بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده پردیس خوارزمی

گروه مهندسی عمران

ارزیابی پارامترهای مقاومت برشی خاک رس اصلاح شده با درصدهای مختلف آهک و نانوسیلیس

دانشجو : محمد علی مزینانیان

استاد راهنما :

دکتر سید مهدی حسینی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۴

شماره: ۴/۱۷۶۰ الف
تاریخ: ۹۴/۱۱/۱۷
ویرایش: ـــــ

باسمه تعالی

دانشگاه شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد علی مزینانیان به شماره دانشجویی۹۲۴۵۷۶۴ رشته مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک وپی تحت عنوان: ارزیابی پارامترهای مقاومت برشی خاک رس اصلاح شده با درصدهای مختلف آهک ونانو سیلیس
که در تاریخ ۹۴/۱۱/۱۲ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : خوب امتیاز (۱۷/۷) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹)
۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ۱۶)
۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنما	سید مهدی حسینی	استادیار	
۲ـ استاد مشاور	ـــــ	ـــــ	ـــــ
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	علی عباس نژاد	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	امید بذرافشان مقدم	استادیار	
۵ ـ استاد ممتحن	رضا ناری	دانشیار	

رئیس دانشکده: خواجوی
امضاء

دانشگاه شاهرود

تقدیم به

روح پدر و مادر بزرگوارم

، همسر مهربان و صبور و دختر عزیزم

می دانم که هرگز نتوانسته‌ام محبت‌هایتان را جبران نمایم.

هرچه هست از قامت ناساز بی‌اندام ماست

ورنه تکلیف تو بر بالای کس کوتاه نیست

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

هر کس در مقابل احسان و نیکی بندگان خداوند شکرگزاری نکند خدای یکتا را شکر نگفته است.

در ابتدای این تحقیق برخود لازم دانسته تا از زحمات اساتید، همکاران و دوستان گرانقدر خود که در این مسیر دلسوزانه مرا یاری نمودند تشکر نمایم.

با تقدیر فراوان از معلم علم واخلاق،آقای دکتر سید مهدی حسینی که خالصانه علم و تجربه خویش را در اختیار بنده قرار داده و همچون شمعی روشنگر این حقیر در قسمتهای تاریک این تحقیق بوده‌اند.

با سپاس فراوان از آقای دکتر رضا نادری، آقای دکتر امیر بذر افشان مقدم و آقای دکتر علی عباس نژاد که روشنگر راهم در تنظیم این پایان نامه بوده اند.

باتقدیر وتشکر از همه همکاران عزیز و ارجمندم، آقای دکتر احمد احمدی ،آقای دکتر وحید رضا کلات جاری، آقای دکتر سید فضل ا... ساغروانی، آقای دکتر مهدی عجمی، و همه عزیزانی که با محبت های بی دریغشان، حمایتها و تشویق هایشان سختی های راه را برای ادامه تحصیل بر این حقیر آسان کردند . همچنین با تشکر از همه اساتید بزرگوار در دوره کارشناسی ارشد.

با تشکر و قدردانی از همکاران عزیز، کارشناسان محترم آزمایشگاههای مکانیک خاک و تجزیه مواد معدنی(XRF و XRD) دانشگاه صنعتی شاهرود آقای مهندس سید جمال کلانتری، آقای مهندس محمد کبیریان و سرکار خانم نوری مسئول آموزش تحصیلات تکمیلی.

و با تشکر و سپاس فراوان از دوست عزیز و ارجمندم آقای مهندس مهدی اردیانی به خاطر راهنمائی ها و همراهی ها یشان در طی دوره کارشناسی ارشد.

تعهد نامه

اینجانب **محمد علی مزینانیان**دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **عمران- مکانیک خاک وپی** دانشکده **پردیس خوارزمی** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارزیابی پارامترهای مقاومت برشی خاک رس اصلاح شده با درصدهای مختلف آهک و نانوسیلیس** تحت راهنمائی آقای**دکتر سید مهدی حسینی** متعهد می شوم .

- 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 ازپایان نامه رعایت می‌گردد.
- 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:۱۳۹٤/۱۰/۰۷امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها 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

با توجه به قرارگیری برخی از پروژه‌های عمرانی مهم بر خاکهای رسی، که در مواردی جزء خاکهای مسئله دارمحسوب می شوند، ضرورت اصلاح و بهسازی آنها جهت ایجاد بستری مناسب برای انجام و اجرای پروژه حائز اهمیت است.در گذشته بیشتر از آهک برای بهبود واصلاح پارامترهای لازم در خاک استفاده می شد ولی در سالهای اخیر تکنولوژی نانو در حد گسترده و با سرعت بالایی در تمامی زمینه‌ها مورد استفاده قرار گرفته و بدلیل جدید بودن و عدم وجود مرجعی کامل در مهندسی ژئوتکنیک و تحقیقات پراکنده و ناکافی نیاز به شناخت، نحوه کاربرد و میزان تاثیر نانو ذرات در این حوزه می‌باشد. بدیهی است به کار بردن یک روش مناسب برای بهسازی خاک که هم از نظر اقتصادی و زمانی بهینه باشد واز طرفی دارای پشتوانه علمی نیز باشد کاری است که تنها بوسیله تحقیق و پژوهش میسر است . دراین تحقیق به ارزیابی اثر توام افزودن درصدهای مختلف نانو سیلیس و آهک بر خاک رس و اندازه گیری پارامترهای مقاومت برشی خاک رس مورد نظر به وسیله آزمایش برش مستقیم پرداخته شده است. بدین منظور پس از انجام آزمایشهای شناسائی و طبقه بندی، مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک، آزمایش برش مستقیم بر روی خاک مورد نظر با درصدهای مختلف نانوسیلیس و آهک انجام و در ادامه با نتایج حاصله ازآزمایشهای فوق الذکر ، پارامترهای مورد نظر ارزیابی می‌گردد. نتایج حاکی از بهبود پارامترهای مقاومت برشی خاک رس اصلاح شده با ۱الی ۳ درصد نانو سیلیس و آهک می‌باشد.

کلمات کلیدی: پارامترهای مقاومت برشی، نانو سیلیس، آهک، بهسازی خاک، برش مستقیم.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه :

۱- حسینی ،سید مهدی، مزینانیان،محمد علی، (۱۳۹۴)، *"ارزیابی پارامترهای مقاومت برشی خاک رس اصلاح شده با آهک و نانو سیلیس"*، دومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران، ۲۶ آذر ماه ۱۳۹۴، گرگان.

۲- حسینی ،سید مهدی، مزینانیان،محمد علی، (۱۳۹۴)، *"بررسی تاثیر نانو سیلیس وآهک بر خصوصیات پلاستیسیته خاک رس"*، دومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران، ۲۶ آذر ماه ۱۳۹۴، گرگان.

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه و کلیات ۱

۱-۱-تاریخچه موضوع: ۲

۱-۱-۱-تعریف مساله وضرورت انجام تحقیق: ۲

۱-۱-۲- مروری بر کارهای گذشته: ۳

۱-۲- فرضیات و اهداف پایان نامه: ۷

۱-۳- ساختار پایان نامه: ۸

فصل دوم مقاومت برشی نانو فن آوری و بهسازی خاک ۹

۲-۱- مقدمه: ۱۰

۲-۱-۱- مقاومت برشی خاکها ۱۰

۲-۱-۲- معیار گسیختگی مور-کولمب ۱۰

۲-۱-۳- زاویه گسیختگی در خاک ۱۱

۲-۱-۴-آزمایش برش مستقیم ۱۲

۲-۲- نانو: ۱۵

۲-۲-۱- نانو تکنولوژی چیست؟ ۱۷

۲-۲-۲-کاربردهای نانو تکنولوژی ۱۸

۲-۲-۳-دیدگاه های ریچارد فاینمن ۱۹

۲-۲-۴-حوزه علوم نانو ۱۹

۲-۲-۵-نانو فناوری چیست ؟ ۲۰

۲-۲-۶- نانو ساختارها وطبیعت ۲۳
۲-۲-۷-تاریخچه نانو فناوری ۲۵
۲-۲-۷-۱- ردپای فناوری نانو در تاریخ ۲۷
۲-۲-۸- معرفی نانوذرات سیلیس ۲۸
۲-۲-۸-۱-کاربردهای نانو ذرات سیلیس ۲۹
۲-۳ – بهسازی و روشهای تثبیت خاک ۳۰
۲-۳-۱- مقدمه ۳۰
۲-۳-۲- بهسازی به عنوان مکمل پی سازی ۳۲
۲-۳-۳-تکنیک ها و روشهای تغییر خصوصیات و تثبیت خاکهای مسئله دار ۳۲
۲-۳-۴- تثبیت خاک با آهک ۳۳
۲-۳-۵- واکنش های آهک با خاک ۳۵
۲-۳-۵-۱- تغییر یون و تراکم خاک ۳۵
۲-۳-۵-۲- واکنش پوزولانی یا سمنتاسیون: ۳۶
۲-۳-۵-۳-کربناسیون: ۳۶
۲-۳-۶-خاک های مناسب برای اختلاط با آهک ۳۶
۲-۳-۷-تثبیت شیمیایی خاک ۳۸
۲-۳-۸- روش های طرح مخلوط های تثبیت شده با آهک تثبیت خاک با آهک: ۳۹
۲-۴- نتیجه گیری از بخش مروری بر کارهای گذشته: ۴۰
۲-۴-۱- مقایسه با کارهای مشابه انجام شده: ۴۰
۲-۳-۲- جمع بندی: ۴۲

فصل سوم آزمایشهای فیزیکی ومکانیکی برروی مصالح تحقیق ٤٣
٣-١- مقدمه: ٤٤
٣- ١- ١- روش تحقیق ٤٤
٣-٢-مصالح مورد استفاده: ٤٤
٣-٢-١- خاک رس : ٤٤
٣-٢-١-١- نمونه گیری دست خورده از خاک: ٤٥
٣-٢-١-٢- نمونه گیری دست نخورده از خاک: ٤٦
٣-٢-١-٣- نمونه باز سازی شده از خاک: ٤٧
٣-٢-١-٤- آزمایشات شناسایی وطبقه بندی بر روی خاک مورد مطالعه: ٤٨
٣-٢-١-٤-١- آزمایش دانه بندی خاک به روش الک و هیدرومتری برای بخش گذرا از الک شماره ١٠ (٢/٠MM). استاندارد - ASTM D. :422 ..... ٤٨
٣-٢-١-٤-٢- آزمایش حدود اتربرگ : استاندارد - ASTM D :3418 ..... ٥٠
٣-٢-١-٤-٣- آزمایش رده بندی خاک ها برای مقاصد مهندسی (سیستم رده بندی متحد USCS) استاندارد - ASTM D :2487 ..... ٥٢
٣-٢-١-٥-آزمایشات مشخصات فیزیکی بر روی خاک مورد مطالعه: ٥٤
٣-٢-١-٥-١- آزمایش تعیین رطوبت به روش جرمی: استاندارد - ASTM D :2216 ..... ٥٤
٣-٢-١-٥-٢- آزمایش تعیین چگالی ویژه بخش جامد بوسیله پیکنومتر آب: ٥٥
استاندارد - ASTM D :854 ..... ٥٥
٣-٢-١-٥-٣- آزمایش تعیین دانسیته خشک طبیعی(ГD)بوسیله پارافین : ٥٦
٣-٢-١-٦- آزمایشات مشخصات مکانیکی بر روی خاک مورد مطالعه: ٥٧

۳-۲-۱-۶-۱- آزمایش تعیین مشخصات تراکم آزمایشگاهی خاک با استفاده از تلاش استاندارد:
استاندارد - ASTM D :698 ..... ۵۷
۳-۲-۱-۶-۲- آزمایش برش مستقیم استاندار -ASTM D :3080..... ۵۸
۳-۲-۱-۷- آزمایشات تکمیلی : ۶۰
۳-۲-۱-۶-۲- آزمایش تحکیم یک بعدی (ادئو متر): استاندارد - ASTM D :2435..... ۶۱
۳-۲-۱-۶-۲-۱-آزمایش تحکیم ساده:..... ۶۱
۳-۲-۱-۶-۲-۲- آزمایش تحکیم فروریزشی:..... ۶۴
۳-۲-۱-۷- آزمایشهای شناسایی خاک ، (آنالیز فازی وعنصری):..... ۶۵
۳-۲-۱-۷-۱-:طیف سنج پراش اشعه ایکس XRD ۶۵
۳-۲-۱-۷-۲- :طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکسXRF ۶۷
۳-۲-۱-۷-۲-۱- : نتایج آزمایشات XRD وXRF بر روی خاک رس. ۶۹
۳-۲-۲- آهک ساختمانی: ۶۹
۳-۲-۳- نانو سیلیس ۷۱
۳-۲-۴- آب : ۷۳
فصل چهارم نتایج وبحث بر روی آزمایشهای انجام شده ۷۵
۴-۱-مقدمه ۷۶
۴-۱- ۱-تعیین پارامترهای مقاومت برشی ۷۶
۴-۲- شرح نتایج وتفسیر آزمایشات برش مستقیم ۸۰
۴-۱- ۲-تعیین پارامترهای خمیری خاک..... ۸۰
فصل پنجم جمع بندی،نتیجه گیری وپیشنهادات ۸۶

۵-۱-نتایج آزمون برش مستقیم:..... ۸۷

۵-۲- نتایج آزمون حدود اتر برگ : ۸۷

۵-۳- نتیجه گیری از اشتراک دو آزمایش:..... ۸۸

۵-۴- پیشنهادات: ۸۹

فصل ششم ضمائم ۹۰

مراجع: ۹٤

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ : معیار گسیختگی مور کلمب ۱۱

شکل ۲-۲ : زاویه گسیختگی در خاک ۱۲

شکل ۲-۳ : شماتیک دستگاه برش مستقیم ۱۳

شکل ۲-۴ : قالبهای دستگاه برش مستقیم (مربعی ودایره ای) ۱۳

شکل ۲-۵ : دستگاه برش مستقیم آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه صنعتی شاهرود..... ۱۴

شکل ۲-۶ : نمودار تنش برشی مقابل تنش قائم برای خاک رس بدون نانو سیلیس و آهک در آزمون برش مستقیم، ۱۵

شکل۲-۷:مقایسه ابعادی ذرات نانو با توپ فوتبال وزمین ۱۷

شکل۲-۸:مقایسه ریزتر شدن ذرات در حد نانو وعبور پرتو لیزر از ظرف اول (سمت راست) ۲۲

شکل۲-۹:شبکه عصبی مغز انسان..... ۲۳

شکل۲-۱۰:برگ سبز درختان حاوی میلیونهاکلروپلاست ۲۴

شکل۲-۱۱: ساختار کلروپلاست صفحات تایلاکوئید..... ۲۵

شکل۲-۱۲: نانو ذرات طلا ۲۵

شکل۲-۱۳:ریچارد فاینمن ۲۷

شکل۲-۱۴: شیشه پنجره قرون وسطی با نانو ذرات طلا..... ۲۸

شکل۲-۱۵: نانو ذرات سیلیس..... ۳۰

شکل۲-۱۶: تثبیت خاک با آهک وسیمان ۳۸

شکل۳- ۱: نمایی از سایت مورد نظر..... ۴۵

شکل۳-۲: نمونه برداری دست خورده از خاک مورد نظر..... ۴۶

شکل۳-۳: روش نمونه برداری دست نخورده از خاک مورد نظر ٤٧

شکل۳-۴: نمونه بازسازی شده از خاک دست خورده از وسط قالب تراکم ٤٨

شکل ۳-۵: الکهای آزمایش دانه بندی به روش تر(قسمت درشت دانه) ٤٩

شکل ۳-۶: نمودار دانه بندی خاک مورد مطالعه ٤٩

شکل ۳-۷: نمودار حد روانی ٥٠

شکل ۳-۸: جام کاساگرانده وسایل آزمایش حد روانی ومراحل انجام آزمایش ٥٠

شکل ۳-۹: وسایل آزمایش حد پلاستیک ومراحل انجام آزمایش ٥١

شکل ۳-۱۰: مرز حد انقباض، حد خمیری، حدروانی..... ٥١

شکل ۳-۱۱: نمودار کاساگرانده برای رده بندی خاک های رسی ٥٣

شکل ۳-۱۲: نمودار رده بندی خاک های ریز دانه ۵۰ یا بیش از ۵۰٪ذرات از الک شماره ۲۰۰ رد شده اند.٥٣

شکل ۳-۱۳: برخی از وسایل آزمایش تعیین چگالی ویژه بخش جامد خاکهای ریزدانه ٥٥

شکل ۳-۱۴:لوازم آزمایش تعیین دانسیته خشک طبیعی وکلوخه های آغشته به پارافین. ٥٦

شکل ۳-۱۵: نمودار تراکم آزمایشگاهی خاک مورد مطالعه ٥٨

شکل ۳-۱۶: گرفتن نونه های باز سازی شده از میان قالب تراکم ٥٩

شکل ۳-۱۷ : نمونه ی پس از برش در دستگاه برش مستقیم (قالب مربعی) ٦٠

شکل ۳-۱۸ : دستگاه تحکیم یک بعدی (ادئومتر) و رینگ آن..... ٦١

شکل ۳-۱۹ : نمودار تحکیم یک بعدی (ادئومتر) - تنش قائم در مقابل درصد تغییر مکان نسبی. ٦٢

شکل ۳-۲۰ : نمودار تحکیم یک بعدی (ادئومتر)، تخلخل در مقابل لگاریتم تنش قائم الف: آزمایشگاهی، ب: اصلاح شده.. ..... ٦٣

شکل۳-۲۱ : شمایی از عمل کرد دستگاه XRD (رابطه براگ) ٦٦

شکل۳-۲۲ : شمایی از عمل کرد دستگاه XRF ۶۷

شکل۳-۲۳: آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی XRF دانشگاه صنعتی شاهرود ۶۸

شکل۳-۲۴: آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی XRD دانشگاه صنعتی شاهرود ۶۸

شکل ۳-۲۵: نمودار XRD خاک رس مورد مطالعه ۶۹

شکل۳-۲۶: آهک ساختمانی ۷۰

شکل ۳-۲۷: نمودار XRD آهک ساختمانی ۷۱

شکل۳-۲۸ : نانوسیلیس ۷۲

شکل ۳-۲۹: نمودار XRD نانوسیلیس ۷۳

شکل ۴-۱ : تاثیر افزودن نانوسیلیس وآهک به خاک برا ی یافتن درصد افزودنی بهینه به منظور افزایش پارامتر چسبندگی ۷۷

شکل ۴-۲ : تاثیر افزودن نانوسیلیس وآهک به خاک برا ی یافتن درصد افزودنی بهینه به منظور افزایش پارامتر زاویه اصطکاک داخلی ۷۸

شکل ۴-۳ : تاثیر افزودن نانوسیلیس به خاک برا ی یافتن درصد افزودنی بهینه به منظور افزایش پارامتر چسبندگی ۷۹

شکل ۴-۴: مقایسه تاثیر نانو سیلیس بدون حضور آهک و با حضور آهک بر روی پارامتر چسبندگی ۷۹

شکل ۴-۵: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی PI بهینه ۸۱

شکل ۴-۶: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی LLبهینه ۸۱

شکل ۴-۷: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی PL بهینه ۸۲

شکل ۴-۸: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی A بهینه ۸۲

شکل ۴-۹: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی IL بهینه ۸۲

شکل ۴-۱۰: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی CC بهینه ۸۳

شکل ۴-۱۱: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی IC بهینه ۸۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱ : نتایج تحقیقات مختلف بر خاکهای رسی CL بهسازی شده با نانوسیلیس در نقاط مختلف. ۴۲

جدول ۳-۱: نتایج آزمایش حدود اتربرگ و پارامتر های وابسته به آن ۵۲

جدول ۳-۲: طبقه بندی خاک به روش یونیفاید ۵۲

جدول ۳-۳: طبقه بندی چگالی ویژه بخش جامد خاک ۵۶

جدول ۳- ۴:جدول مقایسه مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی ۶۰

جدول ۳-۵: نتایج آزمایش تحکیم یک بعدی از آزمایش تحکیم ۶۳

جدول ۳-۶: نتایج بخشی از بارگذاری آزمایش تحکیم یک بعدی ۶۴

جدول ۳-۷: نتایج آزمایش تحکیم یک بعدی رمبندگی ۶۵

جدول ۳-۸: نتایج آزمایش XRF بر روی خاک مورد مطالعه ۶۹

جدول ۳-۹: نتایج آزمایش XRF بر روی آهک مورد مطالعه ۷۱

جدول ۳-۱۰: مشخصات نانو سیلیس مورد مطالعه ارائه شده از طرف شرکت سازنده..... ۷۲

جدول ۳-۱۱: نتایج آزمایش XRF بر روی نانو سیلیس مورد مطالعه ۷۳

جدول ۳-۱۲:نتایج آزمایشهای شناسایی، فیزیکی و مکانیکی خاک مورد مطالعه از آزمایش تحکیم..... ۷۴

جدول ۴- ۱:جدول مقایسه مقادیر چسبندگی ۷۷

جدول ۴- ۲: جدول مقایسه مقادیر زاویه اصطکاک داخلی ۷۸

جدول ۴- ۳:جدول مقایسه مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی ۷۸

جدول ۴- ۴:ج جدول مقایسه مقادیر چسبندگی نمونه های بانانو سیلیس و آهک – بدون آهک ۷۹

جدول ۴- ۵:جدول مقایسه مقادیر پارامترهای خمیری خاک ۸۳

جدول ۶-۱ : حد اقل زمان لازم برای آزمون برش مستقیم بکار رفته در آزمایشها..... ۹۱

جدول ۶-۲ محاسبات زمان برای دستگاه برش مستقیم بکار رفته در آزمایشها ۹۱

جدول ۶- ۳: زمان لازم برای جذب رطوبت دانه های خاک مورد آزمایش در آزمون برش مستقیم. ۹۲

جدول ۶- ۴: محاسبات درصد های مختلف نانو سیلیس، آهک، آب وخاک رس بکار رفته در آزمایش برش مستقیم. ۹۲

جدول ۶- ۵: محاسبات درصد های مختلف نانو سیلیس، آهک، آب وخاک رس بکار رفته در آزمایش حدود اتربرگ. ۹۳

فهرست علائم و اختصارات

θ	زاویه تابش اشعهX
λ	طول موج اشعه X
d	فاصله صفحه بر حسب انگستروم
n	عدد ثابت (معمولاً برابر با یک)
Cu	ضریب یکنواختی
Cc	ضریب دانه بندی
D	قطر ذرات
G_S	چگالی دانه های ذرات خاک
ω	درصد رطوبت
ω_n	درصد رطوبت حدروانی
Cc	شاخص تراکم
PL	حد پلاستیک
LL	حد روانی
IC	نشانه استحکام
P I	نشانه پلاستیک
IL	نشانه روانی
A	عدد فعالیت رس
τ_f	مقاومت برشی
c	چسبندگی
φ	زاویه اصطکاک داخلی
σ	تنش قائم
ASTM	American Society for Testing and Materials روش آزمون استاندارد آمریکایی
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials سازمان امور ترابری و بزرگراه های ایالتی امریکا
CBR	California Bearing Ratio نسبت باربری کالیفرنیا
M_R	مدول الاستیسیته یا مدول برجهندگی
LPT	Large Penetration Test آزمون نفوذ حجیم
SPT	Standard Penetration Test آزمون نفوذ استاندارد

XRD	X Ray Diffraction	طیف سنج پراش اشعه ایکس
XRF	X Ray Fluorescence	طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس

فصل اول

مقدمه

و کلیات

۱-۱-تاریخچه موضوع:

۱-۱-۱-تعریف مساله وضرورت انجام تحقیق:

با توجه به قرارگیری برخی از پروژه‌های عمرانی بر خاکهای رسی نرم، ضرورت اصلاح و بهسازی آنها جهت ایجاد بستری مناسب برای انجام و اجرای پروژه ضروری است. با اصلاح خاک مورد نظر جهت ارزیابی دقیقتر رفتار مکانیکی خاک به منظور طرح ایمن و بهینه، نیازمند یافتن پارامترهای مناسب خاک اصلاح شده می‌باشد.

در مهندسی ژئوتکنیک ،خاکهای رسی در برخی موارد به عنوان خاک های مسئله دار از نقطه نظر ظرفیت باربری، تورم، رمبندگی، نشست و غیره مورد بررسی محققین قرار گرفته است. از دیر باز استفاده از افزودنیها به منظور بهسازی این گونه خاکها در راستای بهبود تراکم، کاهش تورم، بهبود مقاومت و پایداری مورد نظر پژوهشگران حوزه مهندسی خاک وپی بوده است[۱].

در گذشته استفاده از آهک برای بهسازی خاک روش مناسب و متداولی بوده است. تجربه ترکیب آهک با انواع خاک رس نشان داده شده است که مصرف آهک در پایدار کردن خاک روشی معمول بوده وبسیاری ازویژگیهای خاک را بهبود می بخشد[۲]. در حال حاضر با پیشرفت تکنولوژی وعلم، نانو تکنولوژی نیز در عرصه مهندسی ژئوتکنیک جای خود را باز کرده و مهندسین این رشته را علاقه مند به تحقیق و پژوهش در این زمینه نموده است. برای اولین بار در سال ۱۹۵۹ ریچارد فاینمن ایده فناوری نانو را با عنوان "فضای زیاد در سطوح پائین وجود دارد" مطرح کرد[۳]. نانو تکنولوژی شامل تولید و کاربرد فیزیکی، شیمیایی و زیستی سیستم‌ها در مقیاس محدوده‌ای از اتم یا مولکول تا سطح زیر میکرون مانند جمع شدگی نانو ساختارها با سیستم های بزرگتر می‌باشد. نانو مواد به عنوان موادی تعریف می‌شود که میکرو ساختارهایی هستند که حداقل یک بعد آنها در مقیاس نانومتر است[۴]. در سالهای اخیر از نانو سیلیس برای بهبود پارامترهای مقاومت برشی خاک ،خصوصیات پلاستیسیته، بهبود پارامترهای تحکیمی و مقاومت تک محوره خاک رس و به عبارتی برای تغییر خصوصیات

ژئوتکنیکی خاکها استفاده شده است. در سال ۲۰۰۴ ژانگ در تحقیقات خود بر روی رس بیان کرد که وجود نانو ساختارها در خاک موجب افزایش حدود اتر برگ می شود[۷] در سال ۲۰۰۵ نانوسیلیس توسط گالاگرجهت افزایش چسبندگی خاکها و کاهش لزجت آنها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بیان کننده وابستگی فاکتور چسبندگی به درصد نانو ذرات می باشد[۶]. اما متأسفانه بدلیل جدید بودن این موضوع و عدم وجود مرجعی کامل در مهندسی ژئوتکنیک و تحقیقات پراکنده و ناکافی نیاز به شناخت، نحوه کاربرد ومیزان تاثیر نانو ذرات در این حوزه می‌باشد.یکی از کاربردهای فناوری نانو می-تواند در بهبود خصوصیات مکانیکی و افزایش بهره برداری مصالح خاکی باشد. بدین منظور در این تحقیق به انجام آزمایشهای لازم برای تشخیص پارامترهای مقاومت برشی خاک رسی اصلاح شده با آهک و نانو سیلیس پرداخته شده است. در ادامه اطلاعات حاصله از مشاهدات آزمایشگاهی به صورت نمودار و جداول ارائه گردیده است، وپارامترهای مورد نظر ارزیابی می‌گردد.

۱-۱-۲- مروری بر کارهای گذشته:

در مهندسی ژئوتکنیک به دلایل مختلف از جمله پیچیدگی‌های آن و نگاه ماکروسکوپی اکثر مهندسین و محققین ژئوتکنیک به خاک متاسفانه تاثیر شگفت انگیز نانو تکنولوژی و عملکرد معجزه آسای آن در این رشته بیشتر پنهان مانده است[۱].برای اولین بار در سال ۱۹۵۹ ریچارد فاینمن ایده فناوری نانو را با عنوان "فضای زیاد در سطوح پایین " مطرح نمود[۳].و باعث رشد این تکنولوژی به طور چشمگیری در تمام علوم شد. کاربرد نانو سیلیس‌ها در مهندسی ژئوتکنیک جهت بهبود خصوصیات خاک و تبدیل زمین به مکانی جهت ساخت و ساز ایمن امکان پذیر می‌باشد. اصلاح خاک با استفاده از مواد افزودنی است که در این روش خصوصیات مهندسی خاک با مخلوط شدن به یک ماده دیگر ارتقاء می‌یابد. اضافه نمودن پاره ای از افزودنی ها به خاک به عنوان یکی از روش های موثر در بهبود برخی از مشخصه های رفتاری خاک مانند رابطه تنش کرنش و مقاومت ، نفوذپذیری ، خود-

ترمیمی به ویژه در بعضی از سازه های ژئوتکنیکی مانند سدهای خاکی، خاکریزهای جاده ها، شیروانی مصنوعی و مراکز دفن زباله همواره مدنظر بوده است[۴]. از میان افزودنی‌ها، نانو مواد که حائز ویژگی های منحصر به فردی است اخیرا در بخش مصالح ساخت و ساز از نانو سیلیس به دلیل عملکرد بهتری که نسبت به میکرو سیلیس دارد استفاده شده است و مطالعاتی بر روی فعالیت پوزولانی نانو ذرات سیلیس انجام شده که نتایج نشان دهنده فعالیت زیاد پوزولانی در نانو سیلیس نسبت به میکرو-سیلیس می‌باشد[۴].

ایران با داشتن معادن غنی آهک و پتانسیل بالای تولید آهک می تواند به عنوان یکی از کشورهای صاحب نظر در زمینه تثبیت خاک با این مواد محسوب شود. با اینکه اخیرا محققین از ترکیبات جدیدی به همراه سیمان برای تثبیت استفاده کرده اند، اما هنوز نانو ذرات مسیر خود را در این راستا هموار نکرده است سیمان به تنهایی، قدری از خواص نا مطلوب را کاهش می دهد و در بهسازی خاکها موثر است، بطوریکه منجر به تغییراتی همچون افزایش مقاومت ، کاهش تغییر شکل ونشست، پایداری حجمی، (کنترل انقباض وتورم)، کاهش نفوذ پذیری، کاهش فرسایش پذیری وافزایش دوام می-شود[۵].

یکی از مشکلات استفاده از این قبیل افزودنیها به خاک آلودگی زیست محیطی می باشد، ولی با استفاده از نانو ذرات، سبب کاهش زیست تخریب پذیری خواهد شد، همچنین استفاده از آن در بهسازی خاک، کنترل خواص مقاومتی و کم کردن مقادیر سیمان یا آهک را بدنبال دارد ، متعاقبا باعث کم شدن هزینه ها خواهد شد[۵].

در سالهای اخیر تلاشهای فراوانی جهت کاربرد این فن آوری نوین در شاخه های مختلف ژئوتکنیک شده است .اغلب نانومواد‌ی که برای تغییر خصوصیات ژئوتکنیکی خاکها استفاده شده است نانو ذرات سیلیس است که بر روی خصوصیان تحکیم، شاخص نفوذپذیری و پارامترهای مقاومتی خاک تاثیرمی گذارد . در سال۲۰۰۵ ، نانو ذرات سیلیس توسط گالاگر برای افزایش چسبندگی خاکها و کاهش ویسکوزیته آنها استفاده شد و رفتار ماسه بهبود یافته با نانومتریال در شرایط بارگذاری چرخه ای

تحلیل شد .به عنوان یک نتیجه، مشخص شد که چسبندگی وابسته به درصد افزایش نانو ذرات است [۷] و[۶].در سال ۲۰۰۷ ، پاتریسیا و همکاران در ایالات متحده نانوذرات را در خاک مخصوصی که شامل ماسه با ویسکوزیته بالا بود استفاده کردند و گزارش کردند که بعد از اعمال زلزله مصنوعی و ارزیابی نشست خاک،۴۰٪ بهبود در میزان نشست خاک اتفاق افتاده است .برای مطالعه تاثیر نانو ذرات سیلیس در طیف ابعاد۵ تا۱۰۰ نانومتر، باترون و همکاران از آزمایشات ادئومتر، سه محوری وآزمایش فشاری استفاده کردند و نشان دادند که مقاومت خاک با زمان افزایش می یابد هم چنانکه خاک محتوی نانو ذرات در مراحل ابتدایی شکل پذیر است و بعدا رفتارش الاستو پلاستیک می شود[۹] و[۶].

عموما خاک موجود در سایت از دیدگاه مهندسی برای ساخت و ساز، ایده آل و کاملا مطلوب نیست و باید با اعمال تغییراتی بر آن، جهت فعالیتهای عمرانی آماده گردد .یک از راهکارهای مناسب در مواجهه با خاکهای نامناسب در مهندسی ژئوتکنیک، تغییر خصوصیات خاک سایت است که 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، خواهد شد .یکی از این روشها افزودن سیمان و یا ماده شیمیایی افزودنی به ترکیب خاک می باشد .از جمله افزودنیهایی که درگذشته استفاده شده و امروزه نیز مورد استفاده قرار می گیرد می توان 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 و پایداری خاک پس از تثبیت می شود . اغلب این مواد برای تثبیت خاکهای ریزدانه رسی و لای بکار می رود و اگر برای خاکهای دانه ای بکار رود باعث کاهش نفوذپذیری، کاهش فرسایش و افزایش دوام می شود[۹] و[۶].

یکی از مشکلات استفاده از این قبیل افزودنیها به خاک، آلودگی زیست محیطی می باشد ولی استفاده از نانوذرات سبب کاهش زیست تخریب پذیری خواهد شد .همچنین استفاده از آن در بهسازی خاک،

کنترل خواص مقاومتی و کم کردن سیمان مصرفی و متعاقبا صرفه اقتصادی را نتیجه خواهد داد[۱۰]و[۶].

مواد خاک و ذرات تشکیل دهنده آن یک طیف وسیعی از اندازه، نانوذرات معمولا ۱ تا ۱۰۰ نانومتر را تشکیل می دهند. نانو ذرات در محیط خاک در یکی از سه شکل مختلف(نانو پلاکت ، نانو سیم و یا نانولوله و نانو نقاط) وجود دارد. با توجه به اندازه کوچک خود، نانو ذرات خاک معمولا باعث افزایش و تغییرخواص سطحی آن شده و از این رو تعامل فعال و ویژه با ذرات خاک پیدا می کند. ،این حالت که در برخی از نانوذرات معمول اتفاق می افتد به طور خلاصه خواص آنها به ، سطح مخصوص زیاد، مورفولوژی[1] ذرات، نانو تخلخل، و بار سطحی بستگی دارد. با توجه به سطح مخصوص بسیار بالا و بار سطحی، و گاهی اوقات نانو تخلخل، این ذرات، حتی در یک بخش کوچک از پیش تعیین شده، به طور قابل توجهی ممکن است بر رفتار فیزیکی و شیمیایی خاک و خواص مهندسی تاثیر ویژه بگذارد. خاکهای حاوی نانوذرات با ابعاد نانو تخلخل درون ذره معمولا حد روانی و حدپلاستیک بسیار بالاتر از حالت معمول (بدون نانو ذرات)را بالا برده، و تغییرات غیر قابل برگشتی را پس از خشک شدن، بدنبال دارد. حضور نانو ذرات فیبر معمولا باعث تغییر در تیکسوتروپی[2] بیشتردر خاک، افزایش و مقاومت برشی آن نیز می گردد. تفاوت بین نانو ذرات و ذرات با اندازه رس کلاسیک، نوع جدیدی از ذرات خاک برای تعریف نانو ذرات خاک بنام " نانو سل " [3] پیشنهاد شده است [۱۱].

[1] Morphology
[2] Thixotropy
[3] Nanosol

۱-۲- فرضیات و اهداف پایان نامه:

در این تحقیق با توجه به اینکه خاکهای مسئله دار(. خاک های با منشا آلی و نباتی ،خاک های رمبنده ، خاکهای رس اشباع و نرم، خاک های واگرا، خاک های حساس، خاکریزها، خاک های با منشا زباله و ضایعات، خاک های ماسه ای، لای شل و خاک های دستی) همواره در ساخت و ساز با مشکلات خاص خود روبرو بوده اند، بحث بهسازی خاکهای یاد شده از دیر باز مورد توجه مهندسین ژئوتکنیک بوده است، وبدنبال راه حل مناسب که هردو پارامتر زمان و هزینه ها را بهینه نمایند بوده اند. در این راستا دراین پژوهش، به ارزیابی پارامترهای مقاومت برشی خاک رس اصلاح شده با نانوسیلیس توام با آهک و همچنین تاثیر نانوسیلیس توام با آهک بر روی پارامترهای پلاستیتسیته خاک پرداخته شده است، که نتایج حاکی از بهبود پارامترهای مورد نظر با درصد های پایین نانوسیلیس وآهک(۱ الی ۳ درصد) در زمان نسبتا کوتاه می باشد .

۱-۳- ساختار پایان نامه:

این تحقیق مشتمل بر شش فصل می‌باشد. فصل حاضر به مقدمه‌ای بر روش‌های بکار گرفته شده، همچنین مروری بر کارهای گذشته و اهداف و فرضیات تحقیق اختصاص یافته است. در فصل دوم این تحقیق به بحث مقاومت برشی، نانو فن آوری، تاریخچه آن، مفاهیم نانو پرداخته شده است ودر ادامه، بحث بهسازی خاک و روشهای بهسازی خاک ارائه گردیده است و این تحقیق با کارهای گذشته مقایسه و نتیجه گیری می شود. در فصل سوم، به معرفی مصالح بکار رفته در این تحقیق و آزمایشهای شناسایی، مشخصات فیزیکی ومکانیکی خاک و مصالح دیگر بکار رفته در این تحقیق پرداخته شده و ضمن بیان روشها شرح نتایج نیز آمده است. درفصل چهارم به بررسی نتایج حاصله از آزمایش برش مستقیم و حدود اتربرگ بر روی خاک مورد نظر با در صدهای مختلف نانو سیلیس توام با آهک پرداخته شده است ونتایج گزارش می شود. در فصل پنجم نتیجه تحقیق، مقایسه انجام شده گزارش وپیشنهادات ارائه می‌شود. در فصل پایانی ضمائم مربوط به آزمایشهای برش مستقیم وحدود اتر برگ آمده است.

فصل دوم

مقاومت برشی

نانو فن آوری

و بهسازی خاک

۲-۱- مقدمه:

در این بخش ابتدا اشاره ای مختصر به بحث مقاومت برشی در خاکها شده سپس، مفهوم نانو، نانو تکنولوژی، نانوفناوری ومختصری در ارتباط با تاریخچه آنها همچنین به بحث بهسازی خاکها، معرفی خاکهای مسئله دار و مختصری در رابطه با روشهای بهسازی خاکهای مسئله دار شده است و در پایان به روش بهسازی با آهک به تشریح پرداخته شده و نتایج تحقیقات انجام شده قبلی با این پژوهش مقایسه می شود .

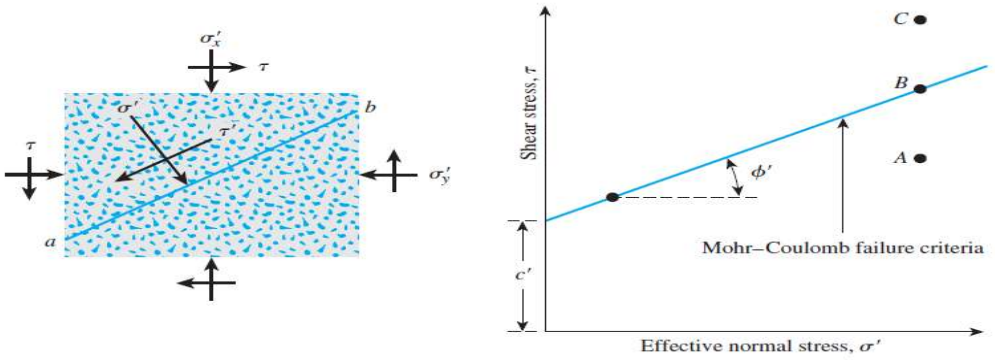
۲-۱-۱- مقاومت برشی خاکها

مقاومت برشی توده خاک, مقاومت داخلی واحد سطح آن خاک است که می تواند برای مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هرصفحه داخلی بروز دهد. برای تحلیل مسائل پایداری خاک نظیر ظرفیت باربری, پایداری شیروانی ها و فشار جانبی بر روی سازه های حایل خاک, لازم است طبیعت مقاومت برشی بخوبی شناخته شود[۱۲].

۲-۱-۲- معیار گسیختگی مور-کولمب[1]

مور(۱۹۰۰) نظریه ای برای گسیختگی مصالح ارائه داد که در آن گسیختگی نه به علت تنش قائم حداکثر و نه تنش برشی حداکثر, بلکه به علت ترکیبی بحرانی از آن ها پیش بینی می شود. طبق نظریه مور, رابطه بین مقاومت برشی و تنش قائم در صفحه گسیختگی، شکل۲-۱ به صورت زیر نوشته می شود.

[1] Mohr–Coulomb Failure Criterion



شکل ۲-۱ : معیار گسیختگی مور کلمب، [۱۲].

$$\tau_f = f(\sigma) \qquad (۱-۲)$$

پوش گسیختگی تعریف شده توسط (رابطه ۲-۱)، یک خط منحنی است که در (شکل ۲-۱) نشان داده شده است. برای اغلب مسائل مکانیک خاک با دقت کافی می توان مقامت برشی در روی صفحه گسیختگی را یک تابع خطی از تنش قائم در نظر گرفت (کولمب۱۷۷۶). این رابطه به صورت زیر بیان می شود:

$$\tau_f = c + \sigma \tan\varphi \qquad (۲-۲)$$

که در آن:

C = چسبندگی

τ_f = مقاومت برشی

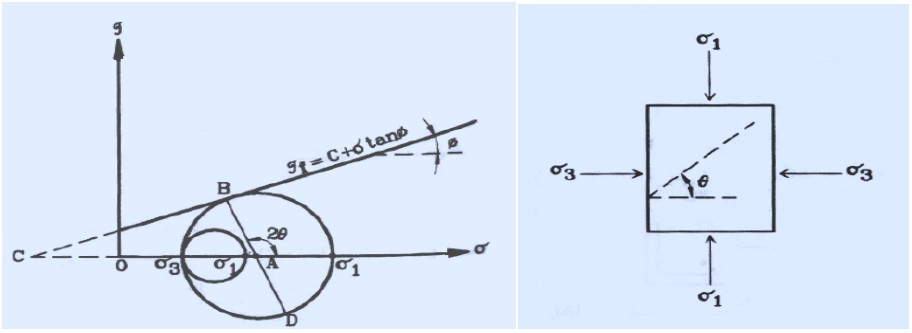
ø = زاویه اصطکاک داخلی

σ = تنش قائم

(رابطه ۲-۲)، معیار گسیختگی یا شکست مور- کولمب نامیده می شود[۱۲].

۲-۱-۳- زاویه گسیختگی در خاک

مطابق (شکل ۲-۲) یک توده خاک در طبیعت تنها تحت تاثیر تنش های اصلی (تنش اصلی حداکثر σ_1و تنش اصلی حداقل σ_3) قرار می گیرد و تنش برشی به آن وارد نمی شود.



شکل ۲-۲ : زاویه گسیختگی در خاک [۱۲].

برای تعیین زاویه صفحه گسیختگی با راستای افق θ از(شکل ۲-۲)کمک می گیریم. همانطور که در شکل مشاهده می شود, 2θ زاویه خارجی برای مثلی ABC است. پس داریم:

$$2\theta = 90° + \varphi \longrightarrow \theta = 45° + \frac{\phi}{2} \qquad (۳-۲)$$

برای تعیین σ_1 نیز به طریق زیر عمل می کنیم:

ابتدا به کمک (شکل ۸-۳) و دایره مور, مقادیر σ و τ_f را بدست می آوریم:

$$\begin{cases} \sigma = \frac{\sigma 1+\sigma 3}{2} + \frac{\sigma 1_\sigma 3}{2} + cos2\theta \\ \tau f = \frac{\sigma 1_\sigma 3}{2} sin2\theta \end{cases} \qquad (۴-۲)$$

سپس مقادیر فوق را در رابطه $\tau_f = c + \sigma \tan\varphi$ جایگزین می کنیم و با استفاده از روابط مثلثاتی خواهیم داشت:

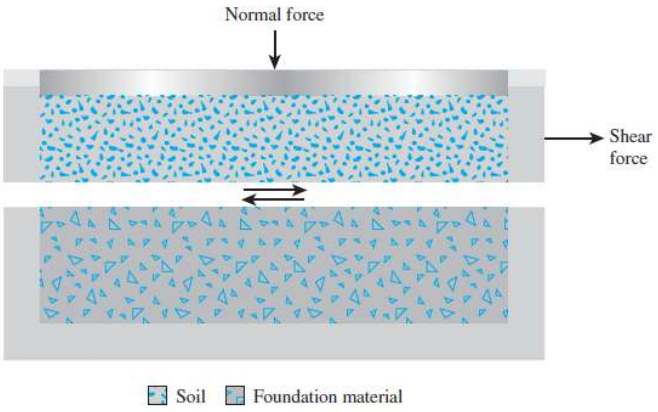
$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 + 2c \tan\theta$$

و یا $$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left[45° + \frac{\phi}{2}\right] + 2c \tan^2\left[45° + \frac{\phi}{2}\right]$$

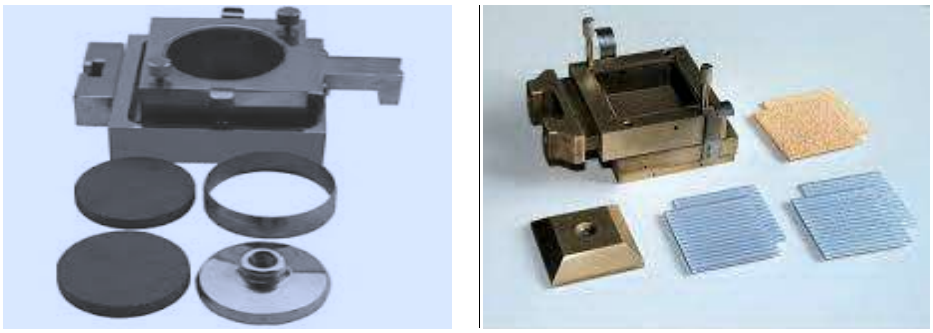
۲-۱-۴-آزمایش برش مستقیم

این آزمایش قدیمی ترین و ساده ترین آزمایش برشی است. در (شکل ۲-۳) شکل شماتیک وسیله آزمایش نشان داده شده که تشکیل یافته است از، دو جعبه برشی فلزی که نمونه آزمایش در داخل آن ها قرار می گیرد. شکل نمونه خاک در پلان, ممکن است مربع یا دایره باشد، (شکل۲-۴)

ضخامت نمونه آزمایشی ۱اینچ (۲۵/۴ میلیمتر) و مساحت آن در پلان ۳ تا ۴ اینچ مربع (۱۹۳۵/۴۸ تا ۲۵۸۰/۶۴ میلیمتر مربع) می باشد. با استفاده از وزنه هایی از بالا نیروی قائم بر نمونه قابل اعمال است. مقدار تنش قائم وارده می تواند تا مقدار ۱ نیوتن بر میلیمتر مربع باشد. نیروی برشی توسط وزنه هایی بر نیمه فوقانی جعبه برشی تا لحظه گسیختگی نمونه اعمال می شود [۱۲].



شکل ۲-۳ : شماتیک دستگاه برش مستقیم، [۱۲].



شکل ۲-۴ : قالبهای دستگاه برش مستقیم (مربعی ودایره ای)

برحسب تجهیزات مورد استفاده, آزمایش برشی می تواند با کنترل تنش و یا کنترل تغییر شکل باشد. در آزمایش با کنترل تنش, نیروی برشی اعمالی با افزودن وزنه ها با گام مساوی تا لحظه گسیختگی نمونه افزایش داده می شود. شکست در امتداد صفحه جدایی دو نیمه فوقانی و تحتانی جعبه رخ می - دهد (شکل۴-۶). بعد از اعمال هر افزایش بار , توسط یک گیج عقربه ای, تغییر مکان نیمه فوقانی جعبه برشی اندازه گیری می شود. تغییر در ارتفاع نمونه(به عبارت دیگر تغییر حجم نمونه) با قرائت

یک گیج که تغییر مکان قائم نیمه فوقانی را اندازه می گیرد, به دست می آید[۱۲].

***دراین تحقیق آزمایش برش مستقیم با روش کنترل کرنش انجام شده است.

شکل ۲-۵ : دستگاه برش مستقیم آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه صنعتی شاهرود

در آزمایش با کنترل تغییر شکل, توسط یک موتور الکتریکی, یک تغییر مکان برشی با سرعت ثابت بر نیمه فوقانی اعمال می شود. مقدار تغییر مکان برشی با قرائت یک گیج عقربه ای که تغییر مکان های افقی را اندازه گیری می کند, تعیین می گردد. نیروی برشی مقاوم نظیر هر تغییر مکان برشی توسط یک حلقه اندازه گیر افقی قابل اندازه گیری است. مشابه آزمایش با کنترل تنش , تغییر حجم نمونه توسط یک گیج قائم اندازه گیری می شود. در (شکل ۲-۵), تصویری از دستگاه برش مستقیم با کنترل تغییر شکل نشان داده شده است.

برای یک آزمایش معلوم, تنش قائم را می توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\text{تنش قائم} = \sigma = \frac{\text{نیروی قائم}}{\text{مساحت مقطع افقی نمونه}} \qquad (۵-۲)$$

وتنش برشی مقاوم نظیر نیز از رابطه زیر قابل تعیین است:

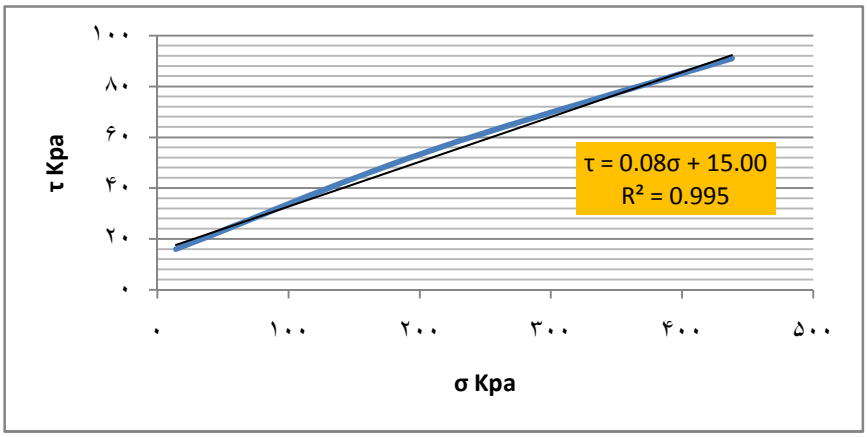
$$\text{تنش برشی مقاوم} = \tau = \frac{\text{نیروی برشی مقاوم}}{\text{مسطح مقطع افقی نمونه}} \qquad (۶-۲)$$

آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه های مختلف از یک نوع خاک با تنش های قائم مختلف تکرار می‌شود. تنش های قائم و مقادیر نظیر τ_f به دست آمده, بر روی نموداری در مقابل یکدیگر رسم می شوند تا پارامترهای مقاومت برشی به دست آید. (شکل۲-۶) نشان دهنده ی چنین نموداری برای ۳ آزمایش یا ۳ تنش قائم مختلف بر روی نمونه های به دست آمده از یک خاک رس می باشد. رابطه خطی متوسط مار بر نقاط تجربی مختلف به صورت زیر نوشته می شود[۱۲].

$$\tau_f = \sigma \tan \varphi \qquad (۷-۲)$$

(توجه شود که برای ماسه $C = ۰$ و $\sigma = \sigma'$ است) بنابراین زاویه اصطکاک داخلی برابر است با:

$$\varphi = \sigma \tan^{-1}\left[\frac{\tau_f}{\sigma}\right] \qquad (۸-۲)$$



شکل ۲-۶ : نمودار تنش برشی مقابل تنش قائم برای خاک رس بدون نانو سیلیس و آهک در آزمون برش مستقیم،

۲-۲- نانو[1]:

امروزه آنچه به عنوان ثروت و رفاه برای کشورها ذکر می شود، تکنولوژی است. بشر امروزه دغده دست یافتن به تکنولوژی های جدید مثل نانو را دارد. البته "نانو" فناوری جدیدی نیست ولی توانایی کاربردش در تمام عرصه های علوم و تاثیرش در فناوری های دیگر اهمیت زیادی دارد. ترویج فناوری نانو صرفا به معنای فناوری و کاربردهای آن نمی باشد بلکه ترویج باید زمینه ساز ایجاد سایر

[1]Nano

زیرساخت های توسعه فناوری و رفع مشکلات موجود بر سر راه توسعه آن باشد. ولی این موضوع بدون آگاهی از "مدیریت فناوری"[1] و درک مشکلات توسعه آن امکان پذیر نیست.

نانو چیست؟ نانو واحد اندازه گیری، برابر با یک میلیاردیم متر است، در اصل کلمه "نانو" یک واژه ی یونانی به معنای "قد کوتاه"! می باشد. (نه به اندازه یک میلیاردیم متر!) برای تصور این اندازه می توان گفت که نانو برابر با یک هزارم قطر موی انسان نانو به چه معنی است؟

تکنولوژی چیست؟ توانایی استفاده از منابع برای تبدیل آنها به محصول (کالا یا خدمات) یکی از تعاریف تکنولوژی است[۱۴].

اصطلاح «نانو» از واژه یونانی Nanos (که در لاتین، Nanus نوشته می شود) مشتق شده و معنای کوتوله[2] دارد. عبارت «نانو» پیشوندی است مانند سایر پیشوندها که در ابتدای واحدهای سنجش اندازه مانند ثانیه، مترو غیره می آیند. بنابراین، نانو نیز مانند دیگر پیشوندها نظیر سانتی، دسی، دکا، کیلو، مگا و غیره بیانگر مقیاس است. یک نانومتر (۱nm) به معنای $۱۰^{-۹}$ متر (یک میلیاردم متر) یا ۱۰ آنگستروم (۱۰Å) است. این اندازه، برابر ابعاد ۵ اتم است. به منظور درک درست مقیاس نانو،(شکل ۲-۷) را ببنید. چنانچه بخواهیم معیار قابل لمسی از ابعاد نانو ارائه دهیم، می توان گفت، هرتار موی انسان، قطری در حدود ۲۰۰،۰۰۰ نانومتر دارد.

مقایسه ابعادی کمک می کند تا بتوان بهتر درک کرد که نانو فناوری، در چه مقیاسی مطرح است. مقایسه ای که می تواند به درک مفهوم نانو، کمک کند، این است که نسبت به یک نانومتر به ابعاد یک توپ فوتبال، مثل نسبت توپ فوتبال به کره زمین است (شکل۲-۷). یا اینکه می توان گفت، اگر یک قطره آب بر روی سطحی به مساحت ۱ مترمربع، پخش شود، ضخامت این لایه آب، برابر ۱ نانومتر خواهد بود. جالب است بدانید که سرعت رشد ناخن های انسان، یک نانومتر در ثانیه است[۱۳].

[1]Technology Treatment

[2] Dwarf

شکل۲-۷:مقایسه ابعادی ذرات نانو با توپ فوتبال وزمین [۱۳].

۲-۲-۱- نانو تکنولوژی چیست؟

طراحی، ساخت، توسعه و استفاده از محصولاتی که اندازه آنها در بازه(1 to 100 nm) قرار دارند را نانو تکنولوژی گویند. در حقیقت اینجا صحبت از ریزشدن است که این کار تماس بیشتر، فعالیت بیشتر و افزایش مساحت را ممکن می سازد. نانو یک مقیاس جدید در فناوری ها و یک رویکرد جدید در تمام رشته ها است و این توانایی را به بشر می دهد تا دخالت خود را در ساختار مواد گسترش دهد و در ابعاد بسیار ریز به طراحی و ساخت دست بزند و در تمام فناوری هایی که بشر در حال حاضر به آن دست یافته اثر بگذارد.

انقلاب نانو از کجا سرچشمه می گیرد؟ کوانتوم نظری انقلاب نانو به حدود ۴۰ سال قبل بر می گردد زمانی که در سال ۱۹۵۹ "فاینمن"[1] در هنگام گرفتن جایزه نوبل، نظریه جدیدی مطرح کرد! (بابا عجب خوره ای بوده!) او در سخنرانی معروف خود در همان سال به عنوان "فضاهای زیادی در پایین وجود دارند" به بررسی بعد رشد نیافته مواد پرداخت. فاینمن فرض را بر این قرارداد که اگر دانشمندان فراگرفته اند که چگونه ترانزیستورها و دیگر سازه ها را در مقیاس های کوچک بسازند، پس ما خواهیم توانست آنها را کوچک و کوچکتر کنیم. او در ذهن خود یک دکتر مولکولی تصور کرد که صدها بار از یک سلول کوچک تر است و می تواند به بدن انسان تزریق شود و درون بدن به مطالعه سلامت سلول ها و انجام عمل ترمیمی بپردازد[۱۴].

[1]Feynman

۲-۲-۲-کاربردهای نانو تکنولوژی

۱) تولید مواد و محصولات : نانوتکنولوژی تغییر بنیادی مسیری است که در آینده موجب ساخت مواد و ابزارها خواهد شد امکان سنتز بلوک های ساختمانی نانو، با اندازه و ترکیب به دقت کنترل شده و چیدن آنها در ساختارهای بزرگتر که دارای خواص و کارکرد منحصر به فرد باشند، انقلابی در مواد و فرآیندهای تولید آنها ایجاد می کند که محققین قادر به ایجادشان نبوده اند. مواد سبک تر، قوی تر، قابل برنامه ریزی و کاهش هزینه عمر کاری از طریق کاهش دفعات نقص فنی، از مزایای نانو ساختارها می باشد.

۲) پزشکی و بدن انسان : فراتر از آسان کردن استفاده بهینه از دارو و کپسوله کردن داروها [۱] نانوتکنولوژی می تواند فرمول هایی برای رهایش دارو[۲] تهیه کند که به نحوه حیرت انگیزی توان داروها را افزایش می دهد.

۳) نانو در طراحی و ساختن مواد سبک وزن، پرقدرت و مقاوم در برابر حرارت : که مورد نیاز هواپیماها، راکت ها، ایستگاه های فضایی و سکوهای اکتشافی سیاره ای یا خورشیدی، نقش تعیین کننده ای دارد و با توجه به اینکه محیط فضا دارای نیروی جاذبه کم و خلا زیاد است، با نانو می توان ایجاد ساختارهایی که در زمین ممکن نیست را در فضا میسر کرد.

۴) با استفاده از این فناوری می توان : ظرفیت ذخیره سازی اطلاعات را در حد ۱۰۰۰ برابر یا بیشتر افزایش داد. به طور مثال با این فناوری می توان ۵۰ عدد DVD را در یک هارد دیسک به ابعاد یک کارت اعتباری ذخیره کرد.

۵) ازدیگر مزیت های نانو : ،نانوتکنولوژیک موجب تغییرات شگرف در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب خواهد شد. آلودگی آب را کاهش خواهد داد. امکان بازیافت و استفاده مجدد از مواد، انرژی و آب را فراهم خواهد کرد. در زمینه انرژی نیز نانو تکنولوژی می تواند به طور قابل ملاحظه ای کارآیی،

[1] PLA,PLGA
[2] Drug Deliverg

ذخیره سازی تولید انرژی را تحت تاثیر قرار داده و مصرف انرژی را پایین بیاورد.

از مزایای تولید با اجزای ریز:

- دقت زیاد (حتی در حد یک اتم)
- اتلاف انرژی حداقل
- حداقل ایجاد
- حداکثر استفاده از منابع اولیه [۱۴].

۲-۲-۳-دیدگاه های ریچارد فاینمن

دیدگاه های ریچارد فاینمن، فیزیکدان برنده‌ی جایزه نوبل سال ۱۹۶۵، نقش بسزایی در پی ریزی علوم نانو داشته است. او دیدگاه های خود را در یک سخنرانی در انجمن فیزیک آمریکا با نام «در پایین دست فضای زیادی وجود دارد.» مطرح کرد (۲۹ دسامبر ۱۹۵۹، برابر با ۲۳ آذر ۱۳۳۸). در این سخنرانی پیش بینی های قابل توجهی مطرح شد که در زمان ما تحقق بسیاری از آنها مشهود است. متنی که می خوانید، ترجمه ای است از سخنرانی فاینمن و توضیحاتی که در مورد میزان تحقق آن پیش بینی ها داده شده اند[۱۴].

۲-۲-۴-حوزه علوم نانو

فاینمن، می خواهم حوزه ای را شرح دهم که هنوز جای کار زیادی دارد. این حوزه شبیه حوزه فیزیک ذرات بنیادی نیست، زیرا چیز زیادی در مورد اینکه ذرات بنیادی عجیب چه هستند نمی گوید. بلکه بیشتر شبیه فیزیک حالت جامد است، چون در مورد پدیده های عجیبی که در شرایط پیچیده اتفاق می افتند، اطلاعاتی جالبی مید هد. به علاوه ، نکته ای که از همه مهمتر است، تعداد زیاد کاربردهای تکنیکی این حوزه است.

اشاره: واقعیت این است که علوم نانو نگرشی بنیادی درباره جهان در مقیاس کوچک به ما نمی دهند.

نگرش بنیادی، پدیده های عالم را با معادلات ریاضی واحدی توضیح می دهد. علوم نانو به مقیاس کوچک تر از اتم کاری ندارند. در عوض، در مورد ذرات بنیادی بسیار ریزتر" به کوچکی کوارک ها و لیپتون ها که حداقل ده مرتبه کوچک تر از اتم هستند" فیزیک بنیادی دستاورهای خوبی دارد.

از سوی دیگر، علوم نانو نگرش متفاوتی در مورد ظهور پدیده های جدید می دهند. در این نگرش، از کنارهم گذاشتن تعدادی برهم کنش ساده بین اجزای تشکیل دهنده سیستم، خاصیت جدیدی در کل سیستم، متفاوت با خواص اجزای آن بروز می کند؛ چیزی که در شبیه سازی های رایان های تاحدی مشاهده شده است. بنابراین، علوم نانو به ما نگرشی بنیادی در مورد پیشرفت های فناوری در آینده نزدیک می دهند[۱۴].

۲-۲-۵-نانو فناوری چیست ؟

نانو فناوری[1]، از فناوری های نوینی است که باسرعت هرچه تمامتر در حال توسعه بوده، قله های آرزوهای دست نیافتنی پیشین بشر را فتح کرده و عرصه های مختلف دانش را زیر سایه خود قرار داده است. از این روست که تقریبا هر روز این عبارت آشنا، در اخبار رادیو و تلویزیون ، مقاله ها، مقالات علمی، پایان نامه ها و غیره شنیده می شود. با این وجود، شاید شمار کمی از افراد و حتی تعداد کمی از طراحان ، به خوبی بدانند که فناوری نانو به چه کار می آید. این فناوری به نسبت نوظهور، بسیار فراتر از دستاوردی گذرا و مد روز است و به مثابه بالی برای پرواز بشر به بی کران های علم و دانش خواهد بود. در حقیقت، فناوری نانو، دانشی نوظهور است، اما پیش بینی می شود که نویدبخش آینده ای پرفروغ در پیش روی آدمی باشد، چرا که این پتانسیل را دارد که دنیای پیرامون ما را دستخوش تحولات شگرفی کند[۱۳].

«فناوری نانو» از فناوری های پیشرفته چند دهه اخیر است. فناوری که حدود نیم قرن پیش به دنیا معرفی شد و طی دو دهه گذشته، پیشرفت و توسعه چشمگیری را تجربه کرده است. در واقع، این فناوری که با اصول و مفاهیم چشمگیری را تجربه کرده است. در واقع، این فناوری که با اصول و

[1] Nanotechnology

مفاهیم شیمی و فیزیک آمیخته است، چراغی روشن را برای پیشرفت های شگرف آینده در مسیر علم، فراروی بشر قرار می دهد، می توان گفت «نانوفناوری» موجی از شگفتی و کشش به کشف نادانشته ها را در میان دانشمندان معاصر ایجاد کرد. هنوز در سطح بین المللی، تعریف کاربردی مشخصی از فناوری نانو ارائه نشده، اما آنچه که همگان بر سر آن توافق دارند، عبارت است از تحلیل و تحقیق پیرامون مواد در مقیاس نانو. براین اساس، هر فعالیت پژوهشی که در مقیاسی زیر ۱۰۰ نانومتر انجام شود. مصداق فناوری نانو خواهد بود. این آستانه برای ورود به این عرصه، مبین آن است که فناوری نانو آمده تا در ماهیت طبیعی مواد تغییر ایجاد کند. در این مقیاس است که ویژگی های مواد جامد، دستخوش تغییر و تحول می شود و برای مثال، رنگ طلا از زرد به قرمز تغییر می کند .

در اصل، فناوری نانو فرآیند دستکاری مواد در مقیاس اتمی و تولید مواد و ابزار به وسیله کنترل آنها در سطح اتم ها و مولکول هاست. به بیان دیگر، فناوری نانو عبارت است از ترکیب ذرات بسیار ریز برای خلق مواد در حقیقت، نانو فناوری با ترکیب و پیوند ریز ذراتی موسوم به «نانوذرات»[1]، فرآیند تولید «مصالح نانو» و کاربرد آنها سروکار دارد، در حالت کلی، چنانچه ابعاد ذرات مورد مطالعه، در طیفی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد، آنها را نانوذرات یا نانو مواد می نامند[۱۳].

نانوذرات نه تنها در مواد مصنوعی وجود دارند، بلکه حضور آنها در برخی مواد طبیعی هم به چشم می خورد. برای مثال، رس(از عمده ترین ذرات متشکله خاک)، شامل هزاران نانو ذره است. وظیفه این نانو ذرات موجود در کالبد خاک رس، مقابله با یخ زدگی، تأمین دوام و مقاومت خاک است. مثال طبیعی دیگر از این دست، صدف مروارید است که دوام و پایایی آن را می توان به نانوساختارها، نسبت داد. پوشش های بسیار نازک و غیرقابل مشاهده، که ضخامتی در حدود ۵ تا۱۰ نانومتر دارند، سبب برانگیختن علاقه ویژه ای در طراحان عرصه های مختلف علوم شده اند. ویژگی برجسته این نانوپوشش ها، این است که وقتی بر روی سطح پاشیده می شود، به صورت خودکار به ضخامت بهینه خود دست می یابند که به این فرآیند، اصطلاح «خودسازمان دهی» اطلاق می شود هر سانتی متر

[1] Nano-particle

مربع این پوشش ها، دربردارنده میلیاردها نانوذره است. تولید انبوه چنین پوشش های فوق نازک، به مدد روش های شیمیایی را نگرش ساخت «ازپایین به بالا» می نامند، زیرا از ریزترین ساختارها مثل اتم آغاز شده و به محصول نهایی منجر می شود در مقایسه با روند تولید نانو مواد، روش های به کار رفته در تولید مواد خام سنتی، رویکردی «ازبالا به پایین» را دنبال می کند. در این روش های قدیمی، از قطعات بزرگ مواد، به اجزای خردتر با اندازه مطلوب (مثل آسیاب کردن) می رسیم، و سپس آنها را در هم می آمیزیم. در حالت کلی، فناوری نانو تنها برای ایجاد نانو پوشش ها به کار نمی رود و از همین روست که از هردو روش پیش گفته برای نیل به ترکیبات مناسب مواد سود می جوید. از نانوذرات، در ساخت محلول ها نیز استفاده می شود، محلول هایی که گرچه دارای بخش جامد حل شده عمده ای هستند، اما هنوز هم شفاف به نظر می رسند (شکل ۲-۸). از کاربردهای دیگر نانوذرات، میت وان به ساخت نانوپودرها نیز اشاره کرد[۱۳].

شکل۲-۸:مقایسه ریزتر شدن ذرات در حد نانو وعبور پرتو لیزر از ظرف اول (سمت راست) [۱۳].

در بخش ساختمان، فناوری نانو را می توان نوعی «فناوری تواناکننده» نامید که بشر را قادر می کند تا با بهره گیری از چنین فناوری جالبی، عرصه های جدیدی از توسعه و پیشرفت را فراوری خود تصور کند. حوزه های دیگر از دانش، مانند پزشکی، فیزیک، شیمی و زیست شناسی نیز پا به پای صنعت ساختمان و حتی جلوتر ازآن، رهسپار دنیای فناوری نانو شده اند و از مزایای بی شمار آن بهره مند می شوند[۱۳].

۲-۲-۶- نانو ساختارها وطبیعت

طبیعت، همواره یکی از بهترین منابع الهام بشر در مسیر پیشرفت بوده است. انسان از بدو پیدایش، از طبیعت آموخته و فرآیند و سازوکارهای طبیعی را سرلوحه خود قرارداده است. پیدایش دانش بیونیک در سده گذشته، نشانی از این تاثیر شگرف طبیعت بر مصنوعات دست بشری است. همه می-دانند که تا رسیدن به سازوکار نظام آفرینش و دستیابی به چنین فرآیند بی عیب و نقصی، راه درازی در پیش روست. برای مثال، هنوز بشر نتوانسته سیستمی با بازدهی بالای ذخیره انرژی شبیه آنچه در فتوسنتز گیاهان اتفاق می افتد، بسازد. تا به امروز برای بشر میسر نشده که فرایند برانگیختن و انتقال الکترون ها را به کارآیی بیومولکول ها انجام دهد، هیچ کارخانه ای نتوانسته فرایند تصفیه و ذخیره سازی آب را به کارآمدی درخت نارگیل با هندوانه انجام دهد. بارها شنیده ایم که مغز انسان در ذخیره و بخاطر سپاری اطلاعات از رایانه قوی تر است و هیچ سیستم رایانه ای ساخته دست بشر قابلیت مغز را در پردازش بازیابی و ذخیره اطلاعات ندارد (شکل ۲-۹) هیچ دوربینی نمی توانند آن گوشه که چشم انسان، به روشنی تصاویر را ضبط می کند تصویربرداری کند. گیرنده های بویایی سگ، به مراتب حساس تر از حس گرهای پیشرفته امروزی بشر است هیچ سیستم پیش بینی و هشداردهنده ای، قوی تر از حس ششم حیوانات در تشخیص زمین لرزه ها، فرسنگ ها عقب تر است. همه این فرآیندها که از دوران باستان و در نهایت دقت انجام می شده مثال هایی اندک از بی شمار فرایندهای آموزنده طبیعی هستند که انسان می تواند با استفاده از آنها مسیر پیشرفت را برخود هموارتر کند.

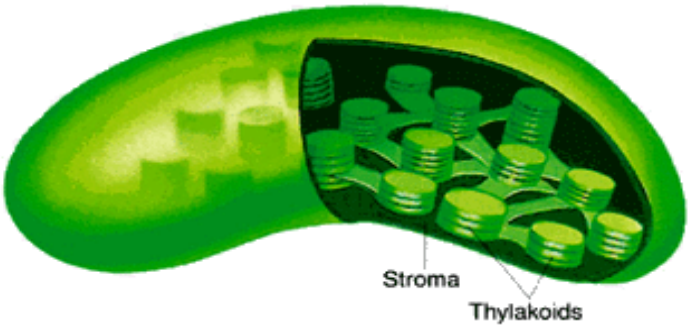
شکل۲-۹:شبکه عصبی مغز انسان[۱۳].

به عنوان یکی از مصادیق طبیعی، فرایند «فتوسنتز»، یکی از بهترین نمونه های کاربرد عملی نقش نانوساختارها در زندگی روزمره است. هرگیاه سبز یا باکتری فتوسنتزی، دی اکسید کربن، آب و نور خورشید (به عنوان منبع انرژی فرآیند) را جذب کرده و آنها را تبدیل به اکسیژن و قند می کند. بازدهی این فرآیند شگفت آور طبیعی، حدود ۹۵ درصد است. در مورد فتوسنتز گیاهان سبز، تمام مراحل فرآیند یاد شده درون آنچه رخ می دهد که به اصطلاح، کلروپلاست نامیده می شود. برگ گیاهان حاوی میلیون ها کلروپلاست است که علت رنگ سبز برگ گیاهان هستند (شکل ۲-۱۰).

شکل۲-۱۰:برگ سبز درختان حاوی میلیونهاکلروپلاست

درون هرکدام از این کلروپلاست ها صدها رنگ دانه حساس به نور به شکل صفحه وجود دارد که تایلاکونید نام دارند و بر روی هم انباشته شده اند (شکل۲-۱۱) در واقع تایلاکوئید[1] ها کیسه های انباشته از مایعی هستند که در پوسته خود رنگدانه های حساس به نور دارند. این رنگدانه ها، مولکول هایی در ابعاد نانو هستند که فوتون های نور خورشید را جذب کرده و آنها را به مرکز واکنش نوری برگ (که در جداره تایلاکوئید ها نهفته است) هدایت می کنند. در هر یک از این مراکز واکنش که مشتمل بر بیش از ۱۰۰۰۰ اتم هستند، حدود ۲۰۰ رنگدانه حساس به نور وجود دارد که عمل اصلی جذب نور خورشید (فوتون ها) را انجام می دهند[۱۳].

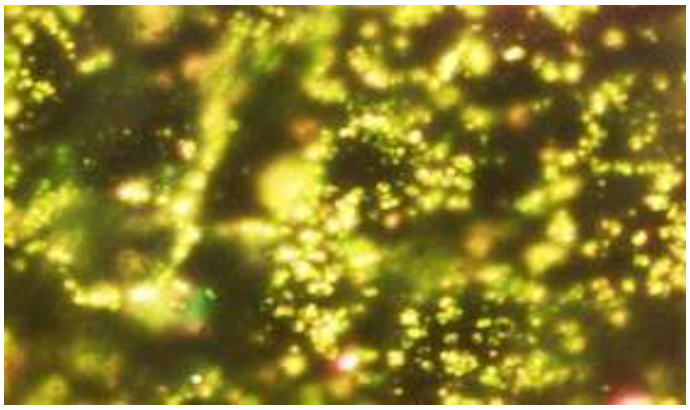
[1] Thylakoids



شکل۲-۱۱: ساختار کلروپلاست صفحات تایلاکوئید[۱۳].

۲-۲-۷-تاریخچه نانو فناوری

فیزیکدان پرآوازه انگلیسی، لرد مایکل فارادی[1] (که در علم شیمی هم صاحب نظر بود)، اولین پژوهش ها را درباره آثار رنگی طلا در ابتدای سده نوزدهم انجام داد. در سال ۱۹۲۶، شیمیدان اتریشی، ریچارد زیگموندی، جایزه نوبل را در شیمی برای مطالعات در این زمینه از آن خود کرد. در ابتدای قرن بیستم، وی شیشه لعل طلایی را آزمایش کرد و در سال ۱۹۱۳ به اختراع میکروسکوپی دست یافت که به وسیله آن می شد ذرات ریز تا مقیاس نانو را مشاهده کرد(شکل۲-۱۲).



شکل۲-۱۲: نانو ذرات طلا [۱۳].

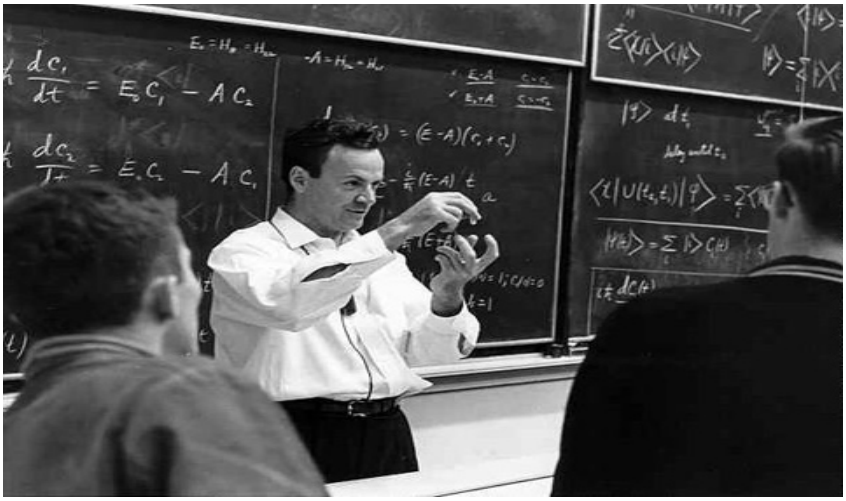
اما ماجرا به همین جا ختم نشد و فناوری نانو، پیشرفت افسانه گونه خود را در کریسمس سال ۱۹۵۹ آغاز کرد. در ۲۹ دسامبر، اعضای انجمن فیزیک آمریکا برای برگزاری نشست سالیانه خود در پاسادینای کالیفرنیا گردهم آمدند. در این نشست که در یکی از دانشگاه های خصوصی ممتاز آمریکا،

[1]Lord Michael Faraday

یعنی انستیتوی تکنولوژی کالیفرنیا (کلتک) برگزار شده بود، ریچارد فاین من(شکل۲-۱۳) که بعدها بنده جایزه نوبل فیزیک شد. سخنرانی معروف خود با عنوان «فضای بسیار زیادی در مقیاس خرد وجود دارد» را ارئه داد. او در این سخنرانی ، نوعی پیشگویی عجیب و خیره کننده را به معرض نمایش گذاشت. با بیان این جملات: «دنیای حیرت آور کوچکی وجود دارد که ما از آن ناآگاهیم. در سال ۲۰۰۰، هنگامی که آدمیان به عقب برگشته و به زمان ما نگاه کنند، با تعجب از خود خواهند پرسید ، چرا تا سال ۱۹۶۰ هیچکس کار جدی در این زمینه انجام نداده است؟» سخنان او مملو از ایده های پیشگامانه مبتنی بر دستکاری مستقیم در ساختار اتم ها و کنترل آنها بود از آن پس، اظهارات عجیب فاین من که دیگر برای دانشمندان باورکردنی شده بود به مجموعه اطلاعات دایره المعارف بریتانیکا[1] اضافه شد در آن زمان تعریف فناوری نانو ، عبارت از انجام کارهای تحقیقاتی در فضایی به اندازه سرسوزن بود دانشمندان این حوزه، پا را فراتر گذاشته و ابعاد و اندازه ها را بیش از پیش کوچک کردند و به این ترتیب، تغییرات بنیادی در قوانین علوم مورد استفاده بشر پدید آوردند. قصد فاین من از انتخاب این عنوان برای فناوری جدید، نه تنها تاکید بر وجود فضایی در مقیاس بسیار خرد در زیردستان انسان بود بلکه منظور وی بیان گستردگی این عرصه نیز بوده است. وی بدون اینکه وارد جزئیات شود، آنچه را که به نظرش ممکن بود اینگونه توصیف کرد: «بحث من این نیست که چگونه باید به این سو حرکت کنیم، بلکه تنها می خواهم به شما بگویم که به طور کلی، چه امکان گسترده ای فراروی ماست. به عبارت دیگر، باید به دنبال آنچه باشیم که بنابرقواعد و قوانین فیزیک میسر است». سخنرانی او برای اولین بار در فوریه سال ۱۹۶۰، در مجله مهندسی و دانش که به وسیله کلتک منتشر می شد، چاپ شد. به حق، میت وان فاینمن را پدر نانوفناوری نامید. با توجه به توسعه و امکان تولید مصالح جدید (عرصه ای که از منظر صنعت ساخت و ساز ومعماری نیز مورد توجه ویژه است)، او پرسشی اساسی را درباره کیفیت مصالح دستکاری آگاهانه وکنترل شده در ساختار اتم هاست، مطرح نمود. در واقع، ژرف اندیشی فاین من، آغازی بود بر نوآوری های جدید در گستره اتم ها

[1] Encyclopædia Britannica

و مولکول ها و متعاقب آن، چشم اندازی پهناور از امکانات طراحی، پیش روی طراحان گشوده شد. در عصر ما «جایزه فاینمن در نانوفناوری» که به پیشگامان این حوزه تقدیم می شود، از دیگر آثار به جای مانده از اوست. این فیزیکدان برجسته با تعیین جایزه در راستای انجام دو مأموریت اساس اهدای این جایزه را بنا نهاد؛ مأموریت نخست، نگارش متن یک صفحه از کتاب در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بود که تنها وسیله میکروسکوپ الکترونی قابل خواندن باشد و دوم، گسترش و بسط موتورهای الکتریکی در ابعادی حدود ۱/۶۴ اینچ، نیومن در اوایل سال ۱۹۶۰ موفق به انجام ماموریت اول شد اما ماموریت ماموریت دوم تا ۲۶ سال بعد ناتمام ماند، تا اینکه در سال ۱۹۸۵، ملک للن آن را به اتمام رساند[۱۳].



شکل۲-۱۳:ریچارد فاینمن

۲-۲-۷-۱- ردپای فناوری نانو در تاریخ

قرن هاست که بشر از نانومواد استفاده می کند اگر به عقب بازگردیم و صفحات تاریخ مواد و مصالح مورد استفاده بشر را ورق بزنیم، خواهیم دید کوزه گران رومی و حتی مردمان پیش از آنها از چنین موادی استفاده می کرده اند. صنعتگران و هنرمندان دوران باستان از ذرات ریز نانومقیاس در ساخت شیشه های زمان خود استفاده می کرده اند تا زمانی که نور به صورت تصادفی به شیشه تابیده می شود، رنگی منحصر به فرد را ایجاد کند. نانو ذرات عامل اصلی براق و درخشان بودن شیشه پنجره ها بوده است رنگ ذرات طلا، بسته به اندازه و فرمشان، تغییر کرده و ممکن است قرمز آبی یا حتی

بنفش به نظر برسد(شکل ۲-۱۴)، در چنین مواردی، طول و موج نور تابیده شده به ذرات شیشه بسیار نزدیک به ابعاد ذرات خواهد بود و موجب خواهد شد نور بازتابیده شکسته یا جذب شود که همه این کیفیت ها به ابعاد و شکل نانوذرات بستگی دارد[۱۳].

شکل۲-۱۴: شیشه پنجره قرون وسطی با نانو ذرات طلا[۱۳].

۲-۲-۸- معرفی نانوذرات سیلیس

سیلیس در ایران به‌وفور یافت می‌شود. این ماده از دو عنصر سیلیسیوم و اکسیژن تشکیل شده و از لحاظ ساختاری شبیه ساختار مولکول آب است. ذرات سیلیس در صنایعی چون الکترونیک، کاتالیزورها، پوشش‌ها و رنگدانه‌ها کاربرد وسیعی دارند. اما استفادهٔ بسیار از این ماده خطرناک است و برای کسانی که در معرض آن قرار می‌گیرند مشکلات تنفسی به وجود می‌آورد. روش‌های شیمیایی سنتز نانوذرات سیلیس پرهزینه‌اند، زیرا مواد مورد نیاز در این روش‌ها گران قیمت‌اند. بنابراین، دانشمندان تلاش می‌کنند تا روش‌ها و منابع مقرون به‌صرفه بیابند. در سال ۲۰۰۴ زونگ هرنگ لیو[1] ، پژوهشگر تایوانی، برای اولین بار این ذرات را از شلتوک برنج سنتز کرد که از روش‌های بسیار ارزان

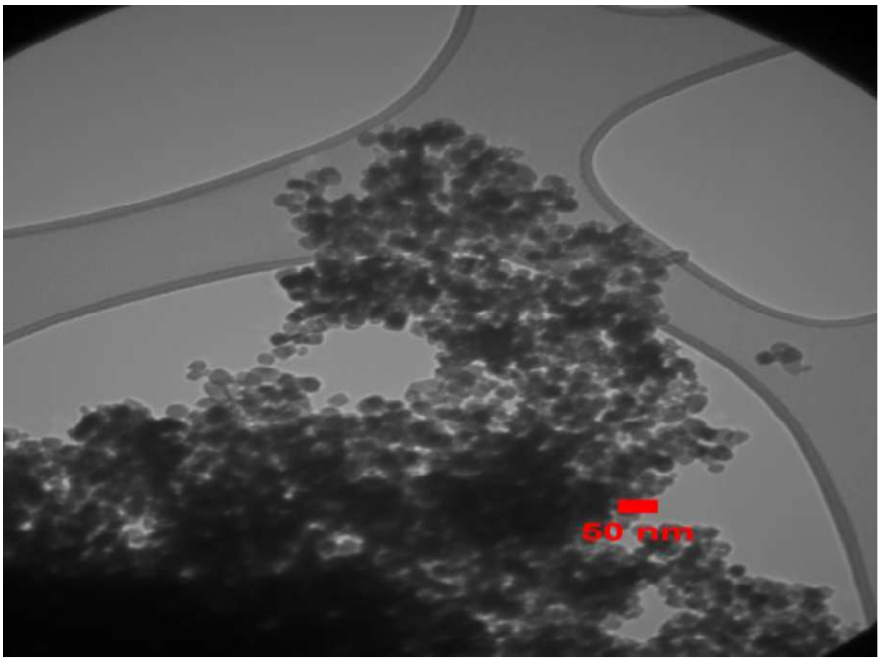
[1] Tzong Horng Liou

قیمت به شمار می‌رود. همان‌طور که گفته شد، در ایران معادن متعددی وجود دارند که کلوخه‌های سیلیس را می‌توان از آنها استخراج کرد.

برای تبدیل این کلوخه‌ها به ذرات ریز چه می‌توان کرد؟ شاید تصور کنید که با آسیاب‌های پرقدرت می‌شود این کلوخه‌ها را آن‌قدر ریز کرد تا به اندازهٔ نانومتری برسند. گرچه این روش به نظر معقول و مقبول می‌آید، ولی تا به حال آسیابی ساخته نشده است که بتواند پیوندهای کووالانسی بسیار قوی سیلیس را بشکند. بنابراین، برای ریز کردن کلوخهٔ سیلیس باید چارهٔ دیگری کرد. اعضای گروه شیمی دانشگاه تربیت مدرس موفق شده‌اند با استفاده از پراکنده‌های شیمیایی به ذرات نانومتری سیلیس دست یابند. پراکنده‌ها موادی هستند که مانند پلی میان اتم‌ها و مولکول‌ها قرار می‌گیرند و از ایجاد پیوندهای قوی بین آنها جلوگیری می‌کنند [۱۵].

۲-۲-۸-۱-کاربردهای نانو ذرات سیلیس

اکنون سراغ کاربردهای نانوذرات سیلیس می‌رویم (شکل۲-۱۵)، سیستم کلوئیدی پراکنده‌ها، یعنی محلول حاوی ذرات پراکندهٔ سیلیس، در صنایع مختلف از جمله در رنگدانه‌ها و کاتالیزورها کاربرد دارد. همچنین از نانوذرات سیلیس می‌توان برای سختی و استحکام پوشش‌های صنعتی استفاده کرد. یک شرکت ژاپنی با استفاده از این نانوذرات در محصولات مرطوب‌کنندهٔ خود، مشاهده کرد که کرم‌های جدید خشکی پوست مشتریان را درمان می‌کند. بنابراین، یکی دیگر از زمینه‌های کاربرد این نانوذرات می‌تواند داروها و لوازم آرایشی و بهداشتی باشد.کاربرد دیگر نانوذرات، در عایق‌های حرارتی و عایق‌های الکتریکی است. با اعمال شرایط خاص، می‌توان از این ذرات که به صورت پودر هستند، ساختارهای متخلخل به دست آورد. ساختار متخلخل کاربردهای جالبی دارد و از جمله می‌توان از آنها به عنوان تصفیه‌کننده استفاده کرد. امروزه توانسته‌اند از نانوپودر سیلیس با توزیع اندازهٔ ذرات کم، پولیشرهای مکانیکی و شیمیایی تولید کنند. در این روش، مشکلاتی که در پولیش سطوح با استفاده از اسیدها و پولیشرهای دیگر وجود داشت، رفع شده است[۱۵] .



شکل۲-۱۵: نانو ذرات سیلیس

*** همانطوری که از بخشهای مختلف این قسمت مشاهده می‌شود متاسفانه در رابطه با بحث بهسازی خاک با نانو سیلیس و ارتباط آن با مکانیک خاک منابع بسیار کمی وجود دارد منابع موجود بیشتر در حوزه علم شیمی می‌باشد. در این تحقیق به بررسی پارامترهای مقاومت برشی خاک اصلاح شده با آهک و نانو سیلیس پرداخته شده که در حوزه بهسازی مکانیک خاک قرار دارد.

۲-۳ – بهسازی و روشهای تثبیت خاک

۲-۳-۱- مقدمه

امروزه از روش‌های بهسازی بطور گسترده ای در جهان استفاده می‌شود. کاربرد این روش ها باعث بهبود پارامترهای ژئوتکنیکی خاک، کاهش هزینه کوتاه شدن زمان اجرا و افزایش طول عمر بهره-برداری می‌گردد. آشنایی کم دست اندرکاران پروژه‌ها، نبود تجهیزات خاص عملا منجر به استفاده محدود در ایران شده است .

تعریف بهسازی:

باز سازی کنترل شده خاک در جا، برای استفاده مجدد در یک ساختار جدید ژئوتکنیکی است .

ویژیگی‌های اصلی :

- زمین در جا اصلاح می شود .
- مشخصات فنی آن به سطح قابل قبول می‌رسد .
- زمین بخشی از سیستم خاک، سازه می‌گردد .
- روش‌های تائید کار انجام شده موجود است .

مزایا :

- اصلاح عملکرد
- کاهش هزینه
- صرفه جویی زمانی
- کاهش ریسک های ناشناخته

فلسفه بهسازی:

اگر شرایط ژئوتکنیکی زمین برای ساخت انواع سازه ها مناسب نباشد لازم است.

- محل پروژه تغییر کند
- مصالح طبیعی نامناسب با مصالح مناسب جایگزین شود
- طراحی متناسب با این شرایط خاص (پی های شناور، عمیق و ...) بعمل آید
- خاک موجود بهسازی شود.

با توسعه و ابداع روش های جدید اصلاح خاک و ماشین آلات خاص با راندمان بالا، هزینه و زمان اجرای پی در زمین های ضعیف و مسئله دار به مراتب کمتر از سایر تمهیدات اشاره شده می باشد. از دیگر مزایای بهسازی، کاهش و ازبین بردن ریسک های ناشناخته است .

با بهسازی خاک پارامتر های ژئوتکنیکی اصلاح می شود. افزایش تراکم، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی افزایش می یابد همچنین برخی از پارامترهای پلاستیسیته و پارامتر های مرتبط با آن نیز بهبود می‌یابد [۱۶].

۲-۳-۲- بهسازی به عنوان مکمل پی سازی

بهسازی خاک شامل تکنیک ها و روش های مختلف تغییر خصوصیات خاک بوده که نهایتاً به افزایش مقاومت، کاهش تغییرات حجمی و تامین رفتار خاصی از خاک منجر می شود[۱۷].

خاک های مسئله دار(حساس)

۱- خاک های با منشا آلی و نباتی

۲- خاک های رمبنده

۳- خاک های رس اشباع و نرم

۴- خاک های واگرا

۵- خاک های با منشا زباله و ضایعات

۶- خاکریزها

۷- خاک های ماسه ای و لای شل

۸-خاک های دستی

۲-۳-۳-تکنیک ها و روش‌های تغییر خصوصیات و تثبیت خاک‌های مسئله‌دار

- تراکم سطحی
- برداشت و جایگزینی
- زهکشی
- پیش بارگذاری
- سقوط وزنه و یا تراکم دینامیکی
- ویبره شناوری، روش های حرارتی و الکتریکی انفجار
- استفاده از مواد افزودنی نظری آهک، سیمان و یا مواد شیمیایی
- احداث ستونهای سنگی و آهکی
- تزریق

- مسلح سازی

- روش های دیگر نظیر روش های حرارتی، الکتریکی و انفجار [۱۷].

*** در این تحقیق از روش بهسازی خاک با آهک ونانوسیلیس تواما استفاده شده است.

۲-۳-۴- تثبیت خاک با آهک

از جمله موادی که برای تثبیت و یا بهسازی خاک کاربرد بسیار دارد آهک است. از آنجائی که اکثر خاک ها، دارای ترکیبات سیلیکا و آلومین سیلیکا هستند، افزایش مقداری آهک زنده (Cao) یا آهک شکفته (Ca(OH)2) و آب، برای به وجود آوردن یک ترکیب پایدار، بسیار موثر است. تجربه نشان داده است که انواع خاک رس با آهک زنده و یا شکفته ترکیبی تولید می کنند که خواص آنها مانند خواص ترکیبات سیمانی است.

اصول ترکیبات شیمیایی براساس ترکیب رس پوزولانی و آهک در مجاورت آب اتفاق می افتد به این ترتیب که:

۱- یون مثبت تغییر می کند و ذرات خاک به صورت توده ای بهم پیوسته در می آید.

۲- واکنش پوزولانی یا سمنتاسیون صورت می پذیرد و یا کربناسیون رخ می دهد.

اولین واکنشی که صورت می‌پذیرد، تغییر یون[1] و بهم پیوستن ذرات خاک به یکدیگر است که این امر باعث اصلاح خاصیت پلاستیسیته، کارایی و مقاومت خاک و قابلیت شکل پذیری آن می گردد. واکنش های پوزولانی و یا سمنتاسیون وابستگی نزدیکی به گذشت زمان و درجه حرارت دارند و شاید سالها به طول انجامند. دمای بیش از ۵۵° سانتیگرادباعث تسریع و دمای کمتر از ۵۵° سانتیگراد باعث کندی این واکنش ها می گردند. کربناسیون یک واکنش نامطلوب است که باعث جلوگیری ازا نجام آزمایش پوزولانی گشته و باعث افزایش خاصیت پلاستیک خاک می گردد[۱۸].

تثبیت خاک با آهک علاوه بر راهسازی در سایر پروژه های ساختمانی که در آن نیاز به ایجاد یک

[1] Ion exchange

بستر مناسب و پایدار و با مقاومت مطلوب است، در مورد استفاده قرار می گیرد. مصالح مورد استفاده در تثبیت خاک با آهک عبارتند از آهک، خاک و آب، آهک از پختن سنگ آهک (CaCo3) با نام شیمیایی کربنات کلسیم به دست می اید. با این عمل که در دمای ۱۲۸۹ درجه سانتیگراد و فشار ۱۱۰ اتمسفر انجام می شود، Co_2 از سنگ آهک جدا شده آهک زنده از آن با فرمول شیمایی Cao به جای می ماند و زن مخصوص آهکی که از این طریق به دست می آید و به آهک زنده مشهور است در حدود $3.08\ gr/cm^3$ تا 3.30 است. آهک بر خاک های آلی و خاک های بدون ذرات رسی، تاثیر بسیار کمی دارد. از طرف دیگر آهک بسیار بیشتر از سیمان بر مصالحی چون شن رس دار (وماسه رس دار) تاثیرگذار است و مقاومت بسیار بالایی را پس از تثبیت سبب می شود. آهک با خاک مونت و موریونیت زودتر از کائولینیت ترکیب می شود اما این تفاوت فقط منحصر به چند هفته اول است[۱۹].تحقیقات نشان می دهد که حتی در مورد مصالح درشت دانه خالص نیز به شرطی که سایز ذرات در محدوده ماسه های متوسط و ریزدانه باشد، تثبیت با آهک میتواند به افزایش مقاومت خاک منجر شود. اصولا تثبیت خاک با آهک به بهبودی بسیاری از پارامترهای ژئوتکنیکی خاک مانند مدول ارتجاعی خاک (تا حدود ۱۰ برابر با گذشت زمان)، مقاومت فشاری و برشی مخلوط (با گذشت زمان تا حدود ۲۰ برابر) می شود. از جمله خصوصیات خاکریزهای تثبیت شده با آهک کسب مقاومت با زمان، داشتن دوام کافی بعد از گذشت سالیان بسیار طولانی، حتی تحت بارهای سرویس و همچنین بازگشت مقاومت در صورت خسارات و کاهش مقاومت ناشی از بارگذاریهای سنگین هستند. پس از اضافه شدن آهک به خاک واکنش های مختلفی بین خاک و آهک صورت می گیرد. مهمترین این واکنش ها، واکنش جانشینی یون های مثبت و واکنش تجمع- تراکم است که به سرعت پس ازتماس ذرات رس با آهک شروع می شود و باعث بهبودی آنی خصوصیات پلاستیک خاک و کارپذیری آن، افزایش مقاومت کوتاه مدت خاک و همچنین کاهش تغییر شکل پذیری مخلوط می شود. دراین دو واکنش، بافت خاک با تجمع ذرات درکنار یکدیگر و به نوعی دانه بندی آن تغییر می کند و مقاومت آن افزایش می یابد. واکنش بعد، بسته به نوع خاک، واکنش پوزولانی است که در طی آن مواد

سیمانی بیشتری درخاک به وجود می آید، بافت خاک تغییر می کند و مقاومت بلند مدت و همچنین دوام مخلوط افزایش می یابد. این واکنش به دمای هوا حساس است و در دمایی کمتر از حدود ۱۳ تا ۱۶ درجه سانتیگراد متوقف می شود. چهارمین و آخرین واکنش ممکن، واکنش کربناسیون است که درآن آهک با CO_2 موجود در هوا وارد واکنش می شود و یک ترکیب کربناته تقریبا غیرقابل حل در آب به وجود می آورد .آهک با ذرات رس دارای واکنش های شیمیایی است. براثر این واکنشها، ذرات رس به یکدیگر می چسبند و یک ژل کلسیم- سیلیکات به وجود می آورند. این ژل چسبنده باعث سیمانی شدن بافت خاک و چسبیدن ذرات آن به یکدیگر می شود. با گذشت زمان این ژل به شکل هیدرات کلسیم- سیلیکات کریستالی شده[۱]مانند توبرموریت[۲] و هیلبراندیت[۳] در می آید. این مایکروکریستالها می توانند با قفل و بند داخلی، به صورت مکانیکی به یکدیگر بچسبند[۱۹].

۲-۳-۵- واکنش های آهک با خاک

۲-۳-۵-۱- تغییر یون و تراکم خاک

این واکنش نتیجه جایگزینی یون یک ظرفیتی سدیم (Na^+) و هیدروژن (H^+) خاک با یون دوظرفیتی کلسیم (Ca^{++}) آهک است. این واکنش باعث بهم پیوستن ذرات خاک رس شده و درنتیجه منجر به اصلاح پلاستیسیته خاک می‌شود.

از آنجایی که آهک ترکیب بسیارخوبی با آب دارد، این واکنش از انوع واکنش های فعال است که باعث درهم شکستن توده های خاک رس گشته و با بیرون کشیدن آب از میان توده های خاک، یک مصالح خشک تر و تراکم پذیرتری حاصل می‌گردد[۱۹].

[1] Crystallized
[2] Tobermorite
[3] Hillebrandite

۲-۳-۵-۲- واکنش پوزولانی یا سمنتاسیون:

هنگامی که Fe_2o_3 , Al_2o_3, Sio_2 موجود در خاک با کلسیم موجود در آهک ترکیب می‌شوند، یک ژل بسیار مقاوم سیلیکات کلسیم و آلومینات تشکیل می گردد که عملکرد آن مانند ترکیبات سیمانی است (ژل توبرموریت)[1] در این مورد آهک دونقش ایفا می کند: هم اصلاح کننده است و هم تثبیت کننده، سمنتاسیون یک واکنش وابسته به زمان و واکنش کندی است که به میزان رس پوزولانی موجود در ترکیب وابسته است. خاک های تثبیت شده با آهک، با افزایش عمل هیدراتاسیون در طی زمان افزایش خاصیت داده و این بهبودی تا سال ها درون خاک ادامه خواهد داشت.

۲-۳-۵-۳-کربناسیون:

یک پدیده نامطلوب است که در نتیجه عدم انجام واکنش خاک با آهک به وجود میاید. به این ترتیب که Co_2 هوا یا خاک با Cao آهک ترکیب شده و باعث به وجود آمدن ترکیب $Caco_3$ می‌گردد. این مسئله زمانی به وجود می آید که رس پوزولانی کافی در ترکیب موجود نباشد یا آهک بیش از حد نیاز به خاک افزوده باشیم. $Caco_3$ یک ماده پلاستیک است که باعث بالا رفتن خاصیت پلاستیسیته ترکیب می شود و ازا نجام واکنش پوزولانی جلوگیری می‌نماید. بنابراین افزودن بیش از حد آهک به خاک نتیجه خوبی دربرنداشته و لازم است برای تعیین درصد آهک و رطوبت بهینه طرح اختلاط صورت گیرد[۱۹].

۲-۳-۶-خاک های مناسب برای اختلاط با آهک

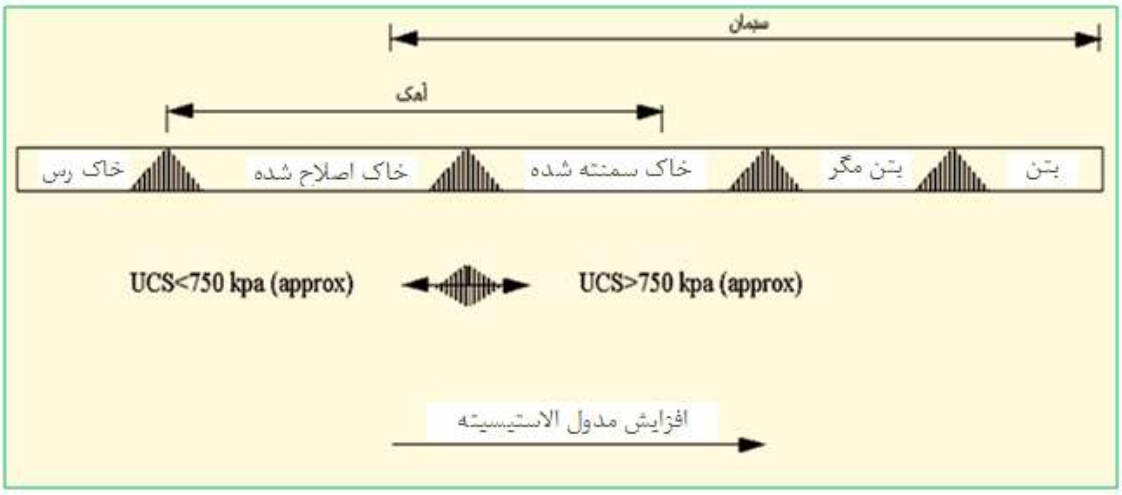
بطور کلی خاک هایی جهت اختلاط با آهک مناسب می باشند که دارای مقدار کافی رس باشند. بعلاوه تحقیقات گذشته موید آن است که تاثیر آهک که نتیجه ساده آن کاهش PI و افزایش مقاومت خاک است هنگام کاربرد دارد که PH خاک بیش از ۱۰ باشد و اگر PH خاک کمتر از ۱۰ بود برای اصلاح یا تثبیت باید از سیمان استفاده کرد البته مطلب فوق نمی تواند در همه موارد صادق باشد، زیرا

[1] Tobermorite

خاک های بیشماری در طبیعت وجود دارد که دارای PH کمتر از ۱۰ بوده ولی با آهک واکنش خوبی دارند ؛ مثل ماسه سنگ ها، کال کریت ها، گرانیت ها و دولریتهای تجزیه شده همچنین خاک هایی که دارای سیلیس آمورف هستند (نظیر برخی از کال کریتها) که سریعاً و خیلی هم قوی با آهک واکنش می دهند. بنابراین برای مشخص شدن میزان واکنش آهک با خاک هایی که دامنه خمیری آنها کم است، بایستی آزمایش مقاومت فشاری انجام گردد. بطور کل اغلب رس های خمیری با آهک واکنش می دهند. خاک های حاوی مونت مورنولیت معمولا واکنش شدیدتری دارند همچنین کائولینت ها هم با آهک واکنش زا می باشند . مهمترین تاثیر آهک بر خصوصیات خاک، اصلاح آن، کاهش دامنه خمیری و افزایش CBR می‌باشد. دراین مرحله ممکن است مقاومت فشاری و مقاومت کششی (سمنته شدن) سریعا افزایش نداشته باشد. بنابراین در عملیات تثبیت هدف از اختلاط آهک با خاک بایستی قبلا مشخص گردد بعنوان مثال اگر مقدار کمی سیمان با خاک مخلوط گردد برخی از خصوصیات خاک تغییرمیکند، ولی مقاومت فشاری و کششی به طور محسوسی افزایش نمایند در این شرایط میزان سمنته شدن نسبتا ضعیف و فقط مرحله اصلاح انجام شده است. [۱۹].

لازم بذکر است باتوجه به مطالب فوق حد و مرز بین دو عمل اصلاح و سمنته شدن دقیقا قابل تشخیص و یا تعریف نیست ولی می توان با انجام آزمایش CBR و تعیین PI مرحله اصلاح و با انجام آزمایشات مقاومت فشاری و مقاومت کششی مرحله سمنته شدن را تعریف و مشخص نمود.

نقش عملکرد آهک برای دو مرحله اصلاح و سمنتاسیون خاک به صورت شماتیک در(شکل۲-۶)نشان داده شده است دراین کروکی همچنین تاثیر افزودن سیمان نیز آورده شده تا میزان و حدود نقش آهک برای سمنتاسیون تا اندازه ای قیاس گردد[۲۰].



شکل۲-۱۶: تثبیت خاک با آهک وسیمان[۲۰].

۲-۳-۷-تثبیت شیمیایی خاک

از گذشته های بسیار دور و در ملل مختلف روش های متفاوتی برای تثبیت خاک، عمدتا جهت راهسازی وجود داشته است. پس از عصر رومیان، تلاش های کمی در جهت توسعه تکنولوژی ساخت راه در اروپا صورت گرفت تا اینکه به تدریج از زمان ابداع وسایل نقلیه چرخ دار سنگین که با اسب کشیده می شدند، نیاز به ساخت راه هایی با سطح صاف و سازه ای مقاوم و ارزان قیمت به وجود آمد. این امر علت عمده روی آوری مهندسان و متخصصان به روش های تثبیت و مقاوم سازی خاک های مختلف در صنعت راهسازی بود که بعدها در سایر گرایش های مهندسی عمران به کار گرفته شد. هیچ روشی ارزان‌تر و بهتر از روشهای تثبیت خاک برای ایجاد بستری مناسب و مقاوم را راهسازی وجود ندارد. عموما تثبیت خاک به روش شیمیایی در مورد اغلب خاک ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصولا تثبیت شیمیایی خاک باعث تغییر بافت خاک و دانه بندی ان، افزایش مقاومت، کاهش پلاستیسیته و خصوصیات تغییر شکل پذیری خاک، افزایش قابلیت هدایت هیدرولیکی، کاهش نفوذپذیری، کنترل انقباض و تورم، کاهش قابلیت فرسایش، افزایش دوام، کنترل تغییر پذیری و سهولت در تراکم خاک می شود. روش های عمده تثبیت شیمیایی خاک که امروزه مورد استفاده

فراوان دارند عبارتند از تثبیت خاک با قیر، سیمان، آهک و کلرید کلسیم و خاکستر بادی[1] و غیره. درادامه، روش تعیین نوع ماده شیمیایی برای تثبیت و دو روش تثبیت خاک با سیمان و تثبیت خاک با آهک و با تاکید بر تثبیت خک با سیمان از میان روش های مختلف تثبیت خاک شرح داده می - شود. تثبیت خاک با آهک در بسیاری جهات مشابه با تثبیت سیمانی خاک است و به همین منظور به صورت مختصر به آن پرداخته می شود[۲۱].

۲-۳-۸- روش های طرح مخلوط های تثبیت شده با آهک تثبیت خاک با آهک

براساس استانداردهای مختلف از جمله ASTM و AASHTO چند روش مختلف برای طرح مخلوط های آهکی پیشنهاد شده است .تثبیت خاک با آهک می تواند به یکی از چهار طریق زیرمنجر به بهبود خاک گردد و طراحی مخلوط های تثبی شده با آهک نیز مطابق با نیاز طراح، در راستای یکی از چهار طریق انجام پذیر است.

الف) افزایش مقاومت

ب) افزایش مدول الاستیسیته یا مدول برجهندگی و سختی

ج) مقاومت در برابر خستگی و شکست

د) افزایش دوام

روش های مختلف تثبیت خاک با آهک را به صورت زیر بیان می کنند. این روش ها درا غلب مراجع معتبر به عنوان روش های طرح مخلوط های تثبیت شده با آهک مورد استفاده قرار گرفته اند.

۱- روش (PH) : بر اساس این روش هنگامی که PH مخلوط به حدود ۱۲/۴ برسد .

۲- روش دامنه خمیری: تعیین آهک بهینه با استفاده از حالتی که دامنه خمیری به حد مطلوب کاهش پیدا کند .

۳- روش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) : تعیین آهک بهینه بوسیله مقاومت CBR تعیین می گردد.

۴- روش (AASHTO) : مقاوت مخلوط بر اساس درصد بهینه مقاومت فشاری نمونه تثبیت شده با

[1]Fly Ash

آهک بدست می آید.

۵- روش مقاومت فشاری : تعیین آهک بهینه بر اساس مقاومت تک محوری نمونه تثبیت شده با آهک بدست می آید[۲۱].

***دراین پژوهش درمورد تاثیر درصدهای مختلف توام نانو سیلیس وآهک در راستای تغییر پارامترهای مقاومت برشی پرداخته شده است که به نحوی در ارتباط با مورد الف و ج می باشد.

و با توجه به اینکه تاثیر توام هردو ماده افزودنی مورد نظر بوده است بری پیدا کردن درصدهای بهینه ازآزمایش حدود اتربرگ و آزمایش برش مستقیم استفاده شده است .

۲-۴- نتیجه گیری از بخش مروری بر کارهای گذشته:

با توجه به منابع ذکر شده بحث بهسازی خاکهای رس که در مواردی جزء خاکهای مسئله‌دار محسوب می‌شوند، همواره مورد توجه مهندسین ژئوتکنیک بوده است. در مرور بر کارهای گذشته محققین مختلف در ایران وخارج از ایران اکثرا برای بهسازی خاک از افزودنیهایی، مانند آهک، سیمان، قیر ،پوزولان ومیکروسیلیس ویا به صورت ترکیبی از این مواد استفاده کرده اند ودر مواردی نادر به نانو سیلیس و نانو رس اشاره شده است که برای نشان دادن تغییرات ناشی از این افزودنیها بر خصوصیات مهندسی خاک مانند (ظرفیت باربری، تورم ، رمبندگی، نشست و...) از آزمایشهایی نظیر (مقاومت تک محوره فشاری، حدود اتر برگ ،تراکم آزمایشگاهی ومقاومت فشاری) استفاده شده است. لذا در این تحقیق برای نشان دادن تاثیر افزودنیهای (آهک ونانو سیلیس با هم) از آزمایش برش مستقیم و حدود اتربرگ استفاده شده است وتاثیر آن بر پارامترهای مقاومت برشی وپلاستیسیته خاک گزارش شده است.

۲-۴-۱- مقایسه با کارهای مشابه انجام شده:

جهت اطمینان از عدم تکراری بودن موضوع این پژوهش در پایگاه اطلاعات ایران جستجو وموارد زیر مشابه به موضوع تحقیق مشاهده شد که در هر مورد تفاوت با تحقیق حاضر ذکر شده است.

الف- عنوان تحقیق: بررسی تاثیر افزودن نانو سیلیس بر روی خواص ژئوتکنیکی خاک رسی[۶]. خاک مورد نظر از محل متروی تهران ایستگاه پرند تهیه شده است. نتایج حاکی از افزایش چسبندگی بهینه با ۱/۵٪ نانو سیلیس می باشد. لازم به ذکر است در این تحقیق فقط از نانو سیلیس استفاده شده است و پارامترهای مقاومت برشی از آزمون برش مستقیم استخراج گردیده است.

ب- عنوان تحقیق: اثر نانو سیلیس بر خصوصیات مکانیکی وژئوتکنیکی خاک رس[۳۸]. خاک مورد نظر از شهر زنجان تهیه شده است. نتایج حاکی ازافزایش چسبندگی بهینه با ۳٪ نانو سیلیس می باشد. لازم به ذکر است درتحقیق فوق فقط از نانو سیلیس استفاده شده است و پارامترهای مقاومت برشی از آزمون برش مستقیم استخراج گردیده است.

ج- عنوان تحقیق: ارزیابی ظرفیت باربری وتعیین پارامترهای مقاومتی خاک رس با میکروسیلیس به همراه آهک[۳۷]. خاک مورد نظر بر رس شهر بابل انجام شده است (مطالعه موردی). نتایج حاکی از افزایش چسبندگی بهینه با ۲٪ میکروسیلیس می‌باشد. لازم به ذکر است در تحقیق فوق ازمیکروسیلیس و آهک باهم استفاده شده است و پارامترهای مقاومت برشی از آزمون سه محوری تحکیم نیافته- زهکشی نشده استخراج گردیده است.

مقایسه نتایج در (جدول ۲-۱) گزارش شده است. همانطوری که از جدول فوق مشخص است نتایج حاکی از درصد های پایین (تا ۳٪) حضور نانوسیلیس یا میکروسیلیس در خاک می تواند منجر به تغییرات مناسب در پارامتر های مختلف (فیزیکی ومکانیکی)، خاک گردد. و دلیل تفاوت اندک آنها با هم، تفاوت در پارامترهای دیگر خاک ونوع ماده بهسازی (آهک ،نانو سیلیس، میکرو سیلیس ویا ترکیب این مواد با درصد های مختلف) می‌باشد.

جدول ۲-۱ : نتایج تحقیقات مختلف بر خاکهای رسی CL بهسازی شده با نانوسیلیس در نقاط مختلف.

مشخصات فیزیکی خاک مورد مطالعه	خاک تحقیق اصلی	خاک تحقیق الف	خاک تحقیق ب	خاک تحقیق ج
Gs	2.7	2.7	2.7	2.7
LL	34	32	69	29
PL	20	19	42	21
PI	14	13	27	7
γ_d (KN/cm3)	1.77	1.73	1.47	1.74
ω_{opt}	16%	16.85%	23%	19%
Size of Particles (nm)	20-30	< 100	< 100	0.2-0.3 (µm)
Soil Classification in Unified System	CL	CL	CL	CL
C (Kpa)	68	43	33	45
$(\text{Nano-Silica})_{Optimum}$ %	3% Ns +4%lime	1.5% Ns	3%Ns	1% Ms +2%lime
Time to curing (day)	1	2	1	1
Sampling Site	۴ کیلومتری فرودگاه شاهرود	ایستگاه متروی پرند - تهران	زنجان	بابل

۲-۳-۲- جمع بندی

در این تحقیق درصد بهینه(۳٪ نانو سیلیس و ۴٪ آهک با هم) برای افزایش چسبندگی و شاخص خمیری می باشد که تفاوت اندک آن با کارهای عنوان شده به دلیل تفاوت خصوصیات خاک مورد تحقیق از جمله (خصوصیات خمیری وتراکمی، رطوبت بهینه وغیره همچنین نوع ودرصد مواد افزودنی به خاک مورد نظر) می باشد. دراین پژوهش سعی برآن شده تا ضمن بدست آوردن یک نتیجه بر اساس تفاوتها وتشابهات نوع مواد تثبیت کننده خاک برای بهسازی خاکهای رسی که در درسیستم طبقه بندی یونیفاید مشابه باشند (خاک رسCL) ، ضرورت تحقیق نیز مشخص گردد.

با توجه به جمع بندی فوق نتیجه می گیریم که اثر توام ترکیب آهک ونانوسیلیس بر پارامترهای مقاومت برشی خاک کمتر بررسی شده ودر میان تحقیقات انجام شده به صورت مشابه دیده نمی شود با نگرش بهاین مورد لزوم تحقیق مشخص گردید. همچنین از جمع بندی فوق نتیجه می گیریم فقط در درصدهای خیلی پایین این ماده افزودنی (نانو سیلیس) تغییرات خاصی در پارامترهای مختلف خاک صورت می گیرید که با توجه به گران قیمت بودن این ماده مزیت بسیار خوبی می باشد، نتایج کلی از این پژوهش بصورت مشروح در فصل پنجم (نتیجه گیری) گزارش شده است.

فصل سوم

آزمایشهای

فیزیکی ومکانیکی

برروی مصالح تحقیق

۳-۱- مقدمه:

در این بخش به شرح روش تحقیق و بحث آزمایشهای (مشخصات فیزیکی ومکانیکی) بر روی مصالح بکار رفته در این تحقیق، پرداخته شده و ضمن بیان مختصر روشها به استخراج نتایج نیز به تشریح پرداخته می‌شود .

۳- ۱- ۱- روش تحقیق

الف) تهیه مصالح لازم جهت تحقیق شامل(تهیه نمونه از خاک مورد نظر، آهک ساختمانی ونانوسیلیس)

ب) انجام آزمایشهای لازم با توجه به روشهای استاندارد آزمایشگاهی

ج) استخراج نتایج

د)نتیجه گیری وپیشنهاد.

۳-۲- مصالح مورد استفاده:

۳-۲-۱- خاک رس :

خاک مورد استفاده در این تحقیق از شرق شهر شاهرود حدود ۴ کیلومتری فرودگاه شاهرود(شکل ۳-۱) تهیه شده است. به منظور شناسایی خاک مورد نظر آزمایشهای شناسای خاک شامل(دانه بندی و هیدرومتری، حدود اتربرگ و طبقه بندی خاک)، آزمایشهای مشخصات فیزیکی خاک شامل(تعیین درصد رطوبت خاک و چگالی ویژه خاک)، آزمایشهای مشخصات مکانیکی خاک شامل(آزمایش تراکم جهت ارزیابی رطوبت بهینه، آزمایش تحیم یک بعدی (ساده وفرو ریزشی) وآزمایش برش مستقیم) انجام گرفته است. همچنین آزمایش XRD [1]برای شناسایی اندازه ذرات (آنالیز فازی) وXRF[2] برای شناسایی عناصر موجود(آنالیز عنصری) بر روی خاک مورد نظر انجام شده است.

[1] X Ray Diffraction
[2] X Ray Fluorescence

شکل۳- ۱: نمایی از سایت مورد نظر

۳-۲-۱-۱- نمونه گیری دست خورده از خاک[1]:

نمونه های دست خورده برای شناسایی دانه بندی، حدود اتربرگ، میزان املاح شیمیایی موجود درخاک و برخی از آز مایشهای شاخص خاک کارایی دارند . روشهای اخذ نمونه دست خورده شامل نمونه و گیری دستی، نمونه گیری با اوگرهای پره دار و سطلی، نمونه گیری با نمونه گیر جدا شونده SPT [2]برخی روشهای پیشرفته نمونه گیری نظیر نمونه گیری به روش آزمون نفوذ حجیم می باشد LPT[3] ساده ترین روش نمونه گیری دست خورده آن است که بطور مستقیم و به کمک وسایل ساده نظیرکاردک و بیلچه تودۀ خاک نمونه گیری شود . برای نمونه گیری دستی از اعماق زمین باید ابتدا چاله ای به روش دستی یا ماشینی حفر شده و سپس از جدار آن در اعماق مورد نظر نمونه گیری گردد . بطورمعمول این چاله در خاکهای پایدار توسط مقنی و به روش دستی حفر می شود . با این حال در خاکهای ریزشی و یا در مواردی که شناسایی زمین در طول یک خط مورد نظر باشد ماشین

[1]Disturbed Sample
[2] Standard Penetration Test
[3]Large Penetration Test

آلات حفاری نظیربیل مکانیکی به کار می روند [۲۲]. که در این تحقیق نمونه گیری بصورت دستی انجام شده است، که در(شکل ۳-۲) مشاهده می شود .

شکل۳-۲: نمونه برداری دست خورده از خاک مورد نظر

۳-۲-۱-۲- نمونه گیری دست نخورده[1] از خاک:

نمونه های دست نخورده ارزشمندترین نمونه های خاک هستند که می توان آزمایشهای مختلف برای شناسایی رفتار خاک ، تعیین مقاومتهای برشی و فشاری و خواص تحکیمی خاک را بر روی آنها انجام داد .غالباً نمونه گیری دست نخورده توسط نمونه گیرهای تیوبی انجام می شود بطور کلی نمونه گیری دست نخورده از خاکهای ریز دانه ساده تر از خاکهای درشت دانه است ، درخاکهای درشت باید از نمونه گیرهای پیشرفته تر که برای نفوذ در زمین و حفظ نمونه در داخل نمونه گیر امکانات ویژه ای دارند، استفاده شود . البته باید یادآوری گردد که در خاکهای درشت دانه با اندازه گیری دانسیته صحرایی و ساخت نمونه باز سازی[2] شده در آزمایشگاه تا حدودی می توان شرایطی نزدیک آنچه در محل دارا هستند را برای آنها بوجود آورد[۲۲].

[1] Undisturbed Soil Sampling
[2] Remolded Sample

*** در این تحقیق نمونه دست نخورده با روش تیوپی (فرو کردن تدریجی ظرف نمونه بردار در خاک مورد نظر) با کمترین دست خوردگی بدست آمده است (شکل۳-۳)، ازنمونه دست نخورده فقط برای آزمایش برش مستقیم استفاده شده است .

شکل۳-۳: روش نمونه برداری دست نخورده از خاک مورد نظر

۳-۲-۱-۳- نمونه باز سازی شده[1] از خاک:

نمونه باز سازی شده یا ساختگی به نمونه ای اطلاق می شود که با استفاده از نمونه های دست خورده وانجام عملیات تراکم روی آن ،در آزمایشگاه تهیه وسپس آزمایش می شود[۲۳].

*** در این تحقیق از نمونه بازسازی شده به روش فوق، فقط برای آزمایش برش مستقیم استفاده شده است(نمونه های بدون نانو سیلیس و آهک و با نانوسیلیس توام با آهک)، که در (شکل ۳-۴) مشاهده می شود .

[1] Remolded Sample

شکل۳-۴: نمونه بازسازی شده از خاک دست خورده از وسط قالب تراکم

۳-۲-۱-۴- آزمایشات شناسایی وطبقه بندی بر روی خاک مورد مطالعه:

۳-۲-۱-۴-۱- آزمایش دانه بندی خاک به روش الک و هیدرومتری برای بخش گذرا از الک شماره ۱۰ (۲/۰ mm). استاندارد – ASTM D. :۴۲۲ [۲۴].

الف) روش الک:

اغلب خاکهای طبیعی شامل مخلوطی از دو یا بیشتر از شن وماسه ولای ورس می باشند و بسیاری از آنها نیز شامل مقداری مواد آلی می باشند. به طور کلی اطلاعات حاصل از این آزمایش برای پیش بینی حرکت آب در خاک ، میزان نفوذ پذیری خاک ، حساسیت خاک در مقابل یخ زدگی ورفتار خاک در آب وهوای سرد ، خاصیت مویینگی ، استفاده به عنوان فیلتر وزهکش مفید است . دانه های ریزتر از الک (No.200) معمولا ارزش سازه ای ندارند . اهمیت ریزدانه ها در میزان رطوبتی است که جذب می کنند.

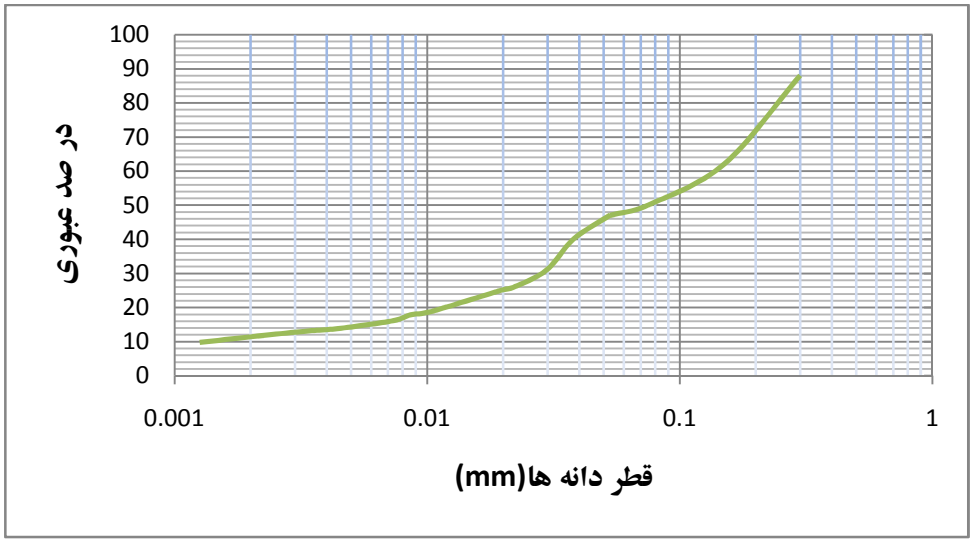
هدف از انجام آزمایش دانه بندی تعیین اندازه ذرات خاک و بدست آوردن نسبت درصد وزنی به یکدیگر می باشد . با انجام این آزمایش از میزان وجود ذرات با ابعاد مختلف مطلع می شویم و می - توانیم روی مناسب یا نامناسب بودن خاک نظر دهیم.

شکل ۳-۵: الکهای آزمایش دانه بندی به روش تر(قسمت درشت دانه)

ب) روش هیدرومتری استاندارد :

دانه بندی خاکهای ریز دانه را می توان با استفاده از روش ته نشینی تعیین کرد این روش مبتنی بر قانون استوکس می باشد که مربوط به سرعت سقوط ذرات کروی شکل معلق در مایعات می باشد . ذرات بزرگتر سرعت سقوط بیشتری دارند و ذرات کوچکتربا سرعت کمتری ته نشین می شوند.

در(شکل۳-۶) نمودار دانه بندی خاک مورد مطالعه (حاصل از روش الک و هیدرومتری) ترسیم گردیده است

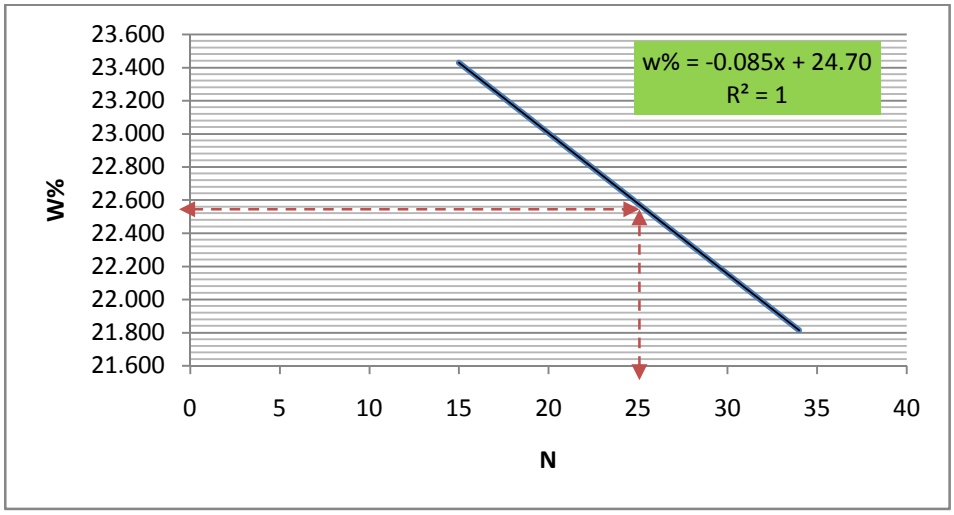


شکل ۳-۶: نمودار دانه بندی خاک مورد مطالعه

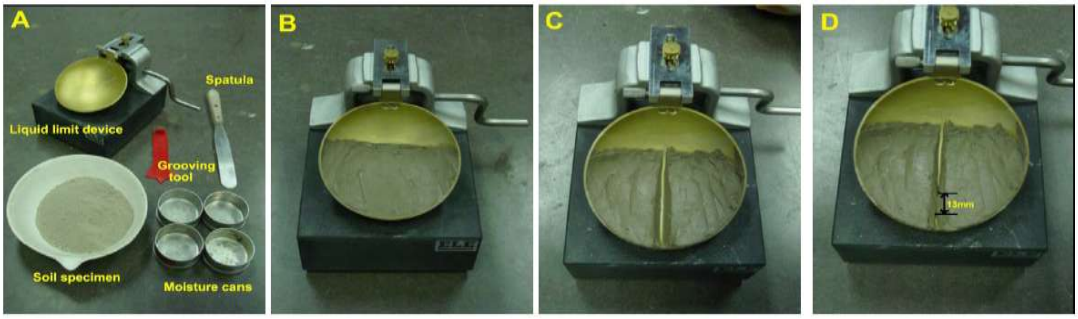
۳-۲-۱-۴-۲- آزمایش حدود اتربرگ : استاندارد - ۳۴۱۸: ASTM D [۲۵].

حد روانی

در مکانهایی که خاک در مقابل رطوبت زیاد قرار دارد آزمایش حدود اتربرگ به ما در شناختن بهتر خصوصیات خاک کمک می کند .خاک در حالت معمول جامد است . در مرحله ای خاک از حالت جامد به نیمه جامد تبدیل می شود رطوبت این حالت را حد انقباض می گویند . با افزایش تدریجی رطوبت خاک از حالت نیمه جامد به حالت خمیری و بعد به صورت مایع تبدیل می شود که مرز مابین این حالات نیز به ترتیب حد خمیری و حد روانی نام دارد . در (شکل ۳-۷) نمودار حد روانی ترسیم شده است که از روی نمودار فوق درصد رطوبت حد روانی در ۲۵ ضربه جام کاساگرانده تعیین می - شود.



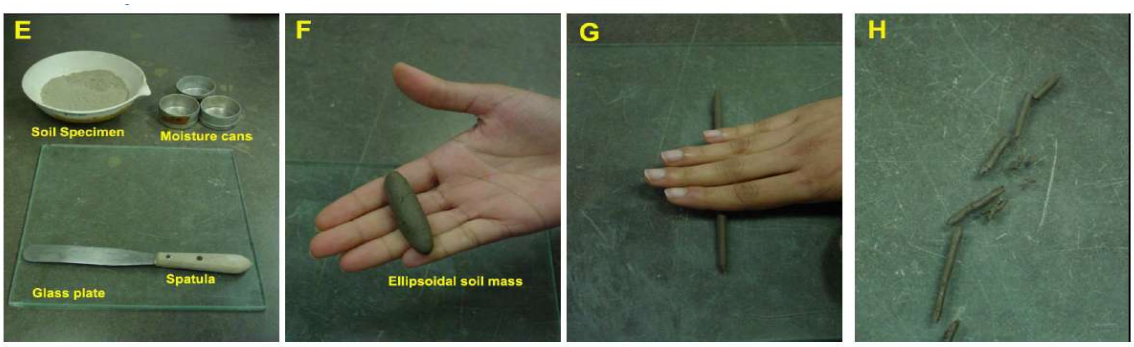
شکل ۳-۷: نمودار حد روانی



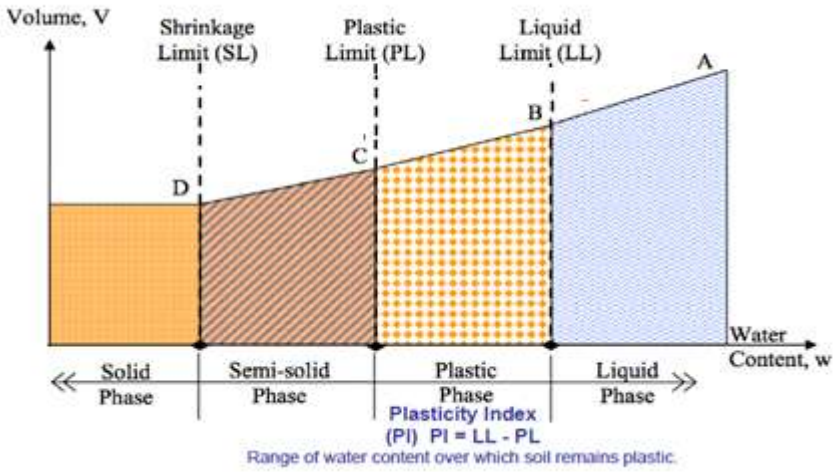
شکل ۳-۸: جام کاساگرانده وسایل آزمایش حد روانی ومراحل انجام آزمایش

حد خمیری

حدخمیری درصد رطوبتی است که در آن خاکدر اثر فیتیله شدن وقتی که قطرش به ۳.۲ میلیمتر می رسد شروع به ترک خوردن می کند.



شکل ۳-۹: وسایل آزمایش حد پلاستیک ومراحل انجام آزمایش



شکل ۳-۱۰: مرز حد انقباض، حد خمیری، حدروانی

نتیجه گیری :

نتاج آزمون حدود اتربرگ بر روی نمونه بدون ناو سیلیس وآهک به شرح (جدول ۳-۱) زیر می باشد

جدول ۳-۱: نتایج آزمایش حدود اتربرگ و پارامتر های وابسته به آن

نوع نمونه	LL حدروانی	PL حد خمیری	PI نشانه خمیری	IL نشانه روانی	Ic نشانه استحکام	رابطه اسکمپتون CC تراکم شاخص	A عدد فعالیت
بدون نانوسیلیس وآهک	23	16	7	1	22	0.18	0.47

۳-۲-۱-۴-۳- آزمایش رده بندی خاک ها برای مقاصد مهندسی (سیستم رده بندی متحد USCS) استاندارد – ASTM D :۲۴۸۷ [۲۶].

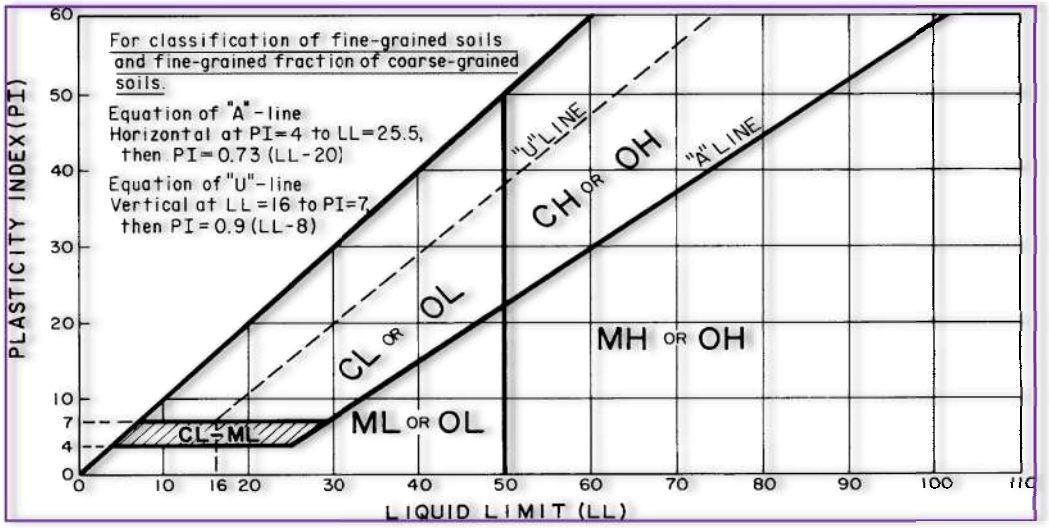
مقدمه :

با استفاده از این استاندارد یک نماد و نام رده مجزا برای خاک مورد نظر بدست می آید. هدف آزمایش فوق رده بندی خاک مورد نظر به روش متحد (یونیفاید)USCS [1]می باشد.پس ازنمونه گیری وانجام آزمایشهای لازم(مانند حدود اتربرگ و...) بر روی خاک مورد نظر مطابق نمودار کاساگرانده (شکل ۳-۱۲) وجدول فوق خاک مورد نظر رده بندی می گردد.

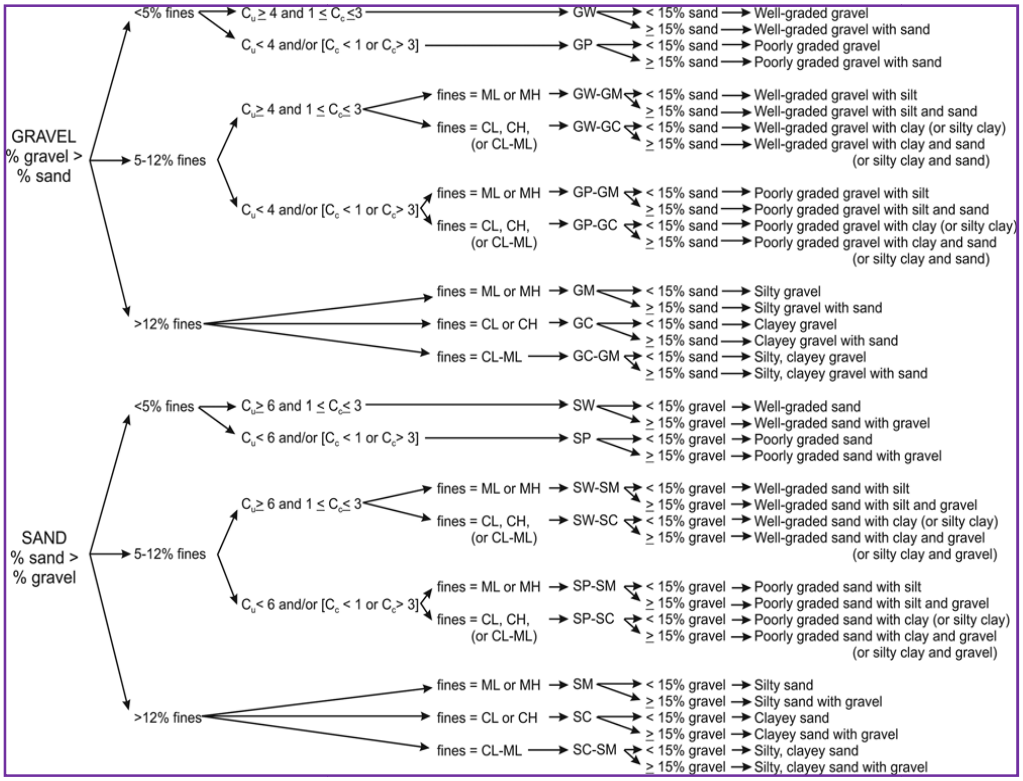
جدول ۳-۲: طبقه بندی خاک به روش یونیفاید

حرف دوم (صفت خاک)	علامت	حرف اول (جنس خاک)	علامت
خوب دانه بندی شده	W	شنی	G
بد دانه بندی شده	P	ماسه ای	S
لای دار	M	رسی	C
رس دار	C	لای دار	M
خاصیت خمیری بالا	H	ارگانیک	O
خاصیت خمیری پایین	L	خاک با منشاء نباتی	pt

[1] Unified Soil Classification System



شکل ۳-۱۱: نمودار کاساگرانده برای رده بندی خاک های رسی



شکل ۳-۱۲: نمودار رده بندی خاک های ریز دانه ۵۰ یا بیش از ۵۰٪ذرات از الک شماره ۲۰۰ رد شده اند.

نتیجه گیری:

با توجه به PI بدست آمده ،حدود اتربرک و منحنی دانه بندی، خاک این نمونه در محدودهCL- ML قرارگرفته است(نمودار کاساگرانده) و برابر طبقه بندی یونیفاید خاک CL (رس لای دار با خاصیت خمیری کم) می باشد.

۳-۲-۱-۵-آزمایشات مشخصات فیزیکی بر روی خاک مورد مطالعه:

۳-۲-۱-۵-۱- آزمایش تعیین رطوبت به روش جرمی: استاندارد – ASTM D :۲۲۱۶ [۲۷].

مقدمه :

این آزمایش برای تعیین درصد وزنی رطوبت خاک و سنگ بکار می رود. درصد رطوبت عبارتست از نسبت وزن آب موجود در یک توده خاک به وزن خشک همان توده خاک که بصورت درصد بیان می-شود. دراکثر آزمایشهای مکانیک خاک ،لازم است درصد رطوبت خاک تعیین گردد. این آزمایش نمی تواند درصد رطوبت واقعی مصالحی که دارای مقدار قابل توجهی کانی های هالوزیت ،مونت موریونیت وگچ است را به دست آورد همچنین درمصالحی که آب درون منافذ آنها دارای مقدار زیادی املاح محلول مثل کلرید سدیم (که دررسوبات دریایی وجود دارد) ویا مواد آلی هستند درصدرطوبت بدست آمده حقیقی نیستند.درخاکهای ریزدانه (چسبنده) پایداری ومقاومت خاک بستگی به درصد رطوبت آن دارد دراین حالت رطوبت طبیعی خاک با نشانه های حد روانی وحد خمیری مقایسه می شود .

***با توجه به نتایج آزمایش XRF بر روی خاک مورد مطالعه مشخص گردید فاقد کانی های فوق - الذکر می باشد ودر صد رطوبت بدست آمده قابل قبول می باشد.

هدف از آزمایش : تعیین درصدرطوبت طبیعی به روش جرمی برای خاک مورد مطالعه .

نتیجه گیری:

درصدرطوبت میانگین $\omega_{ave} = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3}{3} = \frac{14.667 + 13.305 + 14.890}{3} = 14.48\%$

۳-۲-۱-۵-۲- آزمایش تعیین چگالی ویژه بخش جامد بوسیله پیکنومتر آب:

استاندارد - ۸۵۴: ASTM D [۲۸].

مقدمه :

منظور از توده ویژه خاک (چگالی) نسبت وزن مخصوص جامد خاک به وزن مخصوص آب است وزن مخصوص ویژه در محاسبات مربوط به بسیاری از آزمون‌های آزمایشگاهی به کار گرفته می شود . دامنه تغییرات توده ویژه خاک (چگالی) برای خاک های مختلف متفاوت است. چگالی دانه ها وابسته به جنس کانی های سازنده آنهاست. وزن مخصوص ویژه خاک اغلب برای ارتباط وزن به حجم خاک مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین با دانستن تخلخل و درجه اشباع و وزن مخصوص ویژه می توانیم وزن واحد حجم یک خاک مرطوب و یا خشک را محاسبه کنیم.

هدف از آزمایش : تعیین چگالی ویژه بخش جامد خاک مورد نظر می باشد.

شکل ۳-۱۳: برخی از وسایل آزمایش تعیین چگالی ویژه بخش جامد خاکهای ریزدانه

*** حداقل بایستی سه بار آزمایش فوق انجام شود و برای اینکه جوابها و نتایج صحیح باشند بایداین مقادیربه دست آمده بیشتراز۲ الی ۳٪ باهم تفاوت نداشته باشند.

نتیجه گیری:

چگالی دانه های جامد $G_{S\,ave} = \frac{G_{S1}+G_{S2}+G_{S3}}{3} = \frac{2.606+2.631+2.779}{3} = 2.672 \approx 2.70$

***از عدد فوق نتیجه می گیریم خاک مورد نظر جزء خاکهای ریزدانه لای دار و رس دار می باشد.

با توجه به (جدول ۳-۳)عدد بدست آمده، خاک مورد نظر از نوع رس لای دار می باشد.

جدول ۳-۳: طبقه بندی چگالی ویژه بخش جامد خاک [۲۹].

نوع خاک	(Gs)
ماسه	2.67-2.65
ماسه لای دار	2.65-2.67
رس عالی	2.80-2.70
ماسه حاوی میکا وآهن	3.00-2.75
خاک های عالی	< 2.00

۳-۲-۱-۵-۳- آزمایش تعیین دانسیته خشک طبیعی(γd)بوسیله پارافین :

مقدمه :

وزن مخصوص ظاهری عبارت است از وزن واحد حجم خشک خاک در شرایط طبیعی و واحد آن بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب است. کلوخه قسمتی از خاک است که دارای ساختمان طبیعی است.اگر جرم کلوخه را اندازه گرفته و بر حجم آن تقسیم کنیم وزن مخصوص ظاهری خاک بدست می آید . مشکل تعیین حجم کلوخه است زیرا کلوخه دارای شکل هندسی منظم نیست و نیز نمی - توان آنرا وارد آب نمود تا مقدار جابجایی حجم مایع را تعیین کرد زیرا متلاشی شده و حجم تخلخل ها از بین می رود. ولی می توان آنرا با پارافین ضد آب نمود.

هدف از آزمایش : تعیین دانسیته خشک طبیعی(γd)است.

شکل ۳-۱۴:لوازم آزمایش تعیین دانسیته خشک طبیعی وکلوخه های آغشته به پارافین.

نتیجه گیری:

در روش فوق دانسیته خشک طبیعی از میانگین پنج کلوخه آغشته به پارافین برابر با ۱/۸۹۹ (gr/cm^3) دست آمده است.

۳-۲-۱-۶- آزمایشات مشخصات مکانیکی بر روی خاک مورد مطالعه:

۳-۲-۱-۶-۱- آزمایش تعیین مشخصات تراکم آزمایشگاهی خاک با استفاده از تلاش

استاندارد: استاندارد – ۶۹۸: ASTM D [۳۰].

مقدمه :

آزمایش تراکم عبارتست از کاهش دادن حجم خاک در اثر خارج ساختن هوا با استفاده از اعمال نیرو. که در این حالت وزن واحد آن زیاد می شود.و این وزن معیار تراکم خاک است. تراکم به منظور افزایش مقاومت نیروی برشی و کاهش نفوذپذیری انجام می شود که این به علت این است که منافذ خاک کوچکتر می شود و در نتیجه حرکت آب از این منافذ مشکل تر است. در خاکهای رسی یک مشکل وجود دارد و آن افزایش پتانسیل تورم خاک است.

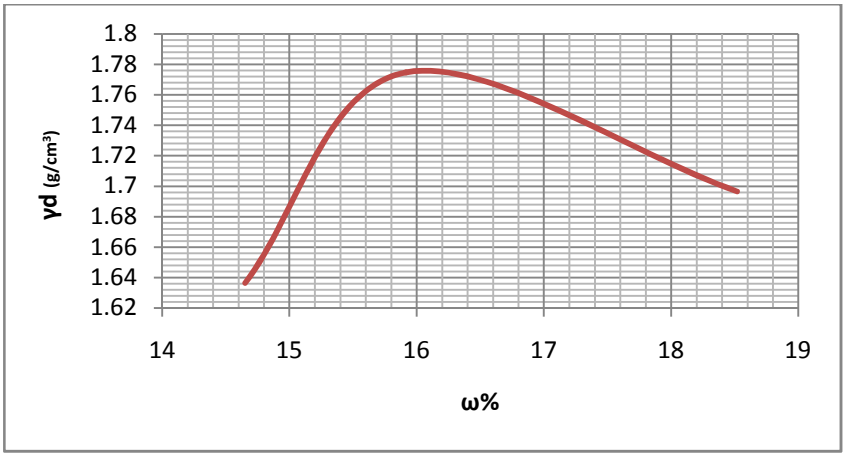
*** در آزمایش تحکیم عادی مقدار پتانسیل تورم خاک ناچیز بدست آمده است.

عوامل موثر در تراکم خاک بستگی دارد به : ۱-نوع خاک ۲- انرژی ۳-رطوبت

در عملیات تراکم حجم آب موجود در خاک تغییر نمی کند و فقط حجم هوای خاک کاسته می شود. میزان تراکم یک خاک معمولاً بر اساس اندازه گیری وزن مخصوص خشک مشخص می شود .میزان رطوبتی که در آن حداکثر وزن مخصوص خشک حاصل می شود میزان رطوبت بهینه می نامند.به طور کلی آزمایش تراکم به دو صورت می باشد : تراکم استانداردو تراکم اصلاح شده.

***در این تحقیق از روش تراکم استاندارد استفاده شده است.

هدف از انجام آزمایش: رسیدن به درصد رطوبتی از خاک است(رطوبت بهینه)[1] که در آن بیشترین مقدار تراکم صورت می گیرد.



شکل ۳-۱۵: نمودار تراکم آزمایشگاهی خاک مورد مطالعه

نتیجه گیری:

همانطوری که از نمودار مشخص است در صد رطوبت بهینه برابر۱۶٪ وحداکثر وزن مخصوص خشک برابر با (g/cm^3) ۱/۷۷ می باشد که ازمیانگین سه آزمایش متفاوت بدست آمده است.

۳-۲-۱-۶-۲- آزمایش برش مستقیم استاندار -۳۰۸۰: ASTM D [۳۱].

مقدمه :

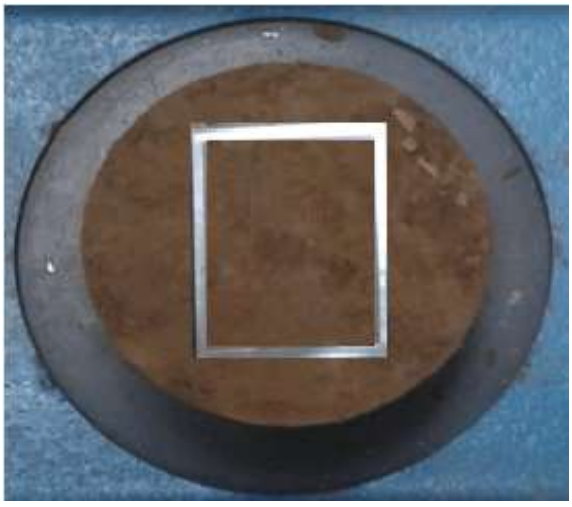
در آزمایشگاه ,پارامترهای مقاومت برشی خاک با دو روش آزمایشی تعیین می گردد: آزمایش برش مستقیم و آزمایش سه محوری, که دراین تحقیق از آزمایش برش مستقیم استفاده شده است.

هدف از انجام آزمایش: بدست آوردن پارامترهای مقاومت برشی خاک مورد مطالعه.

نمونه های باز سازی شده : جهت آماده سازی این نمومه ها، با توجه به درصد رطوبت بهینه وجرم حجمی خاک خشک حداکثر بدست آمده از آزمایش تراکم مقدار آب و خاک لازم محاسبه و تهیه گردیده است، مقدار آب مورد نظر به خاک اضافه کرده و مدت ۲۰ دقیقه به هم می‌زنیم تا در

[1] Optimum

پایان مخلوط همگن وبدون کلوخه‌ای بدست آید شپس آن را در قالب تراکم متراکم می کنیم ونمونه های باز سازی شده را ازدرون قالب تراکم بوسیله قالب مخصوص دستگاه برش مستقیم جدا کرده آنگاه در رینگ دستگاه برش مستقیم قرار می دهیم بدیهی است تهیه نمونه‌های تحت شرایط مساوی وهمگن در نتایج بسیار موثر می‌باشد. نمونه های تهیه شده برای جذب رطوبت یکسان به مدت ۱۸ ساعت درون محفظه عایق(زیپ کیف) قرار گرفته طبق توصیه جدول(شکل۶-۳ بخش ضمیمه) وسپس به مدت ۲۴ ساعت در آب اشباع شدند. و در دور کاملا آرام به منظور بدست آوردن پارامترهای تحکیم یافته – زهکشی شده در دستگاه برش مستقیم مورد آزمایش قرارگرفتند.



شکل ۳-۱۶: گرفتن نونه های باز سازی شده از میان قالب تراکم .

نمونه های دست نخورده : در این نمونه ها نیز با تکنیک قبلی از وسط نمونه های دست نخورده (تهیه شده در سایت) با دقت لازم وچندین بار تکرار تهیه شده است وسپس به مدت ۲۴ ساعت در آب اشباع شدند. و در دور کاملا آرام به منظور بدست آوردن پارامترهای تحکیم یافته – زهکشی شده در دستگاه برش مستقیم مورد آزمایش قرارگرفتند.

***در این تحقیق آزمایشات فوق بر روی نمونه های دست نخورده و باز سازی شده انجام شده است. وزمان لازم از (جدول ۶- ۱ بخش ضمیمه) استخراج شده است.

*** برای دست یابی به دور مناسب برای زمان لازم در دستگاه آزمایش برش مستقیم، (جدول ۶-

۲ بخش ضمیمه) تهیه و استفاده شده است .

در (شکل ۴-۱۸) نمونه ی پس از برش در دستگاه برش مستقیم مشاهده می شود.

شکل ۴-۱۷ : نمونه ی پس از برش در دستگاه برش مستقیم (قالب مربعی)

نتیجه گیری:

نتایج آزمون برش مستقیم بر روی نمونه های دست نخورده و باز سازی شده به شرح جدول(شماره ۳-۶) آمده است دلیل کم شدن مقادیر چسبندگی وزاویه اصطکاک داخلی در نمونه باز سازی شده اثر دست خوردگی می باشد.

جدول ۳- ۴:جدول مقایسه مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی

نوع نمونه	C (Kpa)	φ ○
دست نخورده	29	9
بازسازی شده	15	5

۳-۲-۱-۷- آزمایشات تکمیلی :

به منظوربررسی کامل تر از خاک مورد استفاده وارزیابی خاک از نظرقابلیت نشست،تورم و فروریزش آزمایشهای تکمیلی به شرح زیر انجام شد.

۳-۲-۱-۶-۲- آزمایش تحکیم یک بعدی (ادئو متر): استاندارد - ASTM D :۲۴۳۵[۳۳].

۳-۲-۱-۶-۲-۱-آزمایش تحکیم ساده:

مقدمه :

خاکهای چسبنده اشباع و خاکهای آلی دربرابر نشست های ناشی از مقادیر زیادی بارسازه‌ای پایدار هستند. این بارها اغلب وزن مستقیم سازه ای هستند که باعث نشست خاکهای چسبنده و آلی می-شود اما عوامل ثانویه نیز مثل پایین رفتن سطح آب زیر زمینی می تواند باعث نشست شود. نشست خاکهای رسی اشباع یا آلی دارای سه مؤلفه مختلف است: نشست آنی ، نشست اولیه و نشست ثانویه.

در آزمایش تحکیم یک بعدی دو هدف را دنبال می کنیم:

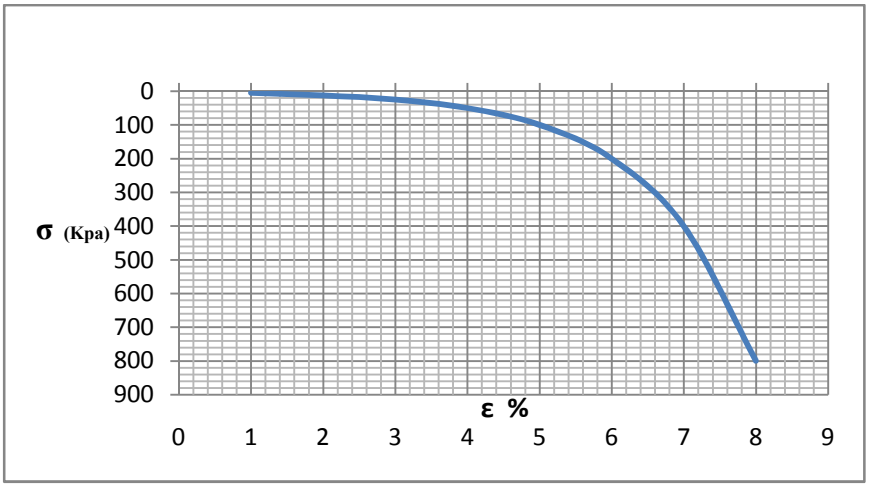
الف: با قرار دادن یک بار ثابت روی خاک تغییر شکل آن را با زمان اندازه می گیریم. این اندازه گیری تا جایی ادامه پیدا می کند که خاک دیگر تحت آن بار تغییر شکلی ندهد. وقتی دیگر تغییری در اندازه گیری ها دیده نشد بار تمام اثر تحکیمی خود را بر خاک گذاشته است و می توانیم بار بعدی را روی نمونه بگذاریم.

ب: با قرار دادن بارهای مختلف روی خاک و اندازه گیری مقدار نهایی تغییر شکل در هر مرحله رابطه ای بین نشست و بارهای مختلف پیدا می کنیم.

هدف از انجام آزمایش: تعیین پارامترهای مؤثر در پیش بینی شدت نشست و میزان آن در سازه های متکی بر خاک های رسی است. در(شکل۴-۱۹) دستگاه تحکیم یک بعدی مشاهده می شود.

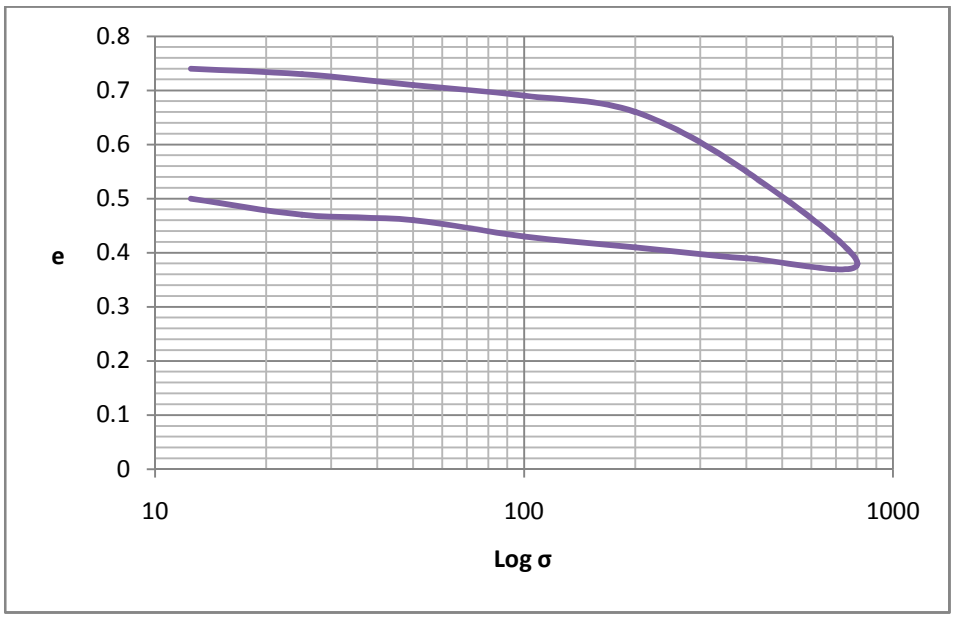
شکل ۴-۱۸ : دستگاه تحکیم یک بعدی (ادئومتر) و رینگ آن

در (شکل ۴-۲۰) نمودار تنش قائم در برابر کرنش قائم جهت بدست آوردن پارامترهای،ضریب ادئومتری، ضریب تغییر حجمی و مدول الاستیتسیته خاک مورد تحقیق ترسیم شده است .



شکل ۴-۱۹ : نمودار تحکیم یک بعدی (ادئومتر) - تنش قائم در مقابل درصد تغییر مکان نسبی.

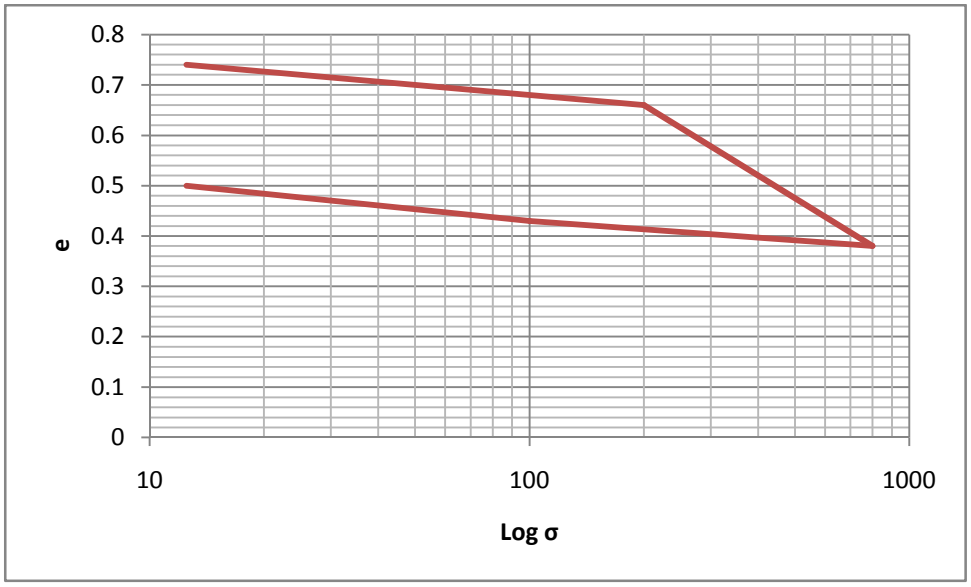
در (شکل ۴-۲۰ الف و ب) نمودار تخلخل در برابر لگاریتم تنش قائم جهت بدست آوردن پارامترهای،شاخص تراکم، شاخص تورم و شاخص تراکم مجدد خاک مورد تحقیق ترسیم شده است .



(الف)

لازم به ذکر است نمودارفوق به صورت آزمایشگاهی ترسیم گردیده برای استفاده مفیدتر، بایستی اصلاح اثر دست خوردگی بر روی این منحنی به صورت زیر انجام پذیرد. (قسمتهای منحنی به حالت

خطی تغییر کند با شیب های متفاوت).



(ب)

شکل ۴-۲۰ : نمودار تحکیم یک بعدی (ادئومتر)، تخلخل در مقابل لگاریتم تنش قائم.

الف: آزمایشگاهی، ب: اصلاح شده.

نتایج آزمایش تحکیم ساده در (جداول ۳-۶ و۵)خلاصه شده است.

جدول ۳-۵: نتایج آزمایش تحکیم یک بعدی

درصد خطای شاخص تراکم از دو آزمایش مختلف	شاخص تراکم از رابطه اسکمپتون از آزمایش حدود اتر برگ	شاخص تراکم از آزمایش تحکیم	شاخص تراکم مجدد (بیش تحکیمی)	شاخص تورم
Cc - e%	CC	Cc	Cr	Cs
0.01	0.17	0.36	0.03	0.03

جدول ۳-۶: نتایج بخشی از بارگذاری آزمایش تحکیم یک بعدی

σ (Kpa) تنش قائم	Eod(Kpa) ضریب ادئومتری	mv (1/Kpa) ضریب تغییر حجمی	E (Kpa) مدول الاستیتسیته
5	15.87	0.06	10.58
12.5	7.83	0.13	5.22
25	16.80	0.06	11.20
50	12.07	0.08	8.04
100	7.13	0.14	4.75
200	9.24	0.11	6.16
400	6.79	0.15	4.53
800	1.93	0.52	1.29

نتیجه گیری :

- با توجه به عدد بدست آمده از شاخص تورم نشان دهنده این است که خاک مورد نظر دارای پتانسیل تورمی ناچیز می باشد .

- شاخص تراکم بدست آمده از دو آزمایش مختلف درصد خطای کمی دارند .

- ضریب ادئومتری(شیب منحنی تنش کرنش)(ضریب ارتجاعی خاک در شرایط کرنش جانبی صفر) برای یک خاک مقدر ثابتی نیست وتابع مقدار بار وارده به خاک می باشد.

- مدول ارتجاعی خاک برای یک خاک مقدار ثابتی نیست وتابع مقدار بار وارده به خاک می باشد.

۳-۲-۱-۶-۲-۲- آزمایش تحکیم فروریزشی[1]:

هدف از انجام آزمایش بدست آوردن پتانسیل فروریزش در خاکهای رسی (چسبنده) می باشد.

نتیجه گیری :

پتانسیل فرویزش برابر با ۱/۱۵ می باشد که با توجه به مقدار فوق خاک مورد نظر در رده خاکهای با پتانسیل ناچیز برای رمبندگی قرار می گیرد. عدد فوق از اختلاف مقدار نشست در حالت بارگذاری

[1] Collaps

۲۰۰ کیلوپاسکال در قبل از اشباع و۲۴ ساعت بعد از اشباع تقسیم برارتفاع اولیه نمونه بدست آمده است وبقیه خصوصیات خاک مورد نظر از آزمایش فوق در (جدول۳-۷) آمده است.

جدول ۳-۷: نتایج آزمایش تحکیم یک بعدی رمبندگی

وزن خشک خاک	Ws	132.51
درصد رطوبت وزنی اولیه	ω_0 (%)	37.17
درصد رطوبت وزنی نهایی	ω_f(%)	8.52
دانسیته خشک خاک	ρ_d(g/cm3)	1.77
وزن مخصوص خشک خاک	γ_d(KN/m3)	15.33
ارتفاع ذرات خاک	H_s(cm)	1.12
ارتفاع نهایی خاک	H_f(cm)	1.84
نسبت تخلخل اولیه	e_0	0.92
نسبت تخلخل نهایی	e_f	0.84
درجه اشباع اولیه	S_{r0}	139.97
درجه اشباع نهایی	S_{rf}	35.59
پتانسیل رمبندگی	Ic	1.15

۳-۲-۱-۷- آزمایشهای شناسایی خاک ، (آنالیز فازی وعنصری):

۳-۲-۱-۷-۱-طیف سنج پراش اشعه ایکس XRD (X Ray Diffraction)

معرفی دستگاه XRD

پراش اشعه x یک روش غیر تخریبی با چند کاربرد است که اطلاعات جامعی درباره ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالین مواد طبیعی و صنعتی ارائه می‌دهد. هر کریستالی طرح[۱] اشعه x منحصر به فرد خود را داراست که ممکن است به عنوان اثر انگشت[۲] برای تعیین هویت[۳] آن استفاده شود. گسترده‌ترین استفاده XRD در شناسایی ترکیبات کریستالین بر اساس طرح پراش آنهاست. از دیگر کاربردهای XRD می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: XRD کاربردهای وسیعی در زمین‌شناسی،

[1] Pattern
[2] Fingerprint
[2] Identification

علم مواد، علم محیط، شیمی، فیزیک، صنعت دارویی و غیره دارد[۲۵].

وظیفه دستگاه XRD اندازه گیری این صفحات اتمی در هر ماده می باشد. شناسایی تمام فاصله های صفحات موجود در نمونه و مقایسه آنها با کارتهای استاندارد حاضر(۱۰۰,۰۰۰ کارت) منجر به شناسایی فاز یا فازهای موجود در نمونه می گردد.

در این روش مقداری از نمونه کاملاً پودر شده و بطور پراکنده (تصادفی) تمامی صفحات موجود در مقابل اشعه قرار می گیرند. زمانی که یک دسته اشعه X با طول موج معین (مثلاً $\lambda = 1.542$ آنگستروم مربوط به αk عنصر مس) تحت زوایای مختلف به هر صفحه بر خورد نماید , هر صفحه در زاویه معین خود (θ) اشعه تابیده شده را منعکس یا به عبارت صحیح پراش می دهد. در این حالت (پراش) طول مسیر نفوذ و بازگشت اشعه از سطوح موازی داخلی مضرب صحیحی از طول موج می باشد. رابطه براگ این مطلب را بخوبی نشان می دهد[۳۳].

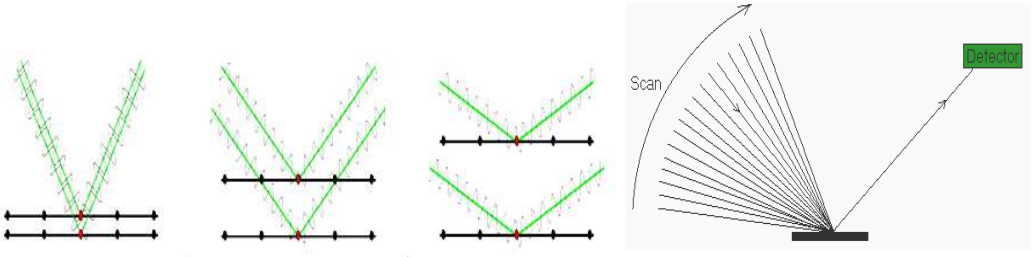
$$n\lambda = 2d\tan\theta \qquad (۱-۳)$$

θ =زاویه تابش اشعهX

λ =طول موج اشعه X معمولاً ۱/۵۴۲ آنگستروم

d =فاصله صفحه بر حسب انگستروم

n = عدد ثابت (معمولاً برابر با یک)



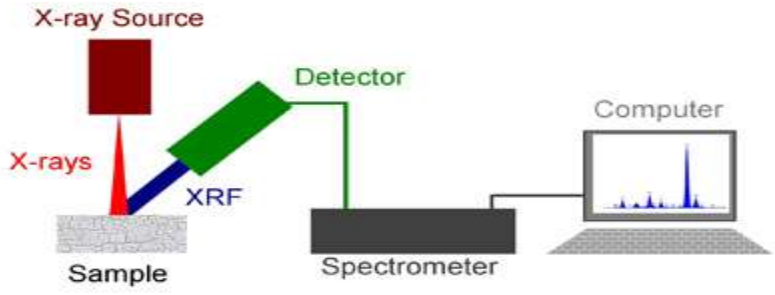
شکل۳-۲۱ : شمایی از عمل کرد دستگاه XRD (رابطه براگ) [۳۴].

۳-۲-۱-۷-۲- :طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکسXRF

معرفی دستگاه : XRF ، (X Ray Fluorescence)

پرتو ثانویه اشعه ایکس حاصل از مواد می‌باشد که جهت اندازه گیری درصد عناصر متشکله یک ترکیب استفاده می‌شود یک روش مناسب جهت شناسایی نمونه های که هیچگونه اطلاعاتی در مورد آنها نداریم. برای اندازه گیری مقدار عناصر دو روش وجود دارد یکی روش های شیمی تجزیه که عمدتاً از تیتراسیون استفاده می شود و دیگری روش ها تجزیه غیر مخرب بوسیله اشعه X که اصطلاحاً به آن XRF گفته می شود که مخفف کلمه X Ray Fluorescence می باشد. مزیت استفاده از XRF بر روش های شیمیایی سرعت بالا و هزینه پایین و دقت قابل قبول است.

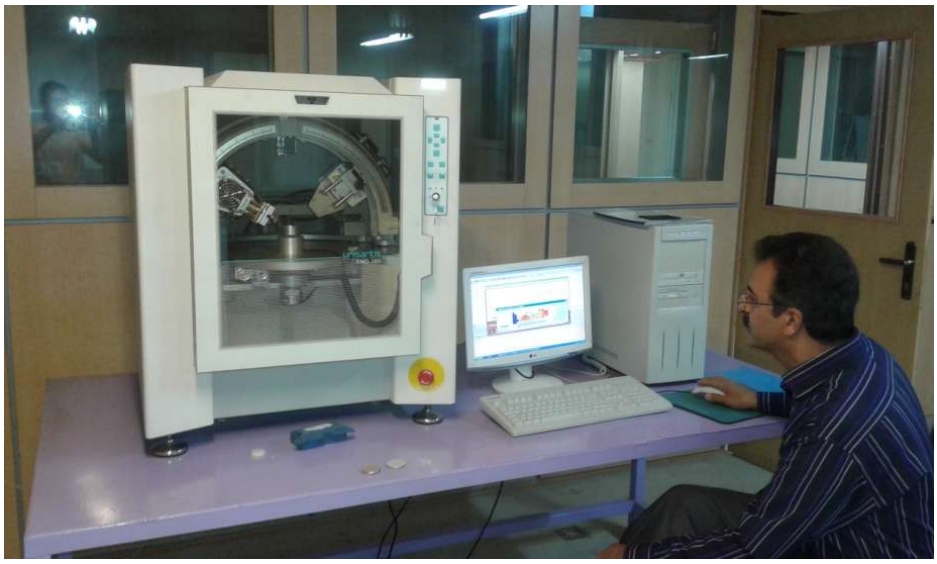
XRF دستگاهی است برای اندازه گیری طول موج و شدت امواج فلورسانس ساطع شده از اتم های مختلف در نمونه که نتیجه آن شناسایی نوع و میزان عناصر ماده می باشد. دستگاه XRF کاربرد وسیعی در بسیاری از علوم دارد و امروزه به علت پیشرفت های شگرف در این زمینه بصورت یکی از وسایل ضروری در آزمایشگاه های تحقیقاتی در آمده است.XRF با سرعت عمل بسیار زیاد قادر است عناصر بسیاری را بصورت کیفی و کمّی مورد آنالیز قرار دهد. به علت سرعت زیاد و عدم مصرف مواد شیمیایی روش ارزانی نسبت به بقیه روش های آنالیزی بوده و محیط زیست را نیز آلوده نمی سازد [۲۶].



شکل۳-۲۲ : شمایی از عمل کرد دستگاه XRF

در این تحقیق آزمایشXRD برای شناسایی اندازه ذرات(آنالیز فازی) و آزمایش XRF برای شناسایی عناصر موجود(آنالیز عنصری) بر خاک، آهک ساختمانی ونانوسیلیس مورد نظردر آزمایشگاه مواد معدنی اشکال (۳- ۲۵و۲۴) دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد که نتایج به شرح فوق می باشد.

شکل۳-۲۳: آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی XRF دانشگاه صنعتی شاهرود



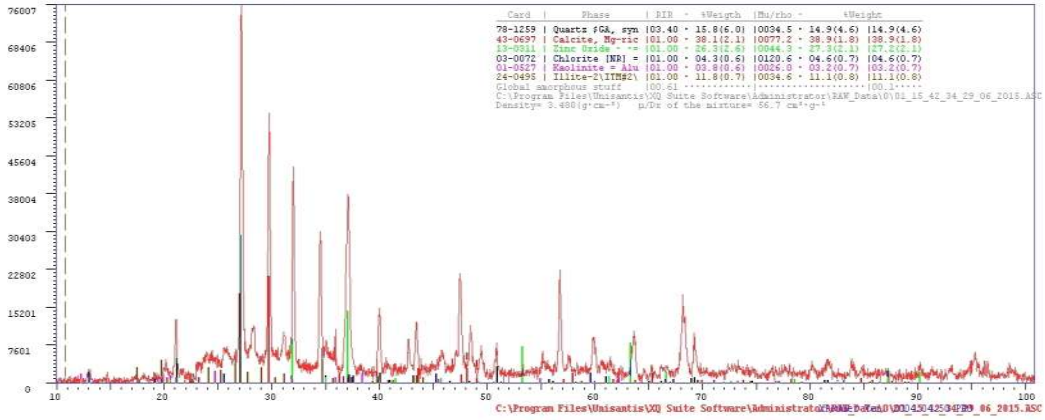
شکل۳-۲۴: آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی XRD دانشگاه صنعتی شاهرود

۳-۲-۱-۷-۱-۲-۳- : نتایج آزمایشات XRD وXRF بر روی خاک رس.

در جدول(شماره ۳-۸)نتایج آزمایش XRF برای شناسایی عناصر موجود(آنالیز عنصری)ودر(شـکل۳-۲۶)، XRD شناسایی اندازه ذرات (آنالیز فازی) مشاهده می‌شود.

جدول ۳-۸: نتایج آزمایش XRF بر روی خاک مورد مطالعه

Analysis	Result
Si	31.7055 %
Ca	31.3627 %
Fe	12.2414 %
Al	9.5187 %
K	6.1405 %
Mg	4.7072 %
Ti	1.4254 %
Sr	1.0424 %
P	0.6625 %
Na	0.4368 %
Mn	0.3143 %
I	0.2804 %
P	0.1622 %



شکل ۳-۲۵: نمودار XRD خاک رس مورد مطالعه

۳-۲-۲- آهک ساختمانی:

آهک مورد نظر از کارخانه آهک شاهرود نوین تهیه گردیده واز لحاظ درجه بندی طبق

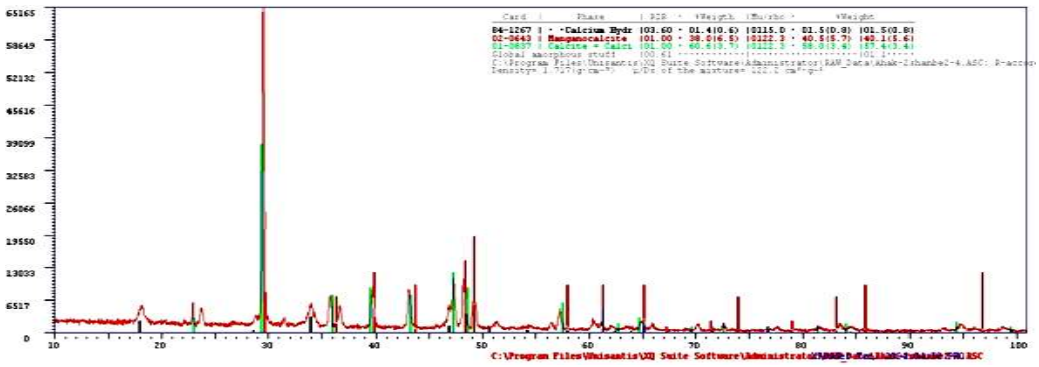
استانداردملی ایران[۳۵]، به آهک نیمه آبی مشهور می‌باشدکه در بسته های ۳۰ کیلوگرمی به صورت آهک شکفته عرضه می گردد. همچنین آزمایش XRD برای شناسایی اندازه ذرات(آنالیز فازی) وXRF برای شناسایی عناصر موجود(آنالیز عنصری) بر روی آهک مورد نظر انجام شده است.

شکل۳-۲۶: آهک ساختمانی

در جدول (شماره ۳-۹) نتایج آزمایش XRF برای شناسایی عناصر موجود(آنالیز عنصری)ودر (شکل۳-۲۸)، XRD شناسایی اندازه ذرات(آنالیز فازی) مشاهده می‌شود.

جدول ۳-۹: نتایج آزمایش XRF بر روی آهک مورد مطالعه

Analysis	Result
Cao	82.6929 %
Si	5.0524 %
Mg	3.6251 %
Fe	3.3759 %
Al	2.9557 %
K	1.0590 %
S	0.5519 %
Ti	0.4882 %
Sr	0.1225 %
P	0.0764 %



شکل ۳-۲۷: نمودار XRD آهک ساختمانی

نتیجه گیری:

با توجه به جدول (شماره ۳-۹) مقدار خلوص آهک فوق حدود ۸۳٪ می باشد که از لحاظ درجه بندی طبق استاندارد ملی ایران[۱۵]، به آهک نیمه آبی مشهور است.

۳-۲-۳- نانو سیلیس

نانو سیلیس مورد نظر از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان در شهر مشهد تهیه گردیده است که مشخصات آن طبق کاتولوک شرکت ارائه دهنده به قرارجدول(شماره ۳-۱۰)، است همچنین آزمایش

XRD برای شناسایی اندازه ذرات(آنالیز فازی) وXRF برای شناسایی عناصر موجود(آنالیز عنصری) بر روی خاک مورد نظر انجام شده است

جدول ۳-۱۰: مشخصات نانو سیلیس مورد مطالعه ارائه شده از طرف شرکت سازنده

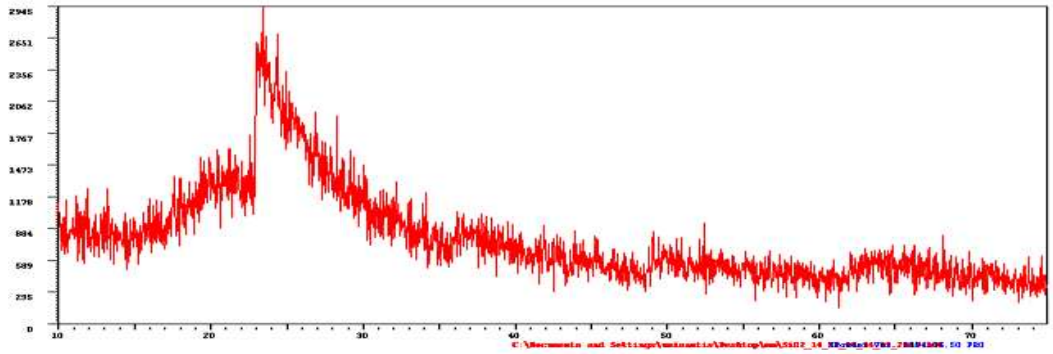
NO	ITEM	SIZE(nm)	PURITY%	SSA(m^2/gr)
1	NANO SIO2	20-30	99	180-600

شکل۳-۲۸ : نانوسیلیس

در جدول(شماره ۳-۱۱)، نتایج آزمایش XRF شناسایی عناصر موجود(آنالیز عنصری)ودر (شکل ۳-۳۰)، XRD شناسایی اندازه ذرات(آنالیز فازی) مشاهده می شود .

جدول ۳-۱۱: نتایج آزمایش XRF بر روی نانو سیلیس مورد مطالعه

Analysis	Result
Si	99.5915 %
Ni	0.4085 %



شکل ۳-۲۹: نمودار XRD نانوسیلیس

نتیجه گیری :

با توجه جداول (شماره های۳-۱۱و۱۰) مشاهده می شود که خلوص ماده نانو سیلیس با مشخصات کارخانه سازنده یکسان می باشد همچنین از نمودار(شکل ۳-۳۰) نیز قطر ذرات حدود ۳۰-۲۰ نانومتر مشخص می باشد وبا مشخصات ذکر شده از طرف شرکت سازنده مطابقت دارد.

۳-۲-۴- آب :

آب مورد استفاده در این تحقیق برای تمام آزمایشها آب آشامیدنی در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد .

***در این قسمت خلاصه نتایج آزمایشهای بخش شناسایی، فیزیکی ومکانیکی خاک مورد مطالعه در(جدول۳-۱۲) آمده است.

جدول ۳-۱۲:نتایج آزمایشهای شناسایی، فیزیکی و مکانیکی خاک مورد مطالعه

رنگ ظاهری	رده بندی خاک	حد خمیری	حد روانی	دامنه خمیری	چگالی ذرات جامد	رطوبت بهینه	دانسیته خشک طبیعی
Color Appearance	Soil Classification	PL	LL	PI	GS	ω٪	γd (KN/cm^3)
زرد مایل به قهوه ای	CL	16	23	7	2.70	16%	1.77
شاخص تراکم مجدد (بیش تحکیمی)	شاخص تراکم از آزمایش تحکیم	شاخص تراکم اسکمپتن	شاخص تورم	چسبندگی	زاویه اصطکاک داخلی		شاخص رمبندگی
Cr	Cc	Cc	Cs	C (Kpa)	Ø °		Ic
0.03	0.36	0.17	0.03	29	9		1.15

فصل چهارم

نتایج وبحث بر روی

آزمایشهای انجام شده

۴-۱-مقدمه

دراین فصل به شرح و بحث بر روی نتایج بدست آمده ازآزمایشهای برش مستقیم وحدود اتربرگ با در صدهای مختلف نانو سیلیس وآهک پرداخته می شود.

۴-۱- ۱-تعیین پارامترهای مقاومت برشی

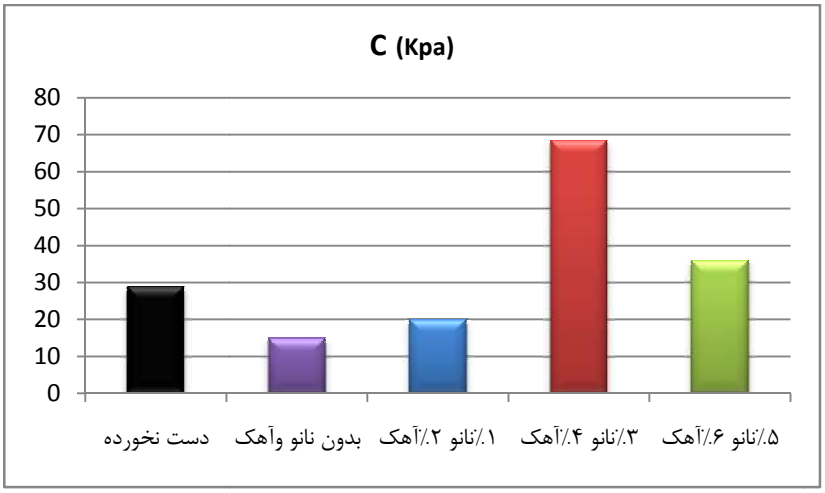
دراین تحقیق, پارامترهای مقاومت برشی خاک از آزمایش برش مستقیم بدست آمده است.

روش آماده سازی نمونه ها:

جهت آماده سازی نمونه ها ، ابتدا با استفاده از مقادیری که براساس (حجم قالب دستگاه برش مستقیم، درصد رطوبت بهینه وجرم حجمی خاک خشک حداکثر بدست آمده از آزمایش تراکم مطابق (جدول ۶-۴ بخش ضمیمه) محاسبه و تهیه گردیده است، مقدار آب مورد نظر را درون بشر ریخته و نانوسیلیس را به آن اضافه می‌کنیم و به مدت ۱۰ دقیقه توسط میکسر آنرا هم زده تا نانو سیلیس به طور همگن در آب حل شود. سپس محلول فوق را به خاک مخلوط شده با آهک اضافه کرده و مدت ۲۰ دقیقه به هم می‌زنیم تا در پایان مخلوط همگن وبدون کلوخه‌ای بدست آید. بدیهی است تهیه نمونه‌های تحت شرایط مساوی وهمگن در نتایج بسیار موثر می‌باشد. نمونه های تهیه شده برای جذب رطوبت مطابق (جدول ۶-۳ بخش ضمیمه)به مدت ۱۸ ساعت درون محفظه عایق(زیپ کیف) قرار گرفته وسپس به مدت ۲۴ ساعت در آب اشباع شدند. و در دور کاملا آرام به منظور بدست آوردن پارامترهای تحکیم یافته – زهکشی شده در دستگاه برش مستقیم مورد آزمایش قرارگرفتند.

ارائه نتایج حاصله بوسیله نمودارها وجداول :

***به منظور یافتن در صد بهینه نانو سیلیس و آهک از ۱و۳و۵ در صد نانوسیلیس و۲و۴و ۶در صد آهک استفاده شده است.

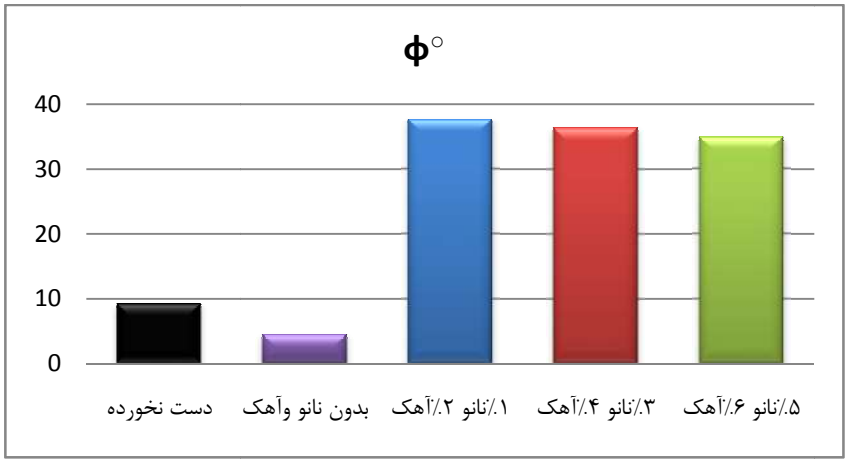


شکل ۴-۱ : تاثیر افزودن نانوسیلیس وآهک به خاک برا ی یافتن درصد افزودنی بهینه به منظور افزایش پارامتر چسبندگی

جدول ۴- ۱:جدول مقایسه مقادیر چسبندگی

نوع نمونه	C (Kpa)
دست نخورده	29
بدون نانوسیلیس وآهک بازسازی شده	15
۱%نانوسیلس ۲٪آهک بازسازی شده	20
۳%نانوسیلیس ۴٪آهک بازسازی شده	68
۵%نانوسیلیس ۶٪آهک بازسازی شده	36

درنمودار(شکل ۴-۱)، تغییرات میزان چسبندگی را برحسب درصد نانو سیلیس وآهک نشان می دهد همانطوری که در نمودار مشخص است نمونه با ۳٪ نانوسیلیس و۴٪ آهک بیشترین چسبندگی را داراست و به عنوان درصد بهینه انتخاب می‌گردد.



شکل ۴-۲ : تاثیر افزودن نانوسیلیس وآهک به خاک برا ی یافتن درصد افزودنی بهینه به منظور افزایش پارامتر زاویه اصطکاک داخلی

درنمودار شکل (شماره ۴-۲)، تغییرات میزان زاویه اصطکاک داخلی را برحسب درصد نانو سیلیس وآهک نشان می دهد همانطوری که در نمودار مشخص است نمونه با ۱٪ نانو و۲٪ آهک بیشترین زاویه اصطکاک را داراست و به عنوان درصد بهینه انتخاب می‌گردد.

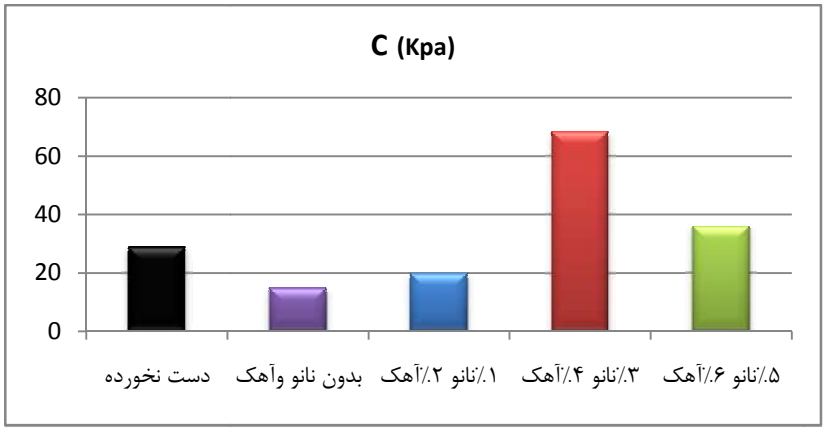
جدول ۴- ۲: جدول مقایسه مقادیر زاویه اصطکاک داخلی

نوع نمونه	φ ○
دست نخورده	9
بدون نانوسیلیس وآهک بازسازی شده	5
۱٪ نانوسیلیس ۲٪آهک بازسازی شده	38
۳٪ نانوسیلیس ۴٪آهک بازسازی شده	37
۵٪ نانوسیلیس ۶٪آهک بازسازی شده	35

جدول ۴- ۳:جدول مقایسه مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی

نوع نمونه	C (Kpa)	φ ○
دست نخورده	29	9
بدون نانوسیلیس وآهک بازسازی شده	15	5
۱٪ نانوسیلیس ۲٪آهک بازسازی شده	20	38
۳٪ نانوسیلیس ۴٪آهک بازسازی شده	68	37
۵٪ نانوسیلیس ۶٪آهک بازسازی شده	36	35

جهت ارزیابی تاثیر نانو سیلیس بدون حضور آهک آزمایش با ا لی ۵ درصد نانوسیلیس به صورت نمونه های بازسازی شده مورد آزمایش قرار گرفتند ،که نتایج آن در نمودار(شکل۴-۳) مشاهده می شود.

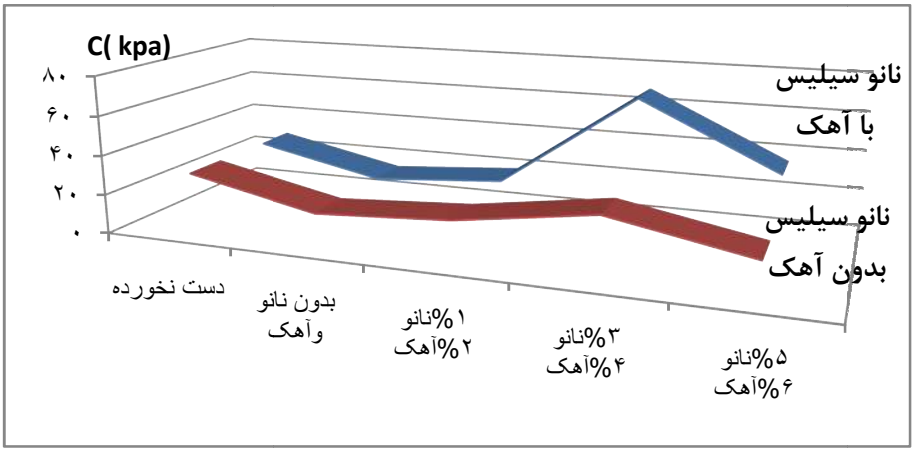


شکل ۴-۳ : تاثیر افزودن نانوسیلیس به خاک برا ی یافتن درصد افزودنی بهینه به منظور افزایش پارامتر چسبندگی

جدول ۴- ۴:جدول مقایسه مقادیر چسبندگی نمونه های بانانو سیلیس و آهک – بدون آهک

نوع نمونه	C (Kpa)	نوع نمونه	C (Kpa)
دست نخورده	29	دست نخورده	29
بدون نانوسیلیس بازسازی شده	15	بدون نانوسیلیس وآهک بازسازی شده	15
٪۱ نانوسیلیس بازسازی شده	19	٪۱ نانوسیلیس ۲٪آهک بازسازی شده	20
٪۳ نانوسیلیس بازسازی شده	29	٪۳ نانوسیلیس ۴٪آهک بازسازی شده	68
٪۵ نانوسیلیس بازسازی شده	16	٪۵ نانوسیلیس ۶٪آهک بازسازی شده	36

به منظور نشان دادن رابطه بین تاثیر نانو سیلیس بدون حضور آهک و با حضور آهک بر پارامتر چسبندگی نمودار(شکل۴-۴) ترسیم گردیده است.



شکل ۴-۴: مقایسه تاثیر نانو سیلیس بدون حضور آهک و با حضور آهک بر روی پارامتر چسبندگی

- از نمودار فوق نتیجه می گیریم که افزایش بیش از ۳٪ نانو سیلیس باعث کم شدن چسبندگی شده یا به عبارتی در صدهای بالای این ماده تاثیر چندانی در تغییر پارامتر های مقاومت برشی ندارد.

- همچنین می توان چنین نتیجه گرفت که ، نانوسیلیس نیاز به یک ماده فعال کننده مثل آهک(تبادل کاتیونی) دارد. در نمودار (شکل۴-۴) این مورد به خوبی مشهود می باشد.

۴-۲- شرح نتایج وتفسیر آزمایشات برش مستقیم

با استفاده از نمودارهای (اشکال ۴- ۳و۴-۲) که ازنتایج حاصله از آزمایش برش مستقیم ترسیم شده است، می توان چنین نتیجه گرفت که با اضافه کردن آهک به خاک موجب می شود تا تبادل کاتیونی میان Cao موجود در آهک و Sio2 موجود در سیلیس، ذرات رس به یکدیگر نزدیکتر شده ودر اثر این فعل وانفعالات ذرات نانو باتوجه به سطح ویژه بالای خود وبار سطحی که دارند باعث فعل وانفعالات بین ذره ای شده وباعث میل ترکیبی بیشتر وسریعتر با آب ،خاک رس و نهایتا موجب تغییراتی در میزان تخلخل، زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی ودیگر پارامتر های خاک رس می شود. بدیهی است درصدهای بالای نانو سیلیس نمودار (شکل ۴-۴) نه تنها تاثیر چندانی در تغییر خصوصیات مقاومتی خاک نداشته بلکه باعث کاهش مقاومت برشی خاک نیز می‌گردد. که با توجه به گران بودن نانو سیلیس این مورد نقطه مثبتی برای استفاده از در صدها ی کم این ماده گران قیمت در اصلاح و بهسازی خاک می باشد و نیز قابل توجیه اقتصادی برای یک پروژه می تواند باشد.

۴-۲- ۱- تعیین پارامترهای خمیری خاک

دراین تحقیق, پارامترهای خمیری خاک از آزمایش حدود اتر برگ بدست آمده است.

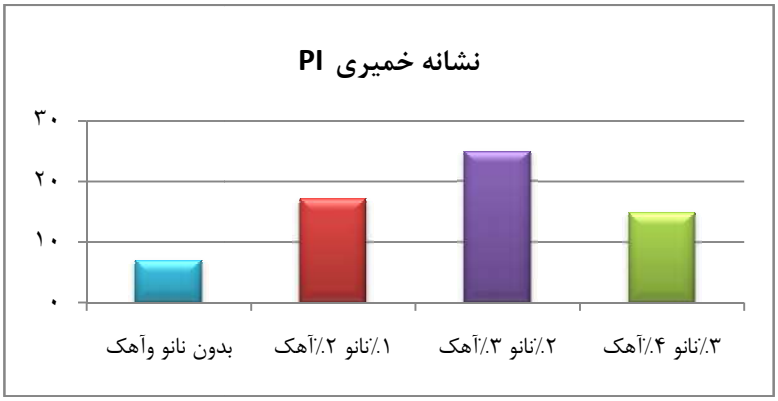
روش آماده سازی نمونه ها:

جهت آماده سازی نمونه ها، ابتدا با استفاده از مقادیری که براساس (مقدار ۲۵۰ گرم خاک خشک رد شده شده از الک شماره ۴۰ ودرصد های مختلف نانو سیلیس وآهک(جدول ۶-۵ بخش ضمیمه)

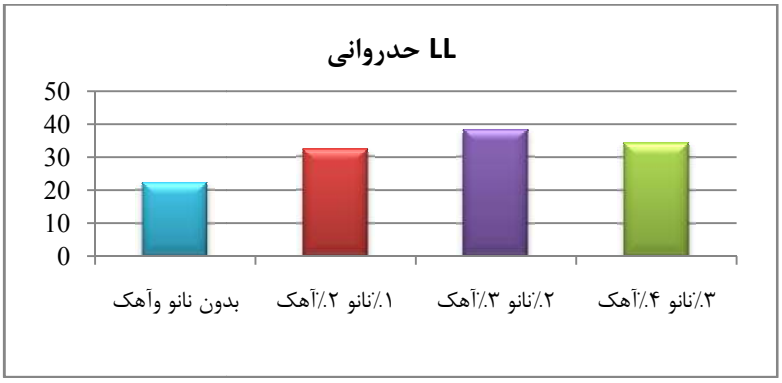
محاسبه و تهیه گردیده است، مقدار آب مورد نظر را درون بشر ریخته و نانوسیلیس را به آن اضافه می کنیم و به مدت ۱۰ دقیقه توسط میکسر آنرا هم زده تا نانو سیلیس به طور همگن در آب حل شود. سپس محلول فوق را به خاک مخلوط شده با آهک اضافه کرده و مدت ۱۰ دقیقه به هم می‌زنیم تا در پایان مخلوط همگن وبدون کلوخه‌ای بدست آید. بدیهی است تهیه نمونه‌های تحت شرایط مساوی وهمگن در نتایج بسیار موثر می‌باشد. نمونه های تهیه شده برای جذب رطوبت به مدت ۲۴ ساعت درون محفظه عایق(زیپ کیف) قرار گرفته و پس از گذشت زمان فوق مورد آزمایش حدود اتربرگ قرار گرفتند.

ارائه نتایج حاصله بوسیله نمودارها وجداول :

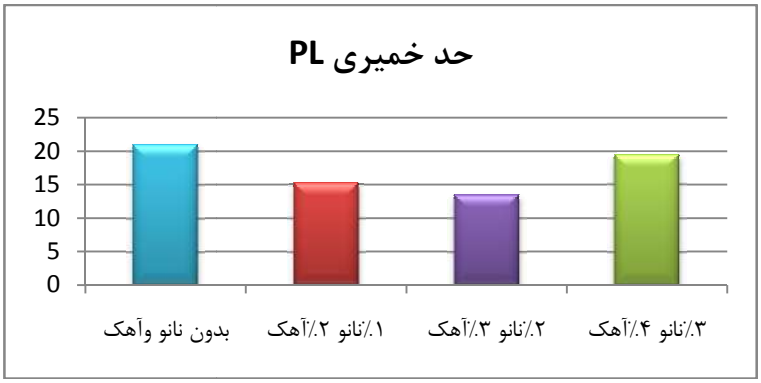
به منظور یافتن در صد بهینه نانو سیلیس و آهک از ۱و۲و۳درصد نانوسیلیس و۲و۳و۴ درصد آهک استفاده شده است.



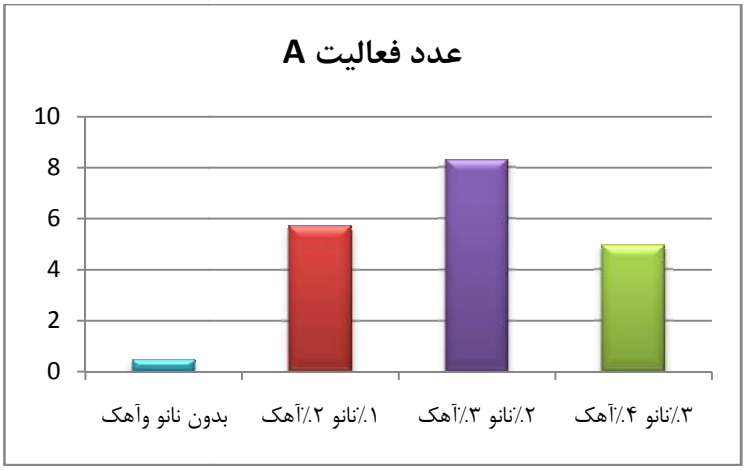
شکل ۴-۵: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی PI بهینه



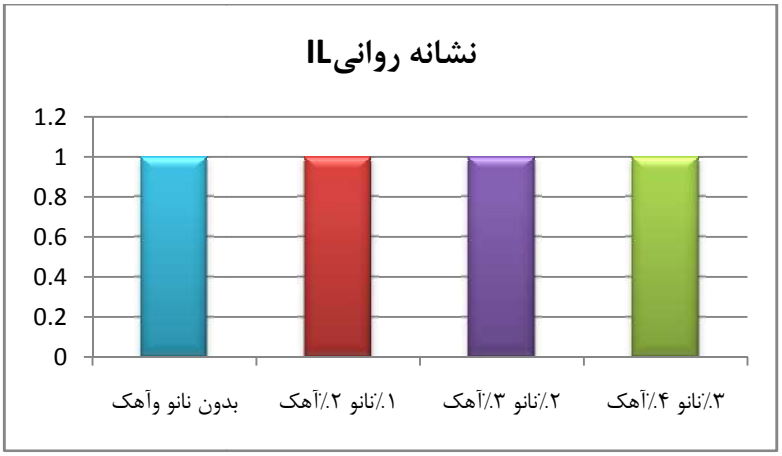
شکل ۴-۶: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی LL بهینه



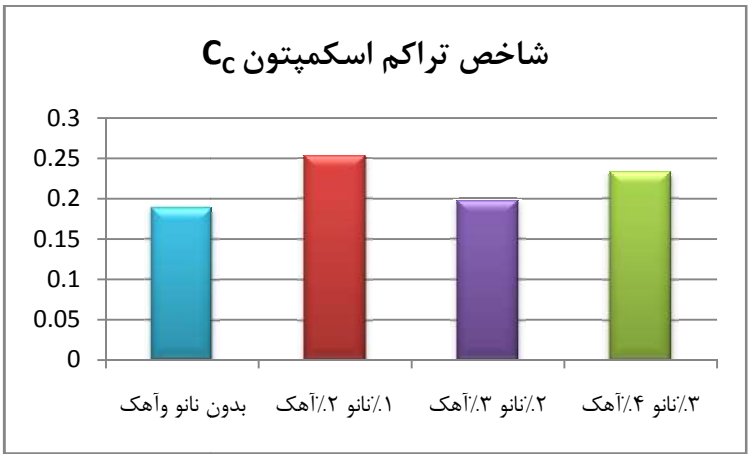
شکل ۴-۷: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی PL بهینه



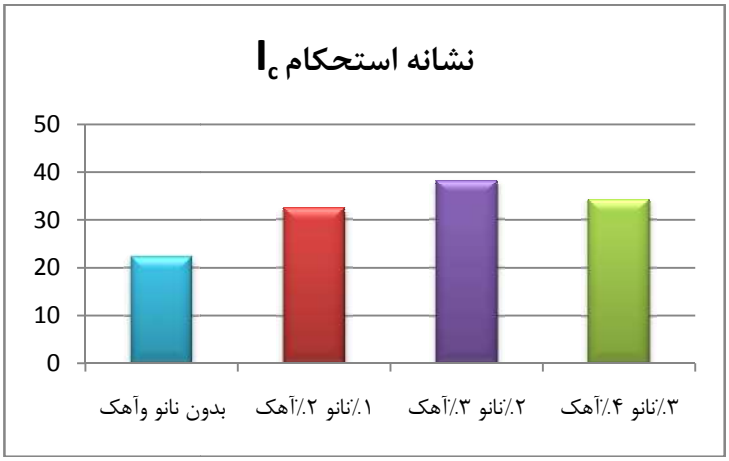
شکل ۴-۸: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی A بهینه



شکل ۴-۹: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی IL بهینه



شکل ۴-۱۰: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی Cc بهینه



شکل ۴-۱۱: نمودار درصد های مختلف،اختلاط نانو سیلیس وآهک برای ارزیابی Ic بهینه

جدول ۴- ۵: جدول مقایسه مقادیر پارامترهای خمیری خاک

نوع نمونه	LL حدروانی	PL حد خمیری	PI نشانه خمیری	IL نشانه روانی	Ic نشانه استحکام	رابطه اسکمپتن CC تراکم شاخص	A عدد فعالیت
بدون نانو وآهک	23	16	7	1	22	0.18	0.47
۱٪نانو ۲٪آهک	33	15	18	1	32	0.25	5.74
۲٪نانو ۳٪آهک	38	13	25	1	38	0.19	8.33
۳٪نانو ۴٪آهک	34	19	15	1	43	0.23	4.96

تفسیر آزمایشات :

با استفاده از نمودارهای (اشکال۴- ۵ الی ۱۱) که ازنتایج حاصله از آزمایش حدود اتر برگ ترسیم شده است، می توان چنین نتیجه گرفت با اضافه کردن آهک, و نانو سیلیس به خاک موجب تبادل کاتیونی میان Cao موجود در آهک و Sio2 موجود در سیلیس، می شود وباعث شده ذرات رس به یکدیگر نزدیکتر شوند ودر اثر این فعل وانفعالات تغییراتی از نظر فیزیکی وشیمیایی در خاک بوجود می آید که باعث تغییرات اساسی در پارامتر های خمیری خاک می گردد.

نتیجه گیری :

- با توجه به آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه های مختلف مشخص گردید (۲٪نانو سیلیس و۳٪آهک) برای پارامتر نشانه خمیری، عدد فعالیت حد روانی بهینه می‌باشد.
- در پارامتر هایی نظیر نشانه استحکام، شاخص تراکم از رابطه تجربی اسکمپتن ونشانه خمیری از روی نمودارها به خوبی مشخص است که با اضافه کردن نانوسیلیس توام با آهک بیشتر، روند پایین آورنده پارامتر های فوق برقرار است.
- با توجه به یکسان بودن نشانه روانی برای در صد های مختلف نانو سیلیس وآهک در درصد رطوبت حد روانی(۲۵ ضربه در منحنی جریان) می توان چنین نتیجه گرفت که نشانه روانی مستقل از سایر پارامتر هاست و به رطوبت محل ساختگاه وابسته است. مقدار مساوی با عدد یک پارامتر فوق نشان دهنده ی این است که رطوبت خاک در محل ساختگاه درآستانه رطوبت حد روانی است ورس از نوع غیر حساس است.
- عامل کوتاه زمان برای به عمل آوری خاک اصلاح شده با نانو سیلیس وآهک برای پروژه هایی که با نیازفوری به سرعت اجرا دارند سود مند است.

- در این پژوهش عامل اصلی افزایش پارامتر های پلاستیسیته ومرتبط با آن به ساخت نمونه ها ی یکسان وزمان به عمل آوری آنها وترکیب بهینه نانو سیلیس وآهک با هم دارد.
- اضافه نمودن نانوسیلیس به تنهایی تاثیر چندانی در پارامتر های پلاستیسیته نداشته و نیاز به ماده فعال کننده ای مثل آهک دارد و این مورد با توجه به گران بودن نانو سیلیس در مقابل آهک امتیازی برای کاهش هزینه های اقتصادی می باشد.

فصل پنجم

جمع بندی،

نتیجه گیری

وپیشنهادات

۵-۱-نتایج آزمون برش مستقیم:

- با توجه به آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه های مختلف مشخص گردید (۳٪نانو سیلیس و۴٪آهک) برای پارامتر چسبندگی و (۱٪نانو سیلیس و۲٪آهک) برای پارامتر زاویه اصطکاک داخلی بهینه می‌باشد.
- عامل کوتاه زمان ۱۸ ساعته ی به عمل آوری برای پروژه هایی که نیاز به سرعت اجرا دارند می تواند مفید باشد.
- در این پژوهش عامل اصلی افزایش چسبندگی وزاویه اصطکاک داخلی، ساخت نمونه ها ی یکسان وزمان به عمل آوری آنها همچنین ترکیب، نانو سیلیس وآهک با هم دارد .
- اضافه نمودن نانوسیلیس به تنهایی تاثیر چندانی در پارامتر های مقاومت برشی نداشته و نیاز به ماده فعال کننده ای مثل آهک دارد.
- با توجه به اینکه نانو سیلیس ماده گران قیمتی است و در این پژوهش، درصدهای بهینه بین (۱ تا ۳ درصد) بدست آمده است مصرف مقدارکم نانو سیلیس برای بهسازی خاک به همراه آهک ازجهت هزینه های اقتصادی نیز می تواند قابل توجیه باشد.

۵-۲- نتایج آزمون حدود اتر برگ :

- با توجه به آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه های مختلف مشخص گردید (۱٪نانو سیلیس و۲٪آهک) برای پارامتر نشانه خمیری، عدد فعالیت وشاخص تراکم از رابطه تجربی اسکمپتون بهینه می‌باشد.
- در پارامتر هایی نظیر نشانه استحکام، شاخص تراکم از رابطه تجربی اسکمپتون ونشانه خمیری از روی نمودارها به خوبی مشخص است که با اضافه کردن نانوسیلیس توام با آهک بیشتر، روند پایین آورنده پارامتر های فوق برقرار است.
- با توجه به یکسان بودن نشانه روانی برای در صد های مختلف نانو سیلیس وآهک در درصد

رطوبت حد روانی(۲۵ ضربه در منحنی جریان) می توان چنین نتیجه گرفت که نشانه روانی مستقل از سایر پارامتر هاست و به رطوبت محل ساختگاه وابسته است. مقدار مساوی با عدد یک پارامتر فوق نشان دهنده ی این است که رطوبت خاک در محل ساختگاه درآستانه رطوبت حد روانی است.

- عامل کوتاه زمان ۲۴ ساعته برای به عمل آوری خاک اصلاح شده با نانو سیلیس وآهک برای پروژه هایی که با نیازفوری به سرعت اجرا دارند سود مند است.
- در این پژوهش عامل اصلی افزایش پارامتر های خمیری ومرتبط با آن به ساخت نمونه های یکسان وزمان به عمل آوری آنها وترکیب بهینه نانو سیلیس وآهک با هم دارد .
- اضافه نمودن نانوسیلیس به تنهایی تاثیر چندانی در پارامتر های خمیری نداشته و نیاز به ماده فعال کننده ای مثل آهک دارد و این مورد با توجه به گران بودن نانو سیلیس در مقابل آهک امتیازی برای کاهش هزینه های اقتصادی می باشد.

۵-۳- نتیجه گیری از اشتراک دو آزمایش:

- تاثیر بهینه نانو سیلیس در درصد های پایین حدود ۱الی ۳٪ بر روی خاک مورد آزمایش.
- زمان نسبتا کوتاه به عمل آوری حدود ۱۸الی ۲۴ ساعت.
- بهینه بودن پارامتراقتصادی هزینه ها با توجه به مصرف در صد های پایین نانو سیلیس.
- بهینه بودن پارامتر آلایندگی نانو سیلیس (درصورتی که به صورت مخلوط شده با آب مصرف گردد).
- علت اصلی تاثیرات فوق بر پارامتر های مختلف آزمونها تاثیر توام نانو سیلیس و آهک به دلیل تبادل کاتیونی میان Cao موجود در آهک و Sio_2 موجود در سیلیس بوده که، ذرات رس به یکدیگر نزدیکتر شده ودر اثر این فعل وانفعالات ذرات نانو باتوجه به سطح ویژه بالای خود، نانو تخلخل و بار سطحی که دارند باعث فعل وانفعالات بین ذره ای شده وباعث میل ترکیبی

با آب ،خاک رس و نهایتا موجب تغییراتی از نظر فیزیکی در میزان تخلخل، جذب رطوبت، حد روانی، حد پلاستیک و دیگر پارامتر های مرتبط با پلاستیسیته خاک رس (مانند، فعالیت رس ،نشانه استحکام و رابطه تجربی شاخص تراکم اسکمپتن) همچنین موجب تغییر در پارامتر های چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی می شود.

۵-۴- پیشنهادات:

- برای شناخت بهتر ونتیجه گیری کامل تر از این تحقیق بهتر است تاثیر نانو سیلیس وآهک را بر روی دیگر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی مانند تراکم و تحکیم نیز مورد آزمایش و ارزیابی قرار گیرند.
- همچنین می‌توان با داشتن دیتاهای مختلف از خاک‌های مشابه وتحقیقات مختلف، به یک نتیجه کلی رسید و آنهارابا یک رابطه ریاضی مدل کرد (ترسیم نمودارهای همبستگی ومشابه).

فصل ششم

ضمائم

جدول ۶-۱ : حد اقل زمان لازم برای آزمون برش مستقیم بکار رفته در آزمایشها[۳۷].

رده بندی متحد (یونیفاید)	حد اقل زمان برای گسیختگی
SP,SW(<۵درصد ریزدانه)	۱۰ دقیقه
SM,SPSM,SW,SM(<۵درصد ریزدانه)	۶۰ دقیقه
SP,SC,CL,ML,SC	۲۰۰ دقیقه
CH, MH	۲۴ ساعت

*** برای دست یابی به دور مناسب برای زمان لازم در آزمایش برش مستقیم، جدول زیر تهیه و استفاده شده است.

جدول ۶-۲ محاسبات زمان برای دستگاه برش مستقیم بکار رفته در آزمایشها

تغییر مکان برحسب (mm) 7 ، جابجایی					
Gear Lever Position	زمان بر حسب دقیقه t (Min)				
	60-30	54-36	45-45	36-54	30-60
A	5.833333	7.777778	11.66667	17.5	23.33333
B	29.16667	38.88889	58.33333	87.5	116.6667
C	145.8333	194.4444	291.6667	437.5	583.3333
D	729.1667	972.2222	1458.333	2187.5	2916.667
E	3645.833	4861.111	7291.667	10937.5	14583.33

جدول ۶- ۳: زمان لازم برای جذب رطوبت دانه های خاک مورد آزمایش در آزمون برش مستقیم[۳۱].

Classification D 2487	Minimum Standing Time (h)
خاک در طبقه بندی یونیفاید	زمان لازم برای جذب رطوبت
SW, SP	No Requirement
M	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

جدول ۶- ۴: محاسبات درصد های مختلف نانو سیلیس، آهک، آب وخاک رس بکار رفته در آزمایش برش مستقیم.

% درصد	w_s وزن خاک	w_w وزن آب	W_N وزن نانو سیلیس	W_L وزن آهک	$\sum w_s+w_w+w_N$ وزن مجموع	$\sum w_s+w_w+w_L$ وزن مجموع
1	126.878	20.301	1.487	1.487	148.666	148.666
2	125.597	20.095	2.973	2.973	148.666	148.666
3	124.315	19.890	4.460	4.460	148.666	148.666
4	123.034	19.685	5.947	5.947	148.666	148.666
5	121.752	19.480	7.433	7.433	148.666	148.666
6	120.470	19.275	8.920	8.920	148.666	148.666
7	119.189	19.070	10.407	10.407	148.666	148.666
8	117.907	18.865	11.893	11.893	148.666	148.666
9	116.626	18.660	13.380	13.380	148.666	148.666
10	115.344	18.455	14.867	14.867	148.666	148.666
11	114.062	18.250	16.353	16.353	148.666	148.666
12	112.781	18.045	17.840	17.840	148.666	148.666
13	111.499	17.840	19.327	19.327	148.666	148.666
14	110.218	17.635	20.813	20.813	148.666	148.666
15	108.936	17.430	22.300	22.300	148.666	148.666
16	107.654	17.020	23.786	23.786	148.461	148.461

مثال : برای ۱٪ نانو سیلیس و ۲٪آهک در جدول بالا با رنگ قهوه ای مشخص شده است

جدول ۶- ۵: محاسبات درصد های مختلف نانو سیلیس، آهک، آب وخاک رس بکار رفته در آزمایش حدود اتربرگ.

% درصد	w_S وزن خاک	w_W وزن آب	W_N وزن نانو سیلیس	W_L وزن آهک	$\sum w_S+w_W+w_N$ وزن مجموع	$\sum w_S+w_W+w_L$ وزن مجموع
1	247.500	39.600	2.900	2.900	290.000	290.000
2	245.000	39.200	5.800	5.800	290.000	290.000
3	242.500	38.800	8.700	8.700	290.000	290.000
4	240.000	38.400	11.600	11.600	290.000	290.000
5	237.500	38.000	14.500	14.500	290.000	290.000
6	235.000	37.600	17.400	17.400	290.000	290.000
7	232.500	37.200	20.300	20.300	290.000	290.000
8	230.000	36.800	23.200	23.200	290.000	290.000
9	227.500	36.400	26.100	26.100	290.000	290.000
10	225.000	36.000	29.000	29.000	290.000	290.000
11	222.500	35.600	31.900	31.900	290.000	290.000
12	220.000	35.200	34.800	34.800	290.000	290.000
13	217.500	34.800	37.700	37.700	290.000	290.000
14	215.000	34.400	40.600	40.600	290.000	290.000
15	212.500	34.000	43.500	43.500	290.000	290.000
16	210.000	33.600	46.400	46.400	290.000	290.000

مثال : برای ۲٪ نانو سیلیس و ۳٪آهک در جدول بالا با رنگ قهوه ای مشخص شده است.

مراجع:

[1]. Zhang, J.G, Germanie,T. ,Whittle, A.J., Ladd, C.,2004 ."*Index properties of a highly weathered old alluvium*" Geotechnique 42, No .7,441-451.

[۲] -نشریه شماره ۵۵ ، (۱۳۸۸)، "*مشخصات فنی وعمومی کارهای ساختمانی*"، انتشارات معاونت برنامه ریزی ونظارت راهبردی رئیس جمهور.

[3]. R.Feynman,"*There's plenty of room at the bottom"* reprint from speech given at anuual meeting of the American physical Society.Eng Sci:23;22-36(1960)..

[4].Gutierrez, M.S., (2005), "*Potential Applications of nano- mechanics in Geotechnial Engineering*", proc of the International Workshop on Misco-Geomechanics across Multiple Strain Scales, Cambridge,Uk ,pp 29-30.

[۵] – عسکر جانعلی زاده، محسن، جهانشاهی، روشن، نادر ،قصابکلایی، نوید،(۱۷و۱۸ اردیبهشت ماه ۱۳۹۲)، *بررسی تاثیر نانو سیلیس در بهبود رفتار مقاومتی خاکهای رسی(نمونه موردی خاک بندر گز)* هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران،دانشکده مهندسی شهید،نیکبخت، زاهدان.

[۶] - محرم مجدی، علی ارومیه ای، محمد رضا نیکو دل، (۱۳۹۳)، *بررسی تأثیر افزو دن نانوسیلیس بر روی خواص ژئوتکنیکی خاک رس* ، اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه،تربیت دبیر شهید رجایی.

[7] G.Zhang, J. T.Germaine, A. J. Whittle, C. Ladd: *Index properties of a highly weathered old alluvium. Geotechnique* 54, No. 7, 441-451,(2004).

[8] P.M. Gallagher, C.T. Conlee, K.M. Rollins: *Full-Scale Field Testing of Colloidal Silica Grouting for Mitigation of Liquefaction Risk*, ASCE_1090-0241,133:2_186,(2007)

[9] C. Butron: *Silica sol for rock grouting: Laboratory testing of strength, fracture behaviour and hydraulic conductivity, Tunnelling and Underground Space Technology*, Pages 603- 607. (2009).

[10] T. W. Lambe, R. V. Whitman: *Soil Mechanics. John Wiley & Sons. in measurement and modeling of soil behavior*, ASCE, (2007).

[11] Zhang, G. (2007). *Soil Nanoparticles and Their Influence on Engineering Properties of soils.*GSP 173 Advances in Measurement and Modeling of Soil Behavior. ASCE, Geo-Denver.New Peaks in Geotechnics.

[12] Braja M. Das, (2010) **"***Principles o f Geotechnical Engineering 7ed", Cengage Learning.*

[۱۳]- گلابچی، محمود، تقی زاده،کتایون، سروش نیا،احسان، (۱۳۹۱)، "*نانو فنآوری در معماری ومهندسی ساختمان*"، انتشارات دانشگاه تهران.

[۱۴] – نجف زاده،عباس(۱۳۸۹)، "*دیدگاهی بر فن آوری نانو(مجموعه مقالات)*"،*انتشارات منحقق اردبیلی.*

[۱۵] -سایت مرکز پژوهش رازی، http://www.tebyan.net

[۱۶]- سایت اینترنتی http://nanoclub.ir/index.php?ctrl=paper&actn=paper_view&id=2637&lang=1

[۱۷] - اسلامی، *ابوالفضل*،(۱۳۹۰)،" *مهندسی پی طراحی واجرا*"، مرکز تحقیقات مسکن، تهران.

[۱۸]- کاووسی، امیر، هاشمیان، لیلا، (۱۵و۱۴ - اسفند ۱۳۸۰)، *بررسی تثبیت خاک با استفاده از آهک در فرودگاه پارس* مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

[۱۹]- عربانی, کرمی, (۱۳۹۰). *تأثیر درصد رس و درصد آهک بر CBR ماسه‌های رس دار تثبیت شده با آهک*، نشریه مهندسی عمران, دانشگاه فردوسی مشهد.

[20]TMH1: Standard Methods of Testing Road Construction Materials,' *METHOD A8, THE DETERMINATION OF THE CALIFORNIA BEARING RATIO OF UNTREATED 'SOILS AND GRAVELS.*

[۲۱] - طباطبایی،امیر محمد،(۱۳۶۴)،" *روسازی راه*"،مرکز نشر دانشگاهی تهران.

[۲۲]- قنبری،علی، (۱۳۸۸)،"*کاوشهای صحرایی در مهندسی ژئو تکنیک*"،نشر پژوهشی نوآوران شریف.

[۲۳] -رحیمی،حسن،(۱۳۹۲)، "*مهندسی ژئوتکنیک*"،انتشارات دانشگاه تهران.

[24] ASTM D: 422, "*Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soil*".

[25] ASTM D: 3418, "*Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*".

[26] ASTM D: 2487, *"Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*".

[27] ASTM D: 2216, *"Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil, Rock, and Soil-Aggregate Mixtures*".

[28] ASTM D: 854, *"Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*".

[29] National Highway*" Institute Subsurface Investigations"*, (Publication No. FHWA HI-97-021)

[30] ASTM D: 698, *" Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft3(600 kN-m/m3))*".

[31] ASTM D: 3080, "*Standard Test Methods for direct shear test*"

[۳۲] – بهنیا ،کامبیز، اعرابی ،نگین،(۱۳۹۱) "*آزمایشهای مکانیک خاک*"،انتشارات نگارنده دانش.

[33] ASTM D: 2435, "*Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading*"

[۳۴] -سایت مرکز پژوهش رازی، http://www.razi-center.net/farsi/XRfandXRD_testing.aspx

[۳۵] -سایت بینالود، http://www.binaloud.com/fa/pages.cshtml?id

[۳۶] -، *استاندارد* شماره ۲۷۰، (۱۳۷۵) "*آهک ساختمان*"، موسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران، چاپ ۷.

[۳۷]- اوصیا معلم، سید مسعود ، معتقدی، حسین ، صدرایی، سید امیر ، (۱۳۹۳)، *ارزیابی ظرفیت باربری وتعیین پارامترهای مقاومتی خاک رس اصلاح شده با میکروسیلیس به همراه آهک*، اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه،پیام نور استان آذربایجان شرقی- هریس.

[۳۸]-سمانه مومنی شهرکی،فرهنگ فرخی،(۱۳۹۳)، *اثر نانو سیلیس بر خصوصیات مکانیکی وژئوتکنیکی خاک رس*، اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه،تربیت دبیر شهید رجایی.

Abstract: Given that some important construction projects on clay soils, the need for improvement to make them suitable for project implementation is important. In recent years, nanotechnology is widely used and at high speed in all contexts and because of novelty and lack of complete reference in geotechnical engineering and research needs to be recognized scattered and inadequate, the application and the effect of particles in the field respectively. This article examines the different percentages of nano-silica and lime on clay shear strength parameters by direct shear tests conducted. To this end, identified soil tests, direct shear tests on soil and lime nano with different percentages do and then the results obtained from the tests and the parameters evaluated. The results show improved shear strength parameters is modified with From 1% to 3% nano-silica and lime.

Keywords: shear strength parameters; nano-silica; lime; Soil Improvement; Direct Shear.

Shahrood University of Technology

Faculty Kharazmi's Pardis

Civil Engineering Group

Evaluation of Clay Soil Shear Strength Parameter Modified with Nanosilica and Lime

Mohamad Ali Mazinanian

Supervisors:

Dr. Seyed Mahdi Hosseini

Date: January 2016