دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته علوم خاک

اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضرائب معادلات نفوذ آب در دو خاک آهکی

به کوشش

مرتضی پاک جو

استاد راهنما

دکتر عبدالمجید ثامنی

مرداد ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

به نام خدا

اظهارنامـــــه

اینجانب مرتضی پاک جو (۹۰۰۶۰۶) دانشجوی رشته‌ی علوم خاک دانشکده‌ی کشاورزی اظهارمی‌کنم که این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه‌ام 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: مرتضی پاک جو

تاریخ و امضا:

به نام خدا

اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضرائب معادلات نفوذ آب در دو خاک آهکی

به کوشش
مرتضی پاک جو

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

در رشته‌ی:
علوم خاک
از دانشگاه شیراز
شیراز
جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته‌ی پایان‌نامه، با درجه‌ی: عالی

دکتر عبدالمجید ثامنی، دانشیار بخش علوم خاک (استاد راهنما).....

دکتر سید علی اکبر موسوی، استادیار بخش علوم خاک (استاد مشاور).....

دکتر علی اکبر کامگار حقیقی، استاد بخش مهندسی آب (استاد مشاور).....

دکتر مهدی زارعی، استادیار بخش علوم خاک، داور (متخصص داخلی).....

مرداد ۱۳۹۲

تقدیم با بوسه بر دستان دبیر بازنشسته آموزش و پرورش، پدرم:

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی و .....

و

تقدیم با بوسه بر دستان آموزگار آموزش و پرورش، مادرم:

دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

و

تقدیم به برادرانم که مایه افتخار من هستن

سپاسگزاری

سپاس یزدان پاک را، که توفیق کسب دانش را به من عطا فرمود. اکنون که این رساله به پایان رسیده است بر خود فرض می‌دانم و به جاست تا قدردان زحمات عزیزانی باشم که مرا در این مهم یاری کردند. در ابتدا از زحمات خانواده با محبتم، به خصوص مادر و پدر عزیزم تشکر می‌کنم که زحماتشان با هیچ کوششی قابل جبران نیست و همواره مایه دلگرمی و آرامش من بوده‌اند. زحمات فراوان و ارزشمند استاد راهنمای ارجمند، جناب آقای دکتر عبدالمجید ثامنی را نیز ارج می‌نهم. از اساتید محترم مشاور، آقایان دکتر سید علی اکبر موسوی و دکتر علی اکبر کامگار حقیقی که مرا در این پژوهش یاری کردند، کمال تشکر را دارم. در اینجا جا دارد که از کمک‌های بی‌دریغ دکتر حمید رضا افشین، استاد برجسته دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان تشکر کنم. همچنین سزاوار است تا از آقایان دکتر کریمیان، ابطحی باقر نژاد، رونقی، قاسمی، زارعی و یثربی که در طی مدت تحصیلم از آموزش‌های موثر آنها بهره برده‌ام تشکر لازم را داشته باشم. یاد و خاطره دوستانی که در این برهه از زندگی کنار من بودند، جناب آقایان مهندس سید مصطفی موسوی، حامد رجبی، کمال متانت، سینا شیخ‌پور، سعید مهرجو، سید علی برهانی، مصطفی دهقان، کیومرث یوسفی، ناصر شهریور، محمود رضا سعدیخانی، محمد امیدی‌فر، خانم محبوبه بهرامی‌نیا و سایر دوستان که در این کوتاه، مجال پرداختن به آن‌ها نیست، را گرامی می‌دارم. در آخر از زحمات و همکاری‌های کارکنان بخش علوم خاک، آقایان مقصودی، اسفندیاری، جعفری، غلامی و خانم هاشمی سپاسگزاری می‌کنم.

چکیده

اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضرائب معادلات نفوذ آب در دو خاک آهکی

به کوشش

مرتضی پاک‌جو

نفوذ و مدل‌سازی آن یکی از پارامترهای مهم در طراحی و اجرای پروژه‌های آبیاری، زهکشی و حفاظت خاک است که تحت تاثیر خصوصیات مختلف خاک و میزان شوری و سدیم آب آبیاری می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی میزان نفوذپذیری در شرایط متغیر شوری و شوری-سدیمی بودن آب آبیاری است. در این تحقیق میزان نفوذ عمودی آب به خاک از روش صحرایی استوانه‌های مضاعف جهت انتخاب بهترین مدل از پنج مدل نفوذ کوستیاکف-لوئیز، کوستیاکف، هورتون، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و فیلیپ مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. پژوهش با ۴ سطح شوری آب (۰/۵، ۳، ۶، ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) و ۴ سطح نسبت جذب سدیم (۰/۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰) و در دو کلاس بافت (سری دانشکده با بافت شنی و رسی تا رسی و سری کوی اساتید با بافت شنی و رسی سنگریزه‌دار) با ۵ تکرار انجام شد. ضرایب مدل‌های مذکور به روش حداقل مجموع مربعات خطا (SSE) تعیین گردید. جهت بررسی صحت عملکرد مدل‌های نفوذ، از آماره‌های ارزیابی استفاده شد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که مدل کوستیاکف-لوئیز بهترین مدل برای بیان کمی فرایند نفوذ آب به خاک در خاک‌های آهکی مورد مطالعه است. نتایج نشان داد که بیشترین عامل تاثیرگذار بر ضرایب در معادلات تجربی، بافت خاک می‌باشد. طبق نتایج، در خاک سری دانشکده SAR=۳۰ نسبت به تیمار شاهد (SAR=۰/۵) سبب افزایش ضریب A مدل فیلیپ به مقدار ۱۶۶/۶٪ شده است و در SAR=۳۰ وقتی شوری آب برابر با dS/m ۶ باشد، از اثرات مخرب سدیم بروی خاک جلوگیری کرده است.

کلمات کلیدی: مدل‌های نفوذ آب در خاک، ضرایب مدل‌های نفوذ، شوری و سدیم آب آبیاری.

فهرست مطالب

عنوان شماره صفحه

فصل اول ۱

مقدمه ۲

۱-۱- توزیع رطوبتی در ضمن نفوذ ۷

۱-۲- معادله های نفوذ ۹

۱-۲-۱- معادله کوستیاکف (Kostiakov) ۹

۱-۲-۲- معادله ی هورتون(Horton) ۱۱

۱-۲-۳- معادله گرین و امپت (Green and Ampt) ۱۳

۱-۲-۴- معادله فیلیپ (Philip) ۱۴

۱-۲-۵- معادله سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) ۱۸

۱-۳- مقایسه معادله‌های مختلف نفوذ ۱۹

هدف‌های تحقیق ۲۱

فصل دوم ۲۲

۲- مروری بر پژوهش‌های گذشته ۲۳

۲-۱- ارزیابی و مقایسه مدل‌های نفوذ ۲۳

۲-۲- اثر کیفیت آب (قابلیت هدایت الکتریکی، EC و نسبت جذب سدیم، SAR) بر نفوذ آب به خاک ۲۸

فصل سوم ۳۳

۳- مواد و روش‌ها ۳۴

۳-۱- تشریح وضعیت عمومی منطقه مورد مطالعه ۳۴

۳-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک در محل انجام آزمایش‌های نفوذ ۳۵
۳-۳- آزمایش‌های نفوذ ۳۶
۳-۴- تحلیل آماری و برازش مدل به داده‌های اندازه‌گیری شده ۳۷
۳-۵- تجزیه و تحلیل آماری ۳۹
فصل چهارم ۴۰
۴- نتایج و بحث ۴۱
۴-۱- انتخاب بهترین مدل نفوذ در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری در خاک سری دانشکده ۴۱
۴-۲- انتخاب بهترین مدل نفوذ در کیفیت‌های مختلف آب آبیاری در خاک سری کوی اساتید ۴۶
۴-۳- مقایسه عملکرد مدل‌های نفوذ در کلاس‌های بافتی خاک مورد بررسی ۵۲
۴-۴- تعیین محدوده ضرایب مدل‌های نفوذ مورد مطالعه ۵۸
۴-۵- اثر بافت خاک، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) بر ضرایب معادلات نفوذ مورد بررسی ۶۴
۴-۵-۱- ضریب a' مدل نفوذ سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) ۶۴
۴-۵-۲- ضریب b' مدل نفوذ سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) ۶۶
۴-۵-۳- ضریب S مدل نفوذ فیلیپ ۶۸
۴-۵-۴- ضریب A مدل نفوذ فیلیپ ۷۱
۴-۵-۵- ضریب K مدل نفوذ کوستیاکف ۷۳
۴-۵-۶- ضریب b مدل نفوذ کوستیاکف ۷۵
۴-۵-۷- ضریب K مدل نفوذ کوستیاکف-لوئیز ۷۷
۴-۵-۸- ضریب b مدل نفوذ کوستیاکف-لوئیز ۷۹

۴-۵-۹- ضریب A مدل نفوذ کوستیاکف-لوئیز ۸۰
۴-۵-۱۰- ضریب C مدل نفوذ هورتون ۸۲
۴-۵-۱۱- ضریب m مدل نفوذ هورتون ۸۳
۴-۵-۱۲- ضریب a مدل نفوذ هورتون ۸۵
نتیجه‌گیری کلی ۸۷
پیشنهادات ۹۰
پیوست ۹۱
منابع مورد استفاده ۹۵

فهرست جداول

عنوان شماره صفحه

جدول ۱-۱. شرح مدل‌های نفوذ و ضرایب آنها(*) ۴

جدول ۱-۲. سرعت نفوذ آب در بافت‌های مختلف ۷

جدول ۳-۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه..... ۳۵

جدول ۴-۱. شاخص‌های آماری محاسبه شده برای ارزیابی دقت مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک سری دانشکده ۴۲

جدول ۴-۲. شاخص‌های آماری محاسبه شده برای ارزیابی دقت مدل‌های نفوذ مورد بررسی در خاک سری کوی اساتید ۴۷

جدول ۴-۳. نتایج رتبه‌بندی نهایی مدل‌های نفوذ به کار برده شده برای نفوذ آب با کیفیت‌های مختلف در دو خاک مورد مطالعه ۵۴

جدول ۴-۴. محدوده تغییرات ضرایب مدل‌های نفوذ آب مورد مطالعه در خاک سری دانشکده .. ۶۰

جدول ۴-۵. محدوده تغییرات ضرایب مدل‌های نفوذ آب مورد مطالعه در خاک سری کوی اساتید ۶۲

جدول۴-۶. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب a' مدل حفاظت خاک آمریکا در خاک‌های مورد مطالعه ۶۶

جدول۴-۷. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب b' مدل حفاظت خاک آمریکا در خاک‌های مورد مطالعه ۶۸

جدول۴-۸. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب S مدل فیلیپ در خاک‌های مورد مطالعه ... ۷۰

جدول۴-۹. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب A مدل فیلیپ در خاک‌های مورد مطالعه .. ۷۲

جدول۴-۱۰. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب K مدل کوستیاکف در خاک‌های مورد مطالعه ۷۴

جدول۴-۱۱. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب b مدل کوستیاکف در خاک‌های مورد مطالعه ۷۶

جدول۴-۱۲. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب K مدل کوستیاکف-لوئیز در خاک‌های مورد مطالعه ۷۷

جدول۴-۱۳. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب b مدل کوستیاکف-لوئیز در خاک‌های مورد مطالعه ۷۹

جدول۴-۱۴. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب A مدل کوستیاکف-لوئیز در خاک‌های مورد مطالعه ۸۱

جدول۴-۱۵. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب c مدل هورتون در خاک‌های مورد مطالعه ۸۲

جدول۴-۱۶. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب m مدل هورتون در خاک‌های مورد مطالعه۸۴

جدول۴-۱۷. اثر شوری و سدیم آب آبیاری بر ضریب a مدل هورتون در خاک‌های مورد مطالعه ۸۶

جدول پیوست ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر بافت خاک، SAR و EC بر ضرایب معادلات نفوذ آب در خاک ۹۲

جدول پیوست۲. نتایج تجزیه واریانس اثر بافت خاک، SAR و EC بر ضرایب معادلات نفوذ آب در خاک ۹۳

جدول پیوست۳. نتایج تجزیه واریانس اثر بافت خاک، SAR و EC بر ضرایب معادلات نفوذ آب در خاک ۹۴

فهرست شکل‌ها

عنوان شماره صفحه

شکل۱-۱. رابطه بین سرعت نفوذ و نفوذ تجمعی با زمان (بای‌بوردی، ۱۳۵۶). ۵

شکل۱-۲. حالات مختلف نفوذ باران در خاکی با ضریب آبگذری اشباع و ظرفیت نفوذ مشخص (بای بوردی، ۱۳۵۶). ۶

شکل۱-۳. توزیع رطوبت در حین نفوذ (بای‌بوردی، ۱۳۵۶) ۸

شکل۱-۴. ارتباط تغییرات پتانسیل آبی و رطوبت اشباع با عمق خاک (بای‌بوردی، ۱۳۵۶)..... ۹

شکل۱-۵. استوانه حاوی خاک که به ارتفاع D آب بروی آن قرار گرفته است (بای‌بوردی، ۱۳۵۶). ۱۳

شکل۱-۶. ارتباط بین سرعت نفوذ و عمق خاک (بای‌بوردی، ۱۳۵۶). ۱۴

شکل ۱-۷. گذشت زمان و چیرگی شیب ثقل بر شیب مکش (بای‌بوردی، ۱۳۵۶). ۱۵

شکل۱-۸. چگونگی توزیع رطوبت در خاکی با رطوبت اولیه $\mathbf{C^{o}}$ در زمان‌های مختلف (بای‌بوردی، ۱۳۵۶). ۱۷

شکل ۱-۹. تاثیر رطوبت اولیه خاک بروی سرعت نفوذ (بای‌بوردی، ۱۳۵۶). ۱۷

شکل ۱-۱۰. تغییرات دو مولفه S و A از معادله فیلیپ در نوعی خاک رسی (بای‌بوردی، ۱۳۵۶). ۱۸

شکل ۱-۱۱. مقایسه بین معادله فیلیپ و هورتون (بای‌بوردی، ۱۳۵۶). ۱۹

شکل ۱-۱۲. مقایسه بین مدل‌های مختلف نفوذ آب در خاک (بای‌بوردی، ۱۳۵۶). ۲۰

شکل ۳-۱. نمایی از استوانه‌های مضاعف (Double rings) مورد استفاده برای انجام آزمایش‌های نفوذپذیری ۳۶

فصل اول

۱- مقدمه

عموماً ضوابطی که آب را از نظر برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (و یا رادیولوژیکی در مورد آب‌های زیرزمینی) برای مصارف مختلف مشخص ساخته، و درجه تناسب کاربری آن را تعیین می‌نماید به کیفیت آب موسوم است. عموماً کیفیت با تناسب کاربرد "Suitability " مرتبط است و هر مصرف کننده‌ای کیفیت مورد نظر خود را می‌طلبد (عابدی و همکاران، ۱۳۸۱).

کیفیت آب آبیاری می‌تواند با تغییر ویژگی‌های شیمیایی خاک بر پراکنده شدن خاک، شکسته شدن خاکدانه‌ها موثر باشد و سبب تشکیل سله‌های سطحی و سبب تغییر در توابع نفوذپذیری شود (شینبرگ و لیتی، ۱۹۸۴). هم اکنون بهره‌برداری از آب‌های با کیفیت نامطلوب در اراضی فاریاب در سطح جهانی رو به ازدیاد است. در حال حاضر در کشورهایی نظیر مصر، پاکستان و ایالات متحده آمریکا در سطح گسترده از این آب‌ها استفاده می‌شود (عابدی و همکاران، ۱۳۸۱).

نفوذپذیری یکی از مشخصات فیزیکی خاک بوده و یکی از پارامترهای هیدرولیکی موثر بر آبیاری سطحی است. فرآیند ورود آب را به خاک از سطح خاک و به طور عمودی نفوذ گویند. زیرا آبی که نمی‌تواند در خاک نفوذ نماید، موجب آبدوی یا هرز آب سطحی و فرسایش می‌گردد. در واقع نوع سیستم آبیاری که برای یک منطقه برگزیده می‌شود بر اساس خصوصیات نفوذ آب به داخل خاک است. بنابراین ارزیابی آن از کارهای ضروری است که بایستی صورت پذیرد (رحیم زادگان، ۱۳۷۲ و علیزاده، ۱۳۷۴).

نفوذ آب به خاک به عنوان فرایند اولیه ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیر اشباع خاک می‌باشد. این فرایند یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی است. کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت حوزه‌های آبخیز از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (موخیبیر، ۲۰۰۸).

همچنین کمی کردن این پدیده به منظور تعیین میزان آب قابل دسترس برای رشد گیاه و تخمین مقدار آب مورد نیاز که باید از طریق آبیاری تامین شود و نیز در طراحی سیستم‌های آبیاری، دارای اهمیت می‌باشد. اهمیت این فرایند سبب گردیده است مدل‌های فیزیکی و تجربی گوناگون به منظور کمی نمودن این فرایند ارائه گردد (لوئیس، ۱۹۵۷؛ کوستیاکف، ۱۹۳۲؛ فیلیپ، ۱۹۵۷؛ آگیروکاستریت و کرکیدز، ۲۰۰۳).

به طور کلی مدل‌های نفوذ آب به خاک، شامل مدل‌های تخمینی با اصول فیزیکی و مدل‌های تخمینی تجربی می‌باشد (رالس و همکاران، ۱۹۹۳). در مدل‌های تخمینی با اساس فیزیکی مانند مدل گرین و امپت (۱۹۱۱) و فیلیپ (۱۹۵۷) با تکیه بر مبانی فیزیکی، سعی در ساده‌سازی شرایط اولیه و شرایط مرزی در معادله جریان در محیط غیر اشباع است. این فرضیات، داده‌های فیزیکی مورد نیاز این مدل‌ها را کاهش می‌دهد (هاورکمپ و همکاران، ۱۹۸۷). مدل‌های تخمینی تجربی به لحاظ فرضیاتی که به شرایط سطح خاک و نیم رخ خاک مربوط می‌شود، دارای محدودیت کمتری هستند و در عوض به شرایطی که برای آن واسنجی شده‌اند، محدود می‌گردند. مدل‌های تخمینی تجربی بر اساس ضرایبی هستند که از طریق برازش منحنی تعیین می‌گردد و یا از روش‌های دیگر تخمین زده می‌شوند. از مدل‌های تخمینی تجربی می‌توان به مدل‌های کوستیاکف (۱۹۳۲)، هورتون (۱۹۴۰)، کوستیاکف–لوییز (مزنسو، ۱۹۴۸) و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا[1] (SCS) (USDA-NRC, 1974) اشاره نمود. شرح مختصری از مدل‌های فوق در جدول ۱-۱ ارائه گردیده است.

1- Soil Conservation Service

جدول ۱-۱. شرح مدل‌های نفوذ و ضرایب آنها(*)

مدل	ضرایب	معادله
گرین و امپت	K_{fs} و G	$I = K_{fs}\, t + G \ln [1+{}^{I}/_{G}]$
فیلیپ	S و A	$I = St^{1/2} + At$
کوستیاکف	k و b	$I = kt^{b}$
کوستیاکف- لوییز	k' و b' و A'	$I = k' t^{b'} + A' t$
هورتون	C ، m و a	$I = C\, t + m\,(1- e^{-at})$
سازمان حفاظت خاک آمریکا	a'' و b''	$I = a'' t^{b''} + 0/6985$

(*) I نفوذ تجمعی (سانتی متر) و t زمان (دقیقه) می‌باشد.

از آنجا که فرضیات و ضرایب به کار رفته در مدل‌های نفوذ با هم متفاوت است انتظار می‌رود در یک شرایط معین، مدلی خاص دارای عملکرد بهتری در مقایسه با سایر مدل‌ها باشد. از این رو پژوهش‌های متعددی در زمینه ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های نفوذ انجام شده است (میشرا و همکاران، ۲۰۰۳؛ قربانی دشتکی و همکاران، ۲۰۰۹؛ راشدی و سیفی، ۲۰۰۷).

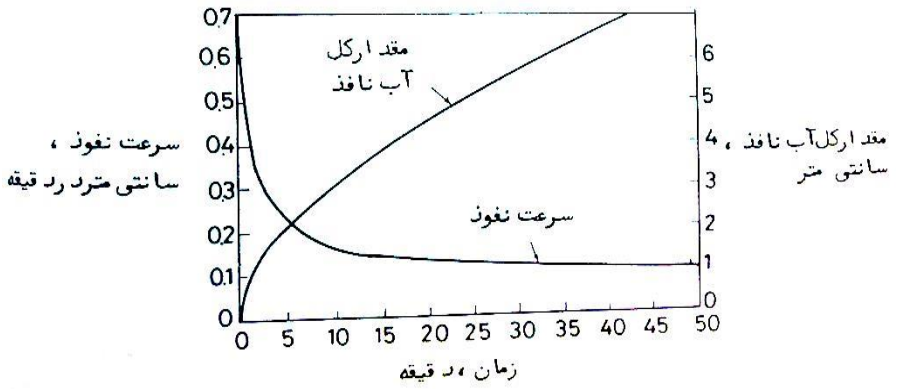
نفوذ آب در خاک را به روش‌های مختلف کرت‌های کوچک[1]، ورودی–خروجی جریان[2] و استوانه‌های مضاعف[3] می‌توان اندازه‌گیری نمود و انتخاب روش بسته به نوع سیستم آبیاری انجام می‌شود.

فرایند ورود آب به خاک از سطح خاک و به طور عمودی، نفوذ (Infiltration) گفته می‌شود. نفوذ آب در خاک اهمیت فراوانی دارد، در صورتی که آب نتواند در خاک نفوذ نماید، موجب آبدوی یا هرزآب سطحی و فرسایش می‌شود. مضافاً این که هر نوع مطالعه در مورد رشد گیاه و تولید محصول هنگامی ثمربخش است که آب مورد نیاز گیاه بتواند در خاک نفوذ نموده و با حرکت خود، محیط گسترش ریشه را نیز فرا گیرد. در نفوذ آب به خاک، اصطلاحاتی متداول است که ذیلاً شرح داده می‌شوند.

1- Ponding method
2- Inflow – outflow method
3- Double rings

۱- ظرفیت نفوذ که به آن Infiltration rate و Intake rate می‌گویند و عبارت است از حداکثر سرعتی که آب می‌تواند در خاک نفوذ کند. بعد آن سرعت LT^{-1} بوده و تا چندی پیش به Infiltration capacity نیز موسوم بود. اخیراً هیلل (۱۹۷۱ و ۱۹۷۳) این ضریب را قابلیت نفوذ Infiltrability خاک نامیده است.
۲- سرعت نفوذ یا Infiltration velocity که مبین سرعت نفوذ آب به خاک در هر لحظه بوده و حداکثر مقدار آن، معادل ظرفیت نفوذ می‌باشد.

تا زمانی که میزان باران یا آب آبیاری که در سطح خاک قرار می‌گیرد از ظرفیت نفوذ کمتر باشد، همه آن وارد خاک گشته و در آن انتقال می‌یابد و در این صورت شدت بارندگی است که سرعت نفوذ را تعیین می‌کند. برعکس اگر شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ بیشتر شود، در این صورت، این ویژگی‌های خاک است که سرنوشت نفوذ آب و انتقال آن را در خاک مشخص می‌سازند. اگر در کرتی، ارتفاع معینی از آب در سطح خاک تامین نمائیم، مشاهده می‌شود که کاهش ارتفاع آب با زمان یک خط مستقیم نبوده و به صورت یک منحنی است که در شکل ۱-۱ نیز نشان داده شده است. این منحنی مبین مقدار آبی است که در خاک نفوذ می کند. اگر در زمان‌های مختلف از این منحنی مشتق بگیریم، ارقام حاصله معرف سرعت نفوذ آب در لحظه‌های متفاوت است و شکل این منحنی برعکس منحنی اول می‌باشد.

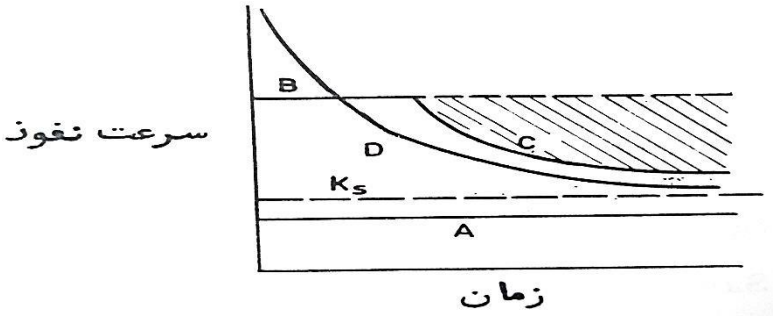


شکل ۱-۱. رابطه بین سرعت نفوذ و نفوذ تجمعی با زمان (بای بوردی، ۱۳۵۶).

ملاحظه می‌شود که در ابتدای فرایند نفوذ، سرعت نفوذ فوق‌العاده زیاد بوده و با گذشت زمان کاهش یافته و بالاخره به کمیتی ثابت تنزل می‌کند. سرعت نفوذ بستگی به رطوبت اولیه، نیروی مکش، بافت، ساختمان و وجود یا فقدان افق‌های مختلف در خاک دارد.

اگر سطح خاک خشکی را به حالت اشباع در آوریم، شیب پتانسیل ماتریک یا نیروی مکش که در چند میلی‌متر از خاک سطحی اعمال می‌شود، قابل توجه است ولی به تدریج که آب در خاک نفوذ کرده و ضخامت بیشتری از آن را مرطوب می‌سازد، کمیت این پتانسیل کاهش یافته و ناچیز می‌گردد و در استوانه‌ای از خاک که به حالت افقی است، سرعت نفوذ تقریباً مساوی صفر می‌شود. بر عکس در نفوذ عمودی، سرعت نفوذ نهایی به مقدار ثابتی میل می‌کند که در یک خاک همگن مساوی ضریب آبگذری اشباع است ولی اگر سطح خاک را به حالت اشباع در نیاورده و یا آن را در حالت اشباع نگه نداریم، در این صورت سرعت نفوذ معادل هدایت موئینه‌گی خاک، متناسب با رطوبت موجود خواهد بود.

لارسن و مین (۱۹۷۳) سه حالت مختلف برای نفوذ بارانی به شدت I (سانتی متر در ساعت) در خاکی که ضریب آبگذری اشباع آن K_s و ظرفیت نفوذ آن f است در نظر گرفته‌اند که در شکل۱-۲ نیز نشان داده شده است.



شکل۱-۲. حالات مختلف نفوذ باران در خاکی با ضریب آبگذری اشباع و ظرفیت نفوذ مشخص (بای‌بوردی، ۱۳۵۶).

۱- حالت A- در این حالت $I < K_s$ بوده و آبدوی یا هرزآب سطحی وجود ندارد، زیرا کلیه آب باران وارد خاک می شود. خط A در شکل ۱-۲ مبین این حالت است.

۲- حالت B- در این مرحله، $K_s < I \leq f$ می باشد و کلیه آب باران در خاک نفوذ نموده و رطوبت افق‌های سطحی خاک افزایش می یابد. خط B از منحنی BC در شکل ۱-۲ این مرحله را نشان می‌دهد.

۳- حالت C- در این حالت $K_s < f \leq I$ بوده، حداکثر سرعت نفوذ یعنی ظرفیت نفوذ امکان‌پذیر است ولی چون به تدریج کاهش می‌یابد، لذا آبدوی یا هرزآب سطحی به وجود می‌آید. منحنی‌های D و C مبین این حالت است، سطح هاشور خورده در شکل ۱-۲، آبی است که در سطح خاک تجمع حاصل کرده و یا جریان سطحی می‌یابد. اغلب معادله‌های نفوذ، حالت C و یا منحنی D را در نظر می‌گیرند. ملاحظه می‌شود که حالت A، در بقیه