بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی
گروه عمران

پایان نامه:
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران
گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان:

تاثیر خصوصیات آب حفره‌ای بر توزیع اندازه ذرات و رفتار رئولوژیکی تعدادی از کانی‌های رسی

استاد راهنما:
پروفسور وحیدرضا اوحدی

پژوهشگر:
آروین طلایی

مهر ۱۳۹۰

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

……..……, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات داخلی

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

سپاس و ستایش، مخصوص خداوندی است که انسان را آفرید و او را به فضیلت تعلیم و تعلم بر دیگر مخلوقات خود برتری بخشید.

خدای من! تو را حمد و سپاس می گویم که همواره یاری رسانم بوده ای و دریچه های علم و معرفت را فرارویم گشوده ای.

سهم ناقابل خود را از این پایان نامه تقدیم می کنم:

به مادرم

مظهر استقامت و ایثار که دل مهربانش، آکنده جاودان از خودگذشتگی بوده و سعی و تلاشش را در راه پیشرفت و سعادت فرزندانش

صرف نموده

به پدرم

که زندگی کردن را از همت و کوشش والایش آموخته ام

و هرچه دارم، از روشنی فکر اوست

و خواهر و برادر عزیزم

که دور أس طلایی دیگر زندگی ام هستند

تقدیر و تشکر

با سپاس از خالق هستی که توان شناختن را به من ارزانی داشت، سپاس ویژه خود را هدیه می کنم به استاد بزرگوار و فرزانه پروفسور وحیدرضا اوحدی، چراکه قلم قاصر است از تشکری برای ((یادگرفتن)).

به پاس شاگردی بر خود لازم می دانم از همه استادان و سرورانی که هریک به نحوی مرا در راه گشایش تنگناهای این پژوهش انجام شده یاری کردند، قدردانی داشته باشم. از استاد راهنمای گرانقدر پروفسور وحیدرضا اوحدی که راهنمایی مرا در تدوین و ارایه این پایان نامه پذیرفتند، کمال تشکر را دارم. از دکتر نایینی و دکتر طهماسبی که زحمت بازخوانی و داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند قدردانی می کنم. همچنین از کلیه دوستان عزیز:

آقایان حسام الدین امین پور، مرتضی دیرانلو، صلاح الدین حمیدی، یاسر یوسفی، محمد امیری، حامد بخشعلی پور، محمد خلج، میثم بیات، محسن موسیوند، امید بهادری نژاد، محمد ابراهیمی و خانم ها مریم جامه بزرگ، بهار آهو قلندری و مینا زنگنه کمال تشکر را دارم.

و از تمام کسانی که در تمام این دوره یار و یاور من بودند و در اجرای بهتر این پایان نامه مرا قادر ساختند، متشکرم.

آروین طلایی

مهر ۱۳۹۰

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات پایان نامه تحصیلی

عنوان:

تاثیر خصوصیات آب حفره‌ای بر توزیع اندازه ذرات و رفتار رئولوژیکی تعدادی از کانی‌های رسی

نام نویسنده: آروین طلایی

نام استاد/اساتید راهنما: پروفسور وحیدرضا اوحدی

نام استاد/اساتید مشاور: -

دانشکده : مهندسی	**گروه آموزشی: عمران**	
رشته تحصیلی: مهندسی عمران	**گرایش تحصیلی: مکانیک خاک و پی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: ۸۹/۰۸/۲۴	**تاریخ دفاع: ۹۰/۰۷/۱۳**	**تعداد صفحات: ۲۱۸**

چکیده:

اجزای رسی در خاک‌ها به‌علت خصوصیات کانی‌شناسی، سطح مخصوص و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، مهم‌ترین و تأثیرگذارترین اجزا در نگهداری آلاینده‌های ناشی از فلزات سنگین هستند. از خاکهای رسی به‌دلیل ظرفیت بافرینگ بالا و نفوذپذیری کم، به‌وفور در پروژه‌های اجرای دیوارهای آب‌بند و پوشش‌های رسی مراکز مهندسی دفن زباله استفاده می‌شود. همچنین سوسپانسیون‌های رسی به واسطه‌ی رفتار رئولوژیکی استثنایی‌شان ارزش قابل ملاحظه‌ای در بسیاری از صنایع و به‌خصوص در جاده‌سازی، تونل‌سازی، عملیات تزریق، صنعت سرامیک‌سازی و عمل‌آوری زباله دارند. با توجه به نقش بی‌بدیل رس‌ها در مهندسی ژئوتکنیک و ژئوتکنیک زیست‌محیطی، تعیین دقیق توزیع اندازه ذرات بخش‌های رسی و شناسایی خصوصیات رئولوژیکی آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

با توجه به خصوصیات ریزساختاری مختلف کانی‌های رسی، میزان غلظت خاک و غلظت هگزامتافسفات سدیم مورد استفاده در آزمایش هیدرومتری می‌تواند بر نتایج توزیع اندازه ذرات به‌دست‌آمده تأثیرگذار باشد، که به نظر می‌رسد در استاندارد ASTM-D422 توجه کافی به این موضوع صورت نگرفته‌است. استاندارد ASTM برای تعیین توزیع اندازه ذرات کلیه‌ی خاک‌هایی که غالب آن‌ها رس و لای است، میزان ۵۰ گرم خاک و غلظت ۴ درصد هگزامتافسفات سدیم را توصیه می‌کند. پژوهش حاضر با هدف تعیین تأثیر غلظت هگزامتافسفات سدیم و غلظت خاک بر توزیع اندازه ذرات سه کانی رسی کائولینیت، ایلیت، و مونت‌موریلونیت (کانی غالب در نمونه‌ی بنتونیت) انجام شده‌است. به‌منظور کمّی کردن نتایج آزمایش‌های هیدرومتری، از آزمایش‌های کدورت‌سنجی استفاده شده و برای بررسی تغییرات ریزساختاری نمونه‌ها، آزمایش SEM به‌کار گرفته شده است. آزمایش‌های ویسکومتری نیز به‌منظور مطالعه‌ی رفتار رئولوژیکی سوسپانسیون‌های رسی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین

در این پژوهش با توجه به نقش هگزامتافسفات سدیم در جدا کردن اجزای رسی از غیر رسی و پراکنده نگه‌داشتن ذرات، ایده‌ی کربنات‌زدایی و حصول ذرات بسیار ریزدانه‌ی رسی از کانی‌های رسی مطرح شد و نتایج تحقیق با استفاده از آزمایش‌های XRD، SEM و PSA مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج آزمایش‌های هیدرومتری نشان می‌دهند که با افزایش غلظت هگزامتافسفات سدیم تا ۸ درصد، توزیع اندازه ذرات ریزتر و با کاهش غلظت خاک، توزیع اندازه ذرات درشت‌تری برای هر سه کانی حاصل می‌شود. ضمن آن‌که تغییر غلظت خاک نسبت به غلظت هگزامتافسفات سدیم در تغییر نتایج آزمایش هیدرومتری تأثیرگذارتر است. از میان سه خاک رسی استفاده شده، کائولینیت بیشترین تأثیر و بنتونیت کمترین تأثیر را از تغییر غلظت عامل پراکنده‌ساز می‌گیرند. کائولینیت برای توزیع اندازه ذرات دقیق‌تر به غلظت‌های بیشتر از ۴ درصد هگزامتافسفات سدیم نیاز دارد، در حالی‌که استفاده از مقادیر کمتر از ۴ درصد این ماده می‌تواند برای تعیین توزیع اندازه ذرات بنتونیت از دقت قابل‌قبولی برخوردار باشد. از این‌رو استاندارد ASTM برای تعیین دانه‌بندی خاک‌های رسی باید توجه ویژه‌ای به نوع کانی‌های رسی داشته باشد و آن‌ها را از یکدیگر تفکیک کند. این مسئله به‌علت مهم بودن تعیین دقیق اندازه ذرات کانی‌های رسی در مراکز دفن مهندسی زباله‌های هسته‌ای بسیار حائز اهمیت است. همچنین نتایج نشان می‌دهند که تا محدوده‌ی ۳۰ گرم خاک برای کائولینیت و ایلیت، و ۱۲ گرم خاک برای بنتونیت می‌تواند در آزمایش هیدرومتری با دقت قابل‌قبول مورد استفاده قرار گیرد. نتایج آزمایش‌های ویسکومتری نشان می‌دهند که مناسب‌ترین مدل رئولوژیکی برای توصیف خصوصیات جریانی سوسپانسیون‌های بنتونیتی و کائولینیتی در شرایط مختلف آزمایش، مدل هرشل- بالکلی (Herschel- Bulkley) است. از این مدل می‌توان برای پیش بینی عملکرد هر چه بهتر سیالات حفاری، و تعیین تنش تسلیم دقیق آن‌ها به‌خوبی استفاده کرد. نتایج آنالیزهای XRD و تیتراسیون نیز نشان از موفق بودن ایده‌ی کربنات‌زدایی از کانی‌های رسی با استفاده از هگزامتافسفات سدیم به‌عنوان روشی جدید برای کربنات‌زدایی دارند.

واژه‌های کلیدی: کانی رسی، توزیع اندازه ذرات، رئولوژی، هگزامتافسفات سدیم، کربنات‌زدایی، XRD، SEM، PSA.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فهرست جدول‌ها ه

فهرست شکل‌ها ز

مقدمه ۱

فصل اول: توزیع اندازه ذرات، خصوصیات و اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی ۷

۱-۱. مقدمه ۸

۱-۲. تجزیه‌ی مکانیکی خاک‌ها ۸

۱-۲-۱. عمل‌آوری مقدماتی ۹

۱-۲-۱-۱. تئوری ۹

۱-۲-۱-۲. روش‌ها ۱۲

۱-۲-۲. تحلیل ۱۸

۱-۲-۲-۱. تئوری ۱۸

۱-۲-۲-۲. روش‌ها ۲۳

۱-۳. آزمایش هیدرومتری ۳۰

۱-۳-۱. روش انجام آزمایش ۳۲

۱-۳-۲. استفاده از هیدرومتر و محاسبه‌ی قطر ذرات ۳۴

۱-۳-۳. فرضیات قانون استوکس ۳۵

۱-۴. روش‌های نوین توزیع اندازه ذرات ۳۸

۱-۴-۱. معایب روش‌های ته‌نشینی ۳۸

۱-۴-۲. انواع روش‌های جدید و مزایای آن‌ها ۳۹

۱-۴-۳. روش پراش لیزر ۴۰

۱-۴-۳-۱. تئوری‌های مورد استفاده برای محاسبات ۴۲

۱-۴-۳-۱-۱. تئوری فرانهافر ۴۲

۱-۴-۳-۱-۲. تئوری می ۴۳
۱-۴-۴. مقایسه‌ی منحنی‌های حاصل از روش پراش لیزر و روش الک- هیدرومتر ۴۳
۱-۴-۵. دلایل بی‌میلی استفاده از روش پراش لیزر ۴۶
۱-۵. هگزامتافسفات سدیم ۴۶
۱-۶. کدورت‌سنجی ۴۹
۱-۷. پراش اشعه‌ی ایکس ۵۰
۱-۸. کربنات ۵۴
۱-۹. خصوصیات رئولوژیکی ۶۰
۱-۹-۱. علم رئولوژی ۶۱
۱-۹-۲. ویسکوزیته ۶۲
۱-۹-۳. ویسکومتر ۶۳
۱-۹-۴. سیال ۶۳
۱-۹-۴-۱. سیالات نیوتنی ۶۴
۱-۹-۴-۲. سیالات غیر نیوتنی ۶۶
۱-۹-۴-۲-۱. سیال شبه‌پلاستیک ۶۷
۱-۹-۴-۲-۲. سیال دیلاتانت ۶۸
۱-۹-۴-۲-۳. سیال پلاستیک ۶۹
۱-۹-۴-۲-۴. سیال بینگهام ۷۰
۱-۹-۵. جریان آرام و آشفته ۷۲
۱-۹-۶. عوامل تأثیرگذار بر خصوصیات رئولوژیکی مواد ۷۲
۱-۹-۶-۱. دما ۷۳
۱-۹-۶-۲. نرخ برش ۷۴
۱-۹-۶-۳. شرایط اندازه‌گیری ۷۵
۱-۹-۶-۴. زمان ۷۶
۱-۹-۶-۵. فشار ۷۷
۱-۹-۶-۶. تاریخچه‌ی زمانی ۷۸

۱-۹-۷. مشخصات و خصوصیات محلول‌های پراکنده و امولسیون‌ها ۷۸
۱-۹-۸. مدل‌های رئولوژیکی ۸۱
۱-۹-۸-۱. مدل‌هایی که رفتار رئولوژیکی را به‌عنوان تابعی از ویسکوزیته شرح می‌دهند ۸۲
۱-۹-۸-۱-۱. مدل نیوتنی ۸۲
۱-۹-۸-۱-۲. مدل قانون توانی ۸۲
۱-۹-۸-۱-۳. مدل سیسکو ۸۳
۱-۹-۸-۱-۴. مدل کراس ۸۳
۱-۹-۸-۲. مدل‌های رئولوژیکی سیالات با تنش تسلیم ۸۴
۱-۹-۸-۲-۱. مدل بینگهام- پلاستیک ۸۴
۱-۹-۸-۲-۲. مدل هرشل- بالکلی ۸۵
۱-۹-۸-۲-۳. مدل کسون ۸۵
۱-۹-۸-۲-۴. مدل رابرتسون- استیف ۸۶
۱-۹-۸-۳. طبقه‌بندی کلی مدل‌های رئولوژیکی ۸۷
۱-۹-۸-۴. مدل‌های رئولوژیکی سوسپانسیون‌های رسی ۸۸
۱-۱۰. جمع‌بندی و اهداف ۹۱

فصل دوم: مشخصات مواد و روش انجام ازمایش‌ها ۹۲
۲-۱. مقدمه ۹۳
۲-۲. مواد مصرفی ۹۳
۲-۳. خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های مورد مطالعه ۹۴
۲-۴. خصوصیات ژئوتکنیک زیست‌محیطی خاک‌های مورد مطالعه ۹۵
۲-۵. روش‌های انجام مطالعات آزمایشگاهی ۹۷
۲-۵-۱. آزمایش هیدرومتری ۹۸
۲-۵-۲. آزمایش‌های ته‌نشینی و کدورت‌سنجی ۱۰۱
۲-۵-۳. آزمایش ته‌نشینی برای جداسازی کربنات از خاک‌های رسی ۱۰۳
۲-۵-۴. آزمایش SEM ۱۰۴

۲-۵-۵. آزمایش PSA ۱۰۵
۲-۵-۶. آزمایش XRD ۱۰۶
۲-۵-۷. آزمایش تیتراسیون ۱۰۸
۲-۵-۸. آزمایش ویسکومتری ۱۰۹

فصل سوم: داده‌ها، بحث و بررسی **۱۱۳**

۳-۱. آزمایش‌های هیدرومتری **۱۱۴**

۳-۱-۱. مقدمه ۱۱۴
۳-۱-۲. تأثیر ثابت بودن مقدار خاک و تغییر غلظت هگزامتافسفات سدیم در توزیع اندازه ذرات ۱۱۴
۳-۱-۳. تأثیر ثابت بودن غلظت ماده‌ی هگزامتافسفات سدیم و تغییر مقدار خاک در توزیع اندازه ذرات ۱۲۴
۳-۱-۴. تأثیر تغییر غلظت هگزامتافسفات سدیم و تغییر مقدار خاک در توزیع اندازه ذرات ۱۲۹

۳-۲. مقایسه‌ی نتایج آزمایش هیدرومتری و PSA **۱۳۵**

۳-۳. آزمایش‌های کدروت‌سنجی **۱۳۶**

۳-۴. اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی **۱۴۶**

۳-۴-۱. اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی سوسپانسیون‌های بنتونیتی ۱۴۶
۳-۴-۲. اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی سوسپانسیون‌های کائولینیتی ۱۶۳

۳-۵. کربنات‌زدایی و حصول ذرات نانورس با استفاده از هگزامتافسفات سدیم **۱۷۶**

۳-۵-۱. حذف کربنات به روش جداسازی مکانیکی و با استفاده از آزمایش رسوب‌گذاری ۱۷۶
۳-۵-۱-۱. کربنات‌زدایی از بنتونیت بدون استفاده از هگزامتافسفات سدیم ۱۸۴
۳-۵-۱-۲. کارایی نهایی هگزامتافسفات سدیم در جداسازی ذرات از یکدیگر ۱۸۵
۳-۵-۲. حصول ذرات رسی بسیار ریزدانه (نانو رس) با استفاده از آزمایش رسوب‌گذاری ۱۹۱

فصل چهارم: جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و بررسی **۱۹۵**

۴-۱. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری **۱۹۶**

۴-۲. پیشنهادها **۲۰۰**

فهرست مراجع **۲۰۱**

فهرست جدول‌ها

عنوان | صفحه

جدول ۱-۱. محاسبه زمان و سرعت رسوب ذرات با اندازه‌ی معین بر اساس قانون استوکس ۲۳

جدول ۱-۲. زمان‌های نمونه‌برداری و قطر معادل ذرات در آزمایش پیپت ۲۹

جدول ۱-۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی هگزامتافسفات سدیم ۴۸

جدول ۱-۴. محدوده‌ی نرخ‌های برشی مورد استفاده برای تعیین خصوصیات رئولوژیکی محصولات مختلف ۷۵

جدول ۱-۵. مدل‌های رئولوژیکی سوسپانسیون‌های با اندرکنش‌های ذره‌ای ۸۸

جدول ۱-۶. مدل‌های رئولوژیکی سوسپانسیون‌های غلیظ ۸۸

جدول ۲-۱. مشخصات ژئوتکنیکی کائولینیت و مرجع روش‌های اندازه‌گیری ۹۴

جدول ۲-۲. مشخصات ژئوتکنیکی ایلیت و مرجع روش‌های اندازه‌گیری ۹۵

جدول ۲-۳. مشخصات ژئوتکنیکی بنتونیت و مرجع روش‌های اندازه‌گیری ۹۵

جدول ۲-۴. مشخصات ژئوتکنیک زیست‌محیطی کائولینیت و مرجع روش‌های اندازه‌گیری ۹۶

جدول ۲-۵. مشخصات ژئوتکنیک زیست‌محیطی بنتونیت و مرجع روش‌های اندازه‌گیری ۹۷

جدول ۲-۶. مشخصات ژئوتکنیک زیست‌محیطی ایلیت و مرجع روش‌های اندازه‌گیری ۹۷

جدول ۲-۷. نمونه‌های آزمایش اول هیدرومتری: مقدار خاک ثابت و غلظت SHMP متغیر ۹۹

جدول ۲-۸. نمونه‌های آزمایش دوم هیدرومتری: غلظت SHMP ثابت و مقدار خاک متغیر ۹۹

جدول ۲-۹. نمونه‌های آزمایش سوم هیدرومتری: نسبت غلظت SHMP به غلظت خاک ثابت ۱۰۰

جدول ۳-۱. مقایسه‌ی توزیع اندازه ذرات بخش رسی کائولینیت، ایلیت و بنتونیت در غلظت‌های مختلف SHMP ۱۱۹

جدول ۳-۲. انحراف معیار بین قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای کائولینیت ۱۲۳

جدول ۳-۳. انحراف معیار بین قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای ایلیت ۱۲۳

جدول ۳-۴. انحراف معیار بین قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای بنتونیت ۱۲۳

جدول ۳-۵. مقایسه‌ی توزیع اندازه ذرات بخش رسی کائولینیت و ایلیت در غلظت ثابت ۴ درصد SHMP و گرم‌های مختلف خاک ۱۲۶

جدول ۳-۶. مقایسه‌ی توزیع اندازه ذرات بخش رسی بنتونیت در غلظت ثابت ۴ درصد SHMP و گرم‌های مختلف خاک ۱۲۶

جدول ۳-۷. انحراف معیار بین قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای کائولینیت ۱۲۸

جدول ۳-۸. انحراف معیار بین قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای ایلیت ۱۲۹
جدول ۳-۹. انحراف معیار بین قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای بنتونیت ۱۲۹
جدول ۳-۱۰. مقایسه‌ی توزیع اندازه ذرات بخش رسی کائولینیت و ایلیت در نسبت یکسان غلظت SHMP به غلظت خاک ۱۳۲
جدول ۳-۱۱. انحراف معیار بین قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای کائولینیت ۱۳۴
جدول ۳-۱۲. انحراف معیار بین قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای ایلیت ۱۳۴
جدول ۳-۱۳. انحراف معیار بین قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای بنتونیت ۱۳۴
جدول ۳-۱۴. مقادیر عددی NTU به‌دست‌آمده برای کائولینیت در حالات مختلف آزمایش ۱۴۳
جدول ۳-۱۵. مقادیر عددی NTU به‌دست‌آمده برای ایلیت در حالات مختلف آزمایش ۱۴۴
جدول ۳-۱۶. مقادیر عددی NTU به‌دست‌آمده برای بنتونیت در حالات مختلف آزمایش ۱۴۵
جدول ۳-۱۷. مقایسه‌ی ضرایب همبستگی مدل‌های رئولوژیکی برای سوسپانسیون بنتونیتی با غلظت‌های ۲، ۱/۲ و ۰/۴ درصد ۱۵۴
جدول ۳-۱۸. مقایسه‌ی تنش‌های تسلیم هرشل- بالکلی و ویسکوزیته‌ی نیوتنی سوسپانسیون‌های بنتونیتی با غلظت ۲، ۱/۲ و ۰/۴ درصد ۱۵۵
جدول ۳-۱۹. مدل هرشل- بالکلی به‌دست‌آمده برای سوسپانسیون‌های بنتونیتی با غلظت ۲، ۱/۲ و ۰/۴ درصد ۱۵۶
جدول ۳-۲۰. مقایسه‌ی مدل‌های رئولوژیکی و تنش‌های تسلیم هرشل- بالکلی سوسپانسیون ۲ درصد بنتونیت در غلظت ۰، ۲، ۴ و ۸ درصد SHMP ۱۵۹
جدول ۳-۲۱. مقایسه‌ی تنش‌های تسلیم هرشل- بالکلی و ویسکوزیته‌ی نیوتنی سوسپانسیون‌های کائولینیتی با غلظت‌های ۵، ۳ و ۱ درصد ۱۷۱
جدول ۳-۲۲. مقایسه‌ی مدل‌های رئولوژیکی و تنش‌های تسلیم هرشل- بالکلی سوسپانسیون ۵ درصد کائولینیت در غلظت ۰، ۲، ۴ و ۸ درصد SHMP ۱۷۵
جدول ۳-۲۳. مقادیر کمّی Na و P حاصل از انجام آزمایش EDX بر روی نمونه‌های مختلف ۱۸۹
جدول ۳-۲۴. درصدکمّی PSA سه لایه‌ی جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ۱۹۳
جدول ۳-۲۵. درصدکمّی PSA سه لایه‌ی جدا شده از نمونه‌ی 50g Illite + 4% SHMP ۱۹۳
جدول ۳-۲۶. درصد کمّی PSA سه لایه‌ی جدا شده از نمونه‌ی 20g Bentonite + 4% SHMP ۱۹۴

فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه

شکل ۱-۱. تصویر شماتیک تغییر بار و تقویت بار لبه‌های ذرات رسی در اثر حضور عامل پراکنده‌ساز ۱۷

شکل ۱-۲. واحدهای مختلف در حال رسوب و قطر معادل آن‌ها ۲۲

شکل ۱-۳. تصویر شماتیک لوله‌های مورد استفاده برای روش خاک‌شویی ۲۵

شکل ۱-۴. پیپت نمونه برداری مورد استفاده در آزمایش پیپت ۲۸

شکل ۱-۵. تصویر هیدرومتر 152H و تعریف طول موثر در آزمایش هیدرومتری ۳۵

شکل ۱-۶. تصویر شماتیک دستگاه لیزر- پراش به‌همراه اجزای اصلی و چگونگی انکسار پرتو لیزر ۴۱

شکل ۱-۷. مقایسه‌ی منحنی‌های به‌دست‌آمده از روش پراش لیزر (LDM) و روش الک- هیدرومتر (SHM) ۴۵

شکل ۱-۸. شماتیک مقطع عرضی یک دستگاه کدورت‌سنج آزمایشگاهی ۴۹

شکل ۱-۹. مفهوم فضای بین صفحه‌ای اصلی و اندیس میلر اصلی ۵۳

شکل ۱-۱۰. فازهای تشکیل‌دهنده‌ی خاک و اجزای سازنده‌ی هر فاز ۵۵

شکل ۱-۱۱. تصویر شماتیک ایده‌آل سازی شده‌ی واحد خاک ۵۵

شکل ۱-۱۲. استانداردهای پذیرفته شده توسط ASTM بر مبنای تحقیقات شرکت بروکفیلد ۶۰

شکل ۱- ۱۳. مراجع استفاده شده در نشریه‌ی "More Solutions to Sticky Problems" ۶۱

شکل ۱-۱۴. اجزای ویسکومتر و چگونگی عملکرد آن ۶۴

شکل ۱-۱۵. مدل انتخابی نیوتن برای تعریف ویسکوزیته ۶۵

شکل ۱-۱۶. نمودار رفتار رئولوژیکی سیالات نیوتنی ۶۶

شکل ۱-۱۷. نمودار رفتار رئولوژیکی سیالات شبه‌پلاستیک ۶۸

شکل ۱-۱۸. نمودار رفتار رئولوژیکی سیالات دیلاتانت ۶۹

شکل ۱-۱۹. نمودار رفتار رئولوژیکی سیالات پلاستیک ۷۰

شکل۱-۲۰. منحنی‌های جریانی انواع سیالات مختلف ۷۱

شکل ۲-۱. استوانه‌ی ته‌نشینی، هیدرومتر، همزن مکانیکی و SHMP به‌کارگرفته شده در آزمایش ۱۰۱

شکل ۲-۲. دستگاه کدورت‌سنج WTW-Turb 550 و محلول‌های کالیبره‌ی آن ۱۰۲

شکل ۲-۳. دستگاه SEM مدل Vega II- Tescan ۱۰۵

شکل ۲-۴. دستگاه Fritsch Particle Sizer- Analysette 22 ۱۰۶
شکل ۲-۵. دستگاه XRD مدل Siemens-Diffract Meter D8 Advance ۱۰۸
شکل ۲-۶. تصویر التراسونیک Elma S30 (H) ۱۱۰
شکل ۲-۷. تصاویر ویسکومتر LDVD-II+Pro ، اسپیندل‌های اصلی ویسکومتر و UL Adapter Spindle ، و سیال استاندارد ویسکوزیته ۱۱۲
شکل ۳-۱. تأثیر تغییرات غلظت هگزامتافسفات سدیم (٪) بر توزیع اندازه ذرات کائولینیت ۱۱۵
شکل ۳-۲. تأثیر تغییرات غلظت هگزامتافسفات سدیم (٪) بر توزیع اندازه ذرات ایلیت ۱۱۵
شکل ۳-۳. تأثیر تغییرات غلظت هگزامتافسفات سدیم (٪) بر توزیع اندازه ذرات بنتونیت ۱۱۶
شکل ۳-۴. قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای کائولینیت: در غلظت‌های مختلف SHMP و در زمان‌های مختلف قرائت هیدرومتر ۱۲۰
شکل ۳-۵. قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای ایلیت: در غلظت‌های مختلف SHMP و در زمان‌های مختلف قرائت هیدرومتر ۱۲۰
شکل ۳-۶. قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای بنتونیت: در غلظت‌های مختلف SHMP و در زمان‌های مختلف قرائت هیدرومتر ۱۲۱
شکل ۳-۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی: (a) کائولینیت خالص، (b) ۵۰ گرم کائولینیت + ۱ درصد SHMP، (C) ۵۰ گرم کائولینیت + ۴ درصد SHMP، (d) ۵۰ گرم کائولینیت + ۸ درصد SHMP ۱۲۲
شکل ۳-۸. تأثیر تغییرات غلظت خاک (گرم) بر توزیع اندازه ذرات کائولینیت ۱۲۴
شکل ۳-۹. تأثیر تغییرات غلظت خاک (گرم) بر توزیع اندازه ذرات ایلیت ۱۲۵
شکل ۳-۱۰. تأثیر تغییرات غلظت خاک (گرم) بر توزیع اندازه ذرات بنتونیت ۱۲۵
شکل ۳-۱۱. قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای کائولینیت: در غلظت‌های مختلف خاک و در زمان‌های مختلف قرائت هیدرومتر ۱۲۷
شکل ۳-۱۲. قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای ایلیت: در غلظت‌های مختلف خاک و در زمان‌های مختلف قرائت هیدرومتر ۱۲۷
شکل ۳-۱۳. قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای بنتونیت: در غلظت‌های مختلف خاک و در زمان‌های مختلف قرائت هیدرومتر ۱۲۸
شکل ۳-۱۴. تأثیر تغییر غلظت هگزامتافسفات سدیم (٪) و مقدار خاک (گرم) بر توزیع اندازه ذرات کائولینیت ۱۳۰
شکل ۳-۱۵. تأثیر تغییر غلظت هگزامتافسفات سدیم (٪) و مقدار خاک (گرم) بر توزیع اندازه ذرات ایلیت ۱۳۰

شکل ۳-۱۶. تأثیر تغییر غلظت هگزامتافسفات سدیم (٪) و مقدار خاک (گرم) بر توزیع اندازه ذرات بنتونیت ۱۳۱
شکل ۳-۱۷. قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای کائولینیت: در نسبت ثابت غلظت SHMP به غلظت خاک و در زمان‌های مختلف قرائت هیدرومتر ۱۳۲
شکل ۳-۱۸. قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای ایلیت: در نسبت ثابت غلظت SHMP به غلظت خاک و در زمان‌های مختلف قرائت هیدرومتر ۱۳۳
شکل ۳-۱۹. قطرهای محاسبه شده از آزمایش هیدرومتری برای بنتونیت: در نسبت ثابت غلظت SHMP به غلظت خاک و در زمان‌های مختلف قرائت هیدرومتر ۱۳۳
شکل ۳-۲۰. مقایسه‌ی توزیع اندازه ذرات به‌دست‌آمده از آزمایش هیدرومتری و PSA برای کانی کائولینیت ۱۳۵
شکل ۳-۲۱. تأثیر غلظت‌های مختلف هگزامتافسفات سدیم بر میزان کدورت سوسپانسیون‌های خاک در آزمایش کدورت‌سنجی ۱۳۸
شکل ۳-۲۲. مقایسه‌ی میزان ته‌نشینی کائولینیت و ایلیت در غلظت‌های یکسان هگزامتافسفات سدیم ۱۴۰
شکل ۳-۲۳. تأثیر غلظت‌های مختلف خاک بر میزان کدورت سوسپانسیون‌های خاک در آزمایش کدورت‌سنجی ۱۴۲
شکل ۳-۲۴. تأثیر تغییر غلظت هگزامتافسفات سدیم و مقدار خاک بر میزان کدورت سوسپانسیون‌های خاک در آزمایش کدورت‌سنجی ۱۴۳
شکل ۳-۲۵. رئوگرام‌های سوسپانسیون‌های بنتونیتی در غلظت‌های ۰/۴، ۱/۲ و ۲ درصد ۱۴۶
شکل ۳-۲۶. نمودار تغییرات ویسکوزیته‌ی ظاهری در برابر نرخ‌های برشی در غلظت‌های ۲، ۱/۲ و ۰/۴ درصد سوسپانسیون بنتونیتی ۱۴۷
شکل ۳-۲۷. نمودار تغییرات ویسکوزیته‌ی ظاهری در برابر غلظت‌های سوسپانسیون بنتونیتی در نرخ‌های برشی ۲۴۵، ۱۸۳ و ۷۳/۴ (۱/ثانیه) ۱۴۷
شکل ۳-۲۸. نمودار مدل‌های نیوتنی، قانون توانی و بینگهام‌پلاستیک برای سوسپانسیون بنتونیتی با غلظت ۲ درصد ۱۴۸
شکل ۳-۲۹. نمودار مدل‌های کسون و هرشل- بالکلی برای سوسپانسیون بنتونیتی با غلظت ۲ درصد ۱۴۹
شکل ۳-۳۰. نمودار مدل‌های نیوتنی، قانون توانی و بینگهام‌پلاستیک برای سوسپانسیون بنتونیتی با غلظت ۱/۲ درصد ۱۵۱
شکل ۳-۳۱. نمودار مدل‌های کسون و هرشل- بالکلی برای سوسپانسیون بنتونیتی با غلظت ۱/۲ درصد ۱۵۲
شکل ۳-۳۲. نمودار مدل‌های نیوتنی، قانون توانی و بینگهام‌پلاستیک برای سوسپانسیون بنتونیتی با غلظت ۰/۴ درصد ۱۵۳
شکل ۳-۳۳. نمودار مدل‌های کسون و هرشل- بالکلی برای سوسپانسیون بنتونیتی با غلظت ۰/۴ درصد ۱۵۴
شکل ۳-۳۴. رئوگرام‌های سوسپانسیون ۲ درصد بنتونیت در غلظت‌های ۰، ۲، ۴ و ۸ درصد هگزامتافسفات سدیم ۱۵۷
شکل ۳-۳۵. نمودار تغییرات ویسکوزیته‌ی ظاهری در برابر نرخ‌های برشی سوسپانسیون ۲ درصد بنتونیت در غلظت‌های

۰، ۲، ۴ و ۸ درصد SHMP ۱۵۸
شکل ۳-۳۶. نمودار تغییرات ویسکوزیته‌ی ظاهری سوسپانسیون ۲ درصد بنتونیت در برابر غلظت‌های ۰، ۲، ۴ و ۸ درصد SHMP در نرخ‌های برشی ۲۴۵، ۱۸۳ و ۷۳/۴ (۱/ثانیه) ۱۵۸
شکل ۳-۳۷. نمودار مدل هرشل- بالکلی برای سوسپانسیون ۲ درصد بنتونیت در غلظت‌های ۰، ۲، ۴ و ۸ درصد SHMP ۱۶۰
شکل ۳-۳۸. رئوگرام‌های سوسپانسیون‌های کائولینیتی در غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ درصد ۱۶۳
شکل ۳-۳۹. نمودار تغییرات ویسکوزیته‌ی ظاهری در برابر نرخ‌های برشی در غلظت‌های ۱، ۳ و ۵ درصد سوسپانسیون کائولینیت ۱۶۴
شکل ۳-۴۰. نمودار تغییرات ویسکوزیته‌ی ظاهری در برابر غلظت‌های سوسپانسیون کائولینیت در نرخ‌های برشی ۲۴۵، ۱۸۳ و ۷۳/۴ (۱/ثانیه) ۱۶۴
شکل ۳-۴۱. نمودار مدل‌های نیوتنی، قانون توانی و بینگهام‌پلاستیک برای سوسپانسیون کائولینیت با غلظت ۵ درصد ۱۶۵
شکل ۳-۴۲. نمودار مدل‌های کسون و هرشل- بالکلی برای سوسپانسیون کائولینیت با غلظت ۵ درصد ۱۶۶
شکل ۳-۴۳. نمودار مدل‌های نیوتنی، قانون توانی و بینگهام‌پلاستیک برای سوسپانسیون کائولینیت با غلظت ۳ درصد ۱۶۷
شکل ۳-۴۴. نمودار مدل‌های کسون و هرشل- بالکلی برای سوسپانسیون کائولینیت با غلظت ۳ درصد ۱۶۸
شکل ۳-۴۵. نمودار مدل‌های نیوتنی، قانون توانی و بینگهام‌پلاستیک برای سوسپانسیون کائولینیت با غلظت ۱ درصد ۱۶۹
شکل ۳-۴۶. نمودار مدل‌های کسون و هرشل- بالکلی برای سوسپانسیون کائولینیت با غلظت ۱ درصد ۱۷۰
شکل ۳-۴۷. رئوگرام‌های سوسپانسیون ۵ درصد کائولینیت در غلظت‌های ۰، ۲، ۴ و ۸ درصد هگزامتافسفات سدیم ۱۷۲
شکل ۳-۴۸. نمودار تغییرات ویسکوزیته‌ی ظاهری در برابر نرخ‌های برشی سوسپانسیون ۵ درصد کائولینیت در غلظت‌های ۰، ۲، ۴ و ۸ درصد SHMP ۱۷۳
شکل ۳-۴۹. نمودار تغییرات ویسکوزیته‌ی ظاهری سوسپانسیون ۵ درصد کائولینیت در برابر غلظت‌های ۰، ۲، ۴ و۸ درصد SHMP در نرخ‌های برشی ۲۴۵، ۱۸۳ و ۷۳/۴ (ثانیه/۱) ۱۷۳
شکل ۳-۵۰. نمودار مدل هرشل- بالکلی برای سوسپانسیون ۵ درصد کائولینیت در غلظت‌های ۰، ۲، ۴ و ۸ درصد SHMP ۱۷۴
شکل ۳-۵۱. لایه‌های جدا شده از سوسپانسیون‌های کائولینیت، ایلیت، بنتونیت و نمونه‌ی خشک‌شده‌ی لایه‌ی اول آن‌ها ۱۷۷
شکل ۳-۵۲. طیف XRD کائولینیت ۱۷۸
شکل ۳-۵۳. طیف XRD ایلیت ۱۷۸
شکل ۳-۵۴. طیف XRD بنتونیت ۱۷۸
شکل ۳-۵۵. طیف XRD لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 2% SHMP ۱۷۹

شکل ۳-۵۶. طیف XRD لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 8% SHMP ۱۷۹
شکل ۳-۵۷. طیف XRD لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 50g Illite + 2% SHMP ۱۸۰
شکل ۳-۵۸. طیف XRD لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 50g Illite + 8% SHMP ۱۸۰
شکل ۳-۵۹. طیف XRD لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 20g Bentonite + 2% SHMP ۱۸۱
شکل ۳-۶۰. طیف XRD لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 20g Bentonite + 8% SHMP ۱۸۱
شکل ۳-۶۱. طیف XRD لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ۱۸۳
شکل ۳-۶۲. تصاویر SEM لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ۱۸۳
شکل ۳-۶۳. طیف XRD لایه‌های جدا شده از بنتونیت در مقایسه با طیف XRD بنتونیت ۱۸۴
شکل ۳-۶۴. تصاویر نحوه‌ی رسوب نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP در زمان‌های مختلف از شروع رسوب‌گذاری ۱۸۵
شکل ۳-۶۵. تصویر نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ، ۳۵ روز بعد از شروع ته‌نشینی ۱۸۶
شکل ۳-۶۶. تصاویر SEM لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ، ۳۵ روز بعد از شروع ته‌نشینی ۱۸۷
شکل ۳-۶۷. نتایج آزمایش EDX انجام شده بر روی کائولینیت خالص ۱۸۸
شکل ۳-۶۸. نتایج آزمایش EDX انجام شده بر روی نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ۱۸۸
شکل ۳-۶۹. نتایج آزمایش EDX انجام شده بر روی لایه‌ی اول جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ، ۳۵ روز بعد از شروع ته‌نشینی ۱۸۹
شکل ۳-۷۰. نمودار PSA لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ، ۳۵ روز بعد از شروع ته‌نشینی ۱۹۰
شکل ۳-۷۱. طیف XRD لایه‌های جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ، ۳۵ روز بعد از شروع ته‌نشینی ۱۹۱
شکل ۳-۷۲. نمودار PSA سه لایه‌ی جدا شده از نمونه‌ی 50g Kaolinite + 4% SHMP ، ۴۸ ساعت بعد از شروع ته‌نشینی ۱۹۲
شکل ۳-۷۳. نمودار PSA سه لایه‌ی جدا شده از نمونه‌ی 50g Illite + 4% SHMP ، ۴۸ ساعت بعد از شروع ته‌نشینی ۱۹۲
شکل ۳-۷۴. نمودار PSA سه لایه‌ی جدا شده از نمونه‌ی 20g Bentonite + 4% SHMP ، ۴۸ ساعت بعد از شروع ته‌نشینی ۱۹۳

مقدمه