹۷
جدول(۳-۳). مقایسه مقادیر CEC و SSA نمونه های مورد مطالعه ۱۰۲
جدول(۳-۴). بررسی ضریب بافرینگ در نمونه کلوزایت Na^+ در درصدهای مختلف کربنات ۱۱۲
جدول(۳-۵). بررسی ضریب بافرینگ در نمونه کلوزایت۱۵A در درصدهای مختلف کربنات ۱۱۴