

الله
الكرمين
الكرمين



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی

استفاده از نانو ذرات و مواد غیر آلی در بهبود خواص مهندسی خاک رمپ‌های معدنی

نگارنده: مهدی صالح‌آبادی

اساتید راهنما:

دکتر فرهنگ سرشکی

دکتر محمد کارآموزیان

استاد مشاور:

دکتر میرحسین شهامی

دی ۱۳۹۸

شماره: ۹۸۸۴۱۷۴
تاریخ: ۱۵/۱۱/۹۸

باسمه تعالی



فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

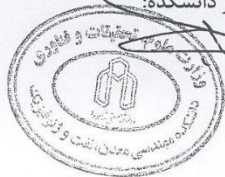
با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای مهوی صالح آبادی با شماره دانشجویی ۹۶۰۹۵۲۴. رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان . استفاده از نانو ذرات و مواد غیر آلی در بهبود خواص مهندسی خاک رَمپ های معدنی که در تاریخ ۹۸/۱۰/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input checked="" type="checkbox"/> الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	<input type="checkbox"/> ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۸
<input type="checkbox"/> ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹	<input type="checkbox"/> د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹
<input type="checkbox"/> ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد.	
نوع تحقیق: <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/> عملی	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر فرهنگ سرشکی	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر محمد کار آموزیان	دانشیار	
۳- استاد مشاور	میر حسین شهبامی	-	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	رامین رفیعی	استاد یار	
۵- استاد ممتحن اول	محمد عطایی	استاد	
۶- استاد ممتحن دوم	اصغر عزیزی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم

مجاهدت رزمندگان و ایثارگران که دفاعی غیورانه از اسلام و حریم اهل بیت (سلام الله علیها) دارند، اسلام و ملت عزیز ایران را افزاز کرد و شوق فداکاری سرشار از معرفت فروزان و درخشان را در قلبها و جانها هویدا ساخت.

این پایان نامه را به سپهبد شهید حاج قاسم سلیمانی و شهید ابو مهدی المهندس و شهدای خط شکن مدافع حرم تیپ فاطمیون که در سوریه برای دفاع از حرم حضرت زینب (سلام الله علیها) در برابر گروه های تکفیری مبارزه کردند و خیلی مظلومانه به شهادت رسیدند، تقدیم می کنم.

تقدیر و تشکر

اینک که به یاری پروردگار مهربان تحقیق خویش را به پایان رسانیده‌ام بر خود لازم می‌دانم تا از زحمات عزیزانی که در طول تحقیق و تهیه این پایان‌نامه مرا پیوسته همراه بودند، تشکر نمایم.

از استاد بزرگوارم، جناب آقای دکتر فرهنگ سرشکی که در طول انجام این مطالعه پیوسته با صبر و حوصله فراوان مرا یاری نمودند و در هنگام برخورد با مشکلات باره‌نمایی‌های ارزنده خود راه را برایم هموار ساختند، کمال تشکر رادارم.

از استاد بزرگوارم، جناب آقای محمد کارآموزیان که همواره با رهنمودهای ارزنده مرا رهنمون بوده است، کمال تشکر رادارم.

از استاد بزرگوار، جناب آقای مهندس میرحسین شهمی که در این تحقیق مشاور بنده بودند و در تمامی مراحل انجام تحقیق مرا از علم خود بهره‌مند ساختند، کمال تشکر رادارم.

از استاد بزرگوار، جناب آقای دکتر محسن کرامتی اعضای هیئت‌علمی دانشکده عمران که در این تحقیق در آزمایش‌های و در تمامی مراحل انجام آزمایش‌ها مرا از علم خود بهره‌مند ساختند، کمال تشکر رادارم.

از مسئول آزمایشگاه مکانیک خاک گروه عمران دانشگاه صنعتی شاهرود که در نحوه انجام آزمایش‌ها مرا یاری نمودند کمال تشکر رادارم، همچنین از زحمات خانواده عزیزم، که همواره یار و یاور من بوده‌اند نهایت تشکر و قدردانی رادارم در پایان از "مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور" به‌عنوان "حامی اصلی این پروژه" کمال تشکر رادارم.

تعمیر نامه

اینجانب مهدی صالح آبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن (استخراج) دانشکده معدن، نفت و

ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه استفاده از نانو ذرات و مواد غیر آلی در بهبود خواص مهندسی خاک

رسمپ‌های معدنی تحت راهنمایی دکتر فرهنگ سرشکی و دکتر محمد کارآموزیان متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌شود.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: / /

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

جاده‌های معدنی، یکی از منابع اصلی تولید ریز گرد در معادن هستند. آلودگی گردو خاکی نه تنها باعث ایجاد بیماری‌های ریوی می‌شود، بلکه موجب کاهش دید مفید راننده‌های ماشین‌آلات شده، سرعت حرکت کامیون‌ها را کاهش داده و در نتیجه موجب ایجاد تداخل در عملیات ترابری می‌شود. از سویی دیگر، فعالیت ماشین‌آلات در این گردو خاک موجب افزایش استهلاک و میزان مصرف سوخت آن‌ها می‌شود. عموماً در معادن برای فائق آمدن به این مسئله از روش مرسوم آب‌پاشی مسیر استفاده می‌شود. این روش موجب ایجاد مشکلات زیست‌محیطی و عملیاتی از جمله مصرف بسیار زیاد آب، راندمان پایین در مناطق گرم و خشک، هزینه بالای تهیه آب در اغلب مناطق (مخصوصاً با در نظر گرفتن ارزش معنوی آن)، روان‌شدگی خاک، ایجاد ترافیک در اثر فرآیند آب‌پاشی، تحمیل هزینه تعمیر و نگهداری دستگاه‌های آب‌پاشی و رمپ‌ها و ... می‌شود. امروزه تثبیت خاک یکی از راه‌کارهایی است که طی آن با استفاده از فناوری، مواد و مصالح مناسب، ویژگی‌های مهندسی و مکانیکی خاک از جمله مقاومت، سختی، شکل‌پذیری و ظرفیت باربری آن بهبود بخشیده می‌شود. در تحقیق حاضر سعی شده است که تأثیر سه ماده افزودنی شامل ملاس چغندر قند، لیگنوسولفونات کلسیم و نانورس مونت موریلونیت بر بهبود پارامترهای فیزیکی و مقاومتی خاک رمپ‌های معدن سیمان آبیگ قزوین بررسی گردد. بر این اساس آزمایش‌های تراکم، حدود اتربرگ، تک‌محوری و برش مستقیم به‌عنوان آزمایش‌های معرف برای خاک‌های حاوی مواد افزودنی با درصدهای وزنی معین انجام شد. افزودن ملاس چغندر قند در هر دو خاک باعث کاهش درصد رطوبت بهینه تا ۱۱/۶٪ و افزایش وزن مخصوص خشک gr/cm^3 ۱/۹۵۵ برای خاک AB01، gr/cm^3 ۱/۹۴۲ برای خاک AB02 حاصل شد. افزودن لیگنوسولفونات کلسیم باعث کاهش درصد رطوبت بهینه برای خاک AB01 تا ۱۱/۸٪ و برای خاک AB02 تا ۱۲٪. همچنین افزایش وزن مخصوص خشک gr/cm^3 ۱/۹۳۹ برای خاک AB01، gr/cm^3 ۱/۹۱۴ برای خاک AB02 حاصل شد. افزودن نانورس مونت موریلونیت باعث افزایش درصد رطوبت بهینه تا ۱۳/۷٪ برای خاک AB01 و برای خاک AB02 تا ۱۴/۳٪. همچنین افزایش وزن مخصوص خشک gr/cm^3 ۱/۹۵۸ برای خاک AB01، gr/cm^3 ۱/۹۴۷ برای خاک AB02 حاصل شد. در نهایت بهترین نتایج با توجه به نتایج آزمایش‌های تراکم، برش مستقیم و تک‌محوره، افزودن ۱/۵٪ لیگنوسولفونات کلسیم برای خاک AB01 و ۲٪ ملاس برای خاک AB01 حاصل شد.

کلمات کلیدی: گردوغبار جاده‌های معدنی، کنترل‌کننده‌های گردوغبار، تثبیت خاک، ملاس چغندر قند، لیگنوسولفونات کلسیم، نانورس مونت موریلونیت، آزمایش تک‌محوره، آزمایش برش مستقیم

فهرست مطالب

۱	فصل اول
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام پژوهش
۴	۱-۳- اهداف پژوهش
۴	۱-۴- روش پژوهش
۷	۱-۵- ساختار پایان نامه
۹	۲- فصل دوم
۱۰	۲-۱- مقدمه
۱۰	۲-۲- مروری بر تحقیقات گذشته
۲۱	۳- فصل سوم
۲۲	۳-۱- مقدمه
۲۲	۳-۲- گردوغبار
۲۳	۳-۲-۱- ویژگی‌های گردوغبار
۲۵	۳-۳- تأثیر انتشار ذرات حاصل از فعالیت‌های معدن
۲۵	۳-۳-۱- تأثیر گردوغبار روی محیط
۲۶	۳-۳-۲- تأثیر گردوغبار در سلامت انسان
۲۹	۳-۳-۳- تأثیر گردوغبار بر ایمنی و بهره‌وری
۳۰	۳-۴- منابع تولید گردوغبار
۳۲	۳-۵- گردوغبار جاده‌های حمل‌ونقل
۳۵	۳-۵-۱- مکانیسم تولید گردوغبار در جاده‌های خاکی و معدنی
۳۶	۳-۵-۲- گردوغبار فرار

- ۴۰.....۳-۶- فاکتور انتشار
- ۴۱.....۳-۷- بازده کنترل
- ۴۲.....۳-۸- روش‌های کنترل گردوغبار جاده‌ها
- ۴۳.....۳-۸-۱- کنترل‌کننده‌های گردوغبار
- ۴۳.....۳-۸-۲- تثبیت خاک
- ۴۴.....۳-۸-۲-۱- روش مکانیکی
- ۴۵.....۳-۸-۲-۲- روش شیمیائی
- ۴۶.....۳-۸-۲-۳- روش بیولوژیک
- ۴۶.....۳-۸-۲-۴- روش فیزیکی
- ۴۷.....۳-۸-۲-۵- روش الکتریکی
- ۴۷.....۳-۹- روش‌های دیگر کنترل گردوغبار
- ۴۷.....۳-۹-۱- کنترل سرعت
- ۴۸.....۳-۹-۲- کنترل ترافیک
- ۴۸.....۳-۹-۳- پوشاندن بار
- ۴۸.....۳-۹-۴- تعمیر و نگهداری اتاقک
- ۴۹.....۳-۱۰- طبقه‌بندی کنترل‌کننده‌های گردوغبار
- ۵۰.....۳-۱۰-۱- آب
- ۵۱.....۳-۱۰-۲- نمک‌ها
- ۵۱.....۳-۱۰-۲-۱- کلرید کلسیم
- ۵۳.....۳-۱۰-۲-۲- کلرید منیزیم
- ۵۴.....۳-۱۰-۲-۳- کلرید سدیم
- ۵۵.....۳-۱۰-۲-۴- کلرید پتاسیم
- ۵۶.....۳-۱۰-۳- امولسیون‌های نفتی (نفت امولسیون شده یا سولفونات شده)

۵۷	..... پلیمرها	۳-۱۰-۴
۵۸	..... مواد چسبنده	۳-۱۰-۵
۵۸	..... لیگنین سولفونات	۳-۱۰-۵-۱
۶۰	..... ملاس	۳-۱۰-۶
۶۰	..... مواد فعال در سطح (سورفکتانت)	۳-۱۰-۷
۶۱	..... نانو رس ها	۳-۱۰-۸
۶۳	..... نانو رس مونت موریلونیت	۳-۱۰-۸-۱
۶۳	..... نانو رس بنتونیت	۳-۱۰-۸-۲
۶۴	..... محصولات قیر و قیرهای نفتی امولسیون	۳-۱۰-۹
۶۴	..... مقایسه کنترل کننده های گردوغبار	۳-۱۱
۶۵	..... مسائل اقتصادی	۳-۱۲
۶۶	..... انتخاب بهترین ماده افزودنی	۳-۱۳
۶۷	..... دلایل استفاده از ملاس و لیگنوسولفونات و نانو رس	۳-۱۴
۶۷	..... جمع بندی	۳-۱۵
۶۹	..... فصل چهارم	۴-
۷۰	..... مقدمه	۴-۱
۷۰	..... خاک مصرفی	۴-۲
۷۰	..... موقعیت جغرافیایی معدن سیمان آبیک	۴-۳
۷۱	..... نمونه گیری	۴-۴
۷۱	..... مطالعات آزمایشگاهی	۴-۵
۷۲	..... روش مخلوط نانو ذرات در خاک	۴-۶
۷۲	..... استفاده از آسیاب گلوله ای	۴-۷

- ۷۳..... ۸-۴- بازسازی نمونه‌های دست‌خورده
- ۷۴..... ۹-۴- مواد افزودنی مصرفی
- ۷۴..... ۱-۹-۴- ملاس
- ۷۶..... ۱-۱-۹-۴- ملاس استفاده‌شده
- ۷۷..... ۲-۹-۴- لیگنوسولفونات
- ۷۸..... ۱-۲-۹-۴- لیگنوسولفونات استفاده‌شده
- ۷۹..... ۳-۹-۴- نانو رس مونت موریلونیت
- ۸۰..... ۱-۳-۹-۴- نانو رس مونت موریلونیت استفاده‌شده
- ۸۱..... ۱۰-۴- مراحل انجام آزمایش‌ها
- ۸۱..... ۱۱-۴- آزمایش‌های شناسایی اولیه
- ۸۲..... ۱-۱۱-۴- آزمایش دانه‌بندی
- ۸۲..... ۱-۱-۱۱-۴- آزمایش دانه‌بندی با الک
- ۸۲..... ۲-۱-۱۱-۴- آزمایش هیدرومتری
- ۸۵..... ۲-۱۱-۴- آزمایش‌های حدود اتربرگ
- ۸۷..... ۳-۱۱-۴- طبقه بندی خاک
- ۸۸..... ۱-۳-۱۱-۴- سیستم طبقه‌بندی متحد
- ۹۰..... ۴-۱۱-۴- آزمایش چگالی نسبی خاک
- ۹۱..... ۵-۱۱-۴- آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک
- ۹۳..... ۶-۱۱-۴- آزمایش تراکم پروکتور
- ۹۶..... ۷-۱۱-۴- آزمایش برش مستقیم
- ۹۸..... ۸-۱۱-۴- آزمایش فشاری تک‌محوری
- ۱۰۰..... ۱۲-۴- خلاصه آزمایش‌های اولیه
- ۱۰۲..... ۱۳-۴- آزمایش‌های اصلی

- ۱۰۲ ۴-۱۳-۱- آزمایش تراکم استاندارد
- ۱۰۲ ۴-۱۳-۱-۱- تئوری آزمایش
- ۱۰۳ ۴-۱۳-۱-۲- روش انجام آزمایش
- ۱۰۳ ۴-۱۳-۱-۳- نتایج آزمایش تراکم استاندارد برای خاک AB 01
- ۱۰۷ ۴-۱۳-۱-۴- بحث در مورد نتایج آزمایش تراکم برای خاک AB 01
- ۱۰۹ ۴-۱۳-۱-۵- نتایج آزمایش تراکم استاندارد برای خاک AB 02
- ۱۱۲ ۴-۱۳-۱-۶- بحث در مورد نتایج آزمایش تراکم برای خاک AB 02
- ۱۱۴ ۴-۱۳-۲- آزمایش برش مستقیم
- ۱۱۴ ۴-۱۳-۱-۲- تئوری آزمایش
- ۱۱۴ ۴-۱۳-۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها
- ۱۱۴ ۴-۱۳-۲-۳- روش انجام آزمایش
- ۱۱۵ ۴-۱۳-۲-۴- نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 01
- ۱۱۸ ۴-۱۳-۲-۵- بحث در مورد نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 01
- ۱۲۰ ۴-۱۳-۲-۶- نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 02
- ۱۲۲ ۴-۱۳-۲-۷- بحث در مورد نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 02
- ۱۲۴ ۴-۱۳-۳- آزمایش فشاری تک‌محوری
- ۱۲۴ ۴-۱۳-۱-۳- تئوری آزمایش
- ۱۲۵ ۴-۱۳-۲-۳- ابعاد نمونه
- ۱۲۵ ۴-۱۳-۳-۳- تهیه نمونه
- ۱۲۵ ۴-۱۳-۲-۴- روش انجام آزمایش
- ۱۲۶ ۴-۱۳-۳-۵- نتایج آزمایش فشاری تک‌محوری برای خاک AB 01
- ۱۲۹ ۴-۱۳-۳-۶- بحث در مورد نتایج آزمایش فشاری تک‌محوری برای خاک AB 01
- ۱۳۱ ۴-۱۳-۳-۷- نتایج آزمایش فشاری تک‌محوری برای خاک AB 02
- ۱۳۴ ۴-۱۳-۳-۸- بحث در مورد نتایج آزمایش فشاری تک‌محوری برای خاک AB 02

- ۱۴-۴- جمع بندی ۱۳۶
- ۵- فصل پنجم ۱۳۷
- ۵-۱- تحلیل و نتیجه گیری ۱۳۸
- ۵-۱-۱- نتایج تحقیق ۱۳۸
- ۵-۲- پیشنهادها ۱۴۱
- ۶- منابع ۱۴۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: مراحل انجام تحقیق ۶
- شکل ۱-۳: مقایسه ابعاد ذرات ریز ۲۳
- شکل ۲-۳: نفوذ ذرات در سیستم تنفسی ۲۷
- شکل ۳-۳: انتشار گردوغبار از کامیون‌ها حمل‌ونقل ۳۳
- شکل ۴-۳: انتشار گردوغبار از کامیون‌ها حمل‌ونقل ۳۳
- شکل ۵-۳: درصد میزان گردوغبار در معادن زغال ۳۴
- شکل ۶-۳: میزان گردوغبار تولیدشده توسط هر تجهیزات در معادن روباز ۳۵
- شکل ۷-۳: منابع گردوغبار در جاده‌های خاکی و معدنی ۳۶
- شکل ۸-۳: مکانیسم‌های بالا آمدن ذرات از روی سطح زمین ۳۸
- شکل ۹-۳: ایجاد گردوغبار فراری ۳۸
- شکل ۱۰-۳: نمودار حالت‌های مختلف حمل‌ونقل ذرات خاک به خاطر باد ۳۹
- شکل ۱۱-۳: کنترل‌کننده‌ای گردوغبار ۴۹
- شکل ۱-۴: موقعیت جغرافیایی معدن سیمان آبیک ۷۱
- شکل ۲-۴: نمونه‌های عمل‌آوری شده برای آزمایش ۷۲
- شکل ۳-۴: آسیاب گلوله‌ای مورد استفاده در آزمایش ۷۳
- شکل ۴-۴: نمونه ملاس استفاده‌شده ۷۶
- شکل ۵-۴: لیگنوسولفونات کلسیم مورد استفاده ۷۸
- شکل ۶-۴: تصویر SEM از مونت موریلونیت در طرف چپ تصویر و ساختارهای اتمی آن به صورت شماتیک در طرف راست تصویر ۷۹
- شکل ۷-۴: نانو رس مورد استفاده ۸۰
- شکل ۸-۴: خلاصه‌ی مراحل انجام آزمایش‌ها ۸۱
- شکل ۹-۴: الک‌های دانه‌بندی و آزمایش هیدرومتری ۸۳
- شکل ۱۰-۴: منحنی دانه‌بندی خاک AB 01 ۸۴
- شکل ۱۱-۴: منحنی دانه‌بندی خاک AB 02 ۸۵
- شکل ۱۲-۴: آزمایش حد روانی ۸۶

- شکل ۴-۱۳: بطری حجم سنج ۲۵۰ mml استفاده شده ۹۱
- شکل ۴-۱۴: الک کردن نمونه و وزن کردن نمونه و قرار دادن داخل گرمخانه ۹۲
- شکل ۴-۱۵: وزن کردن خاک و کوبیدن خاک در سه لایه و قالب تراکم و قرار دادن نمونه در گرمخانه در آزمایش تراکم استاندارد ۹۴
- شکل ۴-۱۶: آزمایش تراکم برای خاک AB 01 ۹۵
- شکل ۴-۱۷: آزمایش تراکم برای خاک AB 02 ۹۵
- شکل ۴-۱۸: آزمایش برش مستقیم و قالب نمونه و دستگاه برش مستقیم ۹۷
- شکل ۴-۱۹: تنش قائم بر تنش برشی خاک AB 01 ۹۷
- شکل ۴-۲۰: تنش قائم بر تنش برشی خاک AB 02 ۹۸
- شکل ۴-۲۱: آزمایش تک محوره آماده سازی نمونه و کوبیدن خاک در ۵ لایه همراه ۲۵ ضربه و قرار دادن نمونه در زیر جک ۹۹
- شکل ۴-۲۲: تنش و کرنش خاک AB 01 ۱۰۰
- شکل ۴-۲۳: تنش و کرنش خاک AB 02 ۱۰۰
- شکل ۴-۲۴: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصد های ملاس چغندر قند ۱۰۴
- شکل ۴-۲۵: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصد های کلسیم لیگنوسولفونات (CLS) ۱۰۵
- شکل ۴-۲۶: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصد های نانو رس مونت موریلونیت ۱۰۶
- شکل ۴-۲۷: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصد های ملاس چغندر قند ۱۰۷
- شکل ۴-۲۸: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصد های لیگنوسولفونات کلسیم ۱۰۸
- شکل ۴-۲۹: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصد های نانو رس مونت موریلونیت ۱۰۸
- شکل ۴-۳۰: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصد های ملاس چغندر قند ۱۰۹
- شکل ۴-۳۱: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصد های لیگنوسولفونات کلسیم (CLS) ۱۱۰

شکل ۴-۳۲: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصد‌های نانو رس مونت‌موریلونیت ۱۱۱

شکل ۴-۳۳: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB02 تحت تأثیر درصد‌های ملاس چغندر قند ۱۱۲

شکل ۴-۳۴: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم ۱۱۳

شکل ۴-۳۵: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصد‌های نانو رس مونت‌موریلونیت ۱۱۳

شکل ۴-۳۶: نمودار تنش برشی ماکزیمم بر حسب تنش قائم برای خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند ۱۱۶

شکل ۴-۳۷: نمودار تنش برشی ماکزیمم بر حسب تنش قائم برای خاک AB 01 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم ۱۱۷

شکل ۴-۳۸: نمودار تنش برشی ماکزیمم بر حسب تنش قائم برای خاک AB 01 با افزودن نانو رس مونت‌موریلونیت ۱۱۷

شکل ۴-۳۹: تأثیر درصد‌های ملاس چغندر قند بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) در خاک AB01 ۱۱۸

شکل ۴-۴۰: تأثیر درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) در خاک AB01 ۱۱۹

شکل ۴-۴۱: تأثیر درصد‌های نانو رس مونت‌موریلونیت بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) در خاک AB01 ۱۱۹

شکل ۴-۴۲: نمودار تنش برشی ماکزیمم بر حسب تنش قائم برای خاک AB 02 با افزودن ملاس چغندر قند ۱۲۰

شکل ۴-۴۳: نمودار تنش برشی ماکزیمم بر حسب تنش قائم برای خاک AB 02 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم ۱۲۱

شکل ۴-۴۴: نمودار تنش برشی ماکزیمم بر حسب تنش قائم برای خاک AB 02 با افزودن نانو رس مونت‌موریلونیت ۱۲۲

شکل ۴-۴۵: تأثیر درصد‌های ملاس چغندر قند بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) در خاک AB02 ۱۲۲

- شکل ۴-۴۶: تأثیر درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) در خاک AB02 ۱۲۳
- شکل ۴-۴۷: تأثیر درصد‌های نانو رس مونت موریلونیت بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) در خاک AB02 ۱۲۴
- شکل ۴-۴۸: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 01 با افزودن درصد‌های ملاس چغندر قند ۱۲۷
- شکل ۴-۴۹: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 01 با افزودن درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم ۱۲۸
- شکل ۴-۵۰: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 01 با افزودن درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم ۱۲۹
- شکل ۴-۵۱: میزان مقاومت فشاری نمونه‌ها با درصد‌های ملاس چغندر قند در خاک AB01 ۱۲۹
- شکل ۴-۵۲: میزان مقاومت فشاری نمونه‌ها با درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم در خاک AB01 ۱۳۰
- شکل ۴-۵۳: میزان مقاومت فشاری با افزودن درصد‌های نانو رس مونت موریلونیت در خاک AB01 ۱۳۰
- شکل ۴-۵۴: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 02 با افزودن درصد‌های ملاس چغندر قند ۱۳۲
- شکل ۴-۵۵: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 02 با افزودن درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم ۱۳۳
- شکل ۴-۵۶: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 02 با افزودن درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم ۱۳۴
- شکل ۴-۵۷: میزان مقاومت فشاری با افزودن درصد‌های ملاس چغندر قند در خاک AB02 ۱۳۴
- شکل ۴-۵۸: میزان مقاومت فشاری با افزودن درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم در خاک AB02 ۱۳۵
- شکل ۴-۵۹: میزان مقاومت فشاری با افزودن درصد‌های نانو رس مونت موریلونیت در خاک AB02 ۱۳۵

فهرست جداول

جدول ۱-۲: مروری بر پیشینه تحقیق	۱۸
جدول ۱-۳: خواص فیزیکی و شیمیایی کلسیم کلرید	۵۲
جدول ۲-۳: خواص فیزیکی و شیمیایی منیزیم کلرید	۵۳
جدول ۳-۳: خواص فیزیکی و شیمیایی سدیم کلرید	۵۵
جدول ۴-۳: خواص فیزیکی و شیمیایی پتاسیم کلرید	۵۵
جدول ۵-۳: رایج‌ترین کنترل‌کننده‌های استفاده‌شده در جاده‌های معدنی	۶۵
جدول ۱-۴: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ملاس چغندر قند	۷۶
جدول ۲-۴: ویژگی‌های فیزیکی لیگنوسولفونات کلسیم	۷۸
جدول ۳-۴: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نانو رس	۸۰
جدول ۴-۴: سری الک‌های استفاده‌شده برای هر دو خاک AB 01 و AB 02	۸۳
جدول ۵-۴: نتایج آزمایش دانه‌بندی و هیدرومتری برای هر دو خاک	۸۴
جدول ۶-۴: خلاصه آزمایش‌های حدود اتربرگ برای هر دو خاک	۸۶
جدول ۷-۴: نتایج آزمایش تعیین چگالی نسبی خاک	۹۰
جدول ۸-۴: روش‌های مختلف آزمایش تراکم	۹۳
جدول ۹-۴: نتایج آزمایش تراکم پراکتور برای دو خاک AB 01 ، AB 02	۹۵
جدول ۱۰-۴: نتایج آزمایش برش مستقیم برای هر دو خاک	۹۶
جدول ۱۱-۴: نتایج آزمایش تک‌محوره	۹۹
جدول ۱۲-۴: خلاصه آزمایش‌های شناسایی اولیه	۱۰۱
جدول ۱۳-۴: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصد‌های ملاس چغندر قند	۱۰۴
جدول ۱۴-۴: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم	۱۰۵
(CLS)	۱۰۵
جدول ۱۵-۴: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصد‌های نانو رس مونت موریلونیت	۱۰۶
جدول ۱۶-۴: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصد‌های ملاس چغندر قند	۱۰۹

جدول ۴-۱۷: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصد های لیگنوسولفونات کلسیم (CLS).....	۱۱۰
جدول ۴-۱۸: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصد های نانو رس مونت موریلونت.....	۱۱۱
جدول ۴-۱۹: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند.....	۱۱۶
جدول ۴-۲۰: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 01 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم.....	۱۱۶
جدول ۴-۲۱: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 01 با افزودن نانو رس مونت موریلونت.....	۱۱۷
جدول ۴-۲۲: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 02 با افزودن ملاس چغندر قند.....	۱۲۰
جدول ۴-۲۳: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 02 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم.....	۱۲۱
جدول ۴-۲۴: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 02 با افزودن نانو رس مونت موریلونت.....	۱۲۱
جدول ۴-۲۵: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند.....	۱۲۶
جدول ۴-۲۶: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک AB 01 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم.....	۱۲۷
جدول ۴-۲۷: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک AB 01 با افزودن نانو رس مونت موریلونت.....	۱۲۸
جدول ۴-۲۸: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک AB 02 با افزودن ملاس چغندر قند.....	۱۳۱
جدول ۴-۲۹: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک AB 02 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم.....	۱۳۲
جدول ۴-۳۰: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک AB 02 با افزودن نانو رس مونت موریلونت.....	۱۳۳

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در معدنکاری روباز حداقل یک جاده (رمپ) اصلی نیاز است و بسته به شکل ذخیره معدنی ممکن است دارای بیش از یک جاده باشد که تا عمق معدن ادامه دارد. این جاده‌ها در معادن کم‌عمق مستقیم هستند اما در معادن عمیق به صورت حلزونی و یا به صورت زیگ-زاگی‌اند که در پیرامون معدن ایجاد می‌شود و شیب آن کم‌وبیش از کف تا سطح معدن یکسان است. امکان استفاده از ماشین‌آلاتی مانند شاول و تراک‌های با ظرفیت بالا در روش روباز، میزان تولید این روش را نسبت به روش‌های دیگر را بسیار بالاتر برده است. همچنین با وجود زیاد بودن سرمایه اولیه لازم، موجب پائین آمدن هزینه تولید به ازای هر تن ماده معدنی می‌شود. رمپ‌ها به دلیل نقش محوری در انتقال مواد معدنی و باطله، یکی از اصلی‌ترین منابع تولید ریزگرد در معادن هستند. انتشار گردوغبار از فعالیت‌های معدنی و تأثیر آن‌ها بر محیط اطراف و باقی ماندن آن در محیط اطراف یکی از اثرات عمده زیست‌محیطی مرتبط با معدنکاری سطحی (روبار) است. انتشار گردوغبار ناشی از حمل‌ونقل مواد معدنی از معادن سطحی بیش‌ترین سهم در انتشار گردوغبار را دارد. نتایج تحقیق انجام‌شده توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده (EPA) در جاده‌های معادن روباز نشان می‌دهد که تقریباً ۷۸ تا ۹۷ درصد انتشار گردوغبار ناشی از حمل مواد معدنی بوده است [۱،۲،۳]. همچنین نتایج تحقیق انجام‌شده توسط تامسون و ویسر در سال ۲۰۰۱، در معادن روباز زغال نشان می‌دهد که ۹۳٫۳٪ کل انتشار گردوغبار ناشی از حمل مواد معدنی بوده است. انتشار گردوغبار نه تنها تأثیر منفی زیست‌محیطی، بلکه در تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات و هزینه‌های عملیاتی مؤثر است و می‌تواند سلامت محیط اطراف را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش دید راننده کامیون‌های حمل مواد معدنی شود [۴]. در کنترل ریزگرد ایجادشده در معادن تعدادی روش به‌طور گسترده استفاده شده‌اند. پر استفاده‌ترین روش‌ها عبارت‌اند از: افشانه آب، تزریق آب و پنکه غبار جمع‌کن. این فناوری‌ها تا حدودی توانسته‌اند با گردوغبار مقابله کنند ولی محدودیت دارند. عمده‌ترین روش مورد استفاده برای کنترل گردوغبار در رمپ‌های معادن روباز، استفاده از دستگاه‌های آب‌پاش برای مرطوب نگه‌داشتن طول مسیر است. این روش موجب ایجاد

مشکلات زیست‌محیطی و عملیاتی از جمله مصرف بسیار زیاد آب، راندمان پایین در مناطق گرم و خشک، روان شدگی خاک، ایجاد ترافیک در اثر فرآیند آب‌پاشی، هزینه تعمیر و نگهداری دستگاه‌های آب‌پاشی و ... می‌شود. یکی از روش‌های جلوگیری از انتشار گردوغبار در رمپ‌های معدنی، آب‌پاشی کردن سطح جاده توسط آب و یک محلول شیمیایی است که می‌تواند رطوبت اتمسفر را جذب کرده و ذرات خاک را باهم ارتباط دهد [۵].

۱-۲- بیان مسئله و ضرورت انجام پژوهش

جاده‌های معدنی، یکی از منابع اصلی تولید ریز گرد در معادن هستند. به‌خوبی شناخته شده است که گردوغبار جاده‌ای یکی از منابع کلیدی آلودگی در معادن روباز است. آلودگی گردوخاکی نه‌تنها باعث ایجاد بیماری پنوموزیلیکوزیس^۱ (یک بیماری ریوی ناشی از استنشاق گردوغبار کانی‌های سیلیسیم) می‌شود، بلکه بر روی دید مفید راننده‌های ماشین‌آلات تأثیر می‌گذارد، سرعت حرکت کامیون را کاهش داده و فاصله بین دو کامیون در حال کار را افزایش می‌دهد. درعین‌حال، فعالیت ماشین‌آلات در این گردوخاک موجب بالا رفتن استهلاک و میزان مصرف سوخت آن‌ها می‌شود. از سویی دیگر اغلب برای فائق آمدن به این معضل از روش مرسوم آب‌پاشی مسیر استفاده می‌شود. این روش موجب ایجاد مشکلات زیست‌محیطی و عملیاتی از جمله مصرف بسیار زیاد آب، راندمان پایین در مناطق گرم و خشک، هزینه بالای تهیه آب در اغلب مناطق (مخصوصاً با در نظر گرفتن ارزش معنوی آن)، روان شدگی خاک، ایجاد ترافیک در اثر فرآیند آب‌پاشی، هزینه تعمیر و نگهداری دستگاه‌های آب‌پاشی، هزینه تعمیر و نگهداری رمپ‌ها و ... می‌شود. برای مثال، برای جلوگیری از انتشار ریز گرد در رمپ‌های معدن مس سرچشمه (با توجه به اطلاعات مناقصه شماره ۲۱۳۲)، می‌بایست سطحی در حدود ۴۰۰ هزار مترمربع به‌طور مستمر مورد آب‌پاشی قرار گرفته و مرطوب باشد. با فرض اینکه برای مرطوب کردن هر مترمربع از رمپ خاکی فقط ۰/۵ لیتر آب صرف شود، در هر مرحله از آب‌پاشی می‌بایست

^۱ Pneumoconiosis

حدوداً ۲۰۰ هزار لیتر آب صرف شود و اگر در هر شیفت کاری سه مرتبه این کار صورت پذیرد، بیش از ۶۰۰ هزار لیتر آب در هر شیفت صرفاً برای مرطوب سازی و جلوگیری از انتشار ریز گردها صرف خواهد شد [۶]. روش دیگر برای کنترل گردوغبار جاده‌های معدنی، ساخت جاده‌های مناسب است. اگرچه ساخت و ساز جاده‌ها برای کاهش انتشار گردوغبار ماشین‌آلات اهمیت دارد، اما هنوز هم نیاز به اجرای اقدامات کنترل گردوغبار برای جاده‌های معدنی وجود دارد، زیرا حتی بهترین جاده‌های معدنی ساخته‌شده، شرایط مستعد برای ایجاد گردوغبار را فراهم می‌کنند [۷].

۳-۱- اهداف پژوهش

استخراج مواد معدنی از معادن سطحی باعث افزایش میزان تولید گردوغبار خواهد شد. همچنین معادن به‌طور مداوم در تلاش برای کاهش اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی خود هستند، نیاز به مطالعه در مورد کاهش گردوغبار با استفاده از نانو ذرات که باعث بهبود خواص مکانیکی خاک می‌شود و تثبیت خاک با افزودنی‌های گوناگون از جمله روش‌های معمول برای بهبود و اصلاح خاک است که در این پژوهش ابتدا ماده افزودنی انتخاب می‌گردد سپس درصد مناسب با توجه به آزمایش‌ها برای بهبود خواص مقاومتی خاک انتخاب می‌شود همچنین انتخاب نوع ماده‌ی افزودنی باید به‌گونه‌ای باشد که علاوه برداشتن صرفه‌ی اقتصادی، با محیط‌زیست سازگار بوده و باعث کاهش گردوغبار در جاده‌های معدنی شود.

۴-۱- روش پژوهش

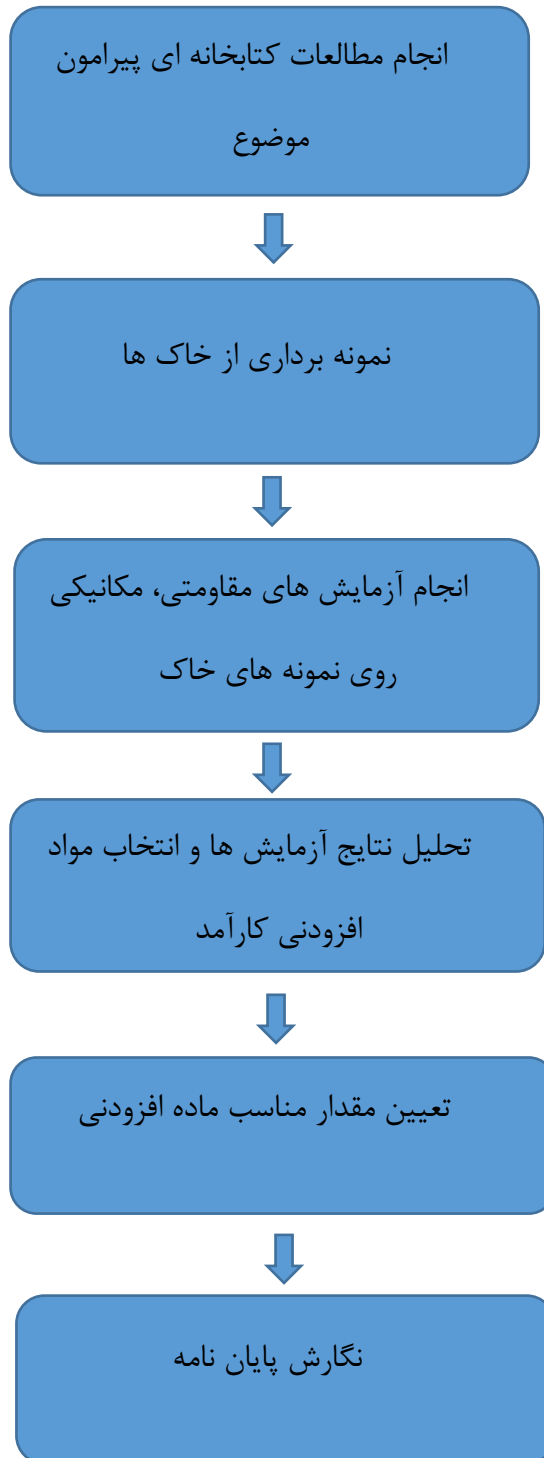
یکی از راهکارهای مناسب در مواجهه با خاک‌های نامناسب در مهندسی ژئوتکنیک، تغییر خصوصیات خاک سایت است که به بهسازی یا اصلاح خاک موسوم است. اصلاح خاک به مجموعه عملیاتی اطلاق می‌شود که به حذف برخی رفتارهای نامناسب خاک و یا تحمیل رفتارهای مناسب به آن، منجر خواهد شد. یکی از این روش‌ها افزودن سیمان و یا ماده شیمیایی افزودنی به ترکیب خاک است. از جمله افزودنی‌هایی که در گذشته استفاده‌شده و امروزه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان به سیمان، قیر، آهک، خاکستر آتش‌فشانی و ... اشاره نمود. اضافه کردن این مواد به خاک باعث کاهش

پلاستیسیته، بهبود تراکم، کاهش تورم، انقباض، بهبود مقاومت برشی و پایداری خاک پس از تثبیت می‌شود. اغلب این مواد برای تثبیت خاک‌های ریزدانه رسی و لای بکار می‌رود و اگر برای خاک‌های دانه‌ای بکار رود باعث کاهش نفوذپذیری، کاهش فرسایش و افزایش دوام می‌شود. یکی از مشکلات استفاده از این قبیل افزودنی‌ها به خاک، آلودگی زیست‌محیطی است ولی استفاده از نانو ذرات سبب کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی خواهد شد.

نانو ذرات از جدیدترین افزودنی‌هایی هستند که مطالعاتی در زمینهٔ استفاده از آن‌ها در بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها صورت پذیرفته است. مشخصه اصلی نانو ذرات، اندازه کوچک، توزیع دانه‌بندی با یک سطح پایین آگلومراته شدن است. این ویژگی‌های منحصر به فرد نانو ذرات سبب شده است که فناوری نانو در عمده علوم وارد شده و بسیاری از مشکلات مربوطه را حل نماید. در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی برای کاربرد این فناوری نوین در شاخه‌های مختلف مهندسی معدن شده است. اغلب نانو موادی که برای تغییر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌ها استفاده شده است نانو ذرات سیلیس و رس هستند که بر روی خصوصیات، شاخص نفوذپذیری و پارامترهای مقاومتی خاک تأثیر می‌گذارند.

در این تحقیق سعی خواهد شد به بررسی تأثیر افزودن نانو ذرات رس و لیگنوسولفونات کلسیم و ملاس چغندر قند به انواع خاک با دانه‌بندی‌های گوناگون بر خواص مهندسی از قبیل مقاومت فشاری، برشی، جذب رطوبت و ...، برای بهبود خواص مقاومتی خاک با هدف کنترل گردوغبار در معادن، بخصوص رمپ‌های معدنی در مقیاس آزمایشگاهی و روی نمونه‌های واقعی بررسی شود. برای این هدف، نمونه‌برداری از رمپ‌های معادن سیمان آبیگ انجام شده؛ پس از بررسی و انجام آزمون‌های فیزیکی، مکانیکی بر روی آن‌ها، تلاش در راستای انتخاب بهترین مواد برای بهبود خواص مقاومتی صورت می‌گیرد. در انتها نیز سعی خواهد شد میزان مناسب افزودنی‌ها که مناسب‌ترین شرایط مقاومتی، فیزیکی و زیست‌محیطی را برآورده می‌کند تعیین شود.

مراحل انجام تحقیق به شرح شکل ۱-۱ است:



شکل ۱-۱: مراحل انجام تحقیق

۱-۵- ساختار پایان نامه

این تحقیق شامل ۵ فصل هست که عبارت‌اند از:

فصل اول مربوط به کلیاتی از تحقیق است که در آن ضرورت و اهداف انجام تحقیق و همچنین روش انجام تحقیق پرداخته شده است.

فصل دوم مربوط به مروری بر ادبیات فنی و پیشینه تحقیق که در این فصل به سوابق مربوط به مطالعات انجام شده در زمینه موضوع این تحقیق اشاره شده است.

فصل سوم مربوط به آشنایی با گردوغبار و اثرات آن، گردوغبارهای موجود در معادن به خصوص در جاده‌های معدنی و روش‌های کنترل گردوغبار که در این فصل ابتدا به منابع تولید گردوغبار پرداخته و در ادامه بررسی انواع کنترل‌کننده‌های گردوغبار و در ادامه در خصوص تثبیت، اهداف تثبیت، روش‌های تثبیت خاک آورده شده است.

فصل چهارم مربوط به معرفی ماده افزودنی مصرفی در تحقیق، خاک مصرفی، روش انجام آزمایش‌ها، نتایج آزمایش‌ها و همچنین محل نمونه‌برداری با ذکر موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه و مورفولوژی منطقه آورده شده است.

فصل پنجم مربوط به نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای ادامه تحقیق آورده شده است.

مروری بر پیشینه پژوهش

۱-۲- مقدمه

در چند دهه اخیر پژوهش‌های زیادی برای کنترل گردوغبار در جاده‌های معدنی و جاده‌های خاکی با استفاده از کنترل‌کننده‌های مختلف مانند پلیمرها و آب و لیگنین سولفونات و نمک‌ها و غیره انجام شده است که در این مطالعات، کنترل‌کننده‌ای گردوغبار از لحاظ زیست‌محیطی و نحوه عملکرد مقایسه شده‌اند. اکثر کنترل‌کننده‌ها نتایج اقتصادی خوب داشته ولی اثرات زیست‌محیطی مخربی به همراه داشته است. در ادامه به بخشی از مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته اشاره خواهد شد.

۲-۲- مروری بر تحقیقات گذشته

ونگ هیوینگ^۱ و همکارانش در سال ۱۹۹۵ به بررسی استفاده از ویژگی‌های سوپر جاذب آب برای کنترل گردوغبار جاده‌ای پرداختند. در این مطالعه از یک رزین جذب آب فوق‌العاده برای کنترل گردوغبار جاده استفاده شده و ویژگی‌های آن را توصیف می‌کند. استفاده از رزین در خاک باعث حفظ رطوبت خاک شده و از آنجاکه رزین دارای رفتار عالی برای جذب و حفظ آب است، عملکرد مؤثر آن برای کنترل گردوغبار می‌تواند طولانی مدت باشد [۸].

فولی‌گراهم^۲ و همکارانش در سال ۱۹۹۶ به ارزیابی اثربخشی کنترل‌کننده‌های گردوغبار پرداختند در این مطالعه ابتدا به درک کلی از مشکل گردوغبار، روش‌های مختلف برای کاهش گردوغبار و انواع مختلف کنترل‌کننده‌های گردوغبار موجود در بازار را ارائه می‌دهد همچنین، بر اساس آزمایش‌های مربوط به گردوغبار و تجربیات میدانی به ارزیابی اثربخشی انواع کنترل‌کننده‌های گردوغبار پرداخته شد. در ادامه بررسی محصولات کنترل‌کننده‌های گردوغبار، مشکلات زیست‌محیطی قابل توجهی ناشی از استفاده از فرآورده‌های نفتی و مواد شیمیایی جاذب آب مانند نمک‌های کلرید و چسب‌های آلی مانند لیگنوسولفونات‌ها برای خاک‌ها را نشان می‌دهد و همچنین داده‌ها نشان می‌دهد که کنترل‌کننده‌های گردوغبار مبتنی بر کلرید، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه هست [۹].

¹ Wang Haining

² Foley Graham

وئو چو^۱ و همکارانش در سال ۱۹۹۶ از قیر امولسیون به عنوان کنترل کننده گردوغبار جاده‌های خاکی استفاده کردند نتایج آن‌ها نشان‌دهنده‌ی کارآمدی مایع فوق برای کنترل گردوغبار و حفظ جاده‌های خاکی برای حالت ۲/۲ کیلوگرم در مترمکعب آب‌پاشی در جاده‌ها بود. همچنین نتایج نشان داد که زمان استفاده از آن می‌تواند بیش از ۱۰ روز طول بکشد و استفاده از آن سودآور نیز است [۱۰].

ساندرز^۲ و همکاران در سال ۱۹۹۷، در یک مطالعه تحقیقات میدانی، تأثیر نسبی سه کنترل کننده اصلی گردوغبار، کلرید منیزیم و کلرید کلسیم و لیگنوسولفونات را تعیین کرد. اندازه‌گیری میزان گردوغبار ناشی از هر کدام از چهار بخش آزمایش با استفاده از دستگاه Dustometer (دستگاه متحرک اندازه‌گیر گردوغبار در جاده است) که در دانشگاه ایالتی کلرادو در طی این تحقیق توسعه یافت، انجام شد سپس گردوغبار گردآوری شده در هر بخش آزمایش اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که هر سه کنترل کننده گردوغبار مورد مطالعه میزان گردوغبار فرار در جاده‌های خاکی را ۵۰-۷۰ درصد کاهش داده‌اند. بخش‌های مورد آزمایش شده با کنترل کننده‌ای گردوغبار تقریباً ۴۰-۶۰ درصد باعث کاهش گردوغبار نسبت به بخش‌های که از کنترل کننده‌های گردوغبار استفاده نشده بود [۱۱].

اورگانیسکاک^۳ و همکارانش در سال ۲۰۰۴ به بررسی ویژگی‌های گردوغبار تولید شده از جاده‌های حمل‌ونقل معدنی پرداختند. در این مطالعه دو تحقیق میدانی برای تعیین میزان تولید گردوغبار فرار و میزان ترافیک کامیون در جاده‌های حمل‌ونقل انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که حداقل ۸۰ درصد از گردوخاکی که توسط کامیون‌ها تولید می‌شود بزرگ‌تر از ۱۰ میکرومتر است و همچنین ارزیابی اندازه ذرات گردوغبار از حمل بار کامیون نشان داد که ۸۵/۵ درصد از گردوغبار فرار بزرگ‌تر از ۱۰ میکرومتر و ۱۴/۵ درصد گردوغبار فرار کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر است. گرچه مقدار گردوغبار فرار با اندازه ذرات کوچک‌تر کم است اما از دیدگاه سلامت و ایمنی مورد توجه است [۱۲].

¹ Wu Chao

² Sanders

³ Organiscak

تان زوهینگ^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۵ به بررسی خطر گردوغبار و مکانیسم گردوغبار جاده‌ای ناشی از حمل‌ونقل در یک معدن روباز پرداخته که بر اساس نتایج نظری، یک مفهوم برای کنترل گردوغبار زیست‌محیطی و یک دستورالعمل برای جلوگیری از گردوغبار جاده‌ای معرفی شد [۱۳].

دیو کوفنگ^۲ و همکارانش در سال ۲۰۰۷ به بررسی تجربی بروی کنترل گردوغبار در معدن تئوپن با استفاده از کنترل‌کننده گردوغبار YCH پرداختند؛ که با آزمایش آن کنترل‌کننده گردوغبار در جاده معدن و اندازه‌گیری میزان ذرات هرروز به این نتیجه رسیدند که غلظت گردوغبار ۴/۹ میلی‌گرم بر مترمکعب بوده و این کنترل‌کننده ۹۸/۴٪ در کاهش گردوغبار مؤثر بوده و در مقایسه با آب‌پاشی باعث کاهش ۹۸٪ آب و ۳۱٪ هزینه‌ها می‌شود [۱۴].

تامسون^۳ و همکارانش در سال ۲۰۰۷ به بررسی عملکرد و ارزیابی اقتصادی کنترل‌کننده‌های گردوغبار در جاده‌های حمل‌ونقل معدنی پرداختند. در این مطالعه به ارزیابی و مدل‌سازی کامیون‌هایی که تولید گردوغبار می‌کنند پرداخته و در نهایت یک مدل ارزیابی اقتصادی پایه‌ای با استفاده از کنترل‌کننده گردوغبار معرفی شده است که هزینه و عملکرد کنترل‌کننده نشان می‌دهد که استفاده از کنترل‌کننده گردوغبار در مقایسه با آب‌پاشی به صرفه است [۱۵].

سس‌الا^۴ و همکارانش در سال ۲۰۱۲ در کتابی با عنوان کنترل گردوغبار در معدن و کارخانه فرآوری که در فصل آخر به بررسی کنترل گردوغبار جاده که ناشی از حمل‌ونقل مواد معدنی هست پرداخته همچنین تمرکز اصلی در این فصل، کنترل گردوغبار جاده است زیرا مسئله مهمی در معادن سطحی و روباز است. در این کتاب در ادامه انواع کنترل‌کننده‌های گردوغبار و تجهیزات مورد استفاده برای استفاده از این کنترل‌کننده‌ها را توضیح می‌دهد [۷].

¹ Tan Zhuoying

² Du Cuifeng

³ Thompson

⁴ Cecala

ادوار سون^۱ در سال ۲۰۱۲ و همکارانش به بررسی کارایی کنترل‌کننده‌های گردوغبار و اندازه‌گیری برج‌گردوغبار تولیدشده در جاده‌ای شنی سوئد پرداختند. در این مطالعه کنترل‌کننده‌ای گردوغبار در طی سه فصل تابستانی در چهار محل در سوئد به طول ۱ کیلومتر باهدف مقایسه کارایی نسبی آن‌ها و تعیین حداقل میزان کاربرد در آب‌وهوای شمال اروپا به کار گرفته شدند. تولید گردوغبار از بخش‌های آزمایش هم به صورت بصری و هم از طریق اندازه‌گیری‌های PM_{10} (ذرات معلق به اندازه ۱۰ میکرومتر) اندازه‌گیری شد. هدف از انجام این تحقیق مقایسه کنترل‌کننده‌های مورد آزمایش از لحاظ نحوه عمل، آماده‌سازی، کاربرد، تجهیزات موردنیاز و هزینه است. کنترل‌کننده گردوغبار انتخاب‌شده در چهار محل مورد آزمایش قرار گرفتند و مشخصات لازم هر جاده مورد آزمایش که شامل ترافیک روزانه سالانه، توپوگرافی محل مورد آزمایش و متوسط سرعت وسایل نقلیه و طبقه‌بندی ترافیک برای هر محل مورد آزمایش ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که هیچ تفاوت قابل توجهی در کارایی نسبی کنترل‌کننده‌های گردوغبار تست‌شده بین محل‌های مختلف جغرافیایی در سوئد وجود ندارد و تمام محصولات به جز لیگنین سولفونات، امولسیون قیر کارایی قابل قبولی در کاهش گردوغبار در مدت طولانی را نشان دادند بخش‌های که برای کنترل گردوغبار از کلرید استفاده شد بیش‌ترین کنترل گردوغبار را با توجه به اندازه‌گیری‌های کیفی و کمی نشان می‌دهد، کنترل‌کننده‌های محلول کلراید بهترین نتیجه را دارند و همچنین نرخ کاربرد کلرید جامد برای کارایی آن بسیار مهم است و غلظت بالاتر باعث کاهش کارایی آن می‌شود [۵].

دیو کوفنگ^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ به توسعه و مشخص کردن فرمولاسیون کنترل گردوغبار در جاده‌های معادن روباز پرداختند. در این مطالعه کنترل‌کننده‌ای گردوغبار بر اساس تجزیه و تحلیل در مکانیسم بالا آمدن گردوغبار در جاده معادن روباز تعیین شدند و برای کنترل گردوغبار در جاده معادن از سورفاکتانت که جاذب رطوبت و غیر سمی استفاده شده است. همچنین در این مطالعه از چندین

¹ Edvardsson

² Du Cuifeng

کنترل‌کننده دیگر استفاده کرده و درنهایت به یک فرمولاسیون با چند ترکیب با درصد‌های مختلف رسیده است که این فرمولاسیون مطلوب به‌صورت ۲۰ درصد کلرید منیزیم ۶ آبه به‌اضافه ۰/۱ درصد نمک کربوکسی متیل سلولز به‌اضافه ۰/۰۸ درصد نمک سدیم دسیل بنزن سولفونات است؛ و همچنین در این مطالعه فرمولاسیون بهینه را بر اساس آزمون‌های انجام‌شده و با استفاده از نرخ اتلاف (از دست دادن) آب به‌عنوان شاخص ارزیابی تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که فرمول بدست آمده در آزمایش‌ها عملکرد خوبی از جذب رطوبت و نگهداری آب را ارائه می‌دهد و همچنین دارای یک عملکرد خوب تحت شرایط خشک است. با توجه به گستره وسیعی از منابع برای مواد و روند آماده‌سازی ساده، این فرمولاسیون کاربرد خوبی دارد [۱۶].

شبان‌ی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ به تثبیت خاک سطح جاده‌های خاکی و کنترل گردوغبار با استفاده از محلول SSR400 (محلول کلریدی شامل کلرید کلسیم و کلرید منیزیم تولید واحد پتاس، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران) پرداخته است. استفاده از این‌گونه مواد، در ارتباط با استفاده‌کنندگان از جاده‌های خاکی، باعث کاهش موج‌ها و دست‌اندازها، افزایش سرعت تردد و در نتیجه کاهش هزینه تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه و همچنین با کاهش چشمگیری در حجم آبپاشی و کاهش ضایعات مصالح سطح جاده منجر به کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده‌های خاکی می‌گردد [۱۷].

بارنز^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۴ به مدیریت گردوغبار در جاده‌های خاکی و باند فرودگاه‌ها پرداختند در این مطالعه گردوغبار فرار که از تردد وسایل نقلیه در جاده‌های خاکی و باند فرودگاه نشأت می‌گیرد، می‌تواند تأثیر به‌سزایی در ایمنی، سلامتی، کیفیت زندگی داشته باشد. مدیریت گردوغبار وسیله‌ای برای کاهش این تأثیرات فراهم می‌کند. نیروهای برشی ایجادشده در فصل مشترک بین سطح و لاستیک‌های خودرو، گردوغبار را رو ایجاد می‌کنند. می‌توان از روش کاهش سرعت خودرو در جاده‌ها و استفاده صحیح از کنترل‌کننده‌های گردوغبار، میزان تولید گردوغبار را مدیریت کنند. نتایج تحقیق

^۱ Barnes

نشان می‌دهد که انواع مختلفی از کنترل‌کننده‌های گردوغبار برای مدیریت گردوغبار جاده‌ها و باندهای فرودگاه در دسترس هستند. انتخاب کنترل‌کننده گردوغبار به دانه‌بندی، حجم ترافیک، شرایط آب‌وهوا و مکان بستگی دارد [۱۸].

والن زولا^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۴ به مطالعه درمان‌های کنترل‌کننده گردوغبار پرداختند. منظور از درمان اضافه کردن مواد افزودنی به خاک است که این مواد افزودنی محصول شیمیایی و یا ترکیب آلی هستند که باعث تغییر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک و کنترل انتشار ذرات معلق تشکیل‌شده می‌شود، وقتی مواد افزودنی با خاک در لایه‌ای با ضخامت کافی مخلوط می‌شود (از طریق نوعی از تجهیزات مکانیکی) این درمان همان عملیات تثبیت خاک نامیده می‌شود. در این مطالعه خلاصه‌ای از برخی مواد افزودنی را که معمولاً استفاده می‌شود ارائه می‌دهد همچنین روش‌های شرح داده‌شده در این مطالعه در ارزیابی فرسایش بادی و جاده‌های خاکی و همچنین ارزیابی عملکرد انواع مختلف کنترل‌کننده‌های ذرات معلق با استفاده از داده‌های عینی قابل قیاس و مفید هستند و همچنین انتخاب مناسب‌ترین کنترل‌کننده برای بهبود بهره‌وری، بهینه‌سازی هزینه‌ها، حفاظت از محیط‌زیست و سلامت مردم کمک می‌کنند [۱۹].

کوشوف^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به بررسی تکنیک‌های شیمیایی برای کنترل گردوغبار در معادن روباز پرداختند. در این مطالعه استفاده از کنترل‌کننده‌های گردوغبار را، راه‌حل عملی برای فرونشاندن گردوغبار در معادن روباز بر روی جاده‌ها در طول حمل‌ونقل است که در آن به‌طور خلاصه تکنیک‌های لازم برای کنترل گردوغبار در حین حمل مواد را توصیف می‌کند [۲۰].

دیو پلسیس^۳ و همکارانش در سال ۲۰۱۶ به بررسی اثربخشی استفاده از کنترل‌کننده‌های گردوغبار پرداختند. نتایج آن از صرفه‌جویی ۳۰٪ هزینه‌ها هنگام استفاده از لیگنین سولفونات برای کنترل

¹ Valenzuela

² Kovshov

³ Du Plessis

گردوغبار را نشان می‌دهد و به این نتیجه رسیدند که استفاده از لیگنین سولفونات می‌تواند باعث کاهش انتشار گردوغبار جاده‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های مرتبط با آن در مقایسه با آبپاشی شود و برای انجام این مطالعه جاده حمل‌ونقل معدنی انتخاب‌شده به دو بخش تقسیم شد که هر کدام ۳۰۰ متر طول دارند. بخش A تنها با استفاده از آب برای جلوگیری از انتشار گردوغبار و بخش B هم از لیگنین سولفونات برای جلوگیری از انتشار گردوغبار استفاده شده است. در این مطالعه، مزایای استفاده از لیگنوسولفونات برای کنترل گردوغبار کاهش ۵۰/۲ درصد آب و کاهش گردوغبار به میزان ۵۳/۸ درصد است. در نتیجه، مشخص شد که استفاده از لیگنین سولفونات برای کنترل گردوغبار باعث کاهش انتشار گردوغبار ناشی از جاده‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های مربوط به عملیات در مقایسه با استراتژی آب می‌شود [۲۱].

اومین^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ به مطالعه مقایسه کنترل‌کننده‌های گردوغبار تحت دماهای مختلف برای کنترل انتشار گردوغبار در جاده‌های معدن پرداختند در این تحقیق، چهار نوع کنترل‌کننده شامل محلول نمک، محلول آزاد کلر، محلول پلیمری و محلول ملاس که معمولاً در صنایع معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، انتخاب‌شده‌اند که این کنترل‌کننده‌ها بر اساس تعدادی از جاده‌های خاکی در نقاط مختلف دنیا انتخاب شدند. هدف از این مطالعه بررسی اثرات کنترل‌کننده‌های شیمیایی انتخاب‌شده در انتشار گردوغبار در جاده‌های معدن در سه دمای جو مختلف (۳۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۵ درجه سانتی‌گراد و -۱۹ درجه سانتی‌گراد) به تقلید از فصل‌های گرم، عادی و سرد بود. این تحقیق نقش دمای جو بر عملکرد چهار کنترل‌کننده‌های گردوغبار که عموماً در صنعت معدن به کار می‌رود را برجسته می‌کند. نتایج این تحقیق به بهتر شدن جاده‌ها، افزایش تولید درآمد و کمک به حداقل رساندن تهدید گردوغبار به سلامت و امنیت کارگران کمک خواهد کرد. از نتایج مشخص‌شده است که محلول نمک، محلول آزاد کلرید، محلول پلیمری کارایی بیشتری نسبت به آب دارد. همچنین به این نتیجه رسیده‌اند که درجه حرارت اتمسفر نقش مهمی در اثربخشی کنترل‌کننده‌های گردوغبار دارد [۲۲].

¹ Omane

هوانگ^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ به ارزیابی خاک جاده‌های خاکی با استفاده از کنترل کننده گردوغبار کو پلیمری پرداختند. در این مطالعه از یک کنترل کننده کو پلیمر با چهار غلظت ۱ درصد و ۲ درصد و ۳ درصد و ۵ درصد وزنی باهدف مقابله با انتشار گردوغبار مورد استفاده قرار گرفته است. خاک مورد استفاده هم از آریزونا، آمریکا نمونه برداری شده است و با غلظت‌های کو پلیمر هم مخلوط شده است. همچنین مجموعه‌ای از آزمایش‌های آزمایشگاهی از جمله آزمایش حفظ رطوبت، آزمایش‌های مقاومت سطحی و تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی انجام شد. بر اساس نتایج آزمایش‌ها، ۵ درصد از نمونه کو پلیمر، عملکرد بهتری را در کاهش میزان گردوغبار در مقایسه با ۱ درصد و ۲ درصد و ۳ درصد از نمونه‌های کو پلیمر نشان دادند و همچنین تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که نرخ غلظت‌های بالاتر از کنترل کننده‌های کو پلیمر باعث ایجاد لایه‌های نازک برای افزایش چسبندگی و به هم پیوستن نمونه‌ها می‌شود که این به کاهش تولید گردوغبار در جاده‌های خاکی و جاده‌های معدنی کمک کرده است [۲۳].

خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه اهداف این پژوهش به صورت فهرست‌وار در جدول ۱-۲ آورده شده است.

¹ Huang

جدول ۲-۱: مروری بر پیشینه تحقیق

ردیف	پژوهشگر	سال	موضوع	نتایج پژوهش
۱	Sanders	۱۹۹۷	تأثیر کنترل‌کننده‌های گردوغبار جاده بر ایمنی و محیط‌زیست	در یک مطالعه تحقیقات میدانی، تأثیر نسبی سه کنترل‌کننده اصلی گردوغبار، کلرید منیزیم و کلرید کلسیم و لیگنوسولفونات را تعیین کرد. این تحقیق نشان داد که هر سه کنترل‌کننده گردوغبار مورد مطالعه میزان انتشار گردوغبار فراری از جاده‌های خاکی را ۵۰-۷۰ درصد کاهش داده‌اند.
۲	Organiscak	۲۰۰۴	بررسی ویژگی‌های گردوغبار تولیدشده از جاده‌های حمل‌ونقل معدنی	نتایج انجام شده نشان می‌دهد که حداقل ۸۰ درصد از گردوغبار ناشی از کامیون‌های حمل‌ونقل بیشتر از ۱۰ میکرومتر است.
۳	Du Cuifeng	۲۰۰۷	بررسی تجربی بروی کنترل گردوغبار در معدن تئوپن با استفاده از کنترل‌کننده گردوغبار YCH	در این مقاله آزمایش کنترل‌کننده گردوغبار در جاده معدن و اندازه‌گیری میزان ذرات هرروز به این نتیجه رسیدن که غلظت گردوغبار ۴/۹ میلی‌گرم بر مترمکعب بوده و این کنترل‌کننده ۹۸/۴٪ در کاهش گردوغبار مؤثر بوده و در مقایسه با آبپاشی باعث کاهش ۹۸٪ آب و ۳۱٪ هزینه‌ها می‌شود.
۴	Thompson	۲۰۰۷	بررسی عملکرد و ارزیابی اقتصادی کنترل‌کننده گردوغبار در جاده‌های حمل‌ونقل معدنی	در این مقاله به ارزیابی و مدل‌سازی کامیون‌هایی که تولید گردوغبار می‌کنند پرداخته و در نهایت یک مدل ارزیابی اقتصادی پایه‌ای با استفاده از کنترل‌کننده شیمیایی معرفی شده است که هزینه و عملکرد کنترل‌کننده نشان می‌دهد که استفاده از کنترل‌کننده گردوغبار در مقایسه با آبپاشی به صرفه است.
۵	Edvardsson	۲۰۱۲	بررسی کارایی کنترل‌کننده‌های گردوغبار و اندازه‌گیری برجا گردوغبار تولیدشده در جاده‌های شنی سوئد	در این مقاله تمام محصولات به‌جز لیگنین سولفونات، امولسیون قیر، کارایی قابل‌قبول را نشان دادند که محلول کلرید کارایی بیش‌تری داشت و همچنین انتظار می‌رود که هزینه‌های جاده‌های شنی را کاهش دهد و در کاهش گردوغبار در محیط کمک کند.
۶	شبان	۲۰۱۳	تثبیت خاک سطح جاده‌های خاکی و کنترل گردوغبار با استفاده از محلول SSR400	در این مقاله استفاده‌کنندگان از جاده‌های خاکی، باعث کاهش موج‌ها و دست‌اندازها، افزایش سرعت تردد و در نتیجه کاهش هزینه تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه و همچنین با کاهش چشمگیری در حجم آبپاشی و کاهش ضایعات مصالح سطح جاده منجر به کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده‌های خاکی می‌گردد.

ردیف	پژوهشگر	سال	موضوع	نتایج پژوهش
۷	Valenzuela	۲۰۱۴	به مطالعه درمان‌های کنترل‌کننده گردوغبار	در این مطالعه خلاصه‌ای از برخی مواد افزودنی را که معمولاً استفاده می‌شود ارائه می‌دهد همچنین روش‌های شرح داده شده در این مطالعه در ارزیابی فرسایش بادی و جاده‌های خاکی و همچنین ارزیابی عملکرد انواع مختلف کنترل‌کننده‌های ذرات معلق با استفاده از داده‌های عینی قابل قیاس و مفید هستند
۸	Du Plessis	۲۰۱۶	بررسی اثربخشی استفاده از کنترل‌کننده‌های گردوغبار	نتایج آن از صرفه‌جویی ۳۰٪ هزینه‌ها هنگام استفاده از لیگنین سولفونات برای کنترل گردوغبار را نشان می‌دهد و به این نتیجه رسیدند که استفاده از لیگنین سولفونات می‌تواند باعث کاهش انتشار گردوغبار جاده‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های مرتبط با آن در مقایسه با آبپاشی شود.
۹	Omane	۲۰۱۸	به مطالعه مقایسه کنترل‌کننده‌های شیمیایی تحت دماهای مختلف برای کنترل انتشار گردوغبار در جاده‌های معدن	هدف از این مطالعه بررسی نقش درجه حرارت جوی مختلف بر روی اثربخشی کنترل‌کننده‌های شیمیایی برای کنترل و گردوغبار جاده است. در این تحقیق، چهار نوع کنترل‌کننده شامل محلول نمک، محلول آزاد کلر، محلول پلیمری و محلول ملاس که معمولاً در صنایع معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند انتخاب شده‌اند که این کنترل‌کننده‌ها بر اساس تعدادی از جاده‌های خاکی در نقاط مختلف دنیا انتخاب شدند. از نتایج مشخص شده است که ماده‌های فعال سطحی شیمیایی تحت تأثیر درجه حرارت اتمسفر قرار دارند. همچنین، محلول نمک، محلول آزاد کلرید، محلول پلیمری کارایی بیشتری نسبت به آب دارد. همچنین به این نتیجه رسیده‌اند که درجه حرارت اتمسفر نقش مهمی در اثربخشی کنترل‌کننده‌های شیمیایی دارد
۱۰	Huang	۲۰۱۸	به ارزیابی خاک جاده‌های خاکی با استفاده از کنترل‌کننده گردوغبار کوپلیمری	در این مطالعه از یک کنترل‌کننده کوپلیمر با چهار غلظت ۱ درصد ۲ درصد و ۳ درصد و ۵ درصد وزنی باهدف مقابله با انتشار گردوغبار مورد استفاده قرار گرفته است. خاک مورد استفاده هم از آریزونا، آمریکا نمونه‌برداری شده است و با غلظت‌های کوپلیمر هم مخلوط شده است. بر اساس نتایج آزمایش‌ها، ۵ درصد از نمونه کوپلیمر، عملکرد بهتری را در کاهش میزان گردوغبار در مقایسه با ۱ درصد و ۲ درصد و ۳ درصد از نمونه‌های کوپلیمر نشان داد.

مبانی نظری

۳-۱- مقدمه

با توجه به اینکه اهداف آینده باید بر روی یافتن و بهبود معادن پایدار و سازگار با محیط زیست تمرکز کنند. برای دستیابی به این هدف، تجزیه و تحلیل تمامی مراحل عملیات معادن، به منظور کاهش منابع آلودگی که می تواند منجر به خسارت جبران ناپذیر به سلامتی کارگران، تجهیزات و محیط زیست شود، ضروری است [۲۴]. تولید گردوغبار یکی از مشکلات زیست محیطی ناشی از معدنکاری است و این یک مشکل کنونی در عملیات معدنکاری است. گردوغبار معدنی از طریق طیف وسیعی از فرآیندها از طریق انفجار و آتشباری، بارگیری و حمل و نقل مواد معدنی، آماده سازی مواد معدنی برای فرآوری تولید می شود. این امر باعث به خطر افتادن سلامت کارگران و کارکنان و درعین حال عملکرد و کارایی عملیات معدن تحت تأثیر قرار گیرد [۲۵].

۳-۲- گردوغبار

گردوغبار^۱ یک اصطلاح عمومی است که برای توصیف ذرات ریز در جو که به حالت معلق است به کار می رود. طیف وسیعی از تعاریف به صورت ادبیات مختلف بیان شود که بین اندازه ذرات مختلف تمایز قائل است. مطابق با سازمان بین المللی استاندارد و مؤسسه استاندارد بریتانیا گردوغبار به عنوان ذرات جامد کوچک تعریف شده است که معمولاً قطر این ذرات کمتر از ۷۵ میکرومتر هستند که ممکن است مدتی به حالت معلق در آیند. از طرف دیگر دانشمندان آئروسول گردوغبار را ذرات معلق جامد که قطر این ذرات کمتر از ۱۰ میکرومتر با تجزیه مکانیکی مواد از طریق فرآیندهایی مانند سنگ شکنی و خردایش ایجاد می شوند [۲۶، ۲۷]. به عبارت دیگر بهترین تعریف متناسب با این پایان نامه تعریفی است که در کتاب "راهنمای کنترل گردوغبار در معدن و کارخانه فرآوری" آمده که گردوغبار به عنوان ذرات جامد کوچک که از تجزیه و شکست ذرات بزرگتر با خردایش و سایش به وجود می آید این ذرات کوچک توسط جریان های هوایی کشیده می شوند و بسته به اندازه آنها می توانند برای سلامت افراد خطرناک باشند. ذرات کوچکتر گردوغبار نیز می توانند ساعت ها در هوا معلق بمانند و در هنگام

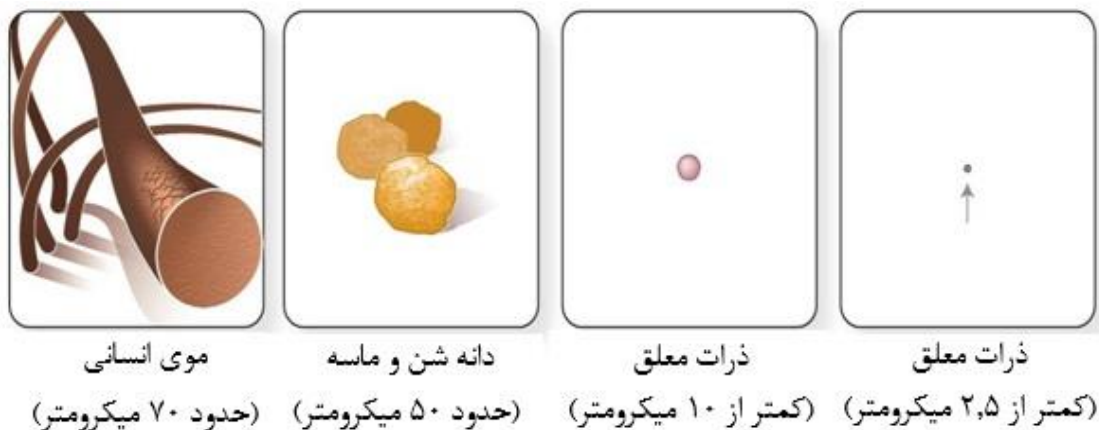
^۱ Dust

استنشاق، خطر بیشتری برای سیستم تنفسی داشته باشند [۷]. به‌طور کلی، هر چه قطر این ذرات گردوغبار در هوا کوچک‌تر باشد احتمال آن بیشتر است که بیشتر در دستگاه تنفسی ذخیره شود. ذرات معلق^۱، مجموع تمام ذرات جامد و مایع معلق در هوا هستند. این مخلوط پیچیده شامل ذرات آلی و غیر آلی مثل گردوغبار، گرده، دوده، دود و قطرات مایع است که در هوا پخش می‌شوند این ذرات در اندازه، ترکیب و منشأ متفاوت هستند و این مخلوط همچنین به‌عنوان آلودگی ذرات شناخته شود [۲۵].

۳-۲-۱- ویژگی‌های گردوغبار

گردوغبار عمدتاً بر اساس دو ویژگی طبقه‌بندی می‌شود: اندازه ذرات و ترکیب ذرات [۲۸].

اندازه ذرات: اندازه ذرات گردوغبار یک پارامتر بسیار مهم است زیرا بستگی به انرژی دارد که از آن‌ها پشتیبانی می‌کند. برای مثال، یک باد قوی، انفجار و آتش‌کاری سنگ، گردوغبار را در حالت تعلیق نگه می‌دارد و همچنین زمان سکون بیشتر یا کمتر به‌اندازه ذرات بستگی دارد. ذرات کوچک‌تر زمان توقف بیشتری در جو دارند و تمایل دارند که زمانی که انرژی بالا کاهش می‌یابد متوقف شوند. اندازه ذره به‌طور کلی به‌وسیله‌ی قطر مطابق شکل ۳-۱ ذره توضیح داده می‌شود.



شکل ۳-۱: مقایسه ابعاد ذرات ریز [۲۹].

با توجه به قطر، ذرات معلق به‌صورت زیر تقسیم کرد:

¹ Particulate Matter or PM

- ذرات معلق کل^۱: گردوغبار تولیدشده که در هوا معلق است. حداکثر اندازه به شرایط نمونه‌گیری و باد بستگی دارد و پذیرفته‌شده است که شامل ذرات کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرومتر است. منابع دیگر حداکثر اندازه مقادیر کوچک‌تر ۵۰ - ۷۵ میکرومتر است [۲۸].

- PM10: ذرات معلق کوچک گردوغبار قابل استنشاق که قطر برابر یا کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر است، به‌طور عمده توسط ترکیبات معدنی مانند سیلیکات و آلومینات تشکیل شده است این ذرات به‌عنوان معیاری از گردوغبار فراری استفاده می‌شود [۲۵].

- PM2.5: ذرات معلق با قطر کمتر از ۲,۵ میکرومتر، ذرات ریز یا نرمه نامیده می‌شود [۲۵].

ترکیب ذرات: تمایز بین خاستگاه یا منشأ ذرات که به‌صورت زیر تقسیم کرد:

- ذرات اولیه: این ذرات ریز توسط عمل باد مستقیماً از منبع انتشار وارد اتمسفر می‌شوند. همچنین ذرات اولیه، بخش معدنی از انتشار طبیعی خاک سرچشمه می‌گیرد. ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی این ذرات بسته به خصوصیات و ترکیب خاک از یک منطقه به منطقه دیگری متفاوت است. به‌طور کلی، آن‌ها عمدتاً از کلسیت، کوارتز، دولومیت، رس (به‌ویژه کائولینیت و ایلیت)، فلدسپات و مقادیر پایین سولفات کلسیم و اکسید آهن، تشکیل شده‌اند. فعالیت‌های معدن کاری از قبیل حفاری، انفجار و حمل‌ونقل، منبع اصلی این مواد است [۲۵].

- ذرات ثانویه: آن‌ها از انتشار مواد اولیه گازی خود منشأ می‌گیرند و نتیجه واکنش‌های شیمیایی در اتمسفر است. تبدیل گاز به یک‌ذره می‌تواند به‌طور مستقیم (جوانه‌زنی همگن) یا از طریق مداخله گاز و یا فازهای جامد و یا مایع (جوانه‌زنی ناهمگن) انجام شود. در بخش ثانویه، بیش‌تر ترکیبات مربوط به سولفات، نیترات و آئروسول‌ها هستند [۲۵].

^۱ Total Suspended Particulate or TSP

۳-۳- تأثیر انتشار ذرات حاصل از فعالیت‌های معدن

تأثیرات منفی گردوغبار عمدتاً با سلامت انسان و محیط‌زیست همراه است. با این حال، ایمنی و بهره‌وری نیز ممکن است تحت تأثیر غلظت بالای گردوغبار باشد. تأثیرات گردوغبار در بخش‌های بعدی به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است [۳۰].

۳-۳-۱- تأثیر گردوغبار روی محیط

انتشار گردوغبار از سایت‌های معدنی می‌تواند بر محیط‌زیست، کشاورزی و محیط‌زیست یک منطقه تأثیر بگذارد. علت اصلی انتشار گردوغبار در کارهای معدنی، باد است که گردوغبارها را از سطوح بالابند کرده، آن‌ها را پراکنده می‌کند و آن‌ها را از منبع دور می‌کند. شرایط آب و هوایی (به‌عنوان مثال الگوهای بارندگی، تلاطم جوی، تغییرات فصلی و غیره) و توپوگرافی نیز پارامترهای تعیین‌کننده فرآیند انتشار گردوغبار هستند [۳۱]. خواص مرتبط با مواد مانند رطوبت و نوع سنگ می‌تواند به میزان قابل توجهی بر میزان انتشار کنترل نشده تأثیر بگذارد [۳۲].

رسوب گردوغبار یکی از مهم‌ترین تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از انتشار ذرات از سایت‌های معدنی است. میزان رسوب به‌اندازه ذرات موجود در هوا مرتبط است. تحقیقات نشان داده است که ذرات بزرگ‌تر (> 30 میکرومتر) در ۱۰۰ متر، ذرات با اندازه متوسط (۱۰ تا ۳۰ میکرومتر) احتمالاً تا ۲۰۰ - ۵۰۰ متر در حالی که ذرات کوچک‌تر (< 10 میکرومتر) می‌توانند تا ۱ کیلومتر از منابع غبار رسوب می‌کنند. رسوب گردوغبار تا حد زیادی تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و خصوصیات توپوگرافی است [42]. تأثیر گردوغبارها بر کشاورزی و محیط‌زیست یک منطقه با غلظت ذرات گردوغبار در هوای محیط، توزیع اندازه آن‌ها، میزان رسوب و شیمی غبارها تعیین می‌شود این عوامل می‌توانند در شیمی خاک و سلامتی گیاهان اطراف، شرایط آب و هوایی و ریزگردهای محلی و همچنین میزان نفوذ گردوغبار به داخل پوشش گیاهی تأثیر بگذارند [۳۳]. جدا از پوشش گیاهی، رسوب گردوغبار می‌تواند بر جوامع حیوانات و مناطق جنگلی تأثیر بگذارد [۳۴].

۳-۳-۲- تأثیر گردوغبار در سلامت انسان

گردوغبار یکی از بزرگ‌ترین خطرات شغلی است و یکی از بزرگ‌ترین قاتلان شغلی در طول سال‌ها بوده است [۳۵]. قرار گرفتن در معرض هرگونه گردوغبار به مقدار زیاد می‌تواند مشکلات تنفسی ایجاد کند. گردوغبارهای مختلف ممکن است به طرق مختلف بدن را تحت تأثیر قرار داده و ممکن است از طریق تماس با پوست یا چشم و همچنین با استنشاق (بسته به خصوصیات جسمی و شیمیایی فرد گردوغبار) به بدن آسیب برساند [۳۶]. گردوغبار همچنین می‌تواند بسیاری از بیماری‌ها را ایجاد کند که رایج‌ترین آن‌ها در ارتباط با فعالیت‌های معدن و افراد به‌صورت زیر است [۳۵، ۳۷]:

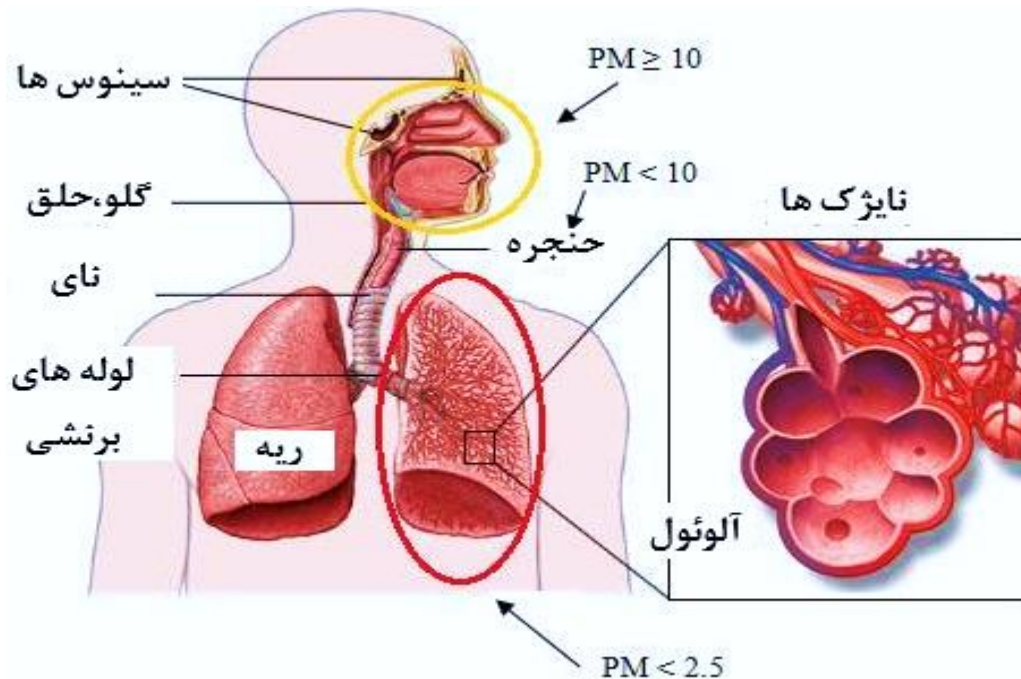
- آسیب ریه مانند پنوموکونیوز و به‌ویژه سیلیکوز، آزبستوز، CWP (پنوموکونیوزیس زغال‌سنگ) و همچنین سرطان [۳۸].
- آسیب به بینی، گلو و چشم.
- آسیب به پوست: گردوغبار ممکن است باعث ایجاد انواع درماتیت شود که یک مشکل گسترده و حتی جدی یا حتی سرطان پوست (به‌عنوان مثال سیمان) است.
- مسمومیت سیستماتیک و جذب پوست: اگر مواد محلول در آب حل شده توسط عرق و از طریق پوست به جریان خون منتقل شوند.
- تحریک و صدمات التهابی ریه. گردوغبارهای خاصی ممکن است باعث برونشیت مزمن شود که می‌تواند منجر به آمفیژم مزمن شود (به‌عنوان مثال ترکیبات کروم و منگنز)
- واکنش‌های آلرژیک مانند آسم شغلی یا در پوست مانند بثورات و فوران. (به‌عنوان مثال کبالت، پلاتین، کروم، نیکل و غیره)
- احتمال بروز عوارض در شش‌ها و ایجاد اختلال در اعمال تنفسی وجود دارد.

کنترل گردوغبار در معدن علی‌رغم اینکه در بیشتر فرآیندها وجود دارد تقریباً غیرقابل کنترل است و باعث ایجاد تعدادی از مشکلات می‌شود برای افراد در حوزه کاری و محیطی که در آن قرار دارند.

عواملی که اثرات گردوغبار بر سلامتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد شامل از اندازه ذرات گردوغبار، ترکیب ذرات گردوغبار، غلظت ذرات گردوغبار در هوا، مدت زمان قرار گرفتن در معرض ذرات گردوغبار (احتمالاً در سال) است.

بحث‌های قابل توجهی در مورد اهمیت نسبی این عوامل در رابطه با اثرات سلامتی وجود دارد. اثرات

گردوغبار بر سلامتی عموماً به ذرات معلق در هوا مربوط می‌شوند که با توجه به شکل ۲-۳ ذرات گردوغبار و ذرات معلق که قطرش کمتر از ۱۰ میکرومتر ($PM < 10$) به احتمال زیاد دارای بیشترین تأثیر بر سلامتی هستند زیرا ممکن است به عمق ریه‌ها و در نایژک و آلوئول‌ها وارد شود و برخی ممکن است حتی وارد جریان خون شوند [۳۹]. ذرات معلق که قطرش بیش‌تر از ۱۰ میکرومتر ($PM > 10$) معمولاً در بینی، دهان، گلو به دام می‌افتند و معمولاً از بدن بیرون رانده می‌شوند. به ذراتی که اندازه آن‌ها کمتر از ۱۰ میکرومتر ($PM < 10$) و بیش‌تر از ۲/۵ میکرومتر ($PM > 2.5$)، ذرات قابل استنشاق گفته می‌شود و این ذرات ممکن است در بخش‌های فوقانی ریه‌ها قرار گیرد و ذرات کم‌تر از ۲/۵ میکرومتر ($PM < 2.5$) در بخش‌های پایین‌تر ریه‌ها، از جمله آلوئول‌ها، ذخیره شود.



شکل ۲-۳: نفوذ ذرات در سیستم تنفسی [۲۵].

قرارگیری بیماری‌های مرتبط با گردوغبار به ترکیب و اندازه ذرات گردوغبار بستگی دارد. این اثرات را می‌توان به صورت اثرات تنفسی و اثرات عمومی طبقه‌بندی کرد [۲۸].

اثرات تنفسی:

- پنوموکونیوسیس: سیلیکوزیس، آزبستوسیس، پنوموکونیوسیس (معدنکاران زغال‌سنگ)، سیدروس، آلومینیوسیس، بریلیوسیس و غیره
- سرطان ریه: گردوغبار حاوی آرسنیک، کرومات، نیکل، آزبست، ذرات رادیواکتیو و غیره
- سرطان بینی: گردوغبار چوب در تولید مبلمان و صنایع پودر کفش.
- تحریک تنفسی: ترشحات، برونشیت، پنومونیت، آمفیزم و ادم ریوی.
- بیسینوسیس: بیماری ریه توسط گردوغبار از پنبه، کتان یا کنف.
- عفونت تنفسی: گردوغبار حاوی قارچ، ویروس یا باکتری است.

اثرات عمومی:

- مسمومیت: منگنز، سرب و یا کادمیم می‌تواند به صورت یک‌بار ذرات در معرض خون منتقل شود.
- ضایعات پوستی: سوزش پوستی و درماتوسیس (بریلیم، آرسنیک، اسید کرومیک، پلاستیک و غیره)
- کونژکتیویت (ورم ملتحمه): تماس با بعضی از گردوغبارها

۳-۳-۳- تأثیر گردوغبار بر ایمنی و بهره‌وری

گردوغبار می‌تواند ایمنی در محل کار را کاهش داده و منجر به کاهش دید در محل کار شود، بنابراین نباید این مقدار غلظت‌ها را دست‌کم گرفت [۴۰]. علاوه بر این، گردوغبارهای خاصی، به‌عنوان مثال از سنگ معادن ذغال سنگ و سولفید می‌توانند باعث انفجار شوند [۳۵]. انفجار یک گردوغبار به پنج پارامتر اصلی بستگی دارد.

این پنج عامل، سه تا از آن‌ها که شامل احتراق، اکسیژن و سوخت (گردوغبار قابل اشتعال) هستند، اغلب در مثلث‌های انفجار نشان داده می‌شود، نشان می‌دهد همه آن‌ها برای شروع انفجار مورد نیاز هستند [۴۱]. گردوغبار ذرات توسط اکسیژن موجود در هوا احاطه شده‌اند که برای مواد قابل اشتعال در دسترس است. انفجار زمانی اتفاق می‌افتد که ذرات گردوغبار به اندازه کافی در معرض اکسیژن قرار بگیرند و به اندازه کافی نزدیک باشند تا احتراق ذرات اطراف را حفظ کنند [۴۱، ۴۲]. خطر قابلیت اشتعال گردوغبار با اندازه ذرات افزایش می‌یابد. ذرات گردوغبار بین ۲۰۰ میکرومتر و ۵۰۰ میکرومتر انفجاری در نظر گرفته می‌شوند، درحالی‌که گردوغبار اندازه ذرات زیر ۳۰ میکرون بسیار انفجاری در نظر گرفته می‌شود [۴۱]. کم‌ترین غلظت گردوغبار برای وقوع یک انفجار مورد نیاز است که برای انواع مختلف مواد متفاوت است. معمولاً چند دهم گرم در مترمکعب برای ایجاد انفجار کافی است. بنابراین پیشگیری و کنترل کافی از انفجار گردوغبار در عمل، مبتنی بر درک عمیق پدیده‌های جسمی و شیمیایی درگیر است [۴۲، ۴۳]. همچنین گردوغبار می‌تواند بهره‌وری را به حداقل برساند و باعث آسیب به ماشین‌آلات شود به‌عنوان مثال، گردوغبار حاوی غلظت زیادی از سیلیس می‌تواند ساینده باشد و منجر به سایش تجهیزات و ماشین‌آلات معدن شود [۴۴]. همچنین باعث مشکلات دیگر می‌شود که عبارت‌اند از:

- کاهش عمر مفید تجهیزات و ماشین‌آلات.
- افزایش تعمیرات و نگهداری وسایل نقلیه.

- کاهش دید راننده‌ها در جاده.
- مشکل در برنامه‌ریزی تولید معدن با توجه به افزایش مدت‌زمان حمل مواد معدنی
- خطر خوردگی تجهیزات.
- احتمال وقوع تصادف کامیون‌های حمل مواد معدنی.

۳-۴- منابع تولید گردوغبار

دامنه وسیعی از فعالیت‌های معدنی ممکن است گردوغبار ایجاد کند، از جمله:

- عملیات حفاری و آتشیاری^۱
 - عملیات خردایش و تجهیزات سرند کردن^۲
 - بارگیری و تخلیه مواد در محل و انتقال به خارج از سایت^۳
 - جاده‌های که برای حمل مواد معدنی از پیت به محل سنگ‌شکن‌ها^۴
- با توجه به ترکیب و سطح سمیت و اندازه ذرات گردوغبار منتشر شده ارتباط مستقیمی با منبع انتشار وجود دارد به این معنی که ذرات معلق را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد [۴۵].
- دسته اول: این گردوغبار از خاک‌های معدنی است و این نوع گردوغبار، گردوغبار معدنی نامیده می‌شود که از عملیات معدنی مانند خرد کردن یا خرد شدن سنگ‌های معدنی ناشی می‌شود و فعالیت‌هایی مانند حفاری، انفجار، حمل و انتقال، خردایش از منابع انتشار است و ترکیب آن بستگی به ویژگی‌های سنگ استخراجی دارد. آن‌ها معمولاً ذرات معلق درشت را تشکیل می‌دهند که PM10 نامیده می‌شود [۲۵].

^۱ Drilling and blasting

^۲ Crushing and screening

^۳ Loading and unloading

^۴ Haulage roads

- دسته دوم: منابع این گردوغبار در جاده‌های معدنی قرار دارند که تحت تأثیر چرخ‌های وسایل نقلیه با تناژ بالا و عمل باد است این گردوغبار به‌طور عمده در تولید PM10 و همچنین ذرات معلق درشت گردوغبار سهیم هستند یکی از اجزای اصلی این گردوغبار سیلیس است، به دلیل فراوانی آن بر روی زمین و دیگر اجزای خاک رس، مانند کائولینیت و فلدسپار بیش از حد معمول، با توجه به اندازه آن‌ها که ریز است این گردوغبار یکی از اجزای گردوغبار فرار است [۲۵].
 - دسته سوم: این نوع گردوغبار که خاکسترها^۱ نامیده می‌شود از فرآیندهای پیرو متالورژی و فرآیندهای احتراق در معادن است این‌ها از منابع اصلی PM2.5 در فعالیتهای معدن است. اجزای شیمیایی موجود در این گروه تغییر می‌کنند و ممکن است میزان سمیت بالایی داشته باشد. همچنین برخی از اجزای این گروه عبارت‌اند از: سولفات، شبه‌فلز (آرسنیک و آنتیموان)، اسیدها و ترکیبات آلی فرار هستند سپس بسیاری از این اجزا می‌توانند در واکنش‌های شیمیایی با محیط‌زیست شرکت کنند و آلاینده‌های جدیدی به نام گونه‌های ثانویه تولید کنند [۲۵].
- منابع اصلی آلاینده‌ها می‌توانند بر اساس نوع منبع به دودسته ثابت و فرار طبقه‌بندی شود. منابع ثابت مرتبط با فرآیندهای صنعتی مانند کارخانه‌های ذوب مس که یک منبع مهم برای ذرات معلق PM2.5 و دیگر آلاینده‌ها مانند NO_x و SO₂ است. منابع فرار بیش از یک منبع و یا از منابع مختلف تولید می‌شوند و عمدتاً از مواد انباشته‌شده یا دپو شده، جاده‌های خاکی و اساس و زیراساس تولید می‌شود و میزان انتشار آن‌ها به‌شدت به پارامترهای هواشناسی مانند سرعت باد، رطوبت و بارندگی وابسته است [۲۵]. حرکت ماشین‌آلات سنگین در جاده‌های معدنی گردوغبار ایجاد می‌کند و در بیش‌تر موارد این گردوغبار از نوع گردوغبار فرار هستند زیرا از منابع متعددی حاصل و به‌راحتی مشخص نمی‌شوند از کدویم منبع بوده است.

^۱ Ashes

از جمله منابع ذکر شده انتشار گردوغبار در معدن، آنهایی که حجم کلی بیشتری گردوغبار تولید می کنند، فعالیت های حمل و نقل هستند این به این دلیل است که حمل و نقل به صورت مداوم در طول عمر معدن انجام می شود و با توجه به این موضوع در ادامه به روش های کنترل گردوغبار در جاده های حمل و نقل پرداخته می شود [۲۵].

۳-۵- گردوغبار جاده های حمل و نقل^۱

حرکت کامیون ها با ظرفیت بالا در جاده های معادن عموماً یکی از اقداماتی که ثابت کرده است در شرایط زیست محیطی چالش برانگیز است. این پدیده خطر سلامت اپراتورها (بیماری سیلیکوسیس^۲)، دید اپراتورهای معدن و تجهیزات حمل و نقل را در معرض خطر قرار می دهد؛ و همچنین عملکرد و کارایی عملیات تخلیه و حمل و نقل کاهش می یابد [۷]. در معادن روباز به طور گسترده از کامیون های بزرگ و سنگین برای حمل و نقل مواد معدنی در جاده ها استفاده می کنند. هدف اصلی در این فصل کنترل گردوغبار جاده است زیرا مسئله مهمی در معادن سطحی و روباز است. جاده ها و جاده های دسترسی به طور گسترده در عملیات معدنی توسط ماشین آلات معدنی برای انتقال مواد از داخل به خارج معدن (پیت) استفاده می شود. مشاهدات ناشی از انتشار گردوغبار از کامیون ها حمل و نقل در شکل ۳-۳ و شکل ۳-۴ نشان می دهد که اگر انتشار گردوغبار کنترل نشود باعث کاهش دید راننده کامیون های حمل مواد معدنی و احتمال وقوع تصادف کامیون های حمل مواد معدنی را افزایش می دهد [۷].

^۱ Dust haulage roads

^۲ Silicosis

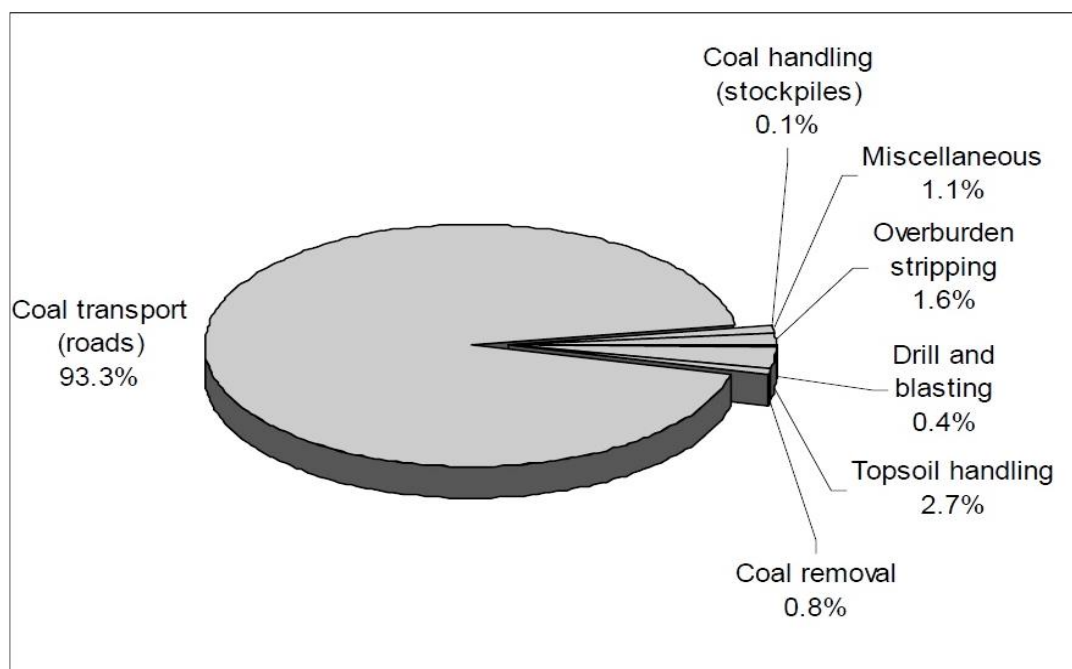


شکل ۳-۳: انتشار گردوغبار از کامیون‌ها حمل‌ونقل [۷].



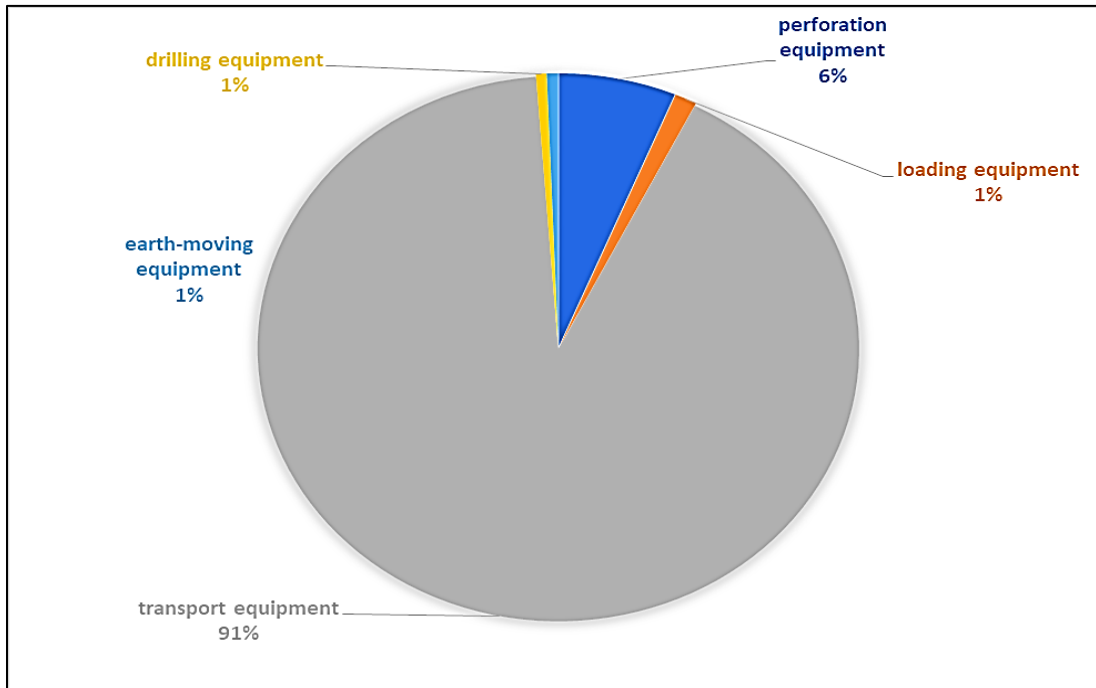
شکل ۳-۴: انتشار گردوغبار از کامیون‌ها حمل‌ونقل [۱].

نتایج تحقیق انجام شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده^۱ در جاده های معادن روباز نشان می دهد که کامیون های حمل و نقل بیشترین میزان گردوغبار را در معادن روباز تولید می کنند و تقریباً ۷۸ تا ۹۷ درصد انتشار ذرات گردوغبار ناشی از کامیون های حمل مواد معدنی بوده است که اندازه این ذرات کمتر از ۱۰ میکرومتر است [۱۰،۷]. همچنین نتایج تحقیق انجام شده توسط آقای تامسون و ویسر در سال ۲۰۰۱ در معادن روباز ذغال در آفریقا جنوبی در شکل ۳-۵ نشان می دهد که ۹۳/۳٪ کل انتشار گردوغبار در جاده های معدنی ناشی از کامیون های حمل مواد معدنی بوده است [۴]. همچنین با توجه به داده های بدست آمده توسط محققین میزان گردوغبار تولید شده توسط هر تجهیزات در معادن روباز (به همراه گردوغبار آتشیاری) به صورت شکل ۳-۶ است. می توان مشاهده کرد که گردوغبار جاده به میزان ۹۱ درصد جایگاه اول منبع گردوغبار معدن روباز را اشغال کرده است [۱۵].



شکل ۳-۵: درصد میزان گردوغبار در معادن زغال [۴].

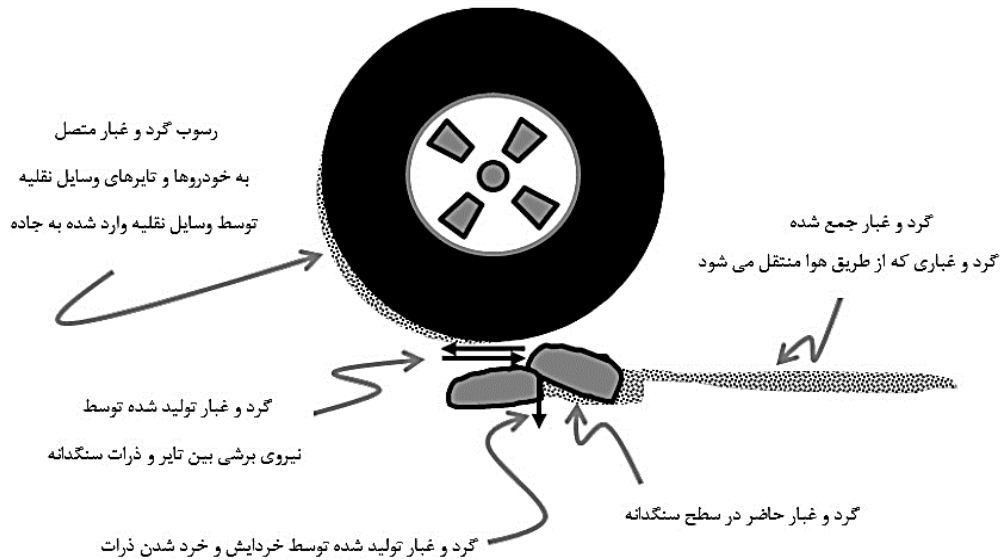
^۱ United States Environmental Protection Agency or EPA



شکل ۳-۶: میزان گردوغبار تولیدشده توسط هر تجهیزات در معادن روباز [۱۵].

۳-۵-۱- مکانیسم تولید گردوغبار در جاده‌های خاکی و معدنی

تولید گردوغبار از جاده‌های خاکی می‌تواند از منابع متعدد باشد. از بین رفتن مکانیکی سطح جاده های خاکی منجر به تولید گردوغبار می‌شود و همچنین هنگامی که وسایل نقلیه (ماشین‌آلات) از سطح جاده عبور می‌کنند، نیروی برشی ایجادشده در فصل مشترک بین تایر وسیله نقلیه و سنگ‌دانه‌ها باعث ایجاد گردوغبار می‌شود. وزن وسیله نقلیه همچنین منجر به خرد شدن ذرات مانند آسیاب وقتی که تایرها روی سنگ‌دانه‌ها قرار می‌گیرند می‌شود. تکرار این خردایش ذرات را تجزیه و باعث تولید گردوغبار می‌شود و همچنین ذرات ریز خاک در اندازه گردوغبار بروی سطح جاده‌های خاکی قرار می‌گیرند. گردوغبار هوابرد (گردوغباری که از طریق هوا منتقل می‌شود) از منابع دیگر مانند مزارع کشاورزی یا جاده‌ای خاکی دیگر و غیره می‌توانند روی جاده قرار گیرند. در نهایت، رسوب گردوغبار متصل به خودروها و تایرهای وسایل نقلیه توسط وسایل نقلیه واردشده به جاده، منبع محتمل دیگری از گردوغبار است. شکل ۳-۷ هر یک از این فرآیندها را نشان می‌دهد. گردوغبار موجود در جاده از این منابع مختلف برای تبدیل شدن به گردوغبار فرار و گردوغبار هوابرد در دسترس است [۱۸].



شکل ۳-۷: منابع گردوغبار در جاده‌های خاکی و معدنی [۱۸].

۳-۵-۲- گردوغبار فرار^۱

زمانی که گردوغبار ایجادشده از سطح جاده در حال انتقال به هوا است، گردوغبار فرار در نظر گرفته می‌شود. تعریف فنی گردوغبار فرار، گردوغباری که بیش از یک منبع به اتمسفر وارد شود. سه مکانیسم در ارتباط با حرکت وسیله نقلیه وجود دارد که ذرات را از سطح به گردوغبار فرار تبدیل ممکن می‌کند: برش مکانیکی، تنش برشی ایجادشده توسط آشفستگی، جهش [۱۸].

برش مکانیکی به‌سادگی باعث ورود گردوغبار و راندن گردوغبار به هوا می‌شود این عمل هنگامی که وسایل نقلیه (ماشین‌آلات) از سطح جاده عبور می‌کنند نیروی برشی ایجادشده در فصل مشترک بین تایر وسیله نقلیه و سنگ‌دانه‌ها باعث ایجاد گردوغبار می‌شود. جالب است توجه داشته باشید که تعداد لاستیک‌ها و سیله نقلیه تأثیر بسیار کمی بر میزان گردوغبار تولید شده از وسیله نقلیه دارد [۴۶]. در عوض گیلیز و همکارانش متوجه شدند که سرعت، وزن و سیله نقلیه تأثیر بیشتری بر تولید گردوغبار دارند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که دو مکانیسم دیگر آشفستگی و جهش ممکن است تأثیر بیشتری بر روی مقدار گردوغبار تولیدشده توسط وسیله نقلیه در حال حرکت داشته است.

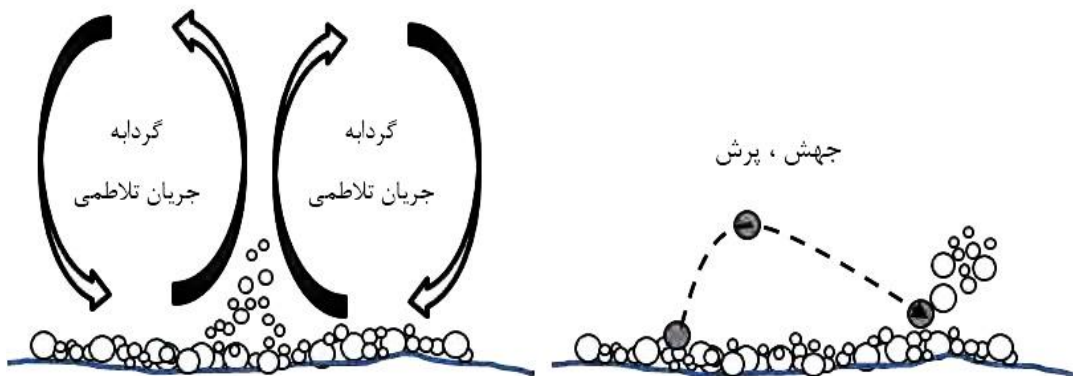
^۱ Fugitive Dust

آشفتگی ایجادشده توسط جابجایی هوا در اطراف و بالا یک وسیله نقلیه در حال حرکت، نیروهای برشی ایجاد می‌کند که می‌توانند ذرات را از سطح زمین جدا کند، وقتی که ذرات رها شده، جریان‌های آشفته و گرداب‌های آشفته، ذرات را از سطح زمین مطابق شکل ۳-۹ جدا می‌کنند. با عبور هوا از روی یک وسیله نقلیه در حال حرکت هوا به سمت بالا روی وسیله نقلیه حرکت می‌کند، چراکه فشار بین بالای وسیله نقلیه و هوا در بالا گرفته می‌شود. در پشت وسیله نقلیه فضا برای گسترش هوا وجود دارد، باین حال هوا نمی‌تواند به سرعت این فضا را پر کند؛ بنابراین جریان از سطح بالای خودرو جدا می‌شود و یک ناحیه کم‌فشار مستقیماً در پشت وسیله نقلیه و به همراه آن گرداب (جریان چرخشی) ایجاد می‌شود. این گرداب گردوغبار را از نزدیک سطح جاده که توسط برش مکانیکی و آشفتگی ایجادشده را در زیر وسیله نقلیه ایجاد می‌کند.

گرداب‌های آشفته به بیرون راندن و جدا کردن ذرات از سطح ادامه خواهند داد و ذرات در فاصله پشت وسیله نقلیه معلق نگه می‌دارند. و سایل نقلیه بزرگ‌تر بیش‌ترین میزان آشفتگی را ایجاد می‌کنند که موجب گردوغبار نسبتاً زیاد می‌شود علاوه بر این، سرعت و وسیله نقلیه تأثیر زیادی بر مقدار گردوغبار تولیدشده دارد به خاطر اینکه شدت افزایش آشفتگی تولیدشده با سرعت رابطه مستقیمی دارد [۴۶،۴۷].

آخرین مکانیزم ای که گردوغبار فرار ایجاد می‌کند ناشی از بمباران ذرات دیگر از سطح زمین مطابق شکل ۳-۸ است که این فرآیند به نام جهش است سپس این ذرات توسط گرداب‌های آشفته و جریان چرخشی از روی سطح بلند می‌شوند.

بالا آمدن ذرات توسط جریان آشفته



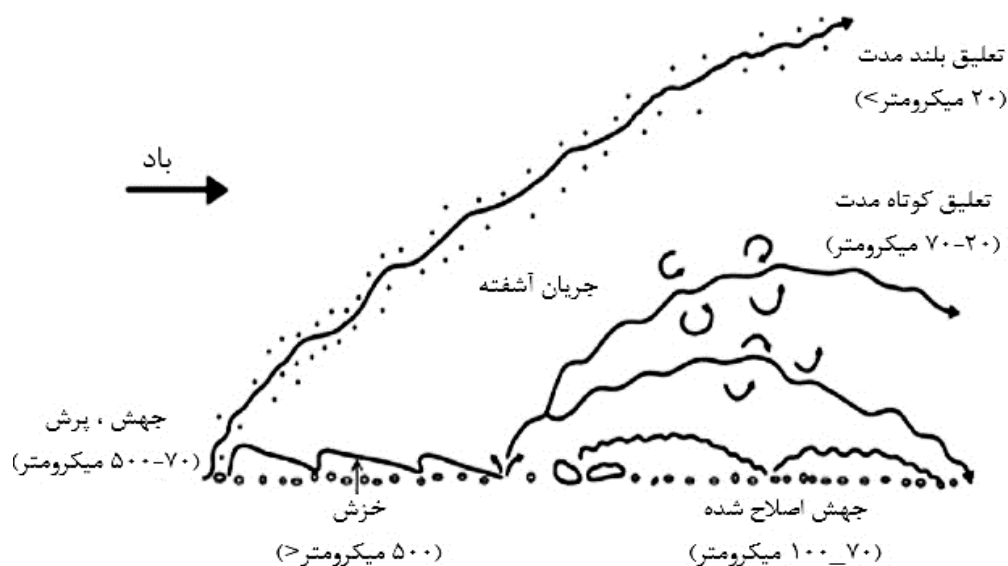
شکل ۳-۸: مکانیسم‌های بالا آمدن ذرات از روی سطح زمین [۴۸].



شکل ۳-۹: ایجاد گردوغبار فراری [۱۸].

برای معلق شدن و به هوا بردن یک ذره از سطح لازم است که نیروی کششی آئرودینامیک (کشش) مربوط به مبحث حرکت گازها و هوا (قادر به غلبه بر نیروی جاذبه و نیروهای چسبندگی بین ذره موجود در خاک باشد [۴۹]. به طور خاص، به دلیل حمل و نقل وسایل نقلیه در جاده‌های خاکی، تولید گردوغبار را می‌توان با استفاده از دو عامل توضیح داد: برش مکانیکی توسط وسیله نقلیه ایجاد می‌شود و سرعت باد یا آشفته‌گی در منطقه مجاور ایجاد می‌شود [۵۰]. هنگامی که یک وسیله نقلیه در امتداد یک جاده خاکی حرکت می‌کند، از بین تمام نیروها وابسته به حرکت، نیروی برشی مکانیکی ایجاد شده توسط وسیله نقلیه اجزای جاده را درهم می‌شکند و تجزیه می‌کند.

سپس بسیاری از خرده سنگ‌ها تکه‌تکه می‌شوند، اندازه آن‌ها را کاهش داده و به راحتی در هوا پخش می‌شوند. لغزش و اصطکاک بین چرخ‌ها و جاده‌ها موجب نیروهای برشی بر روی سطح می‌شود که تعلیق بهترین بخش مواد سطحی را افزایش می‌دهد. در نهایت، ذرات در نتیجه نیروی گریز از مرکز تولید شده توسط چرخ خارج می‌شوند [۵۱]. سرعت و سیله نقلیه به سرعت ذرات هنگامی که از زمین خارج می‌شوند، کمک می‌کند [۵۲]. برای جاده‌های معدنی، انتشار ذرات در اثر متقابل هوا با ذرات (سرعت باد) در ترکیب با حرکت چرخ‌های کامیون (اثر برش مکانیکی) رخ می‌دهد. آشفته‌گی درست پشت و کنار کامیون‌ها، محرک اصلی ذرات معلق هستند [۵۰، ۵۱]. انتقال ذرات خاک توسط باد می‌تواند تحت رژیم‌های مختلف باشد که به اندازه ذره و سرعت باد بستگی دارد مطابق شکل ۳-۱۰ است [۵۳]. در مورد ذرات کوچک‌تر (۲۰ میکرومتر) نیروهای بین ذره بیشتر از نیروهای آئرونامیک هستند. به همین دلیل، این ذرات با حرکتی سریع (موسوم به جهش یا پرش) در هوا پخش می‌شوند که اجازه تعلیق کوچک‌ترین ذرات معلق یا افزایش گردوغبار هنگام بازگشت به سطح جاده را می‌دهد. وقتی ذرات ریز به حالت تعلیق درمی‌آیند، در معرض نوسانات هوای آشفته قرار می‌گیرند.



شکل ۳-۱۰: نمودار حالت‌های مختلف حمل و نقل ذرات خاک به خاطر باد [۵۳].

در نظر گرفتن جاده‌های معدنی به‌عنوان یک دارایی از معدن ضروری است چون آن‌ها رابطه مستقیمی با بهره‌وری دارند. برای جاده‌ها با شرایط بهتر چرخه بارگیری - تخلیه زمان کمتری نیاز دارد و بنابراین هزینه کم‌تر در هر تن حمل می‌شود. مزایای دیگر داشتن جاده‌های معدنی با شرایط و کیفیت بهتر عبارت‌اند از:

- انتشار پایین مواد ریز باعث تخریب کم‌تر اساس جاده می‌شود و عمر جاده طولانی‌تر و منابع کمتری در حفظ اساس جاده موردنیاز است.
- آلودگی کم‌تر امکان دید بیشتر رانندگان، شرایط رانندگی ایمن‌تر را فراهم می‌آورد.
- مصرف سوخت کم‌تر، فرسودگی کمتر لاستیک و تایر کامیون‌ها و وسایل نقلیه را فراهم می‌آورد.

۳-۶- فاکتور انتشار^۱

فاکتور انتشار (EF) نشان‌دهنده مقدار آلودگی وارد شده به اتمسفر است. این عامل به‌عنوان وزن آلودگی تقسیم‌بر یک واحد وزن، حجم، فاصله و یا مدت‌زمان فعالیت انتشار آلودگی بیان می‌شود. برای جاده‌های خاکی انتشار ذرات معلق کل (TSP)، PM10، PM2.5 را می‌توان از طریق فاکتور انتشار (EF) طبق معادله ۳-۱ تخمین زد [۵۴].

$$EF = K \times \left(\frac{S}{12}\right)^a \times \left(\frac{W}{2.72}\right)^b \times \left(\frac{365-p}{365}\right) \times \left(\frac{100-c}{100}\right) \left(\frac{kg}{km}\right) \quad \text{معادله ۳-۱}$$

S = درصد سیلیت در سطح

W = وزن ماشین‌آلات برحسب تن

P = روزهای بارندگی در سال که بزرگ‌تر از ۲۵ میلی‌متر

C = درصد بازده کنترل

^۱ Emission Factor

ثابت های k ، a ، b برای ذرات معلق کل (TSP)، PM_{10} و $PM_{2.5}$ متفاوت هستند. برای PM_{10} ثابت های $k=0/42$ ، $a=0/9$ ، $b=0/45$ است [55]. از طرف دیگر پارامترهای S و P دارای مقدار پیش فرض هستند برای زمانی که هیچ اطلاعاتی در مورد آن وجود ندارد آن ها به ترتیب $8/3$ و $10/5$ هستند [54].

۳-۷- بازده کنترل^۱

بازده کنترل، غلظت گردوغبار جاده تحت کنترل با غلظت گردوغبار جاده کنترل نشده را می سنجد. به وسیله آن می توان عملکرد کنترل کننده گردوغبار را مورد بررسی قرار داد که به صورت معادله ۳-۲ است [۷].

$$CE = 1 - \left(\frac{T}{U} \right) \times 100 \% \quad \text{معادله ۳-۲}$$

CE = درصد بازده کنترل %

T = غلظت گردوغبار جاده تحت کنترل (mg/m^3)

U = غلظت گردوغبار جاده کنترل نشده (mg/m^3)

به طور کلی، هر چه بازده کنترل برای یک عامل کنترل گرد و غبار بیشتر باشد، عملکرد آن بهتر است که منجر به کاهش انتشار گردوغبار از سطح جاده می شود [4]. بازده کنترل همچنین به عنوان یک سنجش برای اینکه عملکرد کنترل کننده های گردوغبار را بسنجد.

^۱ Control Efficiency

۳-۸- روش‌های کنترل گردوغبار جاده‌ها

به‌طور کلی روش کنترل گردوغبار جاده را می‌توان به سه روش تقسیم کرد. روش اول ساخت جاده مناسب و نگهداری است. روش دوم تثبیت مکانیکی خاک شامل مخلوط کردن مواد بستر از مخلوط‌های شن و ماسه با مقادیر کافی رس است روش سوم استفاده از کنترل‌کننده‌های گردوغبار است [۵۶]. اولین گام برای جلوگیری از انتشار گردوغبار در جاده‌های معدن، توجه به طراحی و ساخت جاده است. اگرچه ساخت جاده مناسب هزینه‌های اولیه بالایی دارد اما سایر هزینه‌ها مانند هزینه تعمیر و نگهداری جاده را کاهش می‌دهد. باعث افزایش عمر لاستیک ماشین‌آلات و همچنین کمک به کنترل گردوغبار در جاده می‌کند از این رو پیشنهاد شده است مواد انتخاب شده برای ساخت جاده باید دارای ویژگی‌های فیزیکی مانند مقاومت در برابر سایش به‌طوری که تحت بار ترافیکی به راحتی تجزیه نشود به‌طور کلی مطلوب‌ترین مواد شامل گرانیات یا سنگ‌آهک است. مواد نرم و سست مثل شیل، زغال سنگ، میکا باید اجتناب کرد چراکه استفاده از چنین موادی مقاومت و دوام جاده را کاهش خواهد داد همچنین مواد توانایی تحمل شرایط آب و هوایی داشته باشد یک ماده در صورتی مورد قبول که در برابر هوازدهی مقاومت کند، مواد ضعیف برای ساخت جاده توصیه نمی‌شود چون بسیار جاذب، هنگام اشباع متورم می‌شوند و یا در معرض شکست از طریق فرآیندهای طبیعی هوازدهی قرار می‌گیرد و به‌طور کلی، استفاده از مواد با اندازه‌های بزرگ‌تر از ۱ اینچ برای سطح جاده مطلوب نیست، همچنین شکل مواد هم بر پایداری و چگالی و دوام سطح جاده تأثیر می‌گذارد. مواد زاویه‌ای و ناهموار باعث ایجاد همبستگی خوب و ایجاد یک سطح جاده مطلوب می‌شوند [۷].

علاوه بر این، مواد باید دانه‌بندی "خوب دانه‌بندی شده" داشته باشد، جاده علاوه بر دارا بودن خواص مواد مناسب باید اساس و زیراساس و سطح پوشش مناسب داشته باشد که در این پایان‌نامه توضیح داده نشده و در ادامه به روش‌های کنترل گردوغبار در جاده‌های معدنی پرداخته شده است [۷].

۳-۸-۱- کنترل کننده‌های گردوغبار^۱

کنترل کننده‌های گردوغبار مواد شیمیایی و یا مواد اعمال شده به یک سطح برای جلوگیری از انتشار گردوغبار که در بسیاری از مکان‌ها برای حذف ذرات معلق از کنترل کننده‌های گردوغبار و یا تثبیت کننده‌های شیمیایی خاک استفاده می‌شود. به‌طور کلی، کنترل کننده‌ها درجاده‌های معدنی به‌منظور کاهش گرد و غبار معلق به چندین روش بکار گرفته می‌شوند [۵۷]. برخی از رایج‌ترین کنترل کننده‌های استفاده‌شده درجاده‌های معدنی در این پایان‌نامه به کار گرفته شد.

۳-۸-۲- تثبیت خاک

تثبیت خاک به اصلاح و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی و مهندسی یک خاک برای تأمین یک‌رشته اهداف از پیش تعیین‌شده اطلاق می‌شود. تثبیت خاک یکی از راه‌کارهای مناسب برای بهره‌برداری و اجرای سریع‌تر پروژه‌های عمرانی است. تثبیت خاک مانند هر تصمیم دیگر مهندسی بایستی پس از بررسی راه‌حل‌های مختلف که از نظر فنی و اقتصادی قابل قبول است انجام شود [۵۸].

برخی از خاک‌ها به علت دارا بودن ویژگی‌های فنی نامطلوب و یا دارا بودن مقادیر قابل توجهی رس یا لای برای برخی از پروژه‌ها مناسب نبوده و نامرغوب محسوب می‌شوند. این‌گونه خاک‌ها به دلیل حساسیت و ناپایداری در برابر رطوبت، مقاومت کم و تراکم‌پذیری مشکلات فراوانی را از نظر فنی و اقتصادی ایجاد می‌کنند. هرگاه به علتی امکان تغییر مکان پروژه و تعویض خاک نباشد و یا اینکه هزینه تعویض خاک مقرون‌به‌صرفه نباشد باید روش اصلاح و بهبود خاک مورد بررسی قرار گیرد. مهم‌ترین اهداف تثبیت خاک عبارت‌اند از [۵۹]:

- اصلاح خاک‌های نرم و کم مقاومت.
- کاهش گردوغبار.
- افزایش مقاومت باربری خاک.

¹ dust suppressors or dust Palliatives

- جلوگیری از فرسایش خاک.
 - کاهش ضخامت لایه‌های روسازی.
 - ایجاد لایه‌های اساس و زیراساس باقابلیت باربری بیشتر.
- تثبیت خاک‌ها به طرق گوناگون نظیر روش مکانیکی، روش شیمیایی، روش بیولوژیک (رویاندن گیاه)، روش فیزیکی و روش الکتریکی امکان‌پذیر است. انتخاب هر روش تثبیت برای خاک‌ها بستگی به نوع، جنس خاک و همچنین هدف از تثبیت خاک دارد.

۳-۸-۲-۱- روش مکانیکی

متراکم کردن خاک‌ها به روش مکانیکی یکی از متداول‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های تثبیت برای خاک‌ها است. تثبیت خاک به روش مکانیکی به طرق مختلف انجام می‌شود. نحوه متراکم کردن خاک‌ها بستگی به نوع، جنس و دانه‌بندی آن‌ها دارد که می‌تواند به طریق استاتیکی، ضربه‌ای و یا ارتعاشی انجام شود. صرف‌نظر از نحوه تراکم خاک، متراکم کردن خاک باعث کاهش فضای خالی توده خاک شده که منجر به افزایش وزن واحد حجم خشک آن می‌شود. در برخی از خاک‌ها افزایش وزن واحد حجم باعث افزایش مقاومت و پایداری آن‌ها نمی‌شود، لیکن تجربه نشان داده است که در اکثر خاک‌های درشت‌دانه که حاوی مقدار کافی خاک‌ریز دانه هستند با افزایش وزن واحد حجم، مقاومت و پایداری آن‌ها نیز افزایش می‌یابد [۶۰]. علاوه بر آن، متراکم کردن خاک‌ها باعث کاهش نفوذپذیری آن‌ها نیز می‌شود. لازم به ذکر است که برای برخی از خاک‌های ریزدانه چسبنده ممکن است که تثبیت مکانیکی به تنهایی مؤثر نباشد در این موارد برای آنکه تثبیت مکانیکی نتیجه بهتری داشته باشد بهتر آن است که این‌گونه خاک‌ها را با یک یا چند نمونه خاک درشت‌دانه مخلوط و متراکم نمود و یا اینکه تثبیت شیمیایی خاک موردبررسی قرار گیرد [۶۰، ۶۱].

در مورد برخی از خاک‌های درشت‌دانه که متراکم کردن آن‌ها دشوار است ممکن است لازم باشد که با جدا کردن بخشی از اجزاء خاک و یا اختلاط آن با مصالح دیگر تثبیت مکانیکی خاک مؤثر واقع شود. میزان تراکم و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک‌ها بستگی به عواملی مختلف

از جمله رطوبت آن‌ها دارد. هر اندازه انرژی تراکم به کاررفته برای کوبیدن خاکی بیشتر باشد حداکثر وزن مخصوص خشک آن نیز بیشتر خواهد شد، لیکن در مورد درصد رطوبت بهینه عکس این مطلب صادق است. برای تعیین میزان تراکم خاک‌ها به روش مکانیکی باید وزن واحد حجم خشک آن‌ها بعد از کوبیده شدن اندازه‌گیری و با حداکثر وزن مخصوص خشک آزمایشگاهی همان خاک‌ها مقایسه شود [۶۰].

۳-۸-۲-۲- روش شیمیائی

در این روش، تثبیت خاک‌ها با افزودن ماده و یا مواد شیمیائی که باعث واکنش شیمیائی با خاک می‌شوند انجام می‌شود. آهک و سیمان از جمله موادی هستند که با بروز فعل و انفعالات شیمیائی اثرات مهمی بر روی ویژگی‌های فنی خاک‌ها می‌گذارند. اضافه کردن مواد تثبیت‌کننده نظیر سیمان و آهک به خاک‌های ریزدانه موجب بروز چندین واکنش نظیر واکنش تبادل یون‌های مثبت، واکنش تجمع و واکنش پوزولانی می‌شود که این واکنش یک نوع واکنش اسید-باز است که طی آن کلسیم هیدروکسید و سیلیسیک‌اسید با یکدیگر واکنش داده و تولید کلسیم سیلیکات هیدرات می‌دهد. تعیین نوع و درصد ماده تثبیت‌کننده شیمیائی بستگی به رده خاک و هدف از تثبیت دارد. بنابراین برای انتخاب نوع و مقدار ماده تثبیت‌کننده ابتدا باید نوع خاک شناسایی شود و سپس هدف از تثبیت با توجه به کاربرد خاک مشخص گردد [۶۰، ۶۱].

گوگرد، کلرور کلسیم، سدیم یا منیزیم، سیلیکات سدیم، خاکستر زغال سنگ و سرباره کوره‌های آهن‌گدازی نیز از انواع دیگر تثبیت‌کننده‌های شیمیائی هستند که به تنهایی و یا در ترکیب با آهک و سیمان برای اصلاح و بهبود ویژگی‌های خاک‌ها کاربرد دارند. کوره‌ها معمولاً برای تثبیت رویه‌های شنی در مناطقی که رطوبت نسبی هوا بیش از ۴۰ درصد است کاربرد دارند [۶۲].

این مواد با جذب رطوبت هوا و افزایش رطوبت ریزدانه‌های خاک باعث می‌شوند که چسبندگی این‌گونه خاک‌ها افزایش یافته و در هنگام عبور و مرور وسایل نقلیه اولاً از پراکنده شدن ریزدانه‌ها

در هوا که منجر به تغییر در دانه بندی مصالح می شود جلوگیری به عمل آید ثانیاً از ایجاد گردوغبار که موجب کاهش دید رانندگان وسایل نقلیه و همچنین آلودگی محیط زیست می شود جلوگیری شود. لازم به ذکر است که کلرور کلسیم نسبت به آب بسیار حساس است و در هنگام بارندگی در آب باران حل و به تدریج به درون روسازی های خاکی و شنی نفوذ می کند. در صورتی که غلظت کلرور کلسیم حل شده در آب باران و نفوذ به درون جسم روسازی کافی باشد این عمل باعث می شود که از مقدار تورم خاک در اثر یخبندان کاسته شود [۶۲].

۳-۸-۲-۳- روش بیولوژیک

این روش بیش تر شامل روپاندن گیاه به منظور تثبیت و مقاوم کردن خاک در شیب ها برای جلوگیری از لغزش خاک و یا جلوگیری از فرسایش و شسته شدن خاک در برابر جریان آب های سطحی، بارندگی و سیلاب ها انجام می شود [۵۹].

۳-۸-۲-۴- روش فیزیکی

تثبیت خاک ها با این روش بیشتر به منظور افزایش مقاومت و دوام خاک ها انجام می شود. قیر یکی از قدیمی ترین موادی است که به شکل های مختلف برای این منظور استفاده می شود. در حال حاضر قیر به صورت خالص، محلول و یا امولسیون برای تثبیت خاک ها و لایه های روسازی مورد استفاده قرار می گیرد. مکانیسم تثبیت خاک به روش فیزیکی با مکانیسم تثبیت خاک به روش شیمیائی کاملاً متفاوت است. در تثبیت خاک به روش شیمیائی افزایش مقاومت خاک در اثر فعل و انفعالات شیمیائی موسوم به فعل و انفعالات پوزولانی به وقوع می پیوندد، در صورتی که تثبیت کننده های قیر دانه های خاک را اندود و یک غشاء غیر قابل نفوذ در برابر آب ایجاد می کنند. افزایش مقاومت خاک به علت اندود شدن دانه های خاک با قیر و چسبیدن آن ها به یکدیگر است. از این سو هر اندازه که مخلوط خاک و قیر متراکم تر شود استقامت و باربری آن نیز بیشتر خواهد شد [۵۹، ۶۱].

۳-۸-۲-۵- روش الکتریکی

در این روش تثبیت خاک‌های ریزدانه و اشباع، به‌ویژه خاک‌های رسی اشباع‌شده با کاهش رطوبت آن‌ها از طریق ارسال جریان الکتریکی در خاک انجام می‌شود. ارسال جریان الکتریکی در خاک باعث افزایش سرعت زهکشی و در نتیجه کاهش سریع رطوبت خاک می‌شود. برای این منظور ابتدا لازم است که تعدادی چاه در منطقه‌ای که کاهش رطوبت خاک آن مورد نظر است حفر گردد و سپس با فرو راندن میلگردهای فولادی و یا آلومینیومی به قطر ۱۵ تا ۲۵ میلی‌متر در خاک و ارسال جریان الکتریکی از طریق آن‌ها سرعت زهکشی خاک افزایش داده شود [۶۳، ۶۴].

۳-۹- روش‌های دیگر کنترل گردوغبار

علاوه بر استفاده از کنترل‌کننده‌های گردوغبار روش‌های دیگری هم برای کنترل گردوغبار وجود دارد که به‌صورت زیر است.

۳-۹-۱- کنترل سرعت^۱

کاهش سرعت کامیون‌های حمل‌ونقل در جاده‌های معدنی می‌تواند یک روش مؤثر برای کنترل گردوغبار باشد. با این حال، این روش با به حداکثر رساندن تولید در تضاد است [۷]. کامیون‌های حمل‌ونقل برای کار با سرعت بهینه طراحی شده‌اند، کاهش سرعت کامیون‌ها باعث کاهش سرعت تولید معدن شود که ممکن است مطلوب نباشد. با این وجود، کاهش سرعت کامیون‌های حمل‌ونقل نشان داد که این کاهش سرعت از ۲۵ مایل بر ساعت به ۱۰ مایل بر ساعت باعث کاهش ۵۸ درصدی ذرات گردوغبار کمتر از ۱۰ میکرومتر می‌شود و همچنین در صورت کاهش سرعت از ۲۵ مایل بر ساعت به ۱۵ مایل بر ساعت باعث کاهش ۴۲ درصدی ذرات گردوغبار کمتر از ۱۰ میکرومتر می‌شود [۶۵]. در یک مطالعه دیگر، محدود کردن سرعت کامیون‌های حمل‌ونقل در جاده‌های خاکی با سرعت ۲۵ مایل در ساعت نشان‌دهنده بازدهی کنترل ۴۴ درصدی بوده است [۶۶].

^۱ Speed Control

۳-۹-۲- کنترل ترافیک^۱

در بسیاری از سایت‌های (پیت‌های) معدنی علاوه بر وسایل نقلیه و ماشین‌های دیگر، کامیون‌های حمل‌ونقل هم وجود دارد که بر روی جاده قرار دارند. این کامیون‌ها اغلب می‌توانند به صورت گروهی از ۲ کامیون یا بیشتر در یک‌زمان ظاهر شوند. کامیون‌هایی که در جاده‌های خاکی حرکت می‌کنند، حفظ فاصله زمانی بین کامیون‌ها با فاصله زمانی ۲۰ ثانیه نشان می‌دهد که راننده کامیون در معرض کاهش گردوغبار بالای ۵۲ درصدی است [۱۲]. علاوه بر این، فاصله زمانی ۲۰ ثانیه‌ای اجازه می‌دهد گردوغبار ایجادشده از کامیون که می‌تواند قابلیت دید راننده را مختل کند از بین برود. همچنین می‌تواند احتمال تصادف ناشی از دید کم و گردوغبار ناشی از کامیون را کاهش دهد.

۳-۹-۳- پوشاندن بار^۲

پوشاندن بار یک کامیون حمل‌ونقل با استفاده از برزنت می‌تواند از مواد منتقل‌شده به هوا در طول حمل‌ونقل جلوگیری کند. این روش معمولاً برای کامیون‌های حمل‌ونقل جاده‌ای معدن مورد استفاده قرار نمی‌گیرد؛ زیرا سرعت کامیون‌های بار به‌ندرت از سرعت‌های بالا تجاوز می‌کند که در آن پیوستگی مواد صرف‌نظر از اثرات باد در محیط رخ می‌دهد [۷].

۳-۹-۴- تعمیر و نگهداری اتاقک^۳

نگهداری تجهیزات اتاقک در شرایط عملیاتی خوب، میزان قرار گرفتن اپراتور در معرض گردوغبار قابل استنشاق کاهش می‌دهد. ثابت‌شده است اتاقک به‌درستی نگهداری شده، می‌تواند باعث کاهش گردوغبار ۹۰ درصد یا بیشتر برای دستگاه حفار و بین ۴۴ تا ۱۰۰ درصد برای بولدوزرها شود. برای اتاقک کامیون‌های حمل‌ونقل که با یک سیستم تهویه مطبوع فیلتراسیون به‌منظور تولید فشار مثبت در اتاقک، مجهز شد نشان داد که اتاقک درست نگهداری شده می‌تواند گردوغبار قابل استنشاق را ۵۹ تا ۸۴ درصد کاهش دهد [۶۷].

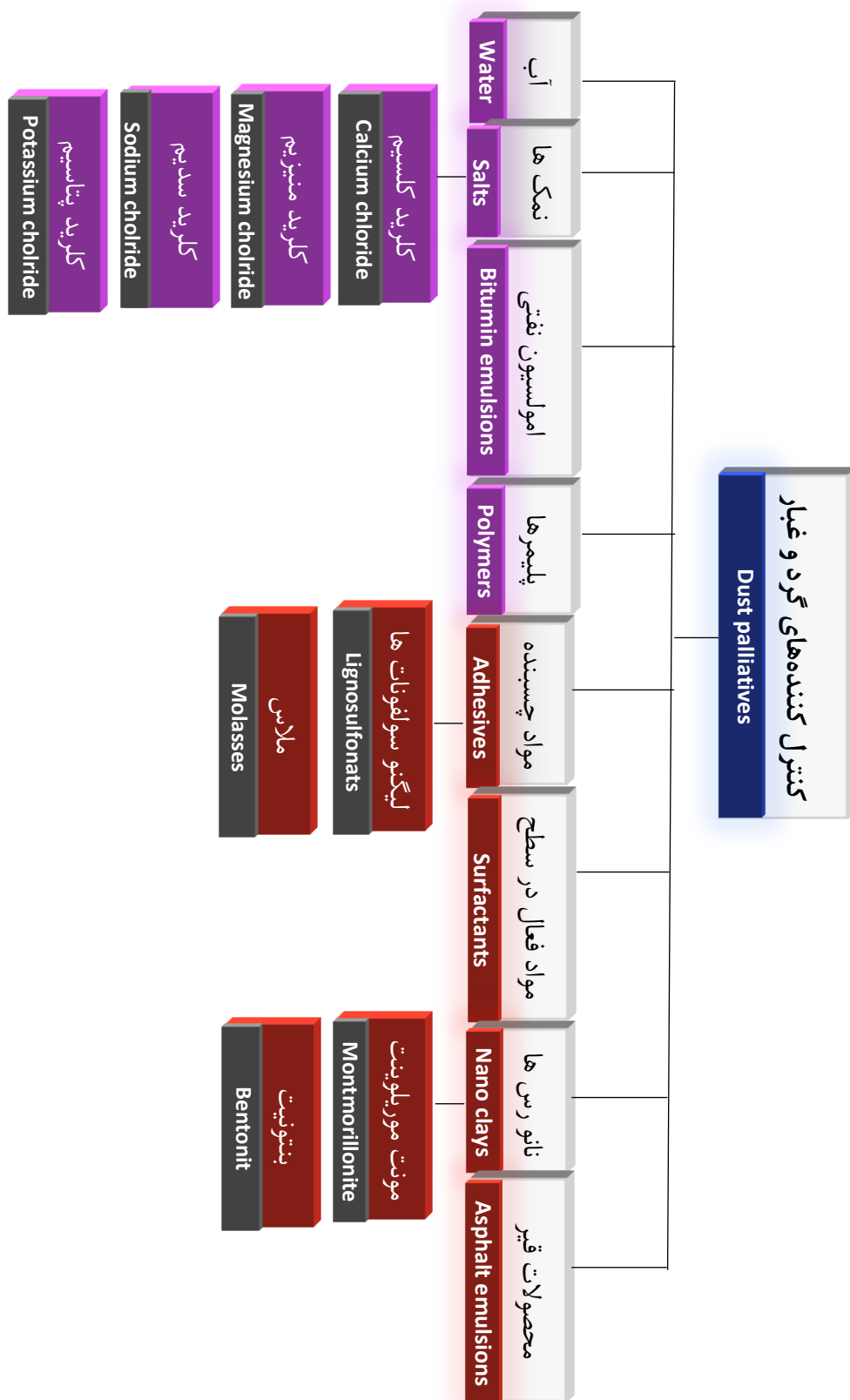
^۱ Traffic Control

^۲ Load Covers

^۳ Cab Maintenance

۳-۱۰- طبقه‌بندی کنترل‌کننده‌های گردوغبار

طبقه‌بندی‌های گسترده‌ای از کنترل‌کننده‌های گردوغبار مطابق شکل ۳-۱۱ ذکر شده است [۶۸،۶۹].



شکل ۳-۱۱: کنترل‌کننده‌های گردوغبار

۳-۱۰-۱- آب

آب به عنوان عامل اصلی احاطه کردن ذرات و ایجاد یک ماتریس در اسکلت خاک عمل می کند. حضور آب بین منافذ خاک باعث چسبندگی ذرات می شود. از سوی دیگر، آب را می توان به عنوان یک محلول برای کنترل کننده های گردوغبار مانند نمک ها استفاده کرد. در حال حاضر، راه حل مکرر و مستقیم، در مورد جاده های معدنی، آبپاشی جاده توسط کامیون های آب بوده است. با این حال، استفاده از آب در شرایط سخت مناطق خشک و خشک کوهستانی یک راه حل پرهزینه و بی اثر است و همچنین با کارایی بالاتر از ۴۰٪ و نرخ تبخیر نزدیک به ۳۰ دقیقه، استفاده روزانه آن به معنای صرف بیش از حد آب و یک راه حل جزئی است [۷]. آبپاشی جاده رایج ترین روش برای کنترل گردوغبار جاده است. این روش مکانیسم ساده ای دارد و ساده ترین روش برای کنترل گردوغبار است، مکانیسم کار آن به این صورت است که با استفاده از یک کامیون، آب را بر روی جاده های آبپاشی می کند. کامیون های که برای اعمال آب به جاده های حمل و نقل استفاده می شود، شامل یک مخزن، یک پمپ و لوله های برای ارسال آب از طریق نازل ها که در عقب کامیون واقع شده اند، می باشند. ظرفیت مخزن می تواند تا ۳۰۰۰۰ گالن بسته به اندازه کامیون، با ظرفیت های بزرگ تر مورد استفاده قرار گیرد [۷]. یکی از معایب آبپاشی این است که باید به صورت منظم و پیوسته آبپاشی انجام شود. نتایج چندین آزمایش انجام شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده از آبپاشی جاده گزارش داده است؛ که استفاده از آب با نرخ ۰/۱۳ گالن بر یارد مربع، بازدهی کنترل ۹۵ درصد برای کل ذرات معلق برای ۰/۵ ساعت پس از به کارگیری کاربرد داشت. آزمایش دیگری نشان داد که استفاده از آب با نرخ ۰/۴۶ گالن بر یارد مربع، بازدهی کنترل ۷۴ درصد برای کل ذرات معلق برای ۳-۴ ساعت پس از به کارگیری کاربرد داشت [۷۰]. بازده کنترل برای آب می تواند بسیار متغیر باشد زیرا به شدت وابسته به ترافیک و شرایط آب و هوایی است. برای مثال یک مطالعه انجام شده برای آبپاشی جاده با استفاده از کامیون های آبپاشی برای یک ساعت، بازده کنترل ۴۰ درصد برای کل ذرات معلق را نشان می دهد، هنگامی که

آبیاری به هر ساعت نیم ساعت افزایش می‌یابد، بازده کنترل برای کل ذرات معلق به ۵۵ درصد افزایش می‌یابد [۷۱].

۳-۱۰-۲- نمک‌ها

محلول‌های نمکی معمولاً با آب مخلوط شده و برای کنترل گردوغبار جاده استفاده می‌شود؛ که این محلول‌ها شامل کلرید کلسیم، کلرید منیزیم، کلرید سدیم، کلرید پتاسیم که رایج‌ترین آن‌ها کلرید کلسیم و کلرید منیزیم است.

۳-۱۰-۲-۱- کلرید کلسیم

کلسیم کلرید^۱ یک ترکیب شیمیایی با فرمول $CaCl_2 \cdot xH_2O$ است. نام‌های دیگر این ترکیب کلسیم کلرور و دی کلرید کلسیم است. این ماده متشکل از کلسیم و کلر است و غالباً با دو مولکول آب همراه است. این ترکیب به شدت رطوبت را جذب می‌کند و به عنوان نم‌گیر شناخته می‌شود. کلسیم کلراید بدون آب^۲ دارای جرم مولکولی $110/98 \text{ g/mol}$ است. کلرید کلسیم یک ماده بلورین سفید رنگ است. شکل ظاهری آن به صورت دانه دانه، کلوخه یا پرک می‌باشد. کلرید کلسیم دارای حلالیت نسبتاً زیادی در آب است. میزان حلالیت این ماده در آب با افزایش دما به شدت افزایش می‌یابد و در صنعت نیز کاربردهایی دارد از جمله کاربردهای آن می‌توان به ذوب برف و یخ معابر و جاده‌ها در زمستان، کنترل گردوغبار جاده‌های خاکی و تثبیت خاک مناطق کویری اشاره کرد کلرید کلسیم مستقیماً از سنگ آهک به دست می‌آید. کلرید کلسیم مستقیماً از سنگ آهک و شورابها و همچنین از واکنش کلسیم کربنات با هیدروکلریک اسید، به دست می‌آید اما مقادیر زیاد آن محصول جانبی فرآیند سوولوی بدست می‌آید؛ و دارای و خواص فیزیکی و شیمیایی به صورت جدول ۳-۱ است [۷۲].

^۱ Calcium Chloride

^۲ anhydrous

جدول ۳-۱: خواص فیزیکی و شیمیایی کلسیم کلرید [۷۶-۷۳].

فرمول شیمیایی	CaCl ₂
شکل	دانه‌دانه، کلوخه یا پرک
جرم مولکولی	۱۱۰/۹۹ g/mol
چگالی	۲/۱۵ g/cm ³
دمای جوش	۱۹۳۵°C
انحلال‌پذیری در آب در دمای ۰°C	۳۷۱gm/l
PH	۴/۵-۸/۵

کلرید کلسیم جامد دارای عملکرد جذب آب بسیار بالا است. در رطوبت نسبی ۹۵٪، کلسیم جامد می‌تواند ۱۶/۶ برابر وزن آب را جذب کند. حتی در یک محیط نسبتاً کم رطوبت ۳۰٪، می‌تواند تقریباً به‌اندازه وزن خود آب جذب کند [۷۷]. کلسیم کلرید بسیار انحلال‌پذیر است و می‌تواند به‌راحتی در آب حل شود، بنابراین می‌تواند به‌راحتی توسط باران شسته شود. برای برخی رطوبت و دما، فشار بخار کلرید کلسیم پایین‌تر از آب است و کلرید کلسیم دارای کشش سطحی بالاتر و نقطه‌ی انجماد پایین‌تر نسبت به آب است [۷۸]. کلرید کلسیم به‌عنوان یک کنترل‌کننده گردوغبار مورد استفاده قرار گرفته است، اما به دلیل توانایی آن در تغییر مواد، مانند مقاومت، تراکم‌پذیری و نفوذپذیری، به‌عنوان یک تثبیت‌کننده نیز استفاده می‌شود اساساً، کارکرد این ماده شیمیایی، جذب ذره‌های ریز و اتصال آن‌ها به یکدیگر است [۷۸]. کلرید کلسیم شایع‌ترین نمک‌ها و خواص مشابه با کلرید منیزیم دارد و همچنین در اکثر معادن برای کنترل گردوغبار موجود در جاده از کلرید کلسیم استفاده می‌شود. کلرید کلسیم رطوبت‌گیر و جاذب رطوبت است، به این معنی که رطوبت را از اتمسفر جذب می‌کند تا جاده را در شرایط مرطوب نگه دارد. در آب‌وهوای بسیار خشک، برای نگهداری جاده‌ها در سطوح قابل قبول، ممکن است نیاز به بکارگیری دوره‌ای از آب باشد [۷۹]. با بکارگیری کلرید کلسیم برای کنترل گردوغبار تولیدشده توسط ماشین‌آلات، دو هفته پس از اعمال اولیه، بازده کنترل به میزان ۸۲ درصد و

در طی زمان هفت هفته پس از کاربرد به ۱۴ درصد کاهش یافت. این کاهش با توجه به حجم ترافیک و بارش، به فرسایش سطح جاده نسبت داده شده که در آن کلریدها محلول در آب هستند و می‌توانند شسته شود [۸۰].

۳-۱۰-۲-۲- کلرید منیزیم

کلرید منیزیم^۱ یک ترکیب شیمیایی با فرمول $MgCl_2 \cdot xH_2O$ است. نام‌های دیگر این ماده منیزیم کلرید و کلرور منیزیم است. این نمک به دو صورت خشک با جرم مولکولی $95/21 \text{ g/mol}$ و آبدار با شش مولکول آب تبلور به جرم مولکولی $203/31 \text{ g/mol}$ است. کلرید منیزیم یکی از رایج‌ترین نمک‌ها برای کنترل گردوغبار است. با توجه به اینکه کلرید منیزیم بسیار جاذب رطوبت است، به این ترتیب که با پاشیدن کلرید منیزیم بر روی خاک، این ماده رطوبت هوا را به شدت جذب کرده و سبب چسبیدن ذرات خاک به یکدیگر و تثبیت آن‌ها می‌شود. کلرید منیزیم یکی از مواد مورد استفاده برای کنترل گردوغبار، تثبیت خاک و کاهش فرسایش بادی است. جذب آب کلرید منیزیم بدین شکل است که این ماده شروع به جذب آب از هوای با رطوبت نسبی ۳۲٪ می‌کند و تقریباً مستقل از درجه حرارت است. خواص فیزیکی و شیمیایی آن به صورت جدول ۲-۳ است.

جدول ۲-۳: خواص فیزیکی و شیمیایی منیزیم کلرید [۷۶-۷۳].

$MgCl_2$	فرمول شیمیایی
جامد	شکل
$95/21 \text{ g/mol}$	جرم مولکولی
$2/32 \text{ g/cm}^3$	چگالی
$1412 \text{ }^\circ\text{C}$	دمای جوش
543 gm/l	انحلال پذیری در آب در دما 0°C
727 gm/l	انحلال پذیری در آب در دما 100°C
۷-۹	PH

^۱ Magnesium Chloride

کلرید منیزیم برای کنترل گردوغبار و رطوبت در جاده‌ها و کاهش پراکندگی ذرات از سطوح جاده و جلوگیری از یخ زدن جاده استفاده می‌شود [۸۱، ۸۲]. در اکثر معادن برای کنترل گردوغبار موجود در جاده از کلرید منیزیم استفاده می‌شود. کلرید منیزیم رطوبت‌گیر و جاذب رطوبت است، به این معنی که رطوبت را از اتم‌سفر جذب می‌کند تا جاده را در شرایط مرطوب نگه دارد. پس از بکارگیری کلرید منیزیم برای کنترل گردوغبار تولید شده توسط کامیون، عملکرد بازده کنترل منیزیم کلرید تا ۲۲ روز پس از بکارگیری، به‌طور متوسط ۹۵ درصد نشان داده شد [۸۰].

۳-۱۰-۲-۳- کلرید سدیم

کلرید سدیم^۱ همان نمک طعام با فرمول شیمیایی NaCl است، یک ترکیب یونی است که از نسبت‌های معادل سدیم و کلر تشکیل شده است. سدیم کلرید ترکیب اصلی تشکیل‌دهنده نمک طعام است و بخش اعظم شوری آب اقیانوس‌ها نیز به دلیل این ترکیب است. این ماده سفیدرنگ در صنعت نیز کاربردهایی دارد. یکی از مصارف سدیم کلرید در زمستان، برای جلوگیری از یخ‌زدگی در جاده‌ها است و همچنین در کاهش گردوغبار بسیار مؤثر است. سدیم کلرید جاذب رطوبت است و رطوبت را هنگامی که رطوبت نسبی بالاتر از ۷۹٪ است جذب می‌کند. نمک طعام از طریق فرآیند سنگ نمک تولید می‌شود. سنگ نمک از طریق فرآیندهای سنتی استخراج از معدنها به دست می‌آید؛ و احتمالاً رایج‌ترین محصول مورد استفاده می‌باشد. این سنگ نمک که بطور طبیعی به دست می‌آید یک سنگ نمک معدنی بوده و ممکن است به مقدار کمی دارای ناخالصی‌هایی مانند سنگ گچ، سنگ رس (شیل)، دولومیت و کوارتز باشد. همچنین کلرید سدیم از واکنش بین گاز کلر و سدیم مذاب و واکنش هیدروکسید با اسید هیدروکلریک به دست می‌آید. خواص فیزیکی و شیمیایی کلرید سدیم به‌صورت جدول ۳-۳ است.

^۱ Sodium chloride

جدول ۳-۳: خواص فیزیکی و شیمیایی سدیم کلرید [۷۶-۷۳].

<i>NaCl</i>	فرمول شیمیایی
جامد	شکل
۵۸/۴۴ g/mol	جرم مولکولی
۲/۱۷ g/cm ³	چگالی
۱۴۱۳°C	دمای جوش
۳۵۷ gm/l	انحلال پذیری در آب در دما 0°C
۳۹۱ gm/l	انحلال پذیری در آب در دما 100°C
۵-۹	PH

۳-۱۰-۲-۴- کلرید پتاسیم

کلرید پتاسیم^۱ با فرمول شیمیایی KCL یک نمک هالید فلزی تشکیل شده از پتاسیم و کلرید که در آب حل می شود. کلرید پتاسیم در صنعت نیز کاربردهایی دارد. کلرید پتاسیم برای تولید گل حفاری و به عنوان کود در صنایع کشاورزی به دلیل اینکه نسبت به دیگر کودهای پتاسیم دار ارزان تر و منبع غنی برای تغذیه گیاه است. خواص فیزیکی و شیمیایی پتاسیم کلرید به صورت جدول ۳-۴ است.

جدول ۳-۴: خواص فیزیکی و شیمیایی پتاسیم کلرید [۷۶-۷۳].

<i>kcl</i>	فرمول شیمیایی
جامد	شکل
۹۵/۲۱ g/mol	جرم مولکولی
۲/۳۲ g/cm ³	چگالی
بالای ۱۵۰۰°C	دمای جوش
۳۴۴ gm/l	انحلال پذیری در آب در دما 0°C
۵۶۷ gm/l	انحلال پذیری در آب در دما 100°C
۵-۸	PH

^۱ Potassium cholride

۳-۱۰-۳- امولسیون‌های نفتی (نفت امولسیون شده یا سولفونات شده)

رزین‌های نفتی یک محصول جانبی از صنعت پالایش نفت می‌باشند و به‌طور کلی محصولات مهندسی یا تولیدات روغن‌های روانکاری هستند. آن‌ها به‌طور کلی شامل امولسیون‌های پایدار از باقی‌مانده‌های نفتی، عصاره‌های حلال هستند. اگر سطح جاده در شرایط خوب باشد، کاربرد آن نسبتاً ساده است. بعضی از محصولات نیاز به مراحل تیغ‌زنی به عمق ۱ اینچ، استفاده از رزین و فشرده‌سازی سطح جاده‌ها دارند؛ اما دیگر محصولات می‌توان با استفاده مستقیم از رزین به سطح جاده بدون هیچ شرایطی اعمال کرد. اکثر رزین‌های نفتی نیاز به یک دوره زمانی ۲۴ ساعته دارند که می‌تواند سطح جاده را بهبود ببخشند؛ بنابراین، مهم است که جاده را از ترافیک برای مدت‌زمان ۲۴ ساعته دورنگه داریم [۷].

اعمال و استفاده رزین‌های نفتی برای کنترل گردوغبار در جاده‌های دسترسی به‌طور قابل‌توجهی باعث کاهش گردوغبار می‌شود با گزارش‌های که از جاده‌های دسترسی به مدت ۶ ماه تا ۱ سال نگهداری گردید. گزارش‌شده است که جاده‌های حمل‌ونقل به مدت ۳ تا ۴ هفته از گردوغبار دور هستند [۷].

برای امولسیون‌های نفتی، بازده کنترل بسیار متغیر ثبت شده است. برای گردوغبار تولید شده توسط کامیون در عملیات شن و ماسه، بازده کنترل می‌تواند تا ۷۰ درصد برای مشتقات نفتی تا ۲۱ روز پس از به‌کارگیری باشد. آزمایش‌های دیگر نشان می‌دهد که بازده کنترل از ۴ تا ۳۸ درصد طی یک دوره ۴ هفته‌ای پس از اعمال در چندین معدن روباز زغال سنگ نشان داده شده است. [90] سایر تفاوت‌ها در تغییرات بازده کنترل می‌تواند به دلیل نوع استفاده از امولسیون نفت، روش کاربرد، نوع ترافیک وسایل نقلیه و روش اندازه‌گیری باشد. مزیت اصلی استفاده از امولسیون‌های نفت این است که آن‌ها خورنده و محلول در آب نیستند؛ بنابراین، باران آن‌ها را از بین نمی‌برد و تبخیر نمی‌شوند. آن‌ها نسبتاً غیر سمی و غیرقابل اشتعال هستند و اثرات نامطلوبی بر رشد گیاهان ندارند. [4] معایب اش این است که امولسیون‌های نفت باید ۲۴ ساعت پس از بکار بردن بهبود یابد؛ بنابراین، ترافیک باید در طول این مدت نباشد. درنهایت، دمای نگهداری محصولات امولسیونی قبل از کاربرد باید کنترل شود زیرا آن‌ها نمی‌توانند شرایط انجماد و جوش را تحمل کنند [۷].

۳-۱۰-۴- پلیمرها

پلیمرها وزن مولکولی بسیار بالای دارند که از واحدهای تکرارشونده تشکیل می‌شوند و به دو صورت آلی^۱، غیر آلی^۲ هستند. از دیدگاه نحوه‌ی به وجود آمدن ممکن است به دودسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. برحسب خواص و رفتار در برابر حرارت و خواص مکانیکی به سه گروه اصلی گرما نرم‌ها (تروموپلاستیک‌ها)، گرماسخت‌ها (ترموست‌ها) و الاستومرها تقسیم می‌شوند. پلیمرهای مصنوعی که در آن مونومرها از طریق واکنش‌های پلیمریزاسیون بدست می‌آید با فرمول‌های مختلف در دسترس هستند و به‌طور گسترده‌ای برای تثبیت استفاده می‌شود و اخیراً برای سرکوب گردوغبار استفاده می‌شود. امولسیون پلیمر پلی وینیل استات و پلی وینیل کلرید به‌طور گسترده‌ای برای تشکیل لایه‌های نازک در رنگ‌های ضد آب برای سقف و دیوار استفاده می‌شود، آن‌ها هیچ شکنندگی، شسته شدن و تخریب UV را ندارند و دارای خواص چسبناک خوب هستند و باعث می‌شود که از امولسیون‌های پلیمری به‌عنوان کنترل‌کننده گردوغبار در جاده‌ها استفاده شوند [۸۳]. پلیمرها عبارت‌اند از اکریلیک^۳ و وینیل^۴ که مواد افزودنی شیمیایی هستند که با آب مخلوط و تشکیل یک محلول رقیق شده می‌دهند و سپس به سطح جاده به‌صورت موضعی اعمال می‌شود. کاربرد آن بستگی به نام تجاری پلیمر مورد استفاده دارد، اما معمولاً یک روش ساده برای آماده‌سازی سطح جاده قبل از استفاده است، سپس محلول را به‌طور موضعی بر روی سطح جاده آبپاشی می‌کنند [۷]. اگرچه بسیاری از پلیمرها بانام تجاری مختلف در کنترل گردوغبار جاده استفاده می‌شود، اما فقط چند مطالعه بازدهی کنترل خود را ثبت کرده‌اند. یک تحقیق در مورد جاده‌های معدنکاری گزارش داده‌شده که یک پلیمر مشخصی در طی ۴ هفته از زمان استفاده آن راندمان کنترل ۷۴ تا ۸۱ درصد کاهش می‌یابد و پس از ۵ هفته استفاده از آن، به ۳ تا ۱۴ درصد کاهش می‌یابد [۸۰]. تغییر در بازده کنترل ناشی از بارندگی است که برای مکان‌های مختلف متفاوت است. مطالعه دیگری که بر روی یک جاده خاکی عمومی صورت گرفت که بازده کنترل ۹۴ تا

^۱ organic

^۲ inorganic

^۳ acrylic

^۴ vinyl

۱۰۰ درصد در عرض یک هفته استفاده از همان پلیمر نشان داده شد اما در حدود ۱۱ ماه بعد بازده کنترل به ۳۷ تا ۶۵ درصد رسید [۸۴]. مزیت استفاده از پلیمرها این است که آن‌ها به‌طور کلی خورنده و سمی نیستند به‌عنوان یک عامل کنترل گردوغبار، آن‌ها عموماً عمر طولانی‌تری دارند، اگرچه نشان داده‌شده است که بارش می‌تواند در طول عمر آن‌ها تأثیر بگذارد؛ و همچنین روش‌های بکارگیری می‌تواند بر اساس محصول متفاوت باشد روش ساده آن به‌صورت آبپاشی محلول بر روی سطح جاده است و روش‌های پیچیده نیاز به آماده‌سازی اولیه جاده‌ها و صاف کردن سطح جاده در طول استفاده از محلول پلیمر دارد. علاوه بر این، پلیمرها می‌توانند برای تثبیت خاک استفاده شوند [۷]. تثبیت خاک با پلیمر از سال ۱۹۸۰ به بعد، به دلیل اجرای آسان و سرعت اجرا، از اهمیت بیشتری نسبت به مواد تثبیت‌کننده قدیمی برخوردار شد با توجه به ویژگی‌های مختلف این مواد شیمیایی، آن‌ها با اهداف و اشکال مختلف برای افزایش ظرفیت نگهداری خاک و نیز کنترل فرسایش بادی و آبی مورد استفاده قرار گرفتند [۸۷-۸۵].

چندین محقق از انواع مختلف پلیمر برای تثبیت انواع مختلف خاک استفاده کرده‌اند. مشکل پلیمر برای تثبیت انواع مختلف خاک این است که آن‌ها با نام تجاری فروخته می‌شوند و اغلب تولیدکنندگان ترکیب شیمیایی پلیمر را فاش نمی‌کنند؛ و این توصیف عملکرد پلیمر را دشوار می‌سازد [۹۱-۸۸].

۳-۱۰-۵- مواد چسبنده

چسبنده‌ها ترکیبات، محلول‌ها، فرمول‌ها و غیره هستند؛ که با سطح خاک مخلوط می‌شوند تا یک سطح جدید در جاده ایجاد شود. این چسبنده‌ها شامل ملاس^۱ و لیگنین سولفونات^۲ است.

۳-۱۰-۵-۱- لیگنین سولفونات

لیگنوسولفونات با نام شیمیایی لیگنین سولفونات یک پلیمر طبیعی که از ماده لیگنین به دست می‌آید.

^۱ molasses

^۲ lignin sulfonate

لیگنین سولفونات یکی از رایج‌ترین چسبنده‌ها برای کنترل گردوغبار است و اساساً یک ماده پسماند از صنعت کاغذ است هنگامی که خرده‌های چوب در محلول سولفونات قرار می‌گیرند، لیگنین خرده‌های چوب را جذب می‌کند و محلول لیگنین سولفونات تولید می‌شود که برای کنترل گردوغبار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷۹]. لیگنین سولفونات دارای فرمول شیمیایی $C_{20}H_{26}O_{10}S_2$ است وزن مولکولی لیگنوسولفونات از چند درصد تا حدود صد هزار تغییر می‌کند؛ اما به‌طور میانگین دارای وزن مولکولی در حدود ۲۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ است [۹۲]. لیگنوسولفونات یک محصول خوب برای کنترل گردوغبار هستند. مشاهده شده است که وقتی از لیگنین سولفونات به‌درستی و به‌صورت متناوب یا دوره‌ای استفاده می‌شود گردوغبار در جاده‌های دسترسی را برای دوره‌های ۶ ماه تا ۲ سال دور نگه می‌دارد و همچنین مشاهده شده که لیگنین سولفونات می‌تواند جاده‌ای حمل‌ونقل در طول دوره‌های ۳ تا ۴ هفته از گردوغبار نگهداری کند بعد از آن باید از راه‌حل دیگر استفاده شود [۷۹]. آزمایش میدانی لیگنین سولفونات، بازدهی کنترل ۵۰ تا ۶۳ درصدی را در مدت ۴ هفته پس از اعمال نشان می‌دهد که این بازدهی کنترل بالاترین میزان بازدهی کنترل است [۸۰]. اما در دیگر آزمایش‌ها بازده کنترل پایین‌تر از ۳۱ تا ۴۵ درصد بوده اما این می‌تواند به علت نوع مواد مختلف جاده، انواع تجهیزات و رویدادهای بارشی باشد. رویدادهای بارش می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کارایی کنترل داشته باشد، به‌خصوص از آنجایی که لیگنین سولفونات محلول در آب است و با بارندگی بزرگ شسته می‌شود [۸۰]. مزایای استفاده از لیگنین سولفونات به‌عنوان یک عامل کنترل گردوغبار حمل‌ونقل، این است که آن را غیر خورنده است و به‌راحتی قابل دسترس است. معایب آن این است از آنجاکه محلول در آب می‌تواند از سطح جاده‌ها شسته شود، همچنین نیاز به استفاده مجدد از لیگنین سولفونات برای حفظ کنترل گردوغبار است [۷۹]. لیگنین سولفونات به‌راحتی در آب حل می‌شود و می‌تواند pH آب‌های آلوده را کاهش دهد. لیگنین سولفونات در درصدهای بالا با توجه به BOD (مصرف اکسیژن در داخل آب) بالا هنگامی که در آب‌ها وارد می‌شود، تجزیه شدن آن‌ها اکسیژن را از آب حذف می‌کند و ممکن است بر موجودات زنده مانند ماهی یا بی‌مهرگان آبی تأثیر بگذارد. لیگنوسولفونات‌ها در صورت عدم وجود کربنات کلسیم، به آلومینیوم و آلیاژهای آلومینیومی

خورنده می‌باشند. استفاده از لیگنین سولفونات برای کنترل گردوغبار و تثبیت جاده نه‌تنها از لحاظ زیست‌محیطی بی‌خطر است، بلکه بیشتر سازگار با محیط‌زیست است و نسبت به هرگونه کنترل‌کننده گردوغبار در دسترس است [۹۳].

۳-۱۰-۶- ملاس

ملاس عصاره‌ای غلیظ، تیره و چسبناک و یک محصول جانبی در روند تهیه شکر از چغندر قند یا نیشکر است و دارای چگالی ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و $PH=4/5-5$ است. کیفیت ملاس به رسیدگی نیشکر یا چغندر، مقدار شکر استخراجی و روش استخراج بستگی دارد. ملاس به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک، عامل تثبیت‌کننده خاک استفاده می‌شود. ملاس ماده‌ای است که پس از به دست آوردن شکر از نیشکر و چغندر قند در آخرین مرحله تولید از کریستال‌های شکر به‌وسیله سانتریفوژ کردن جدا شده و به دست می‌آید. این مایع که معمولاً سیاه‌رنگ است حاوی مقدار زیادی مواد قندی است که در شرایط متعارف این قند قابل استخراج و کریستالیزاسیون نیست. علاوه بر این ملاس دارای مزه و بوی خوبی نبوده و به این دلیل نمی‌توان از خود آن به‌طور مستقیم استفاده کرد. ملاس نیشکر تهیه‌شده را برای آسفالت‌ها استفاده کرده و یا در بیابان می‌ریزند. اگر این عمل ادامه یابد، زمین‌های زراعی اطراف آن‌ها از بین رفته و دیگر قابل کشت نخواهد بود. ملاس نیشکر باعث لغزنده شدن سطح جاده می‌شود و باعث آلودگی زیست‌محیطی می‌شود و همچنین باعث آلودگی آب‌ها در صورتی که در آب‌ها نشت کند [۹۴].

۳-۱۰-۷- مواد فعال در سطح (سورفکتانت)

سورفکتانت‌ها^۱ معمولاً ترکیباتی آلی هستند که دارای گروه‌های هیدروفوبیک (دافع آب) که نقش دم و دنباله را دارد و گروه‌های هیدروفیلیک (جاذب آب) که نقش سر را دارد می‌باشند، بنابراین به‌تناسب ساختار مولکولی در حلال‌های آلی و آب حل می‌شوند و باعث کاهش کشش سطحی در فصل مشترک هوا - آب - یا روغن - آب می‌شوند.

^۱ Surface Active Agents

سورفکتانت‌ها معمولاً به‌وسیله گروه‌های باردار به ۴ گروه سورفکتانت آنیونی (دارای بار منفی)، سورفکتانت کاتیونی (دارای بار مثبت)، سورفکتانت غیر یونی (بدون بار) و آمفوتریک (دارای بار در مجموع خنثی) تقسیم‌بندی می‌شوند. سورفکتانت به زبان ساده ماده‌ای است که هنگامی که به مقدار بسیار ناچیز استفاده می‌شود، کشش سطحی آب را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. سورفکتانت یا عامل‌های خیس‌کننده را می‌توان به آب اضافه کرد تا عمر آن را به‌عنوان یک عامل کنترل گردوغبار افزایش دهد. سورفکتانت‌ها، همانند آب به رویه اعمال خاصی ندارد، به‌جز اینکه مواد اضافه از سطح جاده برداشت شوند.

روش کار سورفکتانت‌ها به این‌گونه است که تنش سطحی آب را کاهش می‌دهند. این باعث می‌شود تا ذرات از سطح جاده‌ها در ذرات آب نفوذ بیشتری داشته باشند که بدین‌وسیله سطح پوشش احتمالی قطره را بیشتر می‌کند (به‌عبارت‌دیگر نفوذ ذرات آب امکان خیس شدن سطح بیشتری را در پی دارد) تنش سطحی کم شده هم اجازه نفوذ آسان‌تر آب را به چند اینچ از زیر سطح را فراهم می‌کند. این عمل به سطح خیس شده زیرین این اجازه را می‌دهد که همانند یک منبع آب عمل کند که هنگام تبخیر آب سطحی بتواند با اثر مویینگی، رطوبت برای کنترل گردوغبار تولید کند و با این کار عمر آب را افزایش می‌دهد. اطلاعات بسیار کمی در مورد استفاده از سورفکتانت‌ها برای افزایش رطوبت جاده‌ها وجود دارد. با این حال، مشاهدات اشاره کرده‌اند که زمان مرطوب نگه‌داشتن جاده‌ها می‌تواند به ۳۳-۵۰ درصد در هنگام سورفکتانت استفاده توسعه یافته شود [۷۹].

۳-۱۰-۸ - نانوسرها

نانوسرها^۱ موادی هستند که حداقل یکی از ابعاد آن‌ها در حد نانومتر باشد. این مواد به دلیل ارزان‌ی و در دسترس بودن، توجه زیادی در زمینه فناوری نانو به خود جلب کرده‌اند. اندازه کوچک این مواد آن‌ها را قادر ساخته تا بتوانند با مواد دیگر که در این زمینه وجود دارند، رقابت کنند.

^۱ Nano clays

نانو رس‌ها شامل صفحات کوچک و نامنظم رسی هستند که در حدود ۱ نانومتر ضخامت، ۱۰۰ نانومتر قطر دارند. یکی از مهم‌ترین خصوصیات نانو رس‌ها نسبت طول به ضخامت بسیار بالای تک‌تک صفحات (از ۳۰۰ به ۱ و ۱۵۰۰ به ۱ است) است. به علت ساختار صفحه‌ای، نانو رس‌ها مواد پلیمری معمول را تقویت می‌کنند، یعنی خواص مکانیکی آن‌ها را بهتر می‌کنند، افزایش استحکام، مدول و ثبات ابعادی از این موارد است. نانو رس‌ها موادی هستند که می‌توانند با از بین بردن آب هیگروسکوپي خاصیت انقباض و انبساط را از ذرات رس بگیرند و در واقع ذرات رسی با خاصیت شن ایجاد کنند. از این خاصیت نانو رس‌ها در ساخت جاده‌های روستایی و زیرسازی جاده‌های اصلی و همچنین ساخت سدهای خاکی استفاده می‌شود [۹۵]. مهم‌ترین مزایای نانو رس‌ها افزایش ظرفیت باربری، تثبیت درازمدت خاک، کاهش جذب مجدد آب، کارکرد ماشین‌آلات و هزینه سوخت، توسعه قابلیت آمدو شد و شرایط بهتر رانندگی در هوای بارانی، کاهش گردوغبار تا ۹۰ درصد و ایجاد شرایط امن‌تر رانندگی، تیمار نمودن دائمی خاک و عدم نیاز به تیمار مجدد سطح از جمله مزایای نانو رس‌ها در این بخش است. برای کنترل فرسایش پذیری خاک و مهار بیابان‌زایی از مواد نانو رس استفاده می‌شود. استفاده از نانو رس‌ها کاهش مصرف آب، افزایش جوانه‌زنی بذر و افزایش عملکرد محصول در خاک‌های شنی را به دنبال دارد. جلوگیری از پراکنش گردوغبار و ریزگردها، جلوگیری از بیابان‌زایی، اصلاح بافت خاک و ایجاد خاکدانه‌سازی، جلوگیری از ایجاد طوفان‌شن، جلوگیری از مدفون شدن آبدی‌ها در زیر توده‌های شن، جلوگیری از وارد آمدن صدمات ناشی از ریزگردها به تأسیسات نظامی و صنعتی است که برای کنترل فرسایش بادی در سطح خاک استفاده می‌شود.

نانو رس انواع مختلفی دارد که عبارت‌اند از: مونت موریلونیت، بنتونیت، کائولینیت، هکتوریت و هالوسیت. در تولید نانو رس غالباً از بنتونیت استفاده می‌شود؛ که نوعی کانی رسی است که عمدتاً از مونت موریلونیت تشکیل شده است.

۳-۱۰-۸-۱- نانو رس مونت موریلونیت

مونت موریلونیت را می‌توان از طریق تلخیص بنتونیت با خلوص بیش از ۹۰٪ تهیه کرد و بسته به نوع کاتیون بین لایه‌ای موجود در ساختار مونت موریلونیت خواص این نانوذره تغییر می‌کند مثلاً وجود سدیم و کلسیم در لایه میانی به ترتیب باعث تورم پذیری بالا و افزایش جذب سطحی در مونت موریلونیت می‌شود. در اروپا نیز اولین بار در سوئد و فرانسه یافت شد که در سوئد تحت عنوان اسمکتیت و در فرانسه بر اساس محل کشف (معدن مونت موری لون) در سال ۱۸۴۷ مونت موریلونیت^۱ نامیده شد. مونت موریلونیت از مجموعه کانی و از خانواده اسمکتیت است سنگ‌هایی که از ترکیبات مونت موریلونیت حاصل می‌شوند بنام بنتونیت معروفاند که در چکا سلواکی، روسیه، آمریکا و غیره یافت می‌شوند. بیش‌ترین مقدار مونت موریلونیت در فرانسه (مون موریون)، آلمان، روسیه و آمریکا یافت می‌شود.

۳-۱۰-۸-۲- نانو رس بنتونیت

بنتونیت^۲ نوعی رس ریزدانه است که حداقل ۸۵ درصد رس مونت‌موریلونیت داشته باشد. بنتونیت از کانی‌های متورم شونده تشکیل شده است که عمدتاً مونت موریلونیت و به مقدار کمی بیدلیت هستند. بر اساس مطالعات زمین شناسی، ماده‌ای که تحت عنوان بنتونیت نامیده می‌شود در نتیجه دگرسانی مذاب و خاکستر آتشفشانی در اعماق دریا و یا در معرض شرایط مختلف آب و هوایی تشکیل شده است. بنتونیت دارای ساختمان آلومینوسیلیکاتی است و در دسته سیلیکات‌های سه لایه قرار می‌گیرد یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد بنتونیت تورم پذیری است که در نتیجه آن خواص رئولوژیکی خاصی در دوغاب حاصل می‌شود که این پدیده سبب به‌کارگیری آن در صنایع بالادستی نفت از جمله ساخت گل حفاری شده است که در واقع این خاصیت تورم پذیری خود ناشی از حضور مونت موریلونیت در بنتونیت است.

^۱ Montmorillonite or MMT

^۲ Bentonit

۳-۱۰-۹- محصولات قیر و قیرهای نفتی امولسیون

قیر امولسیون ترکیبی است از ذرات ریز قیر، آب و مواد امولسیفایر^۱ (امولسیون ساز) به عنوان فعال کننده سطحی است. این مواد ذرات قیر را احاطه می کنند و مانع از اتصال آن ها به یکدیگر و لخته شدن قیر می شوند. کیفیت قیر امولسیون وابسته به عواملی مانند خواص شیمیایی قیر مورد استفاده، کیفیت آب و کیفیت امولسیفایر و کیفیت مواد شیمیایی دیگری که در فرمولاسیون تولید مورد استفاده قرار می گیرد وابسته است. زمانی که قیر امولسیون مورد استفاده قرار می گیرد به دلیل اختلاف دمای سطح پخش و قیر امولسیون، عمل شکست اتفاق می افتد و آب امولسیون جدا شده و تبخیر می گردد و در نهایت امولسیفایر با قیر در سطح راه باقی می ماند کاربرد قیرهای امولسیون در تثبیت خاک و فرونشانی گردوغبار در جاده است [۱۵]. انتخاب نوع قیر برای تثبیت خاکها بستگی به عوامل زیادی از جمله جنس و بافت سطحی خاک، دانه بندی، درصد ریزدانه، دامنه خمیری، شرایط جوی محل اجرای پروژه، میزان ترافیک، نحوه عملیات تثبیت و اهداف تثبیت خاک با قیر دارد. به طور کلی خاکهای شنی و ماسه ای که حاوی کمتر از ۲۵ درصد مواد رد شده از الک نمره ۲۰۰ هستند و دامنه خمیری آن ها کمتر از ۱۰ است، برای تثبیت با قیر مناسب هستند. از آن جهت که اندود کردن خاکهای ریزدانه با قیر دشوار است، این خاکها در صورتی قابل تثبیت با قیر هستند که اولاً به توان آن ها را از حالت کلوخه خارج و کاملاً خرد کرد و ثانیاً به توان دانه ها را به طور کامل با قیراندود نمود [۶۱]. هر اندازه میزان قیر مصرفی بیشتر باشد از خاصیت آب مکنندگی خاک بیشتر کاسته می شود [۶۰].

۳-۱۱- مقایسه کنترل کننده های گردوغبار

برخی از رایج ترین کنترل کننده های استفاده شده در جاده های معدنی در جدول ۳-۵ آورده شده است. در این شکل کنترل کننده ها از لحاظ ملاحظات زیست محیطی و محدودیت عملکرد و مزایای عملکرد مقایسه شده اند [۲۵]. همچنین مکانیسم عملکرد و کارایی آن ها به صورت جدول در پیوست آورده شده است.

^۱ emulsifier

کنترل کننده ها	بازدهی (%)	شسته شدن خاک	تغییرات PH و شوری	اثرات منفی بر گونه های جانوری	تولید گل	خوردگی مواد	جاذب رطوبت (سطح لغزنده)	هزینه بالا
آب	50	×	×		×			
کلرید کلسیم	55	×				×	×	
کلرید منیزیم	77	×	×	×		×	×	
لیگنو سولفونات ها	<63						×	
ملاس	<84			×			×	
امولسیون های نفتی	>95							×
پایمرهای مصنوعی	40 - 50							

جدول ۳-۵: رایج ترین کنترل کننده های استفاده شده در جاده های معدنی [۲۵].

۳-۱۲- مسائل اقتصادی

مسائل اقتصادی از جمله پارامترهای مهم برای انتخاب یک روش به منظور حل مشکلات مواجهه شده در اجرا است. در دسترس بودن، ارزان بودن و هزینه های اجرای آن از جمله موارد مهم در بحث اقتصادی روش و یا ماده شیمیایی است. انتخاب باید طوری باشد که با کمترین هزینه بهترین اجرا حاصل گردد.

۱۳-۳- انتخاب بهترین ماده افزودنی

➤ قابل حل در آب (به دلیل ارزان و در دسترس بودن آب و حذف هزینه های حمل و نقل

حلال)

➤ ارزان و تهیه شده از مواد شیمیایی غیر کمیاب.

➤ پایدار در همه شرایط پیش بینی نشده.

➤ غیر سمی.

➤ غیر خورنده.

➤ غیر منفجره.

ماده افزودنی بهتره دارای ویژگی های زیر باشد:

➤ محلولی با ویسکوزیته پایین شبیه آب.

➤ پایدار در دماهای معمول مختلف.

➤ غیر سمی، غیر خورنده، غیر منفجره.

➤ ارزان و در دسترس.

➤ غیر حساس به نمک موجود در محل و یا آب زیرزمینی.

➤ pH ثابت.

محصول نهایی باید دارای ویژگی ای زیر باشد:

➤ پایدار.

➤ مقاومت بالا.

البته چنین موادی که تمام ویژگی ای بالا را داشته باشد شاید موجود نباشد اما باید ماده های که

ویژگی ای آن نزدیک تر به موارد بالاست انتخاب گردد و یا اینکه انتخاب بر اساس مشکل ساز بودن مواد

شیمیایی در حل مسائل اجرایی باشد.

۳-۱۴- دلایل استفاده از ملاس و لیگنوسولفونات و نانورس

با توجه مطالعات از ملاس برای کنترل گردوغبار استفاده شده است این ماده افزودنی غیر سمی و دارای هزینه کم و اثرات زیست‌محیطی مخرب ندارد. در این پایان‌نامه هم با توجه به مطالعات از درصد های ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪ استفاده شد.

همچنین از لیگنوسولفونات برای کنترل گردوغبار استفاده شده است این ماده افزودنی در درصدهای کم غیر سمی و به راحتی با آب رقیق شده و غیر خورنده و در درصدهای پایین اثرات مخرب زیست‌محیطی ندارد و به همین علت از درصدهای ۰.۰۵٪، ۰.۱٪، ۰.۱۷۵٪، ۰.۱٪، ۰.۱۵٪ استفاده شده است. همچنین به طور گسترده سوئد و کالیفرنیا که دو کشور حساس به محیط زیست هستند برای کنترل گردوغبار در جاده از لیگنوسولفونات استفاده می‌کنند [۹۳].

همچنین از نانورس برای کنترل گردوغبار استفاده شده است این ماده افزودنی غیر سمی و غیر خورنده و اثرات زیست‌محیطی مخرب ندارد و با توجه به نتیجه‌ای که از مطالعات به دست آمده که نانورس می‌تواند در خاک در درصد پایین نفوذ داشته باشد به همین دلیل از نانورس با درصدهای ۰.۱۲۵٪، ۰.۰۵٪، ۰.۱۷۵٪، ۰.۱٪ استفاده شد.

۳-۱۵- جمع بندی

با توجه به اینکه خاک‌های طبیعی به ندرت از خواص مهندسی لازم برای ساخت جاده برخوردار هستند؛ بنابراین، افزودن مواد افزودنی به خاک برای بهبود خواص مقاومتی خاک جاده، با عنوان تثبیت خاک، به یک روش معمول در ساخت جاده‌های خاکی تبدیل شده است. در تحقیق حاضر از تثبیت خاک به روش شیمیایی استفاده شد و مواد افزودنی شیمیایی از کنترل‌کننده‌های گردوغبار که در قسمت‌های قبل توضیح داده شد، است زیرا علاوه بر بهبود خواص مقاومتی خاک از تولید گردوغبار جلوگیری می‌کند.

مواد افزودنی مصرفی و آزمایش‌ها

۴-۱- مقدمه

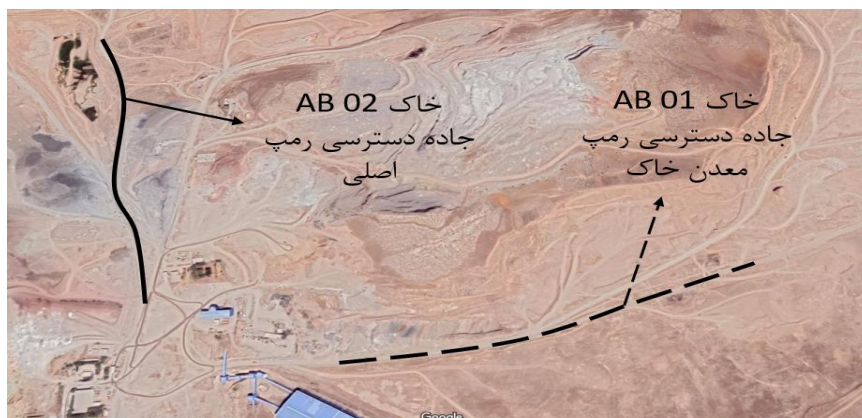
همان‌طور که در فصل‌های قبل اشاره شد هدف از این پژوهش استفاده از نانو ذرات و سایر مواد افزودنی برای بهبود خواص مقاومتی و مکانیکی خاک است. برای این منظور شناسایی کامل مواد افزودنی و آشنایی با روش پژوهش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ بنابراین در این فصل در ابتدا به معرفی خاک مصرفی و روش نمونه‌گیری و مطالعات آزمایشگاهی مورد آزمایش پرداخته می‌شود. سپس خصوصیات مواد افزودنی و نانو رس مورد بررسی، در این پژوهش شرح داده می‌شود. در ادامه ابتدا آزمایش‌های شناسایی اولیه برای شناسایی خاک منطقه و خصوصیات مقاومتی خاک در حالتی که هنوز ماده افزودنی و نانو رس اضافه نشده می‌پردازیم. در ادامه هم به بررسی آزمایش‌های تراکم و برش مستقیم و تک‌محوره در حالت اضافه کردن ماده افزودنی و نانو رس با در صدهای مشخص می‌پردازیم همچنین در این پژوهش به معرفی آزمایش‌ها و هدف از انجام آزمایش به همراه استاندارد و نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها و شرح آزمایش می‌پردازیم

۴-۲- خاک مصرفی

خاک مورد مطالعه از استان قزوین، شهرستان آبیک، معدن سیمان آبیک، جاده‌های دسترسی رمپ اصلی و رمپ معدن خاک نمونه‌برداری شده است که در این مطالعه با نام‌های خاک AB 02 و AB 01 شناخته می‌شود.

۴-۳- موقعیت جغرافیایی معدن سیمان آبیک

منطقه‌ی آبیک در عرض جغرافیایی حدود ۴/۳۶ درجه‌ی شمالی و طول جغرافیایی حدود ۴۵/۵۰ درجه‌ی شرقی و کارخانه سیمان آبیک در کیلومتر ۸۰ غرب اتوبان تهران به قزوین در دامنه جنوبی رشته‌کوه پیر علی واقع شده است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا حدود ۱۳۰۰ متر است و دارای زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های معتدل است. نقشه منطقه در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱: موقعیت جغرافیایی معدن سیمان آبیگ

۴-۴- نمونه‌گیری

با نمونه‌برداری از خاک می‌توان خصوصیات خاک در نقاط مختلف را ارزیابی نمود. انتخاب نوع روش نمونه‌برداری بستگی به استفاده موردنظر از نمونه‌های خاک دارد. به‌طور کلی روش‌های مختلفی برای نمونه‌برداری وجود دارد که ساده‌ترین روش آن است که به‌طور مستقیم و به کمک وسایل ساده نظیر کاردک و بیلچه توده خاک نمونه‌گیری شود برای نمونه‌گیری دستی از اعماق زمین باید ابتدا چاله‌ای به روش دستی یا ماشینی حفر شده و سپس از جدار آن در اعماق موردنظر نمونه‌گیری شود [۹۶].

نمونه‌گیری برای انجام پژوهش با حفر گودال به صورت دستی و برداشت نمونه انجام شد همچنین به دلیل رفت‌وآمد زیاد دامپتراک در جاده امکان حفر گودال نبود برای همین از کنار جاده تا جایی که مشخصات خاک تغییر نکند، نمونه برداشته شد و چون قبلاً برای کنترل گردوغبار از نمک کلرید پتاسیم در سطح جاده استفاده کرده بودند، امکان برداشت نمونه از سطح جاده هم امکان‌پذیر نبود.

۴-۵- مطالعات آزمایشگاهی

با توجه به اینکه استفاده از نانو رس به دلیل ماهیت خاص به مدت‌زمان عمل‌آوری (برای نانو رس برای جذب کامل آب سطحی) نیاز داشت به همین دلیل مدت‌زمانی رو پس از آماده‌سازی نمونه‌ها برای هر آزمایش جهت عمل‌آوری مطابق شکل ۴-۲ انجام گردید.



شکل ۴-۲: نمونه‌های عمل‌آوری شده برای آزمایش

۴-۶- روش مخلوط نانو ذرات در خاک

مسئله‌ی بسیار مهم در زمینه‌ی استفاده از نانو ذرات در توده‌ی خاک، پراکندگی مناسب نانو ذرات است. پراکندن درست و یکنواخت نانو ذرات در خاک عاملی است که تمامی نتایج را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. برای جلوگیری از انباشتگی نانو ذرات در توده‌ی خاک، استفاده از روش‌های مکانیکی و روش‌های شیمیایی مناسب ضروری است [۹۷]. در این مطالعه به منظور جلوگیری از دخالت عوامل شیمیایی برای پراکندن نانو ذرات، از روش‌های مکانیکی آسیاب گلوله‌ای برای پراکندن نانو ذرات در خاک استفاده شد.

۴-۷- استفاده از آسیاب گلوله‌ای^۱

آسیاب گلوله‌ای مورد استفاده در این پایان‌نامه مطابق شکل ۴-۳ است که کل حجم این استوانه توسط موتور و گیربکس بسیار قدرتمند حول یک محور به چرخش درمی‌آید و در اثر غلتیدن و برخورد این گلوله‌ها به روی مواد اولیه، آن‌ها را به صورت پودر تبدیل می‌کند. در این پژوهش نمونه خاک و نانو رس به مدت ۳۰ دقیقه در داخل محفظه آسیاب گلوله قرار گرفتند همچنین از گلوله به دلیل به هم زدن دانه‌بندی خاک مورد آزمایش استفاده نشد؛ زیرا وجود این گلوله‌ها در خاک باعث شکسته شدن دانه‌های خاک شده و انجام آزمایش‌ها طبق دانه‌بندی ارائه‌شده نخواهد بود و این امر روی نتایج آزمایش‌ها تأثیر می‌گذارد.

^۱ Ball Mill



شکل ۳-۴: آسیاب گلوله‌ای مورد استفاده در آزمایش

۴-۸- بازسازی نمونه‌های دست‌خورده

معمولاً در آزمایش‌های مکانیک خاک، با سه نمونه سروکار خواهیم داشت [۹۸]: نمونه دست‌نخورده^۲ که در این نمونه‌ها، اجزای دانه‌ها به‌طور طبیعی در کنار هم قرار گرفته‌اند و بافت نمونه تغییری نمی‌کند و درصد رطوبت آن نیز همان درصد رطوبت محیط برداشت نمونه است. از نمونه دست‌نخورده برای انجام آزمایش‌های تحکیم، نفوذپذیری، سرمحوری و غیره استفاده می‌شود. نمونه دست‌خورده^۳ که از محل تهیه می‌شود و بعضی از پارامترهای طبیعی را ندارد و خصوصیاتش تغییر کرده است، اما آزمایشگر تغییری در آن ایجاد نمی‌کند. از نمونه دست‌خورده برای انجام آزمایش دانه‌بندی، آزمایش تراکم، تعیین حدوداتربرگ، چگالی دانه‌ها، تعیین میزان مواد آلی و طبقه‌بندی خاک استفاده می‌شود. نمونه دست‌کاری یا بازسازی‌شده^۴ که بر اساس خواسته آزمایشگر ساخته می‌شود. برخی از موارد قادر به تهیه نمونه دست‌نخورده خاک، برای انجام آزمایش‌هایی که به این نوع نمونه‌ها نیاز دارد، نیست، بنابراین به‌ناچار با در دست داشتن مشخصات خاک از جمله درصد رطوبت و دانسته خاک آن، اقدام به بازسازی نمونه در آزمایشگاه شده است، در طی این عملیات برخی از مشخصات خاک تغییر می‌کند ولی به‌رحال این تنها روش متداول و شناخته شده برای تهیه نمونه است. هدف از انجام عملیات بازسازی خاک، تهیه نمونه‌هایی است که حداکثر شباهت را به مشخصات نمونه داشته باشد.

^۲ Undisturbed

^۳ Disturbed

^۴ Remolded

۹-۴- مواد افزودنی مصرفی

مواد افزودنی استفاده شده در این تحقیق شامل: ملاس چغندر قند و لیگنو سولفونات کلسیم و نانو رس مونت موریلونیت است.

۹-۴-۱- ملاس^۵

ملاس عصاره‌ای غلیظ، تیره و چسبناک و یک محصول جانبی در روند تهیه شکر از چغندر قند یا نیشکر است که پس از گرفتن کریستال شکر از عصاره نیشکر و چغندر به صورت شیر غلیظ قهوه‌ای رنگ باقی می‌ماند. ملاس در زبان لاتین به معنی عسل است. از زمانی که بشر به زراعت نیشکر دست یافت، پساب قند ریزی‌های خود را به نام ملاس می‌شناخت. در گذشته ملاس شیرین‌تر از امروز بود و به مصرف تغذیه‌ی انسانی می‌رسید. قند سفید نیز به مصرف در مراسم رسمی و طبقات ویژه اختصاص داشت. با تأسیس اولین کارخانه‌ی قند ایران در سال ۱۲۷۴ هجری شمسی در کهریزک، ملاس تولید و به بازار عرضه شد اما این فرآورده مورد توجه قرار نگرفت و به‌عنوان ضایعات محسوب شده و وارد فاضلاب می‌شد. ورود ملاس به مجاری فاضلاب باعث شد محیط‌زیست و رودخانه‌های اطراف کارخانه‌های قند نظیر رودخانه‌ی برف آباد در غرب به‌شدت آلوده شوند. اولین واحد قند گیری از ملاس در ایران، در کارخانه‌ی قند شیروان و به روش استفن شروع به کار کرد. در سال ۱۳۴۰ در این کارخانه از ۴۰۰۰ تن ملاس تولیدی حدود ۹۰۰ تن شکر به دست آمد. از آن زمان به بعد استفاده از این روش برای جلوگیری از به هدر رفتن قند ملاس مرسوم شد. همچنین کارخانه‌های قند به‌سوی تولید تفاله‌ی خشک با ملاس به‌عنوان علوفه‌ی دامداری و استفاده از ملاس در کارخانه‌های تولید الکل و خمیرمایه حرکت کردند. میزان تولید ملاس در کارخانه‌های چغندر قند ۴-۷ درصد وزن چغندر مصرفی و در کارخانه‌های نیشکر ۲/۷-۳/۷ درصد وزن است. رنگ ملاس از قهوه‌ای سوخته تا سیاه است [۹۹]. انواع ملاس‌های تولیدشده در کارخانه‌های قند شامل ملاس

^۵ Molass

کارخانه‌های نیشکر^۶ و ملاس کارخانه‌های چغندر قند^۷ است.

عوامل مختلفی بر ترکیبات ملاس مؤثرند از جمله: نوع و وارسته چغندر، شرایط کشت چغندر، کیفیت و وضعیت نگهداری چغندر، منطقه‌ی جغرافیایی، چگونگی و نحوه‌ی فرآیند در کارخانه و عوامل مختلف دیگر. مقدار کربوهیدرات‌ها ۰.۳٪ بیان شده است که منظور کربوهیدرات‌های غیر ساکارزی است، برای مثال مونوساکاریدهایی مانند قندهای اینورت (حدود ۰.۱٪) و دی ساکاریدهای غیر ساکارزی (حدود ۰.۰۵٪) و تری ساکاریدها مانند رافینوز (حدود ۰.۱۱/۵٪) و سایر مواد آلی در حدود ۰.۶/۹٪ بیان شده است. این مواد شامل مواردی مانند کولین، مواد حاصل از شکسته شدن آلبومین‌ها، مشتقات پکتین، کارامل‌ها و باقیمانده‌ی مواد ضد کف، مواد رسوب‌دهنده و سایر مواد افزودنی که در مراحل فرآیند به منظورهای مختلف استفاده شده‌اند و مقداری از آن‌ها در نهایت به ملاس وارد شد است. ملاس تولیدی در جهان به بیش از ۳۵ میلیون تن و در ایران به بیش از ۳۲۰ هزار تن در سال می‌رسد با توجه به ترکیبات ملاس، این ماده به‌عنوان منبع خوبی از مواد قندی، مواد ازت دار و ترکیبات معدنی به حساب می‌آید و امروزه مصارف بسیار متنوعی برای آن وجود دارد. این مصارف را در سه بخش می‌توان مورد بررسی قرارداد.

- مصارف مستقیم ملاس خوراک دام، مصرف ملاس به‌عنوان کود، به‌عنوان سوخت، برای شکل دادن و یا ایجاد رنگ در مواد و خوش طعم کردن غذا، تولید مرکب مشکلی، مصرف ملاس به‌عنوان خوراک انسان، کاربرد ملاس در دستگاه‌های قند گیری از ملاس، تهیه بتائین
- مصارف ملاس در صنایع تخمیری
- سایر مصارف ملاس

^۶ Cane sugar molasses

^۷ Beet sugar molasses

۴-۹-۱-۱- ملاس استفاده شده

در این پایان نامه از ملاس کارخانه چغندر قند شاهرود مورداستفاده قرار گرفته است که ملاس به کاررفته در شکل ۴-۴ نشان داده شده است، دارای وزن مخصوص $1/4$ گرم بر سانتی متر مکعب و رنگ آن قهوه‌ای مایل به سیاه دارای بوی مخصوص به خود است.



شکل ۴-۴: نمونه ملاس استفاده شده

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ملاس چغندر قند در جدول ۴-۱ قابل ملاحظه است.

جدول ۴-۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ملاس چغندر قند

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی	ملاس چغندر قند
رنگ	قهوه‌ای مایل به سیاه
ظاهر	شیره مانند
وزن مخصوص	$1/4$ گرم بر سانتی متر مکعب
بریکس	۸۵ درصد
درصد آب	$16/5$ درصد
درصد وزنی مواد معدنی	۱۲ درصد

۴-۹-۲- لیگنوسولفونات^۸

آنسلم پاین^۹ در سال ۱۸۳۸ مشاهده کرد که چوب در اثر اسید نیتریک غلیظ بخشی از مواد خود را از دست می‌دهد و یک باقیمانده جامد لیفی باقی می‌گذارد. وی نام این ماده را سلولوز گذاشت. در نتیجه مطالعات بیشتری که بعداً انجام شد معلوم شد که این ماده لیفی جدا شده توسط پاین، علاوه بر سلولوز محتوی سایر پلی ساکاریدها نیز هست. در سال ۱۸۹۷، پیتر کلازون^{۱۰} ترکیب لیگنوسولفونات‌ها را مطالعه کرد و این نظر را مطرح نمود که لیگنین از نظر شیمیایی به کانفیویل الکل مرتبط است. او در سال ۱۹۰۷ پیشنهاد کرد که لیگنین ماده‌ای در شت مولکولی است. از همان سال‌ها یعنی سال‌های ۱۹۱۰ تا ۱۹۱۵ تولید تجاری لیگنوسولفات برای مصارف مختلف از جمله مرکب چاپ و روان کننده گل حفاری چاه‌های نفت هم‌زمان با اوج اکتشافات چاه‌های نفت و حفاری آن استفاده می‌شود. لیگنوسولفونات با نام شیمیایی لیگنین سولفونات یک پلیمر طبیعی بودن که از ماده لیگنین به دست می‌آید. لیگنین بعد از سلولز بیش‌ترین سهم از ساختار چوب را به خود اختصاص می‌دهد. لیگنوسولفونات (LS) به سه دسته شامل: سدیم لیگنوسولفونات (SLS)، کلسیم لیگنوسولفونات (CLS)، منیزیم لیگنوسولفونات (MLS)، آمونیوم لیگنوسولفونات (ALS) تقسیم‌بندی می‌شود. همان‌طور که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده تعیین شده است. از ۱/۳۲ میلیون تن لیگنوسولفونات که در سراسر جهان به فروش می‌رسد، ۱۵۰۰۰۰ تن برای استفاده در جاده‌ها، ۸۰۰۰۰ تن در آمریکای شمالی و ۷۰۰۰۰ تن در اروپا و استرالیا فروخته می‌شود. محصول مورد استفاده در جاده‌ها محصول پایه است که به‌طور شیمیایی تغییر نکرده و ممکن است کلسیم، سدیم یا آمونیوم باشد در سال ۱۹۸۸ آدامز به بررسی اثرات زیست‌محیطی لیگنین سولفونات پرداخت که تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که استفاده از لیگنین سولفونات برای کنترل گردوغبار و تثبیت جاده‌ها از لحاظ زیست‌محیطی بی‌خطر است [۹۳].

^۸ Lignosulfonate

^۹ Anselme Payen

^{۱۰} Peter klason

۱-۲-۹-۴- لیگنوسولفونات استفاده شده

با توجه به اینکه لیگنو سولفونات خالص و سدیم لیگنو سولفونات در بازار موجود نبود در این پایان نامه کلسیم لیگنوسولفونات مورد استفاده قرار گرفت که در شکل ۴-۵ نشان داده شده است، لیگنوسولفونات کلسیم داری فرمول مولکولی $C_{20}H_{24}CaO_{10}S_2$ ، وزن مولکولی ۵۲۸ / ۶۰۶ و رنگ قهوه‌ای تیره است. ویژگی‌های فیزیکی در جدول ۴-۲ قابل ملاحظه است.



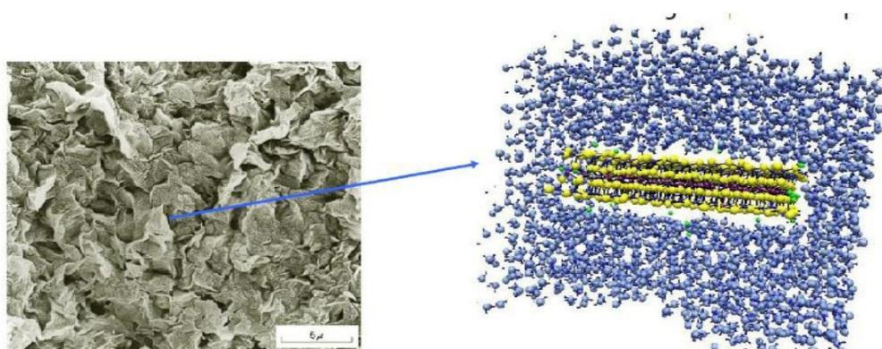
شکل ۴-۵: لیگنوسولفونات کلسیم مورد استفاده

جدول ۴-۲: ویژگی‌های فیزیکی لیگنوسولفونات کلسیم

ویژگی‌های فیزیکی	کلسیم لیگنوسولفونات
ظاهر	پودر
رنگ	قهوه‌ای
وزن مولکولی	۵۲۸ / ۶۰۶
حلالیت در آب	کمتر از ۱/۵-۰/۵ درصد
pH	۴
درصد رطوبت	کمتر از ۷ درصد
درصد لیگنوسولفونات	بیش تر از ۵۰-۶۵ درصد

۴-۹-۳- نانو رس مونت موریلونیت

مونت موریلونیت به عنوان یک نانوذره رسی که عمده ترین فاز موجود در بنتونیت را تشکیل می دهد با داشتن خواص منحصر به فرد توانسته است کاربردهای مختلفی را در صنعت و تحقیقات پیدا کند. مطابق شکل ۴-۶ مونت موریلونیت دارای ابعاد جانبی ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ آنگستروم و ضخامت ۱۰ تا ۵۰ آنگستروم است. این کانی در رسوبات نواحی نیمه خشک مشاهده می شود؛ و همچنین در شرایط که سیلیکا در محیط فراوان باشد و سیلیکا و آلومینا در حالت مجتمع باشند این کانی شکل می گیرد.



شکل ۴-۶: تصویر SEM از مونت موریلونیت در طرف چپ تصویر و ساختارهای اتمی آن به صورت شماتیک در طرف راست تصویر

مونت موریلونیت با نام تجاری کلوزیت با جداسازی صفحات رس از یکدیگر به وجود می آید که دارای سطح ویژه و بزرگی بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ مترمربع در هر گرم است. این سطح بزرگ و فعال باعث می شود همواره اندرکنش شدیدی بین نانو رس و محیط اطرافش وجود داشته باشد. نانو رس ها دارای شکل صفحه ای هستند [۱۰۰]. بر اساس نوع کاتیون های بین لایه ای که عمدتاً سدیم یا کلسیم است، مونت موریلونیت را به دودسته بزرگ مونت موریلونیت سدیمی که کاتیون بین لایه ای غالب در آن سدیم است و مونت موریلونیت کلسیمی که کاتیون بین لایه ای غالب در آن کلسیم است، تقسیم بندی می کنند. مونت موریلونیت دارای خواص سطحی تورم پذیری، سطح ویژه، بار سطحی، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)^{۱۱} است [۱۰۱].

¹¹ Cation Exchange Capacity

۱-۳-۹-۴ - نانو رس مونت موریلونیت استفاده شده

نانو رس مورد استفاده در این پروژه نانو رس مونت موریلونیت است. این نانو رس در شکل ۷-۴ و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در جدول ۳-۴ نشان داده شده است.



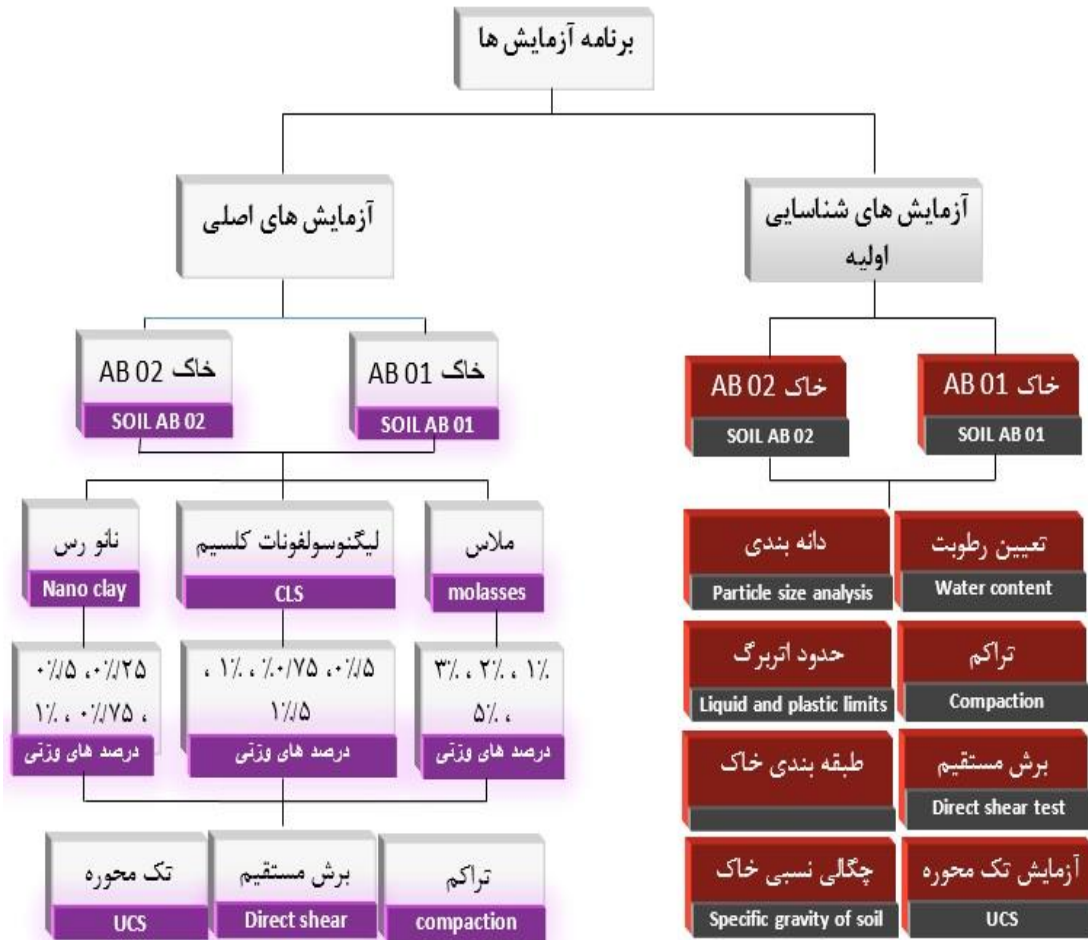
شکل ۷-۴: نانو رس مورد استفاده

جدول ۳-۴: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نانو رس

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی	نانو رس مونت موریلونیت
چگالی	۰/۷-۰/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب
اندازه ذرات	۱-۲ نانومتر
مساحت سطح ویژه	۲۲۰-۲۷۰ مترمربع بر گرم
رنگ	زرد کم‌رنگ
رطوبت	۱-۲ درصد
سدیم اکسید	۰/۹۸ درصد
منیزیم اکسید	۳/۲۹ درصد
اکسید آلومینیوم	۱۹/۶۰ درصد
سیلیسیم دی‌اکسید	۵۰/۹۵ درصد
پتاسیم اکسید	۰/۸۶ درصد
کلسیم هیدروکسید	۱/۹۷ درصد
اکسید آهن	۵/۶۲ درصد

۴-۱۰- مراحل انجام آزمایش‌ها

کلیه آزمون‌های آزمایشگاهی انجام شده در این تحقیق در آزمایشگاه مکانیک خاک، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده است. خلاصه‌ی مراحل انجام آزمایش‌ها در شکل ۴-۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۸: خلاصه‌ی مراحل انجام آزمایش‌ها

۴-۱۱- آزمایش‌های شناسایی اولیه

به منظور شناسایی خاک منطقه و خصوصیات فیزیکی و مقاومت مکانیکی خاک یک سری آزمایش

که به صورت زیر است، انجام شد.

۴-۱۱-۱- آزمایش دانه‌بندی

آزمایش دانه‌بندی برای پی بردن به توزیع و اندازه دانه‌های خاک است و هدف از انجام آزمایش دانه‌بندی، جدا سازی دانه‌های خاک در اندازه‌های مختلف است که هر بخش به صورت در صدی از کل نمونه بیان می‌شود و به سه روش، الک، هیدرومتری، ترکیبی از هردو، انجام می‌گیرد.

۴-۱۱-۱-۱- آزمایش دانه‌بندی با الک

روش دانه‌بندی با الک با استفاده از مجموعه‌ای از الک‌ها و لرزاندن آن‌ها، درصد وزنی دانه‌های مختلف خاک به دست می‌آید. این آزمایش طبق استاندارد ASTM D 422-87 انجام گرفت. در تحقیق حاضر برای دانه‌بندی خاک موردنظر از ترکیبی از دو روش دانه‌بندی استفاده شده است. ابتدا ۱ کیلوگرم خاک را جدا کرده سپس مجموعه خاک بروی یک سری الک‌ها مطابق جدول ۴-۴ به مدت ۱۰ دقیقه بروی شیکر قرار گرفته و سپس درصد وزنی مقادیر باقیمانده روی هر الک را وزن کرده و منحنی دانه‌بندی برای درصد عبوری را روی کاغذ نیمه لگاریتمی رسم می‌کنند. دانه‌های عبوری از الک ۲۰۰ برای آزمایش هیدرومتری به کار برده شده است.

۴-۱۱-۲- آزمایش هیدرومتری

آزمایش هیدرومتری طبق استاندارد ASTM D 422-63 انجام گرفت. در این آزمایش از ۵۰ گرم خاک خشک و رد شده از الک ۲۰۰ استفاده شده است. قبل از آزمایش مواد پراکنده ساز (۱۲۵ سی‌سی محلول ۴٪ هگزا متا فسفات سدیم) به خاک اضافه شد و خاک به مدت ۱ ساعت در محلول پراکنده ساز خیس گردید. سپس آب مقطر به محلول اضافه شد و کاملاً مخلوط گردید. محلول در استوانه آزمایش ریخته شده و آن قدر آب مقطر به محلول اضافه شد تا سطح آن به علامت ۱۰۰۰ میلی‌متر رسید، سپس هیدرومتر (H ۱۵۲) در داخل محلول قرار داده شد در بازه‌های زمانی ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۴۴۰ دقیقه قرائت گردید. در نهایت با استفاده از روابط، قطر ذرات و درصد عبوری بخش ریزدانه خاک برای تکمیل منحنی دانه‌بندی مشخص گردید. شکل ۴-۹ تصویری از

الکهای دانه‌بندی و آزمایش هیدرومتری، جدول ۴-۵ نتایج دانه‌بندی به روش الک^{۱۲} و نتایج آزمایش هیدرومتری^{۱۳} برای هردو خاک را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۴-۱۰ و شکل ۴-۱۱ منحنی دانه‌بندی هردو خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۴: سری الکهای استفاده‌شده برای هر دو خاک AB 01 و AB 02

شماره الک	1 inch	$\frac{7}{8}$ inch	$\frac{1}{2}$ inch	$\frac{3}{8}$ inch	$\frac{1}{4}$ inch	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
اندازه روزنه mm	25	22/6	12/5	9/5	6/35	4/75	2/36	1/18	0/16	0/3	0/15	0/075



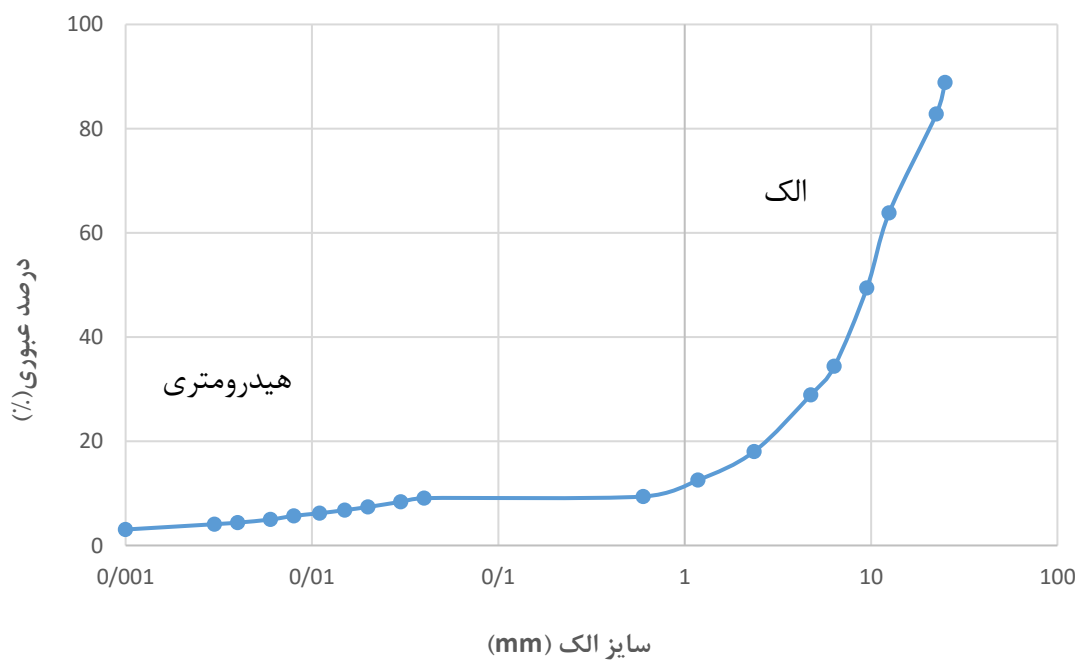
شکل ۴-۹: الکهای دانه‌بندی و آزمایش هیدرومتری

^{۱۲} Analysis seive

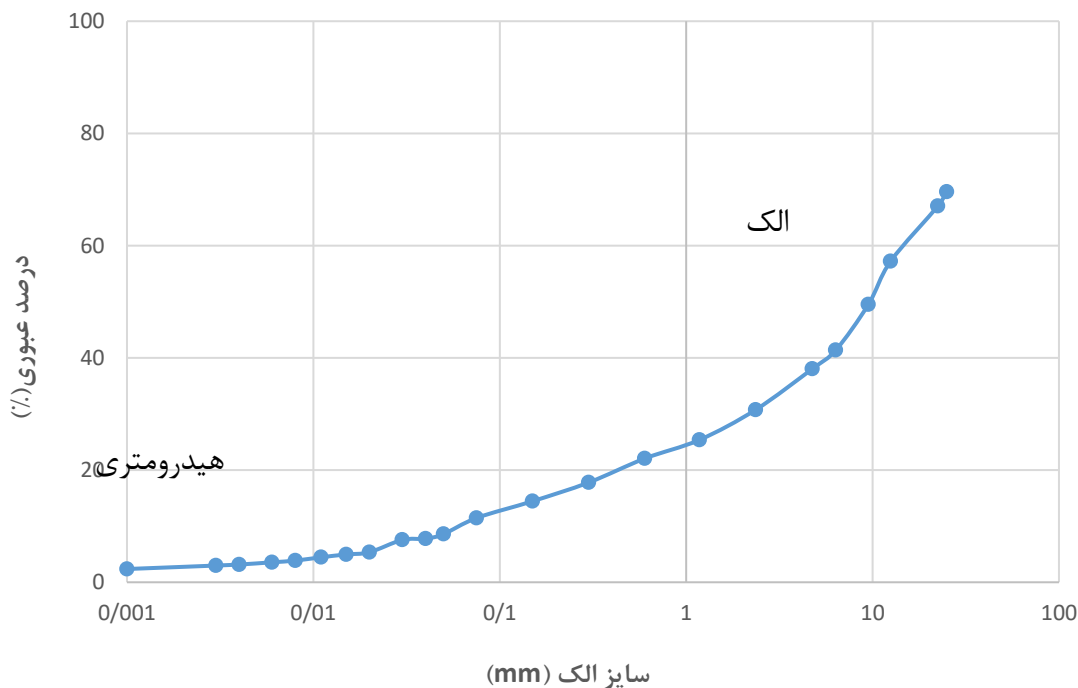
^{۱۳} Hydrometer

جدول ۴-۵: نتایج آزمایش دانه‌بندی و هیدرومتری برای هر دو خاک

خاک	شماره الک	۱ inch	$\frac{7}{8}$ inch	$\frac{1}{2}$ inch	$\frac{3}{8}$ inch	$\frac{1}{4}$ inch	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
AB 01	درصد عبوری	۸۸/۵۵	۸۲/۷۹	۶۲/۸۲	۴۹/۴۰	۳۴/۳۸	۲۸/۹۱	۱۸/۰۳	۱۲/۵۵	۹/۳۹	۵/۶۰	۲/۷۳	۰/۱۵
	درصد عبوری	۶۹/۶۰	۶۷/۰۴	۵۷/۲۱	۴۹/۵۱	۴۱/۳۷	۳۸/۰۴	۳۰/۷۵	۲۵/۳۹	۲۲/۰۷	۱۷/۷۸	۱۴/۴۵	۱۱/۴۵
خاک	قطر ذرات mm	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	
	درصد عبوری	۹/۸	۹/۰۸	۸/۳۸	۷/۳۸	۶/۷۸	۶/۱۸	۵/۶۸	۴/۹۸	۴/۳۸	۴/۰۸	۳/۰۶	
AB 02	درصد عبوری	۸/۶	۷/۷۶	۷/۵۶	۵/۳۶	۴/۹۶	۴/۴۶	۳/۸۶	۳/۵۶	۲/۱۶	۲/۹۸	۲/۳۶	



شکل ۴-۱۰: منحنی دانه‌بندی خاک AB 01



شکل ۴-۱۱: منحنی دانه‌بندی خاک AB 02

۲-۱۱-۴- آزمایش‌های حدود اتربرگ

دانشمند سوئدی به نام اتربرگ روشی را برای توصیف سفتی خاک ریزدانه با میزان رطوبت متفاوت ابداع کرد. آزمایش حدود اتربرگ شامل دو نوع آزمایش حد روانی و حد خمیری^{۱۴} است، برای تعیین حد روانی ۲۵۰ گرم خاک که از الک نمره ۴۰ عبور داده‌شده، با مقدار مناسبی آب مخلوط شد. آزمایش حد روانی مطابق شکل ۴-۱۲ با توجه به استاندارد ASTM D 4318 بر روی آن انجام گردید. در تمامی آزمایش‌ها وقتی شکاف ایجاد شده در خاک در اثر سقوط کاسه کاساگرانده به طول ۱۲/۷ میلی‌متر بسته شد، آزمایش خاتمه پیدا کرد. تعداد ضربات لازم برای بسته شدن شیار را یادداشت کرده و مقداری از خاک را برای تعیین درصد رطوبت داخل ظرف می‌ریزیم و داخل اون قرار می‌دهیم سپس میزان رطوبت خاک بر حسب درصد و تعداد ضربه‌های متناظر روی یک کاغذ ترسیم می‌شود. میزان رطوبت متناظر با ۲۵ ضربه همان حد روانی خاک است.

آزمایش حد خمیری، مقدار ۲۰ گرم از خاک که از الک نمره ۴۰ عبور داده‌شده، با مقدار مناسبی آب

^{۱۴} Liquid limits & Plastic limits

مخلوط شد. خاک با فشارش بین انگشتان به صورت بیضی شکل درآمده و روی یک سطح شیشه‌ای غلتانده شد، تا زمانی که به شکل یک فتیله به قطر $\frac{3}{2}$ میلی‌متر گردید. بر اساس حد روانی و شاخص خمیری به دست آمده از آزمایش‌های اولیه خاک نام‌گذاری انجام شد. نتایج آزمایش‌های حدود اتربرگ به صورت خلاصه روی دو نمونه خاک مورد مطالعه در جدول ۴-۶ آورده شده است.



شکل ۴-۱۲: آزمایش حد روانی

جدول ۴-۶: خلاصه آزمایش‌های حدود اتربرگ برای هر دو خاک

مقدار %	روش آزمایش	ویژگی	خاک
۳۳/۰۲	ASTM D4318	حد روانی (LL)	AB 01
۲۰/۴۷	ASTM D4318	حد خمیری (PL)	
۱۲/۵۵	ASTM D4318	شاخص خمیری (PI)	
۳۷/۴۶	ASTM D4318	حد روانی (LL)	AB 02
۲۰/۷۷	ASTM D4318	حد خمیری (PL)	
۱۶/۶۹	ASTM D4318	شاخص خمیری (PI)	

۴-۱۱-۳- طبقه بندی خاک

سیستم طبقه‌بندی خاک^{۱۵} عبارت است از مرتب کردن خاک‌های مختلف با خواص مشابه به گروه‌ها و زیرگروه‌هایی برحسب کاربردشان. سیستم‌های طبقه‌بندی یک‌زبان مشترک برای بیان مشخصات خاک به‌طور خلاصه به وجود می‌آورند. اغلب سیستم‌های طبقه‌بندی خاک که برای مقاصد مهندسی تدوین یافته‌اند، بر پایه خواص ساده‌ای از خاک نظیر دانه‌بندی و خواص خمیری قرار دارند. اگرچه سیستم‌های طبقه‌بندی مختلفی وجود دارد، لیکن به علت تنوع در خواص خاک، هیچ‌کدام از آن‌ها به‌طور کامل جوابگوی توصیف هر خاک برای تمام کاربردهای ممکنه نیستند. طبقه‌بندی خاک بر دو نوع است:

۱- طبقه‌بندی بافت خاک:

در این طبقه‌بندی ملاک حدود اندازه ذرات خاک است و ابتدا نام گروه اصلی و بعد نام گروه فرعی به صورت صفت ذکر می‌گردد. مثل رس لای دار، رس‌ماسه دار و غیره. طبقه‌بندی USDA از این نوع است.

۲- طبقه‌بندی خاک‌ها برحسب استفاده:

اگرچه طبقه‌بندی بافت خاک نسبتاً ساده است، لیکن کاملاً متکی بر دانه‌بندی خاک است. مقدار کانی رسی که در خاک‌های ریزدانه ظاهر می‌شود، تأثیر بسیار عمده‌ای بر خواص فیزیکی خاک دارد. بنابراین برای تفسیر خواص یک خاک باید به خواص خمیری آن توجه داشت. از آنجایی‌که طبقه‌بندی‌های بافتی خاک توجهی به خواص خمیری خاک ندارند، بنابراین برای اغلب کاربردهای مهندسی کافی نیستند. در حال حاضر استفاده از دو سیستم طبقه‌بندی پیچیده بین مهندسان خاک معمول است که هر دو سیستم دانه‌بندی و حدود اتربرگ را در طبقه‌بندی منظور می‌کنند. این دو سیستم عبارت‌اند از سیستم طبقه‌بندی آشتو و سیستم طبقه‌بندی متحد. سیستم طبقه‌بندی آشتو اغلب توسط مهندسان راه و سیستم طبقه‌بندی متحد، اغلب توسط مهندسان ژئوتکنیک مورداستفاده

¹⁵ Soil Classification

قرار می‌گیرد که در این مطالعه از سیستم طبقه‌بندی متحد استفاده شده است.

۱-۳-۱۱-۴ - سیستم طبقه‌بندی متحد

شکل اولیه این سیستم در سال ۱۹۴۲ توسط کاساگرانده برای ساخت فرودگاه‌های نظامی به وسیله گروه مهندسان ارتش در اثنای جنگ جهانی دوم ارائه شد. این طبقه‌بندی در سال ۱۹۵۲ با همکاری اداره عمران ایالت متحده، مورد تجدید نظر قرار گرفت. در حال حاضر این سیستم تحت استاندارد ASTM - D- ۲۴۸۷ مورد استفاده وسیع مهندسی قرار دارد. این سیستم خاک‌ها را به دو طبقه بزرگ تقسیم می‌نماید:

- خاک‌های درشت‌دانه با طبیعت شنی و یا ماسه‌ای و درصد عبوری کوچک‌تر از ۵۰ درصد از الک نمرة ۲۰۰ علامت گروه‌های این طبقه با حرف G یا S شروع می‌شود. علامت G برای شن یا خاک‌های شن دار و علامت S برای ماسه یا خاک‌های ماسه دار به‌عنوان حرف اول به کار می‌روند.
- خاک‌های ریزدانه با درصد عبوری بزرگ‌تر از ۵۰ درصد از الک نمرة ۲۰۰ علامت گروه‌های این طبقه با حرف M برای لای غیر آلی و یا C برای رس غیر آلی و O برای لای‌ها و رس‌های آلی شروع می‌شود. علامت Pt برای پیت و ماک (خاک‌برگ) و یا سایر خاک‌ها با درجه آلی بالا به کار می‌رود.

علائمی که به‌عنوان حرف دوم در طبقه‌بندی به کار می‌روند، عبارت‌اند از:

W = خوب دانه‌بندی شده

P = بد دانه‌بندی شده

L = خاصیت خمیری کم (حد مایع کوچک‌تر از ۵۰)

H = خاصیت خمیری زیاد (حد مایع بزرگ‌تر از ۵۰)

حروف فوق همیشه به‌عنوان حرف دوم قرار گرفته و صفت حرف اول می‌باشند.

برای طبقه‌بندی کامل این سیستم، قسمت و یا تمام اطلاعات زیر لازم است:

الف: درصد شن، یعنی قسمتی که از الک ۷۵ میلی‌متر عبور کرده و روی الک ۴/۷۵ میلی‌متر باقی می‌ماند.

ب: درصد ماسه، یعنی درصد عبوری از الک ۴/۷۵ میلی‌متر (نمره ۴) و مانده روی الک نمره ۲۰۰.

پ: درصد لای و رس، عبوری از الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر (نمره ۲۰۰).

ت: ضریب یکنواختی C_u و ضریب دانه‌بندی C_c

ث: حد مایع و نشانه مایع برای قسمت عبوری از الک نمره ۴۰.

علامت گروه برای خاک‌های درشت‌دانه شنی عبارت‌اند از:

GP – GC , GP – GM , GW – GC , GW – GM , GC – GM , GC , GM , GP , GW

برای خاک‌های دانه‌ای ماسه‌ای علائم عبارت‌اند از:

SP – SC , SP – SM , SW – SC , SW – SM , SC – SM , SC , SM , SP , SW

به‌طور مشابه علامت گروه برای خاک‌های ریزدانه عبارت‌اند از:

CL , ML , OL , CH , MH , OH , CL – ML , Pt

خاک AB 01 با توجه به اینکه درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ کوچک‌تر از ۵ درصد، ضریب یکنواختی

بزرگ‌تر یا مساوی ۴ و ضریب دانه‌بندی بین ۱-۳ و همچنین حد خمیری بزرگ‌تر از ۱۲ است بر اساس

سیستم طبقه‌بندی خاک به روش متحده (یونیفاید)، خاک AB01 در گروه شن خوب دانه‌بندی شده

دارای رس است. خاک AB 02 با توجه به اینکه درصد عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵-۱۲ و همچنین

حد خمیری بزرگ‌تر از ۱۲ است، بر اساس سیستم طبقه‌بندی خاک به روش متحده (یونیفاید)، خاک

AB 02 در گروه شن بد دانه‌بندی شده دارای رس است. خاک AB 01 در گروه GC-GW ، خاک

AB 02 در گروه GP-GC است.

۴-۱۱-۴- آزمایش چگالی نسبی خاک^{۱۶}

هدف از انجام این آزمایش، تعیین نسبت وزن مخصوص بخش جامد خاک به وزن مخصوص آب است و روش‌های انجام آزمایش چگالی ویژه را با استفاده از روش غوطه‌وری در آب و برای هر دو نوع خاک درشت‌دانه و ریزدانه ارائه می‌کند. تجربه نشان داده که انجام این آزمون بر روی خاک‌های درشت‌دانه برای تکنسین‌های ماهر و آزمایشگاه‌های آموزشی بسیار آسان‌تر است، درحالی‌که در مورد خاک‌های ریزدانه زمان بیشتری برای انجام آزمایش نیاز است. موضوع دیگر اینکه در آماده‌سازی مصالح ریزدانه جهت انجام آزمایش چگالی ویژه باید دقت بیشتری به کار گرفته شود.

روش تعیین چگالی نسبی در این آزمایش مربوط به خاک‌هایی است که از الک نمره ۲۰۰ عبور داده شده‌اند. این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM D 845-87 در وسیله‌ای به نام پیکنومتر بر اساس قانون ارشمیدس انجام می‌گردد. در این آزمایش از بطری حجم سنج ۲۵۰ mml مطابق شکل ۴-۱۳ استفاده شده است. بطری حجم سنج را پر آب نموده و درب آن بسته می‌شود، به طوری که هیچ هوایی در آن باقی نماند (می‌توان از حرارت شعله برای خروج هوا استفاده نمود) سپس وزن می‌شود. بعد از آن، بطری حجم سنج تخلیه و خاک خشک به اندازه ۲۵ گرم را در داخل آن ریخته می‌شود، به آرامی آب به آن اضافه می‌گردد و در حین اضافه نمودن باید هوای داخل خاک به خوبی تخلیه گردد (می‌توان از حرارت استفاده نمود) تا بطری حجم سنج کاملاً پر شود سپس در بطری حجم سنج گذاشته شده و مجموعاً وزن گردید. نتایج نهایی این آزمایش در جدول ۴-۷ نشان داده شده است.

جدول ۴-۷: نتایج آزمایش تعیین چگالی نسبی خاک

خاک	وزن بطری حجم سنج و وزن آب داخل آن برحسب گرم	وزن بطری و وزن خاک و وزن آب داخل آن برحسب گرم	وزن خاک خشک برحسب گرم	دمای آزمایش برحسب سلسیوس	GS
AB 01	۳۶۳	۳۷۸	۲۴	۱۹	۲/۲۷۶
AB 02	۳۶۶	۳۸۱	۲۴	۱۸	۲/۷۷۶

¹⁶ Specific Gravity of Soil Solids OR GS



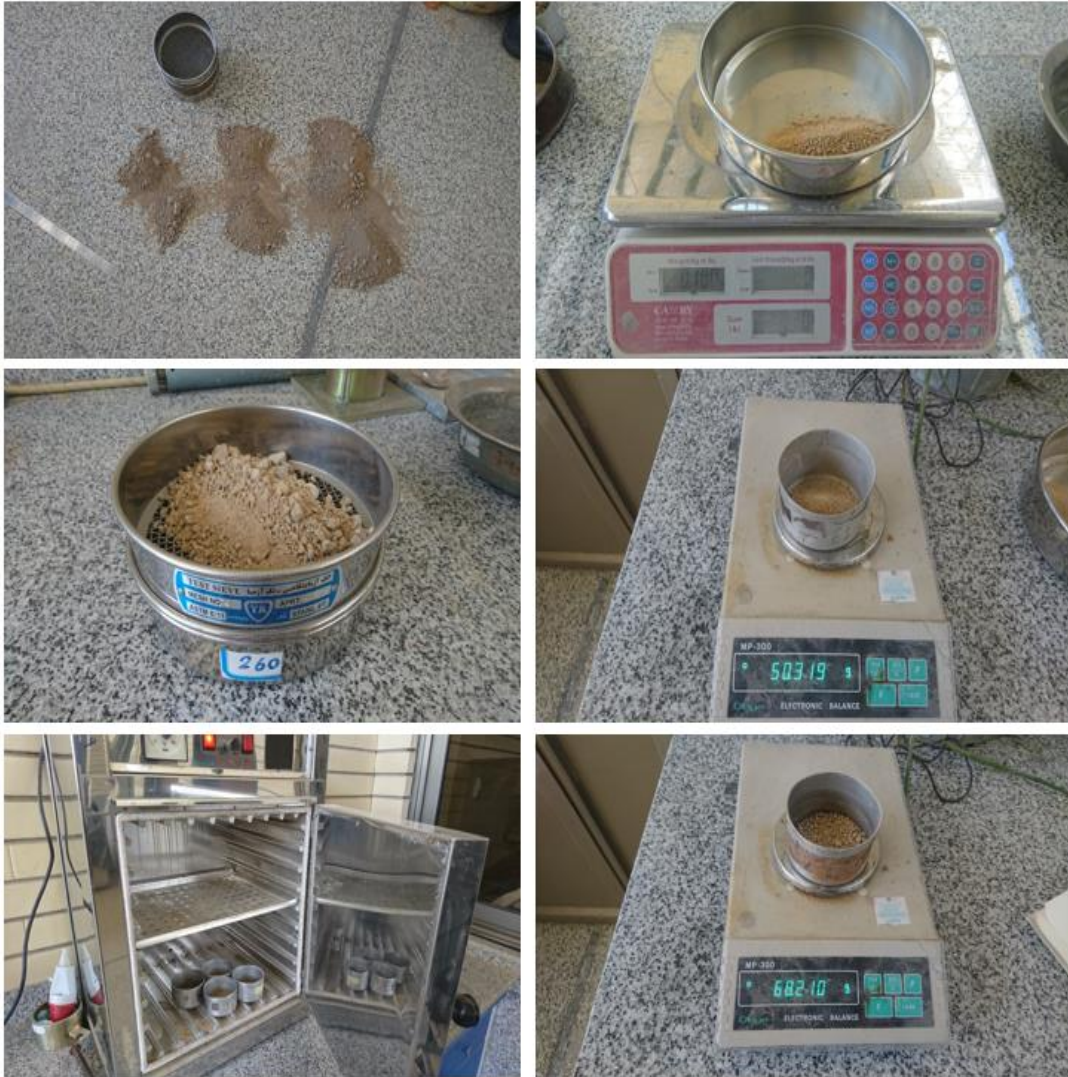
شکل ۴-۱۳: بطری حجم سنج ۲۵۰ mml استفاده شده

۴-۱۱-۵- آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک^{۱۷}

هدف از این آزمایش، تعیین درصد وزنی رطوبت در خاک نسبت به دانه‌های خشک است. این آزمایش برای تعیین درصد وزنی رطوبت خاک و سنگ بکار می‌رود. درصد رطوبت عبارت است از نسبت وزن آب موجود در یک توده خاک به وزن خشک همان توده خاک که به صورت درصد بیان می‌شود. در اکثر آزمایش‌های مکانیک خاک، لازم است درصد رطوبت خاک تعیین گردد. این آزمایش نمی‌تواند درصد رطوبت واقعی مصالحی که دارای مقدار قابل توجهی کانی‌های هالوزیت، مونت موریلونیت و گچ است (در صورت وجود گچ دمای گرمخانه نباید بیشتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد باشد) را به دست آورد. همچنین در مصالحی که آب درون منافذ آن‌ها دارای مقدار زیادی املاح محلول مثل کلرید سدیم (که در رسوبات دریایی وجود دارد) و یا مواد آلی هستند درصد رطوبت به دست آمده حقیقی نیستند. در خاک‌های ریزدانه (چسبنده) پایداری و مقاومت خاک بستگی به درصد رطوبت آن دارد و در این حالت رطوبت طبیعی خاک با نشان‌های حد روانی و حد خمیری مقایسه می‌شود. روش انجام آزمایش مطابق استاندارد ASTM D 2216-90 انجام گرفته است. در این آزمایش مطابق شکل ۴-۱۴ ابتدا برای انجام آزمایش نمونه مرطوب خاک عبور کرده از الک نمره ۴ برداشته شود، سپس وزن ظرف

¹⁷ Water content determination

خالی نمونه برداری توسط ترازو اندازه گیری و یادداشت پس از آن نمونه خاک مرطوب در ظرف قرار داده شد و وزن ظرف به همراه خاک مرطوب اندازه گیری شد. سپس بعد از وزن کردن ظرف به همراه نمونه مرطوب به مدت ۲۴ ساعت در گرمخانه قرار گرفت تا خشک شود وقتی نمونه کاملاً خشک شد، نمونه از گرمخانه خارج و وزن گردد.



شکل ۴-۱۴: الک کردن نمونه و وزن کردن نمونه و قرار دادن داخل گرمخانه

در این آزمایش درصد رطوبت خاک AB 01 برابر ۱/۱۶ درصد و درصد رطوبت خاک AB 02 برابر ۱/۳۴ درصد به دست آمد.

۴-۱۱-۶- آزمایش تراکم پروکتور

تراکم^{۱۸} عبارت است از کاهش دادن حجم خاک در اثر خارج ساختن هوا با استفاده از اعمال نیروی مکانیکی. در اثر عملیات تراکم نفوذ پذیری کاهش یافته و وزن واحد حجم خاک افزایش می یابد. همچنین این عملیات سبب افزایش اصطکاک بین ذرات و افزایش مقاومت برشی خاک می گردد. آبی که زمان متراکم ساختن خاک به آن افزوده می شود به عنوان ماده نرم کننده روی ذرات خاک عمل می کند. ذرات خاک با لغزش روی یکدیگر شکل متراکم تری به خود می گیرند. وزن مخصوص خشک خاک ابتدا با افزایش میزان رطوبت افزایش می یابد. فراتر از یک رطوبت مشخص، با افزایش میزان رطوبت، آب در فضاهایی جای می گیرد که ذرات جامد اشغال کرده اند بنابراین وزن مخصوص خشک کم می شود. میزان رطوبت که در آن حداکثر وزن مخصوص خشک حاصل می شود، معمولاً میزان رطوبت بهینه^{۱۹} نامیده می شود. هدف از این آزمایش به دست آوردن این رطوبت بهینه است که در آن حداکثر وزن مخصوص^{۲۰} حاصل شود. آزمایش تراکم استاندارد بر اساس استاندارد ASTM D 698-78 انجام گرفت. برای انجام این آزمایش روش های مختلفی وجود دارد. خلاصه ای از این روش ها در جدول ۴-۸ نشان داده شده است.

جدول ۴-۸: روش های مختلف آزمایش تراکم [۹۸]

تراکم اصلاح شده		تراکم استاندارد		نوع آزمایش
کوچک	بزرگ	کوچک	بزرگ	نوع قالب
۱۵	۱۰	۱۵	۱۰	قطر قالب (cm)
۱۲	۱۱/۵	۱۲	۱۱/۵	ارتفاع قالب (cm)
۵	۵	۳	۳	تعداد لایه ها
۴۵	۴۵	۳۰	۳۰	ارتفاع سقوط (cm)
۵۴/۴	۵۴/۴	۲۲/۲	۲۲/۲	وزن کوبه (kg)
۶۵	۲۵	۶۵	۲۵	تعداد ضربه در لایه

¹⁸ Compaction

¹⁹ Optimum water content

²⁰ Maximum dry density

آزمایش تراکم در این پژوهش به روش تراکم استاندارد و با قالب کوچک انجام گرفت. بدین منظور ۲ کیلوگرم خاک عبوری از الک نمره چهار رطوبت اولیه‌ای داده شد. سپس درون قالب در ۳ لایه ریخته و به هر لایه ۲۵ ضربه وارد شد. سپس قالب به همراه خاک وزن گردید. با معلوم بودن وزن قالب و وزن خاک به دست آمد؛ و با معلوم بودن حجم قالب و وزن خاک وزن مخصوص مرطوب خاک حاصل شد و با استفاده از معادله ۴-۱ وزن مخصوص خشک محاسبه گردید. همچنین رطوبت خاک نیز در این مرحله اندازه‌گیری شد.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$$

معادله ۴-۱

w = درصد رطوبت γ = وزن مخصوص مرطوب خاک γ_d = وزن مخصوص خشک خاک

سپس رطوبت مجددی به خاک اضافه گشته و آزمایش تکرار شد. در شکل ۴-۱۵ این آزمایش نشان داده شده است.

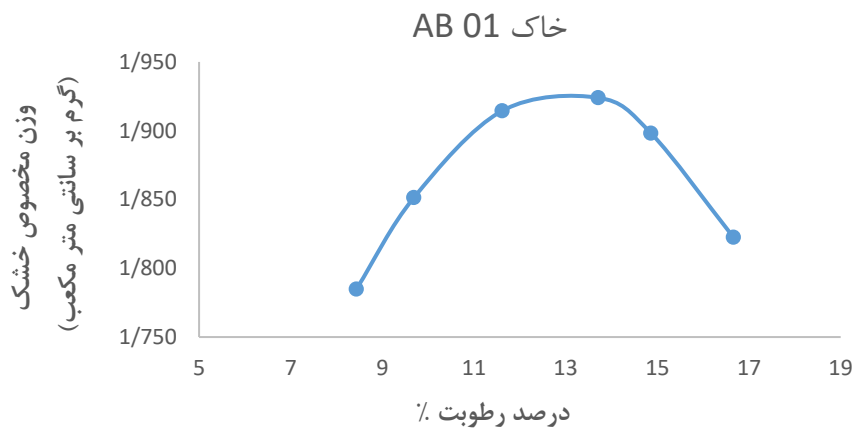


شکل ۴-۱۵: وزن کردن خاک و کوبیدن خاک در سه لایه و قالب تراکم و قرار دادن نمونه در گرمخانه در آزمایش تراکم استاندارد

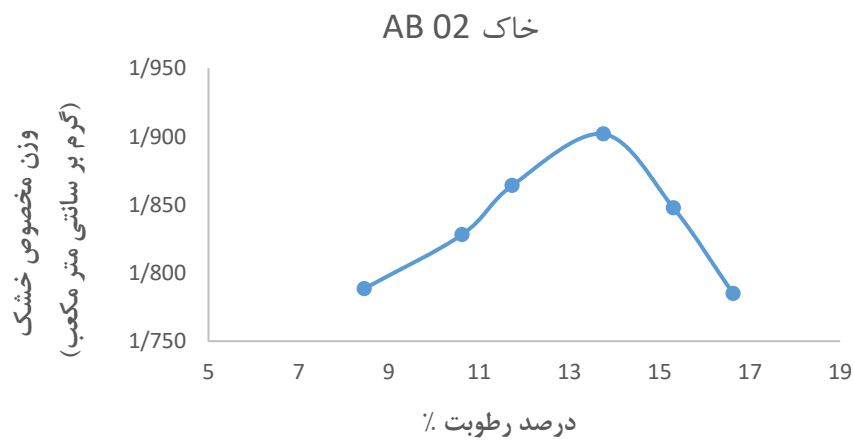
نتایج آزمایش تراکم تراکتور برای دو خاک AB 01 و AB 02 به صورت جدول ۹-۴ و شکل ۱۶-۴ و شکل ۱۷-۴ است.

جدول ۹-۴: نتایج آزمایش تراکم پراکتور برای دو خاک AB 01 ، AB 02

مقدار	روش آزمایش	ویژگی	خاک
۱۳ %	ASTM D 698-78	رطوبت بهینه	AB 01
$1/927 \frac{gr}{cm^3}$	ASTM D 698-78	وزن مخصوص خشک	
۱۳/۷ %	ASTM D 698-78	رطوبت بهینه	AB 02
$1/902 \frac{gr}{cm^3}$	ASTM D 698-78	وزن مخصوص خشک	



شکل ۱۶-۴: آزمایش تراکم برای خاک AB 01



شکل ۱۷-۴: آزمایش تراکم برای خاک AB 02

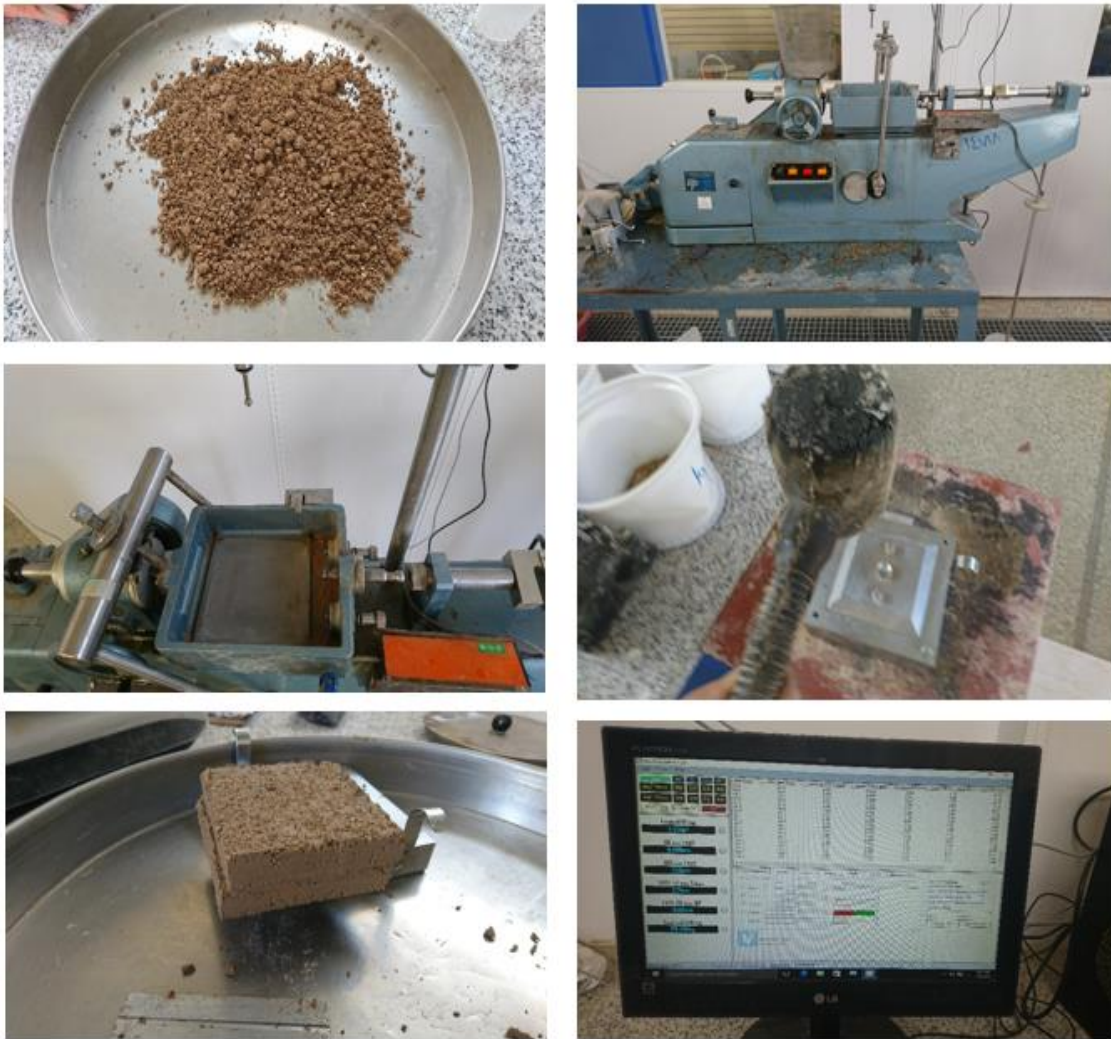
۴-۱۱-۷- آزمایش برش مستقیم^{۲۱}

در نخستین سال‌های پیدایش علم مکانیک خاک، آزمایش برش مستقیم معمول‌ترین آزمایش برای تعیین پارامترهای برشی خاک بود. طبق نظریه موهر کلمب تنش قائم و برش حداکثر هیچ‌یک به‌تنهایی سبب گسیختگی خاک نمی‌شوند بلکه ترکیبی بحرانی از آن‌هاست که گسیختگی خاک را باعث می‌شود. هدف از این آزمایش تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک است که این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM D 3080-90 انجام گرفت. در این آزمایش مطابق شکل ۴-۱۸ ابتدا خاک را آماده کرده و سپس با اضافه نمودن رطوبت موردنظر و بر اساس حجم قالب که ۳۵۰ سانتی‌متر مکعب و وزن مخصوص ماکزیمم خاک، وزن کل خاک محاسبه گردید. سپس این وزن در قالب مخصوص برش کوبیده و آماده شد. آزمایش برش تحت سربار ۱۰، ۲۰، ۳۰ کیلوگرم انجام گرفت. قرائت جابجایی افقی و عمودی با استفاده از LVDT در سیستم ثبت شد و قرائت جابجایی تا ۹ میلی‌متر در سیستم ثبت شد. سرعت بارگذاری ۰/۹ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. درنهایت نمودار تنش کرنش تا جابه‌جایی ۷ میلی‌متر رسم گردید. نمودار تنش بر اساس سربار نیز بر اساس تنش نهایی در هر مرحله رسم گردید و بر اساس آن چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) محاسبه گردید. نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 01 و AB 02 مطابق جدول ۴-۱۰ و شکل ۴-۱۹ و شکل ۴-۲۰ است.

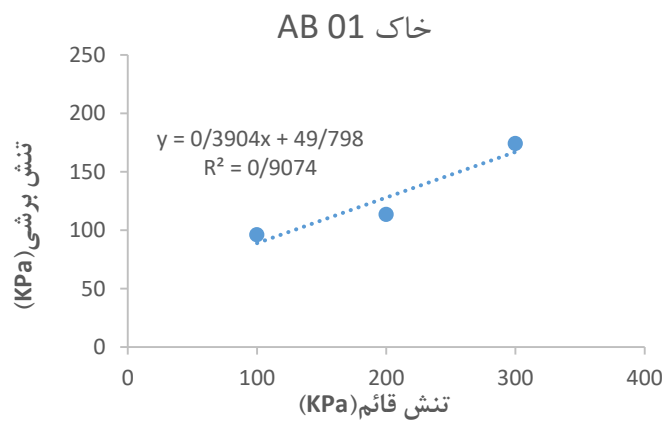
جدول ۴-۱۰: نتایج آزمایش برش مستقیم برای هر دو خاک

مقدار	روش آزمایش	خاک
۴۹/۷۹ KPa	چسبندگی (C)	AB 01
۲۱/۲۳ °	زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	
۵۷/۸۲ KPa	چسبندگی (C)	AB 02
۲۷/۲۷ °	زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	

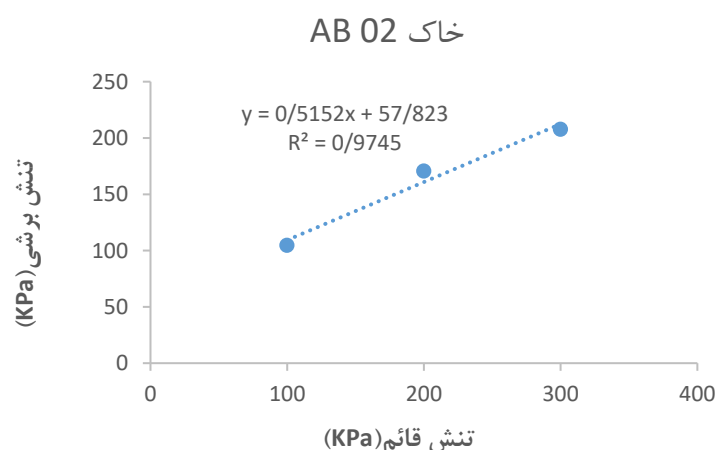
²¹ Direct Shear test



شکل ۴-۱۸: آزمایش برش مستقیم و قالب نمونه و دستگاه برش مستقیم



شکل ۴-۱۹: تنش قائم بر تنش برشی خاک AB 01



شکل ۴-۲۰: تنش قائم بر تنش برشی خاک AB 02

۴-۱۱-۸- آزمایش فشاری تک محوری

هدف از این آزمایش تعیین تقریبی و سریع مقاومت فشاری تک محوری خاکها است. مقاومت فشاری تک محوری عبارت است از مقدار باری که بر واحد سطح نمونه استوانه‌ای شکل خاک وارد می‌شود تا باعث شکست آن گردد. این آزمایش بر اساس استاندارد ASTM D 2166-87 انجام گرفت. برای انجام این آزمایش نمونه بر اساس روش تهیه نمونه‌های دست ساز دوباره بازسازی شد. بدین منظور با اندازه‌گیری ارتفاع و قطر قالب، حجم قالب آزمایش تک محوری ۱۹۷ سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد. با توجه به وزن مخصوص خاک و درصد رطوبت مورد نظر وزن کل خاک محاسبه گردید. این خاک در پنج لایه همراه با ۲۵ ضربه کوبیده و مطابق شکل ۴-۲۱ آماده شد. پس از عمل‌آوری نمونه خاک، تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفت. این آزمایش بر اساس دو شیوه انجام می‌گیرد روش اول کرنش کنترل شده که بر مبنای آن میزان تنش در کرنش‌های مشخص قرائت می‌شود و روش دوم بر اساس تنش کنترل شده که کرنش در تنش‌های مشخص قرائت می‌گردد. شیوه انتخاب شده در این آزمایش روش کرنش کنترل شده است. سرعت بارگذاری ۴/۵ میلی‌متر بر دقیقه با توجه به تجربیات اساتید راهنما انتخاب گردید. طول و قطر نمونه در ابتدا اندازه‌گیری شد. سپس نمونه در زیر جک قرار گرفت. قرائت تنش‌ها و کرنش با استفاده از سنسور LVDT انجام گرفت، میزان تنش‌ها و کرنش‌ها در سیستم ثبت گردید. همچنین این آزمایش ۳ بار تکرار و میانگین گرفته در نهایت مطابق شکل ۴-۲۲ و

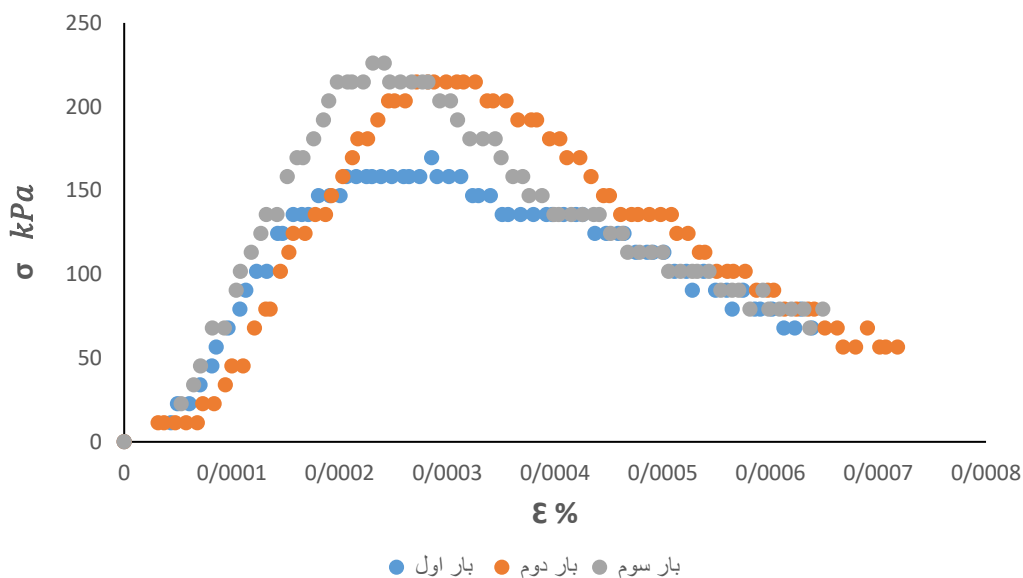
شکل ۴-۲۳، نمودار تنش و کرنش رسم گردید و نتایج مطابق جدول ۴-۱۱ ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۴-۱۱: نتایج آزمایش تک محوره

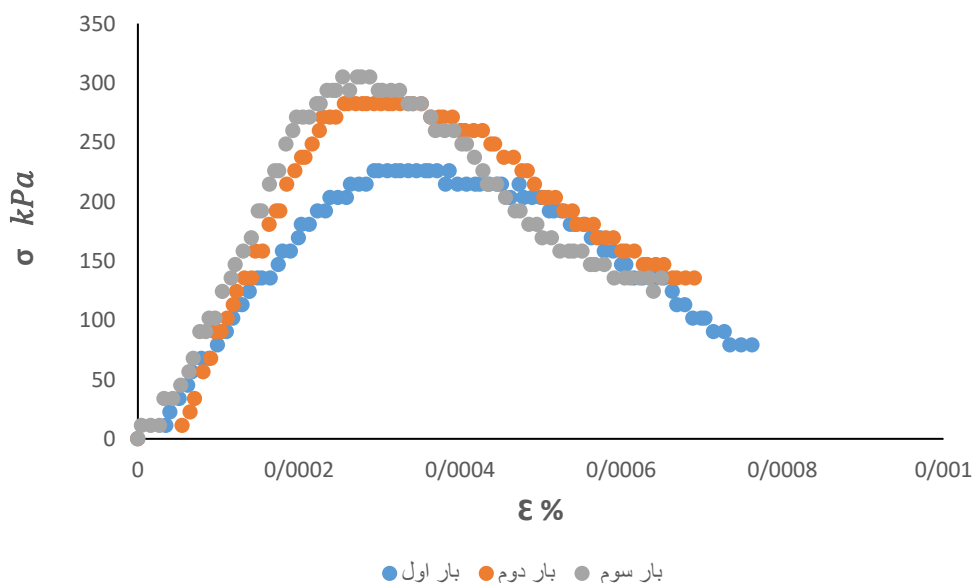
خاک	بار اول	بار دوم	بار سوم	روش آزمایش	میانگین
AB 01	۱۶۹/۴۲ <i>kPa</i>	۲۱۴/۵۹ <i>kPa</i>	۲۲۵/۸۹ <i>kPa</i>	ASTM D2166	۲۰۳/۳ <i>kPa</i>
AB 02	۲۲۵/۸۹ <i>kPa</i>	۲۸۲/۳۶ <i>kPa</i>	۳۰۴/۹۵ <i>kPa</i>	ASTM D2166	۲۷۱/۰۶ <i>kPa</i>



شکل ۴-۲۱: آزمایش تک محوره آماده سازی نمونه و کوبیدن خاک در ۵ لایه همراه ۲۵ ضربه و قرار دادن نمونه در زیر جک



شکل ۴-۲۲: تنش و کرنش خاک AB 01



شکل ۴-۲۳: تنش و کرنش خاک AB 02

۱۲-۴- خلاصه آزمایش‌های اولیه

در این قسمت تمام آزمایش‌های اولیه که شامل آزمایش دانه‌بندی و آزمایش حدود آتربرگ که شامل حد روانی و حد خمیری و آزمایش درصد رطوبت و آزمایش چگالی نسبی خاک و آزمایش برش مستقیم و آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره به‌صورت جدول ۴-۱۲ خلاصه‌شده است.

جدول ۴-۱۲: خلاصه آزمایش‌های شناسایی اولیه

شماره	آزمایش‌ها	خاک AB 01	خاک AB 02
۱	طبقه‌بندی USCS خاک	GC-GW	GP-GC
۲	آزمایش چگالی نسبی خاک (G_s)	۲/۶۷۲	۲/۶۷۷
۳	آزمایش دانه‌بندی (الک)		
	Gravel content% (۲۵ تا ۴/۷۵ میلی‌متر)	۷۱/۰۹	۶۱/۹۶
	Sand content% (۴,۷۵ تا ۰/۰۷۵ میلی‌متر)	۲۸/۷۵	۲۶/۵۹
	Silt and clay content% (زیر ۰/۰۷۵ میلی‌متر)	۰/۱۵	۱۱/۴۵
۴	آزمایش حدود اتربرگ (خاک عبوری از الک شماره ۴۰)		
	حد روانی (%)	۳۳/۰۲	۳۷/۴۶
	حد خمیری (%)	۲۰/۴۷	۲۰/۷۷
	شاخص خمیری (%)	۱۲/۵۵	۱۶/۶۹
۵	آزمایش درصد رطوبت اولیه	۱/۱۶	۱/۳۴
۶	آزمایش تراکم استاندارد (خاک عبوری از الک شماره ۴)		
	حداکثر وزن مخصوص خشک ($\frac{gr}{cm^3}$)	۱/۹۲۷	۱/۹۰۲
	درصد رطوبت بهینه (%)	۱۳	۱۳/۷۰
۷	آزمایش برش مستقیم (خاک عبوری از الک شماره ۴)		
	چسبندگی (Kpa)	۴۹/۷۹	۵۷/۸۲
	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	۲۱/۳۳	۲۷/۲۷
۸	آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره Kpa (خاک عبوری از الک شماره ۴)	۲۰۳/۳	۲۷۱/۰۶۶

۴-۱۳- آزمایش‌های اصلی

۴-۱۳-۱- آزمایش تراکم استاندارد

منظور از تراکم، کاهش تخلخل خاک است که در نتیجه درهم رفتن دانه‌های خاک، شکستن و خم شدن آن‌ها صورت می‌گیرد. وجود آب باعث تسهیل عمل تراکم می‌گردد که همه در اثر انرژی وارد به خاک به وجود می‌آید. در بسیاری از سازه‌های خاکی، مثل سدها، دیوارهای حائل، بزرگراه‌ها، فرودگاه‌ها و غیره، متراکم کردن خاک یک امر ضروری جهت بهبود مقاومت خاک است. متراکم نمودن خاک که عبارت است از قرار دادن خاک در یک موقعیت چگال‌تر، به دلیل کاهش نشست‌ها در آینده، افزایش مقاومت برشی، کاهش نفوذپذیری، بهبود ویژگی‌های مکانیک خاک‌ها، است [۹۸].

۴-۱۳-۱-۱- تئوری آزمایش

آب در خاک، به‌ویژه خاک‌های ریزدانه نقش مهمی را بازی می‌کند. وقتی آب به خاک خشک اضافه می‌شود، ذرات خاک یک‌لایه نازک از آب را جذب سطحی می‌کنند. در اثر اضافه کردن بیشتر آب، این لایه‌های نازک ضخیم‌تر شده اجازه می‌دهند ذرات خاک راحت‌تر روی یکدیگر بغلتند. این مرحله اغلب روغن کاری نامیده می‌شود. تا وقتی ضخامت این لایه‌های نازک آب روی ذرات درشت، در مقایسه با قطر ذرات قابل توجه نباشد، تأثیر عمل روغن کاری تنها به ذرات ریزدانه خاک محدود می‌شود. به همین خاطر اضافه کردن مقداری آب به خاک خشک به عمل متراکم کردن خاک کمک می‌کند. در عمل متراکم کردن، آب اضافه شده جایگزین هوایی می‌شود که در خلل و فرج خاک وجود دارد. ولی بعد از رسیدن به درصد بالایی از اشباع، آب فضاهایی را که می‌تواند توسط ذرات خاک پر شود را اشغال می‌کند و مقدار هوای محبوس شده در خاک اساساً ثابت می‌ماند. اگر میزان آب از حد معینی بیشتر شود، آب انرژی واردشده را بدون تغییر شکل جذب کرده و مانع از آن می‌شود که انرژی به دانه‌های خاک واردشده، آن‌ها را جابجا کند. بنابراین یک مقدار بهینه آب برای خاک موردنظر و عمل تراکمی که حداکثر وزن مخصوص خشک می‌دهد، وجود دارد. هدف از انجام آزمایش تراکم پیدا کردن این مقدار بهینه آب است [۹۸].

۴-۱۳-۱-۲- روش انجام آزمایش

جهت تعیین حداکثر وزن مخصوص خشک خاک و رطوبت بهینه بر روی نمونه‌های خاک بدون ماده افزودنی و مخلوط شده با درصد معین وزنی از ماده‌های افزودنی آزمایش تراکم استاندارد طبق استاندارد ASTM D 698-78 انجام گردید. در صدهای ماده افزودنی ملاس چغندر قند ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ و ماده افزودنی لیگنوسولفونات کلسیم ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ماده افزودنی نانو رس مونت موریلونیت ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ برای هر دو خاک بود. در این آزمایش یک نمونه ۲ کیلوگرمی از خاکی که از الک شماره ۴ عبور داده، آماده شد. همه کلوخه‌های خاک در یک هاون توسط چکشی خرد شده، خاک مورد نظر به ۳ قسمت مساوی تقسیم شد. یک قسمت از خاک درون قالب ریخته شد و با ۲۵ ضربه توسط چکش متراکم گردید. بین هر سقوط چکش، هم قالب و هم چکش به خاطر پخش یکنواخت ضربات در تمام سطح نمونه به آرامی چرخانده شدند. سپس به وسیله یک خط‌کش لبه تیز سطح نمونه داخل قالب کاملاً صاف شده و قالب به همراه نمونه داخل آن توزین شد. خاک از درون قالب خارج شده و مقداری خاک جهت تعیین مقدار آب برداشته و داخل آون قرار داده شد. مقدار آب از روی نمونه‌هایی که از قسمت‌های بالا، وسط و ته خاک متراکم شده به دست آمده، تعیین شد. خاک از داخل قالب خارج، با دست خرد، با نمونه اصلی مخلوط شد، مقدار آب حدود ۵٪ با اضافه کردن آب به وسیله لیوان افزایش داده شد. عمل متراکم کردن تکرار شد و هر بار مقدار آب حدود ۵٪ افزایش داده، ۵ تا ۶ بار این عمل انجام شود، تا جایی که خاک خیلی مرطوب و چسبیده شود. برای نمونه‌ها ابتدا ماده افزودنی به خاک اضافه شد و سپس خاک با آب مخلوط شده، به طوری که یک مخلوط کاملاً همگن ایجاد شد. بعد از طی این زمان آزمایش تراکم انجام شد.

۴-۱۳-۱-۳- نتایج آزمایش تراکم استاندارد برای خاک AB 01

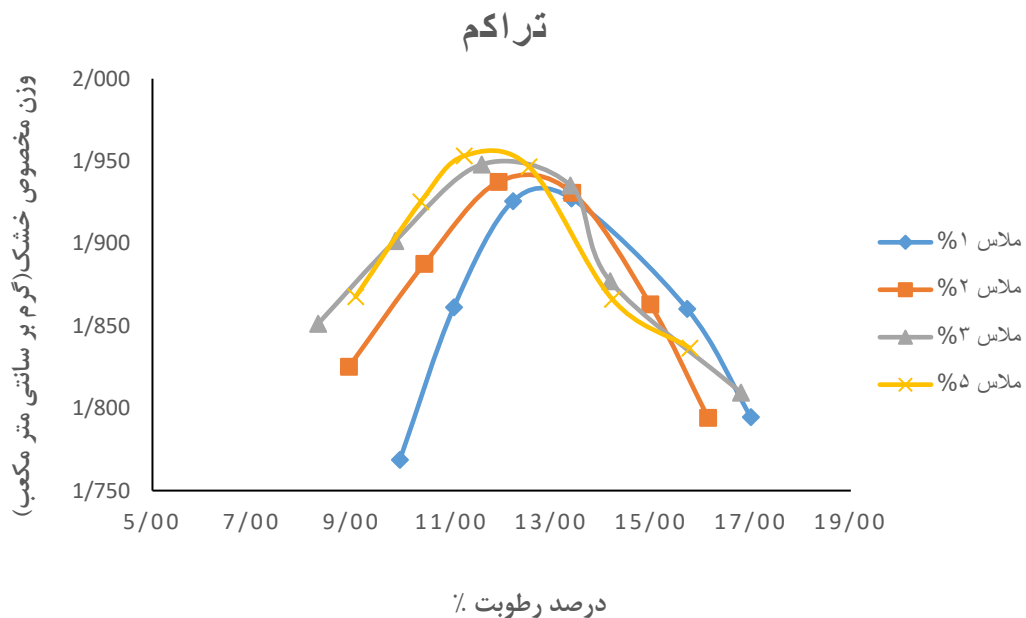
در این قسمت نتایج آزمایش تراکم استاندارد یعنی مقدار حداکثر وزن مخصوص خشک و درصد رطوبت بهینه برای سه ماده افزودنی با درصدهای ماده افزودنی ملاس چغندر قند ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ و ماده افزودنی لیگنوسولفونات کلسیم ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ماده افزودنی نانو رس مونت

موریلونیت ۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۰۷۵، ۰/۰۱ نشان داده شد.

نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند با درصدهای ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵ در شکل ۴-۲۴ و همچنین در جدول ۴-۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۳: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصدهای ملاس چغندر قند

ماده افزودنی	حداکثر وزن مخصوص خشک (gr/cm^3)	درصد رطوبت بهینه
خاک AB 01	۱/۹۲۷	۱۳
ملاس ۰/۱	۱/۹۳۲	۱۲/۸
ملاس ۰/۲	۱/۹۴۲	۱۲/۵
ملاس ۰/۳	۱/۹۵۰	۱۲
ملاس ۰/۵	۱/۹۵۵	۱۱/۶



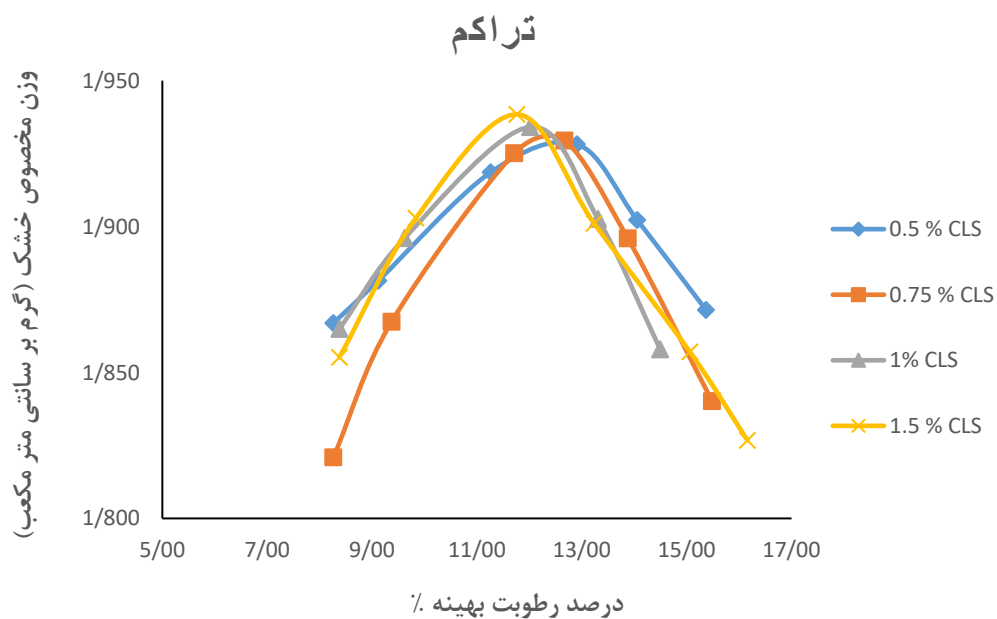
شکل ۴-۲۴: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصدهای ملاس چغندر قند

نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن کلسیم لیگنوسولفونات (CLS) با درصدهای ۰/۵٪،

۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ در شکل ۴-۲۵ و همچنین در جدول ۴-۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۴: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصدهای لیگنوسولفونات کلسیم (CLS)

درصد رطوبت بهینه	حداکثر وزن مخصوص خشک (gr/cm^3)	ماده افزودنی
۱۳	۱/۹۲۷	خاک AB 01
۱۲/۸	۱/۹۲۹	CLS 0/5%
۱۲/۴۵	۱/۹۳۱	CLS 0/75%
۱۲/۱	۱/۹۳۵	CLS 1%
۱۱/۸	۱/۹۳۹	CLS 1/5%

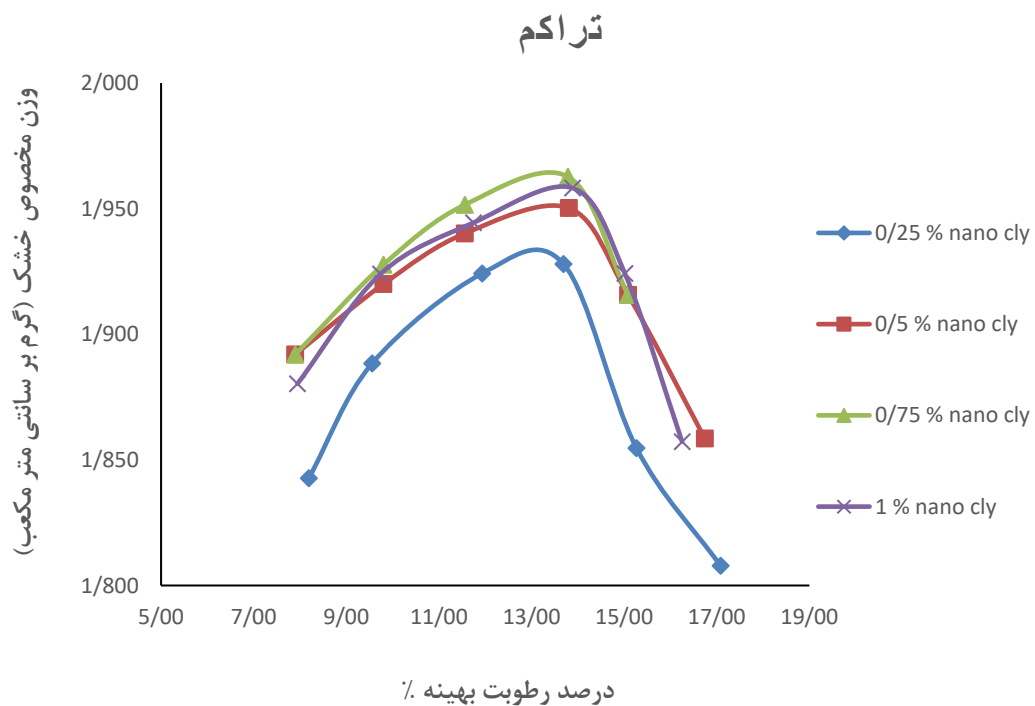


شکل ۴-۲۵: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصدهای کلسیم لیگنوسولفونات (CLS)

نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ در جدول ۴-۱۵ و همچنین در شکل ۴-۲۶ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۵: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصدهای نانو رس مونت موریلونیت

درصد رطوبت	وزن مخصوص خشک (gr/cm^3)	ماده افزودنی
۱۳	۱/۹۲۷	خاک AB 01
۱۳/۱۵	۱/۹۳۲	0/25% nano clay
۱۳/۳	۱/۹۴۳	0/5% nano clay
۱۳/۵	۱/۹۵۱	0/75% nano clay
۱۳/۷	۱/۹۵۸	1% nano clay



شکل ۴-۲۶: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 01 با افزودن درصدهای نانو رس مونت موریلونیت

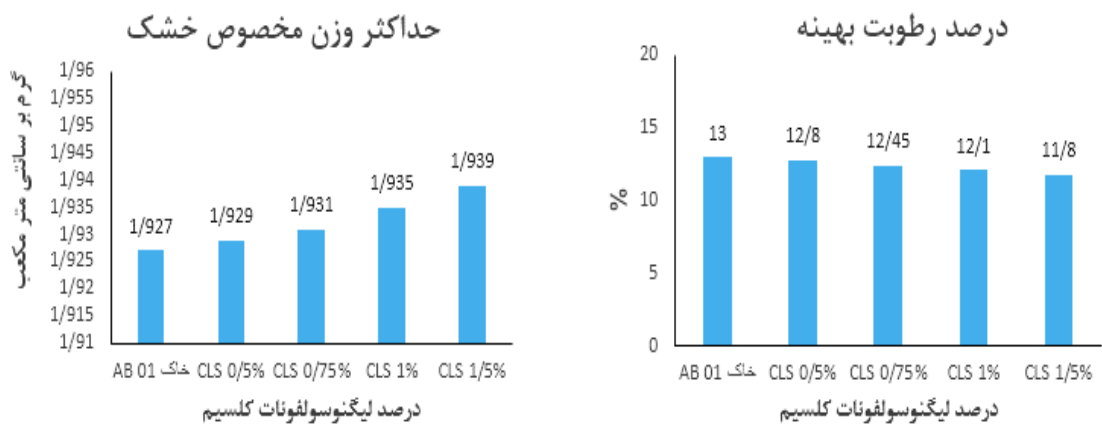
۴-۱۳-۱-۴- بحث در مورد نتایج آزمایش تراکم برای خاک AB 01

شکل ۴-۲۷ حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک تحت تأثیر ملاس چغندر قند با درصد‌های وزنی ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزودن ملاس چغندر قند، وزن واحد حجم خشک حداکثر افزایش و درصد رطوبت بهینه کاهش یافت. به طوری که افزودن ۰.۵٪ ملاس چغندر قند باعث افزایش وزن واحد حجم خشک حداکثر به میزان ۱/۹۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کاهش درصد رطوبت بهینه به میزان ۱۱/۶ درصد شده است.

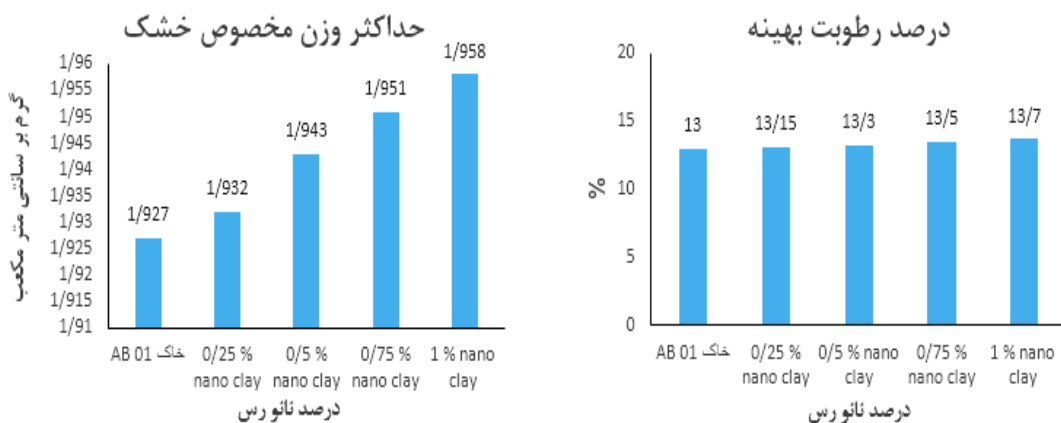


شکل ۴-۲۷: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصد‌های ملاس چغندر قند

شکل ۴-۲۸ حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک تحت تأثیر لیگنوسولفونات کلسیم با درصد‌های وزنی ۰.۰۵٪، ۰.۱٪، ۰.۱۷۵٪، ۰.۱٪، ۰.۱۵٪ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزودن کلسیم لیگنوسولفونات، وزن واحد حجم خشک حداکثر افزایش و رطوبت بهینه کاهش یافت. به طوری که افزودن ۰.۱۵٪ لیگنوسولفونات کلسیم باعث افزایش وزن واحد حجم خشک حداکثر به میزان ۱/۹۳۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کاهش درصد رطوبت بهینه به میزان ۱۱/۸ درصد شده است. این امر ممکن است بر اساس فرآیند واکنش الکترواستاتیک لیگنوسولفونات کلسیم وقتی آب اضافه می‌شود، رخ می‌دهد.



شکل ۴-۲۸: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصدهای لیگنوسولفونات کلسیم
 شکل ۴-۲۹: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک تحت تأثیر نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزودن نانو رس مونت موریلونیت، وزن واحد حجم خشک حداکثر افزایش و رطوبت بهینه افزایش یافت. همچنین مشاهده می شود با اضافه کردن نانو رس با افزایش جذب آب همراه است که با افزایش درصد نانو رس این مقدار نیز افزایش می یابد. نتایج نشان دهنده این است که نانو رس نسبت به دو ماده دیگر سبب افزایش درصد رطوبت بهینه در هر دو خاک می شود که این می تواند به خاطر سطح ویژه نانو رس باشد که آب بیش تری جذب کرده و در نتیجه رطوبت بهینه افزایش می یابد.



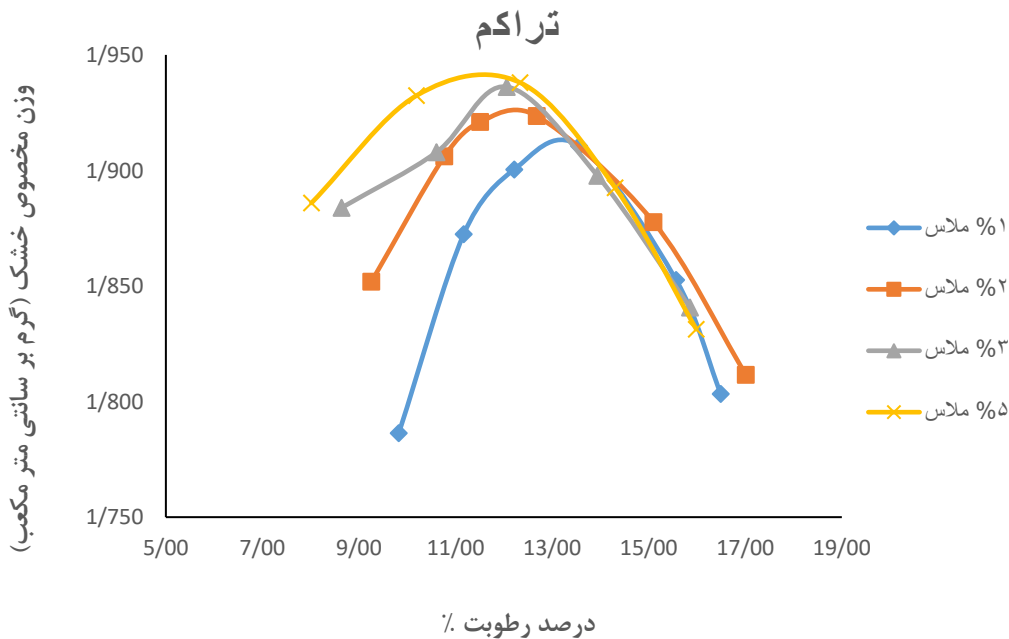
شکل ۴-۲۹: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصدهای نانو رس مونت موریلونیت

۴-۱۳-۵- نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02

نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن ملاس چغندر قند با درصدهای ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ در شکل ۴-۳۰ و همچنین در جدول ۴-۱۶ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۶: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصدهای ملاس چغندر قند

ماده افزودنی	حداکثر وزن مخصوص خشک (gr/cm^3)	درصد رطوبت بهینه
خاک AB 02	۱/۹۰۲	۱۳/۷
ملاس ۱٪	۱/۹۱۴	۱۳/۲
ملاس ۲٪	۱/۹۲۶	۱۲/۴۵
ملاس ۳٪	۱/۹۳۶	۱۲
ملاس ۵٪	۱/۹۴۲	۱۱/۶

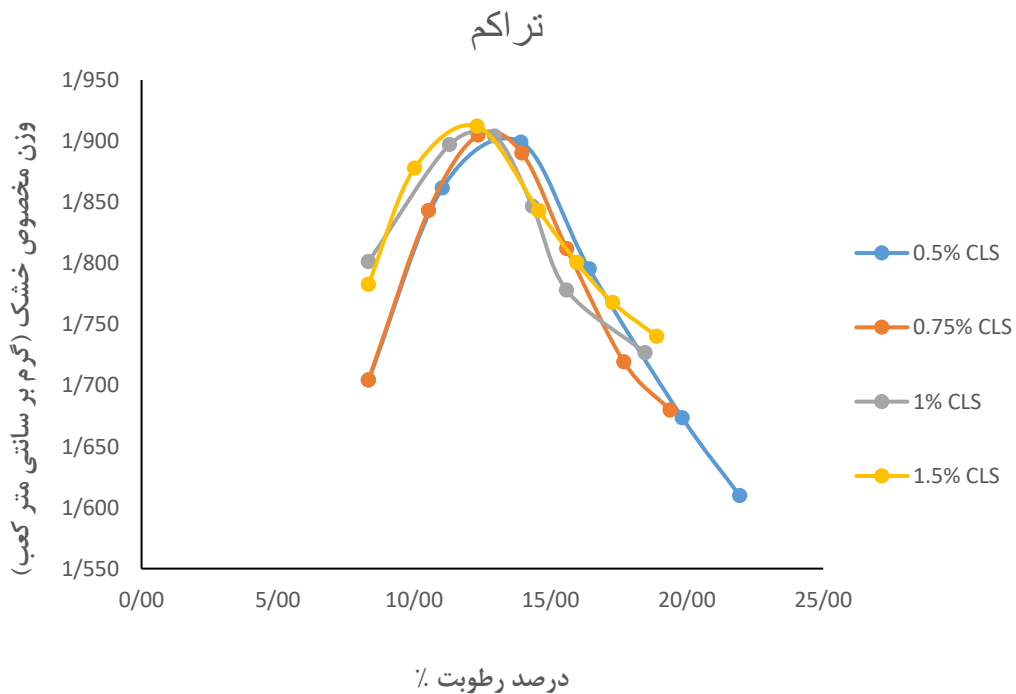


شکل ۴-۳۰: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصدهای ملاس چغندر قند

نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن کلسیم لیگنوسولفونات (CLS) با درصدهای ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ در شکل ۴-۳۱ و همچنین در جدول ۴-۱۷ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۷: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصدهای لیگنوسولفونات کلسیم (CLS)

ماده افزودنی	حداکثر وزن مخصوص خشک (gr/cm^3)	درصد رطوبت بهینه
خاک AB 02	۱/۹۰۲	۱۳/۷
CLS 0/5%	۱/۹۰۴	۱۳/۲
CLS 0/75%	۱/۹۰۶	۱۲/۸
CLS 1%	۱/۹۰۹	۱۲/۴۵
CLS 1/5%	۱/۹۱۴	۱۲

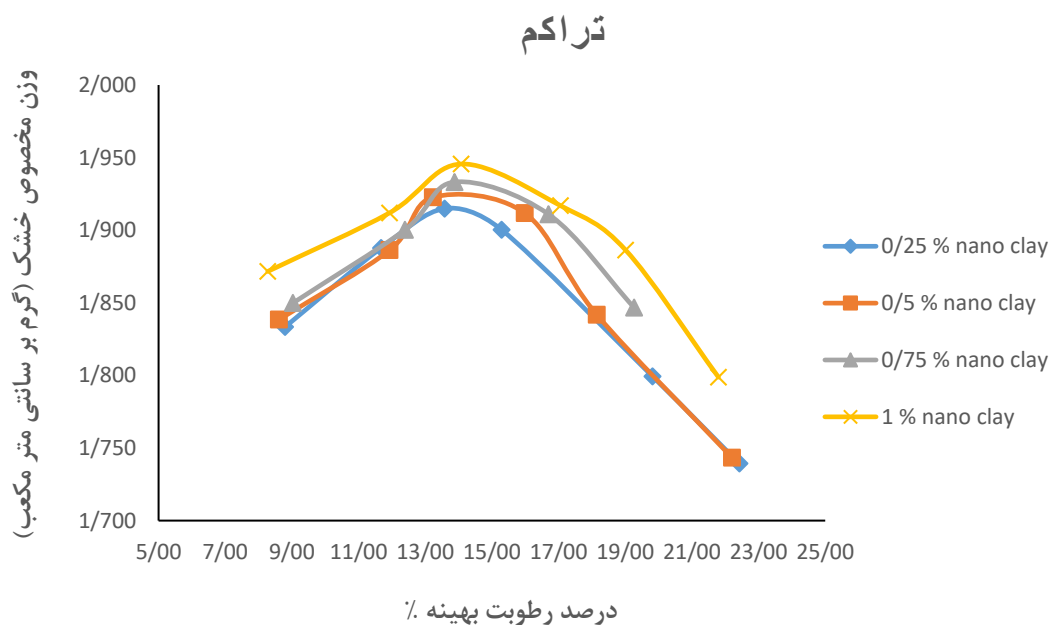


شکل ۴-۳۱: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصدهای لیگنوسولفونات کلسیم (CLS)

نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ در جدول ۴-۱۸ و همچنین در شکل ۴-۳۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۸: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصدهای نانو رس مونت موریلونیت

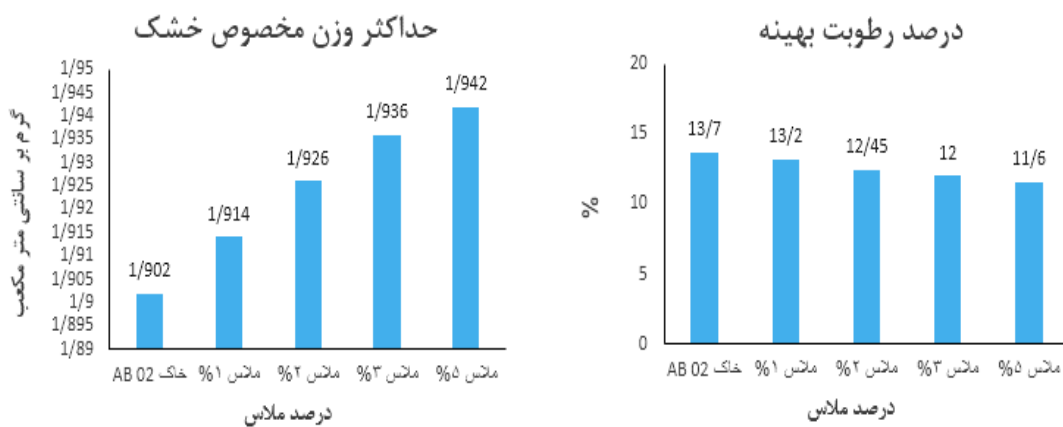
درصد رطوبت	وزن مخصوص خشک (gr/cm^3)	ماده افزودنی
۱۳/۷	۱/۹۰۲	خاک AB 02
۱۳/۸۵	۱/۹۱۷	0/25% nano clay
۱۴	۱/۹۲۴	0/5% nano clay
۱۴/۱۵	۱/۹۳۴	0/75% nano clay
۱۴/۳۰	۱/۹۴۷	1% nano clay



شکل ۴-۳۲: نتایج آزمایش تراکم خاک AB 02 با افزودن درصدهای نانو رس مونت موریلونیت

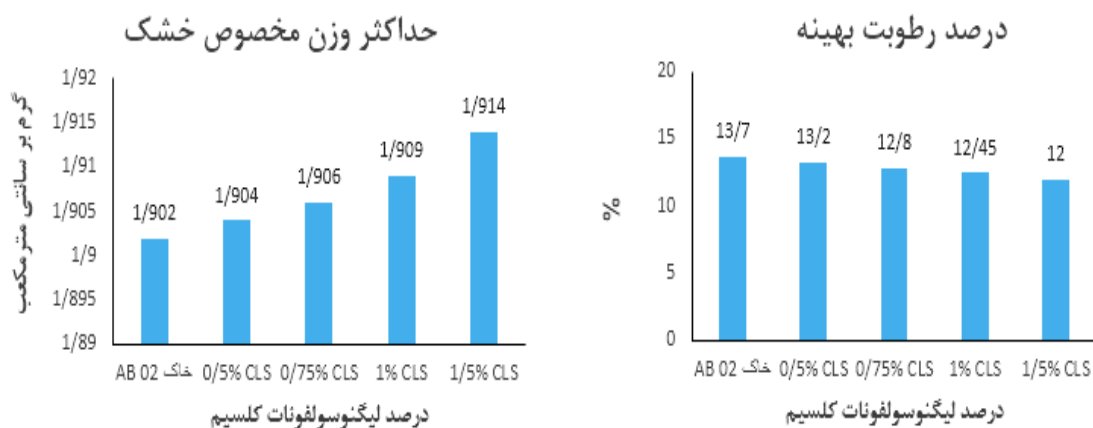
۴-۱-۳-۶- بحث در مورد نتایج آزمایش تراکم برای خاک AB 02

شکل ۴-۳۳ حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک تحت تأثیر ملاس چغندر قند با درصد‌های وزنی ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزودن ملاس چغندر قند، وزن واحد حجم خشک حداکثر افزایش و درصد رطوبت بهینه کاهش یافت. به طوری که افزودن ۵٪ ملاس چغندر قند باعث افزایش وزن واحد حجم خشک حداکثر به میزان ۱/۹۴۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کاهش درصد رطوبت بهینه به میزان ۱۱/۶ درصد شده است.



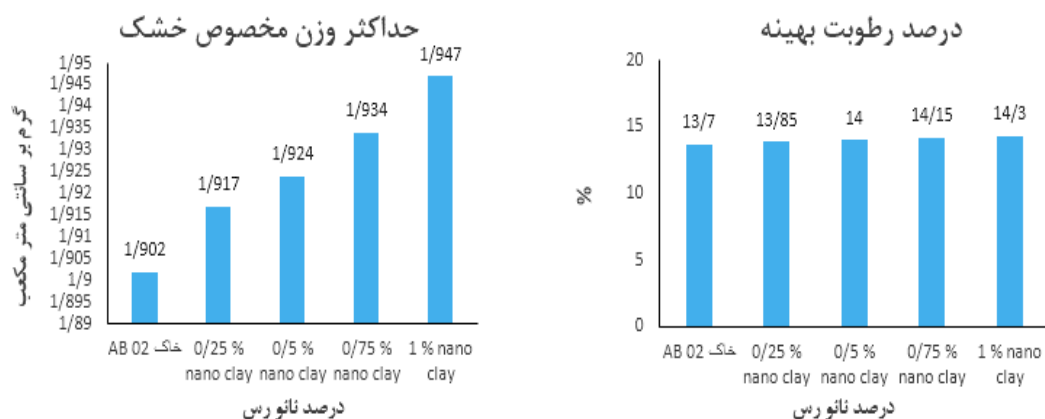
شکل ۴-۳۳: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB02 تحت تأثیر درصد‌های ملاس چغندر قند

شکل ۴-۳۴ حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک تحت تأثیر لیگنوسولفونات کلسیم با درصد‌های وزنی ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزودن کلسیم لیگنوسولفونات، وزن واحد حجم خشک حداکثر افزایش و رطوبت بهینه کاهش یافت. به طوری که افزودن ۱/۵٪ لیگنوسولفونات کلسیم باعث افزایش وزن واحد حجم خشک حداکثر به میزان ۱/۹۱۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و کاهش درصد رطوبت بهینه به میزان ۱۲ درصد شده است.



شکل ۴-۳۴: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصدهای لیگنوسولفونات کلسیم

شکل ۴-۳۵: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک تحت تأثیر نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزودن نانو رس مونت موریلونیت، وزن واحد حجم خشک حداکثر افزایش و رطوبت بهینه افزایش یافت. به طوری که افزودن ۱٪ نانو رس مونت موریلونیت باعث افزایش وزن واحد حجم خشک حداکثر به میزان ۱/۹۴۷ گرم بر سانتی متر مکعب و افزایش درصد رطوبت بهینه به میزان ۱۴/۳ درصد شده است.



شکل ۴-۳۵: حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک AB01 تحت تأثیر درصدهای نانو رس مونت

موریلونیت

۴-۱۳-۲- آزمایش برش مستقیم

مقاومت خاک در قسمت های مختلف منحنی که معرف معیار گسیختگی مصالح است، مقاومت برشی خاک مهم ترین عامل در تعیین رفتار خاک ها است. مقاومت برشی خاک، مقاومت داخلی در واحد سطح آن است، یعنی مقاومتی که خاک می تواند برای دوام آوردن در برابر گسیختگی و لغزش در امتداد هر صفحه دلخواه در خود بسیج کند [۹۸].

۴-۱۳-۲-۱- تئوری آزمایش

پارامترهای مدل موهر _ کولمب (زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک) و معیار گسیختگی توسط آزمایش برش مستقیم به دست می آید. در آزمایش برش مستقیم با حرکت دادن نیمه بالایی یک جعبه محتوی خاک نسبت به نیمه پایینی آن، خاک داخل جعبه تحت تنش برشی قرار می گیرد تا تحت تنش برشی گسیخته شود [۹۸].

۴-۱۳-۲-۲- آماده سازی نمونه ها

با توجه به حداکثر وزن مخصوص خشک که از آزمایش تراکم به دست آورده شده، وزن مقدار خاک جهت قرارگیری در داخل جعبه برش تعیین گردید و سپس درصدهای ماده افزودنی و آب در مجموع به صورت رطوبت بهینه به خاک اضافه گردید و کاملاً باهم مخلوط شدند، نمونه های نانو رس در کیسه نایلونی (برای حفظ رطوبت بهینه) نگهداری شد و بعد داخل جعبه برش قرار گرفت.

۴-۱۳-۲-۳- روش انجام آزمایش

آزمایش برش مستقیم طبق استاندارد ASTM D 3080-90 بر روی نمونه بدون ماده افزودنی و خاک مخلوط شده با سه نوع ماده افزودنی، ملاس چغندر قند ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ و ماده افزودنی لیگنوسولفونات کلسیم ۵٪، ۱۷۵٪، ۱٪، ۱۵٪ و ماده افزودنی نانو رس مونت موریلونیت ۲۵٪، ۱۵٪، ۱۷۵٪، ۱٪ برای هر دو خاک انجام گردید، مخلوط خاک داخل جعبه برش در سه لایه با ۲۵ ضربه کوبیده شد، جعبه برش به دقت روی دستگاه سوار شد و سپس بار قائم ۱۰ کیلوگرم به نمونه اعمال شده و سنسور اندازه گیری تغییر شکل قائم بر روی نمونه چک شد.

وزن صفحه بارگذاری و نیمه بالایی جعبه برش هم به عنوان بخشی از بار قائم در نظر گرفته شد. دو قسمت جعبه برش با باز کردن پیچ‌های نیمه بالایی جعبه از هم جدا شدند. صفحه بارگذاری با محکم کردن سه پیچ کناری که به همین منظور در اطراف نیمه بالایی جعبه تعبیه شده‌اند، سر جای خود قرار گرفت. سپس پیچ‌های نیمه بالایی جعبه برش برگردانیده و سنسور کرنش سنج برای اندازه‌گیری تغییر شکل‌های برشی (افقی) نصب گردید. بارگذاری افقی شروع شده، مقدار نیروی نیروسنج و تغییر شکل‌های برشی در سیستم ثبت گردید. سرعت تغییرات افقی 0.9 mm/min در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه دستگاه امکان ثبت جابه‌جایی تا ۱۲ میلی‌متر نداشت، کرنش سنج تا رسیدن به جابه‌جایی ۹ میلی‌متر ادامه داده شد. بار قائم مرحله دوم ۲۰ کیلوگرم و برای مرحله سوم ۳۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد.

ابتدا برای بار قائم ۱۰ کیلوگرم نمودار تغییرات بار - تغییر شکل افقی رسم گردید و سپس برای بارهای ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم نیز این نمودار رسم گردید و از هر نمودار حداکثر بار به دست آمد و پس از محاسبه حداکثر تنش برشی، نمودار تنش برشی ماکزیمم بر حسب تنش قائم رسم شد. شیب خط حاصل زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) و محل تلاقی آن‌ها با محور قائم چسبندگی (C) نام‌گذاری شده است.

۴-۱۳-۲-۴- نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 01

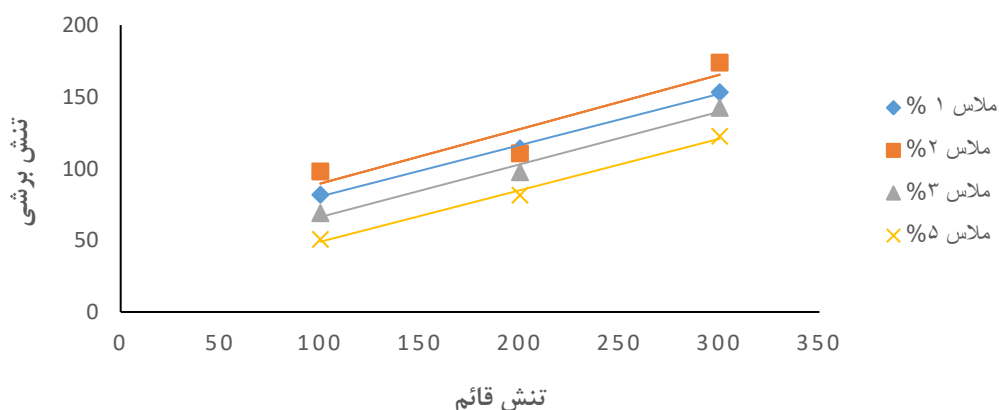
در این قسمت نتایج آزمایش برش مستقیم یعنی مقدار زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) و چسبندگی (C) برای سه ماده افزودنی با درصدهای وزنی ماده افزودنی ملاس چغندر قند ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪ و ماده افزودنی لیگنوسولفونات کلسیم ۰.۵٪، ۰.۷۵٪، ۱٪، ۱.۱۵٪ و ماده افزودنی نانو رس مونت موریلونیت ۰.۲۵٪، ۰.۵٪، ۰.۷۵٪، ۱٪ نشان داده شد.

نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند با درصدهای ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪ در جدول ۴-۱۹ و همچنین در شکل ۴-۳۶ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۹: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند

ماده افزودنی	چسبندگی (kpa)	زاویه اصطکاک داخلی (φ)
AB 01	۴۹/۷۹	۲۱/۳۳
ملاس ۱٪	۴۴/۸۲۵	۱۹/۶۸
ملاس ۲٪	۵۱/۵۷	۲۰/۷۹
ملاس ۳٪	۱۶/۱۵۳	۲۲/۶۵
ملاس ۵٪	۱۳/۰۷	۱۹/۶۳

نمودار مقاومت برشی



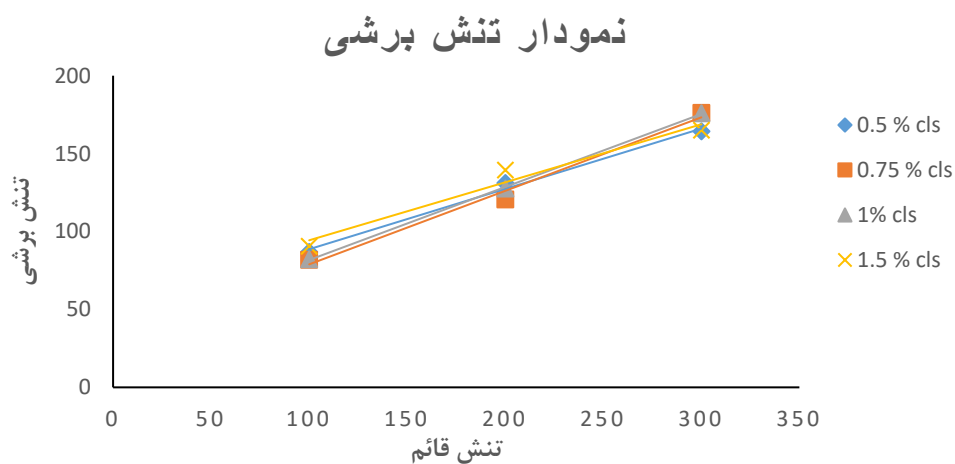
شکل ۴-۳۶: نمودار تنش برشی ماکزیمم برحسب تنش قائم برای خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند

نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 01 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم با درصدهای وزنی ۰/۵٪،

۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ در جدول ۴-۲۰ و همچنین در شکل ۴-۳۷ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۰: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 01 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم

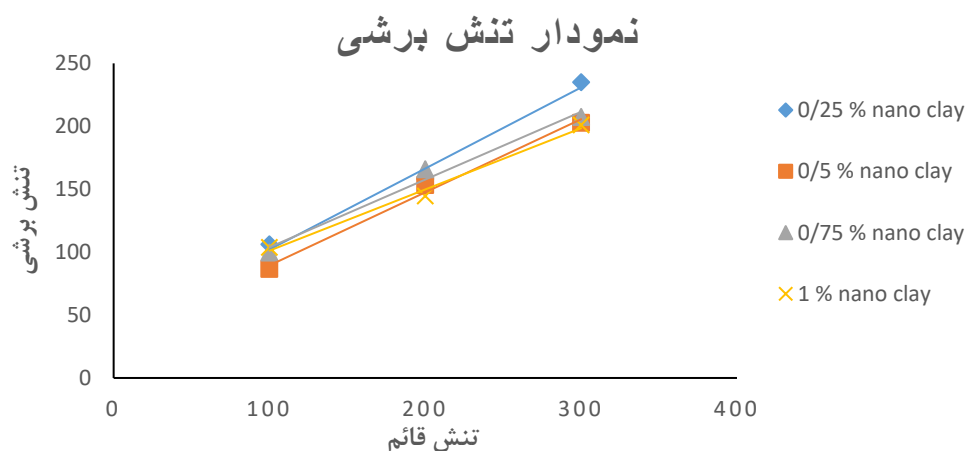
ماده افزودنی	چسبندگی (kpa)	زاویه اصطکاک داخلی (φ)
AB 01	۴۹/۷۹	۲۱/۳۳
0/5% cls	۴۹/۹۴	۲۱/۱۶
0/75% cls	۳۱/۷۶	۲۵/۲۶
1% cls	۳۴/۹۰	۲۵/۱۰
1/5% cls	۵۷/۲۶	۲۰/۴۲



شکل ۴-۳۷: نمودار تنش برشی ماکزیمم برحسب تنش قائم برای خاک AB 01 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم
 نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 01 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای
 وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ در جدول ۴-۲۱ و همچنین در شکل ۴-۳۸ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۱: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 01 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت

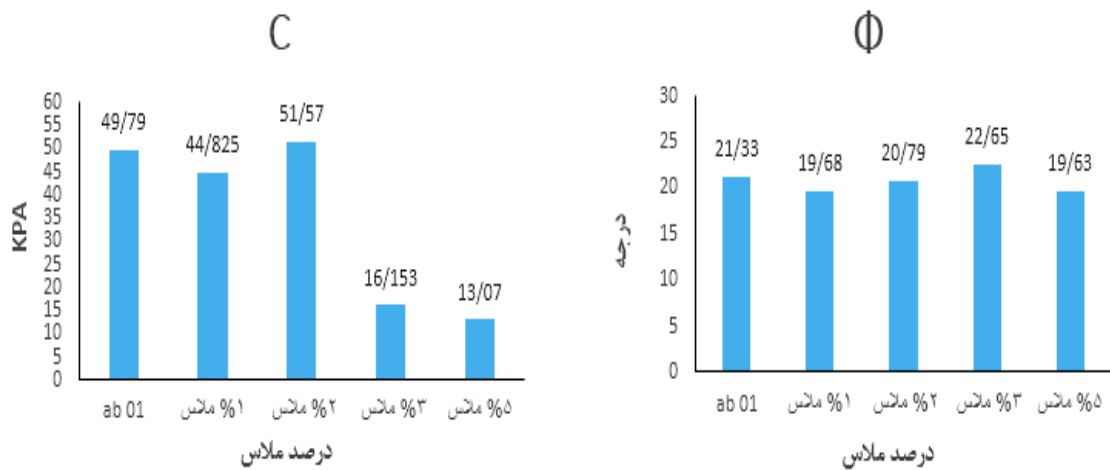
ماده افزودنی	چسبندگی (kpa)	زاویه اصطکاک (درجه)
AB 01	۴۹/۷۹	۲۱/۳۳
0/25% nano clay	۳۷/۶۵	۳۲/۷۹
0/5% nano clay	۳۱/۳۶	۳۰/۱۶
0/75% nano clay	۵۰/۰۳	۳۰/۹۳
1% nano clay	۵۲/۵۶	۲۸/۳۶



شکل ۴-۳۸: نمودار تنش برشی ماکزیمم برحسب تنش قائم برای خاک AB 01 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت

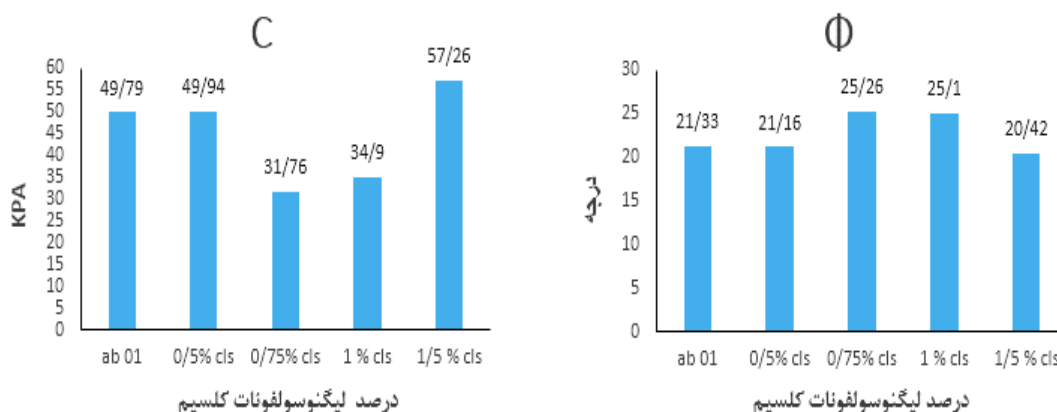
۴-۲-۵- بحث در مورد نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 01

شکل ۴-۳۹ تأثیر ملاس چغندر قند با درصدهای وزنی ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪ بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود ابتدا با افزودن ملاس ۰.۱٪ مقدار چسبندگی کاهش و زاویه اصطکاک داخلی هم کاهش ولی افزودن ملاس ۰.۲٪ باعث افزایش چسبندگی و افزایش زاویه اصطکاک داخلی نسبت به ملاس ۰.۱٪ شد و با افزودن ملاس ۰.۳٪ و ۰.۵٪ چسبندگی کاهش پیدا کرد.



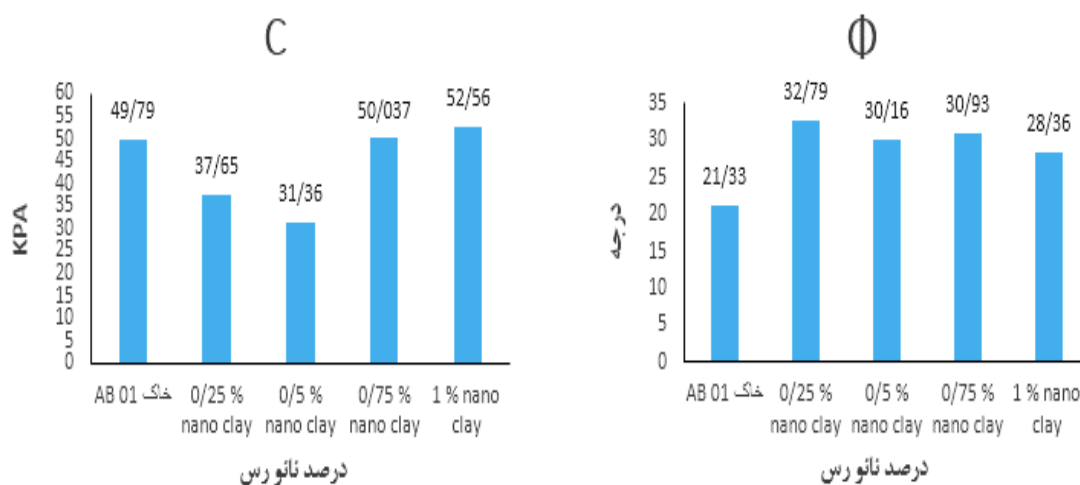
شکل ۴-۳۹: تأثیر درصدهای ملاس چغندر قند بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) در خاک AB01

شکل ۴-۴۰ تأثیر لیگنوسولفونات کلسیم با درصدهای وزنی ۰.۰۵٪، ۰.۱٪، ۰.۱۷۵٪، ۰.۱٪ بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود ابتدا با افزودن ۰.۰۵٪ کلسیم لیگنوسولفونات چسبندگی افزایش سپس با افزودن ۰.۱۷۵٪ و ۰.۱٪ کلسیم لیگنوسولفونات چسبندگی کاهش و با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم ۰.۱۷۵٪ چسبندگی افزایش همچنین زاویه اصطکاک داخلی با افزودن درصدهای ۰.۰۵٪ و ۰.۱٪ لیگنوسولفونات کلسیم افزایش یافت.



شکل ۴-۴: تأثیر درصد‌های لیگنوسولفونات کلسیم بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Phi) در خاک AB01

شکل ۴-۴ تأثیر نانو رس مونت موریلونیت با درصد‌های وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Phi) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود ابتدا با افزودن ۰/۲۵٪ و ۰/۵٪ درصد وزنی نانو رس مونت موریلونیت چسبندگی کاهش و با افزودن ۰/۷۵٪ و ۱٪ درصد وزنی نانو رس مونت موریلونیت چسبندگی افزایش یافت همچنین با افزودن درصد‌های وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ نانو رس مونت موریلونیت زاویه اصطکاک داخلی افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۴: تأثیر درصد‌های نانو رس مونت موریلونیت بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Phi) در خاک AB01

۴-۱۳-۲-۶- نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 02

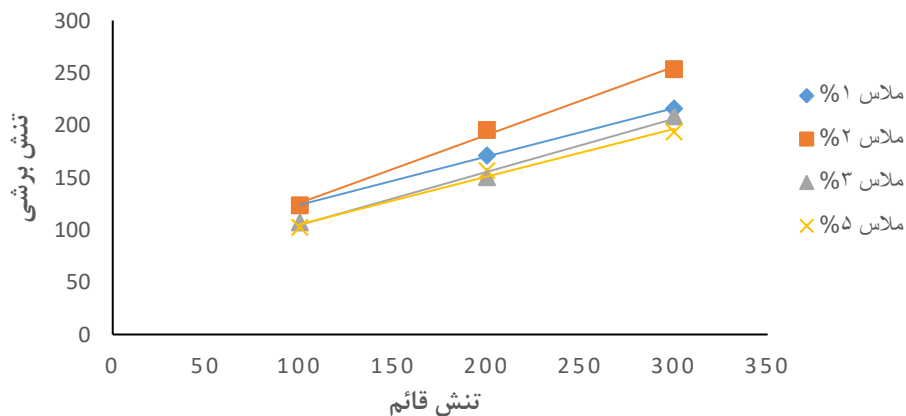
در این قسمت نتایج آزمایش برش مستقیم یعنی مقدار زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) و چسبندگی (C) برای سه ماده افزودنی با درصدهای وزنی ماده افزودنی ملاس چغندر قند ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪ و ماده افزودنی لیگنوسولفونات کلسیم ۰.۰۵٪، ۰.۱٪، ۰.۱۷۵٪ و ماده افزودنی نانو رس مونت موریلونیت ۰.۰۲۵٪، ۰.۰۵٪، ۰.۱۷۵٪، ۰.۱٪ نشان داده شد.

نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 02 با افزودن ملاس چغندر قند با درصدهای ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪ در جدول ۴-۲۲ و همچنین در شکل ۴-۴۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۲: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 02 با افزودن ملاس چغندر قند

ماده افزودنی	چسبندگی (kpa)	زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)
AB 02	۵۷/۸۲	۲۷/۲۷
ملاس ۰.۱٪	۷۷/۶۷	۲۴/۸۲
ملاس ۰.۲٪	۶۰/۷۵	۳۳/۰۵
ملاس ۰.۳٪	۵۳/۹۷	۲۶/۹۰
ملاس ۰.۵٪	۵۹/۶۷	۲۴/۵۳

نمودار تنش برشی

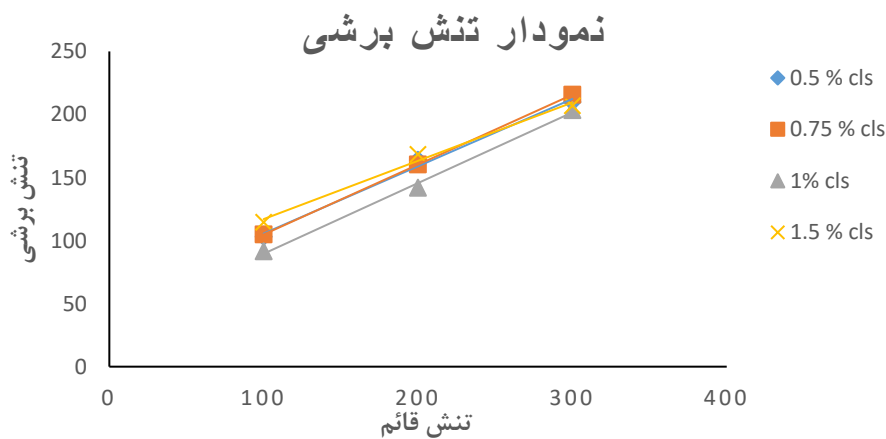


شکل ۴-۴۲: نمودار تنش برشی ماکزیمم برحسب تنش قائم برای خاک AB 02 با افزودن ملاس چغندر قند

نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 02 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم با درصدهای وزنی ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ در جدول ۴-۲۳ و همچنین در شکل ۴-۴۳ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۳: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 02 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم

ماده افزودنی	چسبندگی (kpa)	زاویه اصطکاک داخلی (φ)
AB 02	۵۷/۸۲	۲۷/۲۷
0/5% cls	۵۲/۲۲	۲۸/۰۹
0/75% cls	۴۹/۴۰	۲۹
1% cls	۳۳/۵۵	۲۹/۲۷
1/5% cls	۷۰/۸۳	۲۴/۸۱

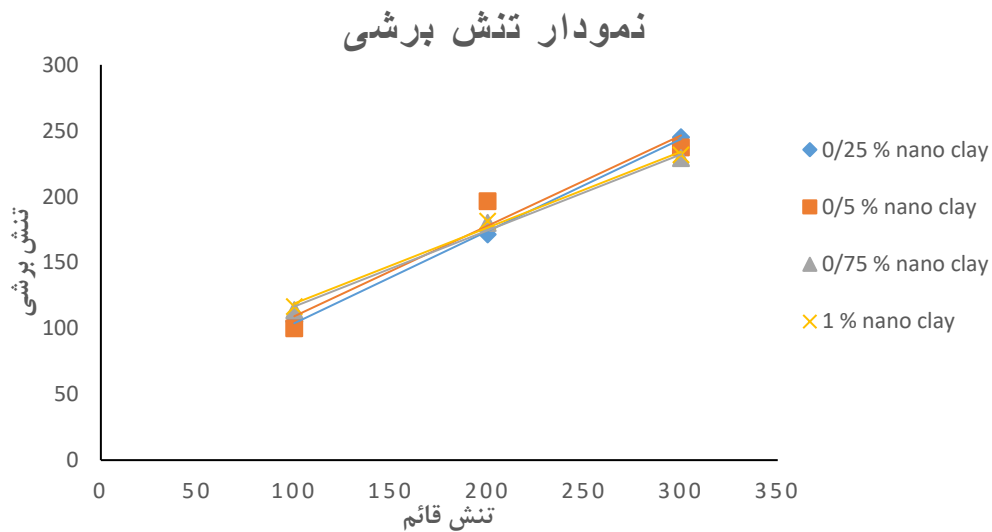


شکل ۴-۴۳: نمودار تنش برشی ماکزیمم برحسب تنش قائم برای خاک AB 02 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم

نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 02 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ در جدول ۴-۲۴ و همچنین در شکل ۴-۴۴ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۴: نتایج آزمایش برش مستقیم خاک AB 02 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت

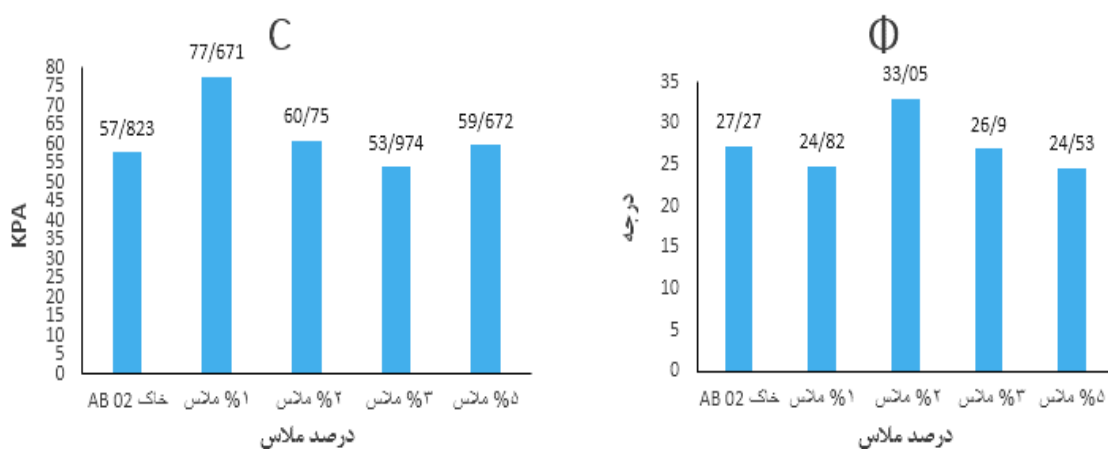
ماده افزودنی	چسبندگی (kpa)	زاویه اصطکاک (درجه)
AB 02	۵۷/۸۲	۲۷/۲۷
0/25% nano clay	۳۳/۹۷	۳۴/۹۷
0/5% nano clay	۴۰/۵۸	۳۴/۴۷
0/75% nano clay	۵۸/۸۳	۳۰/۰۱
1% nano clay	۶۱/۲۹	۲۹/۹۵



شکل ۴-۴: نمودار تنش برشی ماکزیمم بر حسب تنش قائم برای خاک AB 02 با افزودن نانو رس مونت موریلینت

۴-۱۳-۲-۷- بحث در مورد نتایج آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 02

شکل ۴-۴۵ تأثیر ملاس چغندر قند با درصد های وزنی ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪ بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود ابتدا با افزودن ملاس ۰.۱٪ و ۰.۲٪ مقدار چسبندگی افزایش ولی افزودن ملاس ۰.۲٪ و ۰.۳٪ باعث کاهش چسبندگی و دوباره در ملاس ۰.۵٪ افزایش یافت زاویه اصطکاک داخلی در درصد های ۰.۲٪ و ۰.۳٪ و ۰.۵٪ ملاس کاهش ولی با افزودن ملاس ۰.۱٪ افزایش پیدا کرد.



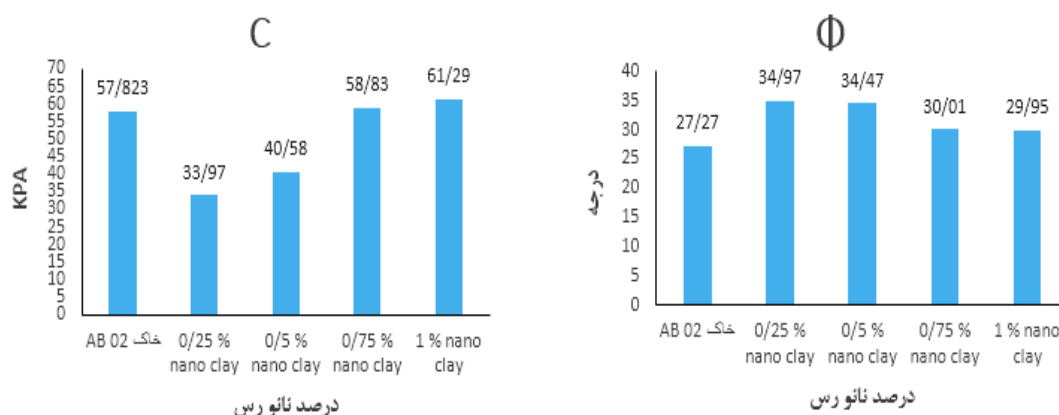
شکل ۴-۴۵: تأثیر درصد های ملاس چغندر قند بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) در خاک AB02

شکل ۴-۴۶ تأثیر لیگنوسولفونات کلسیم با درصدهای وزنی ۰/۵٪، ۰/۱٪، ۰/۱۷۵٪، ۰/۱٪ بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود ابتدا با افزودن ۰/۵٪ و ۰/۱۷۵٪ و ۰/۱٪ کلسیم لیگنوسولفونات چسبندگی کاهش سپس با افزودن ۰/۱۷۵٪ کلسیم لیگنوسولفونات چسبندگی کاهش و همچنین زاویه اصطکاک داخلی با افزودن درصدهای ۰/۵٪ و ۰/۱۷۵٪ و ۰/۱٪ لیگنوسولفونات کلسیم افزایش و با افزودن ۰/۱۷۵٪ لیگنوسولفونات کلسیم زاویه اصطکاک داخلی کاهش یافت.



شکل ۴-۴۶: تأثیر درصدهای لیگنوسولفونات کلسیم بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) در خاک AB02

شکل ۴-۴۷ تأثیر نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۱۷۵٪، ۰/۱۷۵٪، ۰/۱٪ بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود ابتدا با افزودن ۰/۲۵٪ و ۰/۱۷۵٪ و ۰/۱٪ در صد وزنی نانو رس مونت موریلونیت چسبندگی کاهش و با افزودن ۰/۱٪ در صد وزنی نانو رس مونت موریلونیت چسبندگی افزایش یافت همچنین با افزودن درصدهای وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۱۷۵٪، ۰/۱۷۵٪، ۰/۱٪ نانو رس مونت موریلونیت زاویه اصطکاک داخلی افزایش می یابد.



شکل ۴-۴: تأثیر درصد‌های نانو رس مونت موریلونیت بر روی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Phi) در خاک AB02

۴-۱۳-۳- آزمایش فشاری تک‌محوری

آزمایش تک‌محوری یک روش سریع برای تعیین مقاومت زهکشی نشده خاک‌های چسبنده است. این آزمایش برای خاک‌هایی قابل‌استفاده است که چسبندگی آن‌ها برای تهیه نمونه‌های پایدار که مقاومت خود را بعد از حذف فشار همه‌جانبه حفظ کنند مانند رس‌ها و خاک‌های سیمانته شده کافی باشد. در آزمایش تک‌محوری یک نمونه مورد آزمایش از خاک موردنظر تا رسیدن به گسیختگی تحت بارمحوری به صورت کرنش کنترل قرار گرفته و مقاومت آن بر اساس تنش کل ایجاد شده در نمونه در هنگام گسیختگی محاسبه می‌شود [۹۸].

۴-۱۳-۳-۱- تئوری آزمایش

مکانیسم مقاومت فشاری در خاک‌های چسبنده بسیار پیچیده‌تر از خاک‌های دانه‌ای است. خاک‌های دانه‌ای از ذراتی تشکیل شده‌اند که به علت اندازه و شکلشان، دارای سطح مخصوص کوچکی هستند و در آن‌ها رفتار نیروهای جرمی مانند وزن، بیشتر از نیروهای سطحی کنترل‌کننده است. از طرف دیگر ذرات خاک چسبنده به علت شکل و اندازه‌های که دارند (اغلب پولکی شکل هستند)، دارای سطح مخصوص بالایی هستند و رفتار آن‌ها بیشتر تابع نیروهای سطحی تا نیروهای جرمی است. مقاومت برشی خاک‌های چسبنده از دو نوع مقاومت اصطکاکی و مقاومت چسبندگی ناشی می‌شود. مقاومت چسبندگی تابع نیروهای سطحی است، باید توجه داشت که چسبندگی خاک یک پارامتر ثابت نبوده،

تابعی از بار منتقل شده توسط سازه خاک است، همچنین بستگی به بارهای بین دانه‌ای و چگونگی انجام آزمایش دارد. در حالی که هیچ بار جانبی به نمونه وارد نشود، چسبندگی به عنوان مقاومت فشاری خاک مطرح می‌گردد [۹۸].

۴-۱۳-۳-۲- ابعاد نمونه

قطر نمونه‌ها در این آزمایش نباید از ۳۰ میلی‌متر (۱/۳ اینچ) کمتر باشد. در این شرایط اندازه بزرگ‌ترین دانه موجود در نمونه باید از یک‌دهم قطر نمونه کوچک‌تر باشد. در صورتی که نمونه‌ها قطری بزرگ‌تر از (۷۲ میلی‌متر) داشته باشند نسبت اندازه بزرگ‌ترین دانه‌ها به قطر نمونه را می‌توان به ۱/۶ کاهش داد. نسبت طول به قطر نمونه‌ها باید بین ۲ تا ۲/۵ باشد؛ که در این پایان‌نامه ۲ است.

۴-۱۳-۳-۳- تهیه نمونه

آزمایش تک‌محوری به منظور تعیین مقاومت فشاری نمونه خاک بدون ماده افزودنی و خاک مخلوط شده با سه نوع ماده افزودنی، ملاس چغندر قند ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ و ماده افزودنی لیگنوسولفونات کلسیم ۱/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ماده افزودنی نانو رس مونت موریلونیت ۲۵٪، ۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ برای هر دو خاک بر اساس استاندارد ASTM D 2166 انجام گردید، نمونه‌ها با توجه به درصد رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک حداکثر به دست آمده از آزمایش تراکم ساخته شدند. خاک‌ها با سه نوع ماده افزودنی همراه با آب مخلوط گردید و تا همگن شدن کامل مخلوط شد. سپس خاک در قالبی با قطر داخلی ۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر در ۵ لایه و هر لایه با ۲۵ ضربه به وسیله چکش پلاستیکی متراکم گردید. نمونه‌های نانو رس در کیسه نایلونی برای حفظ رطوبت نگهداری شدند.

۴-۱۳-۳-۴- روش انجام آزمایش

پس آماده‌سازی نمونه همان‌طور که در ابتدا فصل توضیح داده شد، نمونه‌ها در جایگاه خود در دستگاه آزمایش به‌طوری که محور عمودی آن نزدیک مرکز بارگذاری در صفحه بارگذاری باشد، قرار داده شد؛ و سپس توسط سیستم دستگاه را کالیبراسیون کرده و سپس گیج اندازه‌گیری بار و تغییر مکان تنظیم، قرائت بارگذاری در کرنش‌های مختلف توسط سنسور LVDT اندازه‌گیری و در سیستم به صورت فایل

ثبت شد. اعمال فشار بر نمونه تا ظاهر شدن ترک در نمونه ادامه داده شد و سپس با پایین بردن فک پایین دستگاه نمونه از بین دو فک خارج گردید.

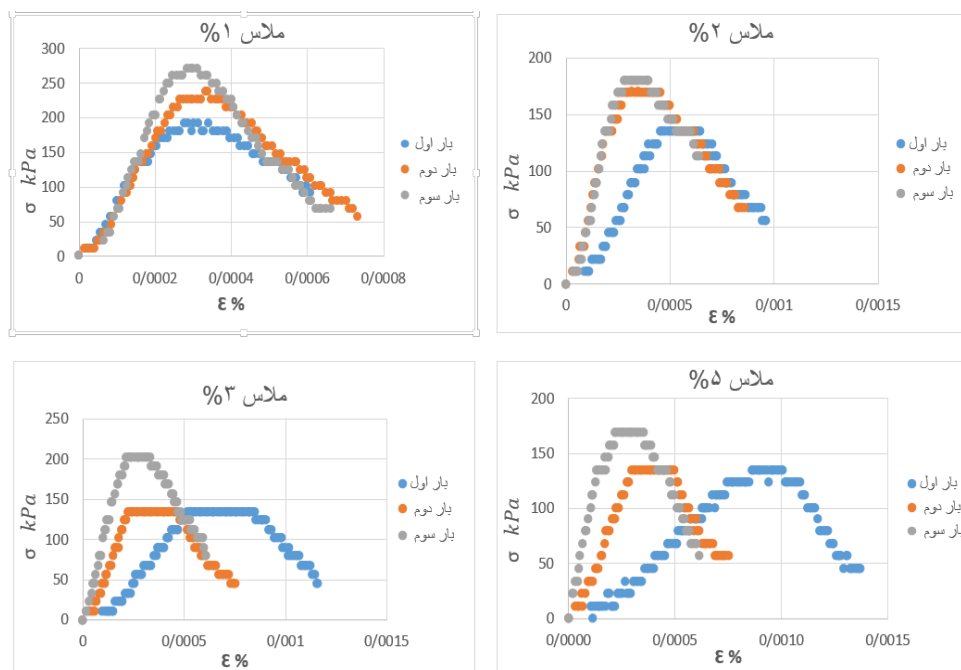
۴-۱۳-۵- نتایج آزمایش فشاری تک محوری برای خاک AB 01

در این قسمت نتایج آزمایش فشاری تک محوری برای سه ماده افزودنی با درصدهای وزنی ماده افزودنی ملاس چغندر قند ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ و ماده افزودنی لیگنو سولفونات کلاسیم ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ماده افزودنی نانو رس مونت موریلونیت ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ نشان داده شد.

نتایج آزمایش فشاری تک محوری خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند با درصدهای ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ در جدول ۴-۲۵ و همچنین در شکل ۴-۴۸ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۵: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند

ماده افزودنی	روش آزمایش	تعداد آزمایش	مقاومت فشاری تک محوره	میانگین مقاومت فشاری تک محوره
ملاس ۱٪	ASTM D2166	۱	۱۹۲/۰۱ kPa	۲۳۳/۴۱ kPa
		۲	۲۳۷/۱۸ kPa	
		۳	۲۷۱/۰۶ kPa	
ملاس ۲٪	ASTM D2166	۱	۱۳۵/۵۳ kPa	۱۶۲/۳۲ kPa
		۲	۱۷۰/۷۲ kPa	
		۳	۱۸۰/۷۱ kPa	
ملاس ۳٪	ASTM D2166	۱	۱۳۵/۵۳ kPa	۱۵۸/۱۲ kPa
		۲	۱۳۵/۵۳ kPa	
		۳	۲۰۳/۳۰ kPa	
ملاس ۵٪	ASTM D2166	۱	۱۳۵/۵۴ kPa	۱۴۶/۸۳ kPa
		۲	۱۳۵/۵۳ kPa	
		۳	۱۶۹/۴۲ kPa	



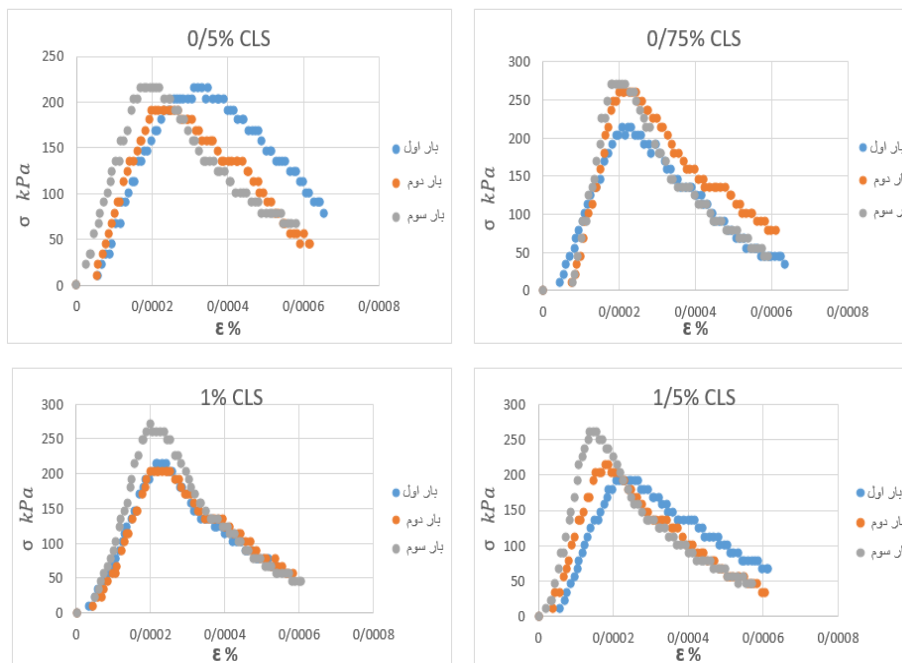
شکل ۴-۴: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 01 با افزودن درصدهای ملاس چغندرقد

نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره خاک AB 01 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم با درصدهای

وزنی ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ در جدول ۴-۲۶ و همچنین در شکل ۴-۴۹ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۶: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره خاک AB 01 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم

ماده افزودنی	روش آزمایش	تعداد آزمایش	مقاومت فشاری تک‌محوره	میانگین مقاومت فشاری تک‌محوره
CLS 0/5%	ASTM D2166	۱	۲۱۴/۵۹ kPa	۲۰۷/۰۶ kPa
		۲	۱۹۲/۰۱ kPa	
		۳	۲۱۴/۵۹ kPa	
CLS 0/75%	ASTM D2166	۱	۲۱۴/۵۹ kPa	۲۴۸/۴۷ kPa
		۲	۲۵۹/۷۷ kPa	
		۳	۲۷۱/۰۶ kPa	
CLS 1%	ASTM D2166	۱	۲۱۴/۵۹ kPa	۲۲۹/۶۵ kPa
		۲	۲۰۳/۳۰ kPa	
		۳	۲۷۱/۰۶ kPa	
CLS 1/5%	ASTM D2166	۱	۱۹۲/۰۱ kPa	۲۲۲/۱۲ kPa
		۲	۲۱۴/۵۹ kPa	
		۳	۲۵۹/۷۷ kPa	

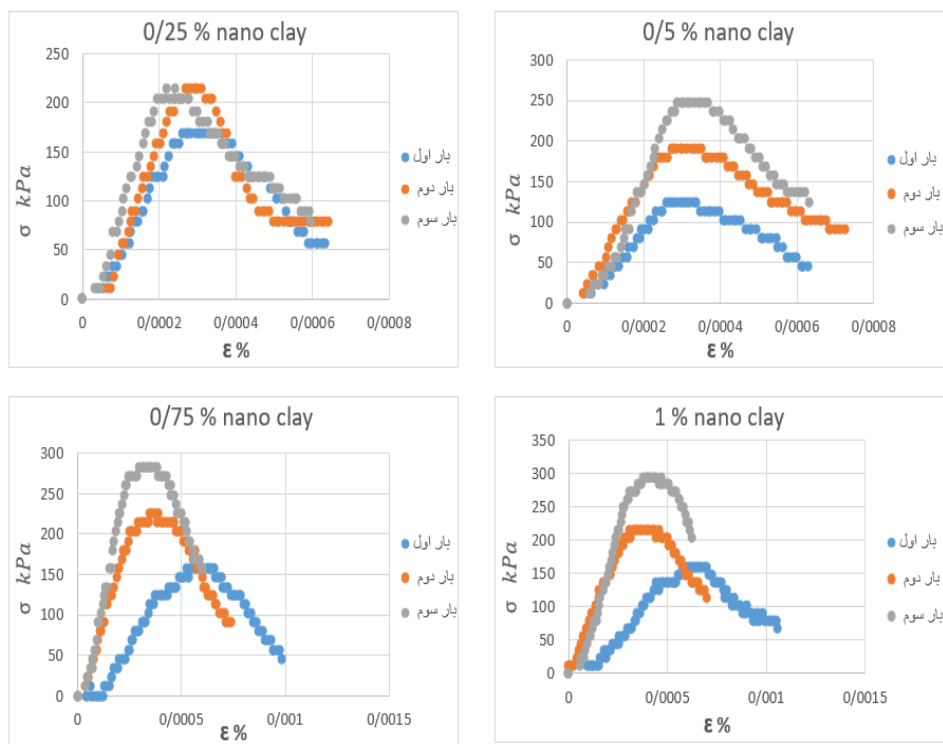


شکل ۴-۴۹: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 01 با افزودن درصد های لیگنوسولفونات کلسیم

نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک AB 01 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت با درصد های وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ در جدول ۴-۲۷ و همچنین در شکل ۴-۵۰ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۷: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوره خاک AB 01 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت

ماده افزودنی	روش آزمایش	تعداد آزمایش	مقاومت فشاری تک محوره	میانگین مقاومت فشاری تک محوره
0/25% nano clay	ASTM D2166	۱	۱۶۹/۴۲ kPa	۱۹۹/۵۴ kPa
		۲	۲۱۴/۶۰ kPa	
		۳	۲۱۴/۶۰ kPa	
0/5% nano clay	ASTM D2166	۱	۱۲۴/۲۴ kPa	۱۸۸/۲۴ kPa
		۲	۱۹۲/۰۱ kPa	
		۳	۲۴۸/۴۸ kPa	
0/75% nano clay	ASTM D2166	۱	۱۵۸/۱۳ kPa	۲۲۲/۱۲ kPa
		۲	۲۲۵/۸۹ kPa	
		۳	۲۸۲/۳۶ kPa	
1% nano clay	ASTM D2166	۱	۱۵۸/۱۲ kPa	۲۲۲/۱۲ kPa
		۲	۲۱۴/۵۹ kPa	
		۳	۲۹۳/۶۶ kPa	



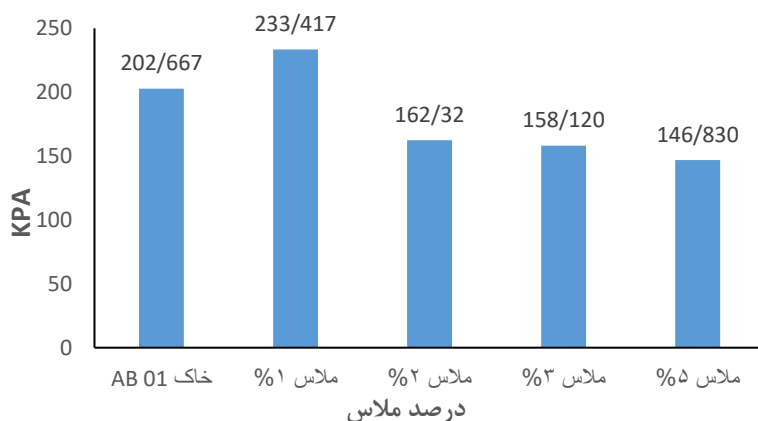
شکل ۴-۵۰: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 01 با افزودن درصد های لیگنوسولفونات کلسیم

۴-۱۳-۳-۶- بحث در مورد نتایج آزمایش فشاری تک محوری برای خاک AB01

شکل ۴-۵۱ میزان مقاومت فشاری با افزودن ملاس چغندر قند با درصد های وزنی ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪

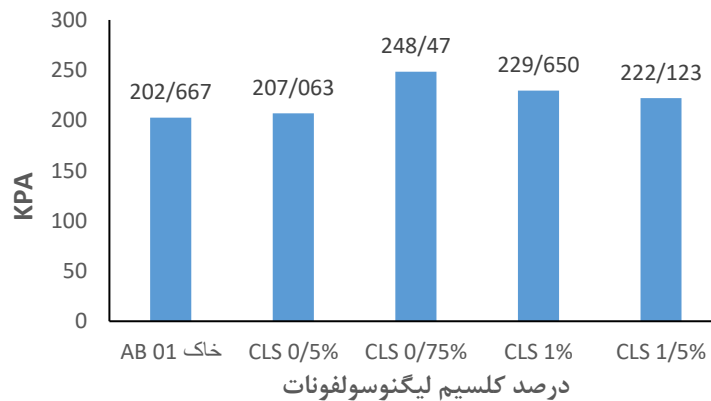
نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزودن ۰.۱٪ ملاس میزان مقاومت فشاری

افزایش و با افزودن ۰.۲٪ و ۰.۳٪ و ۰.۵٪ ملاس میزان مقاومت فشاری کاهش یافت.



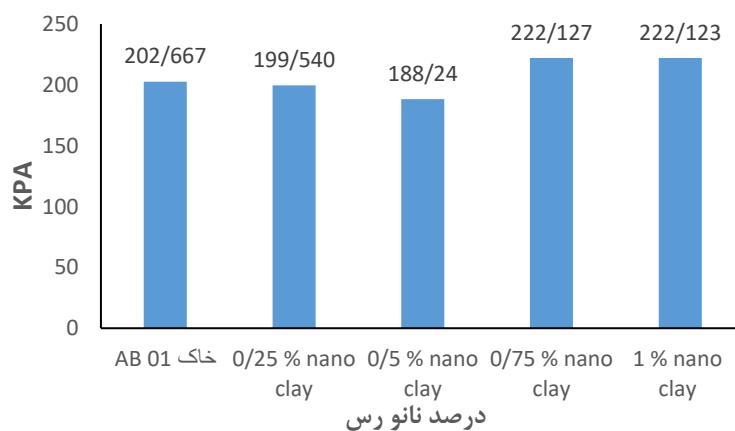
شکل ۴-۵۱: میزان مقاومت فشاری نمونه ها با درصد های ملاس چغندر قند در خاک AB01

شکل ۴-۵۲ میزان مقاومت فشاری با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم با درصدهای وزنی ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزودن ۰/۵٪ و ۰/۷۵٪ و ۱٪ و ۱/۵٪ لیگنوسولفونات کلسیم میزان مقاومت فشاری افزایش یافت.



شکل ۴-۵۲: میزان مقاومت فشاری نمونه‌ها با درصدهای لیگنوسولفونات کلسیم در خاک AB01

شکل ۴-۵۳ میزان مقاومت فشاری با افزودن نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزودن ۰/۲۵٪ و ۰/۵٪ نانو رس مونت موریلونیت میزان مقاومت فشاری کاهش و با افزودن ۰/۷۵٪ و ۱٪ نانو رس مونت موریلونیت میزان مقاومت فشاری افزایش یافت.



شکل ۴-۵۳: میزان مقاومت فشاری با افزودن درصدهای نانو رس مونت موریلونیت در خاک AB01

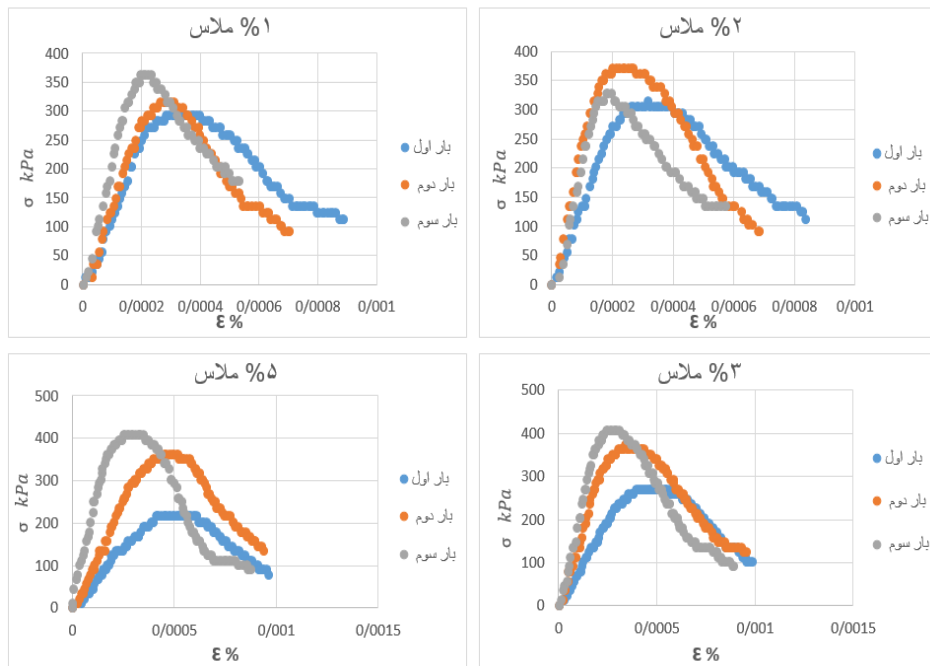
۷-۳-۱۳-۴- نتایج آزمایش فشاری تک‌محوری برای خاک AB 02

در این قسمت نتایج آزمایش فشاری تک‌محوری برای سه ماده افزودنی با درصدهای وزنی ماده افزودنی ملاس چغندر قند ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ و ماده افزودنی لیگنو سولفونات کلاسیم ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪، ۱/۵٪ و ماده افزودنی نانو رس مونت موریلونیت ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ نشان داده شد.

نتایج آزمایش فشاری تک‌محوری خاک AB 02 با افزودن ملاس چغندر قند با درصدهای ۱٪، ۲٪، ۳٪، ۵٪ در جدول ۴-۲۸ و همچنین در شکل ۴-۵۴ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۸: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره خاک AB 02 با افزودن ملاس چغندر قند

ماده افزودنی	روش آزمایش	تعداد آزمایش	مقاومت فشاری تک‌محوره	میانگین مقاومت فشاری تک‌محوره
ملاس ۱٪	ASTM D2166	۱	۲۹۳/۶۶ kPa	۳۲۳/۷۸ kPa
		۲	۳۱۶/۲۵ kPa	
		۳	۳۶۱/۴۳ kPa	
ملاس ۲٪	ASTM D2166	۱	۳۱۶/۲۵ kPa	۳۳۸/۸۰ kPa
		۲	۳۷۲/۷۲ kPa	
		۳	۳۲۷/۵۴ kPa	
ملاس ۳٪	ASTM D2166	۱	۲۷۱/۰۷ kPa	۳۵۰/۱۳ kPa
		۲	۳۷۲/۷۲ kPa	
		۳	۴۰۶/۶۰ kPa	
ملاس ۵٪	ASTM D2166	۱	۲۲۵/۸۹ kPa	۳۳۱/۳۱ kPa
		۲	۳۶۱/۴۳ kPa	
		۳	۴۰۶/۶۱ kPa	

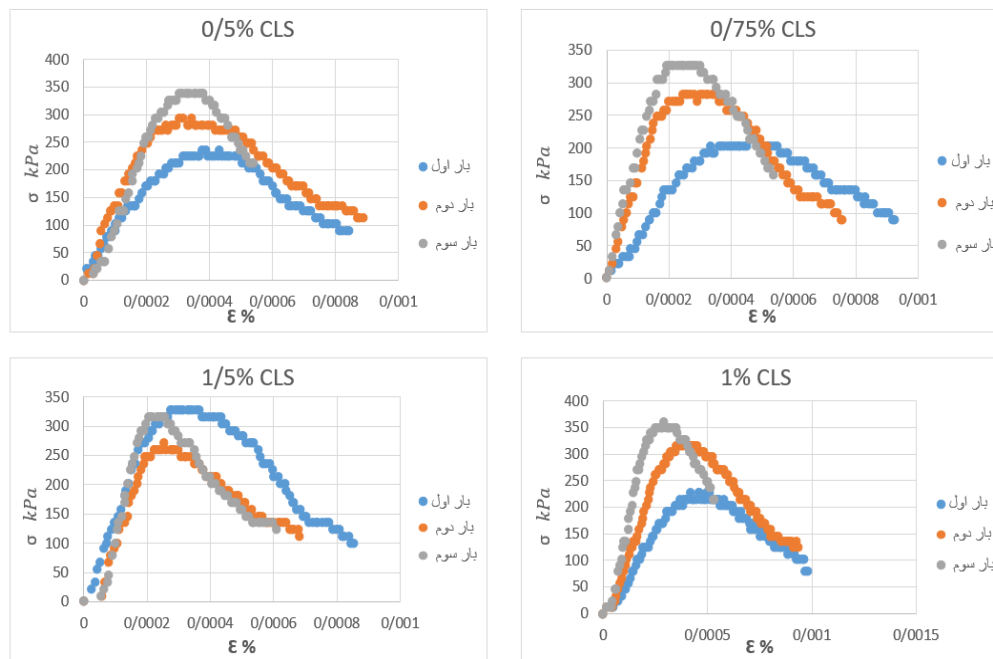


شکل ۴-۵: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 02 با افزودن درصد‌های ملاس چغندرقد

نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره خاک AB 02 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم با درصد‌های وزنی ۱/۵٪، ۰/۷۵٪، ۰/۱٪، ۱/۱۵٪ در جدول ۴-۲۹ و همچنین در شکل ۴-۵۵ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۹: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره خاک AB 02 با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم

ماده افزودنی	روش آزمایش	تعداد آزمایش	مقاومت فشاری تک‌محوره	میانگین مقاومت فشاری تک‌محوره
CLS 0/5%	ASTM D2166	۱	۲۳۷/۱۸ kPa	۲۸۹/۸۹ kPa
		۲	۲۹۳/۶۶ kPa	
		۳	۳۳۸/۸۴ kPa	
CLS 0/75%	ASTM D2166	۱	۲۱۴/۵۹ kPa	۲۷۴/۸۳ kPa
		۲	۲۸۲/۳۶ kPa	
		۳	۳۲۷/۵۴ kPa	
CLS 1%	ASTM D2166	۱	۲۲۵/۸۹ kPa	۳۰۱/۱۹ kPa
		۲	۳۱۶/۲۵ kPa	
		۳	۳۰۱/۱۹ kPa	
CLS 1/5%	ASTM D2166	۱	۳۲۷/۵۴ kPa	۳۰۴/۹۴ kPa
		۲	۲۷۱/۰۶ kPa	
		۳	۳۱۶/۲۴ kPa	

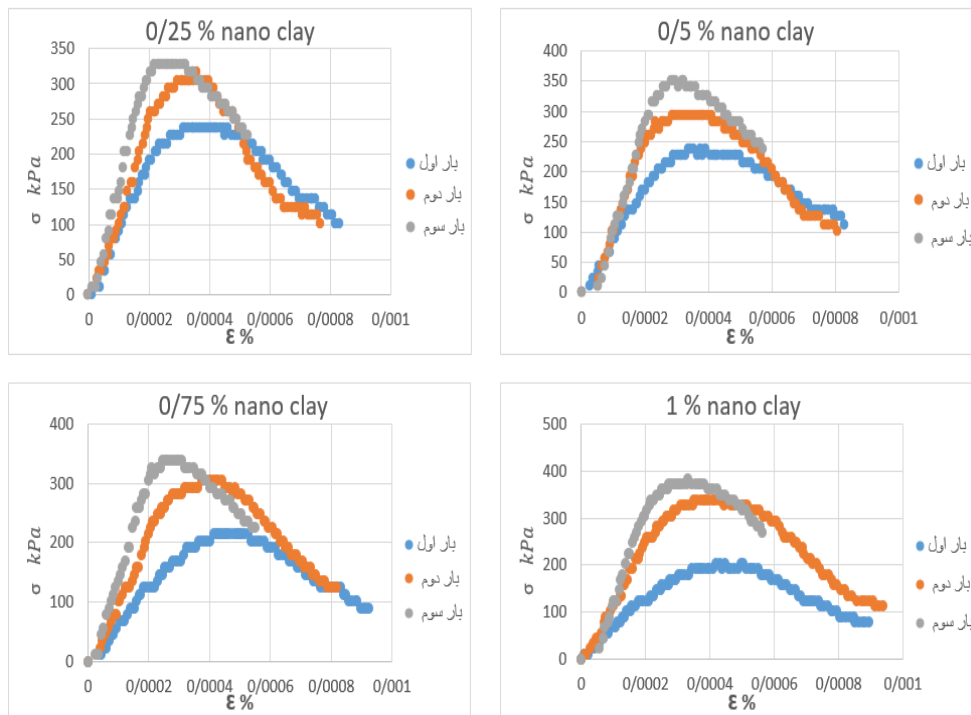


شکل ۴-۵۵: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 02 با افزودن درصدهای لیگنوسولفونات کلسیم

نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره خاک AB 02 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای وزنی ۰/۲۵٪، ۰/۵٪، ۰/۷۵٪، ۱٪ در جدول ۴-۳۰ و همچنین در شکل ۴-۵۶ نشان داده شده است.

جدول ۴-۳۰: نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره خاک AB 02 با افزودن نانو رس مونت موریلونیت

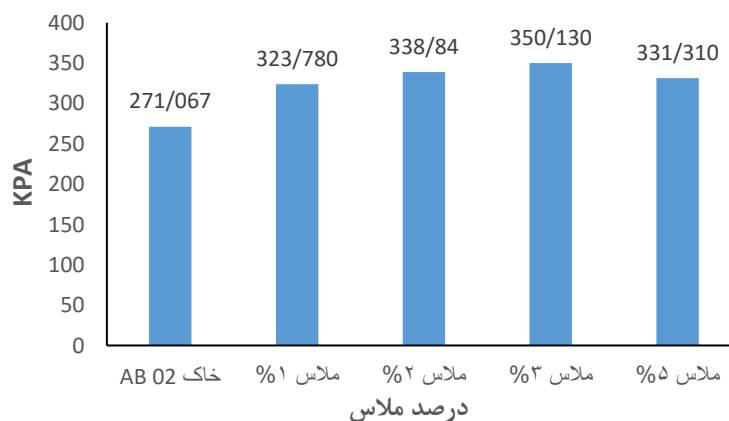
ماده افزودنی	روش آزمایش	تعداد آزمایش	مقاومت فشاری تک‌محوره	میانگین مقاومت فشاری تک‌محوره
0/25% nano clay	ASTM D2166	۱	۲۳۷/۱۸ kPa	۲۹۳/۶۵ kPa
		۲	۳۱۶/۲۵ kPa	
		۳	۳۲۷/۵۴ kPa	
0/5% nano clay	ASTM D2166	۱	۲۳۷/۱۸ kPa	۲۹۳/۶۶ kPa
		۲	۲۹۳/۶۶ kPa	
		۳	۳۵۰/۱۳ kPa	
0/75% nano clay	ASTM D2166	۱	۲۱۴/۶۰ kPa	۲۸۶/۱۳ kPa
		۲	۳۴۰/۹۶ kPa	
		۳	۳۳۸/۸۴ kPa	
1% nano clay	ASTM D2166	۱	۲۰۳/۳۰ kPa	۳۰۸/۷۲ kPa
		۲	۳۳۸/۸۴ kPa	
		۳	۳۸۴/۰۲ kPa	



شکل ۴-۵۶: نمودار مقاومت فشاری برای خاک AB 02 با افزودن درصد های لیگنوسولفونات کلسیم

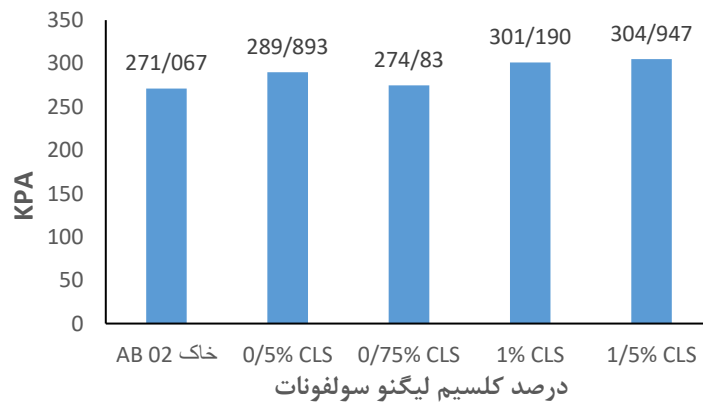
۴-۱۳-۳-۸- بحث در مورد نتایج آزمایش فشاری تک محوری برای خاک AB 02

شکل ۴-۵۷ میزان مقاومت فشاری با افزودن ملاس چغندر قند با درصد های وزنی ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۵٪ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزودن ۰.۱٪ و ۰.۲٪ و ۰.۳٪ و ۰.۵٪ ملاس میزان مقاومت فشاری افزایش یافت.



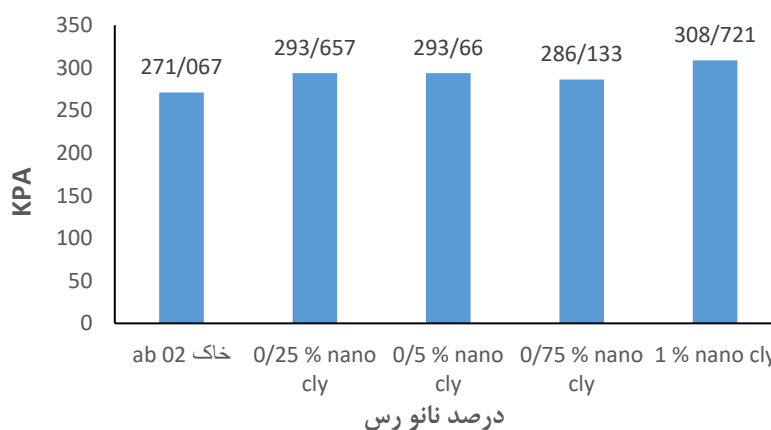
شکل ۴-۵۷: میزان مقاومت فشاری با افزودن درصد های ملاس چغندر قند در خاک AB02

شکل ۴-۵۸ میزان مقاومت فشاری با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم با درصدهای وزنی ۰/۰۱۷۵، ۰/۰۱، ۰/۰۱۷۵ و ۰/۰۱ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزودن ۰/۰۱۷۵ و ۰/۰۱ و ۰/۰۱۷۵ لیگنوسولفونات کلسیم میزان مقاومت فشاری افزایش یافت.



شکل ۴-۵۸: میزان مقاومت فشاری با افزودن درصدهای لیگنوسولفونات کلسیم در خاک AB02

شکل ۴-۵۹ میزان مقاومت فشاری با افزودن نانو رس مونت موریلونیت با درصدهای وزنی ۰/۰۲۵، ۰/۰۱، ۰/۰۱۷۵ و ۰/۰۱۷۵ نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزودن ۰/۰۲۵ و ۰/۰۱۷۵ و ۰/۰۱ نانو رس مونت موریلونیت میزان مقاومت فشاری افزایش یافت.



شکل ۴-۵۹: میزان مقاومت فشاری با افزودن درصدهای نانو رس مونت موریلونیت در خاک AB02

۴-۱۴ - جمع بندی

در این تحقیق به منظور بهبود خواص مکانیکی و مقاومتی خاک، در دو جاده‌ی دسترسی معدن سیمان آبیک ابتدا مطالعه نظری برای پیدا کردن ماده افزودنی انجام شد که در نهایت سه ماده افزودنی، ملاس چغندر قند و نانو رس مونت موریلوینت و لیگنوسولفونات کلسیم که هر سه جزء کنترل کننده‌های گردوغبار است، انتخاب شد؛ اما اینکه ما چه مقدار از این ماده افزودنی رو به خاک اضافه کنیم که باعث بهبود خواص مقاومتی و مکانیکی خاک شود، نیاز به انجام آزمایش‌های تثبیت خاک داریم. برای انجام آزمایش تثبیت خاک ابتدا خاک هر دو جاده معدن را با نام‌های خاک AB 01 و AB 02 نمونه‌گیری، بعد آزمایش‌های اولیه بروی آن‌ها انجام شد تا مشخصات و خصوصیات خاک‌ها رو بشناسیم سپس آزمایش‌های اصلی را با افزودن مواد افزودنی با درصدهای معین انجام دادیم. بر اساس مقایسه نتایج آزمایش‌ها ماده افزودنی با درصد مناسب برای هر خاک را انتخاب کردیم. ما می‌توانستیم آزمایش‌های بیشتری رو انجام بدیم ولی با توجه به اینکه نیروی برشی در فصل مشترک بین تیر ماشین‌آلات سنگین و سنگ‌دانه‌ها باعث ایجاد گردوغبار بیشتر می‌شود، بنابراین ما آزمایش‌های مقاومتی مانند آزمایش برش مستقیم و آزمایش تک‌محوره را ملاک انتخاب ماده افزودنی انتخاب کردیم تا علاوه بر بهبود خواص مقاومتی خاک باعث کاهش گردوغبار در جاده‌ها شود.

نتیجه گیری و پیشنهادها

۱-۵- تحلیل و نتیجه گیری

بهسازی خاک‌ها برای افزایش ظرفیت باربری و بهبود خواص ژئوتکنیکی، رویکردی است که در قرن اخیر با به آن توجه زیادی شده است. روش‌های متفاوتی به منظور بهبود خاک وجود دارد که یکی از معمول‌ترین روش‌ها، استفاده از افزودنی‌ها در خاک است. در این روش خصوصیات ژئوتکنیکی خاک به وسیله مخلوط کردن آن با یک ماده دیگر بهبود می‌یابد. در بیشتر عملیات عملکرد ماکزیمم تمامی پارامترهای خاک امری دشوار و پرهزینه است. بنابراین بر اساس دیدگاه مهندسی و نیازهای ترجیحی، خواص موردنیاز مشخص و ماده انتخابی بر اساس افزایش آن پارامترها انتخاب می‌گردد.

۱-۱-۵- نتایج تحقیق

- در آزمایش تراکم برای هر دو خاک AB 01 و AB 02 افزودن ملاس چغندر قند و افزودن لیگنوسولفونات کلسیم باعث افزایش وزن مخصوص خشک و کاهش درصد رطوبت بهینه می‌شوند. افزودن نانو رس مونت موریلونیت باعث افزایش وزن مخصوص خشک و افزایش درصد رطوبت بهینه می‌شود.
- در آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند چسبندگی کاهش پیدا می‌کند ولی افزودن ملاس چغندر ۲٪ باعث افزایش چسبندگی می‌شود. با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم ابتدا چسبندگی کاهش ولی در صد ۱/۵٪ افزایش می‌یابد. افزودن نانو رس مونت موریلونیت در درصدهای پایین باعث کاهش چسبندگی ولی در درصدهای ۱٪ و ۰/۷۵٪ باعث افزایش چسبندگی می‌شود. در خاک AB 02 با افزودن ملاس چسبندگی افزایش پیدا می‌کند ولی افزودن ۱٪ ملاس چغندر قند بهترین عملکرد را دارد. افزودن لیگنوسولفونات کلسیم ابتدا باعث کاهش چسبندگی ولی در صد ۱/۵٪ چسبندگی افزایش می‌یابد. افزودن نانو رس مونت موریلونیت در درصدهای پایین باعث کاهش چسبندگی ولی در درصدهای ۱٪ و ۰/۷۵٪ باعث افزایش چسبندگی می‌شود.

- در آزمایش برش مستقیم برای خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند زاویه اصطکاک داخلی ابتدا در درصد ۱٪ ملاس کاهش و سپس در درصدهای ۲٪ و ۳٪ افزایش و در درصد ۵٪ ملاس کاهش پیدا می‌کند همچنین با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم ابتدا زاویه اصطکاک داخلی در درصد ۵/۰٪ کاهش ولی در درصدهای ۷۵/۰٪ و ۱٪ و ۱۵/۱٪ افزایش می‌یابد همچنین زاویه اصطکاک داخلی با افزودن نانو رس مونت موریلونیت افزایش می‌یابد برای خاک AB 02 زاویه اصطکاک داخلی با افزودن ملاس چغندر قند ابتدا در درصد ۱٪ کاهش و سپس در درصدهای ۲٪ و ۳٪ افزایش و در درصد ۵٪ کاهش پیدا می‌کند با افزودن لیگنوسولفونات کلسیم در درصدهای ۵/۰٪ و ۷۵/۰٪ و ۱٪ زاویه اصطکاک داخلی افزایش ولی در درصد ۱۵/۱٪ کاهش پیدا می‌کند همچنین زاویه اصطکاک داخلی با افزودن نانو رس مونت موریلونیت افزایش می‌یابد.

- در آزمایش تک‌محوره در خاک AB 01 با افزودن ملاس چغندر قند مقاومت فشاری کاهش پیدا می‌کند ولی در ۱,۵٪ ملاس چغندر قند مقاومت فشاری افزایش پیدا می‌کند. افزودن لیگنوسولفونات کلسیم باعث افزایش مقاومت فشاری می‌شود و در ۷۵/۰٪ بهترین عملکرد را دارد. افزودن نانو رس مونت موریلونیت در درصدهای کمتر از ۷۵/۰٪ باعث کاهش مقاومت فشاری ولی در درصدهای ۷۵/۰٪ و ۱٪ باعث افزایش مقاومت فشاری می‌شود. در خاک AB 02 افزودن ملاس چغندر قند باعث افزایش مقاومت فشاری و بهترین عملکرد را ملاس ۳٪ دارد. افزودن لیگنوسولفونات کلسیم باعث افزایش مقاومت فشاری و بهترین عملکرد را ۱۵/۱٪ دارد. افزودن نانو رس مونت موریلونیت باعث افزایش مقاومت فشاری و بهترین عملکرد را ۱٪ دارد.

- در خاک AB 01 با توجه به نتایج آزمایش تراکم، آزمایش برش مستقیم، آزمایش تک‌محوره، از لیگنوسولفونات کلسیم ۱/۵٪ استفاده شد، برای خاک AB 02 با توجه به نتایج آزمایش تراکم، آزمایش برش مستقیم، آزمایش تک‌محوره، از ملاس چغندر ۲٪ استفاده شود.
- از نانو رس مونت موریلوینت ۱٪ برای هر دو خاک برای افزایش رطوبت بهینه می‌توان استفاده کرد.
- از نظر اقتصادی ملاس چغندر قند با توجه به قیمت مقرون به صرفه است.

۵-۲- پیشنهادها

زنجیره دانش بشری، زنجیره‌ای است بی‌انتهای؛ که بشر همواره در تلاش بوده و خواهد بود تا حلقه‌های آن را محکم‌تر نموده و حلقه‌های دیگری را نیز بدان بی‌افزاید. لذا تحقیقات انجام‌گرفته در این پایان‌نامه نیز خالی از نقض نبوده و از آنجایی که در تحقیقات انجام پذیرفته به مباحث فراوانی برخورد شده است و به علت گستردگی مطالب در این تحقیق، زمان کافی به پرداختن تمامی مسائل نیست. از این‌رو برای ادامه کار و راهنمایی برای محققین بعدی پیشنهادها مهمی ارائه‌شده است که به ترتیب ذیل ارائه می‌گردد:

- به‌جای استفاده از ملاس چغندر قند از ملاس نیشکر استفاده کرد.
- از لیگنوسولفونات کلسیم با درصدهای بالاتر تا ۵٪ استفاده شود.
- توسعه مطالعات در زمینه چگونگی پراکندگی مناسب و صحیح نانو ذرات در توده خاک.
- برای آزمایش برش مستقیم از دستگاه برش مستقیم بزرگ‌مقیاس استفاده شود.
- انجام آزمایش تونل باد ، CBR.
- استفاده از سورفکتانت‌ها و لیگنوسولفونات سدیم به‌عنوان ماده افزودنی به خاک.
- انجام آزمایش تک‌محوری برای نمونه‌ها در حالی که نمونه به مدت ۲۴ ساعت خشک شود.

منابع

[۱] Reed WR, Westman EC, Haycocks C. An improved model for estimating particulate emissions from surface mining operations in the Eastern United States. Securing the Future, International Conference on Mining and the Environment, Proceedings. Skelleftea, Sweden: The Swedish Mining Association, pp. 693–702.2001.

[۲] Cole CF, Zapert JG. Air quality dispersion model validation at three stone quarries. Prepared for National Stone Association, Washington, D.C.1995.

[۳] Amponsah-Decosta F, Annegarn HJ. Assessment of fugitive dust emissions from an opencast coal mine. J of the Mine Vent Soc of South Africa. Jan.-March 1998.

[۴] R. Thompson and A. J. U. o. P. Visser, "Mine haul road fugitive dust emission and exposure characterisation," 2001.

[۵] K. Edvardsson, A. Gustafsson, and R. J. I. J. o. P. E. Magnusson, "Dust suppressants efficiency study: in situ measurements of dust generation on gravel roads," vol. 13, no. 1, pp. 11-31, 2012.

[۶] آگهی مناقصه شماره ۲۱۳۲. ارائه خدمات آبپاشی، تسطیح و رگلاژ کلیه جاده‌های اصلی و فرعی معدن مس سرچشمه. <http://sarcheshmeh.nicico.com/>. ۱۳۹۴.

[۷] Cecala, A. B., O'brien, A. D., Schall, J., Colinet, J. F., Fox, W. R., Franta, R. J., ... & Schultz, M. J., Dust control handbook for industrial minerals mining and processing. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Office of Mine Safety and Health Research, 2012.

[۸] Haining, W., & Chao, W. A Super Water Absorbent Preparation and Its Characteristics for Roadway Dust Control. Journal of Central South University of Technology, Vol.26, pp.319~321, March.1995.

[۹] Foley, G., Cropley, S., & Giummarra, G.. Road dust control techniques : Evaluation of chemical dust suppressants performance. Australian Road Research Board, Special Report. Vol.54, pp.143~150, Oct.1996.

Chao, W . Test of Tar Emulsified Liquid as Dust Suppressant for Dirt Roads [J]. CHINESE JOURNAL OF ENVIROMENTAL SCIENCE, 1996.

[۱۰] Chao, W, Tingrang, M, Pinglong, W, .Test of Tar Emulsified Liquid as Dust Suppressant for Dirt Roads. Environmental Science, Vol. 17, pp.50~51, June,1996

[۱۱] Sanders, T.G., J.Q. Addo, A. Ariniello, and W.F. Heiden. "Relative Effectiveness of Road Dust Suppressants." Journal of Transportation Engineering, ASCE. 1997.

[۱۲] Organiscak, J.A., Randolph Reed, W.M., Characteristics of fugitive dust generated from unpaved mine haulage roads. *Int. J. Surf. Min. Reclamat. Environ.* 18, 236–252.2004.

[۱۳] Zhuoying, T, Xingguang, Z, & Wenjing, L,. Road dust formation and suppression in an open pit. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, Vol.27, pp.403~406, Aug.,2005.

[۱۴] Du, C., Cai, S., & Jiang, Z. Experimental study on controlling road dust raising in the open mine with the YCH dust suppressant. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, Vol.29 Suppl.2, pp45~46, Dec,2007

[۱۵] Thompson, R. J., and A. T. Visser. "Selection, performance and economic valuation of dust palliatives on surface mine haul roads." *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*.2007.

[۱۶] Du, C. F., & Li, L. Development and characterization of formulation of dust suppressant used for stope road in open-pit mines. *Journal of Coal Science and Engineering (China)* 19.2: 219-225.2013.

[۱۷] شبانی، منصور و علیرضا خادمی، کنترل گرد و غبار و تثبیت خاک جاده های خاکی با محلول کلریدی SSR400، سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفانهای گرد و غبار، یزد، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران، ۱۳۹۲

[۱۸] Barnes, D., & Connor, B. Managing dust on unpaved roads and airports. Alaska University Transportation Center.2014

[۱۹] Valenzuela, P., Palma, J.H., Vega, S. Dust suppressant treatments. Quality control. *Revista de la Construcción* 13, 27–35.2019

[۲۰] Kovshov S, Kovshov V. Chemical Technology of Dust Suppression on Open-Pit Mines. *International Journal of Ecology & Development*. 2015

[۲۱] Du Plessis JJ, Janse van Rensburg L, Jansen van Rensburg LP. Effectiveness of applying dust suppression palliatives on haul roads. *Journal of the Mine Ventilation Society of South Africa* 69(2):15 · June 2016.

[۲۲] Omame D, Liu WV, Pourrahimian Y. Comparison of chemical suppressants under different atmospheric temperatures for the control of fugitive dust emission on mine haul roads. *Atmospheric Pollution Research*. 2018.

[۲۳] Huang J, Ho CH, Wu Z, Gao Y, Zhang Y, Zhang Z. Evaluation of Co-polymer Based Dust Suppressant Mixed with Soil in Unpaved Road: Lab Experiment. In *Civil Infrastructures Confronting Severe Weathers and Climate Changes Conference* .2018.

[٢٤] Rappen A. Dust Suppression in comparison with other dedusting processes. Bulk Solids Handling Magazine, pp. 333–338.1994.

[٢٥] Morera G, González V, dust production in mining suppression measures in quarry blasting , master degree in mining engineering. september 2018.

[٢٦] ISO, Air quality - Particle Size fraction Definitions for Health-related Sampling, Interantional Organization for Standardization (ISO), Geneva, ISO 7708. 1995

[٢٧] BSI, Characterization of air quality - Part 2: Glosssary, British Standard Institute, Great Britain, BS 6069-2:1994 / ISO 4225:1994.

[٢٨] Petavratzi, E., Kingman, S., & Lowndes, I . Particulates from mining operations: A review of sources, effects and regulations. Minerals Engineering, 18(12), 1183-119 ,2005.

[٢٩] CDC (Centers for Disease Control and Prevention), U.S. Department of Health & Human Services. <https://ephracking.cdc.gov/showAirHealth>. Last accessed: 26/03/2018.

[٣٠] Petavratzi, Evaggelia ,An assessment of dust generation from ores. PhD thesis, University of Nottingham. School of Chemical, Environmental and Mining Engineering May 2006.

[٣١] Office of the Deputy Prime Minister, MPG11: controlling environment effects of minerals extraction - Annex 1: The control and mitigatin of dust at mineral and related workings, 2005.

[٣٢] US EPA, Technical assessment paper: Available information for estimating air emissions from stone mining and quarrying operations, US EPA, USA, Volume II: Chapter 13. 1998b.

[٣٣] Arup Environmental, The Environmental Effects of Dust from Surface Mineral Workings, HMSO, London, PECD 7/1/468. 1995.

[٣٤] Balkau, F, Pollution Prevention and Abatement Guidelines for the Mining Industry, UNEP IE/PAC, Paris, 2nd Draft. 1993.

[٣٥] Trade Union Congress, Hazards at work - TUC Guide to Health and Safety, Trade Union Congress, U.K. 2001.

[٣٦] Health and Safety Executive, EH46 Summary Criteria for Occupational Exposure Limits 2002, Health and Safety Executive, U.K., EH64. 2002.

[٣٧] World Health Organization, Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust, World Health Organization, Switzerland, WHO/SDE/OEH/99.14.1999.

- [۳۸] Naghadehi, M. Z., Sereshki, F., & Mohammadi, F. Pathological study of the prevalence of silicosis among coal miners in Iran: A case history. *Atmospheric Environment*, 83, 1-5. 2014.
- [۳۹] Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment international*, 74, 136-143 .2015.
- [۴۰] SIMRAC, Handbook to reduce the exposure of workers to dust, Members of the Special Interest Group on Dust and Ventilation, Safety in Mines Research Advisory Committee (SIMRAC), South Africa, COL 027.2003.
- [۴۱] Brunius, O. & Brunius, M , "Dust control and prevention of dust explosions in belt conveyor systems", *Bulk solids handling*, vol. 15, no. 2, pp. 265-269.1995.
- [۴۲] Eckhoff, R. K , "Prevention and mitigation of dust explosions in the process industries - Part 1", *Bulk solids handling*, vol. 7, no. 1, pp. 11-21. 1995.
- [۴۳] Hume, A. L , "Assessing and solving the hazard of dust explosions", *Bulk solids handling*, vol. 13, no. 2, pp. 371-372.1993.
- [۴۴] Wilkinson, H. N., Reed, A. R., & Wright, U. K, "The cost to U.K. industry of dust, mess and spillage in bulk materials handling plant", *Bulk solids handling*, vol. 9, no. 1, pp. 93-97.1989.
- [۴۵] Higuera P., Oyarzun R . *Mineralogía y Residuos Mineros*. Universidad Politécnica de Almadén. 2003.
- [۴۶] Gillies, J.A., V. Etyemzian, H. Kuhns, D. Nikolic, D.A. Gillette. Effect of Vehicle Characteristics on Unpaved Road Dust Emissions. *Atmospheric Environment*, V (39): 2341-2347. 2005.
- [۴۷] Williams, D.S., M.K. Shukla, J. Ross. Particulate Matter Emissions by a Vehicle Running on Unpaved Road. *Atmospheric Environment*, V (42): 3899-3905.2008.
- [۴۸] Klose, M. and Y. Shao. Large-Eddy Simulation of Turbulent Dust Emission. *Aeolian Research*, V(8): 49-58. 2013.
- [۴۹] Liu S., Sun D. Simulating the collapse of unsaturated soil by DEM. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 26(6), 633- 646. 2002.
- [۵۰] Nicholson K., Branson J., Gless P., Cannell R. 1989. The Effects of Vehicle Activity on Particle Resuspension. s.l.: J. Aerosol Sci. Vol 20: 1425–1428. 1989.
- [۵۱] Tong X., Luke E., Smith R. Sensitivity studies on particle emissions and transport

around a moving vehicle. Proceedings of the Indian Ground systems engineering and technology symposium [GVSETS]. 2011.

[۵۲] Chen J., Fu X., Wegman E. Real-Time Simulation of Dust Behaviour Generated by a Fast Travelling Vehicle ACM Transactions on Modelling and Computer Simulation. 1999.

[۵۳] Neuman C., Nickling W. Aeolian sediment transport Geomorphology of Desert environments. 2009.

[۵۴] EPA (Environmental Protection Agency): Unpaved Road, Compilation of air pollution Emission Factors. U.S.: Ch. 13. AP-42. 2006.

[۵۵] EPA (Environmental Protection Agency): Unpaved Road, Compilation of air pollution Emission Factors. U.S.: Ch. 13. AP-42. 2006.

[۵۶] Gebhart, D. L., Denight, M. L., & Grau, R. H. Dust control guidance and technology selection key (No. CERL-99/21). construction engineering research (army) champaign. 1999.

[۵۷] Vorobieff, G. Chemical Binders used in Australia. AustStab, NZIHT Stabilisation of roads. 2004.

[۵۸] راهنمای تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راهها، پژوهشکده حمل و نقل تهران، ۱۳۸۴.

[۵۹] روش‌شناسی، ب. " بررسی روش‌های مختلف تثبیت خاک و مصالح سنگی روسازی راه " ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، شماره ۸۳، ۱۳۷۸.

[۶۰] طباطبایی، ا. م. " روسازی راه "، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ نهم، ۱۳۷۹.

[۶۱] Little, D.N., Thompson, R.L., Terrell, R.L., Epps, J.L., Bromberg, E.J, "Soil Stabilization for Roadways and Airfields," AFESC Final Report, U.S.A. 1987.

[۶۲] "Unsealed Roads Manual, Guidelines to Good Practice," Stralian RoadResearch Board Limited, 1993.

[۶۳] Hausmann, M.R., "Engineering Principles of Ground Modification," McGraw-Hill. Book. Inc., 1990

[۶۴] Sowers, G.F., "Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering," Mcmillan Pub. Co. Inc. 1979.

[۶۵] Watson JG, Rogers CF, Chow JC, DuBois D, Gillies JA, Derby J, Moosmüller H. Effectiveness demonstration of fugitive dust control methods for public unpaved roads and unpaved shoulders on unpaved roads. Final Report, DRI Document No. 685–5200.1F1, Prepared for California Regional Particulate Air Quality Study, Sacramento, California: California Air Resources Board. 1996.

[۶۶] Environmental, Countess. "WRAP fugitive dust handbook." Prepared for Western Governors' Association 2006.

[۶۷] Chekan GJ, Colinet JF. Retrofit options for better dust control—cab filtration, pressurization systems prove effective in reducing silica dust exposures in older trucks. *Aggregates Manager*. 2003.

[۶۸] Australian roads research board (arrb. in road dust control techniques, evaluation of chemical dust suppressants' performance. *australian roads research board special report 54, victoria, australia*, pp. 17–18. 1996.

[۶۹] Jones, D. Glen H.W. The impacts and control of dust on mine haul roads. *proceedings of the south african institute of mining and metallurgy conference on surface mining*, 1996.

[۷۰] EPA Environmental Protection Agency. Section 13.2.2 Unpaved roads. In: *Compilation of Air Pollution Emissions Factors, Vol. I: Stationary Point and Area Sources, 5th Edition AP-42*. Research Triangle Park, North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group. 1998.

[۷۱] USBM (United States Bureau of Mines). Cost effectiveness of dust control used on unpaved haul roads, Vol. 1 results, analysis, and conclusions. By Rosbury KD, Zimmer RA. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines Open File Report 106–85. 1983.

[۷۲] <http://www.tehranacid.com/> ۱۳۸۶ ، کیمیا تهران اسید

[۷۳] Nova Scotia Department . The Environmental Implications of Road salting in Nova Scotia Unpublished report. 40 pp. (jointed released with the Nova Scotia Department of Transportation and Communication.1989

[۷۴] Kirchner, J.W., P.J. Dillon, and B.D. LaZerte. Predicted response of stream chemistry to acid loading tested in Canadian catchments. *Nature* 358: 478-482. 1992

[۷۵] Environment Canada. (draft). Canadian Environmental Protection Act - Problem formulation for the environmental assessment of the priority substance road salts: version 1.0. Government of Canada.1997

[۷۶] Transport Association of Canada. Road Salt Management Guide. 295 pp.1999.

[۷۷] D. Saylak, S. K. Mishra, G. G. Mejeoumov, S. Chang-Seon, "Fly ash Calcium Chloride Stabilization in Road Coonstruction," TRB 2008 Annual Meeting CD-ROM, 2008.

[۷۸] W. H. Bushman, T. E. Freeman, and E. J. Hoppe, "Stabilization Techniques for Unpaved Roads," The Virginia Department of Transportation (VDOT), Charlottesville, Virginia, 2004.

[۷۹] Midwest Research Institute "Dust control for haul roads. U.S. Department of the Interior", Bureau of Mines Open File Report 130–81. 1981.

[۸۰] USBM (United States Bureau of Mines). "Fugitive dust control for haulage roads and tailings". By Olson KS, Veith DL. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines Report of Investigations 9069. 1987.

[۸۱] Nixon, W. A., Williams, A. D. A guide for selecting anti-icing chemicals. Version 1.0. IIHR Technical Report No. 420.2001

[۸۲] Ketcham, S. A., Minsk, L. D., Blackburn, R. R., Fleege, E. J. Manual of practice for an effective anti-icing program: a guide for highway winter maintenance personnel. Publication No. FHWA-RD-9-202. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory. 1996.

[۸۳] <https://mychem.ir> and <http://worldofknowlege.blogfa.com> and <http://www.raikachem.com> and <http://www.petrochem-ir>.

[۸۴] Gillies JA, Watson JG, Rogers CF, DuBois D, Chow JC "Long-term effectiveness of dust suppressants to reduce PM10 emissions from unpaved roads". J of Air & Waste Man Assoc 49:3–16. 1999.

[۸۵] Masoumi, Alef, Abtahi, H, "Using new chemical material to stabilization of loose sandy soils ". 1st national chemical congress of Iran 2009.

[۸۶] Alaie, Hamed, "Study of stabilized soil features with polymer material ", Master Thesis, Islamic Azad university Najafabad branch. 2009.

[۸۷] Samaie, H, R, Golchin, A, and Mosadeghi M.R, "Controlling pollution due wind erosion by solution polymers in water ", congress of soil and environment and sustainable development. 2006.

[۸۸] Georgees RN, Hassan RA, Evans RP, Jegatheesan P "Effect of the use of a polymeric stabilizing additive on unconfined compressive strength of soils". Trans Res Rec: J Trans Res Board 2015

[۸۹] Onyejekwe S, Ghataora GS . Soil stabilization using proprietary liquid chemical stabilizers: sulphonated oil and a polymer. Bull Eng Geol Environ 2015

[۹۰] Rauch A, Harmon J, Katz L, Liljestrang H Measured effects of liquid soil stabilizers on engineering properties of clay. Transp Res Rec 2012.

[۹۱] Mousavi F, Abdi E, Rahimi H Effect of polymer stabilizer on swelling potential and CBR of forest road material. KSCE J Civ Eng 2014.

[۹۲] Zhor, J. and Bremner, T.W. Role of Lignosulfonates in High Performance Concrete. The Role of Admixtures in High Performance Concrete. Proceedings of the International RILEM Conference. Edited by JG Cabrera and R. Rivera-Villareal.1999.

[۹۳] Adams, J.W., Environmental effects of applying lignosulfonate to roads. Daishowa Chemicals Inc. Research and Development Division.1998.

[۹۴] M. Prudhvi, Dr. M. Kameswar rao stabilization of gravel soil by using molasses-lime. International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR) ISSN: 2455-4847, Volume 02 - Issue 06, June 2017.

[۹۵] Abidin, Z., Matsue, N., and Henmi, T. Differential formation of allophane and imogolite: Experimental and molecular orbital study. J. Comp.-Aided Mater, 2007.

[۹۶] قنبری، ع. " کاوش های صحرائی در مهندسی ژئوتکنیک "، نو آوران شریف. ۱۳۸۸.

[۹۷] بهاری دلیوند، میثم "بررسی آزمایشگاهی بهبود خواص ژئوتکنیکی سیلت ها با استفاده از نانورس پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان. ۱۳۹۱.

[۹۸] اسکروچی، ع.، صدیقی منش، م.، افتخاریان.ل، تی تی دژ، ا.، خاکباز، ب.، سارنگ، ع.، صادقیان، پ.، مهین روستا، ر.، نواری، م.، آزمایشگاه مکانیک خاک، "نشر کتاب دانشگاهی، ویراست دوم، چاپ پنجم. ۱۳۹۳.

[۹۹] Yada, R., and Solomon, S. "Potential of developing sugarcane by-product based industries in India" , Indian Institute of Sugarcane Research, Vol. 8, No.2 and 3 ,2006.

[۱۰۰] Malek, R., "Effect of Ecss 3000tm soil stabilizer on the strength of montmorillonite," Materials Research Institute, For Environmental Soil Stabilization, LLC Burleson, TX.2008.

[۱۰۱] صمدی، م. مقدم، ن. و مختاری، ز.، " نانو مونت موریلینت ها : کاربردها و خواص " چهاردهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران ، دانشگاه صنعتی شریف تهران. ۱۳۹۱.

[۱۰۲] Benedict, M. Techniques for dust prevention and suppression. Washington State Dept. of Ecology,(Current Version)(www. ecy. wa. gov/biblio/96433. html).2003.

[۱۰۳] Huertas, J. I., Camacho, D. A., & Huertas, M. E. Standardized emissions inventory methodology for open-pit mining areas. Environmental Science and Pollution Research, 19(7), 2784-2794.2012.

[۱۰۴] Bolander, P., & Yamada, A. Dust palliative selection and application guide. Project Report.1999.

پیوست

ملاحظات زیست محیطی	محدودیت عملکرد	مزایای عملکرد	مکانیسم عملکرد	منبع تأمین کنترل کننده	کنترل کننده های گردوغبار
اثـــــــرات زیست محیطی کم، آبپاشی بیش از حد ممکن است باعث فرسایش شود و همچنین تأمین آب ممکن است در برخی از مناطق محدود باشد [۱۰۲].	به برنامه های منظم و پیوسته نیاز دارد، آبپاشی بیش از حد سبب خرابی جاده ها و مشکلات عملیاتی می شود [۱۰۳].	کم هزینه، معمولاً به راحتی در دسترس، به کارگیری آسان [۱۰۳، ۱۰۲].	باعث مرطوب کردن ذرات، افزایش جرم و تراکم آنها می شود و آنها را با یکدیگر متصل می کنند [۱۰۳، ۱۰۲].	منابع سطحی یا آب های زیرزمینی است [۱۰۲].	آب
استفاده مکرر و استفاده طولانی مدت ممکن است به پوشش گیاهی مجاور و نزدیک آسیب برساند [۱۰۲].	اثر بخشی در مناطق خشک و نیمه خشک ممکن است با توجه به رطوبت نسبی کم باشد، بسیار خورنده به آلیاژهای آلومینیوم، کمی خوردگی به فولاد دارد. هنگامی که در آب مخلوط می شود، گرما آزاد می شود [۱۰۲].	شدت تبخیر رطوبت سطح ۳/۴ برابر کاهش می یابد؛ نقطه ی انجماد آب را تا ۶۰- درجه فارنهایت (۳۰٪ محلول) کاهش می دهد و موجب کاهش یخ زدگی می شود. چگالی مواد جاده را افزایش می دهد [۱۰۲].	رطوبت گیر و جاذب رطوبت؛ یعنی رطوبت را در یک رطوبت نسبی برابر یا بیشتر از ۲۹٪ (۷۷ درجه فارنهایت) جذب می کند [۱۰۲].	فرآورده های آمونیوم-سودا (Solvay)؛ همچنین از نمک طبیعی تولید می شود.	کلرید کلسیم
استفاده مکرر و استفاده طولانی مدت ممکن است به پوشش گیاهی مجاور و نزدیک آسیب برساند [۱۰۲].	اثر بخشی در مناطق خشک و نیمه خشک ممکن است با توجه به رطوبت نسبی کم باشد؛ بسیار خورنده به فولاد، حلالیت در هنگام بارندگی سنگین باعث شستشوی می شود [۱۰۲].	شدت تبخیر رطوبت سطح ۳/۱ برابر کاهش می یابد؛ نقطه ی انجماد آب را به ۲۷- درجه فارنهایت (۲۲٪ محلول) کاهش می دهد و موجب کاهش یخ زدگی می شود. چگالی مواد جاده را افزایش می دهد [۱۰۲].	رطوبت گیر و جاذب رطوبت؛ یعنی رطوبت را در رطوبت نسبی برابر یا بیشتر از ۳۲٪ (۷۷ درجه فارنهایت) جذب می کند [۱۰۲].	تولید شده از نمک طبیعی، محصول جاذب تولید پتاس، از واکنش هیدروکسید منیزیم (از آب دریا یا دولومیت) با اسید هیدروکلریک تولید شده است [۱۰۲].	کلرید منیزیم

<p>کلرید سدیم</p>	<p>به طور طبیعی از معادن نمک و از آب های شور نیز قابل استحصال است [۱۰۴].</p>	<p>رطوبت گیر و جاذب رطوبت؛ یعنی رطوبت را در رطوبت نسبی برابر یا بیشتر از ۷۹٪ جذب و حفظ می کند [۱۰۴].</p>	<p>رطوبت از اتمسفر را جذب می کنند تا رطوبت سطح جاده را در سطح نرمال حفظ کند. و همچنین می توانند برای کاهش یخ زدگی در شرایط زمستانی در جاده ها استفاده کرد [۱۰۴].</p>	<p>در آب و هوای خشک مؤثر نیست زیرا آب را در رطوبت نسبی کمتر از ۷۹٪ جذب نمی کند. در محلول های رقیق خوردگی متوسطی به فولاد دارد [۱۰۴].</p>	<p>در برخی از گونه های گیاهی مانند گونه کاج، صنوبر و افرا... و غیره تأثیر می گذارد [۱۰۴].</p>
<p>کلرید پتاسیم</p>	<p>از مواد معدنی سیلویت، کارنالیت و پتاس استخراج شده و همچنین محصول جانبی واکنش تولید اسید نیتریک از نیترات پتاسیم و اسید هیدرو کلریک است.</p>	<p>ماده هیدروسکوپیک (جاذب الرطوبت) که رطوبت خاک جذب و حفظ می کند [۱۰۳].</p>	<p>باعث فشرده سازی مواد در جاده می شود و با حفظ و نگهداری از جاده از بین نمی رود [۱۰۳].</p>	<p>خورنده است. همراه با بارش باران شسته می شوند. تأثیرات زیست محیطی دارد [۱۰۳].</p>	<p>می توانند مضر باشد، برای پوشش گیاهی و برای کارکنان اگر بایوست یا چشم آنها تماس داشته باشد [۱۰۳].</p>
<p>مشتقات لیگنین</p>	<p>تولید فرآورده های کاغذی حاوی لیگنین و کربوهیدرات ها در محلول است. ترکیب خاص بستگی به مواد شیمیایی و فرآیندهای مورد استفاده برای استخراج سلولز دارد [۱۰۲، ۱۰۴].</p>	<p>به عنوان مواد چسبنده، ذرات خاک را به هم متصل می کند.</p>	<p>مقاومت خشک خاک را به شدت افزایش می دهد؛ وابسته به رطوبت نسبت؛ اثربخشی در طول دوره های خشک با رطوبت کم حفظ می کند و سطوح جاده ها را نرم می رساند و همچنین نقطه انجماد سطح جاده را کاهش می دهد [۱۰۲، ۱۰۴].</p>	<p>به علت حلالیت بالا در آب هنگام بارندگی سنگین باعث شستشوی می شود. خورنده به آلیاژهای آلومینیوم به علت اسیدی بودن. مخلوط سنگ دانه مناسب (۴-۸٪ نرمه) برای عملکرد آن مهم است. وقتی خشک باشد شکننده و وقتی مرطوب باشد لغزنده می شود [۱۰۲، ۱۰۴].</p>	<p>در درصدهای بالا دارای BOD بالا در سیستم های آبی هستند. نشست آن در آب های زیرزمینی ممکن است باعث کم شدن اکسیژن و کشته شدن ماهی ها و یا افزایش غلظت آب زیرزمینی از آهن، گوگرد، می شود که آلودگی دیگری ایجاد می کند [۱۰۲، ۱۰۴].</p>

<p>امولسیون رزینی درخت</p>	<p>امولسیون تولیدشده از رزین درخت کاج.</p>	<p>به‌عنوان مواد چسبنده، ذرات خاک را به هم متصل می‌کند.</p>	<p>حلالیت پایین در طی زمان و به حداقل رساندن شستشو و میزان درجه حرارت آب سطح فراهم می‌کند. و سطوح جاده‌ها را نرم می‌رساند قدرت پیوند بالا؛ غیر خورنده</p>	<p>نیاز به آب‌وهوا و زمان مناسب برای بهبود دارد تجهیزات برای پاک کردن رزین در شیلنگ ولوله‌ها نیازمند تمیز کردن سریع است.</p>	<p>-</p>
<p>ملاس</p>	<p>محصول جانبی در روند تهیه شکر از چغندر قند یا نیشکر</p>	<p>به‌عنوان مواد چسبنده، ذرات خاک را به هم متصل می‌کند.</p>	<p>کم‌هزینه نسبت به سایر کنترل‌کننده‌ها، معمولاً به راحتی در دسترس، مناسب برای محیط زیست</p>	<p>در هنگام بارندگی سنگین شسته می‌شود</p>	<p>-</p>
<p>سورفکتانت‌ها</p>	<p>بر اساس ساختار و روش تولید به انواع سورفکتانت‌های پلیمری و زیستی و ابعاد نانو تقسیم می‌شود.</p>	<p>باعث مرطوب کردن ذرات، می‌شود و آن‌ها را با یکدیگر متصل می‌کنند [۱۰۳].</p>	<p>باعث کاهش کشش سطحی آب می‌شود، آسان برای اعمال و انعطاف‌پذیر بالایی دارد [۱۰۳].</p>	<p>مدت اثر برای کنترل گردوغبار کم است [۱۰۳].</p>	<p>-</p>
<p>امولسیون پلیمر مصنوعی</p>	<p>ترکیبات مصنوعی متشکل از پلی اتیلن استات، کو پلیمرهای وینیل آکریلیک، متاکریلات کو پلیمر، پلی بوتادیان، و غیره [۱۰۲].</p>	<p>با ایجاد یک ماتریس پلیمریزاسیون، مشابه با مواد چسبنده، ذرات خاک را با یکدیگر ترکیب می‌کند [۱۰۳، ۱۰۲].</p>	<p>در طیف‌های وسیعی از منابع انتشار گردوغبار قابل اجرا است؛ عملکرد خوب در شرایط شنی خاک دارد. برخی از انواع پوشش گیاهی را می‌توان از طریق ماتریس پلیمری رشد داد [۱۰۴].</p>	<p>نیاز به شرایط مناسب آب‌وهوا و زمان برای بهبود دارد؛ ممکن است منجر به تخریب متوسط اشعه (UV) خورشید شود؛ نیاز به تجهیزات برای تمیز کردن به موقع دارد [۱۰۴].</p>	<p>اثرات زیست محیطی کمی دارد [۱۰۳].</p>

<p>قیرهای نفتی و قیر و رزین‌ها</p>	<p>فرآورده‌های نفتی، زغال‌سنگ و صنایع پلاستیک [۱۰۲].</p>	<p>محصولات آسفالت و رزین چسبنده هستند، ذرات خاک را باهم ترکیب می‌کنند. و وزن آن‌ها را افزایش می‌دهد [۱۰۲].</p>	<p>نامحلول در آب است و سطح را در برابر آب غیرقابل نفوذ می‌کند و مناسب برای برنامه‌های درازمدت است [۱۰۳، ۱۰۴].</p>	<p>بسیار پرهزینه است و تأثیر زیست‌محیطی مخربی دارد [۱۰۳].</p>	<p>برخی از محصولات مبتنی بر نفت ممکن است دارای هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای سرطان‌زا باشند [۱۰۴].</p>
<p>نانورس‌ها</p>	<p>از کانی‌های رسی مثل کائولینیت و بنتونیت و استخراج شده است</p>	<p>باعث چسبیدن ذرات ریز گردوغبار به هم می‌شود، به‌طور کلی مقاومت مواد خشک را تحت شرایط خشک افزایش خواهد [۱۰۴].</p>	<p>غیر خورنده است، اثرات زیست‌محیطی ندارد [۱۰۴].</p>	<p>در صورتی که از مقدار زیادی استفاده شود ممکن است هنگامی که مرطوب شود سطح زمین لغزنده شود [۱۰۴].</p>	<p>-</p>

Abstract

Dust emissions from mining activities and their impact on the surrounding environment have been and remain one of the major environmental impacts associated with surface mining. Dust emissions caused by the transportation of mined material on surface mines are the most significant contributor. Dust emissions not only have a negative environmental impact, but also impact on vehicle maintenance and operating costs, and can affect the health of the surrounding communities. Generally, in the mines to overcome the problem of conventional spray water route is used. This method creates environmental problems and actions, including taking too much water, low efficiency in regions hot and dry, the high cost of water supply in many areas (especially considering the spiritual value of it), mental disruption of the soil, creating traffic due process water spray, spray water devices and ramps placed maintenance costs. Today, soil stabilization is one of methods that experts by scientific principles and technology used suitable materials for reinforcement soil, and improvement engineering-mechanical characteristics such as, resistance, hardship, Plasticity and bearing capacity of soil. In this study is that the effects of three additives, including sugar beet molasses, lignosulfonate calcium montmorillonite nanoclay and soil resistance on improving the physical parameters of the mine ramps cement Abyek Qazvin investigated. Based on the Compaction test, Atterberg limits test, compressive strength test, direct shear test as Reagents for soils containing certain additives was carried out with weights done. Addition of sugar beet molasses in both soils reduced the optimum moisture content up to 11.6% and increased the Maximum dry density of 1.955 gr/cm^3 for AB01 soil, and 1.942 gr/cm^3 for AB02 soil. Addition of calcium lignosulfonate reduced the optimum moisture content for AB01 soil to 11.8% and for AB02 soil to 12% Also, Maximum dry density gain was 1.939 gr/cm^3 for AB01 soil, and 1.914 gr/cm^3 for soil AB02. The addition of montmorillonite nanoclay increased the optimum moisture content up to 13.7% for AB01 soil and for AB02 soil up to 14.3% as well as the increase in Maximum dry density of 1.958 gr/cm^3 for AB01 soil, 1.947 gr/cm^3 Obtained for soil AB02. Finally, the best results were obtained by Compaction test, compressive strength test, direct shear test, addition of 1.5% calcium lignosulfonate for soil AB01 and 2% molasses for soil AB02.

Key words: dust suppressants, open-pit mine, road dust, unpaved roads, dust palliative, dust haulage roads, calcium lignosulfonate, montmorillonite nanoclay, sugar beet molasses, compressive strength test, direct shear test, Compaction test



Shahrood University of Technology
Faculty of mining, Petroleum and Geophysics Engineering

MSc Thesis in Mineral Exploitaion

**The use of nanoparticles and inorganic materials to
improve the engineering properties of soil of mine haul roads**

By: Mahdi Salehabadi

Supervisors:

Dr. Farhang Sereshki

Dr. Mohammad Karamoozian

Advisor:

Dr. Mirhosein Shahami

January 2020