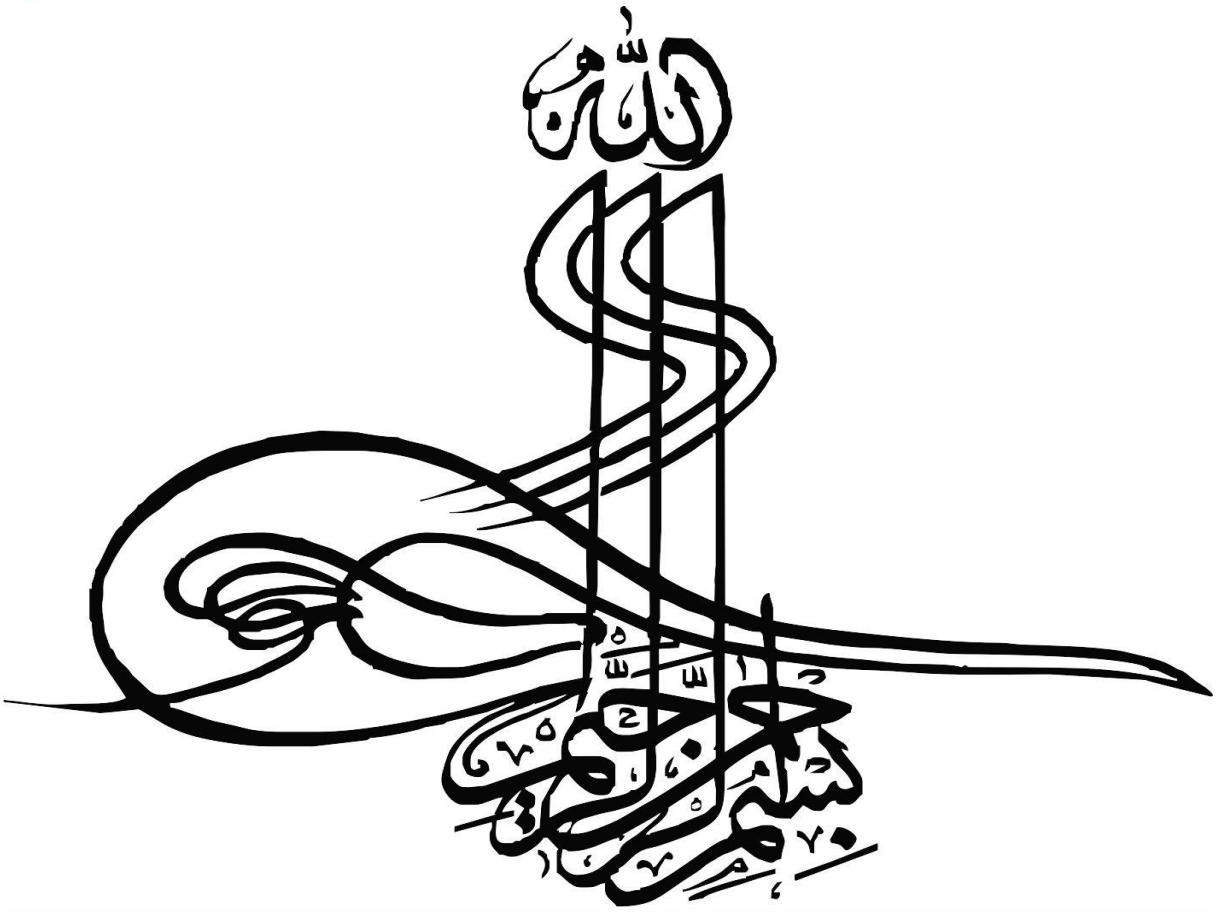

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم کشاورزی
گروه مهندسی آب
(آبیاری و زهکشی)

عنوان

شبیه‌سازی نفوذ با شاخصه‌های فیزیکی و شیمیایی آب و خاک در آبیاری سطحی

از:
امیر شهریاری

استاد راهنما:
مریم نوابیان

استادان مشاور:
مهدی اسمعیلی‌ورکی
محمدرضا خالدیان

اسفند ۹۲

تقدیم به:

مژده حیات بخش پروردگار،

امام عصر(عج).

آن صنوبرهای سرخی که چون لاله زاده شدند،

و چون شقایق ایستاده مردند.

پدر بزرگوارم،

که با غیرت خود الفبای زندگی را به من آموخت.

مادر فداکارم،

که از اول آفرینش، هیچ واژه‌ای نتوانسته مهر او را معنی کند.

خواهرهای عزیزتر از جانم،

که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است.

سپاس و ستایش خداوند مهربانی که به انسان توان فکر و اندیشه بخشید تا با بهره گیری از نور علم و معرفت الهی به تحقیق و جستجو بپردازد و به بندگانش مهربانی کند و خوش باشد که پروردگار سمیع و بصیر است... و درود بر محمّد و خاندان نبوتش که پیغام بران راستین کلام وحی اند.

بدون شک سخن گفتن از جایگاه و منزلت معلم، محتاج قلمی پرتوان و اندیشه ای بس بلند است، از این رو است که برای پیدا کردن مفهومی در شأن ایشان، زبان ها قاصر و سخنوران ناتوان... اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و ارباب «من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّوجل» از استاد با کمالات دلسوز و شایسته، سرکار خانم **دکتر مریم نوابیان** استاد راهنمای گرانقدرم، که در کمال سعه صدر با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و در تمام مراحل این پژوهش راهنما و راهگشایم بودند؛ از استاد صبور و باتقوا، جناب آقای **دکتر مهدی اسمعیلی ورکی** و استاد گران مایه، جناب آقای **دکتر محمدرضا خالدیان** که زحمت مشاوره این پایان نامه را متقبل شدند و در این راه مرا از راهنمایی های ارزنده شان بهره مند نمودند و از استادن فرزانه، جناب آقای **دکتر محمدحسن بیگلویی** و جناب آقای **دکتر مجید وظیفه دوست** که زحمت داوری و باز خوانی این پایان نامه را تقبل کردند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم و برای ایشان از درگاه خداوند متعال سلامت و سعادت روز افزون خواستارم. از مدیریت محترم گروه مهندسی آب و تمامی اساتید بزرگوار گروه مهندسی آب که بدون اغراق شاگردی در محضرشان، افتخاری بزرگ برای اینجانب بود، متواضعانه سپاسگزارم. از کارشناسان گروه مهندسی آب سرکار خانم ها پور صفری و سلیمانی فر کمال تشکر را دارم. هم چنین از سرکار خانم دکتر عاطفه صبوری و جناب آقای مهندس بهمن احمدی به خاطر راهنمایی های بی دریغشان متشکرم و از پدر و مادر عزیزم، که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، این دو معلم بزرگوار که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند، نهایت قدردانی را دارم.

زبوسیدنی های این روزگار یکیشان بود دست آموزگار

از خواهر های عزیزم که همواره مشوق من بوده اند، متشکرم.

و در پایان از تمامی دوستان عزیزم که با کمک ها و حضور شیرینشان به سمودن این مسیر را برای من آسان کردند، سپاسگزارم و برای تک تک شان بهترین ها را آرزومندم...

امیر شهریاری

اسفند ماه یک هزار و سیصد و نود و دو

عنوان | شماره صفحه

چکیده فارسی د
چکیده انگلیسی ذ
مقدمه ۲
۱-کلیات و بررسی منابع ۶
۱-۱-اهمیت نفوذ در آبیاری ۶
۱-۲-پدیده نفوذ ۷
۱-۲-۱-معادلات نفوذ ۷
۱-۲-۱-۱-معادله کوستیاکوف ۹
۱-۲-۱-۲-معادله فیلیپ ۱۰
۱-۲-۲-عوامل مؤثر بر نفوذ آب به داخل خاک ۱۲
۱-۳-تغییرات زمانی و مکانی نفوذ ۱۸
۱-۳-۱-تغییرات مکانی نفوذ ۱۸
۱-۳-۲-تغییرات زمانی نفوذ ۱۹
۱-۴-روش‌های اندازه‌گیری نفوذ ۲۰
۱-۴-۱-اندازه‌گیری نفوذ در آبیاری سطحی ۲۱
۱-۴-۱-۱-روش استوانه مضاعف (هیس و همکاران ۱۹۵۶) ۲۲
۱-۴-۱-۲-روش نفوذسنج جویچه مسدود (بوندورانت ۱۹۵۷) ۲۲
۱-۴-۱-۳-روش ورودی- خروجی (واکر و اسکوجربو) ۲۲
۱-۴-۱-۴-روش دونقطه‌ای (الیوت و واکر ۱۹۸۲) ۲۳
۱-۴-۱-۵-روش سعی و خطا (والیانتز۲۰۰۱) ۲۳
۱-۴-۱-۶-روش بهینه‌سازی (مک کلیمونت و اسمیت ۲۰۰۱) ۲۳
۱-۵-روش‌های غیر مستقیم تخمین نفوذ ۲۴
۱-۵-۱-توابع انتقالی ۲۴
۱-۵-۲-مدل‌های رگرسیون ۲۵
۱-۵-۲-۱-مراحل تحلیل رگرسیون ۲۶
۱-۵-۲-۲-رگرسیون خطی چندگانه ۲۸
۱-۵-۳-معرفی الگوریتم شبکه‌های عصبی از نوع GMDH ۲۹
۱-۵-۳-۱-تشریح ماهیت شبکه‌های عصبی از نوع GMDH ۲۹

۱-۵-۳-۲-الگوریتم GMDH ۳۰
۱-۵-۳-۳-شبکه‌های عصبی GMDH ۳۴
۱-۶-تحلیل ابعادی ۳۴
۱-۶-۱-اصول تحلیل ابعادی و استفاده آن در تحقیقات هیدرولیکی ۳۵
۱-۶-۲-روش‌های تحلیل ابعادی ۳۶
۲-مواد و روش‌ها ۳۹
۲-۱-منطقه مورد مطالعه ۳۹
۲-۲-مشخصات نمونه‌های خاک و آب مورد مطالعه ۴۰
۲-۲-۱-خصوصیات فیزیکی خاک ۴۰
۲-۲-۱-۱-روش تعیین بافت و دانه‌بندی خاک ۴۰
۲-۲-۱-۲-روش تعیین جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک ۴۲
۲-۲-۱-۳-روش تعیین نقاط رطوبتی خاک ۴۳
۲-۲-۲-خصوصیات شیمیایی خاک و آب ۴۳
۲-۲-۲-۱-اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، pH، سدیم، کلسیم، منیزیم و مقدار ماده آلی نمونه‌های خاک ۴۳
۲-۲-۲-۲-کیفیت منبع آب مورد استفاده ۴۴
۲-۳-آزمایش‌های نفوذ ۴۵
۲-۳-۱-ساخت مدل فیزیکی و آماده‌سازی نمونه‌های خاک ۴۵
۲-۳-۲-روش انجام آزمایش‌های نفوذ ۴۶
۲-۴-تجزیه و تحلیل اطلاعات ۴۸
۲-۴-۱-نحوه محاسبه ضرایب نفوذ معادله‌های کوستیاکوف و فیلیپ ۴۸
۲-۴-۲-تحلیل‌های آماری ۴۹
۲-۴-۳-اصلاح معادلات نفوذ کوستیاکوف و فیلیپ با شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی آب و خاک ۵۰
۲-۴-۴-استخراج تابع انتقالی نفوذ به روش رگرسیون خطی چندگانه ۵۱
۲-۴-۵-استخراج تابع انتقالی نفوذ به روش GMDH ۵۲
۲-۴-۵-۱-نحوه تشکیل کروموزم و جزییات ساختاری شبکه GMDH ۵۳
۲-۴-۵-۲-نحوه استخراج ضرایب شبکه عصبی GMDH ۵۵
۲-۴-۶-استخراج معادله نفوذ به روش تحلیل ابعادی ۵۶
۳-نتایج و بحث ۵۹
۳-۱-نتایج مربوط به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه ۵۹
۳-۲-مقایسه نتایج آزمایش نفوذ در تیمارهای ارتفاع آب و نسبت جذب سدیم ۶۰

۳-۲-۱-مقایسه نفوذ تجمعی در تیمارهای مختلف ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ ..... ۶۰
۳-۲-۲-مقایسه مقادیر متوسط سرعت نفوذ و سرعت نفوذ نهایی در تیمارهای ارتفاع آب و نسبت جذب سدیم..... ۶۷
۳-۳-آزمون مقایسه میانگین و تجزیه واریانس ۷۲
۳-۳-۱-بررسی تأثیر تیمار ارتفاع‌های ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر آب در یک نسبت جذب سدیم ۷۲
۳-۳-۲-بررسی تأثیر تیمار نسبت‌های جذب سدیم ۱/۷، ۲/۵ و ۹ در یک تیمار ارتفاع آب ۷۷
۳-۴-نتایج ارزیابی مدل تحلیل ابعادی..... ۸۳
۳-۵-نتایج اصلاح معادله‌های کوستیاکوف و فیلیپ با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک و آب ۸۴
۳-۶-نتایج تابع انتقالی به روش رگرسیون خطی چندگانه ۹۱
۳-۷-نتایج تابع انتقالی پیشنهادی با روش GMDH ۹۳
۳-۸-نتیجه‌گیری کلی ۹۶
۳-۹-پیشنهادها..... ۹۷

فهرست جدول‌ها

عنوان.....شماره صفحه

جدول ۱–۱- کلاس‌های نفوذپذیری خاک [Hillel, 1971] ۱۳
جدول ۱–۲- طبقه‌بندی آب‌ها براساس هدایت الکتریکی و کل املاح محلول..... ۱۷
جدول ۱–۳- فهرست علائم اختصاری کمیت‌های مهم درهیدرولیک [Sedov, 1993].....۳۶
جدول ۲–۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری..... ۳۹
جدول ۲–۲- بافت خاک‌های مناطق نمونه‌برداری شده..... ۴۰
جدول ۲–۳- الک‌های مورد نیاز برای اندازه‌گیری کلاس‌های شن [Dane et al., 2002]..... ۴۱
جدول ۲–۴- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایشات برای سه تیمار نسبت جذب سدیم..... ۴۵
جدول ۲–۵- میزان خطای آموزش و آزمایش در منحنی پاره تو برای نفوذ تجمعی ۵۵
جدول ۲–۶- کمیت‌های مهم در نفوذ آب در خاک..... ۵۷
جدول ۳–۱- مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک مورد مطالعه.....۶۰
جدول ۳–۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمار خاک، ارتفاع آب، زمان و اثر متقابل آن‌ها به صورت دو به دو و هر سه با هم بر مقدار نفوذ تجمعی در نسبت جذب سدیم ۱/۷ ..... ۷۳
جدول ۳–۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمار خاک، ارتفاع آب، زمان و اثر متقابل آن‌ها به صورت دو به دو و هر سه با هم بر مقدار نفوذ تجمعی در نسبت جذب سدیم ۲/۵ ..... ۷۴
جدول ۳–۴- تجزیه واریانس تأثیر تیمار خاک، ارتفاع آب، زمان و اثر متقابل آن‌ها به صورت دو به دو و هر سه با هم بر مقدار نفوذ تجمعی در نسبت جذب سدیم ۹.....۷۶
جدول ۳–۵- تجزیه واریانس تأثیر تیمار خاک، نسبت جذب سدیم، زمان و اثر متقابل آن‌ها به صورت دو به دو و هر سه با هم بر مقدار نفوذ تجمعی در ارتفاع آب ۳ سانتی‌متر ۷۸
جدول ۳–۶- تجزیه واریانس تأثیر تیمار خاک، نسبت جذب سدیم، زمان و اثر متقابل آن‌ها به صورت دو به دو و هر سه با هم بر مقدار نفوذ تجمعی در ارتفاع آب ۵ سانتی‌متر ۷۹
جدول ۳–۷- تجزیه واریانس تأثیر تیمار خاک، نسبت جذب سدیم، زمان و اثر متقابل آن‌ها به صورت دو به دو و هر سه با هم بر مقدار نفوذ تجمعی در ارتفاع آب ۷ سانتی‌متر ۸۱
جدول ۳–۸- نتایج آماره‌های مدل پیشنهادی برای برآورد نفوذ تجمعی بر اساس داده‌های واسنجی و داده‌های اعتبارسنجی ۸۴
جدول ۳–۹- نتایج آماره‌های معادله پیشنهادی کوستیاکوف برای برآورد نفوذ تجمعی بر اساس داده‌های واسنجی و داده‌های اعتبارسنجی.....۸۶
جدول ۳–۱۰- نتایج آماره‌های معادله پیشنهادی فیلیپ برای برآورد نفوذ تجمعی بر اساس داده‌های واسنجی و داده‌های اعتبارسنجی..... ۸۸
جدول ۳–۱۱- نتایج آماره‌های معادله‌های کوستیاکوف و فیلیپ قبل از اعمال پارامترهای اصلاحی برای برآورد نفوذ تجمعی بر اساس داده‌های واسنجی و داده‌های اعتبارسنجی ۹۱
جدول ۳–۱۲- نتایج آماره‌های معادله پیشنهادی با روش رگرسیون خطی چندگانه برای برآورد نفوذ تجمعی بر اساس داده های واسنجی و اعتبارسنجی..... ۹۲
جدول ۳–۱۳- نتایج آماره‌های معادله پیشنهادی با GMDH برای برآورد نفوذ تجمعی بر اساس داده‌های اعتبارسنجی.. ۹۵

فهرست شکل‌ها

عنوان.....شماره صفحه

شکل ۱–۱- نمایی از چگونگی تجزیه سیستم پیچیده به سیستم‌های جزئی ۳۲
شکل ۱–۲- طرح کلی ساختار شبکه عصبی GMDH برای آموزش [Nariman-Zadeh et al., 2003]..... ۳۳
شکل ۲–۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری..... ۳۹
شکل ۲–۲- نمایی از برخی محل‌های نمونه‌برداری ۴۰
شکل ۲–۳- برخی از امکانات استفاده شده در آزمایش بافت و دانه‌بندی خاک: الف) سری الک‌ها برای دانه‌بندی جزء شن مطابق جدول ۲–۳، ب) همزن برقی، ج) هیدرومتر استاندارد، ASTM no. 152 H و سیلندر ۱۰۰۰ میلی‌لیتر..... ۴۱
شکل ۲–۴- منحنی دانه‌بندی نمونه خاک شماره ۶..... ۴۱
شکل ۲–۵- مراحل انجام آزمایش کلوخه برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک: الف) کلوخه آون خشک شده به‌همراه نخ، ب) ترازو و کلوخه پارافینه شده به‌همراه نخ، ج) وزن کلوخه پارافینه شده در آب با نخ..... ۴۲
شکل ۲–۶- ترازو و پیکنومتر مورد استفاده در آزمایش پیکنومتر..... ۴۲
شکل ۲–۷- برخی از امکانات استفاده شده در آزمایش تعیین نقاط رطوبتی خاک: الف) نمونه‌های اشباع خاک درون حلقه‌های لاستیکی و صفحه سرامیکی دستگاه و محفظه، ب) نمایی از دستگاه صفحات فشاری، ج) گرم‌کن برقی برای خشک نمودن نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و د) ترازو برای وزن کردن نمونه‌ها..... ۴۳
شکل ۲–۸- برخی از امکانات استفاده شده در آزمایشات شیمیایی: الف) بورت ۵۰ میلی‌لیتری در تیتراسیون، ب) دستگاه فلیم‌فتومتری، ج) دستگاه pH متر و د) دستگاه EC سنج..... ۴۴
شکل ۲–۹- تصاویری از ساخت مدل فیزیکی: الف و ب) آماده‌سازی وجوشکاری پروفیل‌های آهن برای ساخت پایه‌ها، ج) رنگ زدن قطعات آهنی مدل، د) نصب شناور و خط‌کش برای قرائت سطح آب با دوربین نیوو و تراز پایه دستگاه برای اعمال ارتفاع آب مورد نظر روی سطح خاک، ه) نصب اشل برای قرائت آب مانومتر و و) ثابت کردن پایه‌های مدل به‌وسیله گیره در زمین..... ۴۶
شکل ۲–۱۰- نمای کلی مدل فیزیکی مورد استفاده برای آزمایش‌های نفوذ..... ۴۶
شکل ۲–۱۱- الف) نمایی از ابزار تراکم و سیلندر و ب) تخلیه سیلندر و تمیز کردن آن برای آزمایش بعدی..... ۴۷
شکل ۲–۱۲- نمایی از مانومتر به‌منظور قرائت آب نفوذ یافته در زمان‌های مشخص..... ۴۷
شکل ۲–۱۳- نمودار لگاریتم نفوذ تجمعی در مقابل لگاریتم زمان تجمعی..... ۴۸
شکل ۲–۱۴- نمودار نفوذ تجمعی در مقابل زمان تجمعی برای به‌دست آوردن ضریب S_p ۴۹
شکل ۲–۱۵- نمودار نفوذ تجمعی در مقابل زمان تجمعی برای به‌دست آوردن ضریب A_p ۴۹
شکل ۲–۱۶- آزمون نرمال بودن داده‌ها با روش کلموگروف-اسمیرنف در نرم‌افزار Minitab. الف) قبل و ب) بعد از نرمال شدن..... ۵۲
شکل ۲–۱۷- نقاط پاره تو به‌دست آمده برای مدل چند هدفی GMDH مقدار نفوذتجمعی ۵۴
شکل ۲–۱۸- کروموزوم برتر به‌دست آمده از شبکه عصبی نوع GMDH..... ۵۵
شکل ۳–۱- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۱.....۶۱
شکل ۳–۲- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۲.....۶۱
شکل ۳–۳- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۳.....۶۱
شکل ۳–۴- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۴.....۶۲
شکل ۳–۵- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۵.....۶۲
شکل ۳–۶- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۶.....۶۲

شکل ۳–۷- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۷.....۶۳
شکل ۳–۸- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۸.....۶۳
شکل ۳–۹- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۹.....۶۳
شکل ۳–۱۰- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۶۴.۱۰
شکل ۳–۱۱- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۶۴.۱۱
شکل ۳–۱۲- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۶۴.۱۲
شکل ۳–۱۳- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۶۵.۱۳
شکل ۳–۱۴- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۶۵.۱۴
شکل ۳–۱۵- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۶۵.۱۵
شکل ۳–۱۶- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۱۶..۶۶
شکل ۳–۱۷- مقایسه بین تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در نسبت جذب سدیم ۲/۵ برای خاک شماره ۶۶.۱۷
شکل ۳–۱۸- مقایر متوسط سرعت نفوذ برای تیمارهای ارتفاع آب ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر در نسبت جذب سدیم ۱/۷ .....۶۸
شکل ۳–۱۹- سرعت نفوذ نهایی برای تیمارهای ارتفاع آب ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر در نسبت جذب سدیم ۱/۷.....۶۸
شکل ۳–۲۰- مقایر متوسط سرعت نفوذ برای تیمارهای ارتفاع آب ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر در نسبت جذب سدیم ۲/۵.....۶۸
شکل ۳–۲۱- سرعت نفوذ نهایی برای تیمارهای ارتفاع آب ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر در نسبت جذب سدیم ۲/۵.....۶۹
شکل ۳–۲۲- مقایر متوسط سرعت نفوذ برای تیمارهای ارتفاع آب ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر در نسبت جذب سدیم ۹ .....۶۹
شکل ۳–۲۳- سرعت نفوذ نهایی برای تیمارهای ارتفاع آب ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر در نسبت جذب سدیم ۹.....۶۹
شکل ۳–۲۴- مقایسه تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در مقدار نفوذ تجمعی ۱۷ نمونه خاک در نسبت جذب سدیم ۱/۷ بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ (به ترتیب میله‌های مربوط به هر نمونه خاک شامل تیمار ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر می‌باشند.) ۷۳
شکل ۳–۲۵- مقایسه تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در مقدار نفوذ تجمعی ۱۷ نمونه خاک در نسبت جذب سدیم ۲/۵ بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ (به ترتیب میله‌های مربوط به هر نمونه خاک شامل تیمار ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر می‌باشند.) ۷۵
شکل ۳–۲۶- مقایسه تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در مقدار نفوذ تجمعی ۱۷ نمونه خاک در نسبت جذب سدیم ۹ بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ (به ترتیب میله‌های مربوط به هر نمونه خاک شامل تیمار ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر می‌باشند.) ۷۶
شکل ۳–۲۷- مقایسه تیمارهای نسبت جذب سدیم ۱/۷، ۲/۵ و ۹ در مقدار نفوذ تجمعی ۱۷ نمونه خاک در ارتفاع آب ۳ سانتی‌متر بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ (به ترتیب میله‌های مربوط به هر نمونه خاک شامل تیمار نسبت جذب سدیم ۱/۷، ۲/۵ و ۹ می‌باشند.) ۷۸
شکل ۳–۲۸- مقایسه تیمارهای نسبت جذب سدیم ۱/۷، ۲/۵ و ۹ در مقدار نفوذ تجمعی ۱۷ نمونه خاک در ارتفاع آب ۵ سانتی‌متر بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ (به ترتیب میله‌های مربوط به هر نمونه خاک شامل تیمار نسبت جذب سدیم ۱/۷، ۲/۵ و ۹ می‌باشند.) ۸۰
شکل ۳–۲۹- مقایسه تیمارهای نسبت جذب سدیم ۱/۷، ۲/۵ و ۹ در مقدار نفوذ تجمعی ۱۷ نمونه خاک در ارتفاع آب ۷ سانتی‌متر بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ (به ترتیب میله‌های مربوط به هر نمونه خاک شامل تیمار نسبت جذب سدیم ۱/۷، ۲/۵ و ۹ می‌باشند.) ۸۱
شکل ۳–۳۰- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اولیه..... ۸۳
شکل ۳–۳۱- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اعتبارسنجی ۸۳
شکل ۳–۳۲- خروجی نرم‌افزار SAS به‌منظور تخمین ضرایب: الف) معادله فیلیپ و ب) معادله کوستیاکوف..... ۸۵

شکل ۳–۳۳- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۲) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های واسنجی ... ۸۶
شکل ۳–۳۴- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۲) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اعتبارسنجی ۸۶
شکل ۳–۳۵- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۳) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های واسنجی .. ۸۷
شکل ۳–۳۶- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۳) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اعتبارسنجی ۸۷
شکل ۳–۳۷- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۴) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های واسنجی .. ۸۹
شکل ۳–۳۸- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۵) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های واسنجی .. ۸۹
شکل ۳–۳۹- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۴) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اعتبارسنجی ۹۰
شکل ۳–۴۰- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۵) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اعتبارسنجی ۹۰
شکل ۳–۴۱- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۶) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های واسنجی... ۹۱
شکل ۳–۴۲- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله (۳–۶) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اعتبارسنجی ۹۲
شکل ۳–۴۳- ساختار شبکه GMDH به‌منظور برآورد مقدار نفوذ تجمعی ۹۳
شکل ۳–۴۴- مقایسه مقادیر برآوردشده نفوذ تجمعی معادله پیشنهادی با روش GMDH با مقادیر اندازه‌گیری شده برای داده‌های اعتبارسنجی ۹۵

چکیده

شبیه‌سازی نفوذ با شاخصه‌های فیزیکی و شیمیایی آب و خاک در آبیاری سطحی

امیر شهریاری

با افزایش جمعیت، بخش کشاورزی می‌بایست نیاز غذایی زمان حال و آینده را تأمین و تضمین نماید. در این راستا استفاده بهینه از منابع آب موجود یک سیاست کارآمد به‌شمار می‌رود. یکی از مهم‌ترین اقدامات در این زمینه افزایش راندمان آبیاری به‌شمار می‌رود که افزایش دقت برآورد نفوذ در طراحی سیستم‌های آبیاری می‌تواند نقش به‌سزایی در این زمینه داشته باشد. هرچه نفوذ دقیق‌تر برآورد و اندازه‌گیری شود و به واقعیت مزرعه نزدیک‌تر باشد، بالطبع مدل آبیاری نیز دقیق‌تر خواهد بود. تا کنون معادله‌های زیادی برای برآورد نفوذ ارائه شده است که به دلیل لحاظ نکردن برخی ویژگی‌های مؤثر آب و خاک، از کارآیی آن‌ها تحت شرایط مختلف کاسته شده است. هدف این تحقیق مدل‌سازی نفوذ با شاخصه‌های فیزیکی و شیمیایی آب و خاک در آبیاری سطحی است تا بتوان بر مبنای آن معادلات پیشین را اصلاح و مقدار نفوذ را در شرایط خاک‌های منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی نمود. برای این منظور ۱۷ نمونه خاک از دشت فومنات استان گیلان برداشت شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت و دانه‌بندی خاک، جرم مخصوص حقیقی، جرم مخصوص ظاهری، منحنی رطوبتی، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، مقدار ماده آلی و pH اندازه‌گیری شدند و آزمایش‌های نفوذ به‌منظور بررسی اثر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب و خاک بر نفوذ شامل سه تیمار ارتفاع ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری آب روی سطح خاک و سه تیمار نسبت جذب سدیم (۱/۷، ۲/۵ و ۹) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در مدل فیزیکی که برای این منظور ساخته شده بود، انجام گردید. نتایج تجزیه آماری آزمایش‌های نفوذ نشان داد که اثر تیمارهای مذکور بر تعدادی از نمونه‌های خاک معنی‌دار بود و در تعدادی دیگر اثر معنی‌داری را در برنداشت. هم‌چنین مدل‌های پیشنهادی و اصلاحی که با استفاده از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب و خاک ارائه شدند، مقادیر نفوذ تجمعی را با دقت قابل قبولی برآورد نمودند و یکی از بهترین این مدل‌ها، معادله استخراج شده از روش GMDH با ضریب تبیین ۰/۸۱ و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۱۷/۳۱ بود.

واژه‌های کلیدی: نفوذ تجمعی، GMDH، توابع انتقالی، مدل‌های تجربی، تئوری باکینگهام.

Abstract

Simulation of infiltration using physical and chemical properties of water and soil in surface irrigation

Amir Shahriyari

With the increase in population, agriculture must meet present and future needs of food. In this regard, optimum use of existing water resources is an effective policy. One of the most important methods is improvement in efficiency of irrigation that increasing accuracy in irrigation system design can play an important role in this field. With increasing in accuracy of infiltration estimation in field condition, so irrigation model design more accurately. There are several infiltration equations, but lacking in physical and chemical properties of water and soil, they have not proper efficiency in different condition. Modeling of infiltration using physical and chemical indicators of soil and water in surface irrigation, modifying previous infiltration equations and simulation of infiltration in the case study region were considered as purposes of this study. For this purpose, 17 soil samples were gathered from Foumanat Guilan plain province. Physical and chemical properties as soil texture, soil size distribution, particle density, bulk density, soil water retention curve, electrical conductivity, sodium absorption ratio, organic matter content and pH were measured and infiltration experiment were accomplished in constructed physical model to evaluate the effects of three treatments of 3, 5 and 7 cm water height on soil surface and three treatments of 1.7, 2.5 and 9 sodium adsorption ratio in a factorial completely randomized design. The result of infiltration experiments demonstrated that the effect of these treatments on some soil samples were significant, but on some others were not significant. In addition, the proposed and modified models which using chemical and physical parameters of water and soil could estimate cumulative infiltration with acceptable accuracy and one of the best models was gain from GMDH method by determination coefficient of 0.81and nRMSE of 17.31.

Keywords: Cumulative infiltration, GMDH, Pedo-transfer functions, Empirical models, Buckingham theorem

مقدمه

در حال حاضر قریب به ۲۰ درصد زمین‌های زراعی دنیا (حدود یک میلیارد هکتار) آبیاری می‌شود. از لحاظ تاریخی، تمدن‌های متکی به توسعه کشاورزی فاریاب که ملزم به تأمین نیازهای معیشتی اجتماع و پیش‌برد امنیت مردم خود بوده‌اند، وقتی محدودیت‌های روابط پیچیده آب- خاک- گیاه را به عمد یا به علت فقدان برنامه‌ریزی نادیده گرفته‌اند، حاصلخیزی اراضی کشاورزی فاریاب به سرعت کاهش یافته است [مصطفی‌زاده و موسوی، ۱۳۷۵].

آبیاری در مناطق خشک به عنوان بخشی از عملیات فرآیند تولید محصولات کشاورزی از بدیهات بوده و نیازی به تعریف آن نیست. اما برخلاف تصور و برداشت عامیانه‌ای که از این واژه می‌شود، آبیاری ابعاد گسترده‌تری را در برمی‌گیرد. آبیاری قبل از این که یک علم باشد یک هنر قدیمی به‌شمار می‌رود. انسان خیلی زود به فوایدی که از رساندن آب به زمین‌های زراعی عایدش می‌شود، پی برد. در زمان‌های قدیم آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش عمده‌ای در ثبات حکومت‌ها داشته است. بعضی از امپراطوران که طرح‌های بزرگ آبیاری داشتند به موفقیت‌های بزرگی نائل آمدند و در مواردی که آبیاری با عدم موفقیت روبرو بوده شکست خورده‌اند [رحیم‌زادگان، ۱۳۷۲].

مهم‌ترین هدف آبیاری، تأمین نیاز آبی گیاه و حفظ تعادل نمک در منطقه ریشه است. آبیاری یکی از عواملی است که مقدار محصول را بالا می‌برد ولی نه به خودی خود بلکه سایر عوامل مؤثر بر زراعت نیز باید تأمین شود. در یک سیستم آبیاری چهار عامل باید منظور شود [طباطبایی، ۱۳۷۹].

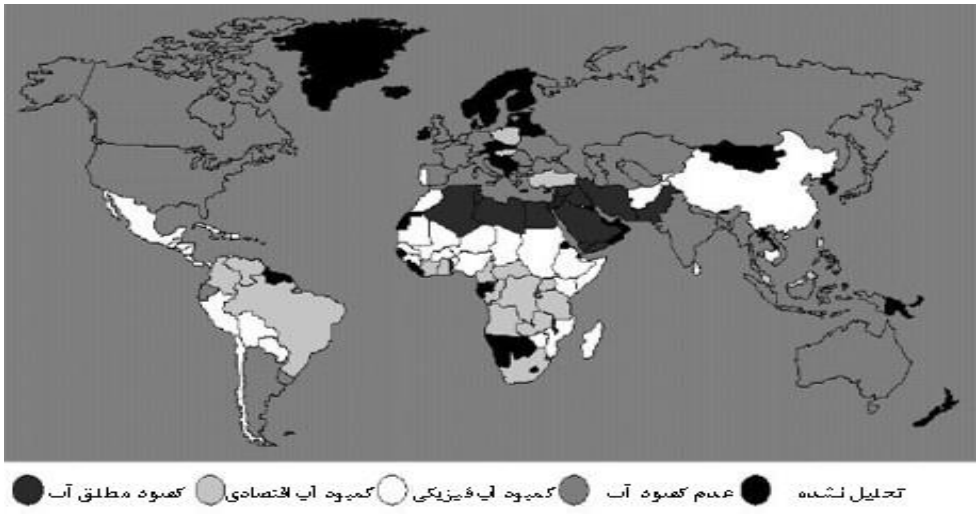
- راندمان‌های کاربرد، ذخیره و توزیع بالا باشد و آب به‌طور یکنواخت در مزرعه پخش شود.
- باید سیستم قادر باشد تا نیاز آبی گیاه و فرآیند زهکشی که برای تهویه و شستشوی نمک لازم است، تأمین کند.
- مواد غذایی و رطوبت خاک تکیه‌گاهی برای رشد گیاه است، به‌علاوه در آبیاری باید خصوصیات خاک (فیزیکی و شیمیایی مانند جرم مخصوص، هدایت هیدرولیکی، تخلخل و غیره) محفوظ بماند.
- بایستی بیلان آبی در منطقه ریشه و محیط اطراف متعادل باشد.

طراحی سیستم‌های آبیاری به مجموعه عملیات و تمهیداتی گفته می‌شود که قبل از اجرای آبیاری باید صورت پذیرد تا از مجموعه آب- خاک- گیاه استفاده بهینه به‌عمل آید. دسترسی به راندمان بالا در مصرف آب در مزرعه نیازمند طراحی و اجرای صحیح سیستم‌های آبیاری است. هر چه پارامترهای مؤثر در آبیاری هنگام طراحی بیشتر و دقیق‌تر لحاظ شده و مدل آبیاری نیز دقیق‌تر شبیه‌سازی شود، طبیعتاً راندمان مصرف آب نیز بالاتر خواهد رفت. نفوذ یکی از مهم‌ترین این پارامترها است. هرچه این پارامتر دقیق‌تر برآورد و اندازه‌گیری شود و به واقعیت مزرعه نزدیک‌تر باشد، بالطبع مدل آبیاری نیز دقیق‌تر خواهد بود و بالعکس. بنابراین اندازه‌گیری‌ها و تخمین‌ها بایستی در حد امکان به مقدار واقعی مزرعه نزدیک‌تر باشد [Amer, 2011].

بررسی‌های انجام شده روی منابع آب موجود در کره زمین نشان می‌دهد که آب این کره خاکی محدود و غیر قابل

جایگزین می‌باشد. بخش عمده منابع آب کره زمین دارای کیفیت پایینی بوده (شور) و تنها ۲/۵ درصد آن شیرین است که حدود ۹۷ درصد آن را یخ‌ها و برف‌های دائمی و آب‌های زیرزمینی فسیلی تشکیل می‌دهد. حدود ۳ درصد از ۲/۵ درصد شامل آب‌های قابل تجدید در چرخه آب، بارش و تبخیر است که آن نیز در اغلب موارد از نظر زمانی و مکانی مطابقت با نیازهای محلی ندارد. براساس گزارشات اعلام شده [خالدی و آل‌یاسین، ۱۳۷۹]، حاکی از آن است که در سال ۱۹۵۰ دوازده کشور با ۲۰ میلیون نفر جمعیت و در سال ۱۹۹۰، ۲۶ کشور با ۳۰۰ میلیون جمعیت با کمبود آب شیرین مواجه بوده و پیش‌بینی می‌شود برای سال ۲۰۵۰ این آمار به حدود ۶۵ کشور با جمعیت ۷ میلیارد نفر افزایش یابد.

شکل۱ چشم اندازی از بحران آب در سال ۲۰۲۵ را ارائه می‌دهد. فائو وابسته به سازمان ملل متحد بیان می‌کند که تا سال ۲۰۲۵، ۱/۹میلیارد نفر در کشورها و یا مناطق با کمبود آب مطلق زندگی می‌کنند و دو سوم از جمعیت جهان تحت شرایط تنش خواهند بود. هم‌چنین تغییرات آب و هوایی می‌تواند تغییر الگوهای آینده دستیابی به آب و استفاده از آن را موجب شود، در نتیجه افزایش میزان تنش آب و ناامنی، هر دو در مقیاس جهانی به آب بستگی دارند. مطابق شکل منطقه خاورمیانه از جمله مناطقی می‌باشد که به شدت مواجه با مشکل محدودیت منابع آب شیرین است به‌طوری که بسیاری از کارشناسان پیش‌بینی می‌کنند که در آینده آب در این منطقه هم‌چون نفت مورد معامله قرار خواهد گرفت [FAO, 2004]. از این‌رو استفاده از آب با کیفیت شور و لب‌شور و لحاظ نمودن اثر آن‌ها بر اصول طراحی، اجرا و بهره‌برداری کشاورزی فاریاب اهمیت ویژه‌ای دارد.



شکل۱- کمبود آب در جهان براساس مدل BAU در سال ۲۰۲۵

براساس گزارش مرکز آمار ایران در طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۹ سطح زیر کشت محصولات سالانه و دائمی کشور از ۱۴/۴ میلیون هکتار به ۱۲/۳ میلیون هکتار، در حدود ۱۵ درصد کاهش یافته است [مرکز آمار ایران، ۱۳۸۲]. هم‌چنین با توجه به مساحت اراضی تحت آبیاری کشور، به نظر می‌رسد هر هکتار از اراضی فاریاب سالانه بیشتر از ۱۰ هزار مترمکعب

آب مصرف می‌کند که نشان از فقدان یک مدیریت آبیاری کارآمد در سطح مزارع دارد. در حقیقت تجزیه و تحلیل شاخص‌های مصرف آب در بخش کشاورزی نشان‌دهنده تلفات زیاد آب در این بخش است که قسمتی از آن اجتناب‌ناپذیر بوده ولی قسمت متنابهی از آن را می‌توان با اتخاذ راهبردهای اجرائی و تحقیقاتی اصلاح کرد. گزارش‌ها نشان می‌دهد در حدود ۹۵ درصد مزارع کشور فاریاب و با راندمان بسیار پایین (۳۵-۲۵ درصد) آبیاری می‌شوند [اسدی، ۱۳۷۵؛ حق‌نیا، ۱۳۷۴؛ علیزاده ۱۳۷۸]. علی‌رغم آمار ناامیدکننده در خصوص کاهش اراضی و کارآیی آبیاری، به‌دلیل افزایش جمعیت، کشاورزی می‌بایست نیاز غذایی زمان حال و آینده را تأمین و تضمین نماید. در این راستا، دو سیاست اصلی وجود دارد که عبارت است از ۱- توسعه سطح زیر کشت و وارد کردن فشار بیشتر بر منابع آب و خاک و ۲- استفاده بهینه از منابع آب موجود. بدیهی است که مورد اول به توسعه پایدار نخواهد انجامید لذا کلیه سخت‌افزارها و نرم‌افزارها باید در این سمت متمرکز شوند تا از منابع آب و خاک موجود به نحو شایسته استفاده شود. افزایش راندمان آبیاری یک سیاست کارآمد در راستای استفاده بهینه از منابع آب به‌شمار می‌رود که افزایش دقت برآورد نفوذ در طراحی سیستم‌های آبیاری می‌تواند نقش به‌سزایی در این زمینه داشته باشد. مطالعات نشان داده است که نفوذ یک پارامتر ثابت در مقیاس زمانی و مکانی نبوده و از آنجا که نفوذپذیری تابع خصوصیات خاک است و این خواص، بین خاک‌ها تفاوت دارد، بنابراین میزان نفوذپذیری خاک‌های مختلف، متفاوت می‌باشد [Chowdary et al., 2006; Corradini et al., 2011a]. عوامل متعددی بر شدت نفوذ آب در خاک تأثیر می‌گذارند که در این بین، نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی قرار گرفته و وجود تغییرات در مقدار آب نفوذ یافته به خاک تحت تأثیر این عوامل به اثبات رسیده است [Bagarello et al., 2014; Corradini et al., 2011b; Hwang et al., 2002; Lado et al., 2004; Ma et al., 2010]. هم‌چنین متنوع‌ترین و خاص‌ترین فرآیند نفوذ در آبیاری سطحی که یکی از پیچیده‌ترین نوع آبیاری می‌باشد، اتفاق می‌افتد [Ma et al., 2010; Rasoulzadeh and Sepaskhah, 2003].

با توجه به نقش نفوذ در بهبود کارآیی آبیاری و روند کاهش کیفیت منابع آب و رویکرد استفاده از منابع آب با کیفیت پایین در بخش کشاورزی به دلیل کمبود منابع آب، هدف این تحقیق بررسی شبیه‌سازی نفوذ با شاخصه‌های فیزیکی و شیمیایی آب و خاک در آبیاری سطحی است تا بتوان بر مبنای آن معادلات پیشین را اصلاح و مقدار نفوذ را در شرایط خاک‌های منطقه پیش‌بینی نمود. به طور خلاصه اهداف این تحقیق را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

۱- بررسی تأثیر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی (شوری، نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم) مختلف بر میزان نفوذپذیری،

۲- اصلاح معادلات پیشین نفوذ با استفاده از شاخصه‌های فیزیکی و شیمیایی آب و خاک،

۳- ارائه توابع انتقالی جدید با استفاده از شاخصه‌های فیزیکی و شیمیایی آب و خاک و

۴- توسعه معادله نفوذ با استفاده از تحلیل ابعادی

فصل اول

کلیات و بررسی منابع

۱- کلیات و بررسی منابع

نفوذ به عنوان یکی از خصوصیات مهم هیدرولیکی خاک نقش مهمی در کارآمدی پروژه‌های آبیاری و زهکشی دارد. نفوذ تحت مفاهیم نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ متوسط و سرعت نفوذ لحظه‌ای تعریف می‌شود. پیچیدگی و تعدد پارامترهای مؤثر بر نفوذ، منجر به ایجاد و توسعه مدل‌های زیادی برای برآورد نفوذ شده است. در این فصل پس از بیان اهمیت نفوذ در طراحی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری، پدیده نفوذ، معادلات موجود، عوامل مؤثر، روش‌های تعیین و نتایج تحقیقات صورت گرفته در زمینه نفوذ و در نهایت روش‌های استخراج توابع انتقالی نفوذ توضیح داده می‌شود.

۱-۱- اهمیت نفوذ در آبیاری

محاسبات مربوط به نیاز آبی گیاه بر پایه اطلاعات اقلیمی (ET_0) و اطلاعات مربوط به گیاه (K_c) انجام می‌گیرد که معمولاً از برنامه کامپیوتری CropWat استفاده می‌شود. در نهایت نیاز آبیاری[۱] از رابطه زیر بدست می‌آید [علیزاده، ۱۳۸۸].

$$I_{rreq} = ET_c - P_{eff} \qquad (۱-۱)$$

که در آن، I_{rreq} نیاز آبیاری، ET_c نیاز آبی محصول و P_{eff} بارندگی مؤثر[۲] در طی دوره معین و همگی بر حسب میلی‌متر هستند. پس از محاسبه نیاز آبیاری با استفاده از معادله نفوذ آب در خاک، مدت زمان آبیاری جویچه‌ای توسط روابط زیر تعیین می‌گردد [علیزاده، ۱۳۸۸]:

$$Z_{req} = k t_{req}{}^{a} + f_0 t_{req} \qquad (۱-۲)$$

$$t_{co} = t_L + t_{req} \qquad (۱-۳)$$

که در آن، Z_{req} نیاز آبیاری بر حسب مترمکعب در متر جویچه، t_{req} زمان مورد نیاز آبیاری بر حسب دقیقه، k، a و f_0 ضرایب معادله نفوذ، t_L زمان فاز پیشروی در جویچه بر حسب دقیقه و t_{co} زمان قطع جریان بر حسب دقیقه می‌باشند. در صورتی‌که تمام محاسبات انجام شده تا این مرحله صحیح و دقیق باشد، دقت برنامه‌ریزی آبیاری به ضرایب نفوذ و در حقیقت نفوذپذیری خاک وابسته است. به عبارت دیگر دقت در تعیین ضرایب نفوذ بیان کننده دقت برنامه آبیاری خواهد بود و لذا لازم است تا این ضرایب به نحو دقیقی به‌دست آیند.

---

۱. Irrigation requirement

۲. Effective rainfall

علاوه‌براین که نفوذ در مراحل مختلف طراحی آبیاری سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌عنوان یک معیار انتخاب نوع سیستم آبیاری نیز کاربرد دارد. هم‌چنین نفوذ در ارزیابی سیستم‌های مختلف آبیاری به‌کار گرفته می‌شود و تأثیر انکارناپذیری بر نتایج شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک دارد [Amer, 2011; Gillies and Smith, 2005].

۱-۲- پدیده نفوذ

مهم‌ترین مشخصه فیزیکی خاک از نظر کشاورزی نفوذ می‌باشد. بر حسب تعریف وارد شدن آب به داخل خاک را نفوذ گویند. مقدار آبی که در یک دوره زمانی مشخص (مثلاً یک ساعت، یک شبانه‌روز و غیره) در خاک نفوذ می‌کند، نفوذ تجمعی[۱] و میانگین سرعت وارد شدن آب به داخل خاک طی یک دوره زمانی، متوسط سرعت نفوذ[۲] و سرعت نفوذ آب به داخل خاک در یک لحظه معین از زمان را سرعت لحظه‌ای[۳] نفوذ می‌گویند [علیزاده، ۱۳۷۸].

در نفوذ عمدتاً حرکت عمودی آب به داخل خاک مورد نظر می‌باشد و اگر همانند آن‌چه در آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای مشاهده می‌شود، آب علاوه بر حرکت عمودی در جهات جانبی نیز نفوذ نماید، به‌جای واژه نفوذ[۴] از واژه جذب[۵] استفاده می‌شود.

به میزان سرعت نفوذ آب به خاک وقتی که آب به حد کافی در سطح خاک تأمین شود، ظرفیت نفوذ گفته می‌شود. اگر شدت بارندگی مساوی یا بزرگتر از ظرفیت نفوذ باشد، سرعت واقعی نفوذ برابر با ظرفیت نفوذ خواهد بود. در غیر این صورت سرعت نفوذ از ظرفیت نفوذ کمتر بوده و مقدار آن برابر با شدت بارندگی است [علیزاده، ۱۳۷۸].

نفوذ یکی از پارامترهای پیچیده‌ی تأثیرگذار بر عملیات آبیاری سطحی است. این پارامتر نه فقط بر جریان آب به داخل خاک و شدت آن، بلکه بر میزان رواناب سطحی نیز تأثیر می‌گذارد. عموماً میزان شدت نفوذ و نفوذ تجمعی به داخل یک خاک با شرایط اولیه خاک خشک توسط یک رابطه بین زمان ماند آب در سطح خاک و عمق آب بیان می‌شود.

۱-۲-۱- معادلات نفوذ

هنگامی که آب روی سطح خاک قرار می‌گیرد، ابتدا لایه سطحی آن اشباع شده و سپس جریانی پیستونی شکل از آب در خاک برقرار می‌گردد. به عبارت دیگر پس از اشباع شدن سطح خاک رطوبت به صورت پیستونی به سمت اعماق لایه

---

۱. Cumulative infiltration
۲. Average infiltration rate
۳. Instantaneous infiltration rate
۴. Infiltration
۵. Intake