

اثر ارتفاع آب آبیاری بر نفوذ تجمعی در شرایط اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: خاک‌های دشت فومنات استان گیلان)

امیر شهریاری^۱، مریم نوابیان^{۲*}، مهدی اسمعیلی ورکی^۳، محمدرضا خالدیان^۴

چکیده

نفوذ آب در خاک، از حساس‌ترین پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر آبیاری سطحی است که به دلیل تأثیرپذیری از عوامل متعدد خاک و شیوه آبیاری، پیچیدگی زیادی دارد. بررسی اثر ارتفاع آب آبیاری بر نفوذ تجمعی و لحاظ کردن این پارامتر در مدل‌های نفوذ، منجر به کارایی بهتر این مدل‌ها در شرایط کاربری مختلف می‌شود. هدف در پژوهش حاضر، بررسی تأثیر ارتفاع‌های مختلف آب روی سطح خاک در فرآیند نفوذ، در برخی کلاس‌های بافتی خاک بخشی از دشت فومنات در استان گیلان در نظر گرفته شد. بدین منظور ۱۷ نمونه از خاک منطقه‌ی مورد مطالعه برداشت شد. آزمایش‌های نفوذ برای سه تیمار ارتفاع آب ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر در سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح تصادفی و در مدل فیزیکی که برای این منظور ساخته شده بود، انجام شد. برای ارزیابی نتایج، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی در سطح ۵ درصد صورت گرفت. مقایسه تیمار ارتفاع آب در ۱۷ نمونه خاک، نشان داد که این تیمار اثر قابل توجهی را در مقدار نفوذ تجمعی چهار نمونه شامل بافت‌های Silty Clay و Silty Clay Loam داشت. بررسی سه تیمار زمان نفوذ تجمعی ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه نشان داد که در ۱۴ نمونه از خاک‌ها بین نفوذ تجمعی در زمان ۳۰ دقیقه با زمان‌های ۳۶۰ و ۶۰۰ اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) وجود دارد که این اختلاف در بافت خاک Clay Loam بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع آب آبیاری، آبیاری سطحی، خاک رسی، مدت زمان نفوذ، نفوذ تجمعی.

ارجاع: شهریاری ا.، نوابیان م.، اسمعیلی ورکی م. و خالدیان م. ر. ۱۳۹۵. اثر ارتفاع آب آبیاری بر نفوذ تجمعی در شرایط اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: خاک‌های دشت فومنات استان گیلان). مجله پژوهش آب ایران. ۲۲: ۱۰۷-۱۱۵.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

*نویسنده مسئول: Navabian@guilan.ac.ir

مقدمه

روش‌های آبیاری سطحی از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روش‌های کاربرد آب در مزرعه هستند. در حال حاضر بیش از ۹۱ درصد از اراضی فاریاب کشور، با این روش‌ها آبیاری می‌شوند (فائو، ۲۰۱۴). استفاده گسترده از آن نسبت به روش‌های آبیاری تحت فشار، به دلیل هزینه اولیه و انرژی اندک آن‌ها است. همچنین وجود دانش فنی و بومی استفاده از آن در بین کشاورزان، از دیگر دلایل گسترش این روش‌ها است (سپاسخواه و افشارچمن‌آباد، ۲۰۰۲).

نفوذ آب به خاک، فرآیند اولیه ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیراشباع خاک است. این فرآیند، نقشی بسیار مهم در چرخه آبی طبیعت ایفا می‌کند. نفوذ آب به خاک، مهم‌ترین فرآیند تأمین‌کننده آب برای ادامه حیات گیاهان (ترنر، ۲۰۰۶) و همچنین مهم‌ترین مشخصه خاک از نظر کشاورزی است. مقدار آبی که در یک دوره زمانی مشخص در خاک نفوذ می‌کند، نفوذ تجمعی و میانگین سرعت وارد شدن آب به داخل خاک را طی یک دوره زمانی، متوسط سرعت نفوذ و سرعت نفوذ آب به داخل خاک را در یک لحظه معین از زمان سرعت نفوذ لحظه‌ای گویند (سهرابی و پایدار، ۱۳۸۴). از آنجا که سرعت نفوذ آب در خاک، تعیین‌کننده زمان تداوم آبیاری برای ذخیره کردن مقدار مشخص آب است، برآورد صحیح آن از اهمیت زیادی برخوردار است (مولروپ، ۲۰۰۷). در حقیقت نفوذ آب در خاک از حساس‌ترین پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر آبیاری سطحی و به دلیل دشواری آزمایش، صرف وقت و هزینه زیاد، از مشکل‌ترین پارامترهایی است که باید برآورد شود (نشاط و پاره‌کار، ۱۳۸۶؛ نینگو، ۲۰۱۰). در واقع لازمه‌ی تحلیل و طراحی سیستم آبیاری سطحی داشتن دانش نسبت به نفوذ تجمعی آب در خاک منطقه، عوامل محیطی تاثیرگذار بر آن و توابع نفوذ است (محمدآمر، ۲۰۱۱).

نفوذ به عوامل متعددی از جمله خواص فیزیکی خاک، میزان رطوبت اولیه‌ی خاک، سابقه قبلی مرطوب شدن خاک، کیفیت آب و خاک و ارتفاع آب روی سطح خاک بستگی دارد (واکر و اسکوگربو، ۱۹۸۷). فلیپ (۱۹۵۸) با بسط یک مدل عددی و ارزیابی نتایج آن برای یک خاک رسی نشان داد که عمق آب در دراز مدت بر نفوذ تأثیر معنی‌دارتری دارد. همچنین نشان داد که عمق آب در

اصل با تکنیک‌های اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب و مطالعه نفوذ در زمان آبیاری ارتباط مستقیم دارد. برای کمی کردن فرآیند نفوذ، مدل‌های گوناگونی ارائه شده است (آرجیرو کاسترتیس و کرکایدز، ۲۰۰۳ و ویلر، ۲۰۰۵). این مدل‌ها در سه دسته تجربی، نیمه‌تجربی و فیزیکی طبقه‌بندی می‌شوند (ما و همکاران، ۲۰۱۰).

تاکنون در زمینه نفوذ آب در خاک، پژوهش‌های بی‌شماری انجام شده است. چو و میگل (۲۰۰۵)، میزان نفوذ در لایه‌های خاک در شرایط مختلف بارش در شرایطی که آب روی سطح خاک جمع شده باشد، تعیین کردند. آن‌ها برای تعیین میزان نفوذ در شرایطی که آب روی سطح خاک جمع شده باشد، از مدل گرین-آمپت و عددی استفاده کردند و نتایج را با مقدار مشاهده‌ای مقایسه کردند. نتایج نشان داد که پیش‌بینی دو مدل فوق با مقدار مشاهداتی همخوانی بالایی داشت. فورمن و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی اثر عمق آب روی خاک بر پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف در خاک‌های با بافت لوم شنی، لومی و سیلتی نشان دادند که پارامترهای k و a بیشترین تغییرات را در خاک لوم شنی داشتند. این در حالی است که بافت خاک سیلتی تغییر کمی را در خصوص پارامتر k نسبت به تغییرات عمق آب نشان داد (۳۵ درصد افزایش در مقایسه با ۱۰۰ درصد افزایش در خاک لوم شنی نسبت به افزایش ۲۰ درصدی عمق آب روی سطح خاک). والینتزاز و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثر شرط مرزی بالا دست عمق آب بر پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف در دو بافت خاک لوم شنی و رسی نشان دادند که با اصلاح ضرایب نفوذ بر اساس عمق آب، نتایج شبیه‌سازی نفوذ در مدل HYDRUS بهبود می‌یابد. ما و همکاران (۲۰۱۰)، پژوهشی برای مدل کردن نفوذ آب در یک ستون خاک که دارای لایه‌های متعددی از خاک بود، به وسیله معادله اصلاح شده گرین-آمپت و نرم‌افزار HYDRUS-1D انجام دادند که نتایج نشان داد معادله گرین-آمپت اصلاح شده، بیشترین و نزدیک‌ترین شبیه‌سازی مؤثر برای نفوذ آب در لایه‌های خاک را به دست می‌دهد. باگارلو و همکاران (۲۰۱۴) به منظور تعیین خصوصیات هیدرولیکی خاک، با استفاده از آزمایش نفوذ و ارتفاع‌های مختلف ریزش آب^۱ (۰/۳ و ۱/۵ متر) پژوهشی انجام دادند که نتایج این پژوهش بیان‌کننده تأثیر قابل توجه ارتفاع ریزش آب در

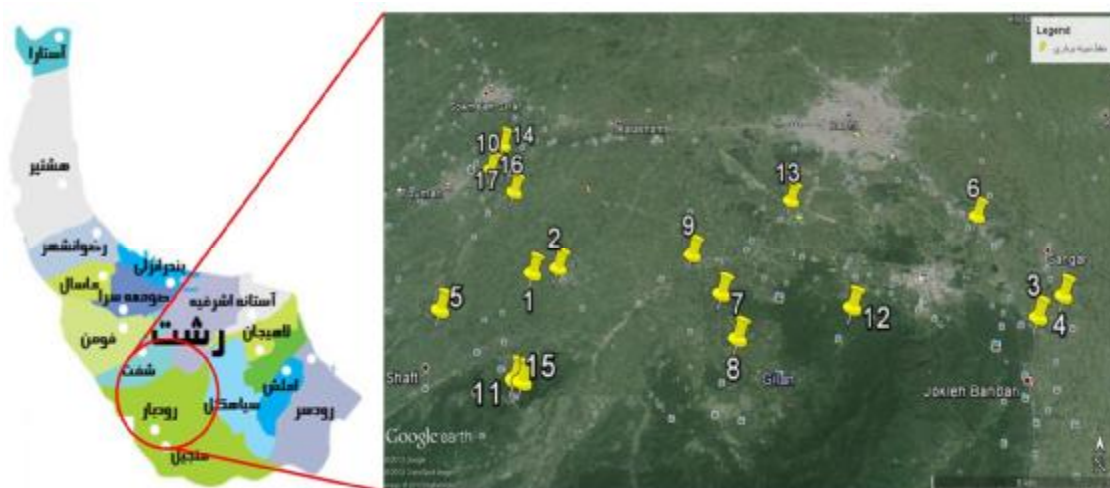
1- Height of water pouring

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی اثر ارتفاع آب آبیاری بر نفوذ، ۱۷ نمونه خاک در دشت فومنات استان گیلان بین عرض $49^{\circ}16'28/32''$ و $49^{\circ}43'11/37''$ شرقی و طول $37^{\circ}05'17/73''$ و $37^{\circ}16'20/56''$ شمالی برداشت شد. در این پژوهش مبنای انتخاب مناطق نمونه‌برداری بافت غالب خاک استان بود. برای این منظور پس از نمونه‌برداری و تعیین بافت خاک مناطق مختلف، از مناطقی که کلاس بافت خاکی آن‌ها در محدوده مورد نظر بود (حداقل ۱۵ درصد رس و حداکثر ۳۰ درصد شن)، هدفه نمونه برای انجام آزمایش‌های نفوذ برداشت شد. کلاس بافتی خاک و درصد اجزاء مختلف خاک نقاط برداشت شده در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. موقعیت منطقه و محل‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. نمونه‌هایی نیز به منظور اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه، وزن مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر و تخلخل از محل برداشت شد. مقدار متوسط، حداقل و حداکثر ویژگی‌های فیزیکی نمونه خاک‌های برداشت شده در جدول ۳ ارائه شد.

تکنیک‌های اندازه‌گیری پارامترهای انتقال خاک بود. جعفری و همکاران (۱۳۸۷) مطالعه‌ای روی نفوذ در اراضی شالیزاری استان گیلان انجام دادند که اندازه پهنای ترک و ارتفاع آب آبیاری و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر میزان آب مصرفی داشت. از آن‌جا که فرضیه‌ها و پارامترهای به کار رفته در مدل‌های نفوذ با هم متفاوت است، بنابراین کارایی هر یک به فرضیه‌های به کار رفته در استخراج و دسترسی به داده‌های مورد نیاز هر یک از این مدل‌ها محدود می‌شود (سای، ۲۰۰۶). با توجه به اهمیت نفوذ در دستیابی به آبیاری کارآمد و امکان متغیر بودن ارتفاع آب آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه و همچنین لحاظ نشدن مستقیم پارامتر مؤثر ارتفاع آب روی سطح خاک در معادلات نفوذ، هدف در پژوهش حاضر، بررسی تأثیر ارتفاع آب روی سطح خاک در فرآیند نفوذ است که در برخی کلاس‌های بافتی خاک بخشی از دشت فومنات در استان گیلان انجام شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

جدول ۱- بافت خاک‌های مناطق نمونه‌برداری شده

شماره نمونه	کلاس بافت خاک
۱-۲-۵-۱۲-۱۳-۱۶-۱۷	Silty Clay
۷-۸-۱۰-۱۱-۱۴-۱۵	Silty Clay Loam
۳-۴-۹	Clay Loam
۶	Silty loam

جدول ۲- درصد اجزاء مختلف خاک مناطق نمونه برداری شده

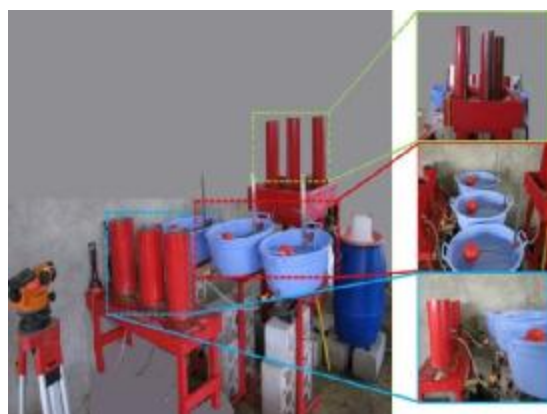
شماره نمونه	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	شماره نمونه	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس
۱	۲/۷۲	۴۶/۸۲	۵۰/۴۵	۱۰	۱۶/۹۳	۴۷/۸۹	۳۵/۱۸
۲	۳/۸۷	۵۱/۶۹	۴۴/۴۴	۱۱	۱۲/۰۰	۵۱/۸۳	۳۶/۱۷
۳	۲۹/۰۷	۴۰/۸۴	۳۰/۰۹	۱۲	۷/۹۵	۴۵/۳۴	۴۶/۷۰
۴	۲۵/۳۶	۴۲/۰۱	۳۲/۶۳	۱۳	۱۴/۰۳	۴۳/۲۰	۴۲/۷۷
۵	۶/۹۷	۴۴/۵۴	۴۸/۴۹	۱۴	۱/۲۷	۶۴/۷۹	۳۳/۹۴
۶	۷/۷۴	۷۵/۶۷	۱۶/۵۹	۱۵	۰/۹۸	۶۴/۹۷	۳۴/۰۵
۷	۱۵/۶۱	۵۳/۶۲	۳۰/۷۶	۱۶	۵/۶۹	۴۹/۸۵	۴۴/۴۶
۸	۲/۰۱	۶۵/۱۱	۳۲/۸۸	۱۷	۴/۳۰	۴۶/۹۶	۴۸/۷۴
۹	۲۴/۲۸	۴۱/۰۷	۳۴/۶۴				

جدول ۳- مقدار حداقل، حداکثر و متوسط ویژگی های فیزیکی نمونه های خاک مورد مطالعه

پارامتر	متوسط	حداکثر	حداقل
ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	۴۰/۱۳	۴۶/۵۲	۳۰/۱۴
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	۱/۵۷	۱/۸۷	۱/۲۷
جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی متر مکعب)	۲/۶۰	۲/۷۶	۲/۴۵
تخلخل (درصد)	۳۱/۳۱	۴۸/۲۲	۳۹/۸
درصد کربن آلی	۱/۹۵	۳/۹۸	۰/۹۳
درصد ماده آلی	۳/۸۷	۷/۵۱	۲/۰۲

روش انجام آزمایش های نفوذ

به منظور انجام آزمایش ها و شبیه سازی نفوذ، مدل فیزیکی مطابق شکل ۲ ساخته شد. مدل فیزیکی شامل مخزن آب، مانومتر برای قرائت سطح آب، مخزن تثبیت سطح آب و استوانه آزمایش از جنس پلی اتیلن به قطر داخلی ۱۵/۲۳ سانتی متر و ارتفاع ۳۵ سانتی متر بود. پس از عبور خاک از الک دو میلی متر به منظور تراکم خاک در مدل تا ارتفاع ۱۰ سانتی متر و با داشتن جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه و حجم استوانه، مقدار خاک لازم برای تراکم محاسبه و عمل تراکم در دو مرحله، شامل دو لایه پنج سانتی متری با استفاده از ابزار مخصوص (شکل ۳) انجام شد. به منظور ثابت نگه داشتن ارتفاع آب روی خاک، از شناور استفاده شد. به دلیل اثرگذاری کیفیت منبع آب بر نفوذ، مقدار سدیم، کلسیم، منیزیم و شوری آب اندازه گیری شد که در جدول ۴ مقدار آن ها گزارش شده است. اندازه گیری مقدار آب نفوذ یافته در مخزن آب در زمان های مشخص در طول بازه زمانی ۱۰ ساعت و در زمان های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰، ۲۴۰، ۳۰۰، ۳۶۰، ۴۲۰، ۴۸۰، ۵۴۰ و ۶۰۰ دقیقه انجام شد. سپس نفوذ تجمعی در سه زمان ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه اندازه گیری شد.



شکل ۲- مدل فیزیکی ساخته شده برای انجام آزمایش های نفوذ



شکل ۳- ابزار مخصوص تراکم خاک در استوانه

جدول ۴- مقدار مربوط به کیفیت منبع آب مورد استفاده در آزمایش‌های نفوذ

SAR	منیزیم (meq/lit)	کلسیم (meq/lit)	سدیم (meq/lit)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)
۱/۶۲	۶/۰۵	۳/۸۹	۳/۶۰	۷/۱۵	۱/۱۷

مقدار نفوذ تجمعی در ارتفاع آب ۳ سانتی‌متری نمونه خاک شماره یک با ارتفاع ۷ سانتی‌متری اختلاف معنی‌داری نشان داد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نمونه خاک شماره پنج نیز بین ارتفاع آب ۵ سانتی‌متری با ارتفاع ۷ سانتی‌متری اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین در نمونه خاک شماره ۸ و ۱۰ بین ارتفاع آب ۳ سانتی‌متر، و ارتفاع آب ۷ سانتی‌متری، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بافت خاک‌های ۱ و ۵ مشابه خاک شماره ۱۲ است؛ ولی در این نمونه خاک اختلاف معنی‌داری بین تیمار ارتفاع آب وجود نداشت که مقدار درصد اجزای رس، سیلت و شن و همچنین نوع رس موجود در این خاک‌ها می‌تواند از دلایل این تفاوت باشد. آزمون آماری، معنی‌دار نبودن اثر ارتفاع آب روی سطح خاک در ۱۳ نمونه خاک را نشان می‌دهد؛ اما برای مثال بررسی روند تغییرات نفوذ تجمعی در سه ارتفاع مورد بررسی (شکل ۶) حاکی از تفاوت مقدار آب نفوذ یافته در این سه حالت است؛ به گونه‌ای که مقدار نفوذ تجمعی بعد از ۶۰۰ دقیقه به ترتیب ۱۵/۸۷، ۱۷/۹۳ و ۱۸/۸۳ سانتی‌متر برای سه ارتفاع ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر آب روی سطح خاک بود. نکته قابل توجه، تفاوت بیشتر نفوذ تجمعی بین تیمارهای ۳ و ۵ سانتی‌متر نسبت به دو تیمار ۵ و ۷ سانتی‌متر علی‌رغم اختلاف یکسان ۲ سانتی‌متری بین تیمارها است. دلیل این امر را می‌توان کاهش اثرپذیری نیروی ثقل از افزایش ارتفاع آب روی سطح خاک نسبت داد. از آن‌جا که تخلیه آب ثقلی تحت تأثیر خصوصیات خلل و فرج خاک مانند اندازه منافذ و مسیر عبور آب است. به نظر می‌رسد افزایش ارتفاع آب از ۵ به ۷ سانتی‌متر به اندازه تأثیرگذاری تا ارتفاع ۵ سانتی‌متری آب روی خاک نمی‌تواند به نفوذ ناشی از نیروی ثقل کمک کند. همچنین باید توجه داشت که بسته به نوع و شرایط آبیاری، در زمان محدودیت منابع آب و برای دستیابی به راندمان بالاتر در آبیاری سطحی، حتی مقدار کم، تفاوت در نفوذ تجمعی می‌تواند دارای اهمیت باشد. از سوی دیگر تفاوت کم میان مقدار آب نفوذ یافته در تیمارهای ۵ و ۷ سانتی‌متر آب سطح خاک به دلیل مطابقت با محدوده تغییرات متداول ارتفاع آب

آزمایش نفوذ برای هر نمونه‌ی خاک در سه تیمار ارتفاع آب ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری بر اساس مقدار عرف عمق آبیاری در اراضی شالیزاری در سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد که فاکتورها به ترتیب شامل بافت خاک با ۱۷ سطح، ارتفاع آب در سه سطح و زمان در سه سطح بود. پس از جمع‌آوری داده‌ها ابتدا آزمون فرضیات تجزیه واریانس انجام شد تا در صورت نیاز، تمهیدات لازم برای ایجاد توزیع نرمال خطاهای آزمایشی انجام شود. سپس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی در سطح پنج درصد با استفاده از نرم افزار SAS برای سه حالت انجام شد. ابتدا هر سه تیمار ارتفاع آب، زمان تجمعی و بافت خاک و اثر متقابل آن‌ها بررسی شد و دو حالت دیگر شامل بررسی اثر ترکیبی ارتفاع و بافت خاک و همچنین زمان و بافت خاک بود.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نرم‌افزار SAS (جدول ۵) نشان می‌دهد که اثر تیمارهای خاک، ارتفاع آب، زمان، اثر متقابل خاک در ارتفاع آب و خاک در زمان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود؛ ولی در اثرهای متقابل ارتفاع آب در زمان و هر سه تیمار با هم هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

با توجه به اثر متقابل معنی‌دار بین دو فاکتور بافت خاک و ارتفاع آب و همچنین بافت خاک و زمان، مقایسه‌ای بین تأثیر فاکتور ارتفاع آب در سه سطح ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری و زمان‌های ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه روی نفوذ تجمعی برای هر هفده خاک صورت گرفت که نتایج تجزیه و تحلیل با استفاده از آزمون توکی در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است. در تفسیر نتایج حاصل از انجام مقایسه میانگین آزمون توکی، حروف بالای هر ستون (شکل‌های ۴ و ۵) بررسی شد. طبق آزمون توکی، ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. در شکل ۴، سه نمودار میله‌ای برای هر نمونه خاک وجود دارد که به ترتیب نشان‌دهنده ارتفاع آب ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری هستند.

Loam است، مقدار نفوذ با گذشت زمان کم نشد؛ ولی برعکس در خاک شماره دو و ۱۶ که بافت آن‌ها Silty Clay است در همان ابتدای فرآیند نفوذ، سرعت نفوذ آب در خاک بسیار کند می‌شود. در بقیه نمونه‌ها در ابتدای فرآیند نفوذ سرعت نفوذ آب در خاک زیاد بود که پس از گذشت زمان، سرعت کم شد و به مقدار ثابتی رسید. در جدول ۶، درصد تفاوت مقدار نفوذ تجمعی بین تیمارهای زمانی مورد بررسی، نشان داده شده است. مقایسه درصد تفاوت نفوذ تجمعی در بافت‌های مختلف نشان داد که به غیر از تیمار ارتفاع آب ۳ سانتی‌متر، در دو ارتفاع دیگر به ترتیب بافت‌های Clay Loam، Silty Clay و Silty loam، Silty Clay بیشترین درصد تفاوت بین دو زمان را داشتند؛ به عبارت دیگر در برآورد نفوذ تجمعی، بافت Clay Loam حساسیت بیشتری به فرصت نفوذ نسبت به سایر بافت‌ها داشت. نکته قابل توجه در مقایسه درصد تفاوت نفوذ تجمعی در زمان‌ها و بافت‌های مختلف، روند نزولی درصد تفاوت با افزایش ارتفاع آب بود؛ به گونه‌ای که ارتفاع آب ۷ سانتی‌متر کم‌ترین درصد تفاوت بین نفوذ تجمعی را در ارتفاع‌های مورد بررسی داشت. این مسأله می‌تواند نقش مؤثر ارتفاع آب آبیاری بر سرعت دستیابی خاک به سرعت نفوذ نهایی را بیان کند.

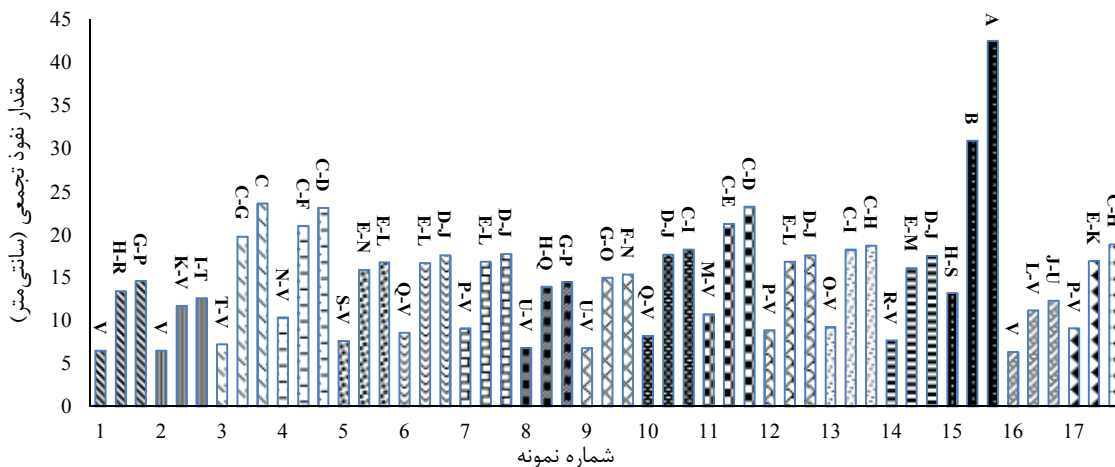
آبیاری در اراضی شالیزاری می‌تواند دستاورد ارزشمندی در بررسی بیلان آب در مطالعات مربوط به برآورد رواناب در این اراضی باشد؛ به گونه‌ای که با استناد به این نتیجه، می‌توان از معادلات نفوذ با اطمینان بیشتری بهره جست. شکل ۵ مقدار نفوذ تجمعی ۱۷ نمونه خاک در ارتفاع آب آبیاری ۵ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، به غیر از نمونه خاک شماره پانزده، شیب صعودی منحنی نفوذ در تمام نمونه‌ها از یک روند تبعیت می‌کند. بررسی درصد ذرات خاک نمونه‌ها نشان از حداقل بودن درصد شن در نمونه خاک شماره ۱۵ است که می‌تواند بیشتر بودن شیب منحنی نفوذ تجمعی را توجیه کند.

در شکل ۷، مقدار نفوذ تجمعی در زمان‌های ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه نشان داده شده است. بین مقدار نفوذ تجمعی در زمان ۳۰ دقیقه و زمان‌های ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه در نمونه خاک‌های ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۷ اختلاف معنی‌داری وجود داشت. برای خاک شماره ۱۵ در هر سه زمان ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه و در نمونه خاک شماره ۲ و ۱۶ بین زمان‌های ۳۰ و ۶۰۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. این موضوع نشان می‌دهد در خاک شماره ۱۵ که دارای بافت Silty Clay

جدول ۵- 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

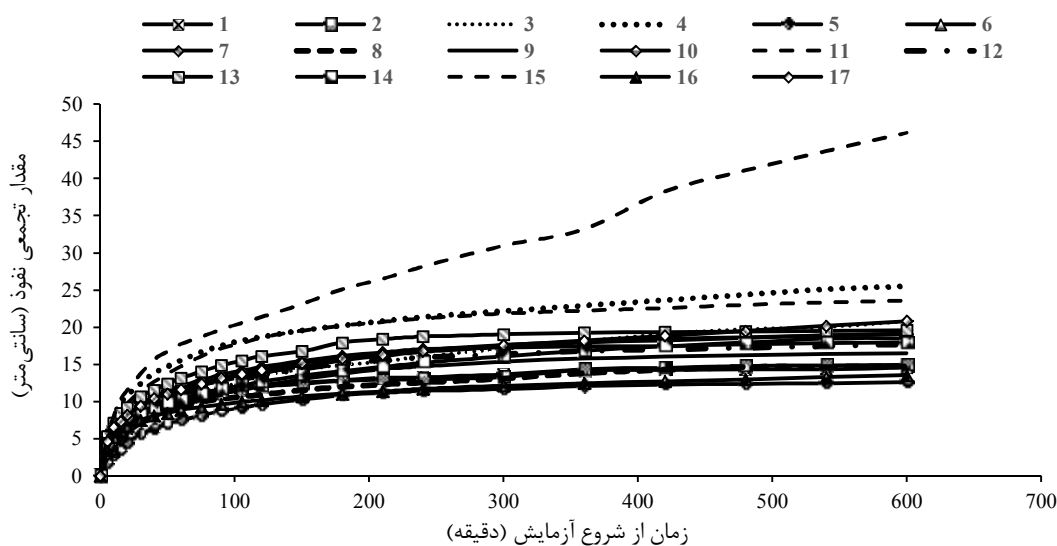
میانگین مربعات نفوذ تجمعی	درجه آزادی	منابع تغییر
۵۰۸/۷۰ [*]	۱۶	خاک
۴۱۵/۴۶ [*]	۲	ارتفاع آب
۵۰۱۹/۰۳ [*]	۲	زمان
۲۹/۲۴ [*]	۳۲	خاک در ارتفاع آب
۲/۷۴ ^{ns}	۴	ارتفاع آب در زمان
۶۷/۶۲ [*]	۳۲	خاک در زمان
۲/۱ ^{ns}	۶۴	خاک در ارتفاع آب در زمان
۹/۱۲	۳۰۶	خطا
	۴۵۸	کل
۲۰/۲۱		CV (%)

* و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ و عدم معنی‌داری

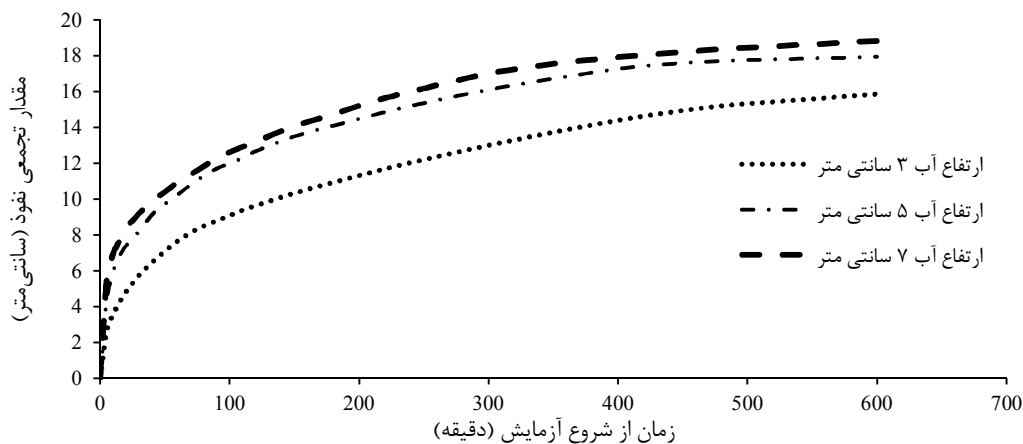


شکل ۴- مقایسه تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در مقدار نفوذ تجمعی هفده نمونه خاک (آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد)

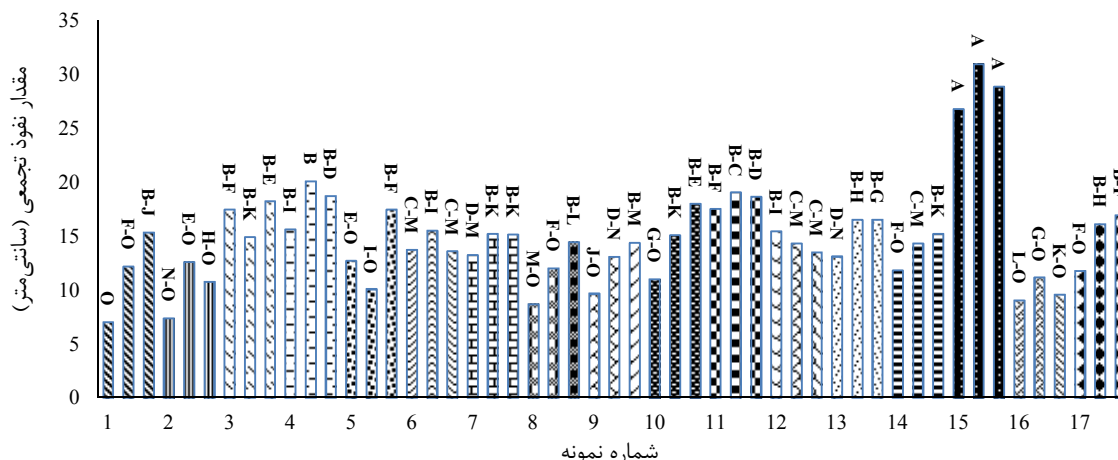
در هر شماره نمونه خاک، میله‌ها به ترتیب مربوط به تیمار ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متر هستند.



شکل ۵- مقدار نفوذ تجمعی هفده نمونه خاک در ارتفاع آب آبیاری ۵ سانتی‌متر



شکل ۶- مقایسه تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری ارتفاع آب در مقدار نفوذ تجمعی هفده نمونه خاک شماره چهارده



شکل ۷- مقایسه تیمارهای زمان ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه در مقدار نفوذ تجمعی برای ۱۷ نمونه خاک (آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد)

در هر شماره نمونه خاک، میله‌ها به ترتیب مربوط به تیمارهای ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه هستند.

جدول ۶- مقایسه میزان تفاوت نفوذ تجمعی زمان ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه در بافت‌ها و ارتفاع آب روی سطح خاک مورد بررسی

ارتفاع آب (سانتی‌متر)	بافت خاک	میزان تفاوت نفوذ تجمعی		
		۳۰ تا ۳۶۰ دقیقه	۳۰ تا ۶۰۰ دقیقه	۳۶۰ تا ۶۰۰ دقیقه
۳	Silty Clay	۱/۹۸	۲/۲۴	۰/۰۹
	Silty Clay Loam	۱/۷۱	۱/۹۲	۰/۰۸
	Clay Loam	۱/۶۲	۱/۹۶	۰/۱۳
	Silty loam	۱/۲۴	۱/۳۱	۰/۰۳
۵	Silty Clay	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۰۵
	Silty Clay Loam	۰/۹۶	۱/۰۹	۰/۰۶
	Clay Loam	۱/۱۵	۱/۳۶	۰/۱۰
	Silty loam	۰/۹۱	۱/۰۴	۰/۰۷
۷	Silty Clay	۰/۷۰	۰/۸۰	۰/۰۶
	Silty Clay Loam	۰/۸۰	۰/۸۸	۰/۰۵
	Clay Loam	۱/۳۶	۱/۶۰	۰/۰۹
	Silty loam	۰/۷۵	۰/۸۴	۰/۰۵

نتیجه‌گیری

تجمعی در زمان‌های ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه نشان داد که بین مقیدار نفوذ تجمعی زمان‌های ۳۰، ۳۶۰ و ۶۰۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری وجود دارد که بیانگر تفاوت در مقدار نفوذ تجمعی در زمان‌های اولیه نفوذ نسبت به زمان‌هایی است که سرعت نفوذ تجمعی به مقدار ثابتی می‌رسد. درصد تفاوت بیشتر نفوذ تجمعی در زمان‌های مورد بررسی در خاک Clay Loam نسبت به بافت‌های Silty Clay و Silty loam، Clay Loam نشان از حساسیت‌پذیری بیشتر این بافت به روش آبیاری، الگوی اعمال جریان آب در انواع آبیاری سطحی و زمان قطع و وصل جریان آب دارد. همچنین به نظر می‌رسد با توجه

ارزیابی و مقایسه تیمار ارتفاع آب در ۱۷ نمونه خاک، نشان داد که این تیمار اثر قابل توجهی را در مقدار نفوذ تجمعی چهار نمونه از خاک‌ها شامل بافت‌های Silty Clay و Silty Clay Loam داشت. قابل ذکر است با وجود این که نتایج آزمون‌های آماری عدم معنی‌داری تیمارهای ۳، ۵ و ۷ سانتی‌متری را در ۱۳ نمونه دیگر از خاک‌ها نشان داد؛ ولی تفاوت بین مقدار آب نفوذ یافته برای هر تیمار در هر یک از این نمونه‌ها با توجه به شرایط بحرانی منابع آب موجود و اهمیت افزایش دقت طراحی و در نتیجه افزایش راندمان آبیاری می‌تواند مهم باشد. بررسی سه تیمار نفوذ

- surface irrigation. Agriculture water management. 98(5): 815-822.
11. Mollerup M. 2007. Philip's infiltration equation for variable-head ponded infiltration. Journal of Hydrology. 347(1): 173-176.
 12. Ninghu S. 2010. Theory of infiltration: Infiltration into swelling soils in a material coordinates. Journal of Hydrology. 395(1-2): 103-108.
 13. Philip J. R. 1958. The theory of infiltration: 6. Effect of water depth over soil. Soil Science. 85(5): 278-286.
 14. Sepaskhah A. R. and Afshar-Chamanabad H. 2002. Determination of infiltration rate for every-other furrow irrigation. Biosystems Engineering: 82(4): 479-484.
 15. Sy N. 2006. Modelling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques. 51(1): 3-20.
 16. Turner E. R. 2006. Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulation. M.Sc. Thesis. University of Maryland, USA. 202 p.
 17. Valiantzas J. D. Pollalis E. D. Soulis K. X. and Londra P. A. 2009. Modified Form of the Extended Kostikov Equation Including Various Initial and Boundary Conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 135(4): 450-458.
 18. Walker W. R. and Skogerboe G. V. 1987. Surface irrigation: Theory and Practice Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 386 p.
 19. Weiler M. 2005. An infiltration model based on flow variability in macropores: development. Sensitivity analysis and applications. Journal of Hydrology. 310(1-4): 294-315.
- اشتراک loam در مقایسه صورت گرفته، میزان این جزء خاک بیشتر از Clay در دستیابی به نتیجه فوق اثرگذار باشد.
- ### سپاس‌گزاری
- بدین وسیله از مؤسسه تحقیقات برنج کشور، به دلیل همکاری برای استفاده از برخی امکانات آزمایشگاهی بخش تحقیقات خاک و آب مؤسسه تشکر و قدردانی می‌شود.
- ### منابع
۱. جعفری ف. مصطفی‌زاده ب. موسوی ف. و یزدانی م. ر. ۱۳۸۷. بررسی ویژگی‌های نفوذ در خاک‌های درز و شکاف دار اراضی شالیزاری استان گیلان. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۲ (۲): ۴۳-۳۱.
 ۲. سهرابی ت. و پایدار ز. ۱۳۸۴. طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۰۶ ص.
 ۳. نشاط ع. و پاره‌کار م. ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های تعیین سرعت نفوذ عمودی آب در خاک. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴(۳): ۱-۱۰.
 4. Argyrokastritis I. and Kerkides P. 2003. A note to the variable sorptivity infiltration equation. Water Resource. Management. 17(2): 133-145.
 5. Bagarello V. Castellini M. Di Prima S. and Iovino M. 2014. Soil hydraulic properties determined by infiltration experiments and different heights of water pouring. Geoderma. 213: 492-501.
 6. Chu X. and Miguel A. M. 2005. Determination of ponding condation and infiltration into layered soils under unsteady rainfall. Journal of Hydrology. 313(3-4): 195-207.
 7. Furman A. Warrick A. W. Zerihun D. Sanchez C. A. 2006. Modified Kostikov Infiltration Function: Accounting for Initial and Boundary Conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. pp. 587-596.
 8. FAO. 2014. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/IRN/index.stm
 9. Ma Y. Feng S. Su D. Gao G. and Huo Z. 2010. Modeling water infiltration in a large layered soil column with a modified green-ampt model and HYDRUS-1D. Computers and Electronics in Agriculture. 71: 40-47.
 10. Mohamed Amer A. 2011. Effects of water infiltration and storage in cultivated soil on

