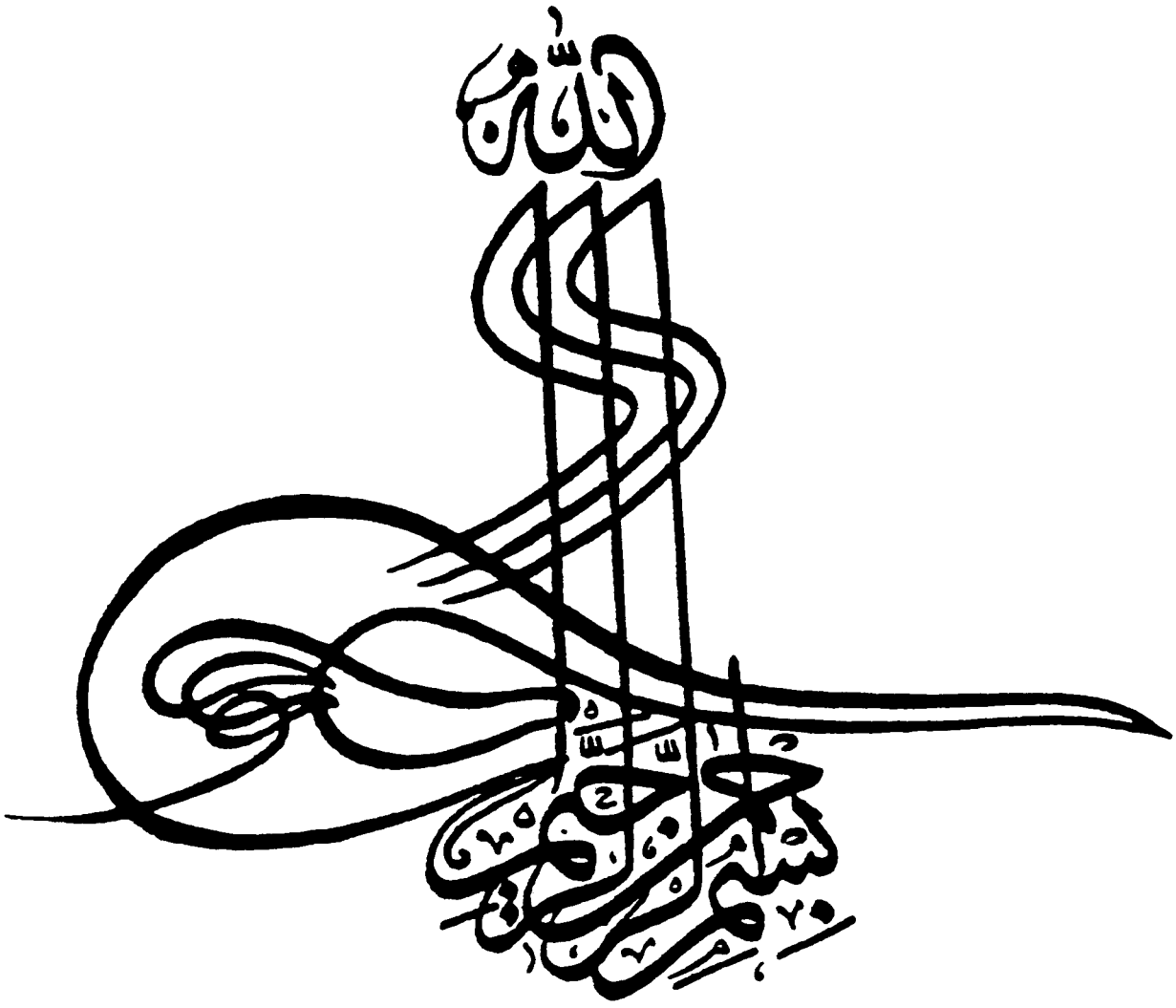
الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت معلم
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی

عنوان

ارزیابی ویژگی های تراکم پذیری و تغییر حجم خاک های ماسه ای سیمانی شده

تحقیق و نگارش
امین حسن زاده

استاد راهنما
دکتر امیر حمیدی

بهمن ۸۸

چکیده

عمده مطالعات آزمایشگاهی گذشته در زمینه بررسی و تبیین رفتار مکانیکی خاکهای سیمانی شده بر ارزیابی ویژگیهای مقاومت برشی این مصالح استوار بوده است. در این تحقیق سعی شده است که ویژگی های تغییر حجم و تراکم پذیری خاکهای ماسه ای سیمانی شده در شرایط تحکیم یک بعدی (K_0) و سه بعدی مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور ماسه ریز و بد دانه بندی شده سواحل بابلسر به عنوان مصالح پایه و گچ وسیمان پرتلند به عنوان عامل سیمانی کننده مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه ها در درصد تراکم‌های نسبی۳۰، ۵۰ و ۷۰ و درصد سیمانهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ ساخته شدند. دستگاه تحکیم ادومتر برای ارزیابی ویژگیهای تراکم پذیری یک بعدی و سلول سه محوری جهت بررسی خصوصیات تغییرحجم سه بعدی استفاده شدند. با انجام آزمایش‌ها، رفتار تغییر حجم و تراکم پذیری خاکهای سیمانی شده مورد مطالعه قرار گرفت. از جمله موارد بررسی شده، مقاومت خردشدگی باندهای سیمانی، مدول بالک و تنش نرمال شدهٔ ماتریس سیمانته در شرایط K_0 و فشار ایزوتروپ در تراکم‌های نسبی و درصدهای سیمان مختلف می باشد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که تراکم نسبی خاک، درصد و نوع عامل سیمانی کننده به شدت خصوصیات تغییر حجم خاکهای سیمانی را تحت تاثیر قرار می دهند. با ازدیاد تراکم نسبی و درصد سیمان، سختی خاک سیمانی شده افزایش یافته و به عبارتی مدول حجمی و فشار لازم برای خردشدگی باندها افزوده می گردد. نوع سیمانتاسیون نیز عامل مهم و تعیین کننده ای در ویژگیهای تغییر حجم این مصالح بوده و بر رفتار تغییر حجم خاک تاثیرگذار می باشد.

واژه‌های کلیدی: ماسهٔ سیمانته، تراکم پذیری، تنش گسیختگی، مدول بالک، درصد سیمان، نوع سیمان، تنش ماتریس.

فهرست مطالب

فصل اول- کلیات

۱-۱- مقدمه ۲
۱- ۲- تعریف مسئله ۴
۱- ۳-فرضیات و هدف تحقیق ۴
۱- ۴- فصل بندی پایان نامه ۵

فصل دوم- رفتار تراکم پذیری خاک‌ها

۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲-تراکم ایزوتروپ ۷
۲-۲-۳-تراکم ایزوتروپ در رس ۷
۲-۲-۴- تراکم ایزوتروپ در ماسه ۹
۲-۳- تراکم یک بعدی، آزمایش ادومتر ۱۱
۲-۴- فشار پیش تحکیمی و روش‌های به دست آوردن آن ۱۴
۲-۴-۱- روش ارائه شده توسط کاساگرانده (۱۹۳۶) ۱۴
۲-۴-۲- روش ارائه شده توسط لیو و کارتر(۲۰۰۰) ۱۵
۲-۴-۳- روش ارائه شده توسط روتا و همکاران (۲۰۰۳) ۱۶
۲-۴-۴- روش ارائه شده توسط چیو و همکاران (۲۰۰۸) ۱۶

۲-۵- مدول بالک ۱۷
۲-۶- عوامل موثر بر تراکم پذیری و ویژگی‌های تراکم پذیری خاک‌های سیمانته ۱۸
۲-۶-۱- نوع خاک ۱۸
۲-۶-۲- نوع سیمان ۱۸
۲-۶-۳- نحوه اعمال تنش ۱۹
۲-۶-۴- درصد تراکم ۱۹
۲-۶-۵- درصد سیمان ۱۹
۲-۶-۶- نسبت آب به سیمان ۲۱
۲-۶-۷- مدت عمل آوری ۲۲
۲-۶-۸- اعمال تنش حین عمل آوری نمونه ۲۳

فصل سوم- مروری بر متون فنی گذشته

۳-۱- مرور کلی ۲۶
۳-۲- نتایج تحقیقات کوپ و اتکینسون(۱۹۹۳) ۳۰
۳-۳- نتایج تحقیقات النوری و سلیم (۱۹۹۴) ۳۷
۳-۴- نتایج تحقیقات هوآنگ و آیری(۱۹۹۸) ۳۹
۳-۵- نتایج تحقیقات روتا و همکاران (۲۰۰۳) ۴۳
۳-۶- نتایج تحقیقات کنسولی و همکاران (۲۰۰۶) ۴۹
۳-۷- نتایج تحقیقات کنسولی و همکاران (۲۰۰۷) ۵۲

۳-۸- نتایج تحقیقات چیو و همکاران (۲۰۰۸) ۵۶
۳-۹- نتایج تحقیقات ژیائو و همکاران (۲۰۰۸) ۶۲

فصل چهارم- تجهیزات، مصالح وآزمایش‌ها

۴-۱- دستگاه‌های استفاده شده در این تحقیق ۶۷
۴-۱-۱- دستگاه ادومتر ۶۷
۴-۱-۲- دستگاه سه محوری ۷۰
۴-۲- مصالح ۷۶
۴-۲-۱- ماسه ۷۶
۴-۲-۲- گچ ۷۸
۴-۲-۳- سیمان پرتلند ۷۹
۴-۳- ساخت نمونه ۸۰
۴-۳-۱- محاسبات اولیه ۸۰
۴-۳-۲- ساخت نمونه گچی برای دستگاه ادومتر ۸۲
۴-۳-۳- ساخت نمونه سیمانته با سیمان پرتلند برای دستگاه ادومتر ۸۴
۴-۳-۴- ساخت نمونه سیمانته گچی برای دستگاه سه محوری ۸۵
۴-۳-۵- ساخت نمونه سیمانته شده با سیمان پرتلند برای دستگاه سه محوری ۸۷

۴-۴- نحوهٔ انجام آزمایش‌ها ۸۸
۴-۴-۱- نحوهٔ انجام آزمایش تحکیم یک بعدی با دستگاه ادومتر ۸۸
۴-۴-۱-۱- نحوهٔ آماده سازی دستگاه جهت انجام آزمایش ۸۸
۴-۴-۱-۲- روند بارگذاری در آزمایش تراکم یک بعدی ۸۹
۴-۴-۱-۳- فواصل زمانی دو گام بارگذاری در آزمایش تراکم یک بعدی ۸۹
۴-۴-۲- نحوهٔ انجام آزمایش تراکم ایزوتروپ با دستگاه سه محوری ۹۱
۴-۴-۲-۱- نحوهٔ قرار دادن نمونه در داخل سلول و آماده سازی آن جهت انجام آزمایش ۹۱
۴-۴-۲-۲- نحوهٔ بارگذاری ۹۳
۴-۴-۲-۳- نحوهٔ اشباع کردن نمونه در نمونه‌های سیمانته شده با سیمان پرتلند ۹۴
۴-۴-۲-۴- اندازه گیری تغییر حجم ۹۵

فصل پنجم- تحلیل نتایج آزمایش‌ها

۵-۱- مقدمه ۱۰۰
۵-۲- بررسی منحنی‌های تراکم ۱۰۱
۵-۲-۱- بررسی تاثیر درصد تراکم بر منحنی‌های تراکم ۱۰۱
۵-۲-۲- بررسی تاثیر نوع سیمان بر منحنی‌های تراکم ۱۰۱
۵-۲-۳- بررسی تاثیر درصد سیمان بر منحنی‌های تراکم ۱۰۹
۵-۲-۵- توضیحاتی پیرامون خطوط NCL و UL ۱۰۹
۵-۳- بررسی تغییرات تنش تسلیم و مدول بالک ۱۱۹

۵-۳-۱- بررسی تغییرات تنش تسلیم ۱۲۰
۵-۳-۱-۱- بررسی تاثیر درصد تراکم بر تنش تسلیم ۱۲۰
۵-۳-۱-۲- بررسی تاثیر درصد سیمان بر تنش تسلیم ۱۲۱
۵-۳-۱-۳- بررسی تاثیر درصد سیمان بر تنش تسلیم ۱۲۱
۵-۳-۲- ارائه رابطه جهت تخمین تنش تسلیم ۱۲۲
۵-۳-۳- بررسی تغییرات مدول بالک ۱۲۴
۵-۳-۳-۱- بررسی تاثیر درصد تراکم بر مدول بالک ۱۲۴
۵-۳-۳-۲- بررسی تاثیر درصد سیمان بر مدول بالک ۱۲۵
۵-۳-۳-۳- بررسی تاثیر نوع سیمان بر مدول بالک ۱۲۵
۵-۳-۴- ارائهٔ رابطه جهت تخمین مدول بالک..... ۱۲۶
۵-۴- مدل ماتریس سیمانته ۱۲۸
۵-۴-۱- بررسی تغییرات تنش ماتریس ۱۲۸
۵-۴-۱-۱- تاثیر درصد تراکم بر تنش ماتریس سیمانته..... ۱۲۸
۵-۴-۱-۲- تاثیر درصد سیمان بر تنش ماتریس سیمانته..... ۱۲۹
۵-۴-۱-۳- تاثیر نوع سیمان بر تنش ماتریس سیمانته..... ۱۲۹
۵-۴-۲- ارائه رابطه جهت تعیین تنش ماتریس خاک سیمانته ۱۳۲

فصل ششم- جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادها

۶-۱- جمع بندی ۱۳۶
۶-۲- نتیجه گیری ۱۳۷
۶-۱- پیشنهاداتی برای ادامهٔ تحقیق ۱۳۹

منابع ۱۴۱

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: منحنی تراکم ایزوتروپ خاک رس (آمراسینگ ۱۹۷۳) ۸

شکل ۲-۲: منحنی ایده‌آل شده تراکم ایزوتروپ رس (اتکینسون و برانزبی ۱۹۷۷) ۸

شکل ۲-۳: تراکم ایزوتروپ رس (اتکینسون و برانزبی ۱۹۷۷) ۱۰

شکل۲-۴: تراکم ایزوتروپ ماسه (اتکینسون و برانزبی ۱۹۷۷) ۱۰

شکل ۲-۵: منحنی ایده‌آل شدهٔ تراکم ایزوتروپ ماسه (اتکینسون و برانزبی ۱۹۷۷) ۱۱

شکل ۲-۶: شرایط مرزی در تراکم یک بعدی (اتکینسون و برانزبی ۱۹۷۷) ۱۲

شکل ۲- ۷: تغییرات ضریب فشار حالت سکون (اتکینسون و برانزبی ۱۹۷۷) ۱۳

شکل ۲-۸: نحوه تعیین فشار پیش تحکیمی با روش ارائه شده توسط کاساگرانده ۱۹۳۶ (داس ۲۰۰۸) ۱۵

شکل ۲-۹ : نحوه تعیین فشار پیش تحکیمی با روش ارائه شده توسط لیو و کارتر ۲۰۰۰ ..... ۱۶

شکل ۲-۱۰: نحوه تعیین فشار پیش تحکیمی با روش ارائه شده توسط روتا وهمکاران ۲۰۰۳ (روتا و همکاران ۲۰۰۳) ۱۷

شکل ۲-۱۱: نحوه تعیین فشار پیش تحکیمی با روش ارائه شده توسط چیو و همکاران (چیو و همکاران ۲۰۰۸)) ۱۷

شکل ۲-۱۲: افزایش شیب خط NCL در اثر افزایش درصد سیمان (روتا و همکاران ۲۰۰۰۳) ۲۰

شکل ۲-۱۳: افزایش مدول بالک در اثر افزایش درصد سیمان (روتا و همکاران ۲۰۰۳) ۲۰

شکل ۲-۱۴: افزایش تنش گسیختگی اولیه در اثر افزایش درصد سیمان (روتا و همکاران ۲۰۰۳) ۲۱

شکل ۲-۱۵: کاهش تنش گسیختگی اولیه در اثر افزایش میزان رطوبت (چیو و همکاران ۲۰۰۸) ۲۲

شکل ۲-۱۶: کاهش مدول بالک در اثر افزایش میزان رطوبت (ژیائو و همکاران ۲۰۰۸)) ۲۲

شکل ۲-۱۷: افزایش مدول بالک، تنش گسیختگی اولیه و شیب خط تحکیم عادی در اثر افزایش مدت عمل آوری نمونه(چیو و همکاران ۲۰۰۸) ۲۳

شکل ۲-۱۸: افزایش مدول بالک و تنش گسیختگی اولیه در اثر افزایش فشار وارد شده به نمونه حین عمل-آوری آن (روتا و همکاران ۲۰۰۳).....۲۴

شکل ۳-۱: رفتار شماتیک خاک سیمانته (a) مسیر تنش (b) رفتار تنش-کرنش (کوپ واتکینسون۱۹۹۳) ۲۷

شکل ۳-۲: آزمایش فشار ایزوتروپ بر روی نمونه‌های غیرسیمانته دارای ریزدانه یا فاقد آن (کوپ و اتکینسون ۱۹۹۳)) ۳۱

شکل ۳-۳: نقطهٔ مقاومت نهایی برای نمونه‌های سیمانته و غیرسیمانته(کوپ و اتکینسون ۱۹۹۳) ۳۲

شکل ۳-۴: مسیر تنش چند آزمایش انجام گرفته روی نمونه‌های سیمانته تحت فشار همه جانبه زیاد (کوپ و اتکینسون ۱۹۹۳).....۳۳

شکل۳-۵: مسیر تنش چند آزمایش انجام گرفته روی نمونه‌های سیمانته تحت فشار همه جانبه خیلی کم و چند آزمایش تک محوری (کوپ و اتکینسون ۱۹۹۳) ۳۴

شکل۳-۶ : رفتار تنش کرنش و تغییر حجم نمونه‌های سیمانته و غیرسیمانته آزمایش شده تحت تنش همه جانبه زیاد (کوپ و اتکینسون ۱۹۹۳) ۳۴

شکل۳-۷ : رفتار تنش کرنش و کرنش حجمی نمونه‌های سیمانته و غیرسیمانته آزمایش شده تحت تنش همه جانبه کم (کوپ و اتکینسون ۱۹۹۳).....۳۵

شکل۳-۸: مسیر تنش مربوط به نمونه‌های سیمانته تحت فشار همه جانبه کم (کوپ و اتکینسون ۱۹۹۳).۳۶

شکل۳-۹: مسیر تنش مربوط به نمونه‌های سیمانته تحت فشار همه جانبه زیاد (کوپ و اتکینسون ۱۹۹۳)۳۶

شکل۳-۱۰: نمونه‌ای از نتایج حاصل از آزمایش تحکیم (النوری و سلیم ۱۹۹۴).....۳۸

شکل۳-۱۱: نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری (هوانگ و آیری ۱۹۹۸).....۴۰

شکل۳-۱۲: تغییرات فشار پیش تحکیمی نسبت به درصد سیمان (هوانگ و آیری ۱۹۹۸) ۴۱

شکل۳-۱۳: تغییرات مدول بالک در مقابل تنش موثر متوسط (هوانگ و آیری ۱۹۹۸).....۴۱

شکل۳-۱۴: تغییرات ضریب تحکیم ثانویه در مقابل تنش موثر متوسط (هوانگ و آیری ۱۹۹۸) ۴۲

شکل۳-۱۵: منحنی تراکم نمونه‌های تهیه شده با ۱ درصد سیمان (روتا و همکاران ۲۰۰۳).....۴۵

شکل۳-۱۶: منحنی تراکم نمونه‌های تهیه شده با ۲ درصد سیمان (روتا و همکاران ۲۰۰۳).....۴۶

شکل۳-۱۷: منحنی تراکم نمونه‌های تهیه شده با ۳ درصد سیمان (روتا و همکاران ۲۰۰۳).....۴۶

شکل۳-۱۷: منحنی تراکم نمونه‌های تهیه شده با ۳ درصد سیمان (روتا و همکاران ۲۰۰۳).....۴۶

شکل۳-۱۷: منحنی تراکم نمونه‌های تهیه شده با ۳ درصد سیمان (روتا و همکاران ۲۰۰۳).....۴۶

شکل۳-۱۸: مجموعه نقاط گسیختگی اولیه، خط گسیختگی و خط تراکم بعد از گسیختگی(روتا و همکاران ۲۰۰۳).....۴۷

شکل۳-۱۹: تغییرات تنش گسیختگی با نسبت تخلخل عمل آوری (روتا و همکاران ۲۰۰۳).....۴۸

شکل۳-۲۰: تغییرات مقاومت فشاری تک محوری با نسبت تخلخل (کنسولی و همکاران ۲۰۰۶).....۵۰

شکل۳-۲۱: رابطه بین نسبت تخلخل عمل آوری ، مقاومت فشاری ، تک محوری ، تنش گسیختگی اضافی و مدول بالک اولیه (کنسولی و همکاران ۲۰۰۶).....۵۱

شکل۳-۲۲: تعیین مولفه اصطکاکی نیرو و نیروی تحمل شده توسط باندهای سیمانی (کنسولی و همکاران ۲۰۰۷).....۵۳

شکل۳-۲۳: منحنی‌های تغییرات تنش وارد بر باندهای سیمانی در مقابل کرنش حجمی (a) نرمال نشده؛ (b) نرمال شده با تنش گسیختگی اضافی (کنسولی و همکاران ۲۰۰۷).....۵۵

شکل۳-۲۴: منحنی‌های آزمایشگاهی و شبیه سازی شدهٔ تغییرات لگاریتم فشار در مقابل نسبت تخلخل برای نمونه‌های ساخته شده با ۱ درصد سیمان (کنسولی و همکاران ۲۰۰۷).....۵۶

شکل۳-۲۵: منحنی‌های تراکم ایزوتروپ برای نمونه‌های سیمانته (چیو و همکاران ۲۰۰۸).....۵۹

شکل۳-۲۶: نحوه تعیین تنش گسیختگی (چیو و همکاران ۲۰۰۸).....۶۰

شکل۳-۲۷: رابطهٔ بین تنش گسیختگی و نسبت درصد آب به درصد سیمان در نمونه های سیمانته با مدت عمل آوری ۲۸ روز (چیو و همکاران ۲۰۰۸).....۶۱

شکل۳-۲۸: تغییرات منحنی تنش-کرنش در اثر تغییر مدت عمل آوری، برای یک نمونه ساخته شده با ٪۲۰ سیمان و ٪۱۰۰ رطوبت (ژیائو و همکاران ۲۰۰۸)..... ۶۳

شکل۳-۲۹: مکان هندسی نقاط تنش گسیختگی باندهای سیمانی در دستگاه نرمال شده به تنش گسیختگی اولیه (ژیائو و همکاران ۲۰۰۸)) ۶۴

شکل۳-۳۰: رابطهٔ بین تنش گسیختگی اولیه و مقاومت فشاری تک محوری (ژیائو و همکاران ۲۰۰۸)..... ۶۴

شکل۳-۳۱: مکان هندسی تنش گسیختگی اولیه برای نمونه‌های ساخته شده در درصدهای سیمان و مدت زمان عمل آوری های مختلف (ژیائو و همکاران ۲۰۰۸)..... ۶۵

شکل ۴-۱: نمای کلی دستگاه ادومتر استفاده شده در این تحقیق..... ۶۸

شکل ۴-۲: سلول تحکیم و اجزای تشکیل دهندهٔ آن..... ۷۰

شکل ۴-۳: رگلاتور تنظیم کنندهٔ فشار هوا در دستگاه سه محوری ۷۱

شکل ۴-۴: اجزای تشکیل دهندهٔ دستگاه سه محوری..... ۷۲

شکل ۴-۵: سلول دستگاه سه محوری..... ۷۳

شکل ۴-۶: پدستال و برخی اجزاء سلول دستگاه سه محوری..... ۷۵

شکل ۴-۷: منحنی دانه بندی ماسه (یزدانجو ۱۳۸۶) ۷۷

شکل ۴-۸: نتیجهٔ آزمایش زمان گیرش با سوزن ویکات برای گچ استفاده شده در این تحقیق..... ۷۸

شکل ۴-۹: نتیجهٔ آزمایش زمان گیرش با سوزن ویکات برای سیمان پرتلند استفاده شده در این تحقیق... ۷۹

شکل ۴-۱۰: نمونه‌ای از ماسه، گچ و سیمان پرتلند استفاده شده در این تحقیق ۷۹

شکل ۴-۱۱: نمونه‌های ساخته شده در قالب‌های آماده شده با گریس و ورق پلاستیکی..... ۸۶

شکل ۴-۱۲: نمونهٔ خارج شده از قالب..... ۸۷

شکل ۴-۱۳: تغییرات نشست در مقابل لگاریتم زمان برای نمونه غیر سیمانه با تراکم ٪۵۰ تحت اثر فشار ۲۷۵kPa ۹۰

شکل ۴-۱۴: منحنی تغییرات نشست در مقابل لگاریتم زمان برای نمونه سیمانی شده با ٪۱ سیمان پرتلند، با تراکم ٪۵۰ تحت اثر ۲۷۵kPa فشار ۹۰

شکل ۴-۱۵: منحنی تغییرات نشست در مقابل لگاریتم زمان برای نمونه سیمانی شده با ٪۱ گچ، با تراکم ٪۵۰ تحت اثر ۲۷۵kPa فشار ۹۱

شکل ۴-۱۶: منحنی تغییر حجم سلول برای کالیبره کردن تغییر حجم نمونهٔ خشک..... ۹۶

شکل ۵-۱: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم یک بعدی جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های غیرسیمانته در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۰۲

شکل ۵-۲: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم ایزوتروپ جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های غیرسیمانته در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۰۲

شکل ۵-۳: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم یک بعدی جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های سیمانته شده با ٪۰/۵ گچ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش..... ۱۰۳

شکل ۵-۴: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم ایزوتروپ جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های سیمانته شده با ٪۰/۵ گچ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش..... ۱۰۳

شکل ۵-۵: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم یک بعدی جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های سیمانته شده با ٪۰/۵ سیمان پرتلند در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش. ۱۰۴

شکل ۵-۶: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم ایزوتروپ جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های سیمانته شده با ٪۰/۵ سیمان پرتلند در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش. ۱۰۴

شکل ۵-۷: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم یک بعدی جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های سیمانته شده با ٪۱ گچ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۰۵

شکل ۵-۸: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم ایزوتروپ جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های سیمانته شده با ۱٪ گچ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۰۵

شکل ۵-۹: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم یک بعدی جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های سیمانته شده با ۱٪ سیمان پرتلند در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش..... ۱۰۶

شکل ۵-۱۰: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم ایزوتروپ جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های سیمانته شده با ۱٪ سیمان پرتلند در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش..... ۱۰۶

شکل ۵-۱۱: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم یک بعدی جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه-های سیمانته شده با ۱/۵٪ گچ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۰۷

شکل ۵-۱۲: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم ایزوتروپ جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه‌های سیمانته شده با ۱/۵٪ گچ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۰۷

شکل ۵-۱۳: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم یک بعدی جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه-های سیمانته شده با ۱/۵٪ سیمان پرتلند در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۰۸

شکل ۵-۱۴: منحنی ارائه شده مربوط به آزمایش تراکم یک بعدی جهت بررسی تاثیر درصد تراکم بر نمونه-های سیمانته شده با ۱/۵٪ سیمان پرتلند در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۰۸

شکل ۵-۱۵: منحنی ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر نتایج آزمایش‌های ایزوتروپ نمونه-های سیمانته شده با تراکم ۳۰٪ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۱۰

شکل ۵-۱۶: منحنی ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر نتایج آزمایش‌های ایزوتروپ نمونه-های سیمانته شده با تراکم ٪۵۰ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش ۱۱۰

شکل ۵-۱۷: منحنی ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر نتایج آزمایش‌های ایزوتروپ نمونه‌های سیمانته شده با تراکم ٪۷۰ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش..... ۱۱۱

شکل ۵-۱۸: منحنی ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر نتایج آزمایش‌های ادومتر نمونه‌های سیمانته شده با تراکم ٪۳۰ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش..... ۱۱۱

شکل ۵-۱۹: منحنی ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر نتایج آزمایش‌های ادومتر نمونه‌های سیمانته شده با تراکم ٪۵۰ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش..... ۱۱۲

شکل ۵-۲۰: منحنی ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر نتایج آزمایش‌های ادومتر نمونه‌های سیمانته شده با تراکم ٪۷۰ در مختصات (a) $e-\log p'$ (b) $e-p'$ و (c) منحنی تنش-کرنش..... ۱۱۲

شکل ۵-۲۱: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم یک بعدی روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با سیمان پرتلند با تراکم ٪۳۰..... ۱۱۴

شکل ۵-۲۲: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم یک بعدی روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با گچ با تراکم ٪۳۰..... ۱۱۴

شکل ۵-۲۳: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با گچ با تراکم ٪۳۰..... ۱۱۵

شکل ۵-۲۴: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با گچ با تراکم ٪۳۰..... ۱۱۵

شکل ۵-۲۵: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم یک بعدی روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با سیمان پرتلند با تراکم ٪۵۰..... ۱۱۶

شکل ۵-۲۶: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم یک بعدی روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با گچ با تراکم ٪۵۰ ..... ۱۱۶

شکل ۵-۲۷: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با سیمان پرتلند با تراکم ٪۵۰ ..... ۱۱۶

شکل ۵-۲۸: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با گچ با تراکم ٪۵۰ ..... ۱۱۷

شکل ۵-۲۹: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم یک بعدی روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با سیمان پرتلند با تراکم ٪۷۰ ..... ۱۱۷

شکل ۵-۳۰: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم یک بعدی روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با گچ با تراکم ٪۷۰ ..... ۱۱۸

شکل ۵-۳۱: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با سیمان پرتلند با تراکم ٪۷۰ ..... ۱۱۸

شکل ۵-۳۲: خطوط NCL متعلق به آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ روی نمونه‌های غیرسیمانته و سیمانی شده با گچ با تراکم ٪۷۰ ..... ۱۱۸

شکل ۵-۳۳: نحوه تعیین فشار پیش تحکیمی با روش ارائه شده توسط روتا وهمکاران ۲۰۰۳ (روتا و همکاران ۲۰۰۳) ۱۲۰

شکل ۵-۳۴: نمودار ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر تغییرات تنش تسلیم در مقابل درصد تراکم برای آزمایش‌های تراکم یک بعدی ۱۲۲

شکل ۵-۳۵: نمودار ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر تغییرات تنش تسلیم در مقابل درصد تراکم برای آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ ۱۲۲

شکل ۵-۳۶: مقایسهٔ تنش گسیختگی به دست آمده از آزمایشگاه و محاسبه شده با رابطهٔ (۵-۵) برای نمونه-های ساخته شده با ٪۰/۵ سیمان ۱۲۳
شکل ۵-۳۷: مقایسهٔ تنش گسیختگی به دست آمده از آزمایشگاه و محاسبه شده با رابطهٔ (۵-۵) برای نمونه-های ساخته شده با ٪۱ سیمان..... ۱۲۳
شکل ۵-۳۸: مقایسهٔ تنش گسیختگی به دست آمده از آزمایشگاه و محاسبه شده با رابطهٔ (۵-۵) برای نمونه-های ساخته شده با ٪۱/۵ سیمان ۱۲۴
شکل ۵-۳۹: نمودار ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر تغییرات مدول بالک در مقابل درصد تراکم برای آزمایش‌های تراکم یک بعدی ۱۲۵
شکل ۵-۴۰: نمودار ارائه شده جهت بررسی تاثیر نوع و درصد سیمان بر تغییرات مدول بالک در مقابل درصد تراکم برای آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ..... ۱۲۶
شکل ۵-۴۱: مقایسهٔ مدول بالک به دست آمده از آزمایشگاه و محاسبه شده با رابطهٔ (۵-۹) برای نمونه‌های ساخته شده با ٪۰/۵ سیمان ۱۲۷
شکل ۵-۴۲: مقایسهٔ مدول بالک به دست آمده از آزمایشگاه و محاسبه شده با رابطهٔ (۵-۹) برای نمونه‌های ساخته شده با ٪۱ سیمان..... ۱۲۷
شکل ۵-۴۳: مقایسهٔ مدول بالک به دست آمده از آزمایشگاه و محاسبه شده با رابطهٔ (۵-۹) برای نمونه‌های ساخته شده با ٪۱/۵ سیمان ۱۲۷
شکل ۵-۴۴: تاثیر درصد تراکم بر تغییرات تنش ماتریس سیمانته نسبت به کرنش حجمی برای آزمایش‌های تراکم یک بعدی و نمونه‌های ساخته شده با ٪۰/۵ (a) سیمان پرتلند (b) گچ ۱۲۹
شکل ۵-۴۵: تاثیر درصد تراکم بر تغییرات تنش ماتریس سیمانته نسبت به کرنش حجمی برای آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ و نمونه‌های ساخته شده با ٪۰/۵ (a) سیمان پرتلند (b) گچ..... ۱۳۰

شکل ۵-۴۶: تاثیر درصد تراکم بر تغییرات تنش ماتریس سیمانته نسبت به کرنش حجمی برای آزمایش‌های تراکم یک بعدی و نمونه‌های ساخته شده با ٪۱ (a) سیمان پرتلند (b) گچ ۱۳۰

شکل ۵-۴۷: تاثیر درصد تراکم بر تغییرات تنش ماتریس سیمانته نسبت به کرنش حجمی برای آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ و نمونه‌های ساخته شده با ٪۱ (a) سیمان پرتلند (b) گچ ۱۳۰

شکل ۵-۴۸: تاثیر درصد تراکم بر تغییرات تنش ماتریس سیمانته نسبت به کرنش حجمی برای آزمایش‌های تراکم یک بعدی و نمونه‌های ساخته شده با ٪۱/۵ (a) سیمان پرتلند (b) گچ ۱۳۱

شکل ۵-۴۹: تاثیر درصد تراکم بر تغییرات تنش ماتریس سیمانته نسبت به کرنش حجمی برای آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ و نمونه‌های ساخته شده با ٪۱/۵ (a) سیمان پرتلند (b) گچ ۱۳۱

شکل ۵-۵۰: تاثیر نوع و درصد سیمان بر تغییرات تنش ماتریس سیمانته نسبت به کرنش حجمی برای نمونه‌های ساخته شده در تراکم ٪۳۰ در آزمایش تراکم (a) ایزوتروپ (b) ادومتر ۱۳۱

شکل ۵-۵۱: تاثیر نوع و درصد سیمان بر تغییرات تنش ماتریس سیمانته نسبت به کرنش حجمی برای نمونه‌های ساخته شده در تراکم ٪۵۰ در آزمایش تراکم (a) ایزوتروپ (b) ادومتر ۱۳۲

شکل ۵-۵۲: تاثیر نوع و درصد سیمان بر تغییرات تنش ماتریس سیمانته نسبت به کرنش حجمی برای نمونه‌های ساخته شده در تراکم ٪۷۰ در آزمایش تراکم (a) ایزوتروپ (b) ادومتر ۱۳۲

شکل ۵-۵۳: مقایسهٔ تنش ماتریس سیمانته به دست آمده از رابطهٔ (۵-۱۰) و نتایج آزمایش‌های تراکم ایزوتروپ انجام شده در این تحقیق ۱۳۳

شکل ۵-۵۴: مقایسهٔ تنش ماتریس سیمانته به دست آمده از رابطهٔ (۵-۱۱) و نتایج آزمایش‌های تراکم یک بعدی انجام شده در این تحقیق ۱۳۴

فهرست جداول

جدول ۳-۱: جزئیات آزمایشهای انجام شده (روتا و همکاران ۲۰۰۳))..... ۴۵
جدول ۳-۲: مشخصات فیزیکی خاک به کار برده شده در آزمایش‌ها (چیو و همکاران ۲۰۰۸) ۵۷
جدول ۳-۳: جزئیات آزمایش‌های انجام گرفته (چیو و همکاران ۲۰۰۸) ۵۸
جدول ۳-۴: تنش گسیختگی و شیب خط تراکم حاصل از آزمایش‌های فشاری ایزوتروپ (چیو و همکاران ۲۰۰۸). ۶۰
جدول ۴-۱: مشخصات فیزیکی ماسه بابلسر(یزدانجو ۱۳۸۶) ۷۷
جدول ۴-۲: مشخصات قالب‌های به کار رفته جهت ساخت نمونه..... ۸۲
جدول ۴-۳: مشخصات نمونه‌های سیمانته ۸۳
جدول ۴-۴: مشخصات نمونه‌های غیرسیمانته ۸۴
جدول ۵-۱: پارامترهای خط NCL به دست آمده در این تحقیق، برای نمونه‌های با تراکم ٪۳۰ ..... ۱۱۴
جدول ۵-۲: پارامترهای خط NCL به دست آمده در این تحقیق، برای نمونه‌های با تراکم ٪۵۰ ..... ۱۱۵
جدول ۵-۳: پارامترهای خط NCL به دست آمده در این تحقیق، برای نمونه‌های با تراکم ٪۷۰ ..... ۱۱۷
جدول ۵-۴: مقدار κ به دست آمده برای هر آزمایش..... ۱۱۹
جدول ۵-۵: مقدار تنش گسیختگی (p_y) به دست آمده برای هر آزمایش..... ۱۲۱
جدول ۵-۶: مقدار مدول بالک به دست آمده برای هر آزمایش..... ۱۲۵