



پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی سازه‌های آبی

تخمین منحنی مشخصه و هدایت هیدرولیکی غیراشباع در
تراکم‌های مختلف خاک

توسط:

پویان باقری

استاد راهنما:

دکتر سید محمد علی زمردیان

شهریور ماه ۸۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب پویان باقری دانشجوی رشته‌ی مهندسی آب گرایش
سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی اظهار می‌کنم که این پایان نامه حاصل
پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی
دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و
موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد
می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار
غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی
متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: پویان باقری

تاریخ و امضا:

۸۸/۸/۱۸

به نام خدا

تخمین منحنی مشخصه و هدایت هیدرولیکی غیراشباع در تراکم های مختلف خاک

به وسیله‌ی:

پویان باقری

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی سازه های آبی

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر سید محمد علی زمردیان، استادیار بخش مهندسی آب (رئیس کمیته).....

دکتر علیرضا سپاسخواه، استاد بخش مهندسی آب، استاد مشاور.....

دکتر شاهرخ زند پارسا، استادیار بخش مهندسی آب، استاد مشاور.....

شهریور ماه ۱۳۸۸

تقدیم به

اولین و مهربان ترین معلم، مادر

دلسوزترین و استوارترین پناهم، پدر

و خواهر و برادران عزیزم

سپاسگزاری

الهی، ای داننده هر چیز و سازنده هر کار و دارنده هر کس، نه کس را با تو انبازی و نه کس را از تو بی نیازی، کار به حکمت می اندازی و به لطف می سازی.

استاد گرانقدر جناب آقای دکتر زمردیان را سپاس می گویم که این افتخار نصیب من گردید تا در بهترین سال های عمر خویش خوشه چین باغ علم و معرفت شما باشم. بواسطه زحمات متعددی که در طول دوره کارشناسی ارشد متقبل شدید کمال تشکر را دارم. همچنین از اساتید محترم مشاور و فرهیخته جناب آقای دکتر سپاسخواه و جناب آقای دکتر زند پارسا نیز که در تمامی اوقات با نظرانی مفید و سازنده باعث غنای هر چه بیشتر این پژوهش شدند بسیار قدردانی و سپاسگزاری می نمایم.

از سایر اعضاء هیأت علمی بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز که از محضر ایشان استفاده نموده‌ام تشکر نموده، همچنین از کارشناسان، تکنسین‌ها و کارکنان محترم بخش که در انجام امور پایان‌نامه با اینجانب همکاری صمیمانه‌ای داشته‌اند سپاسگزارم.

از دوستانم آقای مهندس مسیح ذوالقدر، خانم نرگس اژدری، آقای مهندس مهدی رضاییان زاده و آقای مهندس عبدالله رادسر که در انجام این پژوهش کمک بسیاری به من کرده‌اند نیز تشکر و قدردانی می نمایم.

از دیگر دوستان به ویژه همکلاسی‌هایم که در این دوره از تحصیل از مساعدت و همیاریشان بهره برده‌ام و همچنین سایر عزیزانی که بنحوی این حقیر را در مراحل مختلف اجرای این تحقیق یاری نموده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از پدر و مادر بزرگوام نیز که در همه حال، در دشواری‌ها همراه و حامی من بوده‌اند خالصانه قدردانی می نمایم.

پویان باقری

شهریور ۸۸

چکیده

تخمین منحنی مشخصه و هدایت هیدرولیکی غیراشباع در تراکم های مختلف خاک

به وسیله‌ی

پویان باقری

برای مدل سازی حرکت آب در خاک مشخصات هیدرولوژیکی خاک به ویژه منحنی مشخصه رطوبتی خاک یعنی رابطه رطوبت-مکش و رابطه هدایت هیدرولیکی-رطوبت مورد نیاز است. تعیین این منحنی ها از طریق اندازه گیری در صحرا و آزمایشگاه کاری مشکل، پر هزینه و وقت گیر است. در طی سالهای گذشته، ارائه مدل هایی برای تخمین منحنی مشخصه آب خاک و هدایت هیدرولیکی خاک های غیراشباع مورد توجه محققین بوده است. خاک ها را می توان به دو صورت متراکم و غیرمتراکم تقسیم بندی کرد که بیشترین تحقیقات انجام شده در مورد عوامل هیدرولیکی بر روی خاک های غیرمتراکم صورت گرفته است. در این پژوهش سعی در بررسی عوامل هیدرولیکی خاک شامل منحنی مشخصه آب خاک و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک های متراکم شده است. بدین منظور در ابتدا مقادیر مکش، رطوبت آب خاک و هدایت هیدرولیکی غیراشباع از دو نوع خاک انتخابی شامل یک نمونه خاک برداشت شده از هسته سد ملاصدرا با بافت Clay و نیز یک نمونه خاک برداشت شده از خاک دانشکده کشاورزی شامل سری رامجردی دارای بافت Loam و در ۵ تراکم مختلف با روش گاردنر (۱۹۵۸) اندازه گیری شده است. سپس منحنی های مشخصه رطوبتی دو نوع خاک انتخابی در تراکم های مختلف ترسیم و مقادیر رطوبت با استفاده از مدل های ون گنوختن (۱۹۸۰) و فردلاند و زینگ (۱۹۹۴) تخمین زده شده و با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه شده اند. سپس با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی غیراشباع و همچنین منحنی های مشخصه رطوبتی خاک های مورد نظر، هدایت هیدرولیکی غیراشباع توسط مدل های ون گنوختن-معلم (ون گنوختن، ۱۹۸۰) (VGM)، فردلاند و همکاران (۱۹۹۴) (FM)، (ROSETTA) ارائه شده توسط شاپ و لیچ (۲۰۰۱) و (UNSATK) ارائه شده توسط زندپارسا (۲۰۰۶) تخمین زده شده اند. نتایج نشان می دهد مدل فردلاند و زینگ با دقت نسبتاً بیشتری نسبت به مدل ون گنوختن منحنی های مشخصه رطوبتی را تخمین می زند. برای خاک سری رامجردی و تا رطوبت حجمی حدود ۰/۲۵ بترتیب مدل های (VGM) و (FM) تخمین خوبی از هدایت هیدرولیکی غیراشباع را ارائه می دهند، همچنین برای خاک هسته سد ملاصدرا هیچکدام از مدل ها تخمین مناسبی برای هدایت هیدرولیکی غیراشباع را ارائه نمی دهند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- منحنی مشخصه آب خاک
۳	۱-۲-۱- عوامل مؤثر در شکل منحنی مشخصه آب خاک
۵	۳-۱- هدایت هیدرولیکی غیراشباع
۶	۴-۱- اهداف تحقیق
	فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته
۸	۱-۱- منحنی مشخصه رطوبتی خاک
۸	۱-۱-۲- روش های تعیین منحنی مشخصه آب خاک
۹	۱-۱-۱-۲- روش های آزمایشگاهی
۹	۱-۱-۱-۱-۲- دستگاه صفحات فشاری
۱۰	۲-۱-۱-۱-۲- سانتریفیوژهای دور سریع
۱۰	۳-۱-۱-۱-۲- سایکرومتر ترموکوپل
۱۰	۴-۱-۱-۱-۲- دستگاه صفحه مکش
۱۱	۲-۱-۱-۲- روش های تخمینی
۱۱	۱-۲-۱-۱-۲- گروه اول
۱۳	۲-۲-۱-۱-۲- گروه دوم
۱۷	۳-۲-۱-۱-۲- گروه سوم
۲۲	۲-۲- هدایت هیدرولیکی
۲۳	۱-۲-۲- روش های اندازه گیری هدایت هیدرولیکی غیراشباع
۲۳	۱-۱-۲-۲- روش زهکش داخلی
۲۵	۲-۱-۲-۲- روش آب پاشی روی خاک
۲۵	۳-۱-۲-۲- روش نیمرخ لحظه ای
۲۶	۴-۱-۲-۲- روش سله
۲۷	۵-۱-۲-۲- روش نفوذسنج قطره ای

۲۷	۶-۱-۲-۲- روش تبخیر
۲۸	۷-۱-۲-۲- روش جریان خروجی یک مرحله ای
۲۸	۸-۱-۲-۲- روش جذب
۲۹	۹-۱-۲-۲- روش هوای داغ
۲۹	۱۰-۱-۲-۲- روش نفوذ
۳۰	۱۱-۱-۲-۲- روش گاردنر
۳۰	۱۲-۱-۲-۲- روش های معکوس
	۲-۲-۲- روش تخمین توابع هدایت هیدرولیکی-رطوبت $K(\theta)$ یا هدایت هیدرولیکی-
۳۴	مکش $K(h)$
۳۴	۱-۲-۲-۲- روش تجربی
۴۱	۲-۲-۲-۲- توابع انتقالی (PTFs) و مدل ROSETTA
۴۲	۳-۲-۲-۲- روش های تحلیلی
۴۳	۳-۲- جمع بندی
	فصل سوم: مواد و روش ها
۴۴	۱-۳- جمع آوری اطلاعات
۴۴	۱-۱-۳- انجام آزمایش
۴۶	۲-۳- تحلیل و بررسی اطلاعات جمع آوری شده
۴۶	۱-۲-۳- برازش ضرایب و پارامتر های منحنی مشخصه رطوبتی
۴۷	۱-۱-۲-۳- مقایسه مقادیر پیش بینی و اندازه گیری شده
۴۷	۲-۲-۳- برازش تخمین منحنی های هدایت هیدرولیکی-رطوبت
۴۸	۳-۳- مدل ROSETTA
۵۰	۴-۳- مدل SEEP/W
۵۰	۱-۴-۳- تئوری مدل
۵۰	۱-۱-۴-۳- رطوبت حجمی
۵۱	۲-۱-۴-۳- توابع هدایت هیدرولیکی
۵۱	۲-۴-۳- قانون جریان
۵۲	۳-۴-۳- توابع حاکم
۵۲	۵-۳- تشریح مدل UNSATK
۵۲	۱-۵-۳- تشریح تئوری حاکم بر مدل
۵۵	۲-۵-۳- هدایت هیدرولیکی خاک بر اساس A_{ws}
۵۸	۳-۵-۳- تخمین تابع هدایت هیدرولیکی-رطوبت در مدل UNSATK
۶۰	۴-۵-۳- توسعه حل عددی برای تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s)
۶۰	۵-۵-۳- تخمین عامل اعوجاج

فصل چهارم: نتایج و بحث

- ۶۲ ۱-۴- بدست آوردن داده های آزمایشگاهی
- ۶۶ ۱-۱-۴- برازش ضرایب و پارامتر های منحنی مشخصه رطوبتی
- ۹۰ ۱-۱-۱-۴- مقایسه مدل های پیش بینی کننده منحنی های مشخصه رطوبتی
- ۹۰ ۲-۱-۴- تخمین منحنی های هدایت هیدرولیکی-رطوبت

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱۰۴ ۱-۵- نتیجه گیری
- ۱۰۶ ۲-۵- پیشنهادات
- ۱۰۷ فهرست منابع
- ۱۱۶ پیوست ۱
- ۱۱۷ پیوست ۲
- ۱۱۸ پیوست ۳
- ۱۲۸ پیوست ۴

فهرست جداول

صفحه	عنوان و شماره
۶۳	جدول ۱-۴- طبقه بندی خاک ها با استفاده از مثلث بافت خاک
۶۴	جدول ۲-۴- طبقه بندی خاک ها با استفاده از روش متحد
۶۵	جدول ۳-۴- مقادیر چگالی ظاهری خشک و رطوبت های وزنی مختلف از دو خاک سری رامجردی و هسته سد ملاصدرا
۷۸	جدول ۴-۴- ضرائب و پارامترهای برازش داده شده معادله ون گنوختن (۱۹۸۰)، و فردلانند و زینگ (۱۹۹۴) در خاک سری رامجردی با تراکم های مختلف
۷۹	جدول ۵-۴- ضرائب و پارامترهای برازش داده شده معادله ون گنوختن (۱۹۸۰)، و فردلانند و زینگ (۱۹۹۴) در خاک هسته سد ملاصدرا با تراکم های مختلف
۱۰۳	جدول ۶-۴- مقادیر محاسبه شده RMSE و MAE بین مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده هدایت هیدرولیکی خاک های سری رامجردی و هسته سد ملاصدرا در تراکم های مختلف
۱۱۶	جدول ۱-۱- پیوست- داده های منحنی دانه بندی- خاک سری رامجردی
۱۱۶	جدول ۲-۱- پیوست- داده های منحنی دانه بندی- خاک هسته سد ملاصدرا
۱۱۷	جدول ۱-۲- پیوست- مقادیر اندازه گیری شده مکش-رطوبت خاک سری رامجردی (A) در تراکم های مختلف
۱۱۷	جدول ۲-۲- پیوست- مقادیر اندازه گیری شده مکش-رطوبت خاک هسته سد ملاصدرا (B) در تراکم های مختلف
۱۱۸	جدول ۱-۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برازش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۱۳٪
۱۱۸	جدول ۲-۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برازش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش فردلانند و زینگ- تراکم با رطوبت ۱۳٪
۱۱۹	جدول ۳-۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برازش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۱۵٪

- جدول ۳-۴- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش فردلانند و زینگ- تراکم با رطوبت ۱۵٪
- ۱۱۹
- جدول ۳-۵- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۱۸٪
- ۱۲۰
- جدول ۳-۶- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش فردلانند و زینگ- تراکم با رطوبت ۱۸٪
- ۱۲۰
- جدول ۳-۷- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۲۰٪
- ۱۲۱
- جدول ۳-۸- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش فردلانند و زینگ- تراکم با رطوبت ۲۰٪
- ۱۲۱
- جدول ۳-۹- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۲۳٪
- ۱۲۲
- جدول ۳-۱۰- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک سری رامجردی-روش فردلانند و زینگ- تراکم با رطوبت ۲۳٪
- ۱۲۲
- جدول ۳-۱۱- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۱۳٪
- ۱۲۳
- جدول ۳-۱۲- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش فردلانند و زینگ- تراکم با رطوبت ۱۳٪
- ۱۲۳
- جدول ۳-۱۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۱۶٪
- ۱۲۴
- جدول ۳-۱۴- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش فردلانند و زینگ- تراکم با رطوبت ۱۶٪
- ۱۲۴

- جدول ۱۵-۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۱۹٪
- ۱۲۵
- جدول ۱۶-۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش فردلاند و زینگ- تراکم با رطوبت ۱۹٪
- ۱۲۵
- جدول ۱۷-۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۲۱٪
- ۱۲۶
- جدول ۱۸-۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش فردلاند و زینگ- تراکم با رطوبت ۲۱٪
- ۱۲۶
- جدول ۱۹-۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش ون گنوختن- تراکم با رطوبت ۲۴٪
- ۱۲۷
- جدول ۲۰-۳- پیوست- نتایج آزمون F-Test برای مقایسه خط برآزش رطوبت حجمی تخمین زده شده (cm^3/cm^3) با خط یک به یک در سطح یک درصد- خاک هسته سد ملاصدرا-روش فردلاند و زینگ- تراکم با رطوبت ۲۴٪
- ۱۲۷
- جدول ۱-۴- پیوست- مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی-رطوبت خاک سری رامجردی در تراکم های مختلف
- ۱۲۸
- جدول ۲-۴- پیوست- مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی-رطوبت خاک هسته سد ملاصدرا در تراکم های مختلف
- ۱۲۹

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان و شماره
۳	شکل ۱-۱- منحنی مشخصه آب خاک-فردلاند و زینگ (۱۹۹۴)
۴	شکل ۱-۲- تغییرات منحنی مشخصه آب خاک بر حسب نوع خاک-فردلاند و زینگ (۱۹۹۴)
۴	شکل ۱-۳- اثر چگالی ظاهری خشک بر منحنی مشخصه آب خاک-یانگ و همکاران (۲۰۰۴)
۶	شکل ۱-۴- تأثیر نوع خاک بر منحنی هدایت هیدرولیکی-مکش-امین علیزاده (۱۳۸۳)
۹	شکل ۲-۱- دستگاه صفحات فشاری
۱۱	شکل ۲-۲- دستگاه صفحه مکش برای اندازه گیری رابطه مکش و رطوبت
۳۳	شکل ۲-۳- مسیر اجرای حاکم بر روش های معکوس
۵۳	شکل ۳-۱- نمایی از توزیع آب خاک در اطراف ذرات خاک در درجات مختلفی از رطوبت خاک (a): حالت اشباع، (b): مقدار رطوبت متوسط، (c): مقدار رطوبت کم (زند پارسا و سپاسخواه، ۲۰۰۴).
۵۵	شکل ۳-۲- نمایی از جریان آب در سطح ذرات خاک
۵۹	شکل ۳-۳- رابطه بین $[A_{ws}(\theta)]$ و $\beta(\theta)r^3(\theta)$ که $\beta(\theta) = \frac{\rho_w g}{3\mu} \left(\frac{v_s(\theta)}{\zeta(\theta)} \right)$ برای تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع یک خاک رسی (زند پارسا، ۲۰۰۶)
۶۱	شکل ۳-۴- مسیر اجرایی و نحوه تعیین منحنی $K - \theta$ (زندپارسا، ۲۰۰۶)
۶۲	شکل ۴-۱- منحنی های دانه بندی خاک سری رامجردی
۶۳	شکل ۴-۲- منحنی های دانه بندی خاک هسته سد ملاصدرا
۶۴	شکل ۴-۳- منحنی تراکم خاک سری رامجردی و خاک برداشت شده از هسته سد ملاصدرا
۶۵	شکل ۴-۴- منحنی مقادیر اندازه گیری شده مکش-رطوبت خاک سری رامجردی در تراکم های مختلف
۶۶	شکل ۴-۵- منحنی مقادیر اندازه گیری شده مکش-رطوبت خاک هسته سد ملاصدرا در تراکم های مختلف
۶۷	شکل ۴-۶- منحنی های مشخصه رطوبتی برآزش شده با روش ون گنوختن (۱۹۸۰)- خاک سری رامجردی با تراکم های مختلف

- شکل ۷-۴- منحنی های مشخصه رطوبتی برازش شده با روش فردلانند و زینگ (۱۹۹۴)-
 ۷۰ خاک سری رامجردی با تراکم های مختلف
- شکل ۸-۴- منحنی های مشخصه رطوبتی برازش شده با روش ون گنوختن (۱۹۸۰)-
 ۷۲ خاک هسته سد ملاصدرا با تراکم های مختلف
- شکل ۹-۴- منحنی های مشخصه رطوبتی برازش شده با روش فردلانند و زینگ (۱۹۹۴)-
 ۷۵ خاک هسته سد ملاصدرا با تراکم های مختلف
- شکل ۱۰-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۰ رامجردی- تراکم با رطوبت ۱۳٪
- شکل ۱۱-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۱ رامجردی- تراکم با رطوبت ۱۵٪
- شکل ۱۲-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۲ رامجردی- تراکم با رطوبت ۱۸٪
- شکل ۱۳-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۳ رامجردی- تراکم با رطوبت ۲۰٪
- شکل ۱۴-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۴ رامجردی- تراکم با رطوبت ۲۳٪
- شکل ۱۵-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۵ هسته سد ملاصدرا- تراکم با رطوبت ۱۳٪
- شکل ۱۶-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۶ هسته سد ملاصدرا- تراکم با رطوبت ۱۶٪
- شکل ۱۷-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۷ هسته سد ملاصدرا- تراکم با رطوبت ۱۹٪
- شکل ۱۸-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۸ هسته سد ملاصدرا- تراکم با رطوبت ۲۱٪
- شکل ۱۹-۴- مقایسه بین داده های تخمین زده و اندازه گیری شده رطوبت با خط ۱:۱ خاک
 ۸۹ هسته سد ملاصدرا- تراکم با رطوبت ۲۴٪
- شکل ۲۰-۴- منحنی مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی- رطوبت برای خاک سری
 ۹۱ رامجردی در تراکم های مختلف
- شکل ۲۱-۴- منحنی مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی- رطوبت برای خاک
 ۹۱ هسته سد ملاصدرا در تراکم های مختلف
- شکل ۲۲-۴- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی خاک سری رامجردی در
 رطوبت های مختلف توسط مدل های ون گنوختن-معلم (VGM)، فردلانند و همکاران
 ۹۲ (۱۹۹۴) (FM)، (ROSETTA) و (UNSATK)

- شکل ۲۳-۴- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی خاک هسته سد ملاصدرا در رطوبت های مختلف توسط مدل های ون گنوختن-معلم (VGM)، فردلاندر و همکاران (۱۹۹۴) (FM)، (ROSETTA) و (UNSATK) ۹۵
- شکل ۲۴-۴- مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی با خط ۱:۱- خاک رامجردی- تراکم با رطوبت های ۱۳٪-۱۵٪ ۹۸
- شکل ۲۵-۴- مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی با خط ۱:۱- خاک رامجردی- تراکم با رطوبت های ۱۸٪-۲۰٪ ۹۹
- شکل ۲۶-۴- مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی با خط ۱:۱- خاک رامجردی- تراکم با رطوبت ۲۳٪ ۱۰۰
- شکل ۲۷-۴- مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی با خط ۱:۱- خاک هسته سد ملاصدرا- تراکم با رطوبت ۱۳٪ ۱۰۰
- شکل ۲۸-۴- مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی با خط ۱:۱- خاک هسته سد ملاصدرا- تراکم با رطوبت های ۱۶٪-۱۹٪ ۱۰۱
- شکل ۲۹-۴- مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده و اندازه گیری شده هدایت هیدرولیکی با خط ۱:۱- خاک هسته سد ملاصدرا- تراکم با رطوبت های ۲۱٪-۲۴٪ ۱۰۲

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه

شناخت بسیاری از فرایندهای مهم در علوم خاک نیاز به داشتن اطلاعات کافی در زمینه فیزیک خاک دارد. فیزیک خاک وضعیت اجزا سه گانه خاک (ذرات جامد، آب و هوا) را مورد بررسی قرار می دهد. ساختار خاک از دانه های جامدی که حفره های بهم پیوسته آب و هوا را در بر گرفته اند تشکیل شده است. بر این اساس رفتار مکانیکی خاک مستقیماً از تأثیر و واکنش این اجزای سه گانه بر یکدیگر ناشی می شوند. سیستم آب و خاک ممکن است به دو صورت باشد. در حالت اول تمام فضای بین دانه های خاک با آب پر شده است و خاک فاقد هوا است که این حالت را اصطلاحاً خاک اشباع^۱ می گویند اگر در چنین شرایطی آب در خاک دارای حرکت باشد، آن را حرکت در حالت اشباع گویند و در حالت دوم اگر تمام فضای بین دانه های خاک با آب پر نشده باشد یعنی علاوه بر آب مقداری هوا نیز در خاک وجود داشته باشد، اصطلاحاً آن را غیراشباع^۲ می گویند، لذا حرکت آب در چنین خاک هایی بصورت غیراشباع می باشد. در این حالت ها جریانی از آب مایع از لابلای ذرات خاک صورت می گیرد با این تفاوت که در حالت اول قسمت عمده جریان از منافذ درشت خاک عبور می کند و کمتر در برخورد و تماس با دانه های خاک قرار می گیرد. حال آنکه در حالت دوم بسته به این که خاک تا چه اندازه غیراشباع باشد، سطح مقطع جریان آب کاهش می یابد و جریان آب از منافذ ریز خاک انتقال می یابد. به همین دلیل جریان در حالت اشباع سریع و زیاد و در حالت غیراشباع بسته به درجه خشکی خاک کند و اندک است. با این وجود، هم در جریان اشباع و هم در جریان غیراشباع، عامل اصلی که باعث حرکت آب از یک نقطه به نقطه دیگر می شود اختلاف پتانسیل هیدرولیکی است که بین دو نقطه ممکن است وجود داشته باشد. علم مکانیک خاک متداول بر پایه فرض اشباع بودن کامل خاک استوار است و بسیاری از تئوری ها و قوانین بر این

¹ Saturated soil

² Unsaturated soil

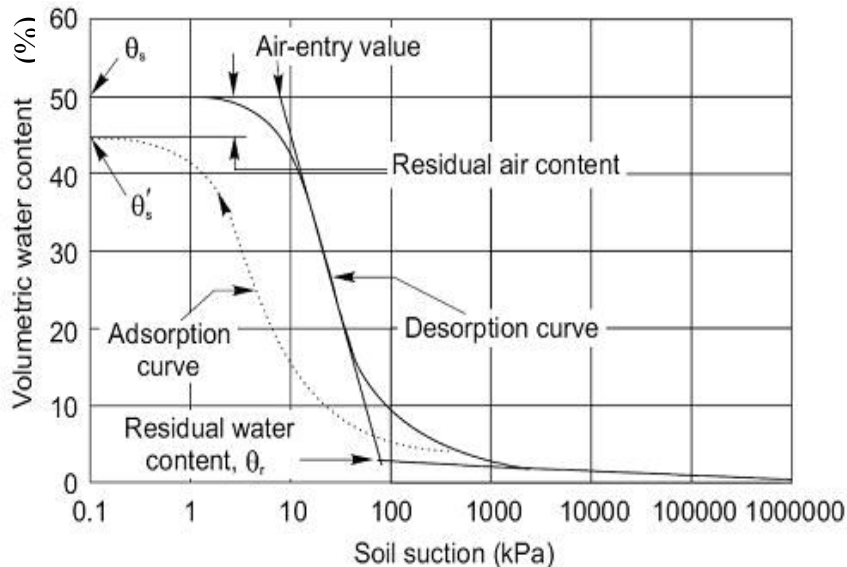
مبنا طرح‌ریزی شده‌اند. این در حالی است که این فرض در بسیاری موارد صادق نمی‌باشد و صرفاً در جهت سادگی کار در نظر گرفته شده است.

بطور مثال رفتار خاک‌ها خصوصاً مقاومت برشی و تغییر حجم تحت اثر بارهای وارده علاوه بر ویژگی اسکلت خاک تابع میزان آب موجود در بین دانه‌های خاک که همان وضعیت غیراشباع است نیز می‌باشد. وجود خاک‌های غیراشباع در مناطق مختلف طبیعت همچون خاک‌های موجود در تراز بالای آب زیرزمینی و خاکریزهای متراکم اهمیت شناخت رفتار این خاک‌ها را آشکار می‌سازد. درک چگونگی رفتار این نوع خاک‌ها در وضعیت‌های گوناگون تنش، برای انجام عملیات مختلف طراحی و اجرائی از قبیل پی‌ها، شیب‌ها، خاکریزها، گودبرداری‌ها، بررسی جریان در سدهای خاکی مانند آنالیز نشت در طراحی و مدل‌سازی این نوع سدها، بررسی قابلیت تراکم و تورم خاک‌ها، انتشار مواد آلاینده در خاک‌ها، فرونشست زمین، یخ‌زدگی، ذوب مجدد آب و اثرات آن در راه‌های درون و برون شهری و سازه‌های حائل بسیار مهم است. پیچیدگی روابط آب و خاک در وضعیت غیراشباع به مراتب بیشتر از شرایط اشباع است زیرا برخی خصوصیات فیزیکی خاک همراه با تغییر درجه اشباع تغییر پیدا کرده و حالت ماندگار ندارد. به همین دلیل در حل مسائل مربوط به جریان شرایط غیراشباع علاوه بر وارد شدن فرضیات زیاد راه‌حل‌های تحلیلی جای خود را به روش‌های عددی و تقریبی می‌دهند. با این وجود، نظر به کاربردهای زیاد حالت غیراشباع در وضعیت‌های گوناگون تنش این موضوع توانسته است بعنوان یکی از موضوعات مهم در علم مکانیک خاک جای خود را باز کند.

۱-۲- منحنی مشخصه آب خاک

وجود مکش در خاک‌های غیراشباع از مهمترین علل تفاوت‌های رفتاری خاک‌های اشباع و غیراشباع می‌باشد. شناخت رفتارهای خاک غیراشباع مستلزم بررسی وضعیت مکش موجود در این خاک‌ها می‌باشد. از طرفی مکش موجود در این خاک‌ها خود تابعی از درصد رطوبت خاک است. در این میان منحنی مشخصه آب خاک با برقراری ارتباط میان مکش موجود در خاک‌های غیراشباع و درصد رطوبت، رابطه مناسبی جهت بیان تغییرات مکش در این خاک‌ها را فراهم می‌نماید. از سوی دیگر، تعیین این منحنی در این خاک‌ها نیازمند انجام آزمایش، صرف وقت و هزینه می‌باشد. از این رو ارائه رابطه‌ای که قادر به پیش‌بینی این منحنی بدون انجام آزمایش باشد در مبحث غیراشباع جایگاه ویژه‌ای یافته و همواره مورد توجه محققین فعال در این زمینه بوده است.

منحنی مشخصه آب خاک یک منحنی پیوسته و به شکل تابع سیگموئید^۱ است، که رابطه بین درصد رطوبت حجمی خاک (θ) و یا درصد رطوبت وزنی خاک (w) با پتانسیل ماتریک موجود در خاک را مشخص می کند. این منحنی در حالت کاهش درصد رطوبت با افزایش مکش شاخه خشک کردن خاک^۲ و در حالت افزایش درصد رطوبت خاک با کاهش مکش شاخه تر شدن خاک^۳ را نشان می دهد. شکل ۱-۱ یک نمونه از این منحنی را نشان می دهد.



شکل ۱-۱- منحنی مشخصه آب خاک-فردلانند و زینگ (۱۹۹۴)

۱-۲-۱- عوامل مؤثر در شکل منحنی مشخصه آب خاک

اگر چه شکل کلی منحنی مشخصه آب خاک برای تمام خاک ها بفرم تابع سیگموئید است ولی عوامل مختلفی در تغییر وضعیت نقاطی از منحنی همچون درصد رطوبت اشباع، درصد رطوبت باقیمانده، محدوده مویبندی و نهایتاً تغییرات درصد رطوبت در محدوده ی تغییرات مکش تأثیرگذار می باشد. در ادامه برخی از عوامل مؤثر بر شکل این منحنی به اختصار ارائه می گردد.

نوع خاک: خاک های مختلف بر حسب دانه بندی با افزایش میزان مکش تغییرات درصد رطوبتی متفاوتی از خود نشان می دهند. هر چه خاک ریزدانه تر باشد دارای محدوده مویبندی و همچنین مکش متناظر با رطوبت باقیمانده بزرگتری است. همچنین افت درصد رطوبت با افزایش مکش با شدت کمتری صورت می پذیرد. شکل ۱-۲ تغییرات منحنی مشخصه آب خاک را بر حسب نوع خاک نشان می دهد.

¹ Sigmoid
² Desorption
³ Sorption