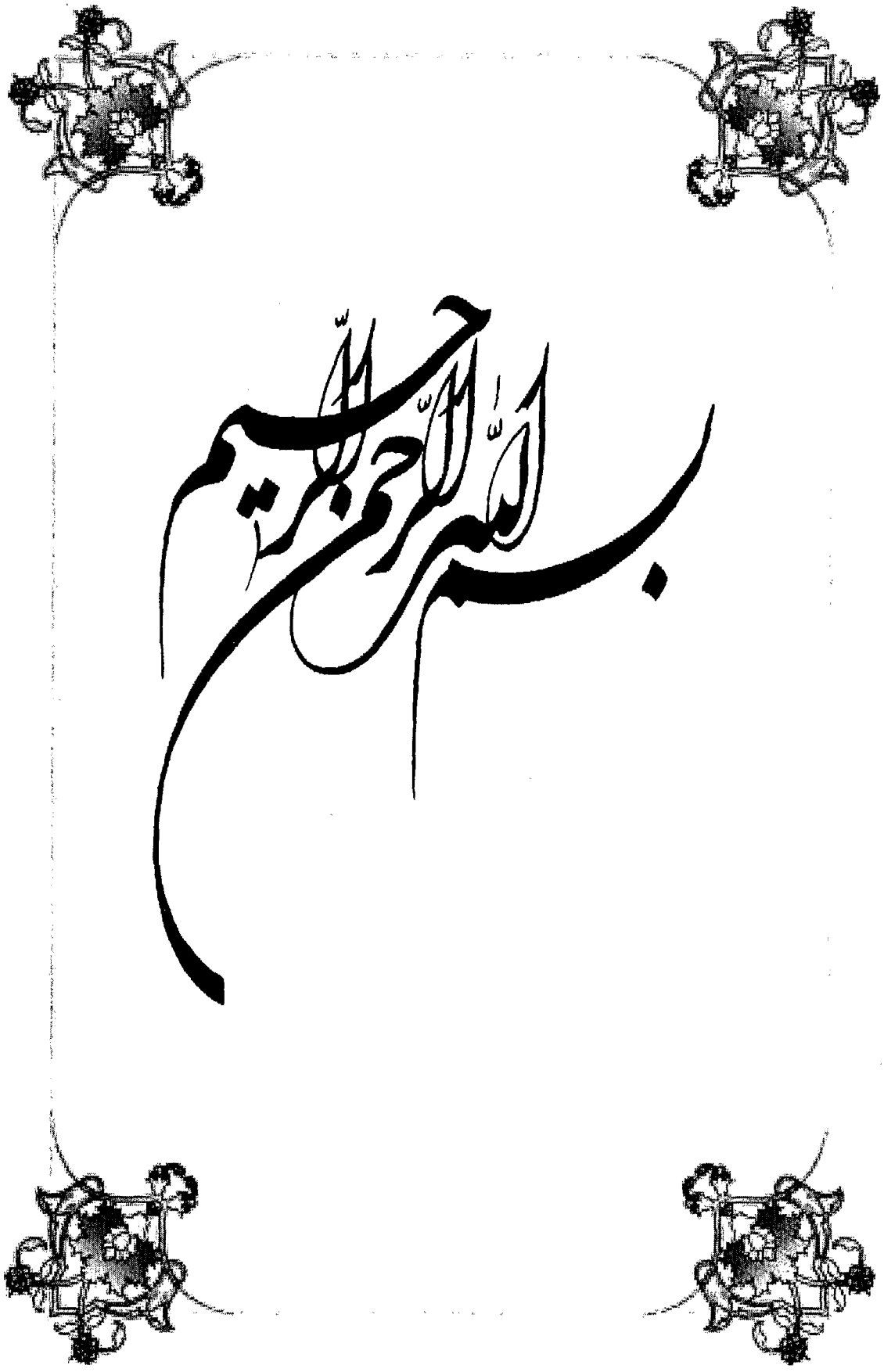


٩٤٠٧٥

دانشگاه بوعلی سینا

دانشکده کشاورزی

گروه خاکشناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته خاکشناسی

عنوان:

بررسی اثر ساختمان خاک بر حرکت بروميد در شرایط رطوبتی اشباع و غیراشباع

استاد راهنما

دکتر علی اکبر محبوبی

استاد مشاور

دکتر محمد رضا مصدقی

پژوهشگر:

الهام امیری خبوشان

مرکز اطلاعات و مدارک علمی دانشگاه فردوسی

۱۳۸۶/۱۲/۰۲۵

تیر ۱۳۸۶

۹۴۰۷۵

بارالها

آن را که خواهي آب در جوي روان است و آنرا که نخواهي چه درمان است.

ما را پيراستي چنان که خواستي. پس سپاس بي منتها تو را سزاست.

اداي شکر ترا هيچ زبان نيست و در بناي فضل ترا هيچ کران نيست و سر حقيقت تو بر هيچ کس معلوم نيست.

هدايت کن بر ما را هي که بهتر از آن نيست.

دنيي ده که در شکر تو سخن بتوانيم و جاني ده که کار جهان بسازيم.

دانائي ده که از راه نيفتيم و بينائي که در چاه نيفتيم.

تقدیم به

پدر بزرگوارم

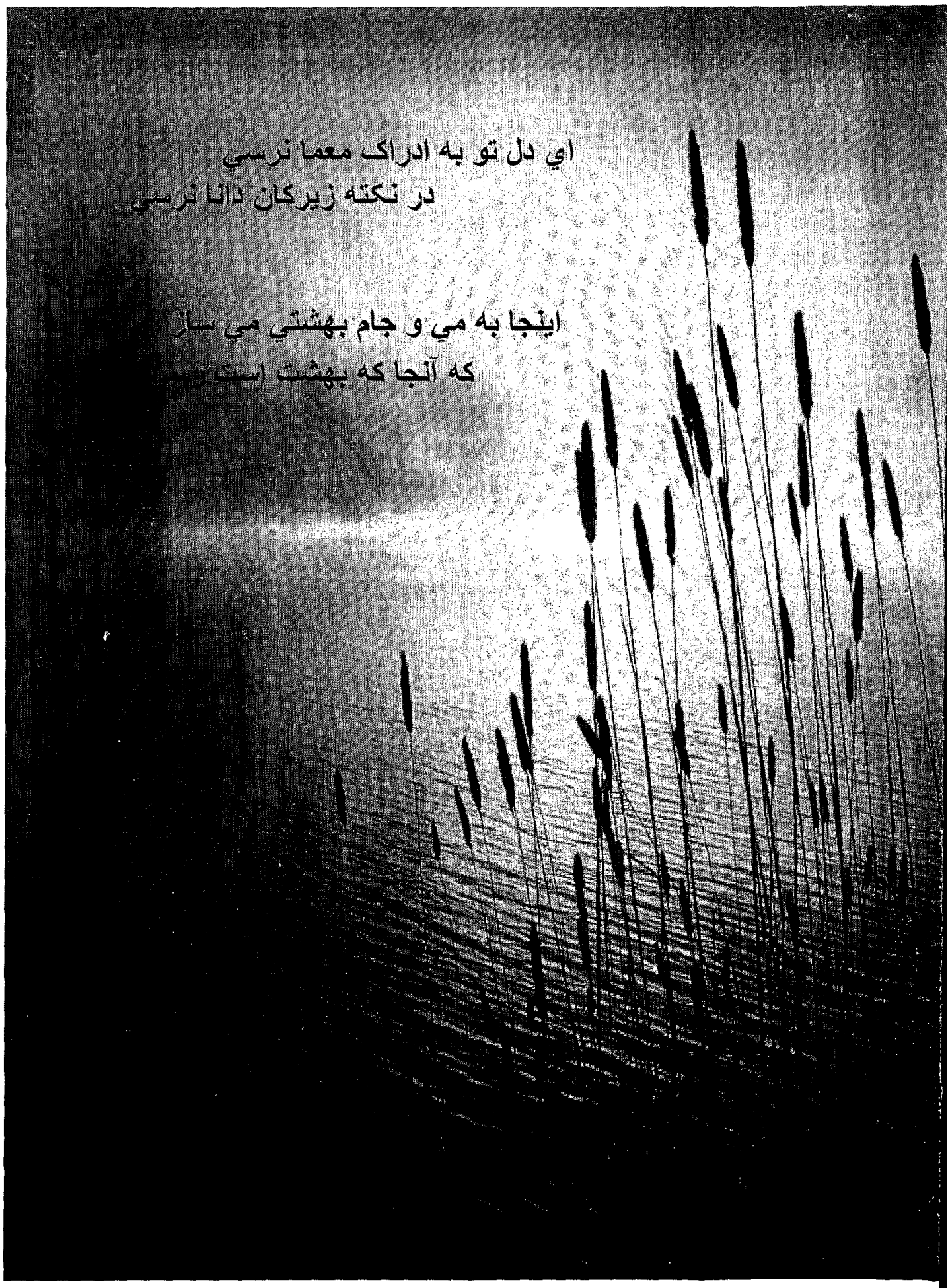
اسطوره گرمی و امید

و

مادر عزیزم

الگوی فداکاری و فداکاری

که وجود و وجدشان بهانه‌ای برای تلاشم
و دعای خیرشان همواره توشه راهم است.


اي دل تو به ادراک معما نرسي
در نکته زيرکان دانا نرسي
اينجا به مي و جام بهشتي مي ساز
که آنجا که بهشت است نرسي

سپاس بی‌انتها از آن خداوندگار رحمتگر مهربان که به بشر آموخت تا بیاموزد و بیاموزاند تا کاشف اسرار هستی باشد و نور حقیقت را در ظلمات جهل بیفروزد.

اکنون که در پرتوی لطف و رحمت خداوند توانستم پژوهش خویش را به اتمام برسانم و مرحله‌ای دیگر از زندگیم را پشت سر گذارم، خود را مجاب می‌دانم از تمامی عزیزانی که مرا در این راه یاری رسانده‌اند،تشکر و قدردانی کنم.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر محبوبی که راهنمایی پایان‌نامه مرا قبول زحمت فرمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم. از استاد مشاور ارجمندم جناب آقای دکتر مصدقی که از مساعدت ایشان بهره فراوان بردم نهایت سپاس را دارم. از جناب آقای دکتر حسین پور و جناب آقای دکتر ایلدرومی که زحمت داوری پایان‌نامه را بر عهده گرفتند سپاسگذارم.

همچنین از سایر اساتید محترم گروه خاکشناسی جناب آقای دکتر جلالی، جناب آقای دکتر صفری و سرکار خانم دکتر کرباسی سپاسگذارم.

از مسئول محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر دشتی متشکرم.

از استاد ارجمند دانشگاه ولی عصر رفسنجان جناب آقای دکتر شیرانی به خاطر یاری بی‌دریغشان کمال امتنان و احترام را دارم.

از همکاری و مساعدت کارشناس محترم مرکز تحقیقات کشاورزی، جناب آقای مهندس اسدی تشکر می‌کنم.

صمیمانه‌ترین سپاس نثار آنان باد که در قعر و اوج، در نیستی و هستی، در نشیب و فراز همواره مأمن امنی برای من بودند؛ پدر و مادر عزیز و دلسوزم و یاران با محبت روزهای زندگیم خواهران و برادران مهربانم.

از دوست مهربانم خانم مهندس اکرم نصرتی که در تمامی لحظات شاد و سخت در کنارم بودند سپاسگزارم.

از همکلاسی‌های عزیزم خانم‌ها نصرتی، استوارزاده، محرمی، خلیلی خواه، ختار، قنبری و آقایان زرین، خزایی، پاشامختاری،پناهی، میراحمدی

از دوستان عزیزم خانم‌ها بحرینی‌پور، محمدی، نیک‌پور، اکبری، محمودی، بیابانکی، عباسی نژاد، کرمی، اسکندری، صحرایی، دعایی و آقایان زند سلیمی، رستمی، بهرامی، مرشدی، عطری، مردوخی، کرد، کمال تشکر را دارم. یاد و خاطره آنان همواره در ذهن من باقی خواهد ماند.

الهام امیری

شهریور ۸۶

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱- اهمیت بررسی حرکت املاح در خاک ٤

۱-۲- حرکت آب در خاک ٤

۱-۲-۱- شرایط اشباع ٤

۱-۲-۲- شرایط غیراشباع ٥

۱-۲-۳- جریان ماندگار ۷

۱-۲-۴- جریان غیرماندگار ۷

۱-۳- حرکت املاح در خاک ۷

۱-۳-۱- فرآیندهای انتقال املاح در خاک ۸

الف) جریان روان املاح ۸

ب) پخشیدگی املاح ۸

ج) پراکنش املاح ۹

۱-۳-۲- معادله کلی جریان ۱۰

۱-۳-۳- حل معادله جریان املاح ۱۲

۱-۴- حجم آب منفذی ۱۲

۱-۵- منحنی رخنه ۱۳

۱-۶- تحلیل ریاضی حجم آب منفذی ۱۷

۱-۷- جابجایی اختلاط پذیر ۱۸

۱-۸- عوامل مؤثر بر حرکت املاح ۱۹

۱-۸-۱- ساختمان خاک ۱۹

الف) ساختمان ورقه‌ای ۱۹

ب) ساختمان منشوری ۱۹

ج) ساختمان مکعبی ۲۰

د) ساختمان دانه‌ای ۲۰

۱-۸-۲- بافت خاک ۲۳

۱-۸-۳- ماده آلی خاک ۲۳

۱-۸-۴- شرایط رطوبتی خاک ۲٤

الف) شرایط اشباع و غیراشباع ۲٤

ب) مقدار رطوبت اولیه ۲٥

ج) شدت جریان ۲٦

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱- اهمیت بررسی حرکت املاح در خاک ٤

۱-۲- حرکت آب در خاک ٤

۱-۲-۱- شرایط اشباع ٤

۱-۲-۲- شرایط غیراشباع ٥

۱-۲-۳- جریان ماندگار ۷

۱-۲-۴- جریان غیرماندگار ۷

۱-۳- حرکت املاح در خاک ۷

۱-۳-۱- فرآیندهای انتقال املاح در خاک ۸

الف) جریان روان املاح ۸

ب) پخشیدگی املاح ۸

ج) پراکنش املاح ۹

۱-۳-۲- معادله کلی جریان ۱۰

۱-۳-۳- حل معادله جریان املاح ۱۲

۱-۴- حجم آب منفذی ۱۲

۱-۵- منحنی رخنه ۱۳

۱-۶- تحلیل ریاضی حجم آب منفذی ۱۷

۱-۷- جابجایی اختلاط پذیر ۱۸

۱-۸- عوامل مؤثر بر حرکت املاح ۱۹

۱-۸-۱- ساختمان خاک ۱۹

الف) ساختمان ورقه‌ای ۱۹

ب) ساختمان منشوری ۱۹

ج) ساختمان مکعبی ۲۰

د) ساختمان دانه‌ای ۲۰

۱-۸-۲- بافت خاک ۲۳

۱-۸-۳- ماده آلی خاک ۲۳

۱-۸-۴- شرایط رطوبتی خاک ۲٤

الف) شرایط اشباع و غیراشباع ۲٤

ب) مقدار رطوبت اولیه ۲٥

ج) شدت جریان ۲٦

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱- اهمیت بررسی حرکت املاح در خاک ٤

۱-۲- حرکت آب در خاک ٤

۱-۲-۱- شرایط اشباع ٤

۱-۲-۲- شرایط غیراشباع ٥

۱-۲-۳- جریان ماندگار ۷

۱-۲-۴- جریان غیرماندگار ۷

۱-۳- حرکت املاح در خاک ۷

۱-۳-۱- فرآیندهای انتقال املاح در خاک ۸

الف) جریان روان املاح ۸

ب) پخشیدگی املاح ۸

ج) پراکنش املاح ۹

۱-۳-۲- معادله کلی جریان ۱۰

۱-۳-۳- حل معادله جریان املاح ۱۲

۱-۴- حجم آب منفذی ۱۲

۱-۵- منحنی رخنه ۱۳

۱-۶- تحلیل ریاضی حجم آب منفذی ۱۷

۱-۷- جابجایی اختلاط پذیر ۱۸

۱-۸- عوامل مؤثر بر حرکت املاح ۱۹

۱-۸-۱- ساختمان خاک ۱۹

الف) ساختمان ورقه‌ای ۱۹

ب) ساختمان منشوری ۱۹

ج) ساختمان مکعبی ۲۰

د) ساختمان دانه‌ای ۲۰

۱-۸-۲- بافت خاک ۲۳

۱-۸-۳- ماده آلی خاک ۲۳

۱-۸-۴- شرایط رطوبتی خاک ۲٤

الف) شرایط اشباع و غیراشباع ۲٤

ب) مقدار رطوبت اولیه ۲۵

ج) شدت جریان ۲٦

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۲-۳- استقرار ستون‌های خاک و اندازه‌گیری ضریب آبگذری اشباع آنها ٤٤
۲-۴- آزمایش‌های آبشویی ٤٤
۲-۴-۱- شرایط اشباع ٤٥
الف) استقرار ستون‌های آبشویی ٤٥
ب) مخزن تغذیه کننده محلول بروماید و لوله‌های ارتباطی ٤٥
پ) خروجی نمونه‌ها ٤٥
۲-۴-۲- شرایط غیراشباع ٤٦
الف) استقرار ستون‌های آبشویی ٤٦
ب) شدت جریان ورودی ٤٧
پ) پمپ خلاء ٤٧
۲-۴-۳- نمونه‌گیری زه‌آب ٤٧
۲-٤-٤- حجم آب منفذی ستون‌ها ٤٧
۲-٤-٦- رطوبت وزنی و حجمی خاک ٤٩
۲-۵- اندازه‌گیری غلظت بروماید ٤٩
۲-٦- منحنی رخنه بروماید ٤٩
۲-۷- مدل‌سازی حرکت بروماید ٤٩
۲-۷-۱- شرایط اولیه و مرزی معادله انتقال املاح ۵۰
الف) شرایط اولیه ۵۰
ب) شرایط مرز ورودی ۵۰
پ) شرایط مرز خروجی ۵۰
۲-۷-۲- داده‌های ورودی و خروجی مدل‌های انتقال بروماید ۵۱
۲-۷-۳- پارامترهای مدل انتقال املاح ۵۱
الف) مدل CDE ۵۱
ب) مدل MIM ۵۲
۲-۸- تجزیه و تحلیل داده‌ها ۵۳

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های ستون‌های خاک مورد بررسی ٥٤
۳-۲- اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر غلظت نسبی (C/C_0) بروماید خروجی از ستون‌های خاک ۵۷
۳-۲-۱- غلظت نسبی (C/C_0) بروماید خروجی در حجم آب خروجی ۰/۲PV ۵۸
۳-۲-۲- غلظت نسبی (C/C_0) بروماید خروجی در حجم آب خروجی ۱PV ٦۲
۳-۲-۳- غلظت نسبی (C/C_0) بروماید خروجی در حجم آب خروجی ۱/۵PV ٦۵

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۲-۳- استقرار ستون‌های خاک و اندازه‌گیری ضریب آبگذری اشباع آنها ٤٤
۲-۴- آزمایش‌های آبشویی ٤٤
۲-۴-۱- شرایط اشباع ٤٥
الف) استقرار ستون‌های آبشویی ٤٥
ب) مخزن تغذیه کننده محلول بروماید و لوله‌های ارتباطی ٤٥
پ) خروجی نمونه‌ها ٤٥
۲-۴-۲- شرایط غیراشباع ٤٦
الف) استقرار ستون‌های آبشویی ٤٦
ب) شدت جریان ورودی ٤٧
پ) پمپ خلاء ٤٧
۲-۴-۳- نمونه‌گیری زه‌آب ٤٧
۲-٤-٤- حجم آب منفذی ستون‌ها ٤٧
۲-٤-٦- رطوبت وزنی و حجمی خاک ٤٩
۲-۵- اندازه‌گیری غلظت بروماید ٤٩
۲-٦- منحنی رخنه بروماید ٤٩
۲-۷- مدل‌سازی حرکت بروماید ٤٩
۲-۷-۱- شرایط اولیه و مرزی معادله انتقال املاح ٥٠
الف) شرایط اولیه ٥٠
ب) شرایط مرز ورودی ٥٠
پ) شرایط مرز خروجی ٥٠
۲-۷-۲- داده‌های ورودی و خروجی مدل‌های انتقال بروماید ٥١
۲-۷-۳- پارامترهای مدل انتقال املاح ٥١
الف) مدل CDE ٥١
ب) مدل MIM ٥٢
۲-۸- تجزیه و تحلیل داده‌ها ٥٣

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های ستون‌های خاک مورد بررسی ٥٤
۳-۲- اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر غلظت نسبی (C/C_0) بروماید خروجی از ستون‌های خاک ٥٧
۳-۲-۱- غلظت نسبی (C/C_0) بروماید خروجی در حجم آب خروجی ۰/۲PV ٥٨
۳-۲-۲- غلظت نسبی (C/C_0) بروماید خروجی در حجم آب خروجی ۱PV ٦٢
۳-۲-۳- غلظت نسبی (C/C_0) بروماید خروجی در حجم آب خروجی ۱/۵PV ٦٥

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۳-۲-۵- غلظت نسبی (C/C_0) بروماید خروجی در حجم آب خروجی ۴PV ٦٩
۳-۳- اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر منحنی رخنه بروماید ۷۰
۳-۳-۱- اثر ساختمان تک‌دانه بر منحنی رخنه بروماید ۷۱
۳-۳-۳- اثر ساختمان منشوری بر منحنی رخنه بروماید ۷۳
۳-۳-۵- اثر ساختمان دانه‌ای بر منحنی رخنه بروماید ۷٦
۳-۴- نتایج برازش مدل‌های DCDE و MIM بر داده‌های حرکت بروماید در شرایط رطوبتی اشباع ۷۸
۳-۴-۱- نتایج مدل DCDE ۷۸
۳-۴-۲- نتایج مدل MIM ۸۱
۳-۵- نتایج برازش مدل‌های DCDE و MIM بر داده‌های حرکت بروماید در شرایط رطوبتی غیراشباع ۸۹
۳-۵-۱- نتایج مدل DCDE ۸٤
۳-۵-۲- نتایج مدل MIM ۸٦
۳-۶- اثر ساختمان خاک و شرایط جریان بر پارامترهای انتقال املاح ۸۸
۳-۶-۱- سرعت آب منفذی ۸۹
۳-۶-۲- ضریب انتشار ظاهری (D) ۹۰
۳-۶-۳- فاکتور دیرآیی ۹۱
۳-۶-۴- انتشار پذیری (α) ۹۳
۳-۶-۵- عدد پکله (P_e) ۹۳
۳-۷- نتیجه‌گیری نهایی ۹٤
۳-۸-پیشنهادها ۹۵

فهرست جداول

عنوان | صفحه

جدول ۳-۱- درصد ذرات شن، سیلت و رس و بافت خاک‌های مورد بررسی ٥٤

جدول ۳-۲- ویژگی های فیزیکی خاک‌های مورد بررسی ٥٥

جدول ۳-۳- ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مورد بررسی ٥٦

جدول ۳-۴- نتایج تجزیه واریانس اثر ساختمان خاک و شرایط جریان بر غلظت نسبی (C/C_0) برومید خروجی از ستون‌های خاک در حجم‌های آب خروجی مختلف ٥٧

جدول ۳-۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر غلظت نسبی برومید خروجی از ستون‌های خاک در حجم آب خروجی ۰/۲PV ٥٨

جدول ۳-۶- مقایسه میانگین اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر غلظت نسبی برومید خروجی از ستون‌های خاک در حجم آب خروجی ۱/۰PV ٦٢

جدول ۳-۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر غلظت نسبی (C/C_0) برومید خروجی از ستون‌های خاک در حجم آب خروجی ۱/۵PV ٦٦

جدول ۳-۸- مقایسه میانگین اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر غلظت نسبی (C/C_0) برومید خروجی از ستون‌های خاک در حجم آب خروجی ۲PV ٦٨

جدول ۳-۹- متوسط ضریب تبیین (R^2) و مجموع مربعات خطا (SSQ) برازش مدل‌های DCDE و MIM بر داده‌های حرکت برومید در شرایط رطوبتی اشباع ٧٨

جدول ۳-۱۰- متوسط ضریب تبیین (R^2) و مجموع مربعات خطا (SSQ) برازش مدل‌های DCDE و MIM بر داده‌های حرکت برومید در شرایط رطوبتی غیراشباع ٨٤

جدول ۳-۱۱- نتایج تجزیه واریانس اثر ساختمان خاک و شرایط جریان بر پارامترهای برآورد شده با استفاده از مدل DCDE ٨٨

جدول ۳-۱۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر مقادیر برآورد شده سرعت آب منفذی ($cm\ h^{-1}$) با استفاده از مدل DCDE ٩٠

جدول ۳-۱۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر مقادیر برآورد شده ضریب انتشار ظاهری ($cm^2\ h^{-1}$) با استفاده از مدل DCDE ٩١

جدول ۳-۱۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر مقادیر برآورد شده فاکتور دیرآئی با استفاده از مدل DCDE ٩٢

جدول ۳-۱۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر مقادیر برآورد شده انتشارپذیری (cm) با استفاده از مدل DCDE ٩٣

جدول ۳-۱۶- مقایسه میانگین اثر تیمارهای ساختمان خاک و شرایط جریان بر مقادیر برآورد شده عدد پلکه با استفاده از مدل DCDE ٩٤

فهرست شکلها

عنوان | صفحه

شکل۱-۱- نواحی اشباع و غیراشباع و سطح ایستابی در نیمرخی از ساختار زمین ٦
شکل ۱-۲- شمایی از جریان پیستونی در یک لوله (الف) و منحنی رخنه برای آن (ب) ١٤
شکل۱-۳- شمایی از جریان واقعی املاح در یک لوله (الف) و منحنی رخنه برای آن (ب) ١٥
شکل ۱-۴- جریان در یک خاک اشباع (الف) و منحنی رخنه در حالت اشباع (ب) ١٦
شکل ۱-۵- جریان در یک خاک غیراشباع (الف) و منحنی رخنه در حالت غیراشباع (ب) ١٧
شکل ۱-۶- انواع شکل واحدهای ساختمانی خاک ٢٠
شکل۱-۷- انواع ساختمان در نیمرخ خاک ٢٣

شکل۲-۱- مدل آزمایشگاهی استفاده شده برای شرایط جریان اشباع ٤٦
شکل۲-۲- مدل آزمایشگاهی استفاده شده برای شرایط جریان غیراشباع ٤٨

شکل ۳-۱- اثر نوع ساختمان خاک بر غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۰/۲PV ٦٠
شکل ۳-۲- اثر شرایط جریان بر غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۰/۲PV ٦٠
شکل ۳-۳- اثر نوع ساختمان خاک بر غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۱PV ٦٣
شکل ۳-۴- اثر تیمار شرایط جریان بر غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۱PV ٦٤
شکل ۳-۵- اثر نوع ساختمان خاک بر غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۱/۵PV ٦٦
شکل ۳-۶- اثر تیمار شریط جریان در غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۱/۵PV ٦٧
شکل ۳-۷- اثر نوع ساختمان خاک بر غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۲PV ٦٨
شکل ۳-۸- اثر تیمار شریط جریان در غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۲PV ٦٩
شکل ۳-۹- اثر نوع ساختمان خاک در غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۴PV ٧٠
شکل ۳-۱۰- اثر تیمار شرایط جریان در غلظت نسبی (C/C_0) بروميد خروجی در حجم آب خروجی ۴PV ٧٠
شکل ۳-۱۱- منحنی رخنه بروميد ستون خاک با ساختمان تک‌دانه در شرایط رطوبتی اشباع (الف) و غیراشباع (ب) ٧٣
شکل ۳-۱۲- منحنی رخنه بروميد ستون خاک با ساختمان منشوری در شرایط رطوبتی اشباع (الف) و غیراشباع (ب) ٧٥
شکل ۳-۱۳- منحنی رخنه بروميد ستون خاک با ساختمان دانه‌ای در شرایط رطوبتی اشباع (الف) و غیراشباع (ب) ٧٧
شکل ۳-۱۴- برازش مدل DCDE بر منحنی رخنه بروميد در ساختمان تک‌دانه تحت شرایط اشباع ٨٠
شکل ۳-۱۵- برازش مدل DCDE بر منحنی رخنه بروميد در ساختمان منشوری تحت شرایط اشباع ٨٠
شکل ۳-۱۶- برازش مدل DCDE بر منحنی رخنه بروميد در ساختمان دانه‌ای تحت شرایط اشباع ٨١
شکل ۳-۱۷- برازش مدل MIM بر منحنی رخنه بروميد در ساختمان تک‌دانه تحت شرایط اشباع ٨٣
شکل ۳-۱۸- برازش مدل MIM بر منحنی رخنه بروميد در ساختمان منشوری تحت شرایط اشباع ٨٣
شکل ۳-۱۹- برازش مدل MIM بر منحنی رخنه بروميد در ساختمان دانه‌ای تحت شرایط اشباع ٨٤
شکل ۳-۲۰- برازش مدل DCDE بر منحنی رخنه بروميد در ساختمان تک‌دانه تحت شرایط غیراشباع ٨٥

فهرست شکلها

عنوان | صفحه

شکل ۳-۲۱- برازش مدل DCDE بر منحنی رخنه برومید در ساختمان منشوری تحت شرایط غیراشباع..... ۸۶
شکل ۳-۲۲- برازش مدل DCDE بر منحنی رخنه برومید در ساختمان دانه‌ای تحت شرایط غیراشباع..... ۸۶
شکل ۳-۲۳- برازش مدل MIM بر منحنی رخنه برومید در ساختمان تک‌دانه تحت شرایط غیراشباع..... ۸۷
شکل ۳-۲۴- برازش مدل MIM بر منحنی رخنه برومید در ساختمان منشوری تحت شرایط غیراشباع..... ۸۷
شکل ۳-۲۵- برازش مدل MIM بر منحنی رخنه برومید در ساختمان دانه‌ای تحت شرایط غیراشباع..... ۸۸

در کشاورزی پایدار استفاده از نهاده‌های کشاورزی برای دستیابی به محصول بیشتر بایستی با توجه به پایداری اکوسیستم صورت گیرد. در سالیان اخیر استفاده بی‌رویه از سموم دفع آفات نباتی، کودهای شیمیایی، و فاضلاب‌های شهری و صنعتی موجب نگرانی کشاورزان و صاحب‌نظران منابع طبیعی گردیده به طوری‌که امروزه آلودگی منابع آب زیرزمینی، آب‌های سطحی و محیط زیست به واسطه املاح و آلاینده‌های شیمیایی در گستره وسیعی از جهان مشکل‌آفرین شده است. استفاده از این مواد در خاک‌های کشاورزی موجب افزایش مواد شیمیایی در خاک و آب می‌گردد. کودها و آلاینده‌ها وقتی وارد خاک می‌شوند، در واکنش‌های مختلفی شرکت کرده و سرنوشت‌های متفاوتی پیدا می‌کنند. بعضی جذب سطح ذرات خاک شده، برخی درخاک تجزیه شده و یا وارد فعل و انفعالات شیمیایی شده و برخی در نیمرخ خاک انتقال می‌یابند.

محل فعالیت بسیاری از این مواد محدود به منطقه ورودشان و لایه‌های سطحی خاک‌ها می‌شود. انتقال کودها، آلاینده‌ها و نمک‌ها به اعماق پایین‌تر نه تنها آنها را از محل استفاده اصلی‌شان دور و غیر مؤثر می‌کند بلکه ممکن است کیفیت افق‌های پایینی خاک یا منابع آب زیرزمینی را نیز به مخاطره بیندازد. اگرچه استفاده از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، لجن فاضلاب‌های شهری، پساب‌های صنعتی و کودهای حیوانی معمولاً به منظور بهبود شاخص‌های کیفی خاک و افزایش محصول رایج می‌باشد، ولی عواقب مضر و زیانبار این مواد می‌تواند سلامت یک اکوسیستم را تهدید و با خطر مواجه کند. لذا شناخت چگونگی حرکت این مواد در خاک حائز اهمیت زیادی است. موضوع حرکت املاح وآلاینده‌ها در خاک‌ها و آبخوان‌ها[1] در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است و پژوهش‌های زیادی در رابطه با جنبه‌های مختلف فرآیند حرکت و انتقال این مواد در خاک‌ها و آبخوان‌ها صورت گرفته است.

انتقال املاح، مواد شیمیایی و آلاینده‌های محلول می‌تواند همراه با جریان آب در محیط متخلخل خاک انجام پذیرد که به جریان روان یا توده‌ای[2] معروف است. پخشیدگی مولکولی[3] فرآیند دیگری است که سبب حرکت مواد در خاک به واسطه جنبش مولکولی املاح می‌شود. فرآیند دیگری هم که در انتقال املاح در خاک نقش دارد، انتشار آبی[4] نام دارد. انتشار آبی از سرعت جریان غیریکنواخت محلول در منافذ خاک ناشی می‌شود. این فرآیند که در مواردی بر فرآیند پخشیدگی غلبه می‌کند، از نظر نتیجه، اثر مشابهی با پخشیدگی دارد، هر چندکه از جهت مکانیسم عمل با پخشیدگی متفاوت

1- Aquifers
2- Mass flow
3- Molecular diffusion
4- Hydrodynamic dispersion

است. به هر حال، هر دو فرآیند پخشیدگی و انتشار آبی به نتیجه‌ای مشابه یعنی یکنواخت شدن غلظت املاح در خاک می‌انجامند.

محیط متخلخل خاک بستر حرکت و انتقال مواد آلاینده از سطح تا اعماق است. ویژگی‌های فیزیکی خاک به ویژه شاخص‌های ساختمان خاک، فرآیند حرکت و انتقال املاح را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ساختمان خاک بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک اثر می‌گذارد زیرا که توزیع اندازه منافذ، پیوستگی آنها در طول نیمرخ خاک، اعوجاج، ضریب آبگذری و درز و ترک‌های موجود در طول نیمرخ خاک در ساختمان‌های مختلف خاک متفاوت است. از آنجا که این ویژگی‌ها در رابطه با حرکت آب و مواد در خاک مهم‌اند، بنابراین ساختمان خاک اهمیت زیادی در حرکت آب و مواد در خاک دارد.

در ایران اگر چه آلاینده‌ها در سطحی گسترده بدون نظارت و آگاهی از مسائل و مشکلات عدیده زیست محیطی مصرف می‌شوند، اما فعالیت‌های پژوهشی اندکی در زمینه سرنوشت این مواد و چگونگی حرکت آنها در خاک و انتقال به سفره‌های آب زیرزمینی انجام گرفته است. نتایج اغلب پژوهش‌های انجام شده در سایر کشورها هم به دلیل متفاوت بودن ویژگی‌های ذاتی خاک‌ها، کیفیت خاک و تفاوت شرایط اقلیمی کشور ما که سرزمینی خشک و نیمه خشک است، قابل تعمیم نیستند. بنابراین برای امکان استفاده اصولی از نهاده‌هایی که غالباً موجب آلودگی محیط می‌شوند، بدون انتقال این مواد به سفره‌های آب زیرزمینی، پژوهش‌های محلی با توجه به شرایط خاک‌های منطقه اجتناب ناپذیر است.

برای جلوگیری از توسعه آلودگی و امکان پیشگیری از مضرات مواد آلاینده بایستی پژوهش‌هایی در شرایط خاک‌های مختلف با ساختمان‌های متفاوت انجام گیرد. با توجه به اینکه مطالعه حرکت آلاینده‌هایی مانند علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و نیترات با مشکلاتی از قبیل تجزیه پذیری در خاک مواجه است، از یون‌هایی مانند برومید و کلرید به عنوان ردیاب حرکت این آلاینده‌ها در خاک استفاده می‌نمایند که رفتاری شبیه این مواد در خاک دارد و واکنش ناپذیر نیز می‌باشد. مقدار برومید به طور طبیعی در خاک ناچیز و معمولاً کمتر از ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. بنابراین، با افزودن برومید به خاک می‌توان حرکت آن را در خاک بررسی و با مدل‌های مناسب حرکت املاح برازش نمود. استفاده از مدل برای بررسی حرکت املاح در خاک می‌تواند موجب صرفه جویی در وقت و هزینه آزمایش‌ها در یک منطقه شود. یکی دیگر از مزایای مدل‌ها این است که با استفاده از فرضیه‌های ساده، بسیاری از مشکلات مزرعه‌ای را محدود می‌کنند. دسترسی به چنین اطلاعاتی می‌تواند ما را در استفاده اصولی از این مواد، مدیریت بهینه و جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی یاری کند.

این پژوهش به منظور شناخت چگونگی حرکت بروميد به عنوان ردیاب حرکت املاح و آلاینده‌ها در خاک‌های با ساختمان‌های مختلف در راستای کاهش خطرات آلودگی ناشی از انتقال این مواد به منابع آب زیرزمینی و بکارگیری مدل‌های ریاضی مناسب جهت پیش بینی حرکت بروميد در شرایط ذکر شده انجام شده است.

۱-۱- اهمیت بررسی حرکت املاح در خاک

در اکوسیستم‌های کشاورزی املاح بر اساس کارکردشان (برای مثال عناصر غذایی، نمک‌ها، مواد شیمیایی آلی و عناصر سنگین) طبقه‌بندی می‌شوند. درک و شناخت فرآیند انتقال املاح در خاک برای بسیاری از مسائل مدیریتی در کشاورزی مهم می‌باشد که می‌تواند به ایجاد راه حل‌هایی برای افزایش استفاده مؤثر از کودها، آفت‌کش‌ها و سایر مواد شیمیایی در منطقه ریشه و کاهش انتقال آنها به آب‌های زیرزمینی کمک کند. اطلاع از این فرآیندها برای شناخت مسائل آلودگی آب و خاک ناشی از آبشویی و توزیع مجدد املاح در محیط متخلخل خاک، قابلیت دسترسی املاح برای جذب توسط گیاهان و آلودگی رواناب‌های سطحی و آبخوان‌های زیرزمینی حائز اهمیت می‌باشد (لال و شوکلا[1]، ۲۰۰٤).

۱-۲- حرکت آب در خاک

درک صحیح روابط آب و خاک می‌تواند به فهم بهتر حرکت آب و املاح در خاک کمک کند، به ویژه اینکه تقریباً تمام فرآیندهای انتقال در خاک همراه جریان آب رخ می‌دهد. آب در خاک به دو صورت اشباع[2] و غیراشباع[3] جریان دارد. شرایط اشباع معمولاً در زیر سطح ایستابی و شرایط غیراشباع در بالای سطح ایستابی برقرار است (شکل ۱-۱). البته جریان اشباع همیشه در زیر سطح ایستابی اتفاق نمی‌افتد. هنگام آبیاری و یا در حین بارندگی که شدت آن بیشتر از ضریب آبگذری خاک است، می‌توان برای مدتی هر چند کوتاه جریان اشباع را در بالای سطح ایستابی ملاحظه کرد.

پارامتر مهمی که در جریان اشباع مورد نیاز است، ضریب آبگذری اشباع (K_s) می‌باشد. ولی برای پیشگویی جریان غیراشباع رابطه ضریب آبگذری غیراشباع $K(h)$ و مکش ماتریک خاک (h) و رابطه مقدار رطوبت و مکش ماتریک خاک $\theta(h)$ مورد نیاز می‌باشد. پارامترهای K_s، $K(h)$ و $\theta(h)$ وابسته به بافت و ساختمان خاک نیز می‌باشند.

۱-۲-۱- شرایط اشباع

شرایط اشباع در نیمرخ خاک در پی بارندگی یا آبیاری به وجود می‌آید. شرایط اشباع خاک وقتی اتفاق می‌افتد که منافذ خاک کاملاً از آب پر شده باشند (شکل ۱-۱). در این حالت قسمت عمده

1- Lal and Shukla
2- Saturated flow
3- Unsaturated flow

جریان آب از طریق منافذ درشت[1] خاک صورت می‌گیرد. به همین دلیل جریان در حالت اشباع سریع می‌باشد. در این حالت مقدار رطوبت حجمی خاک (θ) برابر تخلخل کل (φ) بوده و تخلخل تهویه‌ای (φ_0) صفر می‌باشد. از جمله قوانین مهم مورد استفاده در شرایط اشباع می‌توان به قانون دارسی[2] و قانون پوازی[3] اشاره نمود (برزگر، ۱۳۸۳).

قانون پوازی که برای حرکت سیال از طریق لوله یا لوله‌های پر از سیال استفاده می‌شود را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\eta \Delta L} \qquad (۱-۱)$$

و شدت جریان (J_w) برابر است با:

$$J_W = \frac{Q}{A} = \frac{R^2 \Delta P}{8L\eta} \qquad (۱-۲)$$

که در این رابطه: Q مقدار جریان (دبی)، π ۳/۱۴، R شعاع لوله، ΔP اختلاف پتانسیل هیدرولیکی کل بین دو نقطه در طول لوله، η گرانروی (لزوجت) سیال و ΔL فاصله بین دو نقطه است.

همانطوری که ملاحظه می‌شود دبی و شدت جریان به ترتیب متناسب با توان چهارم و توان دوم شعاع لوله بوده و نسبت عکس با لزوجت سیال دارد. بنابراین با کاهش اندازه منافذ یا لوله‌ها، دبی جریان و شدت جریان به شدت کاهش می‌یابد.

قانون دارسی که یک قانون ماکروسکوپی است، در یک بعد به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$J_w = \frac{Q}{A} = -K_s \frac{\Delta H}{L} \qquad (۱-۳)$$

که در این رابطه: J_w شدت جریان، A سطح مقطع جریان، L فاصله جریان، ΔH اختلاف پتانسیل هیدرولیکی بین دو سر جریان، $\frac{\Delta H}{L}$ گرادیان یا شیب هیدرولیکی[4] و K_s ضریب آبگذری اشباع می‌باشند (برزگر، ۱۳۸۳).

۱-۲-۲- شرایط غیراشباع

در شرایط جریان غیراشباع، آب از منافذ ریزتر[5] خاک عبور کرده و در نتیجه به میزان بیشتری در اصطکاک با ذرات خاک است. به همین دلیل جریان در حالت غیراشباع بسته به درجه خشکی خاک،

1- Macropores
2- Darcy's law
3- Poiseuille's law
4- Hydraulic gradient
5- Micropores