بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک نباتی تثبیت شده با آهک بوسیله آزمایش سه محوری

دانشجو : سیّد محمّد میرموذّن

استاد راهنما : پروفسور مهیار عربانی

شهریور ۹۲

دانشکده فنی
گروه عمران
گرایش خاک و پی

تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک نباتی تثبیت شده با آهک بوسیله آزمایش سه محوری

دانشجو : سیّد محمّد میرموذّن

استاد راهنما : پروفسور مهیار عربانی

شهریور ۹۲

این اثر ناچیز را به

پدر و مادر مهربانم

که همواره غمخوارم بوده اند و

همسر دلسوزم که ترانه زندگیم را آهنگین کرد

پیشکش می نمایم.

با نام آنکه سرچشمه تمام مهربانیهاست

وظیفه اخلاقی خود می دانم که از استاد ارجمندم **پروفسور مهیار عربانی** که در سیر انجام این پایان نامه هیچ گاه بنده را از راهنماییهای خود محروم نساختند تشکر و قدردانی نمایم و به عنوان شاگرد همیشگی علم و صبوری ایشان مراتب سپاسگذاری قلبی خود را اعلام دارم.

همچنین از زحمات اساتید محترم گروه خاک و پی دانشکده فنی به خصوص مدیر گروه وقت، استاد گرامی **دکتر رضا جمشیدی چناری** سپاسگذاری می نمایم. از مسئولین محترم آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه گیلان، آزمایشگاه مکانیک خاک وزارت راه استان گیلان، آزمایشگاه مکانیک خاک زئوسازه رشت و آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه صنعتی شریف نیز که بنده را در انجام تست های آزمایشگاهی و تکمیل پایان نامه دوستانه یاری نمودند نیز قدردانی می نمایم.

در آخر از اساتید گرامی **دکتر میراحمد لشته نشایی** و **دکتر رضا جمشیدی چناری** که زحمت داوری این پایان نامه را پذیرفته اند تشکر می نمایم.

سیّد محمّد میرموذّن

شهریور ۹۲

چکیده

تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک نباتی تثبیت شده با آهک بوسیله آزمایش سه محوری

خاک‌های نباتی بدلیل نداشتن مقاومت کافی و نشست و تراکم پذیری بالا ، پتانسیل تورم و حساسیت به تغییرات رطوبت، عملا جزء خاکهای مسئله دار در ساخت و ساز محسوب می شوند. در اغلب پروژه های عمرانی خطی مانند راه سازی، احداث کانال های آبرسانی وخطوط ریلی وخطوط انتقال نفت و گاز و غیره سهم عمده‌ی اضافه تنش اعمالی از بارهای وارده را لایه های فوقانی زمین تحمل می‌کنند و این در حالی است که قسمت قابل ملاحظه‌ای از لایه‌های مذکور به خصوص در مناطق معتدل، مناطق جنگلی و زمینهایی با کاربری کشاورزی را خاک‌های نباتی و مواد آلی تشکیل می‌دهند. از آنجا که این خاک‌ها عملا جزء خاکهای مشکل زا محسوب می شوند مطابق تمامی آیین نامه‌های معتبر بین المللی قبل از انجام هر پروژه ای می بایست محل آنها شناسایی و خاک آن محل با مصالح قرضه مناسب جایگزین گردد. در مناطقی که مسیر های طولانی را در بر می‌گیرند و عمق خاک‌های نباتی قابل ملاحظه است و یا نقاطی که حمل مصالح بسیار دشوار است، پروژه از لحاظ محدودیت زمانی و اقتصادی در تنگنا قرار می‌گیرد و خاکبرداری در این ابعاد توجیه اقتصادی ندارد.

آهک از گذشته تا به امروز از جمله موادی بوده است که به دلیل انجام واکنش‌های شیمیایی مناسب در خاک و ایجاد چسبندگی در بهسازی خاک‌های مختلف در انواع پروژه های عمرانی به کارگرفته شده است. در این پژوهش با افزودن آهک با درصدهای مختلف به خاک‌های نباتی، پارامترهای مقاومتی خاک تثبیت شده بوسیله آزمایش سه محوری تعیین خواهد شد تا در صورت امکان بتوان تثبیت اینگونه خاک با آهک را جایگزین برداشت و تعویض خاکهای سطحی نمود.

بررسی های صورت گرفته بر روی نتایج آزمایشات سه محوری نشان دهنده افزایش چسپندگی خاک، کاهش زاویه اصطکاک داخلی و در مجموع افزایش مقاومت برشی در لایه های مورد مطالعه بوده است. همچنین برای تخمین چسپندگی زهکشی نشده خاک های نباتی تثبیت شده با آهک بر اساس نتایج آزمایشات سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده به ضریب ۰/۳۵ برای رابطه بین چسپندگی و تنش محدود نشده معادل در آزمایشات سه محوری دست یافته شد.

کلمات کلیدی: خاک های نباتی، تثبیت ، تست سه محوری ، آهک، پارامترهای مقاومت برشی

فهرست مطالب

چکیده فارسی ..... **آ**

چکیده انگلیسی ..... **ب**

۱ مقدمه و کلیات **۱**

۱-۱. مقدمه ۲

۱-۲. شرح مختصری از رساله ۲

۱-۳. اهداف مورد نظر در رساله ۳

۱- ۴ . معرفی فصول رساله ۳

۲ مروری بر تحقیقات پیشین **۴**

۲-۱. مقدمه ۵

۲-۲. معرفی خاک نباتی ۶

۲-۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نباتی ۷

۲-۴. گزیده ای از مهمترین تحقیقات صورت گرفته بر خا ک های نباتی..... ۷

۲-۵. خلاصه نتایج مطالعات صورت گرفته ۲۸

۳-۱. مقدمه ۳۰

۳-۲. مشخصات مصالح ۳۰

۳-۲-۱. خاک نباتی ۳۰

۳-۲-۲. آهک ۳۱

۳-۳. آزمایش تراکم ۳۲

۳-۴. آزمایش سه محوری ۳۳

۳-۴-۱. نحوه ساخت و آماده سازی نمونه ها در آزمایش سه محوری ۳۵

۳-۴-۱-۱. روش تراکم مرطوب ۳۵

۳-۴-۱-۲. روش ریزش خشک ۳۶

۳-۴-۱-۳. روش رسوب در آب ۳۷

۳-۴-۲. مراحل ساخت نمونه در این تحقیق ۴۰

۳-۴-۳. دستگاه سه محوری استاتیکی ۴۱

۳-۴-۳-۱. محدودیت های ملحقات آزمایش سه محوری ۴۳

۳-۴-۳-۲. مراحل انجام آزمایش سه‌محوری ۴۵

۳-۴-۳-۲-۱. کالیبراسیون حسگرها ۴۵

۳-۴-۳-۲-۲. قرار دادن نمونه در داخل سلول دستگاه سه محوری ۴۵

۳-۴-۴. برنامه آزمایشات ۵۰

۴ نتایج و تفسیر داده ها ۵۱

۴-۱. مقدمه ۵۲

۴-۲. تأثیر آهک بر تراکم خاک نباتی ۵۲

۴-۳. نتایج آزمایشات سه محوری استاتیکی CU بر روی خاک نباتی پایه و خاک نباتی تثبیت شده با آهک ... ۵۳

۴-۳-۱. نتایج آزمایشات سه محوری استاتیکی CU بر روی خاک نباتی پایه ۵۳

۴-۳-۲. نتایج آزمایشات سه محوری استاتیکی CU بر روی خاک نباتی تثبیت شده با ۳٪ آهک ۵۴

۴-۳-۳. نتایج آزمایشات سه محوری استاتیکی CU بر روی خاک نباتی تثبیت شده با ۶٪ آهک ۵۶

۴-۳-۴. نتایج آزمایشات سه محوری استاتیکی CU بر روی خاک نباتی تثبیت شده با ۹٪ آهک ۵۹

۴-۳-۵. نتایج آزمایشات سه محوری استاتیکی CU بر روی خاک نباتی تثبیت شده با ۱۲٪ آهک ۶۱

۴-۳-۶. نتایج آزمایشات سه محوری استاتیکی CU بر روی خاک نباتی تثبیت شده با ۱۵٪ آهک ۶۴

۴-۴. تحلیل داده ها و نمودارهای بدست آمده از آزمایشات سه محوری استاتیکی CU بر روی

خاک نباتی تثبیت شده با آهک ۶۶

۴-۴-۱. تأثیر آهک بر پارامتر مقاومت برشی چسپندگی C خاک نباتی تثبیت شده با آهک ۶۶

۴-۴-۲. تأثیر آهک بر پارامتر مقاومت برشی زاویه اصطکاک داخلی φ خاک نباتی تثبیت شده با آهک ... ۷۰

۴-۴-۳.تأثیر آهک بر نمودارهای تنش تفاضلی – کرنش‌محوری در نمونه‌های خاک نباتی تثبیت شده با آهک .. ۷۳

۴-۴-۴. تأثیر آهک بر مدول الاستیسیته بدست آمده از آزمایش سه محوری CU

بر نمونه های خاک نباتی تثبیت شده با آهک ۸۴

۴-۴-۵. برآورد چسپندگی زهکشی نشده خاک نباتی تثبیت شده با آهک بر اساس

نتایج آزمایشات سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده CU ۹۵

۵ نتیجه گیری و پیشنهاد برای ادامه مطالعه ۹۹

۵-۱. نتیجه گیری ۱۰۰

۵-۲. پیشنهاد برای ادامه مطالعه ۱۰۱

مراجع ۱۰۲

فهرست شکل ها و نمودارها

۲-۱. نمودار تغییرات چگالی نمونه های مختلف بر حسب مقدار سیمان[۲۴] ۱۰

۲-۲. نمودار تغییرات مقاومت فشاری محدود نشده نمونه های مختلف بر حسب مقدار سیمان[۲۴] ۱۱

۲-۳. نمودار تراکم نمونه های آهک و سیمان تثبیت شده[۲۹] ۱۲

۲-۴. نمودار تاثیر اهک و سیمان بر مقاومت تک محوری محدود نشده نمونه های مختلف تثبیت شده[۲۹] ۱۲

۲-۵. نمودار تاثیر اهک و سیمان بر حد خمیری نمونه های مختلف تثبیت شده[۲۹] ۱۳

۲-۶. نمودار تاثیر تاثیر مدت زمان عمل آوری با اهک و سیمان بر حد خمیری نمونه های مختلف تثبیت شده[۲۹] .. ۱۳

۲-۷. نمودار تغییرات N بر حسب عمق در آزمایش مکینتاش[۲۳] ۱۴

۲-۸. نمودار تغییرات مقاومت فشاری بر حسب زمان عمل آوری[۲۳] ۱۵

۲-۹. نمودار تغییرات pH بر حسب درصد های مختلف مواد افزودنی[۴۵] ۱۶

۲-۱۰. نمودار مقایسه حد انقباض خاک نباتی قبل و بعد از تثبیت[۴۵] ۱۶

۲-۱۱. نمودار تغییرات هدایت الکتریکی بر حسب درصد مواد آلی[۱۴] ۱۷

۲-۱۲. نمودار CBR بعد از ۱۴ روز عمل آوری[۳۲] ۱۸

۲-۱۳. عکس های SEM **a: خاک نباتی قبل از تثبیت b : خاک نباتی بعد از تثبیت[۳۲]** ۱۸

۲-۱۴. نمودار تغییرات حد روانی بر حسب درصد های مختلف سیمان[۲۱] ۱۹

۲-۱۵. نمودار تغییرات حد خمیری بر حسب درصد های مختلف سیمان[۲۱] ۱۹

۲-۱۶. نمودار تغییرات پتانسیل تورم بر حسب درصد های مختلف سیمان[۲۱] ۲۰

۲-۱۷. نمودار CBR بر حسب درصد های مختلف سیمان[۳۴] ۲۱

۲-۱۸. نمودار مقاومت تک محوری بر حسب زمان های عمل آوری[۳۴] ۲۱

۲-۱۹. نمودار مقاومت تک محوری بر حسب نسبت آب به سیمان[۳۴] ۲۲

۲-۲۰. نمودار تغییرات ضریب تحکیم بر حسب فشار تحکیم[۳۷] ۲۲

۲-۲۱. نمودار تغییرات نشانه فشردگی بر حسب درصد سیمان[۳۷] ۲۳

۲-۲۲. نمودار تغییرات نسبت فشردگی بر حسب فشار تحکیم[۳۷] ۲۳

۲-۲۳. نمودار تغییرات ضریب فشردگی حجمی بر حسب فشار تحکیم[۳۷] ۲۴

۲-۲۴. نمودار تغییرات نشانه فشردگی چند نوع خاک نباتی تثبیت شده با سیمان برای فشار تحکیم **۵۰ kPa** [۲۸] .. ۲۵

۲-۲۵. نمودار تغییرات نشانه تحکیم ثانویه چند نوع خاک نباتی تثبیت شده با سیمان برای فشار تحکیم **۵۰ kPa** [۲۸] ۲۶

۲-۲۶. نمودار بار گسیختگی خاک های مختلف تثبیت شده با سیمان[۲۸] ۲۶

۲-۲۷. نمودار تغییرات مقاومت فشاری و تورم خاک های تثبیت شده با درصد های بهینه آهک شکفته و زنده در زمان های عمل آوری مختلف[۵] ۲۷

۳-۱. تصویری از محل برداشت خاک نباتی ۳۰

۳-۲. طرح تجهیزات آزمایش سه محوری ۳۳

۳-۳. روش های تهیه نمونه دست خورده برای آزمایش سه محوری[۳۱] ۳۶

۳-۴. خطوط تحکیم ایزوتروپ در روش‌های مختلف ساخت نمونه[۳۱] ۳۹

۳-۵. خصوصیات تحکیمی نمونه‌های ساخته شده به روش‌های مختلف، **a**) تراکم مرطوب ، **b**) ریزش خشک ، **c**) رسوب در آب[۳۱] ۳۹

۳-۶. نحوه نگهداری نمونه ها برای حفظ نسبی رطوبت ۴۰

۳-۷. دستگاه سه*محوری برای نمونه* با قطر ۱۰۰ میلیمتر مورد استفاده در تحقیق ۴۱

۳-۸. دستگاه سه*محوری برای نمونه* با قطر ۳۸ میلیمتر مورد استفاده در تحقیق ۴۲

۳-۹. نامگذاری شیرهای موجود در دستگاه سه محوری ۴۳

۳-۱۰. ترتیب قرار دادن سنگ متخلخل و کاغذ صافی روی پایه ۴۷

۳-۱۱. قرار دادن نمونه روی پایه دستگاه ۴۷

۳-۱۲. قرار دادن filter paper drain پیرامون نمونه پیش از غشاگذاری ۴۸

۳-۱۳. انداختن غشا روی نمونه ۴۸

۳-۱۴. انداختن O-ring دور پایه برای محکم کردن غشا روی پایه ۴۹

۳-۱۵. سلول سه محوری در حال پر شدن با آب بدون هوا ۴۹

۳-۱۶. نمونه ای فاقد رطوبت کافی در دوره نگهداری و کلوخه شده ۵۰

۴-۱. نمودار تراکم خاک نباتی عمل آوری شده با آهک شکفته و عمل آوری نشده ۵۲

۴-۲. دوایر موهر برای نمونه های خاک نباتی پایه ۵۳

۴-۳. دوایر موهر برای نمونه های ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه حاوی ۳٪ آهک ۵۴

۴-۴. دوایر موهر برای نمونه های ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه حاوی ۶٪ آهک ۵۷

۴-۵. دوایر موهر برای نمونه های ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه حاوی ۹٪ آهک ۵۹

۴-۶. دوایر موهر برای نمونه های ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه حاوی ۱۲٪ آهک ۶۲

۴-۷. دوایر موهر برای نمونه های ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه حاوی ۱۵٪ آهک ۶۴

۴-۸. تغییرات مقاومت چسپندگی نمونه های ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه حاوی درصدهای مختلفی از آهک ۶۷

۴-۹. تغییرات زاویه اصطکاک داخلی نمونه های ۷، ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه حاوی درصدهای مختلفی از آهک ۷۰

۴-۱۰. نمودارهای تنش تفاضلی - کرنش محوری برای نمونه های حاوی آهک در زمان های مختلف نگهداری ۷۳

۴-۱۱. شیب نمودارهای تنش تفاضلی – کرنش محوری بدست آمده از آزمایش سه محوری CU بر نمونه های خاک نباتی تثبیت شده با آهک ۸۵

۴-۱۲. نمودار σ_1 بر حسب σ_3 در انتهای آزمایش برای نمونه حاوی ۱۲٪ آهک ۹۶
۴-۱۳. نمودار تغییرات تنش محدود نشده معادل سه محوری برای نمونه های حاوی آهک در زمانهای مختلف نگهداری ۹۷

فهرست جداول

۲-۱. سیستم طبقه بندی خاک نباتی توسط وَن پُست[۴۲] ۸
۲-۲. سیستم طبقه بندی خاک نباتی در مهندسی زمین شناسی[۳۹] ۹
۳-۱. مشخصات فیزیکی و اولیهٔ خاک نباتی [۴۰] ۳۱
۳- ۲. ترکیبات شیمیایی آهک شکفته [۵] ۳۱
۳-۳. روش های انجام آزمایش تراکم[۱۵] ۳۲
۳-۴ . آزمایش تراکم روش **A** [۱۵] ۳۲

فصل اول

کلیات
و
تعاریف

۱-۱. مقدمه.

زمین های مناسب ساخت و ساز با رشد جمعیت جهان در سال های اخیر در حال کاهش یافتن است . همین مسئله سبب شده است تا مهندسین در پی ساخت و ساز در مناطقی باشند و یا به دنبال اجرای طرح هایی بروند که پیش از این بسیار دشوار یا خطرناک تصور می شدند. به همین خاطر در اغلب کشورهای پیشرفته ، گسترش ساختمان ها از خشکی به دریا و نیز رشد فزاینده آسمانخراش ها شروع شده است . از آنجاییکه تمامی و یا بخش عمده ای از وزن هر سازه مهندسی و تنش های ایجاد شده ناشی از آن به توده خاک بستر منتقل می شود، نیاز به بهبود و اصلاح زمین های نامناسب رقابت شدیدی بین مهندسان عمران کشورهای مترقی ایجاد کرده است. اولین اصل در کارهای عمرانی ، داشتن زمین مقاوم برای احداث بنا می باشد . بهسازی خاک ها یکی از روش های متداول بهبود خصوصیات مکانیکی و افزایش قابلیت بهره برداری مصالح خاکی است . این موضوع نشانگر اهمیت زیاد دانش مکانیک خاک و پی در مهندسی عمران است که در این میان بهبود و اصلاح خواص مکانیکی خاک از مهم ترین شاخه های مهندس ژئوتکنیک محسوب می شود .

قسمت قابل ملاحظه ای از مناطق شمالی ایران را مناطق جنگلی و زمین هایی با کاربری کشاورزی تشکیل می دهند که بخش عمده ای از لایه های سطحی این زمین ها را خاک های نباتی و مواد آلی شامل می شوند . با توجه به افزایش روند ساخت و ساز ، توسعه راه ها و هم چنین کمبود زمین های مناسب ، نیاز به استفاده از این گونه زمین ها احساس می شود . این خاک ها مقاومت بسیار ناچیزی داشته و حساسیت بالایی در مورد تورم زایی و نشست در مواجه با بارهای وارده و تغییرات رطوبت دارند و از این رو عملاً جزء خاک های مسئله دار و مشکل زا محسوب می شوند و به همین علت در پروژه های فوق الذکر قبل از احداث فونداسیون و یا بسترسازی جاده و خطوط انتقال از محل برداشته شده و با مصالح قرضه مناسب جایگزین می شود . این کار به ویژه در مناطقی که مسیر طولانی را در بر می گیرد و عمق خاک های نباتی قابل ملاحظه است و یا نقاطی که حمل مصالح بسیار دشوار است ، زمان و اقتصاد پروژه را تحت تأثیر قرار داده و لذا در این مناطق از روش های مختلف تثبیت خاک استفاده می شود .

۱-۲. شرح مختصری از رساله

در این مطالعه با بررسی های آزمایشگاهی انجام گرفته با دستگاه سه محوری استاتیکی پارامترهای مقاومت برشی خاک نباتی تثبیت شده با آهک مورد بررسی قرار گرفته اند تا در صورت امکان درصد بهینه آهک به منظور بهبود خصوصیات مقاومت برشی این نوع خاک تعیین گردد.

بدین صورت که به منظور بررسی تأثیرآهک بر پارامترهای مقاومت برشی خاک نباتی از آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده استفاده CU کردیم. در این آزمایشات به مقدار۳، ۶، ۹، ۱۲و ۱۵ درصد وزنی از آهک شکفته در تودهٔ خاک

استفاده شد و هر کدام از مخلوط ها در زمان های عمل آوری ۷، ۱۴، ۲۸و ۹۰ روز تحت آزمایش قرار گرفتند. این درصدها بر اساس مطالعات پیشین انتخاب شده اند [۸و۴۱].

۱-۳. اهداف مورد نظر در رساله

در این مطالعه تأثیر آهک شکفته بر روی پارامترهای مقاومت برشی خاک نباتی تثبیت شده با آهک مورد مطالعه قرار گرفته است. اهداف مورد نظر در این پروژه عبارتند از:

۱. بررسی تأثیر مقدار آهک شکفته بر مقاومت اصطکاکی خاک نباتی در زمان های عمل آوری متفاوت
۲. بررسی تأثیر مقدار آهک شکفته بر مقاومت چسپندگی خاک نباتی در زمان های عمل آوری متفاوت
۳. بررسی تأثیر مقدار آهک شکفته بر بهبود مقاومت برشی خاک نباتی جهت پروژه های طویل در زمان های عمل آوری متفاوت
۴. بررسی تأثیر مقدار آهک شکفته بر سختی نمونه های خاک نباتی در زمان های عمل آوری متفاوت
۵. در صورت امکان تعیین درصد بهینه آهک به منظور بهبود خصوصیات مقاومت برشی این نوع خاک

۱- ۴ . معرفی فصول رساله

این رساله شامل ۵ فصل می باشد که عبارت است از :

فصل اول – مقدمه : در این فصل به بیان علت انجام رساله و اهداف مورد نظر پرداخته خواهد شد .

فصل دوم – مروری بر تحقیقات انجام شده : در این فصل مطالعات انجام شده محققین در زمینه تثبیت خاک های نباتی و نتایج بدست آمده از آن ها اشاره خواهد شد .

فصل سوم – مطالعات آزمایشگاهی : در این فصل نحوه ساخت و آماده سازی و نگهداری نمونه ها برای انجام آزمایش های مدنظر و انجام آزمایش و نتایج بدست آمده ارائه خواهد شد .

فصل چهارم – بررسی و تحلیل نتایج : در این فصل تحلیل نتایج ارائه شده از آزمایش ها آورده شده است .

فصل پنجم – جمع بندی و نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد ها : در این فصل خلاصه کارهای انجام شده و نتایج بدست آمده ارائه خواهد شد و پیشنهاداتی برای ادامه تحقیقات در این زمینه ارائه خواهد شد .

فصل دوم

مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱. مقدمه

تحقیقات بسیاری در زمینه استفاده از افزودنیها به خاک به منظور بهبود خصوصیات خاک صورت گرفته است. محققان بسیاری در زمینهٔ استفاده از انواع مواد افزودنی در مصالح جهت بهبود خصوصیات آن مطالعه و تحقیق نموده اند. از جمله این محققین در ایران دکتر عربانی و همکاران هستند که مطالعات منسجم و گسترده ای در خصوص تأثیر افزودنی های مختلف در مصالح را مورد بررسی و ارزیابی قرار داده اند. به چند مورد از تحقیقات دکتر عربانی در زمینه افزودنی ها به خاک اشاره می شود:

کاربرد پلیمرها در کامپوزیت های سیمانی و اثر ضایعات الیاف پلیمری بر خصوصیات مقاومتی ماسه تثبیت شده با سیمان، طی مقاله ای در سال ۲۰۰۸ در چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱]. نتایج نشان دادند که بعد از ایجاد اولین ترک ها، الیاف ها هنوز می توانند بار را تحمل و انرژی را جذب نمایند و بطوریکه با افزایش درصد الیاف مقدار سختی خمشی نیز افزایش می یابد. در سال ۲۰۱۰ تأثیر سیمان و خرده شیشه ضایعاتی بر بهبود خصوصیات مهندسی ماسهٔ انزلی مورد ارزیابی قرار گرفته است [۲]. در سال ۲۰۱۳ خصوصیات ژئومکانیکی خاک های سیلتی با اضافه شدن نانو رس مورد بررسی قرار گرفت [۹]. نتایج این مطالعه نشان دادند که با افزودن نانو رس حدود روانی و خمیری خاک سیلتی افزایش و نیز پارامترهای مقاومت برشی این نوع خاک نیز دچار تغییرات قابل توجهی می شوند. در سال ۲۰۱۳ مقاومت فشاری تک محوری و نسبت CBR در خاک های سیلتی با اضافه شدن نانو رس مورد بررسی قرار گرفت [۱۰]. نتایج این مطالعه نشان دادند که نانو رس با تسهیل تثبیت خاک باعث افزایش مقاومت فشاری تک محوری و نسبت CBR در خاک های سیلتی میشود. در سال ۲۰۱۳ خصوصیات ژئومکانیکی و مقاومتی خاک نباتی با اضافه شدن آهک مورد بررسی قرار گرفت [۱۱]. نتایج این بررسی نشان داد که با وجود اینکه حضور آهک تاثیر چندانی بر میزان تراکم خاک ندارد ، مقاومت فشاری تک محوری و نسبت CBR در این نوع خاک افزایش قابل توجهی دارند. در سال ۲۰۱۲ تأثیر سیمان و ماسه بر خصوصیات ژئومکانیکی خاک نباتی مورد مطالعه قرار گرفت [۴۰]. در این بررسی آزمایش‌های حدود آتربرگ، تراکم، مقاومت تک‌محوری و CBR انجام شده و بر اساس نتایج این مطالعه افزودن سیمان و ماسه، موجب بهبود خصوصیات ژئومکانیکی خاک نباتی (کاهش خصوصیات خمیری، افزایش ظرفیت باربری و مقاومت تک محوری) می‌شود. در سال ۲۰۰۷ خصوصیات ژئومکانیکی ماسه های رس دار تثبیت شده با آهک مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است [۸]. نتایج این مطالعه نشان دادند که افزودن آهک موجب افزایش مقاومت و کاهش خصوصیات پلاستیک ماسه رس دار می شود. در پژوهش انجام شده در سال ۲۰۰۷ آزمایشاتی نظیر اتربرگ، تراکم، سی بی آر و مقاومت فشاری برای بررسی تأثیر آهک شکفته و زنده با درصدهای ۳، ۶، و ۹ با شرایط عمل‌آوری مختلف بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌های اصلاح شده صورت گرفت و نتایج

حاصله نشان‌دهنده افزایش مقاومت و بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک‌های اصلاح شده بود [۵]. رفتار مقاومتی ماسه های رس دار تثبیت شده با آهک-الیاف پلی آمید در سال ۲۰۰۶ مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۴].

در این قسمت ابتدا به معرفی خاک نباتی پرداخته و سپس به بررسی مطالعات دیگران در زمینه تثبیت خاک نباتی با انواع تثبیت کننده ها[1] از جمله آهک[2]، سیمان[3]، گچ[4] و خاکستر زغال سنگ[5] و غیره برای بهبود خصوصیات مهندسی این گونه خاک ها می پردازیم. بسیاری از محققین در سراسر جهان بر جنبه های مختلف تثبیت انواع خاکها با آهک و همچنین تثبیت خاک نباتی با آهک مطالعاتی انجام داده اند .

بسیاری از این تحقیقات عمدتاً بر خصوصیات مصالح پس از تثبیت و تأثیر درصد آهک و سایر آفزودنیها بر پارامترهای ژئوتکنیکی می باشد . تاریخچه مختصر مهم ترین تحقیقات انجام شده در زمینه تثبیت خاک نباتی و نتایج کلی حاصل از آن در ادامه ارائه شده است .

۲-۲. معرفی خاک نباتی

خاک‌هایی که درصد مواد آلی آنها بیش از ۲۰ درصد باشد در گروه خاک‌های آلی دسته بندی می‌شوند. خاک نباتی (خاک‌برگ) به طور کامل یا نسبی از تجزیه بافت‌های گیاهی و تجمع این مواد در طی هزاران سال ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر خاک آلی که درصد مواد آلی آن بیش از ۷۵ درصد باشد درگروه خاک‌های نباتی قرار می‌گیرد [۳۰].

خاک‌های نباتی از تجزیه مواد آلی و پسماند های گیاهی در محیط‌های بسیار مرطوب مثل باتلاق‌ها عمدتاً تشکیل می‌شوند و در تمامی نقاط دنیا به ویژه در نیم کره‌ی شمالی تحت شرایط آب و هوایی و توپوگرافی مناسب تشکیل و یافت می‌شوند، به طوریکه به طور تقریبی ۴/۵ درصد کل اراضی را در بر می‌گیرند [۲۲]. در ایران نیز این خاک‌ها بخش عمده ی خاک های بخش شمالی به ویژه گیلان و مازندران را تشکیل می‌دهند.

[1] Stabilizer
[2] Lime
[3] Cement
[4] Chalk
[5] Fly ash