دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - خاک و پی

موضوع:

ریزپهنه‌بندی خطر روانگرایی شهر بابل با استفاده از نتایج آزمایش درون گمانه ای

استاد راهنما:
دکتر عسکر جانعلیزاده

نگارش:
علیرضا رستمیان دلاور

بهمن ۱۳۹۲

چکیده

استفاده از سرعت موج برشی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک به این دلیل حائز اهمیت است که تحقیقات مختلف ثابت کرده‌اند عواملی (مانند تنش محفظه‌ای موثر، نسبت تخلخل، تاریخچه تنش و کرنش، خصوصیات دانه‌بندی و ...) که بر مقاومت روانگرایی تأثیر می‌گذارند، بر سرعت موج برشی هم در همان جهت اثرگذارند. لذا انگیزه لازم برای بررسی رابطه بین سرعت موج برشی و مقاومت روانگرایی ایجاد می‌شود، بخصوص در مکان‌هایی که امکان استفاده از روش‌های بر پایه نفوذ وجود ندارد، مانند خاک های درشت‌دانه بسیار متراکم و یا به ارزیابی سریع پتانسیل روانگرایی خاک در محدوده وسیع نیاز است.

روشی که در این پژوهش مورد بررسی قرارگرفته، بر پایه اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری سرعت موج برشی در محل بوده که توسط اندروس و استوک (۱۹۹۷) بنیان نهاده شد و در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ مورد بازبینی و بهبود قرار گرفت. اعتبار این روش از اطلاعات قابل‌اطمینان صحرایی (بررسی تاریخچه ۲۶ زلزله و اندازه‌گیری سرعت موج برشی در بیش از ۷۰ منطقه مختلف جهان) و مورد تأیید بودن آن در تحقیقات وسیع بعدی گرفته شده است. در این تحقیق، ضمن بررسی این روش که در مقایسه با روشهای بر پایه نفوذ از دقت قابل قبولی برخوردار است، به ارزیابی اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری های میدانی سرعت موج برشی ۳۵ گمانه در شهرستان بابل، در راستای پروژه ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای این منطقه پرداخته شده است.

بر اساس مطالعات ژئوتکنیکی و نتایج حاصل از آن، لایه‌های زیرین این منطقه از خاک‌های سست لای و ماسه تشکیل‌شده که طبق محاسبات میزان پتانسیل روانگرایی بر حسب سرعت موج برشی، برای نسبت شتاب بیشینه ۰/۳ و بزرگای زلزله‌ای برابر با ۷/۵، موارد متعددی از روانگرایی در اعماق گستره مورد بررسی مشاهده می‌شود. همچنین نقشه‌های ریزپهنه‌بندی استعداد روانگرایی و بروز آثار روانگرایی در سطح، برای استفاده در احداث انواع سازه‌های مهندسی و بررسی در آیین‌نامه‌ها، بعنوان نتیجه نهایی این پژوهش تهیه گردیده است.

کلمات کلیدی: سرعت موج برشی، ارزیابی روانگرایی، مقاومت روانگرایی، روش‌های بر پایه نفوذ.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱. مقدمه ۲
۱-۱-۱. مختصری درباره پدیده روانگرایی ۳
۱-۱-۲. استفاده از سرعت موج برشی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی ۴
۱-۲. خلاصه کارهای انجام شده در این پژوهش ۶
۱-۳. اهداف پژوهش ۷

فصل دوم: بررسی ادبیات موضوع

۲-۱. مروری بر مطالعات کلی روانگرایی ۹
۲-۱-۱. مقدمه ۹
۲-۱-۲. تأثیر زمین بر واکنش سازه در زمان زلزله ۱۳
۲-۱-۳. دلایل روانگرایی در خاک ۱۳
۲-۱-۴. گسیختگی زمین در اثر پدیده روانگرایی و اثرات آن در سازه‌ها ۱۵
۲-۱-۴-۱. گسترش جانبی ۱۵
۲-۱-۴-۲. گسیختگی سیلانی ۱۶
۲-۱-۴-۳. کاهش باربری ۱۶
۲-۱-۴-۴. فرونشست ۱۷
۲-۱-۵. پدیده‌های حاصل از روانگرایی ۱۷
۲-۱-۵-۱. روانگرایی جریانی ۱۷
۲-۱-۵-۲. تحرک دوره ای ۱۸
۲-۱-۶. تأثیر پارامترهای مختلف بر قابلیت روانگرایی خاک ۱۸
۲-۱-۶-۱. مفهوم نسبت تخلخل بحرانی ۱۸
۲-۱-۶-۲. تأثیر تراکم نسبی اولیه ۲۱
۲-۱-۶-۳. تأثیر فشار محدود کننده ۲۱

۲-۱-۶-۴. تأثیر حداکثر تنش انحرافی تناوبی ۲۲
۲-۱-۶-۵. تأثیر نسبت پیش تحکیمی ۲۳
۲-۱-۷. روش‌های ارزیابی پتانسیل روانگرایی ۲۴
۲-۱-۷-۱. مراحل اساسی ارزیابی پتانسیل روانگرایی ۲۴
۲-۱-۷-۱-۱. مرحله اول ۲۴
۲-۱-۷-۱-۱-۱. روش ساده شده تعیین تنش های ایجاد شده توسط زلزله ۲۵
۲-۱-۷-۱-۲. مرحله دوم ۲۸
۲-۱-۷-۱-۲-۱. روش های ارزیابی مقاومت روانگرایی مبتنی بر آزمون های آزمایشگاهی..... ۲۸
۲-۱-۷-۱-۲-۱-۱.آزمایش برش ساده تناوبی ۲۹
۲-۱-۷-۱-۲-۱-۲.آزمایش سه محوری دینامیکی ۳۰
۲-۱-۷-۱-۲-۲. روش های ارزیابی پتانسیل روانگرایی مبتنی بر آزمایشات محلی..... ۳۲
۲-۱-۷-۱-۲-۲-۱.ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از آزمایش نفوذ استاندارد ۳۲
۲-۱-۷-۱-۲-۲-۲.ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از آزمایش نفوذ مخروط ۳۵
۲-۱-۷-۱-۳. مرحله سوم ۳۸
۲-۲. موارد استفاده از سرعت موج برشی ۳۸
۲-۲-۱. تعیین نوع بافت منطقه ۳۸
۲-۲-۲. محاسبه میزان گسترش جانبی ۴۰
۲-۲-۳. تعیین پتانسیل روانگرایی لایه های خاک ۴۲
۲-۳. مروری بر مطالعات روش سرعت موج برشی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی ۴۲
۲-۳-۱. مروری بر مطالعات گذشته ۴۷
۲-۳-۱-۱. روش‌های مبتنی بر مطالعات تحلیلی ۴۷
۲-۳-۱-۲. روش‌های مبتنی بر مطالعات آزمایشگاهی ۵۰
۲-۳-۱-۲-۱. رابطه توکیماتسو و یوچیدا ۵۰
۲-۳-۱-۳. روش‌های مبتنی بر مطالعات صحرایی ۵۱
۲-۳-۱-۳-۱. رابطه رابرتسون و همکاران ۵۲
۲-۳-۱-۳-۲. رابطه کاین و همکاران ۵۳
۲-۳-۱-۳-۳. رابطه لودژ ۵۳
۲-۳-۱-۳-۴. رابطه اندروس و استوک ۵۴

۲-۴. ریز پهنه بندی ۵۷
۲-۴-۱. درجات پهنه بندی ۵۹
۲-۴-۱-۱. پهنه بندی درجه یک:پهنه بندی کلی ۵۹
۲-۴-۱-۲. پهنه بندی درجه دو:پهنه بندی جزئی ۶۰
۲-۴-۱-۳. پهنه بندی درجه سه:پهنه بندی دقیق ۶۰

فصل سوم: استفاده از سرعت موج برشی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی

۳-۱. مقدمه ۶۳
۳-۲. انواع روش‌های محاسبه سرعت موج برشی ۶۳
۳-۲-۱. اندازه‌گیری سرعت موج برشی با استفاده از آزمون های آزمایشگاهی ۶۴
۳-۲-۱-۱. آزمایش زمان طی مسیر ۶۴
۳-۲-۱-۲. آزمایش ستون تشدید ۶۵
۳-۲-۱-۳. آزمایش المان خمشی ۶۶
۳-۲-۲. اندازه‌گیری سرعت موج برشی با استفاده از روش‌های صحرایی ۶۶
۳-۲-۲-۱. آزمایش انکسار لرزه‌ای ۶۹
۳-۲-۲-۲. آزمایش بین گمانه‌ای ۷۰
۳-۲-۲-۳. آزمایشات درون گمانه‌ای و برون گمانه‌ای ۷۲
۳-۲-۲-۴. آزمایش امواج سطحی پایدار ۷۳
۳-۲-۲-۵. آزمایش پردازش طیفی امواج سطحی ۷۴
۳-۲-۲-۶. آزمایش ثبت معلق ۷۶
۳-۲-۲-۷. آزمایش نفوذ مخروط لرزه‌ای ۷۷
۳-۲-۳. پارامترهای محاسبه شده در روش‌های ژئوفیزیک ۷۸
۳-۲-۳-۱. سرعت موج برشی ۷۹
۳-۲-۳-۲. سختی برشی ۷۹
۳-۲-۳-۳. سختی برشی بیشینه ۸۰
۳-۲-۳-۴. نسبت میرایی ۸۰
۳-۲-۳-۵. نسبت پواسون ۸۰
۳-۳. ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی ۸۱

۳-۳-۱. محاسبه نسبت تنش ایجاد شده توسط زلزله ۸۱
۳-۳-۱-۱. شتاب افقی بیشینه در سطح زمین ۸۲
۳-۳-۱-۲. تنش سربار کلی و موثر ۸۳
۳-۳-۱-۳. ضریب کاهش تنش ۸۴
۳-۳-۲. محاسبه نسبت مقاومت روانگرایی خاک ۸۵
۳-۳-۲-۱. سرعت موج برشی اصلاح شده بر حسب تنش ۸۷
۳-۳-۲-۲. حد بالای سرعت موج برشی برای وقوع روانگرایی ۸۸
۳-۳-۲-۳. ضرایب تصحیح در اثر سن توده خاک ۹۰
۳-۳-۲-۴. ضریب تصحیح بزرگای زلزله ۹۱
۳-۳-۳. محاسبه ضریب اطمینان ۹۵
۳-۴. ارزیابی بروز اثرات روانگرایی در سطح ۹۶
۳-۴-۱. شاخص پتانسیل روانگرایی ایواساکی ۹۷

فصل چهارم: مدل‌سازی و تحلیل نتایج

۴-۱. مقدمه ۹۹
۴-۲. ریزپهنه بندی استعداد روانگرایی شهر بابل ۹۹
۴-۲-۱. مراحل گام به گام ریزپهنه بندی استعداد روانگرایی ۱۰۰
۴-۲-۲. موقعیت جغرافیایی ۱۰۱
۴-۲-۳. زمین شناسی گستره طرح ۱۰۱
۴-۲-۴. لرزه خیزی گستره طرح ۱۰۴
۴-۲-۵. وضعیت آب‌های زیرزمینی ۱۰۵
۴-۲-۶. کاوش های ژئوفیزیکی ۱۰۶
۴-۲-۷. کاوش های ژئوتکنیکی ۱۱۲
۴-۲-۸. محاسبه استعداد روانگرایی شهر بابل ۱۱۵
۴-۲-۸-۱. گمانه های با استعداد کم روانگرایی ۱۱۷
۴-۲-۸-۲. گمانه های با استعداد متوسط روانگرایی ۱۲۰
۴-۲-۸-۳. گمانه های با استعداد زیاد روانگرایی ۱۲۳

۴-۲-۹. آشنایی با نرم افزار محاسبه پتانسیل روانگرایی ۱۲۶
۴-۲-۱۰. ریزپهنه بندی استعداد روانگرایی شهر بابل بر حسب ضریب اطمینان ۱۲۸
۴-۲-۱۱. ریزپهنه بندی استعداد روانگرایی شهر بابل بر حسب بروز در سطح ۱۳۱

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱. کلیات ۱۳۴
۵-۲. نتییجه گیری ۱۳۵
۵-۳. پیشنهادات ۱۳۶

منابع و مراجع ۱۳۸
پیوست «الف» ۱۴۷
پیوست «ب» ۲۰۸

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱. شماتیکی از آرایش ذرات ماسه در خاکهای ماسه ای اشباع ۱۰

شکل ۲-۲. آثار روانگرایی خاک طی زلزله نیگاتای ژاپن (۱۹۶۴) ۱۱

شکل ۲-۳. آثار روانگرایی خاک طی زلزله آلاسکای آمریکا (۱۹۶۴) ۱۱

شکل ۲-۴. آثار روانگرایی خاک طی زلزله منجیل ایران (۱۳۶۹) ۱۲

شکل ۲-۵. نمونه ای از گسیختگی جانبی ۱۵

شکل ۲-۶. رابطه فشار محفظه ای بحرانی- نسبت تخلخل برای ماسه رودخانه ساکرامنتو ۲۰

شکل ۲-۷. تاثیر تراکم نسبی اولیه بر روانگرایی ماسه رودخانه ساکرامنتو ۲۱

شکل ۲-۸. تاثیر فشار محدودکننده بر روانگرایی ماسه رودخانه ساکرامنتو ۲۲

شکل ۲-۹. تاثیر تنش تناوبی بر روانگرایی ماسه رودخانه ساکرامنتو ۲۳

شکل ۲-۱۰. تاثیر نسبت پیش تحکیمی تنشهای تولید کننده روانگرایی در آزمایشات برش ساده تناوبی ۲۴

شکل ۲-۱۱. تعیین تنش برشی بیشینه (τ_{max}) و ضریب کاهش تنش (r_d) ۲۵

شکل ۲-۱۲. رابطه بین ضریب کاهش تنش (r_d) و عمق ۲۶

شکل ۲-۱۳. رابطه بین ضریب کاهش تنش (r_d) و عمق ۲۸

شکل ۲-۱۴. رابطه بین تنش برشی تناوبی و تعداد سیکل در آزمایش برش ساده ۳۰

شکل ۲-۱۵. شماتیکی از لوله آزمایش SPT ۳۲

شکل ۲-۱۶. منحنی های مقاومت روانگرایی- تعداد ضربه بر حسب میزان ریزدانه ۳۴

شکل ۲-۱۷. شماتیکی از دستگاه آزمایش نفوذ مخروط (CPT) ۳۵

شکل ۲-۱۸. رابطه مقاومت نفوذ اصلاح شده با نسبت مقاومت روانگرایی ۳۶

شکل ۲-۱۹. روانگرایی خاک و پدیده گسترش جانبی در زمینی (الف) با وجه آزاد و (ب) بدون وجه آزاد ۴۰

شکل ۲-۲۰. رابطه بین کرنش برشی حداکثر و عدد نفوذ استاندارد و سرعت موج برشی ۴۲

شکل ۲-۲۱. بررسی پتانسیل روانگرایی با استفاده از V_s (زلزله لوماپریتا، ۱۹۸۹) ۴۶

شکل ۲-۲۲. بررسی پتانسیل روانگرایی با استفاده از V_s (زلزله بوراه، ۱۹۸۳) ۴۶

شکل ۲-۲۳. مدل خاک مورد استفاده توسط استوک و همکاران (۱۹۸۸) ۴۸
شکل ۲-۲۴. منحنی های ارزیابی روانگرایی استوک و همکاران بر اساس رابطه V_s و a_{max} برای تعداد سیکل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ..... ۴۹
شکل ۲-۲۵. مقاومت روانگرایی با توجه به زلزله هایی با بزرگای ۷/۵ بر اساس مطالعات رابرتسون و همکارانش ۵۲
شکل ۲-۲۶. مقاومت روانگرایی با توجه به زلزله هایی با بزرگای ۷ بر اساس مطالعات کاین و همکارانش (۱۹۹۲) ... ۵۳
شکل ۲-۲۷. مقاومت روانگرایی با توجه به زلزله هایی با بزرگای ۷ بر اساس مطالعات لودژ (۱۹۹۴) ۵۴
شکل ۲-۲۸. مقاومت روانگرایی با توجه به زلزله هایی با بزرگای ۷/۵ بر اساس مطالعات اندروس و استوک (۱۹۹۷) ۵۶
شکل ۲-۲۹. مقایسه هفت منحنی بر اساس رابطه بین مقاومت برشی و سرعت موج برشی اصلاح شده ۵۶
شکل ۳-۱. روشهای تولید امواج ضربه ای، (الف) امواج سطحی با کنترل فرکانس ، (ب) ضربه افقی، (پ) انفجار سطحی، (ت) ضربه قائم ۶۷
شکل ۳-۲. آزمایش انکسار لرزه ای و نحوه محاسبه سرعت موج طولی(فشاری) ۷۰
شکل ۳-۳. نمایی از آزمایش بین گمانه ای ۷۲
شکل ۳-۴. نمایی از آزمایشات (الف) درون گمانه ای و (ب) برون گمانه ای ۷۲
شکل ۳-۵. نمایی از آزمایش امواج سطحی پایدار ۷۴
شکل ۳-۶. نمایی از آزمایش پردازش طیفی امواج سطحی ۷۵
شکل ۳-۷. آزمایش ثبت معلق PS ۷۷
شکل ۳-۸. آزمایش نفوذ مخروط لرزه ای ۷۸
شکل ۳-۹. تعیین تنش برشی بیشینه (τ_{max}) و ضریب کاهش تنش (r_d) ۸۴
شکل ۳-۱۰. منحنی های مقاومت روانگرایی توسط اندروس و استوک (۲۰۰۰) با استفاده از اطلاعات زلزله هایی با بزرگای ۷/۵ ..... ۸۶
شکل ۳-۱۱. روش پیشنهادی اندروس و استوک (۲۰۰۰) برای محاسبه k_{a1} در محل ۹۱
شکل ۳-۱۲. نحوه محاسبه ضرایب مقیاس بزرگی توسط اندروس و استوک (۱۹۹۷) ۹۳
شکل ۳-۱۳. ضرایب مقیاس بزرگی حاصل مطالعات محققین مختلف ۹۴
شکل ۴-۱. مرز نهشته‌های مخروط افکنه‌ای و دشت ساحلی در محدوده شهر بابل ۱۰۲
شکل ۴-۲. مسیر قبلی رودخانه بابلرود (سمت راست) و مسیر کنونی (سمت چپ) ۱۰۳

شکل ۴-۳. گسل های اطراف شهرستان بابل ۱۰۵
شکل ۴-۴. نقشه سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر بابل ۱۰۶
شکل ۴-۵: موقعیت گمانه‌های مورد مطالعه در گستره شهر بابل ۱۰۹
شکل ۴-۶. طرح کلی مطالعات لرزه‌ای درون گمانه‌ای، الف و ب) موج S، ج) موج P ۱۱۰
شکل ۴-۷. نگاشت بدست آمده از موج تراکمی P در گمانه BH1 ..... ۱۱۰
شکل ۴-۸. نگاشت بدست آمده از موج برشی S در گمانه BH1 ..... ۱۱۱
شکل ۴-۹. تغییرات سرعت موج طولی و برشی با عمق در گمانه BH1 ..... ۱۱۱
شکل ۴-۱۰. نتایج کاوش های ژئوتکنیکی، لوگ گمانه ۵ (۱۵ متر اول) ۱۱۳
شکل ۴-۱۱. نتایج کاوش های ژئوتکنیکی، لوگ گمانه ۵ (۱۵ متر دوم) ۱۱۴
شکل ۴-۱۲. داده های ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی لایه های مختلف خاک در گمانه ۷ ..... ۱۱۸
شکل ۴-۱۳. ارزیابی پتانسیل روانگرایی لایه های مختلف خاک در گمانه ۷ ..... ۱۱۹
شکل ۴-۱۴. داده های ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی لایه های مختلف خاک در گمانه ۸ ..... ۱۲۱
شکل ۴-۱۵. ارزیابی پتانسیل روانگرایی لایه های مختلف خاک در گمانه ۸ ..... ۱۲۲
شکل ۴-۱۶. داده های ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی لایه های مختلف خاک در گمانه ۱۳ ..... ۱۲۴
شکل ۴-۱۷. ارزیابی پتانسیل روانگرایی لایه های مختلف خاک در گمانه ۱۳ ..... ۱۲۵
شکل ۴-۱۸. ساختار پردازش و خروجی داده ها در نرم افزار تهیه شده ۱۲۷
شکل ۴-۱۹. نقشه ریزپهنه بندی استعداد روانگرایی شهر بابل با استفاده از سرعت موج برشی در عمق ۲ متری ۱۳۰
شکل ۴-۲۰. نقشه ریزپهنه بندی بروز آثار روانگرایی در سطح شهر بابل با استفاده از سرعت موج برشی ۱۳۲

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱. تعداد سیکلهای قابل توجه تنش (N) مربوط به τ_{av} ۲۷

جدول ۲-۲. تقسیم بندی انواع ساختگاه ها از نظر نوع خاک و سنگ بر اساس آیین نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) ۳۹

جدول ۲-۳. تقسیم بندی انواع ساختگاه‌ها از نظر نوع خاک و سنگ بر اساس آیین نامه NEHRP ۳۹

جدول ۲-۴. پارامترهای موثر بر مقاومت روانگرایی و سرعت موج برشی ۴۳

جدول ۲-۵. مزایا و معایب آزمایشات صحرایی مختلف برای ارزیابی پتانسیل روانگرایی ۴۴

جدول ۲-۶ : درجات مختلف پهنه بندی ۵۸

جدول ۳-۱. حد پایین تخمین K_{a2} بر پایه مطالعات آرانگو و همکاران (۲۰۰۰) ۹۲

جدول ۳-۲. مقادیر MSF پیشنهاد شده توسط چندین محقق ۹۵

فصل اول:

کلیات

۱-۱. مقدمه

یکی از مهمترین عوامل خرابی ساختمان ها و به طور کلی سازه‌ها در حین زلزله در نقاطی که بر روی آبرفت‌های سست و اشباع قرارگرفته‌اند، وقوع پدیده روانگرایی در خاک‌های ماسه‌ای اشباع می‌باشد. در این‌گونه مناطق معمولاً تنش‌های زلزله موجب بالا رفتن فشار آب منفذی و در نتیجه کاهش و از دست رفتن مقاومت خاک می‌گردد که در نهایت منجر به این امر می شود که خاک حالت روان به خود بگیرد. این پدیده به صورت نشست قابل توجه در سطح زمین، ایجاد ترک و بازشدگی در سطح زمین، فوران گل و آب، جوشش ماسه و تراوش آب از خلل و فرج موجود سطح زمین خود را نشان می‌دهد. بروز این پدیده ممکن است سبب نشست ساختمان‌ها گشته و یا بالعکس سازه‌های سبک درون زمین مثل مخازن را در سطح زمین شناور سازد [۱].

بررسی و تحقیق بر روی پدیده روانگرایی از دو زمین‌لرزهٔ نیگاتا[1] (ژاپن) و آلاسکا[2] (آمریکا) در سال ۱۹۶۴ به طور جدی آغاز گردید. زمین‌لرزه نیگاتا (ژاپن) در سال ۱۹۶۴ با بزرگای ۷/۵، سبب خرابی‌های زیادی در اثر وقوع روانگرایی گردید. با کاهش شدید مقاومت خاک حاصل از به وجود آمدن پدیدهٔ روانگرایی، ساختمان های چهار طبقهٔ مجتمع آپارتمان‌های کاواگیشیکو[3] نشست‌های نابرابر کرده و کج شدند. جابجایی و جدایش جانبی زمین تا عمق ۱۰ متر سبب جابجایی در ساختمان‌ها، تخریب شریان‌های حیاتی (لوله‌های آب، گاز و ...) یا گسیختگی پل‌ها گردید. در همان سال زمین لرزهٔ بزرگ دیگری در آلاسکا (آمریکا) با بزرگای ۹/۲ به وقوع پیوست که با آثاری مشابه زمین‌لرزهٔ نیگاتا، موجب گسیختگی جریانی شده و کلیهٔ سازه‌های بندری در این زمین‌لرزه به سمت دریا حرکت کرده و خراب گردیدند. همچنین باعث قطع جاده‌ها و بزرگراه‌ها و شبکه راه‌آهن شد [۲].

واقع شدن ایران بر روی کمربند زلزله‌خیز آلپ-هیمالیا موجب شده است که رخداد زمین‌لرزه بعنوان یکی از آسیب گذارترین بلایای طبیعی در کشور مطرح گردد. وقوع زلزله‌های مهمی نظیر زلزلهٔ منجیل (۱۳۶۹)،

[1]- Nigata [2]- Alaska [3]- Cawagishiko

اردبیل (۱۳۷۵)، جنوب خراسان (۱۳۷۶)، بم (۱۳۸۲) و بروجرد (۱۳۸۵) مؤید این مسأله می‌باشد. لذا لزوم بررسی جامع پدیدهٔ زلزله و اثرات آن در کشور احساس می‌شود [۲].

در کشور ما موارد متعدد وقوع پدیدهٔ روانگرایی در طی زلزلهٔ منجیل (۱۳۶۹) در منطقهٔ آستانهٔ اشرفیه گزارش شده است. موارد متعدد عوارض پدیدهٔ روانگرایی نظیر نشست ساختمان‌ها، جوشش ماسه، بازشدگی سطح زمین در اثر وقوع زلزله در سال ۱۳۶۹ در منطقهٔ آستانهٔ اشرفیه گزارش شده است. در طی زلزلهٔ اردبیل نیز مواردی از پدیدهٔ جوشش ماسه حاصل از وقوع روانگرایی در چشمه‌های آب گرم در منطقهٔ سرعین مشاهده شده است [۱].

به طور مسلم اولین قدم در مبارزه با پدیدهٔ روانگرایی و جلوگیری از اثرات زیانبار آن شناسایی و تهیهٔ نقشه‌های مناطق مستعد رخداد این پدیده است که موجب می‌شود قبل از اجرای طرح‌های عمرانی پیش‌بینی‌های لازم را برای پایداری سازه‌ها به عمل آورد. کارشناسی و تعیین پهنه‌های مختلف از نظر رخداد روانگرایی را اصطلاحاً ریز پهنه‌بندی وقوع روانگرایی می‌گویند [۳].

۱-۱-۱. مختصری دربارهٔ پدیدهٔ روانگرایی

در مصالح درشت دانهٔ سست تا نیمه متراکم اشباع این امکان وجود دارد که ارتعاشات و ضربه‌های ناشی از زلزله منجر به وقوع کرنش‌های قابل توجهی شوند. این کرنش‌ها می‌توانند ناشی از تنش‌های برشی باشند که از حد مقاومت برشی مصالح که خود ممکن است در اثر زلزله تضعیف شده باشند، فراتر رفته باشند. کرنش‌های برشی زیاد و تقلیل مقاومت برشی مصالح خود می‌توانند ناشی از افزایش فشار آب منفذی در اثر ضربه‌ها و بارگذاری‌های دوره‌ای زلزله باشند. با تداوم این نوع بارگذاری در جریان یک زلزله و در صورت عدم وجود و یا محدودیت توان زهکشی مصالح، افزایش متناوب فشارهای منفذی می‌تواند منجر به تقلیل قابل ملاحظهٔ مقاومت برشی مصالح حتی تا مقاومت صفر بشود. این شرایط، یعنی صفر شدن مقاومت برشی مصالح خاکی و در نتیجه

تضعیف شدید و کاهش ظرفیت باربری آن، روانگرایی نامیده می‌شود. تقلیل متناوب مقاومت برشی قبل از روانگرایی کامل را نیز تحرک دوره‌ای می‌نامند [۴].

طبیعت و مشخصه‌های جنبش زمین، نوع مصالح و میزان تنش‌های در جا سه عامل اصلی در وقوع یا عدم وقوع پدیده‌های تحرک دوره‌ای و روانگرایی می‌باشند. برای یک شتاب پایه مشخص، زلزله‌های با بزرگی بیشتر به دلیل تعداد دفعات بیشتر اعمال کرنش‌های دوره‌ای مخرب‌تر می‌باشند. مصالح دارای توان زهکشی آزاد مانند: مصالح با طبقه‌بندی شن خوب یا بد دانه‌بندی شده تمایل کمتری به روانگرایی در مقایسه با مصالح ماسهٔ خوب یا بد دانه‌بندی شده و ماسهٔ لای دار از خود نشان می‌دهند. مصالح متراکم‌تر نیز در مقایسه با مصالح سست‌تر از تمایل به روانگرایی کمتری برخوردار می‌باشند. تنش‌های مؤثر بیشتر عامل کنترل پدیدهٔ روانگرایی می‌باشند و در نتیجه مصالح واقع در عمق بیشتر یا محل‌های دارای سطح آب پایین‌تر، کمتر به این پدیده حساسیت نشان می‌دهند. سوابق قبلی نشان می‌دهند که پدیده روانگرایی معمولاً تا عمق ۵۰ پا[1] یعنی حدود ۱۵ متر و یا کمتر به وقوع پیوسته‌اند. ضمناً خاک‌های دارای مصالح ریزدانه، یعنی مصالح عبوری از الک نمرهٔ ۲۰۰ به خصوص اگر ریزدانه‌ها رسی باشند، حساسیت کمتری به روانگرایی در مقایسه با خاک‌های بدون مصالح ریزدانه از خود نشان می‌دهند [۴].

۱-۱-۲. استفاده از سرعت موج برشی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی

وجود پارامترهای مشترک تأثیرگذار بر سرعت موج برشی و روانگرایی (نسبت تخلخل، تاریخچه تنش و کرنش، درجه اشباع، مشخصات دانه بندی، سطح کرنش و ...) و همچنین مزایای ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی نسبت به روش‌های بر پایه نفوذ، از دلایل اصلی تمایل به بهره بردن از این روش می باشد.

[1]- Feet

سختی برشی در کرنش کوچک (G_{max}) و سرعت موج برشی (V_s) پارامترهای اساسی برای تحلیل دینامیکی خاک‌ها می باشند. سرعت موج برشی می تواند بطور مستقیم برای بعضی از مسائل ژئوتکنیکی مانند ارزیابی پتانسیل روانگرایی (دبری و همکاران[۱] ۱۹۸۱، سید و همکاران[۲] ۱۹۸۳، توکیماتسو و یوچیدا[۳] ۱۹۹۰، اندروس و استوک[۴] ۲۰۰۰)، طبقه بندی خاک (دبری و همکاران ۲۰۰۰)، تحلیل پتانسیل سایت (چوی و استوارت[۵] ۲۰۰۵) و حرکات زمین در اثر زلزله (جعفریان و همکاران ۲۰۱۰) استفاده شود [۵].

این پارامترها ممکن است از طریق انجام آزمایشات بر روی نمونه های دست نخورده تعیین شوند. آزمایشات ستون تشدید و عضو خمشی رایج ترین نوع آزمایشات برای تعیین پارامترهای کرنش کوچک هستند، اگرچه آزمایش سه محوری دینامیکی با اندازه گیری دقیق کرنش محوری هم برای این منظور بکار می رود. تأثیر دست خوردگی نمونه بر سختی در کرنش پایین در اندازه گیری های آزمایشگاهی قابل توجه است، چرا که اتصالات ضعیف بین ذرات طی عملیات نمونه گیری از بین می رود. بعلاوه تهیه نمونه دست نخورده در خاک‌های دانه ای بدون روش‌های پرهزینه منجمد کردن امکان پذیر نیست. لذا تعیین سختی برشی در کرنش پایین (G_{max}) با استفاده از سرعت موج برشی (V_s) منطقی تر است. سرعت موج برشی را می توان با استفاده از روش‌هایی نظیر آزمایش بین گمانه ای، آزمایش درون گمانه ای، آزمایشات نفوذ مخروط لرزه ای، میکروترمور انکساری، تحلیل چند ایستگاهی امواج سطحی و تحلیل طیفی امواج سطحی محاسبه کرد. دقت این روش‌ها به جزئیات اجرا، شرایط خاک و روش‌های تفسیر بستگی دارد. بعلاوه روش‌های اندازه گیری صحرایی مزایای زیادی نسبت به روش‌های آزمایشگاهی دارند، چرا که خاک را در شرایط طبیعی و با کمترین دست خوردگی آزمایش می کنند [۵].

---

[1]- Dobry et al.
[2]- Seed et al.
[3]- Tokimatsu and Uchida
[4]- Andrus and Stokoe
[5]- Choy and Stewart

۱-۲. خلاصه کارهای انجام شده در این پژوهش

در این پژوهش سعی بر این است که به پدیده روانگرایی و ارزیابی پتانسیل روانگرایی در خاک از منظر دیگری نگریسته و پارامترهای موثر بر سرعت موج برشی و مقاومت روانگرایی بررسی شود. در واقع هدف از این پژوهش، بررسی میزان پتانسیل روش سرعت موج برشی در ارزیابی استعداد روانگرایی، بعنوان مکمل یا جایگزین مناسبی برای روش‌های بر پایه نفوذ می باشد.

همچنین در راستای پروژه ریز پهنه بندی لرزه ای شهرستان بابل اقدام به ارزیابی پتانسیل روانگرایی این شهر با استفاده از سرعت موج برشی گردیده است. در واقع با استفاده از گزارشات مربوط به زمین شناسی منطقه و همچنین اطلاعات برگرفته از آزمایشات درون گمانه ای[1] این امر محقق شده است.

۱-۳. فرضیات پژوهش

استفاده از روش سرعت موج برشی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی دارای محدودیت‌هایی بوده که ما را با فرضیاتی مواجه می سازد. بطور مثال اینگونه فرض می کنیم که ضخامت لایه ها بزرگتر از فواصل اندازه گیری سرعت موج برشی می باشد چرا که در این صورت برای هر لایه حداقل یک سرعت موج برشی معرف خواهیم داشت. در این راستا، ذکر این نکته الزامی است که فواصل عمقی اندازه گیری سرعت موج برشی در گمانه های شهر بابل، ۱/۵ متر و ۲ متر بوده است.

در آزمایشات تعیین سرعت موج برشی نمونه‌هایی برای تعیین نوع خاک تهیه نمی‌شود، حال آنکه ممکن است لایه‌های رس غیر روانگرا هم در بین لایه‌های خاک موجود بوده و اشتباهاً بر اساس سرعت موج برشی اندازه‌گیری شده، بعنوان لایه روانگرا تشخیص داده شوند. لذا به همراه انجام آزمایشات تعیین سرعت موج برشی، عملیات نمونه‌گیری و تعیین نوع خاک هم مورد نیاز است.

[1]- Downhole

۱-۴. اهداف پژوهش

ازآنجاکه پارامتر های مشترک زیادی (تاریخچه تنش، تاریخچه کرنش، درجه اشباع، مشخصات دانه بندی و ...) بر هر دو فاکتور مقاومت روانگرایی و سرعت موج برشی تأثیرگذار است، تمایل به استفاده از سرعت موج برشی در تعیین میزان مقاومت روانگرایی روز بروز افزایش می یابد، چرا که با توجه به این تشابهات، انتظار می رود میزان سرعت موج برشی ارتباط تنگاتنگی با میزان پتانسیل روانگرایی داشته باشد. یکی از اهداف اصلی این پایان نامه، بررسی چگونگی و میزان این ارتباط می باشد.

امروزه یکی از اصلی ترین نقشه های مورد استفاده در پروژه های کلان شهری و یا حتی برای ارزیابی پارامترهای لرزه ای در تهیه آیین نامه ها، نقشه های ریز پهنه بندی می باشند. در این پژوهش ابتدا روش سرعت موج برشی در ارزیابی مخاطرات روانگرایی مورد بحث و بررسی کامل قرار گرفته و سپس با استفاده از این روش اقدام به ارزیابی پتانسیل روانگرایی در سطح شهرستان بابل و در نهایت تهیه نقشه ریز پهنه بندی روانگرایی این شهر شده است.

فصل دوم:

بررسی ادبیات موضوع