بسم الله الرحمن الرحيم

٩٩١١٦

دانشگاه شیراز

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه دکتري در رشته مهندسي عمران (مکانیک خاک و پی)

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر مکش بر رفتار تنش-کرنش خاکهای غیر اشباع

توسط

علیرضا باقریه

۱۳۸۷ /۷/ ۱۵

استاد راهنما:

دکتر ارسلان قهرمانی

دکتر قاسم حبیب آگهی

مرداد ماه ۱۳۸۷

۹۹۱۱۶

به نام خدا

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر مکش بر رفتار تنش-کرنش خاکهای غیر اشباع

به وسیله‌ی:

علیرضا باقریه

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه دکتری

در رشته‌ی:

مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: --عالی--

دکتر ارسلان قهرمانی، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان دانشگاه شیراز(استاد راهنما)

دکتر قاسم حبیب آگهی، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان دانشگاه شیراز(استاد راهنما)

دکتر مجتبی جهان اندیش،دانشیار بخش مهندسی راه و ساختمان دانشگاه شیراز(عضو کمیته)

دکتر نادر هاتف، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان دانشگاه شیراز(عضو کمیته)

دکتر ناصر خلیلی، استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه نیو ساوث ولز استرالیا(عضو کمیته)

مرداد ماه ۱۳۸۷

تقدیم به

همسر دلسوز

و پدر و مادر مهربانم

سپاسگزاری

اکنون که به یاری خداوند متعال انجام تحقیق و نگارش این پایان نامه به پایان رسیده است،لازم می دانم از راهنمایی های ارزشمند استاد گرامی آقای دکتر قهرمانی تشکر نمایم.

از استاد گرامی آقای دکتر حبیب آگهی که انجام این پایان نامه بدون راهنمایی ها و کمک های دلسوزانه و بی دریغ ایشان میسر نبود، کمال تشکر و امتنان را دارم.

از استادان محترم مشاور آقایان دکتر جهان اندیش و دکتر هاتف که در انجام این پایان نامه مرا یاری دادند سپاسگزارم.

از استاد ارجمند آقای دکتر خلیلی به سبب راهنمایی ها و نظرات سازنده در تمام مراحل تحقیق خصوصا در حین دوره فرصت مطالعاتی در دانشگاه نیو سات ولز استرالیا صمیمانه سپاسگزارم.

همچنین از آقای گویین مسئول آزمایشگاه ژئوتکنیک دانشگاه نیو سات ولز و نیز خانم کمالی مسئول آزمایشگاه مکانیک خاک غیر اشباع دانشگاه شیراز و آقای محسن اژدری دانشجوی دکتری ژئوتکنیک دانشگاه شیراز که در انجام آزمایشها مرا یاری دادند، تشکر می نمایم.

از همسر دلسوزم که با همفکری و همراهی بی دریغ و همچنین سعه صدر و تحمل مشکلات سهم چشمگیری در طی این مرحله دشوار داشت، تشکر میکنم.

در پایان از پدر و مادر مهربانم که در حین تحصیل همواره مشوق و یاور من بوده و در پیشرفت تحصیلی ام نقش موثری داشتند، سپاسگزارم.

چکیده

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر مکش بر رفتار تنش-کرنش خاکهای غیر اشباع

به وسیله:

علیرضا باقریه

هدف از انجام این تحقیق بدست آوردن درک کامل تری از رفتار تنش-کرنش خاکهای غیر اشباع می باشد. تکنیکهای آزمایشگاهی در خاکهای غیر اشباع در حال گسترش و توسعه هستند. یکی از مباحث مهم در این زمینه اندازه گیری تغییر حجم نمونه های سه محوری غیر اشباع است. در این تحقیق روشی بر مبنای پردازش تصاویر دیجیتال ارائه گردیده است. جنبه اصلی این روش استفاده از تبدیل موجک برای تشخیص لبه های نمونه است. این روش در مقایسه با روشهای قبلی به شکل کاملا موثر و دقیق تری مرز های نمونه را تشخیص دهد. همچنین مشاهده گردید که الگوی اعوجاج و بزرگنمایی تصاویر آنقدر پیچیده است که با روشهای انطباق منحنی نمی توان آنرا کشف کرد. از شبکه های عصبی مصنوعی برای کالیبراسیون بزرگنمایی و اعوجاج تصاویر نمونه سه محوری استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییر حجمهای بدست آمده از این روش با نتایج روش معمولی اندازه گیری تغییر حجم نمونه های اشباع مطابقت خوبی دارد. بنابراین می توان از روش مذکور به عنوان روشی مطمئن در خاکهای غیر اشباع استفاده کرد.

یک برنامه آزمایشگاهی بر روی کائولینی با ساختار تخلخل دوگانه انجام شد. آزمایشها شامل آزمایشهای تحکیم یک بعدی اشباع و غیر اشباع می گردد. با انجام آزمایشهای خشک کردن تحت تنش خالص ثابت تغییر حجمهای ناشی از خشک کردن اندازه گیری گردید. همچنین اثر تنش خالص بر منحنی آب – خاک مطالعه شد. از تئوری تنش موثر برای محاسبه تغییر حجمهای ناشی از افزایش مکش استفاده شد. نتایج نشان داد که روش بکار گرفته شده می تواند تغییر حجمها را به خوبی پیش بینی کند.

در برنامه آزمایشگاهی دیگری نمونه هایی از خاک رس لای دار شیراز که به صورت استاتیکی متراکم شده بودند، تحت آزمایش قرار گرفتند. آزمایش صفحه فشار نشان دهنده وجود ساختار تخلخل دو گانه در نمونه ها بود. آزمایشهای سه محوری اشباع و غیر اشباع با مسیر های تنش عادی و خاص بر روی نمونه ها انجام گردید. نتایج آزمایشها نشان داد که منحنی تحکیم ایزوتروپیک تحت تاثیر مکش تغییر نمی کند. همچنین خط حالت بحرانی برای مقادیر مختلف مکش خطی واحد است. بنابراین مکش صرفا باعث تغییر تنش موثر شده و اثر سخت کنندگی در رس لای دار شیراز ندارد. یک مدل سطح مرزی با استفاده از داده های آزمایشگاهی کالیبره شد. شبیه سازی هایی که با استفاده از این مدل و بر مبنای تئوری تنش موثر انجام شد تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه	۱
۱-۱- پیش زمینه	۱
۱-۲- اهداف و روش تحقیق	۳
۱-۳- ساختار پایان نامه	۴
فصل دوم مروری بر منابع علمی	۶
۲-۱- مدلهای رفتاری خاکهای غیر اشباع	۶
۲-۲- تنش موثر در خاکهای غیر اشباع	۶
۲-۳- مدلهای رفتاری دو متغیره	۸
۲-۴- مدلهای مبتنی بر تنش موثر درخاکهای غیر اشباع	۱۰
۲-۵- رفتار تغییرحجم خاکهای غیر اشباع	۱۲
۲-۶- مقاومت خاکهای غیر اشباع	۱۳
۲-۷- مدلهای رفتاری موجود برای رسهای اشباع	۱۴
فصل سوم رفتار خشک شدن و تنش موثر در یک خاک کلوخه ای با تخلخل دوگانه	۱۷
۳-۱- مقدمه	۱۷
۳-۲- مفاهیم اصلی	۱۹
۳-۲-۱-تنش موثر	۱۹
۳-۲-۲- سخت کنندگی مکش	۲۱
۳-۳- برنامه آزمایشگاهی	۲۲
۳-۴ - نتایج و تفاسیر	۲۵
۳-۴-۱- آزمایشهای تحکیم	۲۵

عنوان | صفحه

۳-۴-۲- آزمایشهای خشک کردن ۲۶
۳-۴-۳-منحنی آب- خاک ۲۶
۳-۴-۴-داده‌های تغییر حجم و تحلیل آنها ۲۷
۳-۵- نتیجه‌گیری ۳۲
فصل چهارم یک راهکار جدید برای اندازه گیری تغییر حجم نمونه های سه محوری با استفاده از پردازش تصاویر ۳۳
۴-۱-مقدمه ۳۳
۴-۲-وسیله عکسبرداری ۳۵
۴-۳-روش تشخیص لبه ۳۵
۴-۳-۱- راهکار پیشنهادی ردیابی لبه ۳۸
۴-۴-کالیبراسیون ۴۱
۴-۴-۱-کالیبراسیون عمودی ۴۶
۴-۵-کالیبراسیون با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ۴۶
۴-۵-۱-معماری شبکه ۴۷
۴-۵-۲-مطالعه پارامتریک ۴۹
۴-۶-روش محاسبه حجم نمونه ۴۹
۴-۷-مقایسه با روشهای مرسوم ۵۰
۴-۸-خلاصه ۵۲
فصل پنجم مواد و روشهای آزمایشگاهی و نتایج بدست آمده از خاک شیراز ۵۳
۵-۱-مقدمه ۵۳
۵-۲-آزمایشهای طبقه‌بندی ۵۳
۵-۲-۱-آزمایش تعیین G_s ۵۴
۵-۲-۲-تعیین حد روانی ۵۴
۵-۲-۳-تعیین حد خمیری ۵۵
۵-۲-۴ دانه‌بندی خاک با الک و هیدرومتری ۵۵
۵-۳-آزمایش تراکم ۵۶
۵-۶-آزمایش تعیین منحنی آب- خاک(WRC) ۵۷
۵-۶-۱-تشریح وسایل آزمایش و نحوهٔ انجام آزمایش ۵۷

عنوان	صفحه
۶-۵-۳- اشباع هوای محفظه از رطوبت	۵۹
۶-۵-۴-نحوه اشباع نمونه های آزمایش صفحه فشار	۶۰
۵-۶-۵-نتایج	۶۰
۵-۷-آزمایش‌های سه محوری	۶۱
۵-۷-۱- نحوهٔ ساخت نمونه های سه محوری	۶۳
۵-۷-۱-۱-تراکم نمونه‌های سه محوری	۶۳
۵-۷-۲- دستگاه آزمایش سه محوری استفاده شده در این تحقیق	۶۴
۵-۷-۲-۱-کنترل و اندازه گیری فشارآب منفذی	۶۷
۵-۷-۲-۲-روش اشباع سرامیک دستگاه سه محوری	۶۷
۵-۷-۲-۳-نحوه اعمال و اندازه‌گیری فشار هوای منفذی	۶۸
۵-۷-۲-۴-نحوه اعمال و کنترل مکش	۶۹
۵-۷-۲-۵- اندازه‌گیری تغییر حجم آب منفذی	۶۹
۵-۷-۲-۶-اندازه گیری نفوذ پذیری سرامیک	۷۰
۵-۷-۲-۷-کنترل سالم بودن سرامیک	۷۱
۵-۷-۲-۸-اندازه گیری زمان پاسخ سرامیک و سیستم اندازه گیری فشار	۷۲
۵-۷-۲-۹-نحوه قرارگیری نمونه در دستگاه سه محوری	۷۲
۵-۷-۳-آزمایشهای فشار ایزوتروپیک (همه جانبه) اشباع	۷۳
۵-۷-۴-آزمایش‌های بارگذاری همه جانبه با مکش ثابت(Constant Suction)	۷۴
۵-۷-۵-آزمایش‌های برش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده در حالت اشباع	۷۵
۵-۷-۵-۱- نحوهٔ اشباع کردن نمونه	۷۶
۵-۷-۵-۲-نحوهٔ تحکیم نمونه	۷۷
۵-۷-۵-۳- مرحله برش	۷۷
۵-۷-۵-۴-کنترل فشار سلول حین برش	۷۸
۵-۷-۶-آزمایش‌های برش سه محوری غیر اشباع	۷۸
۵-۷-۶-۱- نحوهٔ تهیه نمونه‌ها	۷۸
۵-۷-۶-۲-دستگاه مورد استفاده دراین آزمایش	۷۸
۵-۷-۶-۳-نحوهٔ انجام آزمایش	۷۹
۵-۷-۸-نتایج آزمایش های سه محوری	۸۰

عنوان	صفحه
۵-۷-۸-۲-آزمایش فشار همه جانبه غیر اشباع با مکش ثابت	۸۱
۵-۷-۸-۳-آزمایشهای برش سه محوری اشباع زهکشی شده	۸۱
۵-۷-۸-۴-آزمایشهای برشی غیر اشباع بر روی نمونه های پیش تحکیم یافته	۸۷
۵-۷-۸-۵-آزمایشهای برشی غیر اشباع بر روی نمونه های عادی تحکیم یافته	۸۹
۵-۸- بحث	۹۴
فصل ششم مدل سطح مرزی برای خاک شیراز	۹۶
۶-۱-مقدمه	۹۶
۶-۲-پیش‌زمینه مدل	۹۶
۶-۳- تئوری پلاستیسیته معمولی	۹۷
۶-۴- معرفی مدل	۱۰۰
۶-۴-۱- معرفی متغیرها	۱۰۰
۶-۴-۲- روابط تنش کرنشی	۱۰۱
۶-۴-۳- تئوری پلاستیسیته سطح مرزی	۱۰۲
۶-۴-۴- پتانسیل پلاستیک	۱۰۶
۶-۴-۵- مدول سختی	۱۰۸
۶-۴-۶- تعمیم مدل به خاکهای غیر اشباع	۱۰۹
۶-۴-۷-قانون سخت‌شوندگی در خاکهای غیر اشباع	۱۱۳
۶-۵- کالیبراسیون مدل برای خاک شیراز	۱۱۴
۶-۵-۱- پارامتر تنش موثر	۱۱۵
۶-۵-۲- سخت شوندگی ناشی از مکش	۱۱۷
۶-۵-۳- سطح بارگذاری و سطح مرزی	۱۱۹
۶-۵-۴- پتانسیل پلاستیک	۱۲۰
۶-۵-۵- پارامترسختی k_m	۱۲۲
۶-۵-۶- خصوصیات الاستیک	۱۲۲
۶-۶- شبیه سازی رفتار خاک شیراز	۱۲۲
۶-۷- خلاصه	۱۳۳
فصل هفتم خلاصه و نتیجه گیری	۱۳۴
۷-۱- مقدمه	۱۳۴

عنوان	صفحه
۷-۳-آزمایشهای انجام شده بر روی کائولین	۱۳۵
۷-۴-آزمایشهای انجام شده بر روی خاک شیراز	۱۳۶
۷-۵-پیشنهادها برای تحقیقات بعدی	۱۳۷
فهرست منابع	۱۳۸

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- خصوصیات اصلی کائولین مورد استفاده	۲۳
جدول۳-۲ خصوصیات مصالح تحت تنشهای خالص مختلف که در پیش بینی تغییر حجم استفاده شده است	۲۷
جدول ۵-۱ خصوصیات اصلی خاک شیراز	۵۶
جدول ۵-۲ خلاصه ای از آزمایشهای سه محوری	۶۲
جدول۶- ۱پارامترهای مدل برای خاک شیراز	۱۲۲
جدول ۶-۲ خلاصه ای از آزمایشهای برش سه محوری	۱۲۳

فهرست شکلها

عنوان | صفحه

شکل۲-۱ منحنی LCC در مدلهای دو متغیره ۹

شکل ۲-۲ رفتار یک لای در اثر تغییرات مکش (فلورو و همکاران، ۱۹۹۳ گزارش شده بوسیله خلیلی و همکاران،۲۰۰۴) ۱۰

شکل ۲-۳ منحنی LCC با در نظر گرفتن فشار ورود هوا ۱۱

شکل ۳-۱ نمودار دانه بندی کائولین ۲۳

شکل ۳-۲ طرح شماتیکی از اودئومتر اصلاح شده ۲۴

شکل ۳-۳ نتایج آزمایش تحکیم یک بعدی در صفحه $e \sim \log \sigma'_v$ ۲۵

شکل ۳-۴ منحنی آب-خاک تحت تنش ۱۱۰ kPa ۲۸

شکل ۳-۵ منحنی آب-خاک تحت تنش ۲۲۰ kPa ۲۹

شکل ۳-۶ منحنی آب-خاک تحت تنش ۴۴۰ kPa ۲۹

شکل ۳-۷ منحنی آب-خاک تحت تنش ۷۵۰ kPa ۳۰

شکل ۳-۸ منحنی تغییرات تخلخل در برابر مکش تحت تنش ۱۱۰ kPa ۳۰

شکل ۳-۹ منحنی تغییرات تخلخل در برابر مکش تحت تنش ۲۲۰ kPa ۳۱

شکل ۳-۱۰ منحنی تغییرات تخلخل در برابر مکش تحت تنش ۴۴۰ kPa ۳۱

شکل ۳-۱۱ منحنی تغییرات تخلخل در برابر مکش تحت تنش ۷۵۰ kPa ۳۲

شکل ۴-۱ سلول سه محوری و سیستم عکسبرداری ۳۶

شکل ۴-۲ تصویری از نمونه و امتداد خط $i=1000$ ۳۹

شکل ۴-۳ تغییرات شدت نور در امتداد خط $i=1000$ ۴۰

شکل ۴-۴ تبدیل موجک هار شدت نور در راستای خط $i=1000$ برای مقادیر مختلف مقیاس $\alpha = 2,3,4,5$ ۴۰

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۶ شکل شماتیک مدل مکاری و همکاران(۱۹۹۷) ۴۲

شکل ۴-۷ تعداد پیکسلهای قرار گرفته بین دو لبه استوانه با قطر ۴/۴۶ cm در ترازهای مختلف ۴۴

شکل ۴-۸ تعداد پیکسلهای قرار گرفته بین دو لبه استوانهcm ۴/۹۴ در ترازهای مختلف ۴۴

شکل ۴-۹ تعداد تعداد پیکسلهای قرار گرفته بین دو لبه استوانه ۵/۷۲ cm در ترازهای مختلف ۴۵

شکل ۴-۱۰ تعداد پیکسلهای قرار گرفته بین دو لبه استوانهcm ۶/۲۵ در ترازهای مختلف ۴۵

شکل ۴-۱۱ معماری شبکه عصبی با پردازش پسخور ۴۸

شکل ۴-۱۲ مقادیر قطرهای پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی بر حسب قطرهای واقعی ۴۸

شکل ۴-۱۳ قطرهای پیش‌بینی شده با فرض ۱۳۰۰ ، ۱۲۰۰ ،۱۱۰۰و ۱۰۰۰ $d'=$ در امتداد محور i ۴۹

شکل ۴-۱۴ مقایسه روش پردازش تصاویر با روش معمول اندازه گیری تغییر حجم در آزمایش فشردگی ایزوتروپیک اشباع بر روی خاک رس لای دار شیراز ۵۱

شکل ۴-۱۵ مقایسه روش پردازش تصاویر با روش معمول اندازه گیری تغییر حجم در آزمایش برش سه محوری اشباع بر روی خاک رس لای دار شیراز ۵۱

شکل ۵-۱ نتایج آزمایش تعیین حد روانی ۵۴

شکل ۵-۲ نمودار دانه‌بندی خاک شیراز ۵۵

شکل ۵-۳ تغییرات وزن مخصوص خشک در برابر رطوبت خاک شیراز ۵۶

شکل ۵-۴ طرح شماتیک دستگاه صفحه فشار ۵۸

شکل ۵-۵ عکسی از دستگاه صفحه فشار استفاده شده در این تحقیق ۵۹

شکل ۵-۶ نتایج آزمایش صفحه فشار در خاک شیراز ۶۱

شکل۵-۷ قالب استفاده شده برای تراکم نمونه‌های سه محوری ۶۴

شکل ۵-۸ طرح کلی سلول بیشاپ- وزلی(۱۹۷۵) ۶۶

شکل ۵-۹ سامانه کنترل فشار در دستگاه مسیر تنش ۶۶

عنوان	صفحه

شکل۵-۱۱ سامانه کنترل فشار هوا در دستگاه سه محوری مسیر تنش غیر اشباع	۶۸
شکل ۵-۱۲ دستگاه اندازه‌گیری تغییر حجم آب منفذی	۷۰
شکل ۵-۱۳- نتایج آزمایش فشار همه جانبه اشباع (آزماش شماره ۱)	۸۰
شکل ۵-۱۴- نتایج آزمایش فشار همه جانبه اشباع (آزماش شماره ۲)	۸۰
شکل ۵-۱۵- نتایج آزمایش فشار همه جانبه غیر اشباع (آزمایش شماره ۳)	18
شکل ۵-۱۶ نتایج آزمایشهای سه محوری اشباع بر روی نمونه های عادی تحکیم یافته	۸۳
شکل ۵-۱۷ نتایج آزمایشهای سه محوری اشباع بر روی نمونه های بیش تحکیم یافته در تنش موثر اولیه $\sigma'_3=100\ \ kPa$	۸۴
شکل ۵-۱۸ مسیر تنش آزمایش های آزمایشهای سه محوری اشباع بر روی نمونه های بیش تحکیم یافته در تنش موثر اولیه $\sigma'_3=100\ \ kPa$	۸۵
شکل ۵-۱۹ مسیر تنش آزمایش های آزمایشهای سه محوری اشباع بر روی نمونه های بیش تحکیم یافته در تنش موثر اولیه $\sigma'_3=200\ \ kPa$	۸۵
شکل ۵-۲۰ نتایج آزمایشهای سه محوری اشباع بر روی نمونه های بیش تحکیم یافته در تنش موثر اولیه $\sigma'_3=200\ \ kPa$	۸۶
شکل ۵-۲۱ مسیر تنش آزمایش های برش سه محوری غیر اشباع بر روی نمونه های بیش تحکیم یافته	۸۷
شکل ۵-۲۲ نتایج آزمایش های برش سه محوری غیر اشباع بر روی نمونه های بیش تحکیم یافته	۸۸
شکل ۵-۲۳ نتایج آزمایشهای شماره ۱۳،۱۴و۱۵	۹۰
شکل ۵-۲۴ نتایج آزمایشهای شماره ۱۶ و ۱۷	۹۱
شکل ۵-۲۵ مسیر تنش آزمایشهای برشی غیر اشباع بر روی نمونه های عادی تحکیم یافته با مسیر تنش خاص	۹۲
شکل ۵-۲۶ نتایج آزمایشهای برشی غیر اشباع بر روی نمونه های عادی تحکیم یافته با مسیر تنش خاص	۹۳
شکل ۶-۱ سطح تسلیم و پتانسیل پلاستیک مدل کم کلی	۱۰۰
شکل۶-۲ سطح مرزی و سطح بارگذاری	۱۰۳
شکل ۶-۳ سطوح مرزی و بارگذاری و قانون نگاشت در مدل	۱۰۵

عنوان **صفحه**

شکل ۶-۵ اثر مکش را بر ICL در آزمایش های ویلر و سیواکومار (۱۹۹۵) (خلیلی و همکاران، ۲۰۰۴) ۱۱۱

شکل ۶-۶ خط حالت بحرانی به ازاء مکش‌های مختلف در صفحهٔ $q \sim p'$ در یک لای (Sion Silt) (خلیلی و همکاران، ۲۰۰۴) ۱۱۱

شکل ۶-۷ خط حالت بحرانی به ازاء مکش‌های مختلف در صفحهٔ $q \sim p'$ در کائولین (خلیلی و همکاران، ۲۰۰۴) ۱۱۲

شکل ۶-۸ خط حالت بحرانی به ازاء مکش‌های مختلف در صفحهٔ $q \sim p'$ در یک سیلت (Jossingy Silt) (خلیلی و همکاران، ۲۰۰۴) ۱۱۲

شکل ۶-۹ مقادیر χ محاسبه شده برحسب مکش در خاک شیراز ۱۱۶

شکل ۶-۱۰ خط حالت بحرانی در صفحه $q \sim p'$ ۱۱۷

شکل۶-۱۱ نتایج آزمایش های فشردگی ایزوتروپیک درحالت‌های اشباع و غیر اشباع ۱۱۸

شکل ۶-۱۲ حجم مخصوص (v) نمونه‌های آزمایش برش سه محوری در حالت بحرانی در برابر تنش موثر متوسط (p') برای نمونه های اشباع و غیر اشباع با مکش های مختلف ۱۱۹

شکل۶-۱۳ نقاط تسلیم در صفحه $q \sim p'$ و سطح مرزی ۱۲۱

شکل۶-۱۴ پتانسیل پلاستیک در خاک شیراز در صفحه $\frac{q}{p'} \sim \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_q}$ ۱۲۱

شکل ۶-۱۵ نتایج آزمایش های برش سه محوری غیر اشباع با مسیر تنش معمولی بر روی نمونه های عادی تحکیم یافته و شبیه سازی آنها با مدل سطح مرزی ۱۲۶

شکل ۶-۱۶ نتایج آزمایش های برش سه محوری غیر اشباع با مسیر تنش معمولی بر روی نمونه های عادی تحکیم یافته و شبیه سازی آنها با مدل سطح مرزی ۱۲۷

شکل ۶-۱۷ نتایج آزمایش های برش سه محوری غیر اشباع با مسیر تنش خاص بر روی نمونه های عادی تحکیم یافته و شبیه سازی آنها با مدل سطح مرزی ۱۲۸

شکل ۶-۱۸ نتایج آزمایش های برش سه محوری اشباع با مسیر تنش معمولی بر روی نمونه های عادی تحکیم یافته و شبیه سازی آنها با مدل سطح مرزی ۱۲۹

شکل ۶-۱۹ نتایج آزمایش های برش سه محوری اشباع بر روی نمونه های بیش تحکیم یافته و شبیه سازی آنها با مدل سطح مرزی ۱۳۰

عنوان	صفحه
شکل ۶-۲۱ نتایج آزمایش های برش سه محوری غیر اشباع بر روی نمونه های بیش تحکیم یافته و شبیه سازی آنها با مدل سطح مرزی	۱۳۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیش زمینه

علی رغم گستردگی خاکهای غیر اشباع در نقاط مختلف جهان، تحقیقات برای بررسی رفتار این خاکها نسبتاً محدود است. خاکهای غیر اشباع حدود ۴۰ در صد از سطح زمین را پوشانده اند. همچنین در فعالیتهای عمرانی نظیر خاکریزهای راهها، فرودگاهها و سدهای خاکی معمولاً با خاک غیر اشباع مواجه هستیم. خاکهای متورم شونده، رمبنده و خاکهای بر جا، مثالهای دیگری از خاکهای غیر اشباع هستند. در سالهای اخیر مدلهای رفتاری متعددی برای خاکهای غیر اشباع بر مبنای متغیرهای مستقل تنش ارائه گردیده است. در این گونه مدلها تنش خالص (تنش کل منهای فشار هوای منفذی) و مکش (فشار هوای منفذی منهای فشار آب منفذی) از یکدیگر مستقل در نظر گرفته می شوند. به عنوان مثال می توان از مدلهای آلونسو و همکاران(۱۹۹۰)[1] ، ویلر و سیواکومار(۱۹۹۵)[2] و کویی و دلاژ(۱۹۹۶)[3] نام برد. گرچه این مدلها توانستند برخی از جنبه های اساسی رفتار خاکهای غیر اشباع نظیر رمبش[4] در اثر خیس کردن را توصیف کنند اما در بیان برخی دیگر از جنبه های رفتاری نظیر تورم پلاستیک در تنش های محدوکننده کم و رفتار الاستیک خاکهای غیر اشباع عادی تحکیم یافته در اثر خشک کردن ناتوان هستند.(آلونسو و همکاران[5]، ۱۹۹۵؛ لورت و خلیلی[6]، ۲۰۰۰؛ ویلر و همکاران[7]، ۲۰۰۳؛ گالیپولی و همکاران[8]، ۲۰۰۳؛ خلیلی و همکاران، ۲۰۰۴[9]).

---

[1] Alonso et al (1990)
[2] Wheeler and Sivakumar (1995)
[3] Cui and Delage (1996)
[4] Collapse
[5] Alonso et al(1994)
[6] Loret and Khalili(2000)
[7] Wheeler et al (2003)
[8] Gallipoli et al(2003)
[9] Khalili et al (2004)

همچنین این گونه مدلها نیازمند مقدار قابل توجهی آزمایش برای تعیین پارامترهایشان هستند. چنین موضوعی باعث محدودیت در کاربرد عملی آنها، نیاز به زمان زیاد برای اسفاده از آنها و نیز هزینه بالای استفاده از آنها می شود. در چنین روشهایی دو مدل پلاستیسیته جداگانه برای حالات اشباع و غیر اشباع اعمال می گردد.

اخیراً چارچوبی مبتنی بر تنش موثر برای توصیف رفتار خاکهای غیر اشباع گسترش یافته است که با آن در آن واحد می توان بسیاری از خصوصیات خاکهای غیر اشباع را که با یکدیگر ظاهراً ارتباطی ندارند، توصیف کرد.(کوهگو و همکاران[۱]، ۱۹۹۳؛ خلیلی و خباز[۲]، ۱۹۹۸؛ لوییز و شرفلر[۳]،۱۹۸۷؛ هاتر و همکاران[۴]، ۱۹۹۹؛ لورت و خلیلی[۵]، ۲۰۰۰؛ خلیلی و لورت[۶]، ۲۰۰۱؛ لورت و خلیلی[۷]،۲۰۰۲؛ شنگ و همکاران[۸]،۲۰۰۳؛ لالویی و همکاران[۹]،۲۰۰۳؛ گالیپولی و همکاران[۱۰]،۲۰۰۳؛ ویلر و همکاران[۱۱]، ۲۰۰۳ و خلیلی و همکاران[۱۲]،۲۰۰۴).

مزیت استفاده از مدلهای مبتنی بر تنش موثر این است که خصوصیات کامل رفتار الاستیک را می توان با استفاده از صرفاً یک متغیر به نام تنش موثر بیان کرد. درحالیکه در مدلهای مبتنی بر متغیر های مستقل، حداقل به دو متغیر نیاز است. این موضوع باعث ساده شدن مدل و کاهش تعداد پارامترهای آن می گردد. همچنین برای پیش بینی رفتار خاک در حالت غیر اشباع دقیقاً همان پارامترهایی که در حالت اشباع به کار رفته اند قابل استفاده هستند. تنها نیاز به اضافه کردن دو پارامتر فشار ورود هوا[۱۳] و تابع سخت کنندگی مکش برای حالت غیر اشباع می باشد.

---

[1] Kohgo et al(1993)
[2] Khalili and Khabbaz(1998)
[3] Lewis and Schrefler(1987)
[4] Hutter et al(1999)
[5] Loret and Khalili(2000)
[6] Khalili and Loret(2001)
[7] Loret and Khalili(2002)
[8] Sheng et al(2003)
[9] Laloui et al(2003)
[10] Gallipoli et al(2003)
[11] Wheeler et al(2003)
[12] Khalili et al(2004)
[13] Air entry

۱-۲-اهداف و روش تحقیق

هدف اصلی این تحقیق، درک کامل تری از رفتار تنش-کرنش خاکهای غیر اشباع است. یک برنامه آزمایشگاهی بر روی یک کائولین متراکم شده با ساختار پوکی دوگانه انجام گرفت؛ این آزمایشها در آزمایشگاه دانشگاه نیوساوت ولز[1] در استرالیا انجام گرفت. آزمایش ها شامل تعدادی آزمایش تحکیم یک بعدی اشباع و غیراشباع بر روی نمونه های کائولین بود. در آزمایشهای غیر اشباع، اثر خشک کردن بر کاهش حجم و منحنی مشخصه آب-خاک بصورت همزمان ارزیابی گردید. تغییر حجم در اثر خشک کردن بر اساس تئوری تنش موثر مدلسازی گردید. اثر تنش خالص بر منحنی مشخصه آب-خاک و مقادیر فشار ورود هوای درشت حفره ها و ریزحفره ها مطالعه گردید.

از آنجایی که آزمایشهای برش سه محوری غیر اشباع جایگاه مهمی در برنامه آزمایشهای این تحقیق داشتند و با توجه به اینکه اندازه گیری تغییر حجم نمونه های سه محوری غیر اشباع از موارد چالش بر انگیز در این شاخه از علم است، رویکردی جدید برای اندازه گیری تغییر حجم نمونه های سه محوری بر اساس پردازش تصاویر دیجیتال ارائه گردید. که شامل روشی برای تعیین مرزهای نمونه سه محوری بر اساس تبدیل موجک و نیز استفاده از شبکه های عصبی برای تعیین الگوی اعوجاج و بزرگنمایی عکس ها است. برای محاسبه حجم نمونه ضروری است که مرز واقعی نمونه با پیش زمینه عکس با استفاده از روشی سیستماتیک تعیین گردد.

برای انجام آزمایشهای سه محوری یک دستگاه مسیر تنش بیشاپ وزلی(۱۹۷۵)[2] بود که با داشتن یک سیستم باز خور[3] قادر به اعمال مسیرهای مختلف تنش بود. برای انجام آزمایشهای غیر اشباع اصلاحاتی در آن انجام گردید. از تکنیک انتقال محور هیلف(۱۹۵۹)[4] برای اعمال مکش استفاده گردید.

برنامه آزمایشی بر روی خاک رس سیلتی شیراز به منظور بررسی تاثیر مکش بر رفتار تنش کرنشی و مقاومتی و تحلیل اثر سخت کنندگی مکش انجام گرفت. آزمایشها شامل آزمایشهای تحکیم ایزوتروپیک اشباع، فشردگی ایزوتروپیک تحت مکش ثابت و آزمایشهای برش سه محوری زهکشی شده با مسیر تنش های مختلف بود. در مجموعه مقالات موجود در زمینه

---

[1] University of New South Wales
[2] Bishop and Wesley(1975)
[3] Feed Back
[4] Hilf(1959)