

Comparing Double Ring and Ponding Time Methods for Measuring Water Infiltration in Different Soils under Sprinkler Irrigation

AREZU ARDESHIRI¹, MAHDI GHEYSARI^{*}, MOHAMMAD REZA MOSADDEGHI², MAHSHID GHANBARIAN¹

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

(Received: Feb. 6, 2021- Revised: March 17, 2021- Accepted: Apr. 5, 2021)

ABSTRACT

Double Ring (DR) and Time of Ponding (TP) methods are two field methods for determining infiltration rate in the sprinkler irrigation system. However, the boundary conditions and the nature of the flow on the soil surface in the sprinkler irrigation system are different from the DR method. The aim of this study was to investigate the relationship between the measured infiltration intensity values with the double ring and ponding time methods in different soil textures. The first factor consisted of two methods and the second factor consisted of five soil textures in Isfahan province and the experiments were performed in three replications in the form of a factorial statistical design. The results showed that the infiltration intensity values obtained from the DR method were on average 2.7 times higher than the values determined in the TP method and the final infiltration values of the DR method were 5 times higher than those of the TP method. The difference of infiltration values was higher in the fields with coarser texture (sandy clay loam) and less in the field with clay loam texture. The maximum final infiltration rate was observed in the field with loamy sand soil texture and the minimum final infiltration rate was observed in the field with clay loam soil texture. The results indicate the need to adjust and correct the final infiltration of DR method in the design of sprinkler irrigation systems. It is suggested to use TP method to determine the infiltration velocity values for designing sprinkler irrigation systems. If DR method is used, it is recommended that the infiltration values be modified with the given development equations before application.

Keywords: Infiltration Rate, Soil Texture, Field Measurement, Runoff.

مقایسه روش‌های استوانه مضاعف و زمان ماندابی برای اندازه‌گیری نفوذ آب در خاک‌های مختلف تحت آبیاری بارانی

آرزو اردشیری^۱، مهدی قیصری^{۱*}، محمدرضا مصدقی^۲، مهشید قنبریان علیوجه^۱

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱/۱۶

چکیده

روش‌های استوانه مضاعف و زمان ماندابی، دو روش میدانی برای تعیین سرعت نفوذ در سیستم آبیاری بارانی هستند. ولی شرایط مرزی و ماهیت جریان روی سطح خاک، در سیستم آبیاری بارانی متفاوت با روش استوانه مضاعف است. هدف این پژوهش مقایسه ارتباط مقادیر اندازه‌گیری شده نفوذ با روش استوانه مضاعف و زمان ماندابی در خاک‌های با بافت مختلف بود. فاکتور اول شامل دو روش زمان ماندابی و استوانه‌های مضاعف و فاکتور دوم شامل پنج نوع (بافت) خاک در استان اصفهان بودند که در سه تکرار در قالب طرح آماری فاکتوریل بررسی شدند. براساس نتایج، میانگین مقادیر سرعت نفوذ و نفوذ نهایی با روش استوانه مضاعف به ترتیب ۲/۷ و ۵ برابر میانگین مقادیر سرعت نفوذ و نفوذ نهایی با روش زمان ماندابی بود. اختلاف مقادیر نفوذ در مزارع با بافت درشت‌تر (لومرسی‌شنی) بیش از مزرعه با بافت لومرسی بود. بیشینه سرعت نفوذ نهایی در مزرعه با بافت خاک شن لومی و کم‌ترین میزان نفوذ نهایی در مزرعه با بافت خاک لومرسی مشاهده شد. با توجه به تفاوت سرعت نفوذ در دو روش پیشنهاد می‌شود برای طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی از روش زمان ماندابی برای تعیین مقادیر سرعت نفوذ استفاده شود. در صورت استفاده از روش استوانه مضاعف، توصیه می‌گردد مقادیر نفوذ پیش از کاربرد با معادله‌های توسعه داده شده اصلاح و تعدیل شوند.

واژه‌های کلیدی: سرعت نفوذ، بافت خاک، اندازه‌گیری میدانی، رواناب.

مقدمه

به ورود آب از سطح زمین به داخل خاک، نفوذ گفته می‌شود و نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ لحظه‌ای از مهم‌ترین مشخصه‌های خاک در طراحی و مدیریت آبیاری است (Fooladmand and Mazlom, 2016). فرایند نفوذ آب به خاک یک ویژگی کلیدی در کنترل عملکرد گیاهان زراعی، انتقال آب و املاح در نیم‌رخ خاک، طراحی سیستم‌های آبیاری، افزایش کارایی مصرف آب و کاهش هدرروی آب است (Mousavi Dehmurdi et al., 2018). اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک از دشوارترین و زمان‌برترین اندازه‌گیری فیزیکی خاک است که در برنامه‌ریزی آبیاری مورد نیاز می‌باشد (Emdad et al., 2019).

به دلیل اهمیت نفوذ، روش‌های صحرائی و آزمایشگاهی مختلفی برای اندازه‌گیری نفوذ مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mousavi Dehmurdi et al., 2018). دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری شدت نفوذ، اندازه‌گیری میدانی است. روش‌های استوانه مضاعف^۱ (DR) و اندازه‌گیری مستقیم در مکان واقعی،

با توجه به محدودیت منابع آب، استفاده از آب با بهره‌وری زیاد در تمام بخش‌ها مخصوصاً کشاورزی با بیشترین سهم مصرف آب اهمیت به‌سزایی دارد. از این‌رو سامانه‌های نوین آبیاری با راندمان زیاد و پتانسیل اعمال مدیریت آبیاری متناسب با نیاز آبی گیاه در صورتی که به طور صحیح طراحی، اجرا و بهره‌برداری شوند مفید می‌باشند، آبیاری بارانی یکی از روش‌هایی است که برای کشت گیاهان زراعی پیشنهاد می‌گردد (Naderi et al., 2018). از اهداف اصلی کاربرد یک سامانه آبیاری بارانی، توزیع یکنواخت آب در سراسر مزرعه با کم‌ترین روان‌آب و تلفات تبخیر و بادبردگی است (Rostami et al., 2014). سیستم‌های آبیاری بارانی طوری طراحی می‌شوند که در سطح مزرعه رواناب ایجاد نشود. بنابراین لازم است سرعت نفوذ آب به خاک دقیق اندازه‌گیری شود و آبیاری، نازل و فشار کار آبیاری متناسب با نفوذپذیری خاک انتخاب شود.

* نویسنده مسئول: gheysari@iut.ac.ir

در زمان آزمایش حداقل عمق ۵ سانتی متر آب روی سطح خاک قرار می‌گیرد، در آبیاری بارانی شرایط سطح خاک کاملاً متفاوت می‌باشد، این در حالی است که گاهی داده‌های نفوذ استوانه مضاعف برای طراحی آبیاری بارانی استفاده می‌شود.

در ایران حدود یک و نیم میلیون هکتار آبیاری بارانی اجرا شده است و در حال بهره برداری است، برای مدیریت صحیح آبیاری بدون ایجاد رواناب اطلاع از شدت نفوذ اهمیت ویژه‌ای دارد. این درحالی است که چنین داده‌هایی در دسترس نیست، و مهندسين و بهره برداران از جدول‌هایی که برای خاک کشورهای اروپایی و آمریکایی استخراج شده است و یا داده‌های میدانی استوانه مضاعف استفاده می‌کنند. در اغلب پژوهش‌ها از روش استوانه مضاعف برای تعیین خصوصیات نفوذپذیری در روش آبیاری بارانی استفاده می‌کنند در صورتی که ماهیت این روش با آنچه در آبیاری بارانی اتفاق می‌افتد؛ متفاوت است. از سویی دیگر، روش زمان ماندابی از نظر فیزیکی مشابه روش آبیاری بارانی می‌باشد و به نظر می‌رسد با توجه به ماهیت جریان روی سطح خاک در آبیاری بارانی، روش زمان ماندابی برای تعیین پارامتر شدت نفوذ در آبیاری بارانی مناسب‌تر است (Hillel, 1998). این پژوهش با هدف مقایسه مقادیر شدت نفوذ آب به خاک در دو روش استوانه مضاعف و زمان ماندابی و همچنین بررسی امکان ارائه توابع رگرسیونی برای تخمین مقادیر شدت نفوذ آب در روش زمان ماندابی با استفاده از داده‌های نفوذ به دست آمده از روش استوانه مضاعف، در پنج مزرعه با کاربری زراعی با بافت خاک متفاوت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در پنج مزرعه با بافت خاک متفاوت با کاربری زراعی در تابستان سال ۱۳۹۲ در استان اصفهان انجام شد. طبق طبقه بندی اقلیمی به روش آمبرژه، اقلیم مناطق مورد مطالعه خشک سرد می‌باشد. تناوب زراعی مزارع مورد نظر یونجه، ذرت علوفه‌ای، شبدر، جو، گندم و آیش بود. موقعیت جغرافیایی مزارع مورد مطالعه در شکل (۱)، نشان داده شده است.

شیب اراضی مورد مطالعه به ترتیب برای مزارع برای مزارع F1, F2, F3, F4 و F5، برابر با ۰/۰۵، ۰/۰۳، ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ و مقادیر هدایت الکتریکی (EC) آب آبیاری مزارع مذکور برابر ۳/۵۳، ۳/۴۹، ۳/۸۱، ۳/۷ و ۳/۹۹ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب بود.

زمان ماندابی^۱ (TP)، دو روش میدانی رایج برای تعیین شدت نفوذ می‌باشند. اغلب پارامترهای مورد استفاده در طراحی سیستم آبیاری بارانی از جمله شدت نفوذ بر اساس جدول‌ها و نمودارهای تجربی و یا با استفاده از داده‌های روش استوانه مضاعف به دست می‌آید (Keller and Bliener, 1990)، در صورتی که به دلیل پایین بودن مواد آلی خاک و وجود سنگ ریزه در اغلب خاک‌های زراعی ایران استفاده از مقادیر ارایه شده در جدول‌ها در بسیاری از شرایط موجب عدم کارایی مورد انتظار سامانه‌های آبیاری می‌گردد.

روش زمان ماندابی برای تعیین خصوصیات نفوذ در سیستم آبیاری بارانی توسط برخی پژوهشگران استفاده شده است؛ به طوری که از این روش برای تعیین منحنی‌های نفوذ خاک با بافت لوم‌شنی و همچنین ایجاد یک مدل فیزیکی-ریاضی برای تعیین شدت نفوذ تحت شرایط آبیاری بارانی استفاده شده است (Ghorbani, 2005). سرعت نفوذ نهایی به دو روش استوانه‌های مضاعف و باران‌ساز مصنوعی و همچنین برای بررسی اثر پوشش گیاهی (Jolaini, 1996) و شدت نفوذ و نفوذتجمعی در خاک شخم شده با روش استوانه مضاعف و زمان ماندابی (Mousavi et al., 2005) مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین محققین نتیجه گرفتند که به دلیل این‌که اثر شیب زمین در داده‌های مستخرج از استوانه مضاعف لحاظ نمی‌شود؛ داده‌های بدست آمده از استوانه مضاعف برای تخمین شدت روان‌آب دقت لازم را ندارد (Reynolds et al., 2000).

پارامترهای نفوذ تحت تاثیر عوامل گوناگونی به غیر از بافت و ساختمان خاک قرار دارد (Nasseri et al., 2008). تراکم خاک، مواد آلی، رطوبت اولیه خاک، پوشش گیاهی و همچنین کیفیت آب و دمای آب بر نفوذ آب به خاک تاثیر دارند (Rezaei pour and Ghobadania, 2012; Qouchanian and Ghahraman, 2001 and Vaezi et al., 2018). علاوه بر موارد مذکور ویژگی‌های بارندگی و شیب زمین نیز بر نفوذ آب به خاک تاثیرگذار است (Xin et al., 2019).

داده‌های شدت نفوذپذیری قابل استفاده در آبیاری بارانی که از جدول‌ها استخراج می‌شوند؛ تنها تابع بافت خاک و شیب زمین می‌باشند و اثر سایر عوامل موثر از جمله ماده آلی، ساختمان خاک، شرایط لایه سطحی خاک، چگالی ظاهری خاک و تناوب زراعی بر شدت نفوذ را در نظر نمی‌گیرند. همچنین در داده‌های نفوذپذیری خاک گزارش شده، به ماهیت هیدرولیکی جریان روی سطح اشاره ای نمی‌کنند. در روش استوانه مضاعف (DR)، نفوذ آب عمدتاً بصورت یک فرآیند یک‌بعدی عمودی فرض می‌شود و



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزارع مورد مطالعه در استان اصفهان

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

در هر پنج مزرعه مورد بررسی، تعدادی نمونه خاک برای تعیین بافت و توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری، چگالی حقیقی خاک به روش پیکنومتر^۱ و درصد ماده آلی خاک به روش اکسایش تر تهیه شد. همچنین رسانایی الکتریکی (EC) آب آبیاری مزرعه‌ها به وسیله دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. رطوبت حجمی خاک بر اساس استاندارد ۹۸ (2003) ASTM D2216- پیش و پس از هر آزمایش تعیین شد. چگالی ظاهری خاک با برداشت نمونه‌های دست‌نخورده با سیلندرهایی به قطر ۶ سانتی-متر از لایه‌های ۰-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متر و در دو تکرار

تعیین گردید. نمونه‌های مذکور در آون خشک شده و پس از سرد شدن و اندازه‌گیری جرم خاک خشک و مشخص بودن حجم نمونه‌ها، چگالی ظاهری خاک‌ها تعیین گردید.

بافت خاک‌های مزرعه اول (F1) لوم رسی سیلتی، مزرعه دوم (F2) لوم رسی شنی، مزرعه سوم (F3) شن لومی، مزرعه چهارم (F4) لوم رسی شنی و مزرعه پنجم (F5) لوم رسی بود. با توجه به جدول (۱)، درصد شن از ۱۶ تا ۸۶، درصد سیلت از ۵ تا ۴۸ و درصد رس از ۸ تا ۳۷ در خاک‌های مورد بررسی متغیر بود. درصد ماده آلی در دامنه ۰/۹ تا ۱/۰۷ متغیر بود که نشان‌دهنده میزان ماده آلی متوسط خاک‌های مورد بررسی است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

مزارع آزمایشی						خصوصیات خاک	
F5	F4	F3	F2	F1	واحد		
۲۸/۴	۲۳/۶	۸	۲۴/۶	۳۷/۲	kg/100kg	رس	
۴۸	۱۱/۸	۵/۸	۱۵/۲	۴۶/۶	kg/100kg	سیلت	
۲۳/۶	۶۴/۶	۸۶/۲	۶۰/۲	۱۶/۲	kg/100kg	شن	
۱/۴۳	۱/۳۶	۱/۰۷	۱/۴۶	۱/۲۸	Mg/m ³	جرم مخصوص ظاهری (۰-۱۰ سانتی‌متر)	
۱/۴۶	۱/۴۳	۰/۸۱	۱/۴	۱/۳۲	Mg/m ³	جرم مخصوص ظاهری (۱۰-۲۰ سانتی‌متر)	
۱/۴۸	۱/۴۴	۱/۰۸	۱/۴۳	۱/۴۷	Mg/m ³	جرم مخصوص ظاهری (۲۰-۳۰ سانتی‌متر)	
۱/۴۱	۱/۴۷	۰/۹۸	۱/۴۳	۱/۳۵	Mg/m ³	میانگین جرم مخصوص ظاهری	
۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۶۱	۰/۸	۰/۸۱	-	جرم مخصوص ظاهری نسبی	
۲/۶۴	۲/۶۹	۲/۴۲	۲/۶۸	۲/۵	Mg/m ³	جرم مخصوص حقیقی	
۰/۹	۱	۲/۰۴	۱/۱	۱/۲	kg/100kg	مواد آلی	

روش‌های اندازه‌گیری شدت نفوذ

روش زمان ماندابی (TP) با توجه به شرایط مرزی و ماهیت جریان روی سطح در سیستم‌های آبیاری بارانی، برای اندازه‌گیری پارامتر

الف- روش زمان ماندابی

ماندابی به کار گرفته شدند.

در طول آزمایش، فشار آب در روزنه آبپاش توسط فشارسنج با لوله پیتو اندازه‌گیری شد. به علت اینکه فشار متعارف کارکرد آبپاش ۴ اتمسفر بود؛ در تمامی آزمایش‌ها فشار روی ۴ اتمسفر تنظیم شد. هم‌زمان با شروع آزمایش و فاصله زمانی ۳۰ دقیقه، دمای هوای مکان آزمایش، درصد رطوبت نسبی هوا و سرعت باد با استفاده از دستگاه هواشناسی AZ 8911 اندازه‌گیری و ثبت شد. این دستگاه در ارتفاع ثابت ۲ متری نصب شده بود.

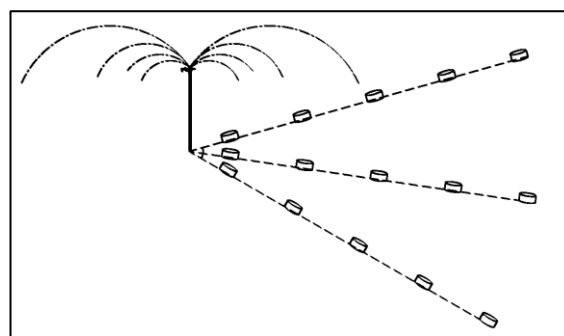
ب- روش استوانه مضاعف

در آزمایش نفوذ به روش استوانه مضاعف (DR)، مطابق با استاندارد 03, ASTM D 2003-3385، از دو استوانه فلزی هم‌مرکز به ارتفاع حدود ۵۰ سانتی‌متر و قطرهای ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متر استفاده شد (ASTM, 2003). استوانه‌ها تا عمق ۱۵ سانتی‌متری در خاک فرو برده شدند. مقدار آبی که در فواصل زمانی مختلف به استوانه درونی افزوده می‌شد، برابر با حجم آب نفوذیافته در نظر گرفته شد. در طول آزمایش ارتفاع سطح آب در درون استوانه کوچک‌تر در حدود ۵ سانتی‌متر ثابت نگه داشته شد و تا رسیدن به شرایط جریان پایدار، زمان و حجم آب افزوده‌شده (نفوذیافته) ثبت شد. هم‌چنین با برابر نگه‌داشتن ارتفاع سطح آب در دو استوانه درونی و بیرونی، جریان افقی بین دو استوانه به حداقل رسید. اندازه‌گیری‌ها باید در فواصل زمانی مناسب انجام شود، بطوری که در ابتدای آزمایش فاصله بین قرائت‌ها کوتاه، حدود پنج تا ده دقیقه، و پس از یک ساعت اندازه‌گیری در هر ۳۰ دقیقه انجام می‌شود. فواصل بین قرائت‌ها با توجه به سرعت نفوذ خاک تعدیل می‌گردد، در خاک‌هایی با سرعت نفوذ زیاد اندازه‌گیری‌های بیش‌تری باید انجام شود. معمولاً اندازه‌گیری‌ها تا زمانی ادامه می‌یابد که سرعت نفوذ به حد نسبتاً ثابتی رسیده باشد. با توجه به اینکه در این پژوهش مطالعات بر روی خاک‌هایی با بافت‌های مختلف انجام شد؛ فواصل زمانی اندازه‌گیری و زمان اتمام آزمایش در پنج مزرعه متفاوت بود.

آنالیزهای آماری

تجزیه‌های آماری شامل محاسبه میانگین، بیشینه، کمینه و آزمون نرمال بودن توسط نرم‌افزار SPSS 20 انجام شد. میزان برآزندگی الگوها با استفاده از تجزیه واریانس رگرسیون (ANOVA) مورد بررسی قرار گرفت. برای کمی کردن دقت توابع رگرسیونی منابع از آماره خطای استاندارد (SE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد:

شدت نفوذ استفاده شد. از تک آبپاش تنظیم‌شونده ضربه ای، ZK30 ساخت کشور آلمان با شدت دبی پخش ثابت ۱۰/۵ مترمکعب بر ساعت، شعاع پاشش ۲۰ متر، و تعدادی ظروف نمونه‌گیری^۱ (CC) از جنس آلومینیوم (به قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) که در محدوده قطاع خیس‌شده و در امتداد شعاع پاشش قرار می‌گرفتند؛ استفاده شد (Hillel, 1998). پس از نصب آبپاش، تعدادی ظرف نمونه‌گیری آب به فاصله یک متر از یکدیگر روی سه شعاع مختلف دایره پخش خطوط مستقیم شعاعی به مرکزیت آبپاش که با هم زاویه ۴۵ درجه می‌ساختند) قرار داده شد (شکل ۲).



شکل ۲- چگونگی قرارگیری ظروف ظروف نمونه‌گیری و گسیلنده در روش زمان ماندابی

با توجه به این که نیم‌رخ پخش آب توسط یک آبپاش با چرخش ۳۶۰ درجه مثلثی است؛ شدت پاشش از خارج شعاع دایره پاشش به درون افزایش می‌یابد؛ بنابراین پس از آنکه سیستم برای مدتی کار کرد به تدریج شدت نفوذ در نقاط مختلف سطح زمین، متناسب با شدت پاشش در فواصل مختلف زمانی، به سرعت نفوذ آب به خاک می‌رسد. در هنگام آزمایش، شروع تجمع آب در سطح زمین بیان‌گر آغاز ماندابی‌شدن در آن نقطه است (Ghorbani, 2005). در نتیجه می‌توان فرض کرد در زمان شروع تجمع آب روی سطح زمین شدت پاشش در این نقطه تقریباً برابر سرعت نفوذ آب به خاک بوده و زمانی که این پدیده رخ می‌دهد نیز ثبت شد. با استفاده از مقدار آب جمع‌شده در ظروف نمونه‌گیری و زمان آزمایش، شدت پاشش آبپاش در هر نقطه قابل محاسبه بود.

به‌منظور جلوگیری از خطای روان‌آب و شناسایی بهتر مکان‌هایی که آب روی سطح خاک شروع به جمع‌شدن می‌کند؛ از حلقه‌های فلزی به قطر ۳۰ سانتی‌متر با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از جنس گالوانیزه استفاده شد. این حلقه‌ها در نزدیکی مکان‌های قرارگیری ظروف نمونه‌گیری به اندازه ۳ تا ۵ سانتی‌متر در خاک فرو برده شدند و به عنوان سطح شاخصی برای رصد کردن زمان

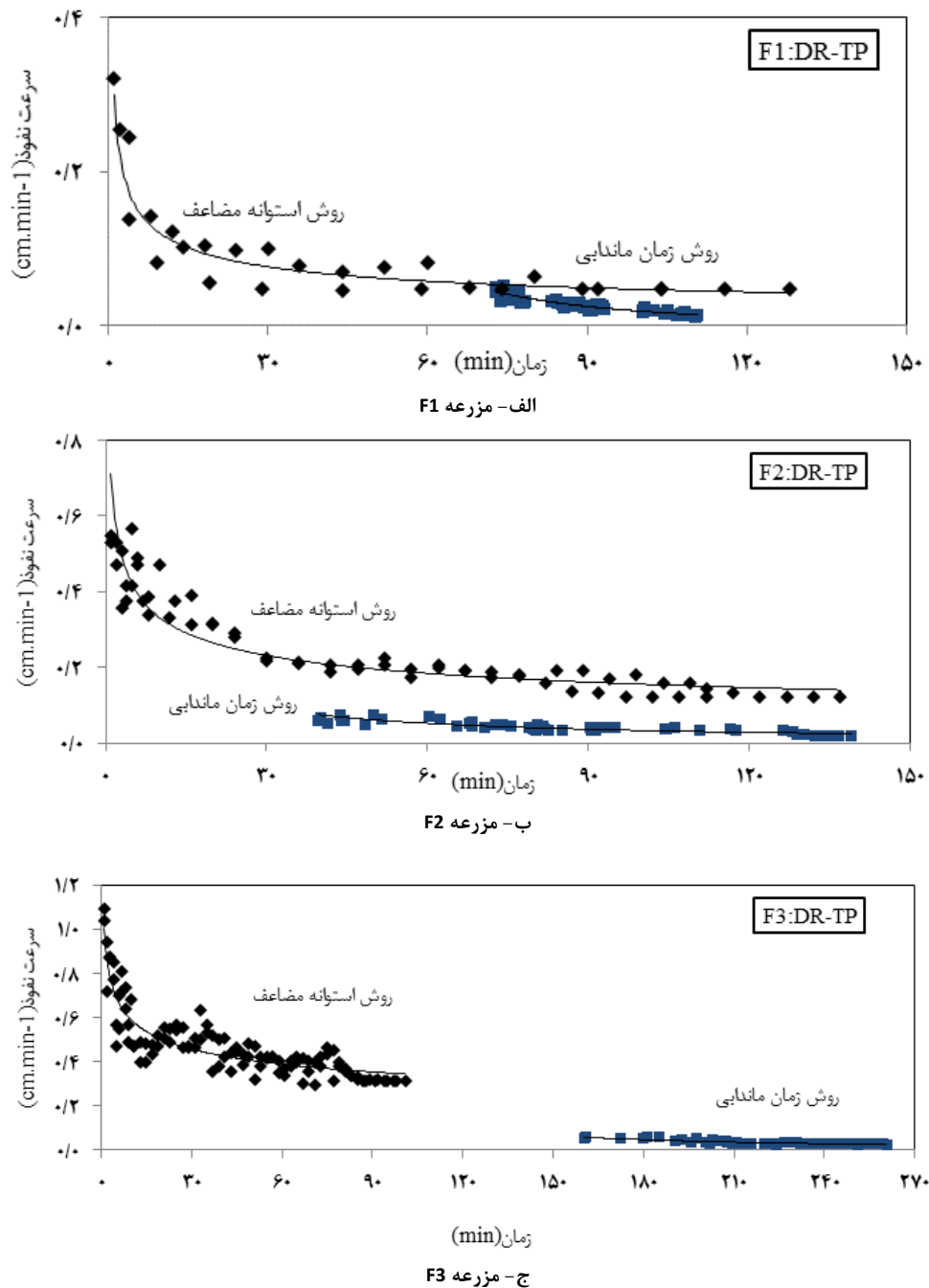
نتایج و بحث

مقایسه نتایج دو روش استوانه‌مضاعف و زمان ماندابی

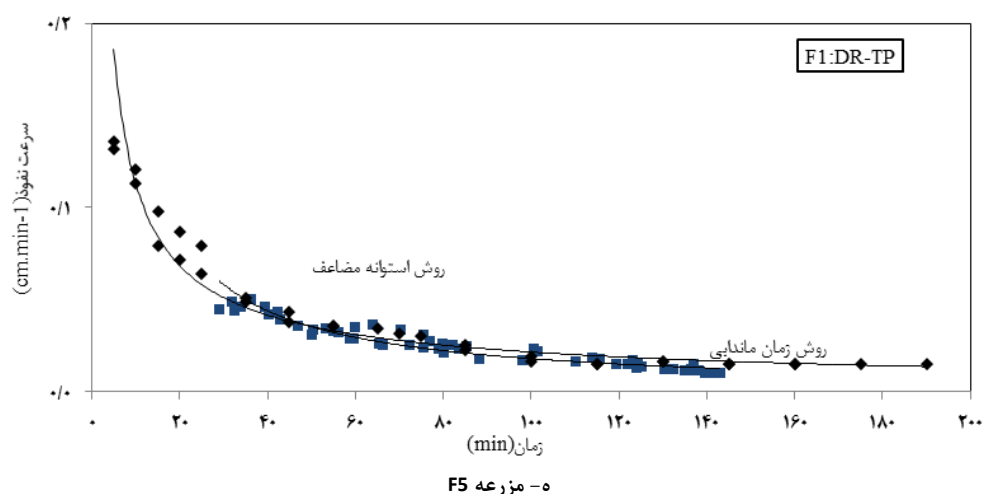
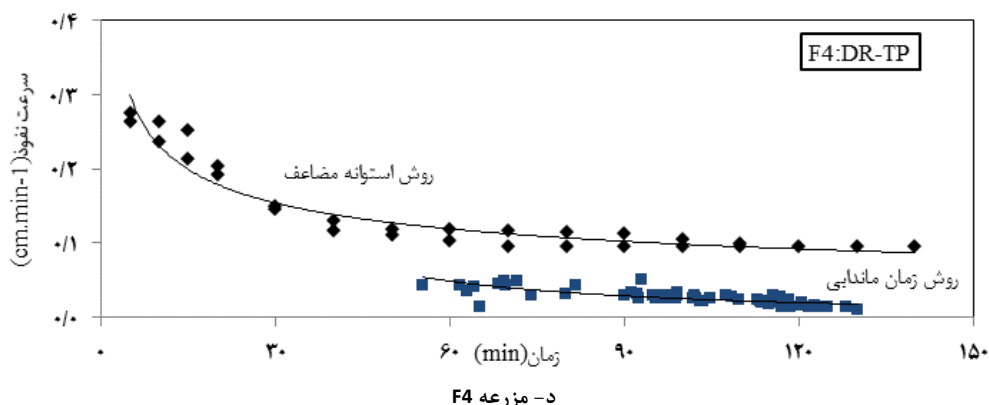
به منظور مقایسه دو روش استوانه‌مضاعف و زمان ماندابی برای برآورد نفوذ، پس از رسم نمودار داده‌های شدت نفوذ حاصل از آزمایش‌ها در برابر زمان، مناسب‌ترین منحنی بر داده‌ها برازش داده شد. معادله توانی بیش‌ترین ضریب تبیین را در بین معادلات برازش داده شده داشت (شکل ۳).

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (i_{obs,j} - i_{model,j})^2}{n - p - 1}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در اینجا، $i_{model,j}$: سرعت نفوذ پیش‌بینی شده در زمان j ، $i_{obs,j}$: سرعت نفوذ اندازه‌گیری شده در زمان j ، p : تعداد پارامترها در معادله رگرسیونی و n : تعداد نمونه‌ها است.



شکل ۳- مقایسه منحنی‌های شدت نفوذ با روش‌های زمان ماندابی و استوانه مضاعف



ادامه شکل ۳- مقایسه منحنی‌های شدت نفوذ با روش‌های زمان ماندابی و استوانه مضاعف

سیمانی نقش موثری در افزایش مقاومت خاکدانه‌ها دارد و میزان تخریب خاکدانه‌ها به وسیله قطرات آب در خاک‌های با بافت ریزتر کم‌تر است. این نشان می‌دهد که استفاده از روش استوانه مضاعف در برآورد سرعت نفوذ برای سیستم‌های آبیاری بارانی به دلیل تفاوت در هندسه، تفاوت در شرایط مرزی دو روش و ابعاد نفوذ نیاز به ملاحظات و بازنگری دارد.

در جدول (۲)، زمان اتمام آزمایش (زمان رسیدن به سرعت نفوذ نهایی) در دو روش استوانه مضاعف و زمان ماندابی با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۲- مقایسه بین زمان اتمام آزمایش (زمان رسیدن به سرعت نفوذ

نهایی) در دو روش استوانه مضاعف و زمان ماندابی		
زمان اتمام آزمایش (دقیقه)		
مزرعه	روش استوانه مضاعف	روش زمان ماندابی
F1	۱۲۵	۱۱۱
F2	۱۳۵	۱۳۹
F3	۱۰۰	۲۵۳
F4	۱۴۰	۱۳۰
F5	۱۸۵	۱۴۳

بجز مزرعه F3 که در آن بین دو روش اختلاف زمانی زیادی

در روش استوانه مضاعف، نفوذ در ابتدا با شیب تند کاهش پیدا می‌کند و با گذشت زمان حدوداً پس از ۴۰ دقیقه (شکل ۳) شیب کاهش شدت نفوذ کم‌تر می‌شود؛ در حالی که در روش زمان ماندابی اولین داده‌ها پس از ۴۰ دقیقه مشاهده شد و نفوذ با شیب بسیار ملایم کاهش پیدا می‌کند و سرانجام به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد. هر چه شدت پاشش بیشتر باشد؛ زمان ماندابی کوتاه‌تر است (Yacoubi et al., 2018). منحنی‌های روش زمان ماندابی و روش استوانه مضاعف در بازه‌ای از زمان انجام آزمایش‌ها دارای اشتراک زمانی اند و در این محدوده زمانی، تمامی داده‌های شدت نفوذ روش زمان ماندابی یک چهارم تا یک سوم داده‌های شدت نفوذ روش استوانه مضاعف است. در سایر مزارع نیز مشاهده شد که شدت نفوذ در طول آزمایش و سرعت نفوذ نهایی اندازه‌گیری شده روش استوانه مضاعف در تمام مزارع بیش‌تر از روش زمان ماندابی است. نتایج پژوهش‌های دیگر نیز با نتیجه به دست آمده از یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد (Shatanawi and Abu-Awwad, 1994).

اگرچه در تمام مزارع اختلاف مقادیر نفوذ بین دو روش زمان ماندابی و استوانه مضاعف قابل توجه بود؛ اما در خاک‌های دارای بافت ریزتر، این اختلاف کم‌تر بود. رس به عنوان یک ماده

داده‌های اندازه‌گیری شده نفوذ نهایی در روش‌های استوانه‌مضاعف و زمان ماندابی به شرح زیر بود:

(رابطه ۲)

$$If (DR) = 5.076 If (TP) \quad , \quad R^2 = 0.82 \quad , \quad SE = 0.00$$

در این رابطه $If (DR)$: سرعت نفوذ نهایی آب در روش استوانه مضاعف و $If (TP)$: سرعت نفوذ نهایی آب در روش ماندابی است.

فاصله شیب خط از یک، نشان‌دهنده اختلاف زیاد مقادیر نفوذ نهایی دو روش است. این تفاوت علاوه بر اختلاف در ماهیت جریان آب در سطح (در روش استوانه مضاعف روی سطح زمین ۵ سانتی‌متر آب وجود داشت)، ممکن است تحت تاثیر ایجاد سله سطحی در اثر برخورد قطرات آب در روش زمان ماندابی باشد. آبیاری بارانی به علت انرژی جنبشی زیاد موجب متلاشی شدن ساختمان خاک و مسدود شدن مجاری نفوذ آب و در نتیجه موجب کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود (Reynolds et al., 2000). طبق آنچه در این پژوهش مشاهده گردید؛ وجود رس در بافت خاک به پایداری بیش‌تر خاکدانه‌ها کمک نموده و خاک‌هایی که میزان رس بیش‌تری دارند در برابر قطرات آب، مقاومت بیش‌تری از خود نشان می‌دهند. بنابراین در خاک‌هایی با بافت ریزتر، تخریب ساختمان خاکدانه در لایه سطحی در اثر برخورد قطرات آب کم‌تر بوده و ضریب ارائه شده در معادله ۳، میزان کم‌تری نسبت به خاک‌های با بافت درشت داشت. بزرگی ضرایب توابع فوق ضرورت تعدیل نفوذ نهایی اندازه‌گیری شده به‌وسیله روش استوانه‌مضاعف برای کاربرد در طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی را نشان می‌دهد. (Jolaini (1996 پس از بررسی سرعت نهایی نفوذ اندازه‌گیری شده به دو روش استوانه‌های مضاعف و باران‌ساز مصنوعی و همچنین اثر پوشش گیاهی، گزارش کرد که سرعت نهایی نفوذ اندازه‌گیری شده به روش استوانه مضاعف در خاک لخت ۳ تا ۳/۵ برابر بیش‌تر از روش باران‌ساز مصنوعی بود. همچنین Mousavi et al. (2005) گزارش کردند که در زمین شخم‌خورده شدت نفوذ آب به خاک به روش استوانه مضاعف ۲ تا ۳ برابر شدت نفوذ به روش استفاده از آبپاش (روش زمان ماندابی) بود.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، شدت نفوذ اندازه‌گیری شده با روش استوانه مضاعف به‌طور متوسط ۲/۷ برابر شدت نفوذ اندازه‌گیری شده با روش زمان ماندابی بود و اختلاف مقادیر نفوذ بین دو روش زمان ماندابی و استوانه مضاعف در مزارع F2 و F4 با بافت درشت‌تر (لوم‌رسی‌شنی) بیش‌تر بوده و در مزرعه F5 با بافت لوم‌رسی کمتر بود. در خاک‌های ریزبافت تخریب ساختمان خاکدانه‌ها در لایه

وجود دارد، در سایر مزارع، زمان رسیدن به سرعت نفوذ نهایی در روش استوانه مضاعف به روش زمان ماندابی نزدیک است. بافت خاک مزرعه F3، شن لومی و از سایر مزارع بافت سبک‌تری دارد. خاک دو مزرعه F2 و F4، بافت لوم رسی شنی دارند و زمان‌های رسیدن به سرعت نفوذ نهایی تقریباً یکسانی دارند. توابع رگرسیونی تخمین پارامتر شدت نفوذ آب به خاک روش‌های استوانه‌مضاعف و روش زمان ماندابی با استفاده از داده‌های نفوذ در بازه‌های زمانی پنج دقیقه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS 20 استخراج گردید (جدول ۲). داده‌های دو روش استوانه-مضاعف و زمان ماندابی در مزرعه F3 دارای اشتراک زمانی نبود؛ بنابراین امکان ایجاد رابطه رگرسیونی برای مزرعه ۳ وجود نداشت. از تابع خطی درجه یک به همراه ضریب تبیین برای مقایسه داده‌های مدل و مشاهده‌ای، استفاده شد.

جدول ۳- روابط آماری بین مقادیر سرعت نفوذ بدست آمده از روش‌های

زمان ماندابی و استوانه‌مضاعف			
مزرعه	روابط رگرسیونی	R ²	SE
F1	$I_{DR} = 2/02 I_{TP}$	۰/۸۷	۰/۰۰۳
F2	$I_{DR} = 3/80 I_{TP}$	۰/۹۸	۰/۰۰۲
F4	$I_{DR} = 3/88 I_{TP}$	۰/۹۳	۰/۰۰۸
F5	$I_{DR} = 1/06 I_{TP}$	۰/۹۸	۰/۰۰۱

I_{DR} : مقادیر سرعت نفوذ در روش استوانه‌مضاعف و I_{TP} : مقادیر سرعت نفوذ در روش زمان ماندابی

در تمامی معادلات مقدار ضریب تبیین (R^2) بیش‌تر از ۸۷ درصد است، به‌طوری که در مزارع F2 و F5 این ضریب ۹۸ درصد بود که نشان‌دهنده ارتباط دقیق و منطقی بین متغیرها است. شیب خط رگرسیون برای چهار مزرعه متفاوت بود. به‌طور کلی شیب خط رگرسیون در خاک‌های مزارع که بافت درشت‌تری داشتند بیش‌تر بود یا به عبارتی اختلاف مقدار شدت نفوذ اندازه‌گیری شده به روش DR و TP در خاک‌های با درصد رس کم‌تر، بیش‌تر بود. پژوهشگران دیگر (Shukla et al., 2003 and Vaezi et al., 2018) نیز بیان کردند اندازه منافذ درشت خاک رویین بیش‌ترین تاثیر را بر میزان نفوذ آب به خاک دارد و نتایج به‌دست آمده را تایید می‌کند.

مقایسه نفوذ نهایی به دو روش DR و TP

به‌منظور درک بهتر روابط بین پارامتر نفوذ نهایی در روش‌های استوانه مضاعف و زمان ماندابی، سعی گردید تا با برآزش مناسب‌ترین خط بین داده‌های اندازه‌گیری شده نفوذ نهایی، یک رابطه خطی از نوع درجه یک استخراج گردد. به این صورت که برای تمام مزارع، پنج نفوذ نهایی روش زمان ماندابی با پنج نفوذ نهایی روش استوانه‌مضاعف با هم مقایسه شدند. مناسب‌ترین خط بین

شد. اختلاف مقادیر نفوذ نهایی در دو روش استوانه مضاعف و زمان ماندابی، لزوم تعدیل نفوذ نهایی حاصل از روش استوانه مضاعف در طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی را تاکید می‌کند. توصیه می‌شود نفوذ نهایی اندازه‌گیری شده به روش استوانه مضاعف برای استفاده در طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی، بر اساس روش زمان ماندابی (که بر پایه اصول روش‌های آبیاری بارانی انجام می‌شود) تعدیل استفاده گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- ASTM. (2003). D3385-03. Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer. Annual Book of Standards 04,08. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Deboer, D. W. and Chu, S. T. (2001) Sprinkler Technologies, soil infiltration, and runoff. *Irrigation and Drainage Engineering*, 127(4), 234-239.
- Emdad, M. R., Dehghani, M. and Naghavi, H. (2019) Evaluation of scaling factor for determining soil infiltration rate in different soil textures. *Iranian Water Research Journal*, 12(4), 103-111. (In Farsi)
- Ersahin, S. (2003) Comparing ordinary kriging and cokriging to estimate infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*. 67(6), 1848-1855.
- Fooladmand, H.R. and Mazlom, M. (2016) Comparison of soil water infiltration using single and double ring methods. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 4(13), 33-42. (In Farsi)
- Ghorbani, B. (2005), A mathematical model to predict soil infiltration capacity under sprinkler irrigation conditions. *Journal of agricultural sciences and natural resources*, 12(4), 21-28. (In Farsi)
- Hillel, D. (1998) *Environmental Soil Physics*. Academic Press. San Diego, CA.
- Jolaini, M. (1996) *Determining the coefficients of water infiltration models in soils of Karaj*. M. S. dissertation, University of Tabriz, Tabriz, Iran. (In Farsi)
- Keller, J. and Bliener, D. (1990) *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Published by Van Nostrand Reinhold New York. 5, 64-65.
- Mousavi Dehmurdi, Ghorbani-Dashtaki, Sh. and Mashayekhi, P. (2018) Evaluation of double-ring infiltrometers method for measuring the vertical infiltration in different soil textures using HYDRUS. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(3), 241-253. (In Farsi)
- Mousavi, B., Neyshabouri, M.R. and Feiziasl, V. (2005) Infiltrability and coefficients of infiltration equations using double rings, rainfall simulator and raindrop methods. *Journal of agricultural science*, 57, 79-92. (In Farsi)
- Naderi, N., Ghadami Firouzabadi, A. and Froumadi, M. (2018) Technical Evaluation of Different Sprinkler Irrigation Systems in Field Condition. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(3), 429-439. (In Farsi)
- Nasseri, A., Neyshabouri, M. R. and Abbasi, F. (2008). Effectual components on furrow infiltration. *Irrigation and Drainage*, 57, 481-489.
- Qouchanian, M. and Ghahraman, B. (2018) Investigating and verifying the use of the best general infiltration relation in soils of Medium and Light Texture in Mashhad Plain. *Iranian journal of irrigation and drainage*, 3(13), 750-760. (In Farsi)
- Reynolds, W. D., Bowman, B. T., Brunk, P. R., Drury, C. F. and Tan, C. S. (2000) Comparison of tension infiltrometer, pressure infiltrometer and soil core estimates of saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 478-484.
- Rezaei-pour, S. and Ghobadina, M. (2012) Investigation of penetration process using disk perimeter and double cylinders, *The 3rd National Conference on Agriculture and Food Sciences*, 6 Dec, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran. (In Farsi)
- Rostami, A., Sadraddini, A. A., Nazemi, A. H. Hasannia, R. and Fakherifard, A. (2014) Investigation of Infiltration in Center Pivot Irrigation System. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(3), 655-666. (In Farsi)
- Shatanawi, M.R. and Abu-Awwad, A. M. (1994) Potential for water harvesting in Jordan: Present situation and future needs. *International conference on land and water resources management in the Mediterranean Region*, 4-8 Septembre 1994, Valenzano (Bari), Italy, pp. 783-792.
- Shukla, M. K., Lal, R. and Unkefer, P. (2003) Experimental evaluation of infiltration models for different land use and soil management systems. *Soil Science*, 167, 178-191.
- Vaezi, A. R., Behtari, M. and Foroumadi, M. (2018) Time Variations of Rainfall Infiltration into the Soil under the Influence of Soil initial Moisture. *Iranian journal of irrigation and drainage*, 3(12), 575-587. (In Farsi)
- Xin, Y., Xie, Y. and Liu, Y. (2019) Effects of Residue Cover on Infiltration Process of the Black Soil

Under Rainfall Simulations. *Water*,
11(2593):10pp.
Yacoubi, S., Slatni, A. and Zayani, K. (2018) Analysis

of Saturation Risk in Sprinkler Irrigation: Case of
Cherfech Irrigation Perimeter in Tunisia. *Journal
of Agriculture Science*, 10(2), 130-138.