به نام خدا

دانشکده فنی و مهندسی
گروه عمران
گرایش خاک و پی

پایان نامه کارشناسی ارشد

عوامل مؤثر بر ضریب شبکه‌ای میکروپایل‌ها

نگارش
رضا فهیمیان
۸۵۱۳۴۱۳۰۲۲

استاد راهنما
دکترجعفر بلوری بزاز

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول : کلیات

۱

۱-۱) مقدمه ۱

۱-۲)تحقیقات انجام شده در زمینه میکروپایل ۲

۱-۳)روش تحقیق ۳

۱-۴) اهداف پایان نامه ۳

۱-۵) خلاصه نتایج ۴

فصل دوم : کلیات

۵

۲-۱) مقدمه ۵

۲-۲) تعویض خاک ۶

۲-۳) مواد افزودنی ۶

۲-۳-۱) آهک ۶

۲-۳-۲) سیمان ۷

۲-۴) حرارت و انجماد ۷

۲-۴-۱) اصلاح خاک به روش حرارتی ۷

۲-۴-۱-۱)روشهای عملی تثبیت خاک در عمق به روش حرارتی ۸

۲-۴-۱-۲) بر رسی مسائل اقتصادی ۹

۲-۴-۲)انجماد خاک ۹

۲-۴-۲-۱)سیستمهای انجماد خاک ۱۰

۲-۵) تراکم دینامیکی ۱۱

۲-۶) سربار و زهکش ۱۴
۲-۷)الکترو اسمزی ۱۶
۲-۸) تزریق متراکم کننده ۱۶
۲-۹) تراکم انفجاری ۱۷
۲-۱۰) تراکم سطحی ۱۹
۲-۱۱) ستونهای سنگی ۱۹
۲-۱۲)تراکم ارتعاشی و مخروطهای ارتعاشی ۲۰
۲-۱۳) ژئوسینتتیک‌ها ۲۱
۲-۱۳-۱) ژئوتکستایل‌ها ۲۲
۲-۱۳-۲) ژئوگریدها ۲۳
۲-۱۳-۳) ژئونت‌ها ۲۳
۲-۱۳-۴)ژئوممبرین‌ها ۲۳
۲-۱۳-۵) ژئوکامپوزیت‌ها ۲۳
۲-۱۳-۶)عملکردها و کاربردهای مختلف ژئو سینتتیک‌ها ۲۴
۲-۱۴) میکروپایل‌ها ۲۶
فصل سوم : میکروپایل
۲۷
۳-۱) مقدمه ۲۷
۳-۲) آیین‌نامه‌ها ۲۸
۳-۳) طبقه‌بندی میکروپایل‌ها ۲۸
۳-۳-۱) طبقه بندی طراحی ۲۹
۳-۳-۲) طبقه بندی شیوه اجرای گروت ۲۹
۳-۴) حفاری ۳۰
۳-۵) اجرای گروت ۳۲
۳-۶) فولاد مسلح کننده ۳۳

۳-۷)محافظت در برابر خوردگی ۳۴
۳-۸) طراحی میکروپایل ۳۵
۳-۸-۱) روشهای طراحی ۳۶
۳-۸-۲) طراحی بر اساس خاک محل ۳۸
۳-۸-۲-۱) ظرفیت باندینگ ۳۸
۳-۸-۳)نیروی فشاری و کششی مجاز در روش SLD با توجه به شرایط خاک ۴۱
۳-۸-۴)نیروی فشاری و کششی مجاز در روش LFD با توجه به شرایط خاک ۴۲
۳-۸-۵)تاثیرگروه شمع بر باربری محوری ۴۲
۳-۹) طراحی سازه‌ای میکروپایل ۴۳
۳-۹-۱) طراحی طول دارای غلاف ۴۳
۳-۹-۱-۱) طراحی طول دارای غلاف به روش SLD ۴۴
۳-۹-۱-۲) طراحی طول دارای غلاف به روش LFD ۴۴
۳-۹-۲) طراحی طول بدون غلاف ۴۵
۳-۹-۲-۱) ظرفیت باربری طول غوطه‌ور در روش SLD ۴۵
۳-۹-۲-۲)نیروی فشاری و کششی مجاز در روش SLD ۴۵
۳-۹-۲-۳) ظرفیت باربری طول غوطه‌ور در روش LFD ۴۶
۳-۹-۲-۴)نیروی فشاری و کششی مجاز در روش LFD ۴۶
۳-۱۰)ظرفیت باندینگ بین گروت و فولاد ۴۶
۳-۱۱) طراحی طول غوطه‌ور ۴۷
۳-۱۲) سازگاری کرنشها بین اعضای سازه‌ای ۴۸
۳-۱۳) اتصالات غلاف و میلگرد در میکروپایل‌ها ۴۹
۳-۱۴) اتصال میکروپایل به پی ۴۹
۳-۱۵)پارامترهای دیگر سازه‌ای و ژئوتکنیکی ۵۳
۳-۱۵-۱)پیش بینی تغییر شکل محوری میکروپایل ۵۳
۳-۱۵-۲) نشست در اثر گذشت زمان(خزش) ۵۵

۳-۱۶)ظرفیت باربری جانبی ۵۵
۳-۱۷) پایداری جانبی(کمانش) ۵۶
۳-۱۸) تفسیر آزمایشات بارگذاری ۵۹

فصل چهارم : آزمایشات و تفسیر نتایج
۶۱
۴-۱) مقدمه ۶۱
۴-۲)مصالح ۶۲
۴-۳) وسایل و دستگاه‌های لازم ۶۳
۴-۳-۱) دستگاه بارگذاری ۶۳
۴-۳-۲)محفظهماسه ۶۳
۴-۳-۳) پی دایره‌ای ۶۴
۴-۴-۴) میکروپایل‌ها ۶۵
۴-۴) شیوه انجام آزمایشات ۶۶
۴-۵)نمودارها و تفسیر نتایج ۶۸
۴-۵-۱) نمودارهای نیر- نشست ۶۸
۴-۵-۲) مقایسه ظرفیت باربری ۷۷
۴-۵-۳) مقایسه ضریب شبکه‌ای میکروپایل‌ها ۸۱
۴-۵-۳-۱) مقایسه ضریب شبکه‌ای میکروپایل‌ها بر حسب تراکم ماسه ۸۲
۴-۵-۳-۲) مقایسه ضریب شبکه‌ای بر حسب تعداد میکروپایل‌ها ۸۵
۴-۵-۳-۳) مقایسه ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه میکروپایل‌ها ۸۸
۴-۶) نتایج ۹۴
۴-۷) پیشنهادات برای طرح‌های آینده ۹۵

فهرست اشکال

عنوان

صفحه

شکل (۲-۱): فرآیند تراکم دینامیکی ۱۲

شکل (۲-۲): طرح شماتیک روش تراکم انفجاری ۱۷

شکل (۳-۱): جزئیات یك میکروپایل مرکب مسلح ۴۳

شکل (۳-۲): کاهش ظرفیت انتقال طول فرو رفتگی دراثر افزایش بار ۴۷

شکل (۳-۳): اتصال میکروپایل به پی ۵۰

شکل (۳-۴): اتصال‌میکروپایل به‌پی ۵۰

شکل (۳-۵): اتصال‌میکروپایل به‌پی ۵۱

شکل (۳-۶): اتصال‌میکروپایل به‌پی ۵۱

شکل (۳-۷): اتصال‌میکروپایل به‌پی ۵۱

شکل (۳-۸): اتصال‌میکروپایل به‌پی ۵۱

شکل (۳-۹): اتصال‌میکروپایل به‌پی ۵۲

شکل (۳-۱۰): نمودار تخمین کمانش درمیکروپایل‌هاتحت بار محوری ۵۹

شکل (۳-۱۱): نتایج بارگذاری سیکلی برروی یك میکروپایل ۵۹

شکل (۴-۱): نمودار دانه‌بندی ماسه فیروزکوه ۶۲

شکل (۴-۲): دستگاه بارگذاری به همراه محفظه ماسه ۶۳

شکل (۴-۳): محفظه پر از ماسه با میکروپایل کارگذاشته شده بر روی میز ویبره ۶۴

شکل (۴-۴): نمونه‌های پی و میکروپایل اندود شده به ماسه ۶۵

شکل (۴-۵): روشهای مختلف بارگذاری در آزمایشات ۶۶

شکل (۴-۶): تصویر شماتیک اتساع ماسه متراکم و تاثیر آن بر باربری پی ۹۳

فهرست جداول

عنوان

صفحه

جدول (۲-۱): مقادیر K برای تعیین فواصل شبکه انفجاری ۱۸

جدول (۳-۱): آزمایشات ومقادیر بحرانی عناصر مهاجم درخاك ۳۴

جدول (۳-۲): حداقل ضخامت فولادمحافظ برحسبmm وطول عمرسرویس ۳۵

جدول (۳-۳): *مقادیر ضریب ϕ_G بر حسب نسبت بارهای مرده وزنده وزلزله* ۳۹

جدول (۳-۴): *ظرفیت باندینگ بین خاک وگروت برای طراحی میکروپایل‌هابر حسب روش اجرای گروت* ۴۱

جدول (۴-۱): مشخصات مکانیکی ماسه فیروزکوه ۶۲

فهرست نمودارها

عنوان

صفحه

نمودار (۴-۱): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل قائم در ماسه متراکم (mp-f-test) ۶۹

نمودار (۴-۲): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل قائم در ماسه متراکم(mp-test) ۷۰

نمودار (۴-۳): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل قائم در ماسه نیمه متراکم(mp-f-test) ۷۰

نمودار (۴-۴): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل قائم در ماسه نیمه متراکم(mp-test) ۷۰

نمودار (۴-۵): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل قائم در ماسه شل(mp-f-test) ۷۰

نمودار (۴-۶): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل قائم در ماسه شل(mp-test) ۷۰

نمودار (۴-۷): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل مایل در ماسه متراکم(mp-f-test) ۷۰

نمودار (۴-۸): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل مایل در ماسه متراکم(mp-test) ۷۱

نمودار (۴-۹): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل مایل در ماسه نیمه متراکم(mp-f-test) ۷۱

نمودار (۴-۱۰): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل مایل در ماسه نیمه متراکم(mp-test) ۷۱
نمودار (۴-۱۱): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل مایل در ماسه شل(mp-f-test) ۷۱
نمودار (۴-۱۲): نمودار نیرو نشست برای ۶ میکروپایل مایل در ماسه شل(mp-test) ۷۱
نمودار (۴-۱۳): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل قائم در ماسه متراکم(mp-f-test) ۷۱
نمودار (۴-۱۴): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل قائم در ماسه متراکم(mp-test) ۷۲
نمودار (۴-۱۵): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل قائم در ماسه نیمه متراکم(mp-f-test) ۷۲
نمودار (۴-۱۶): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل قائم در ماسه نیمه متراکم(mp-test) ۷۲
نمودار (۴-۱۷): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل قائم در ماسه شل(mp-f-test) ۷۲
نمودار (۴-۱۸): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل قائم در ماسه شل(mp-test) ۷۲
نمودار (۴-۱۹): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل مایل در ماسه متراکم(mp-f-test) ۷۲
نمودار (۴-۲۰): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل مایل در ماسه متراکم(mp-test) ۷۳
نمودار (۴-۲۱): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل مایل در ماسه نیمه متراکم(mp-f-test) ۷۳
نمودار (۴-۲۲): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل مایل در ماسه نیمه متراکم(mp-test) ۷۳
نمودار (۴-۲۳): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل مایل در ماسه شل(mp-f-test) ۷۳
نمودار (۴-۲۴): نمودار نیرو نشست برای ۸ میکروپایل مایل در ماسه شل(mp-test) ۷۳
نمودار (۴-۲۵): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل قائم در ماسه متراکم(mp-f-test) ۷۳
نمودار (۴-۲۶): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل قائم در ماسه متراکم(mp-test) ۷۴
نمودار (۴-۲۷): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل قائم در ماسه نیمه متراکم(mp-f-test) ۷۴
نمودار (۴-۲۸): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل قائم در ماسه نیمه متراکم(mp-test) ۷۴
نمودار (۴-۲۹): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل قائم در ماسه شل(mp-f-test) ۷۴
نمودار (۴-۳۰): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل قائم در ماسه شل(mp-test) ۷۴
نمودار (۴-۳۱) نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل مایل در ماسه متراکم(mp-f-test) ۷۴
نمودار (۴-۳۲): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل مایل در ماسه متراکم(mp-test) ۷۵
نمودار (۴-۳۳): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل مایل در ماسه نیمه متراکم(mp-f-test) ۷۵
نمودار (۴-۳۴): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل مایل در ماسه نیمه متراکم(mp-test) ۷۵

نمودار (۴-۳۵): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل مایل در ماسه شل(mp-f-test) ۷۵
نمودار (۴-۳۶): نمودار نیرو نشست برای ۱۰ میکروپایل مایل در ماسه شل(mp-test) ۷۵
نمودار (۴-۳۷): نمودار نیرو نشست برای پی در ماسه متراکم(f-test) ۷۵
نمودار (۴-۳۸): نمودار نیرو نشست برای پی در ماسه نیمه متراکم(f-test) ۷۶
نمودار (۴-۳۹): نمودار نیرو نشست برای پی در ماسه شل(f-test) ۷۶
نمودار (۴-۴۰): نمودار نیرو- نشست برای تعداد مختلف میکروپایل در ماسه متراکم(mp-f-test) ۷۷
نمودار (۴-۴۱): نمودار نیرو- نشست برای تعداد مختلف میکروپایل در ماسه متراکم(mp-test) ۷۸
نمودار (۴-۴۲): نمودار نیرو- نشست برای تعداد مختلف میکروپایل در ماسه نیمه متراکم(mp-f-test) ۷۸
نمودار (۴-۴۳): نمودار نیرو- نشست برای تعداد مختلف میکروپایل در ماسه نیمه متراکم(mp-test) ۷۹
نمودار (۴-۴۴): نمودار نیرو- نشست برای تعداد مختلف میکروپایل در ماسه شل(mp-f-test) ۷۹
نمودار (۴-۴۵) : نمودار نیرو- نشست برای تعداد مختلف میکروپایل در ماسه شل(mp-test) ۸۰
نمودار (۴-۴۶): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای ۶ میکروپایل قائم ۸۲
نمودار (۴-۴۷): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای ۶ میکروپایل مایل ۸۲
نمودار (۴-۴۸): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای ۸ میکروپایل قائم ۸۳
نمودار (۴-۴۹): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای ۸ میکروپایل مایل ۸۳
نمودار (۴-۵۰): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای ۱۰ میکروپایل قائم ۸۴
نمودار (۴-۵۱): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای ۱۰ میکروپایل مایل ۸۴
نمودار (۴-۵۲): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای تعداد مختلف میکروپایل قائم در ماسه شل ۸۵
نمودار (۴-۵۳): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای تعداد مختلف میکروپایل مایل در ماسه شل ۸۵
نمودار (۴-۵۴): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای تعداد مختلف میکروپایل قائم در ماسه با تراکم متوسط ۸۶
نمودار (۴-۵۵): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای تعداد مختلف میکروپایل مایل در ماسه با تراکم متوسط ۸۶
نمودار (۴-۵۶): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای تعداد مختلف میکروپایل قائم در ماسه متراکم ۸۷

نمودار (۴-۵۷): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب نشست برای تعداد مختلف میکروپایل مایل در ماسه متراکم ۸۷
نمودار (۴-۵۸): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه برای ۶ میکروپایل در ماسه شل ۸۸
نمودار (۴-۵۹): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه برای ۶ میکروپایل در ماسه با تراکم متوسط ۸۸
نمودار (۴-۶۰): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه برای ۶ میکروپایل در ماسه متراکم ۸۹
نمودار (۴-۶۱): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه برای ۸ میکروپایل در ماسه شل ۸۹
نمودار (۴-۶۲): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه برای ۸ میکروپایل در ماسه با تراکم متوسط ۹۰
نمودار (۴-۶۳): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه برای ۸ میکروپایل در ماسه متراکم ۹۰
نمودار (۴-۶۴): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه برای ۱۰ میکروپایل در ماسه شل ۹۱
نمودار (۴-۶۵): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه برای ۱۰ میکروپایل در ماسه با تراکم متوسط ۹۱
نمودار (۴-۶۶): نمودار تغییرات ضریب شبکه‌ای بر حسب زاویه برای ۱۰ میکروپایل در ماسه متراکم ۹۲

چکیده

روشهای مختلف بهسازی برای خاک‌ها و پی‌ها سالهاست که مورد مطالعه مهندسین برای بهسازی خاک قبل از اجرای سازه‌ها می‌باشد. میکروپایل نیز یکی از ساده‌ترین روشها برای افزایش باربری پی‌های ساخته شده می‌باشد. این عناصر همچنین برای مقاوم سازی پایه پل‌ها در مقابل نیروهای زلزله کاربرد فراوانی دارد، به گونه‌ای که کشور ژاپن یک آیین نامه برای آن تدوین کرده است. میکروپایل همچنین برای پی‌هایی که در کشش می‌باشد (مانند دکلهای برق) کاربرد فراوانی دارند. میکروپایل‌ها شمعهای درجا به قطر کمتر از ۳۰ cm بوده که توسط میلگردهای فولادی مسلح شده و اطراف آن به روشهای مختلفی گروت تزریق می‌شود. به دلیل قطر کم میکروپایل، مقاومت نوک آن ناچیز بوده و در نظر نمی‌گیرند. ظرفیت باربری میکروپایل در اثر اصطکاک گروت و خاک اطراف آن ایجاد می‌شود.

برای مقایسه تغییرات ظرفیت باربری، ضریبی به نام ضریب شبکه‌ای میکروپایل‌ها معرفی شده که برابر نسبت ظرفیت باربری پی به همراه میکروپایل به ظرفیت باربری میکروپایل و پی به صورت جدا از هم می‌باشد. در این تحقیق افزایش ظرفیت باربری پی‌ها همراه با میکروپایل در ابعاد آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. سه عامل تاثیر گذار که مورد مطالعه قرار گرفته شامل تراکم خاک، تعداد میکروپایل و زاویه نصب میکروپایل می‌باشد. برای تعیین ضریب شبکه‌ای، هر پی در سه حالت مختلف تحت بارگذاری محوری قائم (با نرخ ثابت تغییر مکان قائم) قرار گرفته و نمودار نیرو- نشست آن رسم شده است. نتایج نشان می‌دهد افزایش تراکم خاک و همچنین افزایش تعداد میکروپایل باعث افزایش ضریب شبکه‌ای شده و افزایش زاویه میکروپایل نسبت به امتداد قائم سبب کاهش آن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: میکروپایل، ظرفیت باربری، نشست، ضریب شبکه‌ای.

۱

فصل اول
کلیات

۱-۱ مقدمه

میکروپایل‌ها، شمعهای لوله‌ای هستند که توسط دستگاههای لوله کوب از نوع ضربه‌ای، ویبره الکتریکی، چرخشی و یا ترکیبی از این روشها در زمین کوبیده شده و به وسیله دستگاه تزریق، دوغاب سیمان با غلظت و فشار معین طی چند مرحله تزریق می‌گردد. بدین صورت در خاکهای دانه‌ای، دوغاب سیمان در حفرات و فضای خالی دانه‌های خاک نفوذ نموده و با ایجاد یک ناحیه سخت شده اطراف گمانه تزریق در شعاع مفروضی خواص خاک را بهبود می‌بخشد. در خاکهای ریز و چسبنده، تزریق تحت فشار دوغاب سیمان، سبب ایجاد ترکهای ریز در خاک شده که با نفوذ دوغاب در میان ذرات و ترکهای حاصله، اسکلتی به هم چسبیده و سخت از خاک و دوغاب شکل می‌گیرد.

به طور کلی ظرفیت باربری خاک تثبیت شده از طریق اجرای میکروپایل به دو روش قابل بهبود است: در روش اول، خود میکروپایل به عنوان یک عنصر باربر، قابلیت تحمل بارهای فشاری و کششی متناسب با ظرفیت خود را دارد. در روش دوم، توده‌ای از خاک که توسط مجموعه‌ای از میکروپایل‌های مجاور هم تحکیم شده و از سطح، تا عمق قابل توجهی که تحت تاثیر تنش‌های ناشی از بارگذاری قرار می‌گیرد، دارای خواص بهبود یافته مقاومتی و ژئوتکنیکی می‌باشد، به طوری که اختلاف مشخصات فنی آن با خاک اولیه محسوس است. نشست‌ها در این روش در حد کوچکی قابل کنترل می‌باشد، به گونه‌ای که کاربرد این روش به منظور جلوگیری از

نشست‌های غیر یکنواخت در سازه‌های حساس مورد توجه است.

میکروپایل‌ها در مواردی به کار می‌روند که زمین از مقاومت مکانیکی پایینی برخوردار است و میزان رس همراه لای امکان ایجاد فونداسیونی از نوع معمول و کلاسیک را نا ممکن سازد.

میکروپایل‌ها عمده کاربردی که دارند در ترمیم پی‌هایی است که از لحاظ باربری جوابگوی ظرفیت طراحی شده نبوده اند و لذا با نشستهای غیر قابل پیش بینی روبه رو شده‌اند. همچنین کاربرد عمده دیگر آنها در پی سازه‌هایی مانند دکلهای بلند آب یا برق می‌باشد. این سازه ها لنگر واژگونی بالایی دارند. همچنین در حالت بحرانی دکلهای برق (پاره شدن یا قطع شدن سیمهای متصل از یک طرف) نیروی جانبی بالایی به آن وارد می‌شود و با توجه به ابعاد کم پی در این سازه‌ها، پی نیازمند دوختن به زمین می‌باشد.

۱-۲ تحقیقات انجام شده در زمینه میکروپایل

تحقیق درمورد رفتار و نحوه طراحی میکروپایل در حقیقت از سال ۱۹۹۳ زمانی که دولت فرانسه یک موسسه تحقیقاتی با نام FOREVER[1] را تاسیس کرد شروع شد. این موسسه تحقیقاتی توسط دیگر مشاوران، پیمانکاران و موسسات تحقیقاتی نیز حمایت می‌شد. از جمله مهمترین حامیان این تحقیقات FHWA[2] بود که بخش اعظمی از سرمایه‌گذاری را انجام داد. نتیجه این تحقیقات در سال ۲۰۰۳ به زبان فرانسوی چاپ شد و به انگلیسی نیز ترجمه شد.

همچنین پس اززلزله ۱۹۹۵ در ژاپن موسسه تحقیقاتیJAMP[3] شروع به تحقیق درزمینه میکروپایل کرد ونتیجه را درسال ۲۰۰۲ به چاپ رسانید. این اسناد حاوی اطلاعات ارزشمندی در مورد طراحی میکروپایل به خصوص در زمینه طراحی لرزه‌ای میکروپایل‌هاست. در کتاب JAMP طراحی لرزه‌ای برای دونوع زمین لرزه ارائه شده‌است. زمین لرزه‌های سطح یک که در طول عمر سازه احتمال وقوع آنها زیاد است و در این نوع طراحی باید مطمئن شد که تنشها در حد مجازشان باقی می‌مانند. سطح دو زلزله‌هایی هستند که امکان وقوع آنها در طول عمر سازه کم است و دراین حالت

[1] Foundation Reforce’es Verticalement

[2] Federal HighWay Administration

[3] Japanese Association of high capacity Micro-Piles

JAMP جاری شدن پی ساختمان را مجاز می‌داند و ضریب سختی میکروپایل و میزان تغییر مکان آن را طوری طراحی می‌کند که به سازه امکان بازپخش نیروها داده شود.

آزمایشاتی که توسط ارتش آمریکا در مقیاس بزرگ بر روی یک گروه از میکروپایل‌ها انجام گرفت نتایج خوبی را در استفاده میکروپایل‌ها به صورت شبکه بدست آورد. در این تحقیق پارامتری برای مقایسه میکروپایل‌های قائم و مایل براساس کل طول و خمش اندازه‌گیری شده تحت بار وارده معرفی شده است. این پارامتر نسبت سختی شبکه (NSR[1]) می‌باشد.

۱-۳ روش تحقیق

در این پایان نامه بر روی نتایجی که از آزمایش بر روی میکروپایل‌ها در ابعاد آزمایشگاهی انجام می‌شود بحث خواهد شد. در آزمایشات ابتدا ظرفیت باربری پی به تنهایی و سپس میکروپایل به تنهایی اندازه‌گیری می‌شود. سپس ترکیب پی به همراه میکروپایل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و میزان باربری این پی مرکب با مجموع باربری دو مرحله قبل مقایسه می‌شود و از این مقایسه ضریب شبکه‌ای کردن برای میکروپایل به دست خواهد آمد. این پارامتر برای خاک با شرایط مختلف اندازه‌گیری و درنتیجه میزان تاثیر پارامترهای خاک بر ضریب شبکه‌ای میکروپایل‌ها بدست می‌آید. متغیرهایی که برای آزمایشات در نظر گرفته شده است تراکم خاک، تعداد میکروپایل نصب شده در هر پی و زاویه نصب میکروپایل نسبت به امتداد قائم می‌باشد. پس از انجام آزمایشات در مورد تاثیر هر یک از این پارامترها بر روی ضریب شبکه‌ای میکروپایل‌ها بحث خواهد شد.

۱-۴ اهداف پایان نامه

در مورد مقابله با پی‌های مسئله دار در کشور تحقیقاتی بر روی روشهای مختلف انجام شده است. ولی متاسفانه علی‌رغم اینکه میکروپایل‌ها سیستمهایی هستند که امروزه بیشترین کاربرد آنها در دنیا در همین زمینه می‌باشد در کشور ما در بحث تحقیقات مورد بی‌مهری قرار گرفته‌اند. هدف از این تحقیق نشان دادن توانایی و مزایای بالای میکروپایل‌ها نسبت به شمعهای سنتی می‌باشد ونیز کاربرد بالای این سیستم در بحث مقاوم سازی پی‌ها که بخشی از مقاوم سازی یک ساختمان است و بحث مهمی است که امروزه در کشور مطرح می‌باشد. ضریبی که در این تحقیق مورد بررسی قرار می-

[1] Network Stiffness Ratio

گیرد (ضریب شبکه‌ای میکروپایل) در حقیقت میزان موثر بودن میکروپایل را در خاک با شرایط مختلف مورد بررسی قرار می‌دهد. البته باید توجه داشت که این آزمایشات در ابعاد کوچک انجام شده‌است و در تعمیم آن به ابعاد واقعی باید با ملاحظه اظهار نظر کرد. ولی مطمئنا این نتایج ایده‌های خوبی را برای انجام آزمایشات در ابعاد واقعی ارائه می‌دهند.

۱-۵ خلاصه نتایج

هدف از این تحقیق، مشاهده میزان تاثیرگذاری پارامترهای مختلف بر روی ضریب شبکه ای میکروپایل ها می‌باشد. طبق تعریف ضریب شبکه‌ای میکروپایل عبارت است از نسبت ظرفیت باربری پی و میکروپایل به مجموع باربری پی و میکروپایل به صورت جداگانه. برای نیل به این هدف آزمایشاتی طراحی شده است که تاثیر پارامترهای مختلفی ازجمله تراکم خاک، تعداد میکروپایل در هر پی و زاویه نصب میکروپایل را بر روی این ضریب بررسی می‌کند. پس از انجام آزمایشات مشخص شد که بیشترین تاثیر بر روی ضریب شبکه‌ای کردن میکروپایل به تراکم خاک مربوط می‌شود به طوری که با افزایش تراکم خاک ضریب شبکه‌ای نیز افزایش می‌یابد. افزایش تعداد میکروپایل در یک پی نیز تاثیر مثبتی بر افزایش ضریب شبکه‌ای میکروپایل‌ها دارد ولی تاثیر آن کمتر از تاثیر تراکم خاک می‌باشد. زاویه نصب میکروپایل با ضریب شبکه‌ای رابطه‌ای معکوس است بطوریکه با افزایش زاویه میکروپایل نسبت به امتداد قائم ضریب شبکه‌ای کاهش می‌یابد.

ابتدا در فصل دوم مختصری از روشهای مختلف به کار رفته برای اصلاح خاک و پی ارائه خواهد شد. در این فصل بسیاری از روشها مانند تراکم انفجاری، تراکم دینامیکی، الکترواسمزی ، ژئوتکستایل‌ها و ... به طور خلاصه معرفی می‌شوند. در فصل سوم شرح کاملی از میکروپایل و روشهای طراحی و اجرای آن ارائه خواهد شد. این فصل شامل تعاریف مربوط به میکروپایل، تاریخچه و کاربردهای مختلف میکروپایل است. در انتهای این فصل نیز روابط مربوط به طراحی میکروپایل و نیز اتصال آن به پی‌های موجود ارائه می‌شود. در فصل چهارم و پنجم نیز در مورد آزمایشات و نتایج حاصل از آن بحث خواهد شد. در این فصل ابتدا شرح دستگاه‌ها و مصالح به کار رفته در آزمایشات معرفی شده است. سپس نحوه طراحی و انجام آزمایشات توضیح داده شده و در پایان نتایج به صورت نمودارهایی ارائه گشته و نتایج بر اساس این نمودارها تفسیر شده‌اند.

۲

فصل دوم

روشهای اصلاح خاکهای مسئله دار

۲-۱ مقدمه

امروزه به منظور بهبود و اصلاح خاک، روشهای متعددی در دسترس است. از جمله زهکشی، تراکم، پیش بارگذاری با یا بدون زهکش‌های عمودی، تثبیت با مواد افزودنی، انواع روشهای تزریق، اختلاط در عمق، تراکم در عمق، تراکم سطحی و مسلح سازی خاک. تعدادی از تکنیک‌ها نظیر زهکشی، تراکم، پیش فشردگی و بعضی از روشهای تزریق سالهاست که مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در زمینه تراکم در عمق (تراکم ارتعاشی، شمعهای تراکمی) و سیستم ستونهای سنگی در سالهای اخیر پیشرفتهای سریعی وجود داشته است. این روشها، راه حلهای عملی و اقتصادی برای بسیاری از پروژه‌های اصلاح خاک می‌باشند. بعضی از این روشها راه حلهای اقتصادی برای کاهش خطر زلزله می‌باشند. بسیاری از این روشها برای افزایش مقاومت در برابر روانگرایی خاکهای سست، اشباع و غیر چسبنده به کار برده شده‌اند. انتخاب مناسب ترین روش برای یک هدف خاص به فاکتورهایی نظیر نوع خاک، اهمیت بهبود و عمق و مساحت ناحیه بهسازی وابسته است. در این فصل انواع روشهای اصلاح و بهسازی خاک مانند تعویض خاک، مواد افزودنی، حرارت و انجماد، تراکم دینامیکی،زهکش‌ها،الکترواسمزی، تراکم انفجاری و ژئوسینتتیک‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲ تعویض خاک

تعویض خاک عبارت است از حفاری خاکی که لازم است اصلاح گردد و تعویض آن با یک خاک مناسب. گاهی مواقع خاک حفاری شده را می‌توان با کیفیت مطلوبی متراکم نمود یا با مواد افزودنی بهسازی و سپس با شیوه کنترل شده‌ای جایگزین نمود.

۲-۳ مواد افزودنی

۲-۳-۱ آهک

واکنش‌های تثبیت خاک با آهک بسیار طولانی‌تر از واکنش‌های مربوط به سیمان است، ولی در خاکهای متورم شونده که هدف اصلی بهسازی آن کاهش پتانسیل تورم است تثبیت خاک با آهک روش بسیار مناسبی می‌باشد. تثبیت خاکهای متورم شونده با آهک سه دلیل عمده دارد :

۱- یون قوی کلسیم موجود در آهک با یونی در سطح رس مثل سدیم یا پتاسیم مبادله شده و ظرفیت تبادل یونی کاهش می‌یابد.

۲- ضمن تثبیت بافت خاک به بافت پراکنده تغییر می‌یابد.

۳- مقداری از خاک متورم شونده با آهک جایگزین می‌گردد.

درصد آهک لازم با انجام آزمایش تعیین می‌گردد.برخی حدود آن را ۲ تا ۸ درصد و گروهی ۵ تا ۷ درصد ذکر کرده‌اند. اگر یون موجود در سطح رس یون آمونیوم باشد، جایگزینی یون کلسیم آهک با آمونیوم به سختی انجام می‌گیرد. لذا در این حالت ممکن است به ۱۰ الی ۱۵ درصد آهک نیاز باشد. اختلاط با آهک تا عمق یک متری قابل اجرا است ولی معمولا به عمق ۱۵ سانتیمتری محدود می‌گردد. البته در صورت استفاده از تزریق آب آهک می‌توان اعماق بیشتری را تثبیت نمود.

۲-۳-۲ سیمان

این اعتقاد وجود دارد که تبادل یونی و واکنش‌های سیمانتاسیون در تثبیت خاک با سیمان پرتلند مشابه مخلوط خاک و آهک است. البته در واکنشها تشابه بسیاری است ولی انقباض خاک تثبیت شده با سیمان حدود ۲۵ الی ۵۰ درصد کمتر از خاک تثبیت شده با آهک است. از لحاظ اجرایی اختلاط سیمان یا آهک با خاک مشابه است ولی اختلاط سیمان در خاکهای ریزدانه مشکل‌تر است و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. استفاده از سیمان در خاکهای رسی و آلی تقریبا بی نتیجه است و از سیمان برای تثبیت خاکهای دانه‌ای استفاده می‌شود. معمولا افزودن ۲ تا ۴ درصد سیمان به خاک موجب کاهش زیاد حد روانی، نشانه خمیری و پتانسیل تورم خاک می‌گردد. (Mitchel,1983)

۲-۴ حرارت و انجماد

هر دو روش حرارت دادن و انجماد را می‌توان برای اصلاح خاک مورد استفاده قرار داد. گرم کردن خاکهای ریزدانه با حرارت متوسط ۱۰۰ درجه سانتیگراد، در صورتی که از مرطوب شدن دوباره آن جلوگیری شود می‌تواند سبب خشک شدن و افزایش مقاومت خاک گردد. گرم کردن خاک با درجه حرارتی بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد می‌تواند خواص خاک را به صورت ثابت اصلاح نماید، که شامل کاهش حساسیت نسبت به جذب آب، جلوگیری از تورم و تراکم پذیری و افزایش مقاومت می‌باشد. با توجه به اینکه خاک منجمد شده، مقاوم‌تر و نفوذ ناپذیرتر از خاک معمولی است، انجماد مصنوعی خاک برای تقویت و پشتیبانی موقت خاک کاربردی است. یکی از موارد عملی استفاده از روش انجماد، استفاده از آن برای پشتیبانی از حفاری‌های روباز است.

۲-۴-۱ اصلاح خاک به روش حرارتی

این روش در شوروی سابق و کشورهای اروپای شرقی، برای پایدار نمودن خاکها و بهبود شرایط خاک زیر سازه و ساخت شمعهای درجا و کاهش فشار جانبی در دیوارهای حائل و سازه‌های مدفون با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش از دو روش احتراق و هیترهای الکتریکی به عنوان منبع حرارت استفاده می‌شود. تحقیقاتی نیز برای استفاده از امواج مایکرو ویو و لیزر برای اصلاح خاک انجام شده است که در مرحله آزمایشی متوقف شده اند. بیشتر کاربردهای موفقیت آمیز این روش در مورد خاکهای ریزدانه اشباع بوده است. در بعضی موارد عملیات حرارتی توأم با

تزریق، ترکیبات پایدار کننده‌ای ایجاد می‌کند. استفاده از این روش برای اصلاح خاکهای ریزدانه اشباع، یک روش مقرون به صرفه در کشورهای نفت خیز می‌باشد. استفاده از این روش عموما کم هزینه تر از استفاده شمع با پی صندوقه‌ای تا عمق ۱۲ متر است. مهمترین عامل محدود کننده این روش بهای سوخت است.

۲-۴-۱-۱ روشهای عملی تثبیت خاک در عمق به روش حرارتی

در روشی که در سال ۱۹۶۰ ارائه شده است، یک منبع حرارتی داخل یک گودال سرپوشده جایگذاری می‌شود و هوای فشرده و سوخت، تحت فشار تزریق شده و انفجار ایجاد شده باعث تولید حرارت می‌شود. حرارت تولید شده با این روش قابل کنترل می‌باشد. فشار هوا و سوخت به صورت موضعی ۲۵ تا ۵۰ درصد بیشتر از فشار اتمسفر است. حرارت تولید شده باید در دمایی کمتر از دمای ذوب خاک حفظ شود تا از ذوب و بلوکه شدن و متخلخل شدن خاک جلوگیری شود. این روش روبسته می‌باشد. اگر عملیات تولید حرارت در فشار جو صورت گیرد، حجم و عمق کمی از خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. حرارت تولید شده در این روش بین ۸۰۰ تا ۲۸۰۰ درجه سانتیگراد است و نسبت هوا به سوخت بین ۳/۵ تا ۱ می‌تواند باشد. با این روش می‌توان ستون خاکی با قطر ۱/۵ تا ۲/۵ متر و عمق ۸ الی ۱۰ متر را در مدت زمان ۸ الی ۱۰ روز اصلاح نمود. این روش روباز می‌باشد. اخیرا نحوه تثبیت خاک با این روش تصحیح شده است. امروزه اصلاح خاک با استفاده از هوای تحت فشار حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلو پاسکال انجام می‌گیرد و شعله می‌تواند در عمق گودال قرار گیرد و فرایند تثبیت از عمق گودال به سمت بالا انجام گیرد. به دلیل وجود فشار هوا، نفوذپذیری سوخت ۳ تا ۵ برابر شده و عمق تأثیر حرارت به بیش از ۲۰ متر افزایش می‌یابد. استفاده از هیترهای الکتریکی به جای شعله، یک روش دیگر برای گرم کردن خاک است. در این روش هوای فشرده از میان گرمکن‌های الکتریکی در بالای گودال دمیده می‌شود. حرارت ایجاد شده حدود ۵۰۰ تا ۱۲۰۰درجه سانتیگراد است. در یک روش دیگر، هیترهای الکتریکی در داخل خاک جایگذاری شده و انتقال حرارت از تماس مستقیم خاک با هیتر صورت می‌گیرد. در این روش خاک اطراف هیتر در اثر حرارت زیاد به صورت یکپارچه درآمده که می‌توان از آن به عنوان یک عضو سازه‌ای استفاده کرد.

تأثیرات حرارت روی خاکهای سست به خصوصیات ذاتی خاک مربوط است. نتایج به دست آمده از بعضی سایتها نشان می‌دهد که استفاده از این روش زاویه اصطکاک داخلی خاک را تا دو برابر افزایش می‌دهد، چسبندگی خاک را افزایش داده و تراکم پذیری خاک کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده در هر مورد به شدت به شرایط اولیه خاک و مقدار حرارت اعمال شده وابسته است. (Mitchel,1983)

۲-۴-۱-۲ بررسی مسائل اقتصادی

اگرچه استفاده از روشهای حرارتی در شوروی سابق و در بعضی از کشورهای دیگر یک روش اقتصادی برای تثبیت خاک بوده است، ولی کاربرد آن در سایر نقاط جهان در مقایسه با سایر روشهای اصلاح خاک و سیستم فونداسیونها به لحاظ اقتصادی مورد تردید است. رابطه(۲-۱) برای به دست آوردن میزان سوخت لازم در واحد حجم خاک ارائه شده است.

$$F = \frac{100(6.4W\gamma_d + 0.25T\gamma_d)}{EC_t} \qquad (۱-۲)$$

در رابطه(۲-۱) W درصد رطوبت، γ_d وزن مخصوص خشک خاک، T درجه حرارت مورد نیاز و C_t ظرفیت گرمایی واحد سوخت (روباز ۳۵٪ وبسته ۷۰٪) می‌باشد.

برای حد اقل کردن هزینه سوخت فاصله گودالها را می‌توان از رابطه (۲-۲) محاسبه کرد.

$$D = \frac{2\sqrt{D_c}}{\sqrt{\pi F H_c}} \qquad (۲-۲)$$

در رابطه بالا D فاصله گودالها، D_C هزینه حفاری بر واحد طول، H_C هزینه وزن واحد سوخت و F میزان سوخت لازم در واحد حجم خاک می‌باشد.

۲-۴-۲ انجماد خاک

انجماد مصنوعی زمین به منظور نگهداری از حفاری‌ها وکنترل نشست بطور موقتی می‌تواند مفید باشد. به خصوص برای زمینهای نرم و اشباع در حفاری‌های عمیق‌تر از ۸ متر و یا حفاری‌های زیر سطح اشباع می‌تواند به کار برده شود. عوامل مؤثر برای اطمینان از موفقیت اصلاح خاک به روش انجماد شامل موارد زیر است :