بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه ارومیه

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی

عنوان:

رفتار سیکلیک خاک‌های ماسه‌ای تحت شرایط تحکیم ناهمسان (تنش برشی استاتیکی اولیه)

استاد راهنما:

دکتر هادی بهادری

اساتید داور:

دکتر مسعود عامل سخی

دکتر سعید تاروردیلوی اصل

تنظیم و نگارش:

مزدک عطری

بهمن ۱۳۹۱

چکیده

در بررسی پتانسیل روانگرایی در خاک‌های ماسه‌ای یکی از پارامترهای تاثیر گذار بر روند رفتار خاک وجود تنش برشی استاتیکی اولیه در المان آزمایش شونده می‌باشد. تحقیقات بسیاری بر روی رفتار خاک‌های ماسه‌ای تحت تنش تحکیمی همسان صورت پذیرفته است و بر این اساس برای تخمین پتانسیل روانگرایی انجام آزمایش‌های سه‌محوری سیکلیک با تحکیم همسان بسیار معمول می‌باشد. در عمل موارد بسیاری وجود دارند که در آن ها در شرایط محلی خاک تنش برشی استاتیکی اولیه وجود دارد. با توجه به این که وجود تنش استاتیکی اولیه پارامتری تاثیر گذار بر رفتار خاک‌های ماسه‌ای می‌باشد، بررسی المان خاک تحت تحکیم همسان نتایج دور از واقعیتی را در بر خواهد داشت. بنابراین بررسی المان‌های خاک ماسه‌ای با تنش تحکیمی ناهمسان برای مدل سازی هرچه بهتر شرایط طبیعی ضروری می‌باشد. در این تحقیق تعدادی آزمایش سه‌محوری سیکلیک کنترل تنش در حضور و عدم حضور تنش برشی استاتیکی اولیه انجام شده‌اند. در این تحقیق از ماسه فیروزکوه با دانه‌بندی معلوم استفاده شده است. تنش‌های انحرافی استاتیکی اولیه به صورت فشاری اعمال شده‌اند. آزمایش‌ها به روش نمونه سازی خشک با تنش تحکیمی ثابت و در دانسیته‌های نسبی مختلف انجام گرفته‌اند. در محدوده آزمایش‌های انجام شده تاثیر مثبت تنش انحرافی استاتیکی فشاری اولیه بر مقاومت روانگرایی ملاحظه شد. همچنین انواع رفتار سیکلیک ماسه‌ها طبق طبقه بندی گذشته در آزمایش‌ها دیده شده و پاسخ فشار آب حفره‌ای در آزمایش‌ها ثبت شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

کلمات کلیدی: روانگرایی، آزمایش سه‌محوری سیکلیک، تحکیم ناهمسان، ماسه فیروزکوه

فهرست

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ هدف تحقیق ۱

۱-۲ ضرورت تحقیق..... ۲

۱-۳ روش تحقیق و فرضیات..... ۲

۱-۴ فصل بندی پایان نامه ۳

۱-۴-۱ مقدمه ۳

۱-۴-۲ بررسی ادبیات فنی و سابقه تحقیق ۳

۱-۴-۳ معرفی دستگاه آزمایش، مصالح مورد استفاده و نحوه انجام آزمایش ۳

۱-۴-۴ نتایج آزمایشها و تحلیل نتایج ۳

۱-۴-۵ نتیجه گیری و پیشنهادات ۴

۱-۴-۶ ضمیمه اول: نمودارهای آزمایشهای انجام شده ۴

فصل دوم: بررسی ادبیات فنی و سابقه تحقیق ۵

۲-۱ تاریخچه و انواع روانگرایی ۵

۲-۱-۱ روانگرایی جریانی ۲۲

۲-۱-۲ نرم شدگی تناوبی ۲۲

۲-۱-۳ روانگرایی تناوبی ۲۲

۲-۱-۴ حرکت تناوبی ۲۲

۲-۲ فاکتورهای موثر بر پتانسیل روانگرایی ۲۲

۲-۲-۱ اثر روش ساخت نمونه:..... ۲۳

۲-۲-۲ اثر بارگذاری و تکنیکهای ضبط داده: ۲۷

۲-۲-۳ اثر متغیرهای حالت اولیه: ۲۸

۲-۳ تاثیر تنش برشی اولیه استاتیکی بر پتانسیل روانگرایی ماسه های اشباع: ۲۸

فصل سوم: معرفی دستگاه آزمایش، مصالح مورد استفاده و نحوه انجام آزمایش ۵۱

۳-۱ معرفی کلی دستگاه ۵۱
۳-۲ مدار فشار و تجهیزات دستگاه سه محوری سیکلیک ۵۳
۳-۲-۱ منبع فشار ۵۳
۳-۲-۲ رگلاتورها و پانل دستگاه ۵۴
۳-۲-۳ بورت و سیستم اعمال پس فشار ۵۵
۳-۲-۴ سلول دستگاه سه محوری ۵۶
۳-۲-۵ پدستال و کپ نمونه ۵۷
۳-۲-۶ جک اعمال بار ۵۹
۳-۳ مدار **CO2** ۶۰
۳-۴ شمای کلی دستگاه و ابزارهای جانبی ۶۱
۳-۵ غشاء و سنگ متخلخل ۶۴
۳-۶ سیستم اندازه گیری و مدار کنترلی ۶۵
۳-۶-۱ معرفی مفهوم کنترل بسته و اندازه گیری ۶۵
۳-۶-۲ سنسورها ۶۶
۳-۶-۳ مدولهای اعمال تنش(**EP**) ۶۹
۳-۶-۴ دیتالاگر ۷۰
۳-۶-۵ معرفی برنامه کنترلی ۷۱
۳-۷ نحوه انجام آزمایشها و معرفی مصالح ۷۳
۳-۷-۱ کالیبراسیون سنسورها ۷۳
۳-۷-۲ هوا گیری، آببندی و کنترل غشا ۷۳
۳-۷-۳ آماده سازی نمونه آزمایش ۷۴
۳-۷-۴ استقرار و نصب نمونه ۷۴
۳-۷-۵ مرحله اشباع نمونه ۷۶
۳-۷-۶ تحکیم نمونه ۷۸
۳-۷-۷ مرحله بارگذاری ۷۸

۳-۷-۸ برچیدن نمونه و محاسبه نسبت تخلخل آن ۷۸
۳-۸ معرفی مصالح مورد استفاده در آزمایشها ۷۹
۳-۸-۱ مشخصات ماسه فیروز کوه ۷۹
فصل چهارم: نتایج آزمایشها و تحلیل نتایج: ۸۲
۴-۱ آزمایشهای سه محوری سیکلیک: ۸۲
۴-۲ رفتار سیکلیک نمونه ها تحت شرایط مختلف: ۸۶
۴-۲-۱ عدم گسیختگی المان: ۸۶
۴-۲-۲ روانگرایی جریانی: ۸۸
۴-۲-۳ روانگرایی سیکلیک: ۹۰
۴-۲-۴ تحرک سیکلیک: ۹۱
۴-۳ مقاومت روانگرایی و عوامل موثر بر آن: ۹۴
۴-۳-۱ مقاومت روانگرایی ۹۴
۴-۳-۲ اهمیت تنش برشی استاتیکی اولیه بازگشت تنش ۱۰۵
۴-۳-۳ اهمیت نسبت تخلخل و دانسیته نسبی ۱۰۵
۴-۴ تشکیل فشار آب حفره ای: ۱۰۷
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات: ۱۱۲
۵-۱ نتیجه گیری ۱۱۲
۵-۲ پیشنهادات ۱۱۳
مراجع ۱۱۵
ضمیمه ۱: نمودارهای آزمایشهای انجام گرفته ۱۱۸

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: تقسیمبندی انواع رفتار ماسهها در نتیجه آزمایشهای کاسترو ۷
شکل ۲-۲: معرفی خطوط P و L توسط کاسترو ۸
شکل ۲-۳: معرفی خط **σf** توسط کاسترو ۹

شکل ۲-۴: معرفی خطوط حالت توسط کاسترو ۹
شکل ۲-۵: نمونه ای از آزمایشهای تناوبی کاسترو..... ۱۰
شکل ۲-۶: بررسی اثر غیر همسانی در آزمایشهای کاسترو ۱۱
شکل ۲-۷: جمع بندی آزمایشهای آقای کاسترو..... ۱۱
شکل ۲-۸: تشریح دو مفهوم روانگرایی و جابجایی تناوبی توسط کاسترو ۱۳
شکل ۲-۹: اشکال وارده از طرف آقای کاسترو بر آزمایشهای تناوبی به خاطر بوجود آمدن شرایط کششی در آزمایشگاه ۱۴
شکل ۲-۱۰: توضیح تفاوت روانگرایی و جابجایی تناوبی..... ۱۵
شکل ۲-۱۱: نمونه نمودارهای تنش-کرنش و مسیرتنش در آزمایشهای برش پیچشی ایشیهارا ۱۸
شکل ۲-۱۲: جمع بندی آقای اسلادن از اثر تخلخل و تنش همه جانبه در خط حالت ۲۰
شکل ۲-۱۳: چارت مشخصهٔ رفتار روانگرایی ماسه ها رابرتسون ۲۰۰۰ ..... ۲۱
شکل ۲-۱۴: انواع روشهای تهیهٔ نمونه ماسهای ۲۵
شکل ۲-۱۵: مقایسه نتایج روش نمونهسازی غرقابی با نمونههای دستنخورده ۲۶
شکل ۲-۱۶: مقایسهٔ تکنیک‌های اندازه‌گیری داده..... ۲۷
شکل ۲-۱۷: رفتار فیزیکی ماسه اتاوا در تراکمهای مختلف در حضور و عدم حضور تنش برشی استاتیکی (وید و چرن ۱۹۸۳)..... ۳۱
شکل ۲-۱۸: مسیر تنشهای ماسه اتاوا در تراکمهای مختلف در حضور و عدم حضور تنش برشی استاتیکی (وید و چرن ۱۹۸۳)..... ۳۲
شکل ۲-۱۹: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش در مقابل نسبت تنش سیکلیک (وید و چرن ۱۹۸۳) ۳۳
شکل ۲-۲۰: مقاومت تشکیل کرنش در ۱۰ سیکل به عنوان تابعی از دانسیته نسبی و تنش برشی استاتیکی اولیه (وید و چرن ۱۹۸۳)..... ۳۳
شکل ۲-۲۱: مسیر تنش موثر، شماتیکی آزمایش کنترل تنش سه محوری تناوبی در یک نمونه به صورت ناهمسان تحکیم یافته انقباضی محمد و دوبری ۱۹۸۳ ..... ۳۵
شکل ۲-۲۲: نسبت تنش سیکلیک لازم برای اینکه در ۱۰ سیکل بارگذاری کرنش معین اتفاق بیافتد، در مقابل Kc محمد و دوبری ۱۹۸۳..... ۳۶
شکل ۲-۲۳: نمودارهای مسیر تنش برای حالتهای مختلف بازگشت تنش در دو نمونه ماسه شل و متراکم هیودو و همکاران ۱۹۹۱..... ۳۷
شکل ۲-۲۴: نمودارهای تنش-کرنش برای حالتهای مختلف بازگشت تنش در دو نمونه ماسه شل و متراکم هیودو و همکاران ۱۹۹۱ ..... ۳۸
شکل ۲-۲۵: دسته بندی الگوی گسیختگی ماسه در شرایط بازگشت تنش متفاوت هیودو و همکاران

۱۹۹۱ ..... ۳۹
شکل ۲-۲۶: تنش انحرافی سیکلیک لازم برای ایجاد کرنش در تنش انحرافی استاتیکی اولیه معین در ۱۰ سیکل هیودو و همکاران ۱۹۹۱ ..... ۴۰
شکل ۲-۲۷: رابطه بین نسبت تنش انحرافی سیکلیک وتعداد سیکل لازم برای ایجاد مقادیر مختلف کرنش در یک تنش انحرافی استاتیکی معین هیودو و همکاران ۱۹۹۱ ..... ۴۱
شکل ۲-۲۸: رابطه بین نسبت تنش انحرافی سیکلیک و تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش معین در مقادیر مختلف تنش انحرافی استاتیکی اولیه هیودو و همکاران ۱۹۹۱ ..... ۴۲
شکل ۲-۲۹: فشار آب حفرهای شکل گرفته با تعداد سیکل هیودو و همکاران ۱۹۹۱ ..... ۴۳
شکل ۲-۳۰: رابطه بین فشار آب حفرهای حد اکثر پسماند و تنش برشی استاتیکی اولیه هیودو و همکاران ۱۹۹۱ ..... ۴۴
شکل ۲-۳۱: انواع حالت گسیختگی به صورت شماتیک برای ماسه شل هیودو و همکاران ۱۹۹۴ ..... ۴۵
شکل ۲-۳۲: منحنیهای مسیر تنش و تنش-کرنش حاصل از آزمایشهای مونوتونیک هیودو و همکاران ۱۹۹۴ ..... ۴۶
شکل ۲-۳۳: مسیر تنش شماتیک توضیح دهنده نحوه ایجاد تغییر شکل جریانی هیودو و همکاران ۱۹۹۴ ..... ۴۷
شکل ۲-۳۴: رابطه بین نسبت تنش انحرافی سیکلیک و تعداد سیکل لازم برای تشکیل کرنش با دامنه دوبل ۵ درصد هیودو و همکاران ۱۹۹۴ ..... ۴۸
شکل ۲-۳۵: نسبت تنش انحرافی سیکلیک لازم برای به وجود آمدن کرنشهای با دامنه دوبل معین در ۱۰ سیکل در مقادیر مختلف تنش انحرافی استاتیکی اولیه هیودو و همکاران ۱۹۹۴ ..... ۴۹
شکل ۲-۳۶: نمودارهای نسبت تنش انحرافی سیکلیک در مقابل تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش پسماند و تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ایجاد کرنش پسماند در ۱۰ سیکل هیودو و همکاران ۱۹۹۴ ..... ۵۰
شکل ۲-۳۷: رابطه بین نسبت تنش انحرافی سیکلیک و استاتیکی اولیه برای ایجاد تغییر شکل جریانی در هر تعداد سیکل معین از بارگذاری هیودو و همکاران ۱۹۹۴ ..... ۵۰
شکل ۳-۱: دستگاه سهمحوری سیکلیک دانشگاه اورمیه ۵۱
شکل ۳-۲: لود سل و قسمت بالای محفظه دستگاه ۵۲
شکل ۳-۳: کپ نمونه سه محوری ۵۰ میلیمتر ۵۳
شکل ۳-۴: کمپرسور ۱۰ بار آزمایشگاه ژئوتکنیک لرزهای دانشگاه اورمیه ۵۴
شکل ۳-۵: پانل دستگاه سه محوری سیکلیک دانشگاه اورمیه ۵۵
شکل ۳-۶: بورت دستگاه سه محوری سیکلیک ۵۶
شکل ۳-۷: پدستال دستگاه سه محوری سیکلیک ۵۷
شکل ۳-۸: قالب تراکم برای ساخت نمونه های ۵۰ میلیمتر ۵۸

شکل ۳-۹: شیرهای متصل به پایین محفظه ۵۹
شکل ۳-۱۰: جک بارگذاری دستگاه سه محوری سیکلیک ۶۰
شکل ۳-۱۱: کپسول دی اکسید کربن ۶۱
شکل ۳-۱۲: دستگاه سه محوری سیکلیک دانشگاه اورمیه به صورت شماتیک ۶۲
شکل ۳-۱۳: غشاء از جنس لاتکس برای نمونه های ۵۰ میلیمتر سهمحوری ۶۴
شکل ۳-۱۴: سنگ متخلخل بالا و پایین نمونه ۶۵
شکل ۳-۱۵: سنسور بار سنج یا لود سل ۶۷
شکل ۳-۱۶: LVDT نسب شده بر روی نمونه ۶۸
شکل ۳-۱۷: سنسورهای فشار داخل محفظه و داخل نمونه ۶۹
شکل ۳-۱۸: دیتا لاگر دستگاه سه محوری سیکلیک ۷۱
شکل ۳-۱۹: برنامه کنترلی سیستم سه محوری سیکلیک ۷۳
شکل ۳-۲۰: خلاصه مراحل آماده سازی نمونه..... ۷۶
شکل ۳-۲۱: منحنی دانه بندی ماسه فیروزکوه ۸۰
شکل ۳-۲۲: عکس میکروسکوپی از ماسه فیروزکوه..... ۸۱
شکل ۴-۱: نمونه مسیر تنش برای آزمایشهای انجام گرفته ۸۵
شکل ۴-۲: نمونه منحنی تنش انحرافی-کرنش محوری برای آزمایشها (آزمایش ۲) ۸۵
شکل ۴-۳ نمودارهای تنش انحرافی، نسبت اضافه فشار آب حفرهای و کرنش محوری برای آزمایش ۸۶۲
شکل ۴-۴: مسیر تنش برای آزمایش شماره ۱۳ که در آن المان خاک گسیخته نشدهاست. ۸۷
شکل ۴-۵: نمودار تنش انحرافی-کرنش محوری برای آزمایش ۱۳ ..... ۸۸
شکل ۴-۶: مسیر تنش آزمایش ۴ و وقوع روانگرایی جریانی ۸۹
شکل ۴-۷: نمودار تنش انحرافی-کرنش محوری آزمایش ۴ و وقوع روانگرایی جریانی ۸۹
شکل ۴-۸: مسیر تنش آزمایش ۳۳ و وقوع روانگرایی سیکلیک ۹۰
شکل ۴-۹: نمودار تنش انحرافی-کرنش محوری آزمایش ۳۳ و وقوع روانگرایی سیکلیک ۹۱
شکل ۴-۱۰: مسیر تنش آزمایش ۱۹ و وقوع تحرک سیکلیک ۹۲
شکل ۴-۱۱: نمودار تنش انحرافی-کرنش محوری آزمایش ۱۹ وقوع تحرک سیکلیک ۹۲
شکل ۴-۱۲: احتمال تشکیل همزمان کرنشهای بزرگ و کرنشهای پسماند..... ۹۴
شکل ۴-۱۳: تعداد سیکل لازم برای تشکیل کرنش با دامنه دوبل ۵٪ در مقادیر مختلف تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ماسه شل ۹۵
شکل ۴-۱۴: تعداد سیکل لازم برای تشکیل کرنش پسماند ۵٪ در مقادیر مختلف تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ماسه شل..... ۹۵
شکل ۴-۱۵: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش بدون تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ماسه شل .. ۹۶

شکل ۴-۱۶: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش با تنش انحرافی استاتیکی اولیه ۳۰ کیلو پاسکال برای ماسه شل ۹۶
شکل ۴-۱۷: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش با تنش انحرافی استاتیکی اولیه ۶۰ کیلو پاسکال برای ماسه شل ۹۷
شکل ۴-۱۸: تعداد سیکل لازم برای تشکیل کرنش با دامنه دوبل ۵٪ در مقادیر مختلف تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ماسه نیمه متراکم ۹۸
شکل ۴-۱۹: تعداد سیکل لازم برای تشکیل کرنش پسماند ۵٪ در مقادیر مختلف تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ماسه نیمه متراکم ۹۸
شکل ۴-۲۰: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش بدون تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ماسه نیمه متراکم..... ۹۹
شکل ۴-۲۱: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش با تنش انحرافی استاتیکی اولیه ۳۰ کیلو پاسکال برای ماسه نیمه متراکم ۹۹
شکل ۴-۲۲: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش با تنش انحرافی استاتیکی اولیه ۶۰ کیلو پاسکال برای ماسه نیمه متراکم ۱۰۰
شکل ۴-۲۳: تعداد سیکل لازم برای تشکیل کرنش با دامنه دوبل ۵٪ در مقادیر مختلف تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ماسه متراکم..... ۱۰۱
شکل ۴-۲۴: تعداد سیکل لازم برای تشکیل کرنش با دامنه دوبل ۱٪ در مقادیر مختلف تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ماسه متراکم..... ۱۰۱
شکل ۴-۲۵: تعداد سیکل لازم برای تشکیل کرنش با دامنه دوبل ۲٪ در مقادیر مختلف تنش انحرافی استاتیکی اولیه برای ماسه متراکم..... ۱۰۲
شکل ۴-۲۶: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش بدون تنش انحرافی استاتیکی برای ماسه متراکم... ۱۰۳
شکل ۴-۲۷: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش با تنش انحرافی استاتیکی اولیه ۳۰ کیلو پاسکال برای ماسه متراکم..... ۱۰۳
شکل ۴-۲۸: تعداد سیکل لازم برای ایجاد کرنش با تنش انحرافی استاتیکی اولیه ۶۰ کیلو پاسکال برای ماسه متراکم..... ۱۰۴
شکل ۴-۲۹: مقاوت روانگرایی در تعریفهای مختلف..... ۱۰۵
شکل ۴-۳۰: مقاومت روانگرایی در مقابل نسبت تخلخل در تنشهای انحرافی استاتیکی اولیه مختلف. ۱۰۶
شکل ۴-۳۱: مقاومت روانگرایی در مقابل دانسیته نسبی در تنشهای انحرافی استاتیکی اولیه مختلف. ۱۰۶
شکل ۴-۳۲: نمودار نسبت اضافه فشار آب حفرهای در مقابل زمان برای نمونه شماره ۴ تحکیم یافته به صورت همسان ۱۰۸
شکل ۴-۳۳: اثر تنش انحرافی استاتیکی اولیه بر فشار حفرهای پسماند در ماسه شل ۱۰۹

شکل ۴-۳۴: اثر بازگشت تنش بر فشار حفره ای پسماند در تنش برشی استاتیکی اولیه ثابت در ماسه شل ۱۱۰
شکل ۴-۳۵: اثر دانسیته نسبی بر فشار حفره ای پسماند در تنش انحرافی استاتیکی وسیکلیک ثابت ۱۱۱

فهرست جداول

جدول ۳-۱: مقایسه مشخصات فیزیکی ماسه فیروزکوه با دو ماسه استاندارد معمول ۸۰
جدول ۴-۱: لیست تمامی آزمایشهای انجام گرفته ۸۳

فهرست روابط

۲-۱ ..... ۳۵
۲-۲ ..... ۳۵
۳-۱ ..... ۷۷
۳-۲ ..... ۷۹

فهرست منحنی‌های ضمیمه ۱

منحنی ۱: مسیر تنش آزمایش شماره ۱ ..... ۱۱۹
منحنی ۲: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱ ..... ۱۱۹
منحنی ۳: تنش انحرافی، فشار حفرهای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱ ..... ۱۲۰
منحنی ۴: مسیر تنش آزمایش شماره ۲ ..... ۱۲۱
منحنی ۵: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲ ..... ۱۲۱
منحنی ۶: تنش انحرافی، فشار حفرهای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲ ..... ۱۲۲
منحنی ۷: مسیر تنش آزمایش شماره ۳ ..... ۱۲۳
منحنی ۸: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳ ..... ۱۲۳
منحنی ۹: تنش انحرافی، فشار حفرهای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳ ..... ۱۲۴
منحنی ۱۰: مسیر تنش آزمایش شماره ۴ ..... ۱۲۵
منحنی ۱۱: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۴ ..... ۱۲۵
منحنی ۱۲: تنش انحرافی، فشار حفرهای و کرنش محوری آزمایش شماره ۴ ..... ۱۲۶
منحنی ۱۳: مسیر تنش آزمایش شماره ۵ ..... ۱۲۷

منحنی ۱۴: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۵ ..... ۱۲۷
منحنی ۱۵: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۵ ..... ۱۲۸
منحنی ۱۶: مسیر تنش آزمایش شماره ۶ ..... ۱۲۹
منحنی ۱۷: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۶ ..... ۱۲۹
منحنی ۱۸: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۶ ..... ۱۳۰
منحنی ۱۹: مسیر تنش آزمایش شماره ۷ ..... ۱۳۱
منحنی ۲۰: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۷ ..... ۱۳۱
منحنی ۲۱: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۷ ..... ۱۳۲
منحنی ۲۲: مسیر تنش آزمایش شماره ۸ ..... ۱۳۳
منحنی ۲۳: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۸ ..... ۱۳۳
منحنی ۲۴: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۸ ..... ۱۳۴
منحنی ۲۵: مسیر تنش آزمایش شماره ۹ ..... ۱۳۵
منحنی ۲۶: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۹ ..... ۱۳۵
منحنی ۲۷: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۹ ..... ۱۳۶
منحنی ۲۸: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۰ ..... ۱۳۷
منحنی ۲۹: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۰ ..... ۱۳۷
منحنی ۳۰: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۰ ..... ۱۳۸
منحنی ۳۱: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۱ ..... ۱۳۹
منحنی ۳۲: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۱ ..... ۱۳۹
منحنی ۳۳: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۱ ..... ۱۴۰
منحنی ۳۴: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۲ ..... ۱۴۱
منحنی ۳۵: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۲ ..... ۱۴۱
منحنی ۳۶: تنش انحرافی، فشار حفرهای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۲ ..... ۱۴۲
منحنی ۳۷: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۳ ..... ۱۴۳
منحنی ۳۸: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۳ ..... ۱۴۳
منحنی ۳۹: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۳ ..... ۱۴۴
منحنی ۴۰: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۴ ..... ۱۴۵
منحنی ۴۱: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۴ ..... ۱۴۵
منحنی ۴۲: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۴ ..... ۱۴۶
منحنی ۴۳: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۵ ..... ۱۴۷
منحنی ۴۴: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۵ ..... ۱۴۷

منحنی ۴۵: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۵ ..... ۱۴۸
منحنی ۴۶: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۶ ..... ۱۴۹
منحنی ۴۷: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۶ ..... ۱۴۹
منحنی ۴۸: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۶ ..... ۱۵۰
منحنی ۴۹: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۷ ..... ۱۵۱
منحنی ۵۰: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۷ ..... ۱۵۱
منحنی ۵۱: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۷ ..... ۱۵۲
منحنی ۵۲: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۸ ..... ۱۵۳
منحنی ۵۳: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۸ ..... ۱۵۳
منحنی ۵۴: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۸ ..... ۱۵۴
منحنی ۵۵: مسیر تنش آزمایش شماره ۱۹ ..... ۱۵۵
منحنی ۵۶: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۱۹ ..... ۱۵۵
منحنی ۵۷: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۱۹ ..... ۱۵۶
منحنی ۵۸: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۰ ..... ۱۵۷
منحنی ۵۹: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۰ ..... ۱۵۷
منحنی ۶۰: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۰ ..... ۱۵۸
منحنی ۶۱: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۱ ..... ۱۵۹
منحنی ۶۲: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۱ ..... ۱۵۹
منحنی ۶۳: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۱ ..... ۱۶۰
منحنی ۶۴: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۲ ..... ۱۶۱
منحنی ۶۵: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۲ ..... ۱۶۱
منحنی ۶۶: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۲ ..... ۱۶۲
منحنی ۶۷: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۳ ..... ۱۶۳
منحنی ۶۸: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۳ ..... ۱۶۳
منحنی ۶۹: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۳ ..... ۱۶۴
منحنی ۷۰: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۴ ..... ۱۶۵
منحنی ۷۱: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۴ ..... ۱۶۵
منحنی ۷۲: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۴ ..... ۱۶۶
منحنی ۷۳: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۵ ..... ۱۶۷
منحنی ۷۴: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۵ ..... ۱۶۷
منحنی ۷۵: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۵ ..... ۱۶۸

منحنی ۷۶: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۶..... ۱۶۹
منحنی ۷۷: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۶ ..... ۱۶۹
منحنی ۷۸: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۶ ..... ۱۷۰
منحنی ۷۹: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۷ ..... ۱۷۱
منحنی ۸۰: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۷ ..... ۱۷۱
منحنی ۸۱: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۷ ..... ۱۷۲
منحنی ۸۲: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۸ ..... ۱۷۳
منحنی ۸۳: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۸ ..... ۱۷۳
منحنی ۸۴: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۸ ..... ۱۷۴
منحنی ۸۵: مسیر تنش آزمایش شماره ۲۹ ..... ۱۷۵
منحنی ۸۶: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۲۹ ..... ۱۷۵
منحنی ۸۷: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۲۹ ..... ۱۷۶
منحنی ۸۸: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۰ ..... ۱۷۷
منحنی ۸۹: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۰ ..... ۱۷۷
منحنی ۹۰: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۰ ..... ۱۷۸
منحنی ۹۱: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۱ ..... ۱۷۹
منحنی ۹۲: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۱ ..... ۱۷۹
منحنی ۹۳: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۱ ..... ۱۸۰
منحنی ۹۴: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۲ ..... ۱۸۱
منحنی ۹۵: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۲ ..... ۱۸۱
منحنی ۹۶: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۲ ..... ۱۸۲
منحنی ۹۷: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۳ ..... ۱۸۳
منحنی ۹۸: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۳ ..... ۱۸۳
منحنی ۹۹: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۳ ..... ۱۸۴
منحنی ۱۰۰: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۴ ..... ۱۸۵
منحنی ۱۰۱: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۴ ..... ۱۸۵
منحنی ۱۰۲: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۴ ..... ۱۸۶
منحنی ۱۰۳: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۵ ..... ۱۸۷
منحنی ۱۰۴: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۵ ..... ۱۸۷
منحنی ۱۰۵: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۵ ..... ۱۸۸
منحنی ۱۰۶: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۶..... ۱۸۹

منحنی ۱۰۷: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۶ ..... ۱۸۹
منحنی ۱۰۸: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۶..... ۱۹۰
منحنی ۱۰۹: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۷ ..... ۱۹۱
منحنی ۱۱۰: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۷ ..... ۱۹۱
منحنی ۱۱۱: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۷ ..... ۱۹۲
منحنی ۱۱۲: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۸ ..... ۱۹۳
منحنی ۱۱۳: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۸ ..... ۱۹۳
منحنی ۱۱۴: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۸ ..... ۱۹۴
منحنی ۱۱۵: مسیر تنش آزمایش شماره ۳۹ ..... ۱۹۵
منحنی ۱۱۶: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۳۹ ..... ۱۹۵
منحنی ۱۱۷: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۳۹ ..... ۱۹۶
منحنی ۱۱۸: مسیر تنش آزمایش شماره ۴۰ ..... ۱۹۷
منحنی ۱۱۹: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۴۰ ..... ۱۹۷
منحنی ۱۲۰: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۴۰ ..... ۱۹۸
منحنی ۱۲۱: مسیر تنش آزمایش شماره ۴۱ ..... ۱۹۹
منحنی ۱۲۲: منحنی تنش-کرنش آزمایش شماره ۴۱ ..... ۱۹۹
منحنی ۱۲۳: تنش انحرافی، فشار حفره ای و کرنش محوری آزمایش شماره ۴۱ ..... ۲۰۰

فصل اول: مقدمه

عملکرد سازه‌هایی مانند ساختمان‌ها و پل‌ها در حین زلزله شدیداً تحت تاثیر خاک‌های زیر آن‌ها می‌باشد. شرایط محلی خاک می‌تواند به دو صورت کلی باعث ایجاد آسیب‌های سازه‌ای شود: با اثر حرکات زمین که باعث تحریک سازه‌ها می‌شود و با تحمیل کردن تغییر شکل‌های اضافی بر سازه بر اثر شکست خاک. پدیده‌هایی همچون روانگرایی که منجر به ایجاد خسارات شدیدی در حین زلزله می‌شوند، همواره توجه مهندسین را به خود جلب نموده‌اند. همین امر مقدمه‌ای برای شناخت رفتار خاک و عوامل و پارامترهای تاثیرگذار بر آن، قبل و هنگام زلزله بوده‌است.

۱–۱ هدف تحقیق

ازآنجا که خاک دارای ساختار و رفتار پیچیده‌ای است، فرایند شناخت رفتار خاک مستلزم انجام آزمایش-های دقیق در حوزه وسیع و با ملاحظه جزئیات مرتبط با آن می‌باشد، بدین منظور آزمایش‌های فراوانی توسط محققین مختلف و با بهره‌گیری از دستگاه‌های مختلف رفتار سنجی خاک، بر روی خاک‌های مختلف صورت گرفته است.

یکی از مهم‌ترین دستگاه‌های آزمایشگاهی برای مدل کردن شرایط طبیعی المان خاک، دستگاه سه-محوری است. آزمایش سه‌محوری تناوبی معمول‌ترین روش برای بررسی رفتار لرزه‌ای خاک می‌باشد وکاربرد آن در علم مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای، پیشرفت‌های ارزشمندی را در جهت درک رفتار دینامیکی خاک به همراه داشته است. در اوایل کار، تحقیق محققین بیشتر روی خاک‌های ماسه‌ای تمیز که دارای بافت و اندازه ذرات یکنواختی اند، متمرکز بود. انجام آزمایش‌های فراوان توسط محققین مختلف در طول چندین سال منجر به این شد که دید نسبتا جامع و روشنی از رفتار لرزه‌ای خاک‌های ماسه‌ای تمیز، حاصل شود. در طی این مدت مفاهیم اساسی حالت پایدار برای ماسه‌ها توسعه یافته است. علاوه بر این رفتار سیکلیک خاک‌های ماسه‌ای نیز تقریبا معلوم شده و یک چهار چوب کلی برای رفتار دینامیکی ماسه‌ها ایجاد شده است. با توجه به این تحقیقات، از جمله مهم‌ترین پارامترهای تاثیر گذار بر روی رفتار دینامیکی خاک‌ها می‌توان به تخلخل یا تراکم اولیه خاک، تنش همه جانبه وارد بر خاک، دامنه تنش تناوبی در حین بارگذاری و همچنین تنش برشی استاتیکی اولیه

اشاره کرد. در بین فاکتورهای تاثیر گذار بر رفتار سیکلیک ماسه‌های اشباع، کارهای نسبتا کمی در مورد اثر تنش برشی استاتیکی اولیه و یا تحکیم ناهمسان بر روی رفتار ماسه‌ها انجام گرفته است. در این تحقیق سعی شده‌است که اثر این فاکتور مورد بررسی قرار گیرد.

۱–۲ ضرورت تحقیق

محاسبه پتانسیل روانگرایی یا کرنش سیکلیک در توده‌های ماسه‌های اشباع که در معرض بار لرزه‌ای قرار دارند، معمولا با استفاده از آزمایش سه‌محوری سیکلیک با تحکیم همسان و یا با استفاده از آزمایش برش ساده سیکلیک با تحکیم یک بعدی بررسی می‌شود. این آزمایش‌ها برای رسیدن به شرایط تنش المان خاک در زیر سطح زمین طراحی شده‌اند. در این المان‌ها هیچ تنش برشی اولیه‌ای بر روی صفحات افقی قبل از بارگذاری لرزه‌ای وجود ندارد. این در حالی است که در عمل شرایط زیادی وجود دارند که تنش برشی استاتیکی اولیه در صفحه افقی المان‌های خاک وجود دارند. در حین زلزله، این المان‌ها تحت اثر تنش‌های برشی سیکلیک اضافی به خاطر انتشار موج برشی از سنگ بستر به طرف بالا قرار می‌گیرند. وجود این تنش برشی استاتیکی اولیه ممکن است دارای اثر تعیین کننده بر پاسخ خاک تحت بارگذاری سیکلیک باشد. اهمیت این موضوع از جایی ناشی می‌شود که در بسیاری از موارد عملی، المان‌های خاک حاضر در طبیعت معمولا به صورت همسان تحکیم نیافته‌اند. و با توجه به گزارش‌های قبلی متوجه می‌شویم که در اکثر موارد حضور تنش برشی استاتیکی اولیه دارای اثر تعیین کننده بر رفتار خاک‌های ماسه‌ای می‌باشد. پرداختن به این موضوع از آنجایی اهمیت دو چندان می‌یابد که برای شناسایی المان‌های خاک داخل زمین معمولا آزمایش‌هایی با تحکیم همسان انجام می‌شود. این مساله می‌تواند شرایط غیر واقعی را برای تخمین پتانسیل روانگرایی در پی داشته باشد که می‌تواند شرایط غیر اقتصادی یا غیر ایمن را برای طرح در بر داشته باشد.

۱–۳ روش تحقیق و فرضیات

آزمایش‌های برای بررسی اثر تنش انحرافی استاتیکی اولیه فشاری بر روی نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه سه‌محوری سیکلیک انجام گرفتند. پس از نمونه‌سازی و اشباع نمونه‌ها تنش انحرافی استاتیکی اولیه‌ای بر نمونه‌ها وارد شده و نمونه‌ها بدین صورت تحت تحکیم قرار گرفتند. برای اینکه بتوان مقایسه خوبی بین آزمایش‌ها انجام داد، برای کل نمونه‌ها تنش تحکیم مساوی و برابر ۱۰۰ کیلو پاسکال در نظر گرفته شد. آزمایش در سه دانسیته نسبی مختلف و با تنش‌های انحرافی استاتیکی اولیه ۰، ۳۰ و ۶۰ کیلو پاسکال که به ترتیب بیانگر شرایط K_0 طبیعی ۱، ۰.۷۵ و ۰.۵۷ می‌باشند. دلیل انتخاب این شرایط اولیه بدین صورت می‌باشد که اگر بخواهیم رابطه جکی را برای ماسه‌ها ملاک قرار بدهیم برای ماسه با زاویه اصطکاک داخلی ۱۴.۵ درجه K_0 برابر ۰.۷۵ و برای ماسه با زاویه اصطکاک داخلی ۲۵.۵ درجه K_0 برابر ۰.۵۷ بدست می‌آیند. این مقادیر برای بررسی دو حالت بسیار محتمل در طبیعت مناسب می‌باشند. و با این فرضیات المان خاک را می‌توان بسیار نزدیکتر به شرایط طبیعی مدل کرد. پس از ایجاد شرایط ذکر شده آزمایش‌ها با دامنه‌های تنش انحرافی سیکلیک مختلف تحت بارگذاری قرار گرفتند. بدین ترتیب مسیر تنش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند که انواع حالت‌های

ممکن برای رفتار ماسه‌ها را در پی داشت.

۱-۴ فصل بندی پایان‌نامه

۱-۴-۱ مقدمه

فصل اول پایان‌نامه فصل مقدمه آن می‌باشد که در آن به بیان کلیات موضوع و اهداف و ضرورت تحقیق و همچنین روش کار و فرضیات پایان‌نامه پرداخته شده است.

۱-۴-۲ بررسی ادبیات فنی و سابقه تحقیق

در فصل دوم پایان‌نامه به بررسی سابقه تحقیق و ادبیات فنی پرداخته شده است. در این فصل کلیات موضوع، کارهای پیشین انجام گرفته، تشریح علمی موضوع مورد بحث پرداخته شده است. این قسمت شامل بررسی تاریخچه و انواع روانگرایی، فاکتورهای موثر بر پتانسیل روانگرایی و تاثیر تنش برشی اولیه استاتیکی بر پتانسیل روانگرایی ماسه‌های اشباع می‌باشد.

۱-۴-۳ معرفی دستگاه آزمایش، مصالح مورد استفاده و نحوه انجام آزمایش

فصل سوم پایان‌نامه در مورد معرفی دستگاه آزمایش، مصالح مورد استفاده و نحوه انجام آزمایش‌ها می‌باشد. در این فصل می‌توان جزئیات مربوط به دستگاه آزمایش شامل قسمت‌های مختلف بدنه دستگاه، سیستم کنترلی دستگاه، انواع سنسورهای به کار رفته برای خواندن داده‌ها و برنامه کنترلی دستگاه را ملاحظه نمود.

قسمت مصالح مورد استفاده شامل معرفی ماسه فیروزکوه که در انجام تحقیق از آن استفاده شده است، مشخصات فیزیکی و عکس میکروسکوپیک ماسه فیروزکوه می‌باشد. و در انتها نحوه انجام آزمایش‌ها با تمامی جزئیات آن را می‌توان ملاحظه کرد که به صورت مفصل از ابتدا تا انتهای انجام آزمایش در آن شرح داده شده است.

۱-۴-۴ نتایج آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

در فصل چهارم پایان‌نامه آزمایش‌های انجام گرفته آورده شده‌اند. در این فصل نتایج آزمایش‌ها با توجه به مفاهیم موجود تفسیر شده و وقوع انواع روانگرایی در آزمایش‌های انجام گرفته نشان داده شده‌اند. در ادامه در این فصل به تعداد سیکل لازم برای وقوع روانگرایی یا کرنش سیکلیک پرداخته شده و نمودارهای CSR در مقابل تعداد سیکل برای وقوع کرنش‌های معین در حالت‌های مختلف تنش برشی استاتیکی اولیه و تخلخل‌های مختلف رسم شده‌اند. سپس مقاومت روانگرایی در ۱۰ سیکل در کرنش‌های مختلف مورد بحث قرار گرفته شده و نمودارهای مربوط به آن کشیده شده است.

در این فصل اثرات بازگشت تنش و دانسیته نسبی مورد بحث قرار گرفته‌اند. همچنین پاسخ فشار آب حفره‌ای در بارگذاری سیکلیک تحقیق شده و مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

۱-۴-۵ نتیجه گیری و پیشنهادات

در فصل پنجم پایان نامه نتایج تحقیق به صورت خلاصه آورده شده است. در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌ها و تفسیر آن‌ها به صورت خلاصه آورده شده است. همچنین در این بخش پیشنهاد برای کارهایی که در آینده می‌توانند انجام بگیرند به صورت خلاصه و لیست وار آورده شده است.

۱-۴-۶ ضمیمه اول نمودارهای آزمایش‌های انجام شده

در ضمیمه اول پایان‌نامه به دلیل اینکه آوردن تمامی نمودارهای آزمایش‌های انجام شده در داخل متن فصل چهارم خارج از حوصله خواننده پایان‌نامه می‌باشد، تمامی نمودارهای مسیر تنش، تنش-کرنش، تنش انحرافی، نسبت اضافه فشار آب حفره‌ای و کرنش‌های محوری برای تمامی آزمایش‌های انجام گرفته به صورت کامل آورده شده است.