دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته‌ی خاک‌شناسی

گرایش فیزیک و حفاظت خاک

ارزیابی برخی مدل‌های برآورد کننده هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در حوزه آبخیز مرغملک در استان چهارمحال و بختیاری

اساتید راهنما:

دکتر احمد کریمی

دکتر جهانگرد محمدی

پژوهشگر:

مرضیه وکیلی

بهمن ماه ۱۳۸۹

دانشکده کشاورزی

گروه خاک‌شناسی

پایان‌نامه خانم مرضیه وکیلی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی خاک‌شناسی گرایش فیزیک و حفاظت خاک با عنوان: **ارزیابی برخی مدل‌های برآورد کننده هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در حوزه آبخیز مرغملک در استان چهارمحال و بختیاری** در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۲۷ با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با نمره ۱۹/۵۴ مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. اساتید راهنمای پایان‌نامه

دکتر احمد کریمی با مرتبه علمی استادیار

امضاء

دکتر جهانگرد محمدی با مرتبه علمی دانشیار

امضاء

۲. اساتید داور پایان‌نامه

دکتر حبیب الله بیگی با مرتبه علمی استادیار

امضاء

دکتر محمد شایان‌نژاد با مرتبه علمی استادیار

امضاء

دکتر سید حسن طباطبائی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه

متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تشکر و قدردانی:

الهی تو خود شور عشق و به کمال رسیدن را در من نهادی و من رشد کردن را، برتر بودن را و به سعادت رسیدن را دوست می دارم و از شوق رسیدن به کمال و خوشبختی آکنده ام، ای مهربان دستم را بگیر که به سوی تو بلند کرده ام تا دستگیریم کنی، خداوندا به یاری تو بود که برگ دیگری از زندگیم ورق خورد و نوبت به شروع فصل دیگری رسید.

تقدیر از پدر بزرگوارم که آسمان زندگیم را با خورشید همیشه تابان وجودش روشنی بخشید و باغ زندگی مرا چون چشمه ساری همیشه جوشان طراوت و صفا بخشید.

مادر فداکارم که وجودش همه مهر است و زیبایی، او که عشق همه آسمانها در دلش و صافی اشک چشمه ها در عطوفت چشمانش است. وقتی بهشت جاودان را به او هدیه می کنند این نوشته ها نمی تواند جوابگوی ایثار او باشد.

همسر صبورم که تکرار نامش هر بار کهکشانی از ایثار را برایم معنی می کند و محبتهای بی دریغش گرمی بخش وجودم و پشتیبان راهم بوده و هست.

سپاس مستمر به پیشگاه مملو از معرفت اساتید فرهیخته و فاضلم جناب آقای دکتر احمد کریمی و جناب آقای دکتر جهانگرد محمدی که هر چه هست مرهون اندیشه والا و ارشادات خردمندانه و صمیمانه آن بزرگواران است.

قدردانی و سپاس از اساتید عالیقدر جناب آقای دکتر حبیب الله بیگی و جناب آقای دکتر محمد شایان نژاد که زحمت بازخوانی و داوری پایان نامه را به عهده داشتند.

سپاسگزاری فراوان از آقای مهندس متقیان که همواره از راهنمایی های ایشان بهره گرفتم.

از جناب آقای دکتر طباطبایی، سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی به جهت زحمات و مساعدت های ایشان تشکر و قدر دانی می نمایم. از کلیه دوستان و همکلاسی های عزیز و مهربانم که در هر عنوان و سمتی صمیمانه یاریم نمودند، هزاران بار سپاسگزارم. به امید موفقیت روزافزون و جاودان برای تمامی این عزیزان.

تقدیم به

اسطوره تلاش و کوشش پدرم،

مقدس ترین فرشته هستی مادرم و

همراه و همدل همیشگی زندگیم همسرم

چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از ویژگی‌های مهم خاک است که تعیین آن برای مدلسازی جریان آب و املاح در خاک بسیار مهم است. اندازه‌گیری مستقیم این ویژگی بسیار وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد. توابع انتقالی یکی از روش‌های غیرمستقیم بوده که قادر است ویژگی‌های دیریافت خاک را از ویژگی‌های زودیافت آن برآورد نماید. محققین توابع متعددی برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع ارائه نموده‌اند. اهداف این پژوهش عبارتند از: ۱) ارزیابی برخی از این توابع از جمله تابع کاسبی، پاکت، وریکن، جابرو، کمپل، ساکستون، کمپل و شیوزاوا و دان و پاکت برای خاک‌های حوزه آبخیز مرغملک در استان چهارمحال و بختیاری ۲) استفاده از رگرسیون خطی چندگانه برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع. به این منظور، از تعداد ۱۱۱ نمونه خاک که به صورت شبکه‌بندی شبه‌منظم از حوزه آبخیز مرغملک نمونه-برداری شده بود استفاده گردید. در این نمونه‌ها هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار افتان، جرم ویژه ظاهری به روش سیلندر، کربن آلی به روش هضم مرطوب و توزیع اندازه‌ای ذرات خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شدند. پارامترهای زودیافت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه در توابع مذکور قرار داده شد و هدایت هیدرولیکی اشباع در کل نمونه‌ها، سه کلاس بافتی (لوم رسی، رسی سیلتی و لوم رسی سیلتی) و سه کاربری اراضی (مرتع، اراضی تحت کشت آبی و اراضی تحت کشت دیم) برآورد گردیدند. سپس مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع برآورد شده توسط توابع با مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده توسط آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (*RMSE*)، میانگین تخمین خطا (*MEE*)، میانگین قدر مطلق خطا (*MAE*)، کارآیی مدلسازی (*EF*) و ضریب باقیمانده (*CRM*) مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تابع کاسبی بهترین برآورد از هدایت هیدرولیکی اشباع را در کلاس‌های بافتی و کاربری‌های مختلف ارائه می‌نماید. تابع کمپل و شیوزاوا برآورد مناسبی نسبت به سایر توابع در برآورد این ویژگی فیزیکی نشان نداد. همچنین با استفاده از روش رگرسیون توابعی برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در کل نمونه‌ها، دو کلاس بافتی (رسی سیلتی و لوم رسی) و دو کاربری اراضی (مرتع و اراضی تحت زراعت) اشتقاق گردید. عملکرد توابع اشتقاق یافته در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع به روش آزمون اعتبارسنجی با استفاده از آماره‌های مذکور ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که هدایت هیدرولیکی اشباع بیشترین همبستگی را با جرم ویژه ظاهری دارد. همچنین با تقسیم‌بندی نمونه‌ها بر اساس کلاس بافتی و نوع کاربری توابع انتقالی بهتر و کارآمدتری برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع اشتقاق گردید.کارآمدترین توابع انتقالی در برآورد هدایت هیدولیکی اشباع در کلاس بافتی رسی سیلتی و کاربری اراضی تحت زراعت به ترتیب قادرند ۴۵ و ۵۳ درصد از تغییرات کل مشاهدات را با رابطه خطی توجیه کنند. اکثر توابع اشتقاق یافته، هدایت هیدرولیکی اشباع را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. به طور کلی نتایج نشان داد که ایجاد توابع انتقالی با استفاده از پارامترهایی که بیشتر معرف ساختمان خاک هستند نتایج بهتری ارائه می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: هدایت هیدرولیکی اشباع، پارامترهای زودیافت خاک، توابع انتقالی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه ۶

فصل دوم- کلیات و بررسی منابع ۸

۲-۱- جریان آب در خاک ۹

۲-۱-۱- جریان آب در خاک اشباع ۹

۲-۱-۲- جریان آب در خاک غیراشباع ۹

۲-۲- هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۱۰

۲-۲-۱- هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری ۱۱

۲-۲-۲- روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۱۲

۲-۲-۱-۱- روش‌های مستقیم اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع ۱۳

۲-۲-۲-۲- روش‌های غیرمستقیم تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع ۱۶

۲-۳- توابع انتقالی خاک ۱۸

۲-۳-۱- ویژگی‌های دیریافت خاک ۱۸

۲-۳-۲- ویژگی‌های زودیافت خاک ۱۸

۲-۳-۳- انواع توابع انتقالی ۲۵

۲-۳-۴- روش‌های برآورد ویژگی‌های دیریافت خاک ۲۰

۲-۳-۴-۱ شبکه عصبی مصنوعی ۲۰

۲-۳-۴-۲- رگرسیون ۲۱

۲-۳-۵- معیارهای ارزیابی توابع انتقالی خاک ۲۹

۲-۴- مروری بر تحقیقات انجام شده ۳۰

۲-۴-۱- استفاده از توابع انتقالی در برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک ۳۰

۲-۴-۲- بررسی منابع روش‌های مستقیم اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع ۳۰

فصل سوم- مواد و روش‌ها ۴۱

۳-۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه ۴۱

۳-۲ نمونه‌برداری و آماده کردن نمونه‌ها ۴۳

۳-۳ نحوه‌ی اندازه‌گیری خصوصیات ۴۴

۳-۴ توابع برآورد کننده هدایت هیدرولیکی اشباع ۴۴

فصل چهارم- نتایج و بحث ۳۸

۴-۱ - توصیف متغیرها ۳۸

۴-۲- ارزیابی برخی مدل‌های برآورد کننده هدایت هیدرولیکی اشباع ۳۹

۴-۲-۱- ارزیابی مدل‌ها در سطح کلی منطقه مورد مطالعه ۴۰

۴-۲-۲- ارزیابی مدل‌ها در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در کلاس‌های بافتی مختلف ۴۲

۴-۲-۲-۱- ارزیابی مدل‌های برآورد کننده‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های با بافت لوم رسی ۴۲

۴-۲-۲-۲ ارزیابی مدل‌های برآورد کننده‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های با بافت رسی سیلتی ۴۴

۴-۲-۲-۳- ارزیابی مدل‌های برآورد کننده‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های با بافت لوم رسی سیلتی ۴۵

عنوان **صفحه**

۴-۲-۳-ارزیابی مدل‌های برآورد کننده‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع در اراضی با کاربری مختلف ۴۷
۴-۲-۳-۱- ارزیابی مدل‌ها در اراضی با کاربری مرتع ۴۷
۴-۲-۳-۲ - ارزیابی مدل‌ها در اراضی تحت کشت آبی ۴۹
۴-۲-۳-۳ - ارزیابی مدل‌ها در کاربری دیم ۵۰
۴-۳-پردازش داده‌ها ۵۵
۴-۴ -آزمون همبستگی هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های زودیافت خاک در خاک‌های منطقه مورد مطالعه ۵۶
۴-۵- اشتقاق توابع برآورد کننده هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های منطقه مورد مطالعه ۵۷
۴-۶ - مقایسه توابع اشتقاق یافته‌ی برآورد کننده‌ی هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های منطقه مورد مطالعه ۶۰
۴-۷- تقسیم بندی خاک‌های مورد مطالعه براساس کلاس بافتی خاک ۶۰
۴-۷-۱- آزمون همبستگی هدایت هیدرولیکی اشباع با ویژگی‌های زودیافت خاک در خاک‌های با بافت مختلف ... ۶۱
۴-۷-۲- اشتقاق توابع برآورد کننده هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های با بافت رسی سیلتی ۶۲
۴-۷-۳- اشتقاق توابع برآورد کننده هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های با بافت لوم رسی ۶۲
۴-۸- تقسیم‌بندی خاک‌ها بر اساس کاربریهای مختلف ۶۳
۴-۸-۱- آزمون همبستگی هدایت هیدرولیکی اشباع با ویژگی‌های زودیافت خاک در کاربری‌های مختلف اراضی ۶۳
۴-۸-۲- اشتقاق توابع برآورد کننده هدایت هیدرولیکی اشباع در اراضی تحت زراعت ۶۴
۴-۸-۳- اشتقاق توابع برآورد کننده هدایت هیدرولیکی اشباع در اراضی با کاربری مرتع طبیعی ۶۴
فصل پنجم- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۶۶
۵-۱- نتیجه‌گیری ۶۶
۵- ۲- پیشنهادها ۶۷
منابع ۶۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در خاک‌های مختلف ۱۱
جدول ۲-۲- ضریب تغییرپذیری ویژگی‌های مختلف خاک ۲۳
جدول ۲-۳- پارامترهای معادله معلم-وان‌گنوختن برای ایجاد توابع انتقالی کلاسی ارائه شده توسط وستن و همکاران (۱۹۹۹) ۱۹
جدول ۴-۱- خلاصه آماری داده‌های مربوط به خصوصیات زودیافت خاک ۳۹
جدول ۴-۲- خلاصه آماری داده‌های مربوط به هدایت هیدرولیکی اشباع در منطقه ۳۹
جدول ۴-۳- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار مدل‌ها برای کل نمونه‌های منطقه مورد مطالعه ۴۰
جدول ۴-۴- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در کلاس بافتی لوم رسی ۵۲
ادامه جدول ۴-۴- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در کلاس بافتی لوم رسی ۵۳
جدول ۴-۵- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار مدل‌های مورد بررسی در بافت لوم رسی ۵۴
جدول ۴-۶- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در کلاس بافتی رسی ۵۵
جدول ۴-۷- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار مدل‌ها در بافت رسی سیلتی ۵۶
جدول ۴-۸- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در کلاس بافتی لوم رسی سیلتی ۴۵
ادامه جدول ۴-۸- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در کلاس بافتی لوم رسی سیلتی ۵۷
جدول ۴-۹- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار مدلها در بافت لوم رسی سیلتی ۵۸
جدول ۴-۱۰- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در کاربری مرتع ۵۹
ادامه جدول ۴-۱۰- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در کاربری مرتع ۶۰
جدول ۴-۱۱- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار مدل‌ها در کاربری مرتع ۶۲
جدول ۴-۱۲- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در اراضی تحت کشت آبی ۴۹
جدول ۴-۱۳- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار مدل‌ها در اراضی تحت کشت آبی ۵۰
جدول ۴-۱۴- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در اراضی تحت کشت دیم ۵۰
ادامه جدول ۴-۱۴- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل‌های مورد بررسی در اراضی تحت کشت دیم ۶۵
جدول ۴-۱۵- پارامترهای آماری محاسبه شده برای ارزیابی اعتبار مدل‌ها در اراضی تحت کشت دیم ۶۶

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱۶- ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های زودیافت خاک در خاک‌های منطقه مورد مطالعه..... ۵۶
جدول ۴-۱۷- ضریب همبستگی پیرسون بین هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های زودیافت خاک در خاک‌های منطقه مورد مطالعه ۷۱
جدول ۴-۱۸- آزمون اعتبارسنجی توابع اشتقاق یافته برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در تمامی خاک‌ها..... ۷۶
جدول ۴-۱۹- ضریب همبستگی پیرسون بین هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های زودیافت خاک در کلاس بافتی رسی سیلتی..... ۷۷
جدول ۴-۲۰- ضریب همبستگی پیرسون بین هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های زودیافت خاک در کلاس بافتی لوم رسی ۷۷
جدول ۴-۲۱- آزمون اعتبارسنجی توابع اشتقاق یافته برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های با بافت رسی سیلتی ۷۸
جدول ۴-۲۲- آزمون اعتبارسنجی توابع اشتقاق یافته برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های با بافت لوم رسی..... ۷۹
جدول ۴-۲۳- ضریب همبستگی پیرسون بین هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های زودیافت خاک در اراضی تحت زراعت..... ۸۰
جدول ۴-۲۴- ضریب همبستگی پیرسون بین هدایت هیدرولیکی اشباع و ویژگی‌های زودیافت خاک در کاربری مرتع ۶۳
جدول ۴-۲۵- آزمون اعتبارسنجی توابع اشتقاق یافته برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در اراضی تحت زراعت.. ۸۱
جدول ۴-۲۶- آزمون اعتبارسنجی توابع اشتقاق یافته برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در اراضی با کاربری مرتع طبیعی..... ۶۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ دستگاه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی به روش بار ثابت. ۱۹
شکل ۲-۲ دستگاه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی به روش بار افتان. ۲۰
شکل ۲-۳- نمای کلی شبکه عصبی با ساختار پروسپترون چندلایه ۲۸
شکل ۳-۱- موقعیت حوزه آبخیز مرغملک. ۴۱
شکل ۳-۲- نقشه شیب (راست) و مدل رقومی ارتفاع(چپ) حوزه مرغملک. ۴۲
شکل ۳-۳- الگوی نمونه‌برداری و موقعیت نمونه‌ها در منطقه مورد مطالعه ۳۵

شکل ۴-۱- تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گیری شده در مقابل هدایت هیدرولیکی اشباع برآورد شده توسط مدل‌های مختلف مورد بررسی. ۵۱
شکل ۴-۲- آزمون نرمال بودن درصد ماده آلی، جرم ویژه ظاهری و درصد رس در خاک‌های مورد مطالعه. ۵۳
شکل ۴-۳- آزمون نرمال بودن درصد سیلت، شن و غیرنرمال بودن هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌های مورد مطالعه ۵۴
شکل ۴-۴ - آزمون نرمال بودن انحراف استاندارد هندسی و میانگین هندسی قطر ذرات در خاک‌های مورد مطالعه ۵۵
شکل ۴-۵- آزمون نرمال بودن باقیمانده‌های تابع (۴-۱). ۷۴
شکل ۴-۶- آزمون نرمال بودن باقیمانده‌های تابع (۴-۲). ۷۴
شکل ۴-۷- آزمون نرمال بودن باقیمانده‌های تابع (۴-۳). ۷۵
شکل ۴-۸- آزمون نرمال بودن باقیمانده‌های تابع (۴-۴). ۷۵
شکل ۴-۹- آزمون نرمال بودن باقیمانده‌های تابع (۴-۵). ۷۵

فصل اول

۱-۱- مقدمه

بیان کمّی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در بسیاری از مطالعات مربوط به جریان در محیط‌های متخلخل که از مدل‌های عددی برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح استفاده می‌کنند، ضروری است. مهمترین مشخصه هیدرولیکی خاک که در امکان‌پذیر بودن فنی و اقتصادی پروژه‌های زهکشی نقش عمده دارد، هدایت هیدرولیکی اشباع است (نوابیان و همکاران، ۱۳۸۲). هدایت هیدرولیکی اشباع تحت تأثیر دو عامل ویژگی‌های سیال (گرانروی و جرم حجمی) و محیط متخلخل (خاک) از جمله تخلخل کل، شکل هندسی خلل و فرج و توزیع اندازه خلل و فرج قرار دارد. بنابراین، عوامل مختلفی مانند بافت، ساختمان، مقدار ماده‌ی آلی و غلظت املاح که بر ویژگی‌های محیط متخلخل مؤثرند، می‌توانند هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را تحت تأثیر قرار دهند (نوابیان،۱۳۸۲).

به طور کلی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را می‌توان از دو روش مستقیم و غیرمستقیم بدست آورد. روش‌های مستقیم که مبتنی بر اندازه‌گیری‌های صحرایی و آزمایشگاهی هستند عموماً بسیار وقت‌گیر و پرهزینه‌اند. علاوه بر این، تغییرات زمانی و مکانی این ویژگی‌ها گاهی چنان گسترده است که تنها برای مساحتی کوچک باید تعداد اندازه‌گیری‌ها بسیار زیاد باشد. پژوهش‌ها به خوبی این واقعیت را نشان می‌دهند که اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای برای تعیین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در مقیاس‌های بزرگ باعث ایجاد خطای زیاد و ناهمخوانی با واقعیت می‌شود (محمدولی سامانی،۱۳۸۴). با توجه به پیچیدگی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در مزرعه و آزمایشگاه و همچنین تغییرپذیری مکانی و زمانی این ویژگی بخصوص هنگامی که تعداد اندازه‌گیری‌ها کم است، می‌توان از توابع انتقالی خاک (*Pedo-transfer functions*) به عنوان روش غیرمستقیمی که با صرف هزینه و وقت کمتری این ویژگی را برآورد می‌کنند استفاده نمود (بوما،۱۹۸۶). توابع انتقالی، توابعی هستند که ویژگی‌های زودیافت خاک (پارامترهایی که اندازه‌گیری آنها آسان، سریع و کم‌هزینه می‌باشند و معمولاً در مطالعات اولیه خاکشناسی رایج هستند) را به

ویژگی‌های دیریافت خاک مانند منحنی رطوبتی، هدایت هیدرولیکی اشباع و غیراشباع تبدیل می‌کنند (سوبایراج،۲۰۰۱).

توابع انتقالی خاک به دو گروه کلاسی و پیوسته تقسیم می شوند. توابع انتقالی کلاسی توابعی هستند که میانگینی از ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را برای هر کلاس خاک (مانند بافت خاک) بیان می‌دارد. توابع انتقالی پیوسته از تعدادی معادله‌های رگرسیونی ساده‌ی خطی و یا غیرخطی تشکیل می‌شوند که امکان برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را در کلیه نقاط مثلث بافت خاک به طور پیوسته فراهم می‌آورند.

برای توسعه توابع انتقالی از روش رگرسیون چندگانه (خطی یا غیرخطی) استفاده می‌شود. تجزیه و تحلیل رگرسیونی، یک روش آماری برای بررسی و مدلسازی رابطه بین متغیرهاست. در این روش هدف، یافتن معادله ای است که به بهترین وجه ارتباط بین متغیرها را توجیه کند. این متغیرها باید از توزیع نرمال تبعیت کرده و مستقل از یکدیگر باشند (رضایی و سلطانی،۱۳۷۷). برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع توابع مختلفی ارائه شده است که می‌توان به توابع کاسبی و همکاران (۱۹۸۴)، پاکت و همکاران (۱۹۸۵)، کمپل و همکاران (۱۹۸۵) ساکستون و همکاران (۱۹۸۶)، وریکن و همکاران (۱۹۹۰)، جابرو (۱۹۹۲)، دان و پاکت (۱۹۹۴) و کمپل و شیوزاوا (۱۹۹۴) اشاره کرد. از آنجایی که هیچ یک از ویژگی‌های خاک به تنهایی نشان دهنده همه عوامل مؤثر بر هدایت هیدرولیکی نبوده و از طرفی منظور نمودن همه عوامل مؤثر بر توابع نیز غیرممکن است، همه توابع از این نقص اساسی برخوردار بوده و به هنگام تعمیم آنها به سایر خاک‌ها باید احتیاط نمود.

۱-۲- اهداف تحقیق

با توجه به اینکه مشکلات اندازه‌گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی اشباع زیاد است، این پژوهش اهداف زیر را دنبال می‌کند:

۱- ارزیابی برخی توابع انتقالی با استفاده از داده‌های حاصل از اندازه‌گیری

۲- برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از توابع انتقالی خاک

در این پایان‌نامه در فصل دوم به کلیات و پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه پرداخته شده است. فصل سوم مواد و روش‌ها و فصل چهارم نتایج و بحث این پژوهش را ارائه می‌نمایی‌د. در خاتمه نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی به منظور انجام پژوهش‌های بعدی ارائه گردیده است.

فصل دوم

کلیات و بررسی منابع

پژوهشگران برای بررسی کاهش کیفیت خاک‌ها و آب‌ها، مدل‌های کامپیوتری پیچیده‌ای جهت شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در منطقه اشباع و غیراشباع خاک ارائه کرده‌اند. ولیکن استفاده از این مدل‌ها به دلیل نبود اطلاعات کافی از ویژگی‌های هیدرولیکی دقیق بویژه ویژگی‌های مربوط به نگهداشت رطوبت و هدایت هیدرولیکی محدود شده است.

ویژگی‌های هیدرولیکی در بسیاری از مطالعات خاک و آب مانند حفاظت خاک، فرسایش خاک، بهسازی خاک و مدیریت آب‌ها ضروری است، بنابراین باید پژوهش‌های بنیادی درباره آنها انجام گیرد. از آنجایی که ویژگی‌های هیدرولیکی خاک همچون هدایت هیدرولیکی اشباع و غیراشباع در مطالعات زیست محیطی نقش مهمی را ایفا می‌کنند و استفاده از مدل‌های پیشرفته هیدرولوژیکی نیازمند در اختیار داشتن اطلاعاتی راجع به خصوصیات نگهداری آب در خاک و هدایت هیدرولیکی می‌باشد (گیمنز و همکاران، ۱۹۹۷) و از طرفی هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از مهمترین خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌باشد که جریان آب و مواد محلول در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (زلکه و سی، ۲۰۰۵)، مدلسازی حرکت آب و املاح در خاک در حالت‌های اشباع و غیراشباع مورد توجه زیادی قرار گرفته است.

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک برای مطالعه سرعت حرکت آب و املاح در خاک، طراحی سیستم‌های زهکشی، تعیین میزان افت سطح ایستابی و سرعت نفوذ آب در خاک ضروری است (دعایی و همکاران،۱۳۸۴). با توجه به اینکه اندازه‌گیری مستقیم این پارامتر وقت‌گیر، مشکل و پرهزینه است، به این جهت تلاش زیادی صورت گرفته است تا برای برآورد این پارامتر بتوان به صورت غیرمستقیم بین این خصوصیت و سایر خصوصیات زودیافت خاک ارتباط برقرار کرد.

۲-۱- جریان آب در خاک

سیستم آب و خاک ممکن است به صورت دوفازی و یا سه‌فازی باشد. در حالت دوفازی خاک اشباع و فاقد هواست، بنابراین اگر در چنین شرایطی آب در خاک دارای حرکت باشد آن را حرکت در حالت اشباع (*saturated flow*) گویند. در وضعیت سه‌فازی، علاوه بر آب، مقداری هوا نیز در خاک وجود دارد لذا حرکت آب در چنین خاک‌هایی به صورت غیراشباع (*unsaturated flow*) می‌باشد. در هر دو حالت جریانی از آب مایع از لابلای ذرات خاک صورت می‌گیرد، با این تفاوت که در حالت اشباع قسمت عمده جریان از منافذ درشت خاک (*macro-pores*) عبور می‌کند و کمتر در برخورد و تماس با دانه‌های خاک قرار می‌گیرد. در حالت غیراشباع بسته به مقدار آب خاک، جریان آب از منافذ ریزتر خاک (*micro-pores*) عبور کرده و در نتیجه با اصطکاک بیشتری با ذرات خاک روبرو است. بر این اساس جریان در حالت اشباع سریع و زیاد و در حالت غیراشباع بسته به درجه خشکی خاک کند و اندک می‌باشد. با این وجود، هم در جریان اشباع و هم در جریان غیراشباع، عامل اصلی که باعث حرکت یک مولکول آب از یک نقطه به یک نقطه دیگر می‌شود اختلاف پتانسیل هیدرولیکی است که بین دو نقطه ممکن است وجود داشته باشد. علاوه بر حرکت آب مایع در خاک، که به دلیل اختلاف پتانسیل هیدرولیکی صورت می‌گیرد، آب می‌تواند به صورت بخار نیز در خاک حرکت کند. در خاک‌های غیراشباع هوای موجود در منافذ خاک محتوی مقداری بخار آب است. مقدار بخار آب موجود در هوای خاک بستگی به رطوبت خاک، دمای خاک و فاصله تا سطح ایستابی دارد. به طوری که فشار بخار آب در نقاط مختلف خاک به دلیل تفاوت این عوامل می‌تواند متفاوت باشد. اختلاف فشار بخار آب باعث می‌شود که آب به صورت بخار نیز از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت کند. (علیزاده،۱۳۸۴). بنابراین ما با توجه به نوع حرکت آب در خاک، جریان آب در حالت اشباع و غیراشباع را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲-۱-۱- جریان آب در خاک اشباع

حرکت آب در خاک به حالت اشباع، هنگامی صورت می‌گیرد که کلیه خلل و فرج خاک از آب اشباع بوده و اختلاف پتانسیلی بین دو نقطه موجود باشد، که در طبیعت اغلب در زیر سطح ایستابی این حالت مشاهده می‌شود. در حالت اشباع فشار ایستابی مثبت است و موجب می‌شود که کلیه خلل و فرج خاک مملو از آب گردیده و نفوذپذیری آن حداکثر گردد. در مسائل آبیاری، جریان اشباع آب چندان موردنظر نیست زیرا بخشی از خاک که ریشه گیاه در آن قرار دارد بر روی سطح ایستابی واقع شده‌است و در این محدوده حالت اشباع جز در حاشیه موئینه‌ای که آن نیز خود در حال نوسان است، موقتی و زودگذر است.

۲-۱-۲- جریان آب در خاک غیراشباع

جریان آب در خاک‌های غیراشباع اهمیت فوق‌العاده‌ای در مسائل آبیاری و زهکشی دارد. در حالت غیراشباع علاوه بر آب و خاک، مقداری هوا نیز وجود دارد. هنگام آبیاری، آب جانشین هوا و هنگام زهکشی، هوا جایگزین آب می‌گردد. اگر خاک اشباع شده تحت تأثیر نیروی ثقل قرار گیرد، آن بخش از آب که منافذ درشت خاک را پر کرده است از خاک خارج می‌شود. به این حجم از آب، آب ثقل یا آب آزاد می‌گویند. مقدار آن در خاک‌های شنی حداکثر و در

خاک‌های رسی حداقل است. در اراضی زه‌دار این حجم از آب خاک تحت تأثیر نیروی ثقل وارد زهکش‌ها شده و هوا جای آن را گرفته و محیط برای رشد گیاه آماده می‌شود. (علیزاده، ۱۳۸۳). در جریان غیراشباع با فرض اینکه ستون خاک افقی است، اختلاف پتانسیل ثقلی نقشی در حرکت ندارد و چون خاک غیراشباع است اختلاف پتانسیل فشاری نیز نقشی در حرکت ندارد. بنابراین اختلاف پتانسیل هیدرولیکی برابر با اختلاف در مکش یا پتانسیل ماتریک است و چون در امتداد ستون خاک مکش تغییر می‌کند، بنابراین طبق منحنی رطوبتی خاک، رطوبت خاک نیز تغییر می-کند. هدایت هیدرولیکی غیراشباع متناسب با رطوبت و طبق منحنی رطوبتی متناسب با پتانسیل ماتریک است. بنابراین هرچه پتانسیل ماتریک بیشتر شود رطوبت بیشتر و هدایت هیدرولیکی نیز بیشتر می‌شود (شایان‌نژاد،۱۳۸۷).

۲-۲- هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

هدایت هیدرولیکی به عنوان ضریب تناسب (K) در معادله دارسی که جریان آب در خاک را بیان می‌کند، به کار می‌رود.

$$\frac{Q}{A} = v = K\frac{dh}{dx} \qquad (۱-۲)$$

که در آن، Q شدت جریان برحسب سانتی‌متر مکعب بر ثانیه یا متر مکعب بر روز، A سطح مقطع جریان برحسب سانتی‌متر مربع یا متر مربع، v سرعت ظاهری جریان آب در خاک برحسب سانتی‌متر بر ثانیه یا متر بر روز، K هدایت هیدرولیکی برحسب سانتی‌متر بر ثانیه یا متر بر روز و $\frac{dh}{dx}$ شیب هیدرولیکی می‌باشد.

به این ترتیب هدایت هیدرولیکی برابر با سرعت جریان آب در خاک تحت شیب هیدرولیکی واحد می‌باشد و یا اگر A نیز برابر واحد باشد هدایت هیدرولیکی را می‌توان شدت جریانی دانست که تحت شیب هیدرولیکی یک از واحد سطح مقطع خاک عبور می‌کند. هدایت هیدرولیکی در درجه اول بستگی به اندازه و چگونگی توزیع منافذی از خاک که مملو از آب است دارد. درجه حرارت نیز به طور غیرمستقیم بر آن مؤثر است. زیرا با افزایش درجه حرارت، از لزجت آب کاسته شده و مقدار هدایت هیدرولیکی افزایش می‌یابد. با کاهش درصد رطوبت خاک، منافذی که آب در داخل آنها جریان پیدا می‌کند ریزتر شده و پیچ و خم مسیر حرکت آب افزایش پیدا می‌کند. این امر موجب افزایش مقاومت در برابر حرکت و کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی می‌گردد. هدایت هیدرولیکی خاک معرف متوسط خاصیت انتقال آب بوده و اصولاً از تعداد خلل و فرج موجود در خاک و قطر آنها تبعیت می‌نماید. اگر در هر نقطه از خاک هدایت هیدرولیکی در دو جهت افقی و عمودی یکسان باشد، خاک را همروند ***(isotrope)*** و در غیر اینصورت غیرهمروند ***(anisotrope)*** گویند. اگر هدایت هیدرولیکی خاک در نقاط مختلف یکسان باشد، خاک را همگن و در غیر اینصورت غیرهمگن می‌گویند (شایان نژاد،۱۳۸۷). از نظر سادگی عمل، مواد تشکیل دهنده لایه‌های خاک معمولاً همروند فرض می‌شوند اما در طبیعت بندرت مواد متجانس و یکنواخت وجود دارد، زیرا این مواد که بتدریج و در طی دوران‌های طولانی انباشته شده‌اند ممکن است از ذرات متفاوتی تشکیل

شده باشند و هر لایه از نظر هدایت هیدرولیکی با لایه دیگر متفاوت باشد. در این صورت ضریبی که به عنوان متوسط هدایت هیدرولیکی خاک به کار می‌رود بسته به اینکه آب به صورت افقی یا عمودی در حرکت باشد متفاوت خواهد بود.

هدایت هیدرولیکی (K) تحت تأثیر دو عامل نفوذپذیری ذاتی خاک *(k)* و درجه سیالیت آب *(f)* قرار دارد که با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$K = k.f \qquad (۲-۲)$$

سیالیت آب تابع لزوجت دینامیکی(η) و چگالی *(γ)* است که به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$f = \frac{\gamma}{\eta} = \frac{\rho.g}{\eta} \qquad (۳-۲)$$

که در آن η برحسب دین ثانیه بر سانتی‌متر مربع، ρ چگالی برحسب گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشد.

ضریب نفوذپذیری ذاتی خاک تحت تأثیر شکل و قطر ذرات خاک قرار دارد. بر این اساس عواملی چون بافت خاک، ساختمان خاک، مواد آلی خاک، غلظت املاح و هر عامل دیگری که بر ویژگی‌های هیدرولیکی محیط متخلخل مؤثر باشند، قادر به اثرگذاری بر ضریب نفوذپذیری و در نتیجه تأثیر بر هدایت هیدرولیکی خاک خواهند بود. تأثیر عامل شکل و قطر ذرات به صورت رابطه ریاضی ذیل بیان شده است:

$$k = cd^2 \qquad (۴-۲)$$

که در آن c عامل شکل ذرات و d قطر متوسط ذرات تشکیل دهنده خاک است.

اگر جریان آب در محیط اشباع صورت گیرد، قابلیت انتقال آب در آن را هدایت هیدرولیکی اشباع و در غیر اینصورت هدایت هیدرولیکی غیر اشباع و یا هدایت موئینگی می‌نامند (علیزاده،۱۳۸۴).

هدایت هیدرولیکی خاک‌های مختلف در حالت اشباع را می‌توان با توجه به جدول زیر تخمین زد.

جدول ۲-۱- ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در خاک‌های مختلف (علیزاده، ۱۳۸۳)

نوع خاک	ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (متر بر روز)
شن و گراول درشت	۱۰-۵۰
شن متوسط	۱-۵
لوم شنی تا شن نرم	۱-۳
لوم، لوم رسی و رس با ساختمان فیزیکی خوب	۰/۵-۲
لوم شنی خیلی نرم	۰/۲-۰/۵
لوم رسی و رس بدون ساختمان فیزیکی	۰/۰۲-۰/۲
رس سخت (بدون ترک‌خوردگی و منافذ حاصله از فعالیت موجودات زنده)	<۰/۰۰۲

۲-۲-۱- هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری

هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری هر دو از مشخصات فیزیکی خاک بوده که اختلاف اساسی آنها در ابعاد و واحدهای متفاوت است و در مسائل آبیاری و زهکشی اهمیت خاصی دارند. نفوذپذیری استعداد و توانائی خاک را برای سهولت عبور مایعات بویژه آب، از خود نشان می‌دهد. در خاک‌های اشباع که ساختمان آن پایدار است، هدایت هیدرولیکی یا نفوذپذیری تقریباً ثابت بوده و بین 10^{-2} تا 10^{-3} سانتی‌متر بر ثانیه در خاک‌های شنی و 10^{-4} تا 10^{-7} سانتی‌متر بر ثانیه در خاک‌های رسی نوسان می‌کند (هرن و همکاران،۱۹۹۴).

فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نفوذپذیری خاک را تغییر می‌دهند. عوامل مختلفی از جمله بافت و ساختمان خاک، توزیع اندازه خلل و فرج، لزوجت، رطوبت اولیه خاک، غلظت املاح خاک یا آب آبیاری، مواد آلی در مقدار آن مؤثرند. نفوذپذیری در مسائل آبیاری و زهکشی اهمیت خاصی دارد. اندازه و شکل ذرات خاک تعیین کننده فضای خالی در خاک بوده و هر چه تعداد درز و ترک و تخلخل بیشتر باشد، مقدار آن نیز بزرگتر خواهد بود. وابستگی نفوذپذیری به اندازه خلل و فرج بیشتر از وابستگی آن به تخلخل کل خاک است.

نوع و مقدار مواد رسی در آبگذری خاک اهمیت دارند. آبگذری در خاک‌های حاوی رس کائولینیت به مراتب بهتر از آبگذری خاک‌های مونت‌موریلونیتی است، زیرا خاک‌های کائولینیت‌دار، انبساط و انقباض حاصل نمی‌کنند.

سدیم تبادلی خاک در صورتی که از ۱۰ تا ۱۵ درصد تجاوز کند، موجب انتشار و پراکندگی ذرات خاک گردیده و خاک حاصله بسیار حجیم و متراکم خواهد بود و نفوذپذیری آن کاهش می‌یابد. تراکم خاک نیز که در اثر عبور دام یا ماشین آلات سنگین صورت می‌گیرد با از بین بردن پیوستگی خلل و فرج و کاستن تخلخل، در صورتی که سطح آب زیرزمنی نوسان نکند، آبگذری را تنزل می‌دهد، نفوذپذیری با گذشت زمان نیز تغییر کرده و کاهش می‌یابد.

وجود هوا در خاک به تنهایی کمکی به نفوذپذیری نمی‌کند بلکه حباب‌های هوا مسیر جریان را برای هر قطره آب طولانی‌تر می‌کند، نتیجه این می‌شود که هرچه خاک خشک‌تر شود مسیر جریان خلل و فرج بیشتر می‌شود و هدایت هیدرولیکی نیز کاهش می‌یابد. در صورتی که وقتی خاک اشباع است، همه فضاها پر از آب می‌شوند و آن را هدایت می‌کنند و مقدار هدایت هیدرولیکی حداکثر است (بای‌بوردی،۱۳۶۸).

۲-۲-۲- روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

هدایت هیدرولیکی اشباع به دو روش مستقیم و غیرمستقیم تعیین می‌شود. روش‌های مستقیم، که شامل روش‌های صحرایی و آزمایشگاهی هستند، وقت‌گیر و پرهزینه‌اند و همچنین تغییرات زیاد مکانی و زمانی هدایت هیدرولیکی اشباع باعث می‌شود که اندازه‌گیری نقطه‌ای این ویژگی باعث ایجاد خطای زیاد می‌شود. اندازه‌گیری‌های صحرایی نیز به دو دسته تقسیم می‌شوند: اندازه‌گیری‌های زیر سطح ایستابی و اندازه‌گیری‌های بالای سطح ایستابی. اندازه‌گیری-های زیر سطح ایستابی این مزیت را دارند که دربرگیرنده‌ی ویژگی‌های واقعی سیال موجود در خاک هستند و هرگونه دگرگونی مربوط به کیفیت آب به طور طبیعی در آنها لحاظ شده است. در مقابل، اندازه‌گیری‌های بالای سطح ایستابی نیازمند حفاری‌های کمتری جهت نصب تجهیزات است، اما نیازمند مقدار نسبتاً زیاد آب هست که ممکن است محل آن به منطقه مورد مطالعه چندان آسان نباشد. اندازه‌گیری آزمایشگاهی هدایت هیدرولیکی اشباع نیز به روش بار ثابت یا بار افتان صورت می‌گیرد. به دلیل دشواری‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های مستقیم، در سال-های اخیر تلاش‌هایی صورت گرفته است تا این ویژگی را از راه‌های غیرمستقیم با تقریبی مناسب برآورد کنند (محمدولی سامانی،۱۳۸۴).

۲-۲-۱- روش‌های مستقیم اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک روش‌های متعددی پیشنهاد شده است این روش‌ها شامل روش‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های دست‌خورده (*disturbed*) یا دست‌نخورده (*undisturbed*) و روش-های صحرایی در شرایط طبیعی می‌باشند. تمام روش‌های صحرایی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع از قانون دارسی تبعیت می‌کنند. در آزمایشگاه هدایت هیدرولیکی به دو روش بار ثابت (*constant head*) و بار افتان (*falling head*) اندازه‌گیری می‌شود. در هر دو روش باید بر روی خاک شرایطی برای جریان آب برقرار نمود، سپس میزان تخلیه آب را اندازه‌گیری و مقدار K را به کمک فرمولی که بیان کننده رابطه میان K، شرایط جریان و مقدار تخلیه می‌باشد، محاسبه نمود.

الف- روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع

در آزمایشگاه دو روش بار ثابت و بار افتان بیش از سایر روش‌ها معمول می‌باشد. در روش بار ثابت نمونه‌ای از خاک به طول L و سطح مقطع A انتخاب و مطابق با شکل (۲-۱) آب از یک طرف وارد و از طرف دیگر نمونه خارج می-شود. این آزمایش طوری تنظیم می‌شود که اختلاف سطح آب در دو قسمت ورودی و خروجی، (h)، همواره ثابت بماند.