

بررسی پدیده نفوذ در سامانه آبیاری دوار مرکزی

امین رستمی^{۱*}، علی اشرف صدرالدینی، امیرحسین ناظمی، رضا دلیر حسن نیا

و احمد فاخری فرد

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران.

amin_rostami@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران.

sadraddini@tabrizu.ac.ir

استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران

ahnazemi@yahoo.com

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران

delearhasannia@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران

fakheri@tabrizu.ac.ir

چکیده

استفاده از نفوذسنج استوانه‌های دوگانه برای اندازه‌گیری میزان نفوذ آب به خاک در سامانه‌های دوار مرکزی روش دقیقی نیست، زیرا شرایط نفوذ آب به خاک در استوانه‌های دوگانه با شرایط واقعی در زیر آبیاری دوار مرکزی کاملا متفاوت است. در این تحقیق، پارامترهای نفوذ در شرایط واقعی در زیر آبیاری سامانه دوار مرکزی تعیین شد و برای این منظور از یک استوانه‌ی زهکش دار که شدت نفوذ و رواناب را در حین آزمایش اندازه‌گیری می‌کند استفاده شد. آزمایش‌ها با کاربرد دو نوع آبیاری (I-wob و Ldn) در سه فشار کارکرد (۲۰، ۲۵ و ۳۰ پی‌اس‌آی)، دو ارتفاع آبیاری (۱/۶ و ۲ متر) و در سه تکرار بر روی خاک لوم‌شنی از اراضی تحت فشار ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد. نتایج بدست آمده نشان داد که مقادیر شدت نفوذ و نفوذتجمعی در روش استوانه‌های دوگانه به‌طور متوسط دو برابر روش استوانه‌ی زهکش دار است. کاربرد روش نفوذسنجی با استوانه‌های دوگانه در سامانه آبیاری دوار مرکزی موجب برآورد بیشتر نفوذ شده و لحاظ نمودن آن در مرحله طراحی سبب ایجاد رواناب قابل توجهی در زمان بهره‌برداری می‌شود. بررسی آزمایش‌ها نشان داد که در آبیاری با فشار کارکرد ۲۵ پی‌اس‌آی و ارتفاع آبیاری ۱/۶ متر، بیشترین مقدار شدت نفوذ و نفوذتجمعی حاصل شد. ارزیابی مدل‌های نفوذ آب به خاک نشان داد که مدل کاستیاکوف بیشترین مقدار ضریب تعیین و مدل گرین‌امپت کمترین مقدار خطای استاندارد را در برازش با داده‌های میدانی حاصل از اندازه‌گیری نفوذ تحت شرایط واقعی (در زیر آبیاری سامانه آبیاری دوار مرکزی) دارا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: استوانه‌های دوگانه، استوانه‌ی زهکش دار، رواناب، شدت نفوذ.

۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز، ایران.

* دریافت: اسفند ۱۳۹۲ او پذیرش: آبان ۱۳۹۳

مقدمه

یکی از اهداف اصلی در بهره‌برداری یک سامانه آبیاری بارانی، توزیع یکنواخت آب در سراسر مزرعه با حداقل رواناب می‌باشد. مشکل رواناب در سامانه‌هایی که از شدت پخش بالا استفاده می‌کنند، به علت عدم انطباق شدت پخش‌های بالا با نفوذپذیری خاک، افزایش می‌یابد. دوار مرکزی یکی از سامانه‌هایی است که در آن آب با شدت بالا، مخصوصاً زمانی که از آبپاش‌های با فشار کم استفاده شود، پخش می‌گردد. استفاده از این سامانه آبیاری در خاک‌هایی با نفوذپذیری کم، معمولاً مقادیر زیاد رواناب و فرسایش خاک را موجب می‌شود. همچنین آبپاش‌های مستقر در قسمت انتهایی ماشین به علت داشتن شدت پخش بیشتر نسبت به آبپاش‌های نزدیک مرکز، پتانسیل بیشتری برای تولید رواناب دارند. برای رفع مشکل رواناب، داشتن اطلاعات کافی و دقیق از مشخصات نفوذ-پذیری خاک و فاکتورهای موثر بر شدت نفوذ، ضروری است.

بسیاری از محققان با فرض اینکه نفوذ آب به خاک در سامانه دوار مرکزی، عمدتاً طی یک فرآیند یک بعدی عمودی بوقوع می‌پیوندد، از معادلاتی که به وسیله نفوذسنج استوانه‌های دوگانه بدست می‌آید استفاده می‌کنند، در حالی که شرایط نفوذ آب در آزمایش استوانه‌های دوگانه (وجود یک بار آبی بر روی سطح خاک) با شرایطی که در سامانه‌های دوار مرکزی با شدت پخش‌های مختلف اتفاق می‌افتد متفاوت است. محمود (۱۹۹۱) و بلیسنر و کلر (۱۹۹۱) از شبیه سازهای بارش یا نفوذ سنج‌های بارانی برای محاسبه پارامترهای نفوذ استفاده کردند. اگرچه این روش‌ها پخش آب بوسیله آبپاش‌ها را بسیار دقیق شبیه سازی می‌کنند، اما شبیه سازی سامانه‌های دوار مرکزی با شدت پخش بالا، بسیار مشکل است.

دی بوئر و چو (۲۰۰۱) در پژوهشی با انجام آزمایش‌های صحرایی در یک سامانه پیوسته متحرک آبیاری بارانی نتیجه گرفتند که علاوه بر نوع خاک، عملیات شخم و مقدار رطوبت خاک، روش آبیاری نیز بر

مقادیر پارامترهای نفوذ مؤثر می‌باشد. شاتاناوی و العواد (۱۹۹۴) دریافتند که در یک بارندگی، سرعت نفوذ اندازه-گیری شده با استوانه‌های دوگانه خیلی بیشتر از شدت بارش متوسط بوده و بنابراین بر خلاف تخمین معادله نفوذ حاصل از روش استوانه‌های دوگانه، رواناب قابل توجهی حتی با شدت بارش های کم نیز بوجود می‌آید.

چوداری و همکاران (۲۰۰۶) و چو و همکاران (۱۹۸۷) نیز نتایج مشابهی با تحقیقات شاتاناوی و همکاران به دست آورده بودند. لوز و همکاران (۱۹۹۸) روش آماری ساده‌ای برای برآورد رواناب پتانسیل در سامانه‌های آبیاری دوار مرکزی بر مبنای نتایج تئوریک بدست آمده از حل عددی معادله ریچاردز ارائه دادند. این مدل برای شرایط سطح خاک بدون سله سطحی تهیه شده بود و لوز و هیرمن (۲۰۰۵) آن را برای خاک‌های دارای سله سطحی نیز بسط دادند. نتایج ارزیابی مدل حاصل نشان داد که بازده آن در محدوده ۹۰٪ تا ۹۸٪ بوده و تطابق خوبی با مقادیر محاسبه شده از معادله ریچاردز دارد. سیلوا (۲۰۰۷) آزمایش‌هایی را برای بررسی نفوذپذیری خاک در زیر سامانه آبیاری دوار مرکزی انجام داده و نتیجه گرفت که شدت نفوذ خاک، نه تنها با افزایش مقدار آب خاک (رطوبت خاک) بلکه با تراکم سطح خاک نیز، کاهش می‌یابد.

این محقق همچنین نشان داد که با افزایش شدت پخش آب، شدت نفوذپذیری خاک مخصوصاً در زمان‌های کمتر از ۲۵ الی ۳۰ دقیقه از شروع پخش، افزایش می‌یابد. در میان معادلات مختلف نفوذ، معادله کاستیاکوف بیشترین تطابق را با داده‌های مشاهداتی نشان داد. اسفندیاری (۱۳۸۰) در تحقیق خود در مورد تأثیر آبیاری با آبپاش تفنگی سیار بر روی نفوذپذیری نتیجه گرفت که در شرایط مختلف کاری آبپاش‌های تفنگی سیار، مدل تجربی کاستیاکوف در مقایسه با دیگر مدل‌های نفوذ بهترین همخوانی با داده‌های مشاهداتی را دارد و نیز نشان داد که افزایش فشار کارکرد آبپاش از هفت تا نه بار

اسپری نازل Ldn برابر با $\frac{1}{32}$ اینچ و در اسپری نازل-I-wob برابر با $\frac{5}{16}$ اینچ بود. قطعه زمین مذکور ابتدا تا عمق معینی شخم زده شده و سطح خاک برای انجام آزمایش‌ها آماده شد. تمامی مراحل انجام آزمایش اعم از فاصله شبکه‌بندی ظروف، شکل و اندازه‌ی ظروف، نحوه‌ی قرارگیری ظروف بر روی زمین، مدت زمان آزمایش، نحوه ثبت داده‌های سرعت و جهت باد و غیره براساس استانداردهای بین‌المللی ISO ۸۰۲۶ (۱۹۹۵) و ASAE S ۳۹۸.۱ (۱۹۸۵) صورت گرفت. بر اساس این استانداردها شبکه‌ی ظروف جمع‌آوری آب به صورت یک شبکه ۲۵×۲۵ متشکل از ۶۲۵ ظرف می‌باشد که با فاصله‌های ۱×۱ مترمربع بر روی زمین قرار گرفتند. همچنین آبپاش در مرکز شبکه قرار گرفته و ظرفی در زیر آن قرار نمی‌گیرد.

آبپاش مورد آزمایش با استفاده از یک چهارچوب فلزی در مرکز شبکه و رو به پایین همانند وضعیت موجود بر روی لترال دوارمرکزی ثابت نگه داشته شد شکل (۱). برای جلوگیری از تغییرات در فشار سامانه در اثر شرایط هیدرولیکی، تغییر ارتفاع و غیره، از تنظیم کننده‌های فشار استفاده شد. از یک ایستگاه هواشناسی دیجیتال سیار با نشان TFA MATRIX II برای اندازه‌گیری سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی و دمای هوا استفاده شد. در هر آزمایش، پس از اینکه آب به مدت یک ساعت بر روی شبکه ظروف جمع‌آوری آب پخش می‌شد، آزمایش متوقف شده و بلافاصله قرائت مقادیر آب درون ظروف انجام می‌پذیرفت. نحوه‌ی انجام آزمایش‌ها بدین ترتیب بود که ابتدا قبل از انجام هر آزمایش، نمونه‌ای از خاک مزرعه جهت اندازه‌گیری رطوبت اولیه آن تهیه می‌شد و سپس با استفاده از روش استوانه‌های دوگانه طبق دستورالعمل نشریه شماره ۲۳۴ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۲)، نفوذپذیری خاک در همان رطوبت اولیه اندازه‌گیری می‌شد. بلافاصله پس از اتمام آزمایش استوانه‌های دوگانه، به وسیله آبپاش در ارتفاع و فشار کارکرد مورد نظر، اقدام

باعث کاهش ضخامت سله و افزایش نفوذپذیری خاک شد. از سایر پژوهش‌های مشابه انجام گرفته در این زمینه می‌توان به تحقیقات سان و همکاران (۲۰۰۸) و لی‌یو و همکاران (۲۰۱۱) نیز اشاره نمود. کارلسو و همکاران (۲۰۱۱) پژوهشی برای اندازه‌گیری و مدل‌سازی رواناب در خاک‌های مختلف و با شدت بارش‌های مختلف در منطقه برزیل جنوبی انجام دادند و نتیجه گرفتند که با افزایش شدت بارش، شدت رواناب نیز افزایش می‌یابد.

در این تحقیق برای بررسی دقیق پدیده نفوذ در سامانه‌های آبیاری دوارمرکزی از نفوذسنج استوانه زهکش دار استفاده شد. به طور کلی اهداف اصلی این تحقیق عبارت بودند از بررسی دقیق پدیده نفوذ آب به خاک و عوامل موثر بر آن در سامانه‌های دوارمرکزی، ارزیابی عملکرد روش استوانه‌های دوگانه در اندازه‌گیری نفوذ در سامانه‌های دوارمرکزی و در نهایت ارزیابی چند مدل نفوذ آب به خاک.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقاتی کرکج دانشگاه تبریز انجام شد. قطعه زمین مسطحی به ابعاد ۳۰×۳۰ مترمربع برای انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد و برای تأمین دبی و فشار مورد نیاز از یک دستگاه الکترو پمپ که آب را از لوله رانش پمپ چاه عمیق به قطعه آزمایش منتقل می‌کرد، استفاده شد. مشخصات آب چاه واقع در ایستگاه پمپاژ در جدول (۱) ارائه شده است.

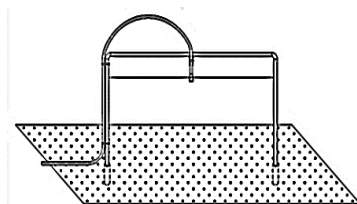
براساس نمودار ویلکاکس، آب مورد استفاده در کلاس C2S1 یعنی شوری متوسط و قلیائیت کم قرار می‌گیرد. خاک منطقه مذکور با داشتن مقادیر شن، سیلت و رس به ترتیب ۶۳/۶، ۲۴/۲ و ۱۲/۲ درصد جزء خاک‌های لوم شنی محسوب می‌گردد. برای انجام آزمایش‌ها، از دو نوع آبپاش ساخت شرکت سنینگر استفاده شد؛ آبپاش اول اسپری نوع Ldn از گروه اسپری نازل‌های با صفحه ثابت و آبپاش دوم اسپری نوع I-wob از گروه اسپری نازل‌های با صفحه آونگی می‌باشد. قطر نازل مورد استفاده در

تغییرات فشار کارکرد آبپاش (شدت پخش آب)، ارتفاع آبپاش و نوع آبپاش بر روی نفوذپذیری مشخص گردد. این اثرات در روش استوانه‌های دوگانه قابل تشخیص نیست که همین امر یکی از معایب کاربرد روش استوانه‌های دوگانه در برآورد نفوذپذیری در سامانه‌های آبیاری بارانی می‌باشد.

به پخش آب کرده و این بار در حین کار آبپاش، نفوذپذیری خاک با استفاده از حلقه زهکش دار اندازه‌گیری می‌شد. آزمایش‌ها در سه فشار کارکرد ۱۵، ۲۰ و ۲۵ پی‌اس‌آی و هم‌چنین در دو ارتفاع آبپاش ۱/۶ و ۲ متر برای دو نوع آبپاش در سه تکرار انجام گرفت تا تأثیر

جدول ۱ - مشخصات شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش‌ها

غلظت یون‌های محلول (meq/lit)									
SAR	Ca+Mg	Na+K	مجموع کاتیون‌ها	CO ₃ H	CL	SO ₄	مجموع آنیون‌ها	PH	EC (µmhos/cm)
۱/۲۶	۵/۲	۲/۰۷	۷/۲۷	۳/۶	۱	۲/۶۵	۷/۲۵	۷/۷۳	۷۲۰



شکل ۱ - نحوه قرارگیری اسپری نازل در مرکز شبکه

داخل این ظروف، روی ظروف بوسیله یک در پلاستیکی بسته شد. پس از شروع کار آبپاش، در فواصل زمانی پنج دقیقه، کل حجم آب پخش شده در ظرف مجاور استوانه (در داخل شبکه ظروف جمع آوری آب) و حجم رواناب جمع آوری شده در ظرف درون چاله اندازه‌گیری شدند. برای محاسبه‌ی کل حجم آب پخش شده در درون استوانه، حجم آب در درون ظرف جمع‌آوری آب در نسبت سطح مقطع استوانه به سطح مقطع ظرف جمع‌آوری آب ضرب شد. از تفاضل کل حجم آب پخش شده در درون استوانه و حجم رواناب، حجم آب نفوذ کرده در زمان‌های متوالی بدست آمد و در نتیجه نفوذ تجمعی و متوسط شدت نفوذ برای هر آبپاش در فشار کارکرد و ارتفاع مشخص محاسبه گشت.

اندازه‌گیری نفوذ با استفاده از روش استوانه زهکش‌دار در این روش از استوانه‌ای با قطر تقریبی ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد که در کف و در نزدیکی لبه پاشنه، استوانه دارای یک لوله خروجی برای هدایت رواناب به خارج از استوانه بود. در ناحیه پخش آب سه استوانه با فواصل مختلف نسبت به محل قرارگیری آبپاش نصب شد، تا نقطه‌ای که تحت بیشترین مقدار پخش بوده و در نتیجه بیشترین مقدار رواناب را داراست مشخص گردد. استوانه‌ها تا عمقی که لوله زهکش آنها با سطح خاک تماس گردد در خاک فرو برده شدند. ظروفی برای جمع‌آوری رواناب خروجی از استوانه‌ها در فاصله حدود نیم متری از آنها در داخل چاله-ای به عمق نیم متر قرار گرفتند. این ظروف بوسیله شیلنگی به لوله زهکش استوانه‌ها متصل شدند، همچنین برای جلوگیری از ریزش آب پخش شده از آبپاش‌ها به

برای بررسی اثر هریک از عامل های آزمایشی بر روی داده ها از طرح آزمایشات فاکتوریل با طرح پایه کاملا تصادفی استفاده شد. جدول (۳) عامل های آزمایشی و سطوح مربوط به هر کدام را نشان می دهد. در مجموع آزمایش شامل ۱۲ تیمار برای هر آبیاری با سه تکرار بود و نتایج با نرم افزار آماری SPSS استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. هم چنین در جدول (۴) سطوح مربوط به عامل های آزمایشی نشان داده شده است.

در این پژوهش چهار مدل نفوذ آب به خاک برای هر دو روش نفوذسنجی مورد ارزیابی قرار گرفتند که مشخصات آن ها در جدول (۲) مشخص شده است. در این جدول $I(t)$ نفوذ تجمعی و $i(t)$ شدت نفوذ می باشد. برای بررسی دقت مدل ها در مقایسه با مشاهدات مزرعه ای از دو پارامتر $R2$ (ضریب تعیین) و SE (خطای استاندارد) استفاده شد. هر مدلی که بیشترین $R2$ و کمترین SE را داشت به عنوان مدل ارجح نفوذ آب به خاک انتخاب شد.

جدول ۲- مدل های نفوذ آب به خاک و ضرایب آن ها

نام مدل	معادله برای شدت نفوذ یا نفوذ تجمعی	ضرایب
فیلیپ	$I(t) = st^{1/2} + A_p t$	s, A_p
گرین و امپت	$i(t) = k + b/I(t)$	b, k
کاستیاکوف	$I(t) = at^b$	a, b
کاستیاکوف تعدیل شده	$I(t) = at^b + ct$	a, b, c

جدول ۳- عامل های آزمایشی و سطوح مربوط به هر عامل

سطوح	عامل ها		
	A (فشار کارکرد)	B (ارتفاع آبیاش)	C (نوع آبیاش)
۱	PSI ۱۵	۲ متر	LDN
۲	PSI ۲۰	۱/۶ متر	I-wob
۳	PSI ۲۵	-	-

جدول ۴- سطوح مربوط به عامل های آزمایشی در هر آزمایش

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
نوع آبیاش	Ldn	Ldn	Ldn	Ldn	Ldn	Ldn	Ldn	I-wob	I-wob	I-wob	I-wob	I-wob
فشار کارکرد (psi)	۲۰	۲۵	۱۵	۱۵	۲۰	۲۵	۲۵	۲۰	۲۵	۱۵	۲۰	۱۵
ارتفاع آبیاش (m)	۲	۱/۶	۲	۱/۶	۱/۶	۲	۱/۶	۲	۲	۲	۱/۶	۱/۶

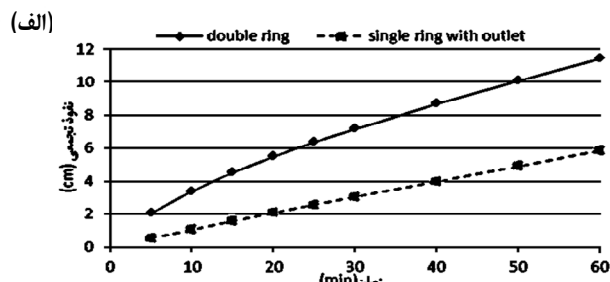
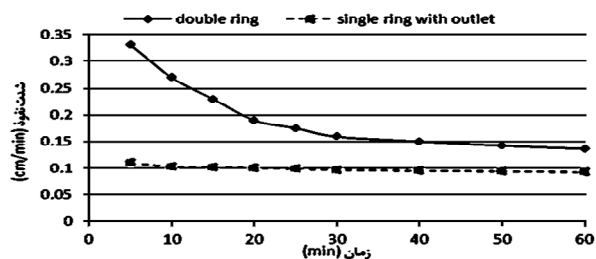
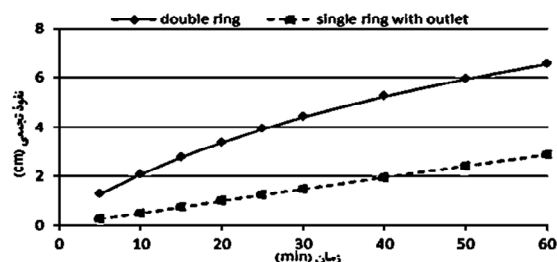
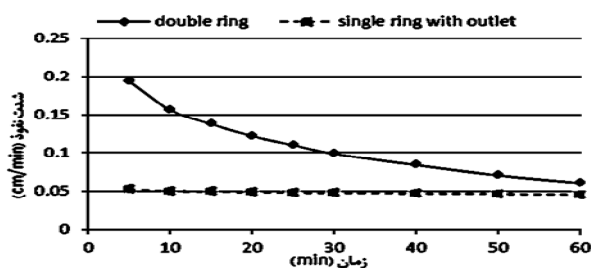
نتایج و بحث

می دهد. همان طور که ملاحظه می شود، شدت نفوذ ابتدا در روش استوانه های دوگانه خیلی بیشتر از روش استوانه زهکش دار است، این اختلاف تا دقیقه سی ام نیز زیاد بوده و رفته رفته کاهش می یابد. وجود اختلاف زیاد در ابتدا و کاهش آن در ادامه ناشی از تغییرات زیاد نفوذپذیری خاک در استوانه های دوگانه است که از تغییر شدید رطوبت خاک حاصل می شود، زیرا در ابتدای آزمایش رطوبت خاک کم بوده و اختلاف پتانسیل ماتریک خاک در لایه فوقانی زیاد است، از طرفی در این روش سطح خاک مستغرق بوده و لذا محدودیت منبع آب وجود ندارد و نفوذپذیری خاک عامل اصلی تعیین کننده یا محدود

برای مقایسه پارامترهای نفوذ اندازه گیری شده به وسیله استوانه زهکش دار زیر آبیاش دوار مرکزی با استوانه های دوگانه از روش مقایسه میانگین دو جامعه ای جفت شده با استفاده از آزمون t استفاده شد. نتایج مقایسه نشان داد که نفوذ تجمعی و شدت نفوذ اندازه گیری شده در دوروش اختلاف زیادی باهم داشته و میانگین نفوذ تجمعی و شدت نفوذ در روش استوانه های دوگانه تقریباً دو برابر روش استوانه زهکش دار است. وجود این اختلاف با نتایج شاتانای و العواد (۱۹۹۴) مطابقت دارد. شکل (۲) منحنی های نفوذ تجمعی و شدت نفوذ هر دو روش نفوذسنجی را برای دو آزمایش (۵ و ۱۱) نشان

نماید. لذا تا قبل از مستغرق شدن سطح خاک تحت پوشش و ایجاد رواناب، منبع تغذیه یا موجودیت آب به عنوان عامل محدود کننده نفوذ مطرح می‌گردد و شدت نفوذ آب به خاک برابر شدت پخش آب از آبپاش می‌باشد که مقدار تقریباً ثابتی است. بهرحال یک سیر نزولی در شدت نفوذپذیری خاک در ادامه آزمایش مشاهده می‌گردد.

کننده میزان نفوذ می‌باشد. با افزایش رطوبت خاک و کاهش اختلاف پتانسیل ماتریک عملاً نفوذپذیری خاک کم می‌شود. ولی در روش نفوذ سنجی با استوانه‌ای زهکش دار این تغییرات زیاد شدت نفوذ در طول آزمایش مشاهده نمی‌شود زیرا در این روش آب پخش شده از آبپاش به عنوان منبع تغذیه در سطح خاک عمل می‌-



شکل ۲- منحنی‌های شدت نفوذ و نفوذ تجمعی دو روش نفوذسنجی در دو آزمایش؛ الف- آزمایش ۱۱ و ب- آزمایش ۵

جدول ۵- تجزیه واریانس تاثیر عامل‌های آزمایشی بر روی شدت نفوذ

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
۲/۸۴ ^{NS}	۱/۶۶۵ × ۱۰ ^{-۳}	۳/۳۳ × ۱۰ ^{-۳}	۲	تکرار
۱۶۷/۳۷۷ ^{**}	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۲	A
۹/۰۸۹ ^{**}	۵/۳۲۹ × ۱۰ ^{-۳}	۵/۳۲۹ × ۱۰ ^{-۳}	۱	B
۲/۹۹۸ × ۱۰ ^{-۳} ^{**}	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۱	C
۰/۴۲۳ ^{NS}	۲/۴۷۸ × ۱۰ ^{-۳}	۴/۹۵۵ × ۱۰ ^{-۳}	۲	A×B
۱/۴۹۵ ^{NS}	۸/۷۶۷ × ۱۰ ^{-۳}	۱/۷۵۳ × ۱۰ ^{-۳}	۲	A×C
۱/۵۰۱ ^{NS}	۸/۸۰۱ × ۱۰ ^{-۳}	۸/۸۰۱ × ۱۰ ^{-۳}	۱	B×C
۰/۷۲۸ ^{NS}	۴/۲۶۷ × ۱۰ ^{-۳}	۸/۵۳۴ × ۱۰ ^{-۳}	۲	A×B×C
	۵/۸۶۳ × ۱۰ ^{-۳}	۰/۰۰۰	۲۲	خطای آزمایشی
		۰/۱۸۱	۳۶	کل

تأثیر عامل های آزمایشی بر روی نفوذ آب به خاک

wob بوده و در نتیجه با کاربرد آبش Ldn آب با شدت بیشتری روی استوانه نفوذ زهکش دار پخش شده است و بدلیل بالا بودن پتانسیل نفوذپذیری خاک در زمان های اولیه از شروع پخش آب، عملا مقدار آب نفوذ یافته بیشتر شده است. شکل (۵) الگوی توزیع دو آبش را در فشار کارکرد و ارتفاع یکسان نشان می دهد. مقایسه الگوهای توزیع بیانگر آنست که ضریب یکنواختی آبش I-wob بیشتر از آبش Ldn می باشد ولی عمق آب پخش شده به وسیله آبش Ldn بویژه در مناطق با حداکثر عمق دریافتی خیلی بیشتر از آبش I-wob می باشد (در این دو آزمایش متوسط سرعت باد تقریبا باهم برابر و در حدود سه متر بر ثانیه بود). بدیهی است که تأثیر عمق پخش آب یا به عبارت بهتر دبی آبش بر روی میزان آب نفوذ یافته فقط تا زمانی است که شدت پخش آب کمتر از شدت نفوذپذیری خاک باشد.

در جدول (۶) مشاهده می شود که هرچند میزان خالص آب نفوذ یافته در زیر آبش Ldn بیشتر از آبش I-wob است، ولی درصد آب نفوذ یافته نسبت به آب پخش شده در آبش I-wob بیشتر از آبش Ldn بوده و همچنین درصد رواناب نیز در آبش I-wob کمتر از آبش Ldn می باشد که نشان دهنده بهتر بودن عملکرد آبش I-wob است. نتایج تجزیه واریانس نفوذ تجمعی در جدول (۷) نشان داده شده است.

همانطور که در این جدول ملاحظه می شود، تأثیر عامل A (فشار کارکرد) و عامل C (نوع آبش) بر روی نفوذ تجمعی در سطح احتمال ۱٪ و تأثیر عامل B (ارتفاع آبش) در سطح احتمال ۵٪ معنی دار می باشد اما اثرات متقابل $A \times B$ ، $A \times C$ ، $B \times C$ و $A \times B \times C$ بر روی نفوذ تجمعی معنی دار نیست. نحوه تأثیر عامل های آزمایشی بر روی نفوذ تجمعی نیز مشابه شدت نفوذ شکل- های (۳ و ۴) بوده و مطابق انتظار با افزایش فشار کارکرد و کاهش ارتفاع آبش، نفوذ تجمعی افزایش می یابد. همچنین نفوذ تجمعی در آبش Ldn بیشتر از آبش I-wob است.

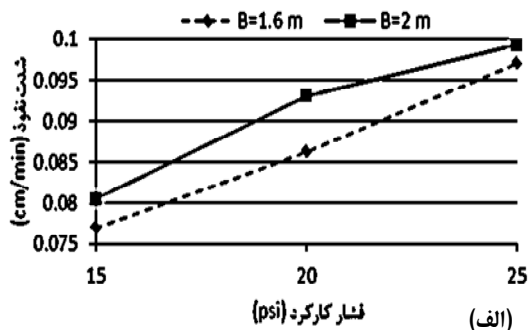
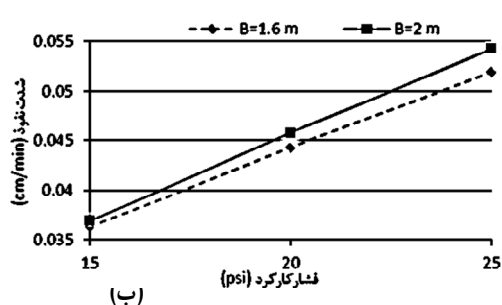
جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس مربوط به شدت نفوذ اندازه گیری شده در روش استوانه زهکش دار را در قالب طرح آزمایشی مذکور نشان می دهد. از این جدول استنباط می شود که تأثیر عامل A (فشار کارکرد)، عامل B (ارتفاع آبش) و عامل C (نوع آبش) بر روی شدت نفوذ در سطح احتمال ۱٪ معنی دار می باشد اما اثرات متقابل $A \times B$ ، $A \times C$ ، $B \times C$ و $A \times B \times C$ بر روی شدت نفوذ معنی دار نیست. در شکل (۳)، نمودار تأثیر متقابل فشار کارکرد و ارتفاع آبش در هر سطح ثابت نوع آبش بر روی شدت نفوذ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، با افزایش فشار کارکرد از ۱۵ پی اس آی به ۲۵ پی اس آی، شدت نفوذ نیز افزایش می یابد، ولی با افزایش ارتفاع آبش از ۱/۶ متر به دو متر، شدت نفوذ کاهش می یابد.

دلیل افزایش شدت نفوذ با افزایش فشار کارکرد، ریزتر شدن قطرات آب خروجی و در نتیجه کاهش انرژی برخورد قطره با سطح خاک و در نهایت کمتر شدن ضخامت سلهی ایجاد شده بر سطح خاک می باشد. بنابراین مقدار شدت نفوذ نیز بیشتر می شود. اما دلیل کاهش شدت نفوذ با افزایش ارتفاع آبش، افزایش انرژی پتانسیل ثقلی قطرات خروجی از آبش و در نتیجه بیشتر شدن سرعت قطرات در زمان برخورد به سطح خاک می باشد، زیرا در این حالت سله با ضخامت بیشتری بر روی سطح خاک تشکیل شده و باعث کاهش نفوذپذیری خاک می شود.

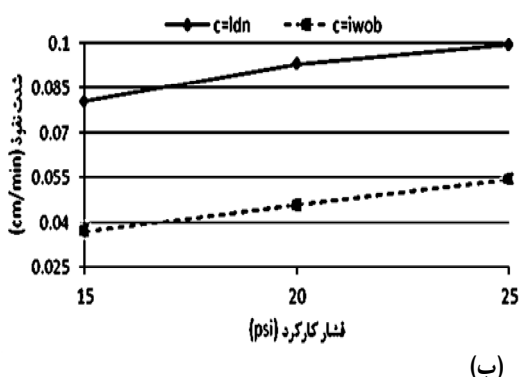
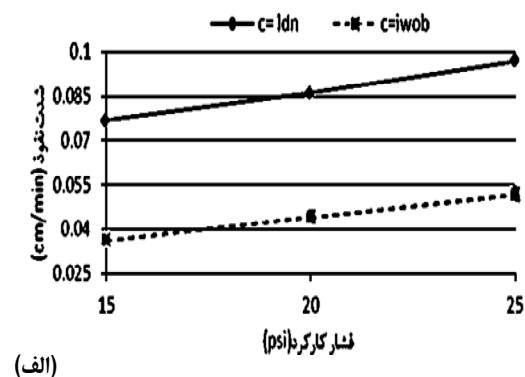
نتایج ذکر شده در فوق با یافته های اسفندیاری (۱۳۸۰)، چو و همکاران (۱۹۸۷) و سیلوا (۲۰۰۷) مطابقت دارد. در شکل (۴) نمودار تأثیر متقابل فشار کارکرد و نوع آبش در هر سطح ثابت ارتفاع آبش بر روی شدت نفوذ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می شود شدت نفوذ حاصله در آبش Ldn بیشتر از آبش I-wob می باشد. همانطور که قبلا نیز ذکر شد، نازل آبش Ldn بزرگتر از نازل آبش I-

مقدار نفوذ نیز در هر دو آبپاش مربوط به فشار کارکرد ۱۵ پی‌اس‌آی و ارتفاع آبپاش دو متر آزمایش‌های (۳ و ۱۰) می‌باشد.

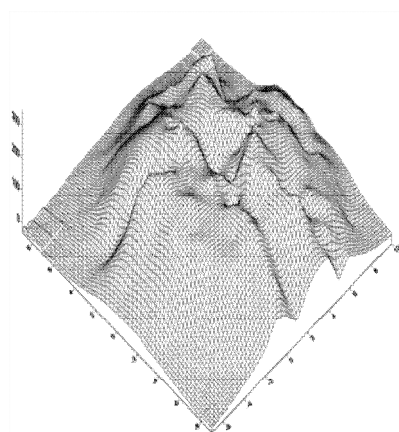
در نتیجه، ماکزیمم میزان نفوذ هم در آبپاش Ldn و هم در آبپاش I-wob مربوط به فشار کارکرد ۲۵ پی‌اس‌آی و ارتفاع آبپاش ۱/۶ متر (آزمایش‌های ۷، ۲) می‌باشد. کمترین



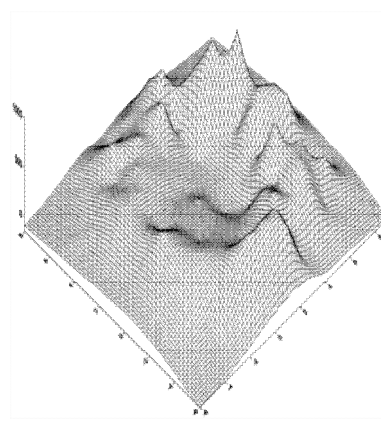
شکل ۳- نمودار تاثیر متقابل فشار کارکرد و ارتفاع آبپاش در آبپاش‌های الف- Ldn و ب- I-wob



شکل ۴- نمودار تاثیر متقابل فشار کارکرد و نوع آبپاش در ارتفاع آبپاش الف- ۲ متری و ب- ۱/۶ متری



ب- CU=۵۴/۵ %



الف- CU=۴۰/۷۴ %

شکل ۵- الگوی توزیع آبپاش‌ها در شرایط کارکرد با فشار ۲۵ پی‌اس‌آی و ارتفاع نصب ۱/۶ متری برای دو نوع آبپاش: الف Ldn و ب I-wob

جدول ۶- مقادیر عمق و درصد آب نفوذ، درصد رواناب و ضخامت سله در آزمایش‌ها

شماره آزمایش	عمق پنش (CM)	عمق آب نفوذ یافته (CM)	آب نفوذ یافته %	رواناب %	ضخامت سله (mm)
۱	۶/۴۸۶	۵/۷۲۶	۸۸/۲۸	۱۱/۷	۴/۲
۲	۷/۲۲۲	۶/۴۹۲	۸۹/۸۹	۱۰/۱	۲/۱
۳	۵/۹۵۴	۵/۱۱۴	۸۵/۸۹	۱۴/۱	۴/۶
۴	۵/۹۳	۵/۲۶	۸۷/۷	۱۱/۴	۳/۳
۵	۶/۶۴	۵/۸۴	۸۷/۹۵	۱۲/۱	۲/۸
۶	۷/۰۹۸	۶/۴۰۸	۹۰/۲۸	۹/۷	۲/۶
۷	۳/۵	۳/۳۳	۹۵/۱۴	۴/۸	۱/۵
۸	۳/۰۳	۲/۸۱	۹۲/۷۴	۷/۱	۲/۳
۹	۳/۴۹	۳/۲۴	۹۲/۸۴	۷/۱	۲/۲
۱۰	۲/۵۵	۲/۳	۹۰/۲	۹/۹	۲/۸
۱۱	۳/۰۸۴	۲/۸۷۴	۹۳/۲	۶/۹	۱/۹
۱۲	۲/۵۶	۲/۳۱	۹۰/۲۳	۹/۷	۲/۵

جدول ۷- تجزیه واریانس تاثیر عامل های آزمایشی بر روی نفوذ تجمعی

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییر
۳/۱۱ ^{NS}	۰/۰۷۹	۲	۰/۱۵۷	تکرار
۱۵۱/۶۴۳ ^{**}	۳/۸۳	۲	۷/۶۶	A
۴/۴۴ [*]	۰/۱۱۱	۱	۰/۱۱۱	B
۳۲۰/۱۹۶ ^{**}	۸۰/۰۴۹	۱	۸۰/۰۴۹	C
۰/۲۱۴ ^{NS}	۰/۰۰۵	۲	۰/۰۱۱	A×B
۳/۰۶۹ ^{NS}	۰/۰۷۸	۲	۰/۱۵۵	A×C
۰/۰۱۹ ^{NS}	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۰۰	B×C
۰/۶۱۸ ^{NS}	۰/۰۱۶	۲	۰/۰۳۱	A×B×C
	۰/۰۲۵	۲۲	۰/۵۵۶	خطای آزمایشی
		۳۶	۷۵۶/۵۳۷	کل

خاک است در روش استوانه‌های دوگانه بسیار بزرگتر از روش استوانه زهکش دار و استوانه‌های دوگانه ضرایب معادلات نفوذ ذکر شده در جدول (۲)، تعیین شد. جدول (۸) متوسط مقدار ضرایب معادلات را در هر دو روش نفوذسنجی نشان می‌دهد. در مدل گرین امپت ضریب K که بیانگر هدایت هیدرولیکی خاک است اختلاف کمی در دو روش نفوذسنجی داشته و در روش نفوذسنجی استوانه‌های دوگانه کمی بزرگتر می‌باشد ولی مقدار ضریب b در روش استوانه زهکش دار بسیار کمتر از روش استوانه‌های دوگانه است که با توجه به اینکه مقدار نفوذ در روش استوانه زهکش دار کمتر است، قابل توجیه می‌باشد. در مدل فیلیپ ضریب S که بیانگر ضریب جذبی

خاک است در روش استوانه‌های دوگانه بسیار بزرگتر از روش استوانه زهکش دار می‌باشد که ناشی از بالا بودن میزان نفوذپذیری خاک در روش استوانه‌های دوگانه است. همچنین ملاحظه می‌شود که ضریب c در مدل کاستیاکوف تعدیل شده که بیانگر شدت نفوذ نهایی خاک می‌باشد در روش استوانه زهکش دار بزرگتر از روش استوانه‌های دوگانه است زیرا مدت زمان آزمایش در روش استوانه زهکش دار با توجه به زمان آبیاری و با لحاظ نمودن حداقل سرعت حرکت دستگاه، یک ساعت

جدول ۸- متوسط مقدار ضرایب مدل‌های نفوذ در هر دو روش نفوذسنجی

کاستیاکوف تعدیل شده		کاستیاکوف		فیلیپ		گرین امپت		روش‌های نفوذسنجی
Se	R ²	Se	R ²	Se	R ²	Se	R ²	
۰/۰۲۶	۰/۹۹۷۶	۰/۰۱	۰/۹۹۸۸	۰/۰۵۶	۰/۹۹۷۳	۰/۰۰۱۴	۰/۸۸۱	استوانه زهکش دار
۰/۱۸۵	۰/۹۹۶۶	۰/۲۱	۰/۹۹۶۲	۰/۲۴۶	۰/۹۹۵۶	۰/۰۴۷۴۱	۰/۷۶۳۴	استوانه‌های دوگانه

نفوذ محدودیت مدل کاستیاکوف در زمان‌های طولانی مرتفع می‌گردد. دقت تخمینی بالاتر مدل کاستیاکوف در تحقیقات متعدد مانند کلمنس (۱۹۸۳)، کلاسنیتزر و همکاران (۱۹۹۸)، سیلوا (۲۰۰۷) و نیشابوری و همکاران (۱۳۸۸) نیز گزارش شده است. در روش نفوذسنجی استوانه‌های دوگانه نیز مدل گرین امپت کمترین مقدار خطای استاندارد را داشته ولی بالاترین مقدار ضریب تعیین مربوط به مدل کاستیاکوف تعدیل شده می‌باشد که ناشی از طولانی بودن زمان نفوذ (سه ساعت) در این روش می‌باشد. همانطور که بسیاری از محققین از قبیل اسمیت (۱۹۷۶) و هاورکمپ و همکاران (۱۹۸۸) نیز کاربرد مدل کاستیاکوف تعدیل شده را در زمان‌های طولانی که معادله اصلی کاستیاکوف با محدودیت مواجه می‌شود، پیشنهاد کرده‌اند.

تعیین شد در صورتی که در روش استوانه‌های دوگانه، آزمایش تا رسیدن به شدت نفوذ نهایی خاک یعنی حدود سه ساعت ادامه می‌یافت. بدیهی است که در آزمایش‌های نفوذسنجی با استوانه زهکش دار در زمان قطع پخش آب و اتمام آزمایش، شدت نفوذ حاصله هنوز به حد نهایی خود نرسیده بود. البته مقایسه منحنی‌های نفوذ در شکل (۲) تا زمان ۶۰ دقیقه ارائه شده است. مقادیر خطای استاندارد و ضریب تعیین برای هر دو روش نفوذسنجی در جدول (۹) درج شده است. ملاحظه می‌شود که در روش نفوذسنجی با استوانه زهکش دار مدل گرین امپت از مقدار خطای استاندارد بسیار کمتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار می‌باشد و مدل کاستیاکوف بیشترین مقدار ضریب تعیین را دارد، که نشانگر کارایی بهتر این دو مدل در این روش نفوذسنجی می‌باشند. در روش نفوذسنجی با استوانه زهکش دار به دلیل کوتاه بودن زمان

جدول ۹- متوسط مقادیر ضریب تعیین و خطای استاندارد مدل‌های نفوذ در هر دو روش نفوذسنجی

کاستیاکوف تعدیل شده			کاستیاکوف		فیلیپ		گرین امپت		روش‌های نفوذسنجی
c	b	a	b	a	A _p	S	b	K	
۰/۰۳۳	۰/۹	۰/۰۶	۰/۹۴۷۵	۰/۰۹۲	۰/۰۶۶۳	۰/۰۴۴۳	۰/۰۰۷	۰/۰۶۸۴۲	استوانه زهکش دار
۰/۰۱	۰/۵۸	۰/۶۶	۰/۶۱۴	۰/۶۲۴	۰/۰۳۱	۰/۷۶۸	۰/۱۵۷	۰/۰۸۸۵	استوانه‌های دوگانه

نتیجه‌گیری

نتایج مقایسه نشان داد که مقادیر شدت نفوذ و نفوذ تجمعی در روش استوانه‌های دوگانه در مزرعه مورد آزمایش تقریباً دو برابر روش استوانه زهکش دار بود. با بررسی اثرات عوامل فشار کارکرد، ارتفاع آبپاش و نوع

در پژوهش حاضر از روش جدید استوانه‌ای زهکش دار برای اندازه‌گیری نفوذ در سامانه آبیاری دوار مرکزی استفاده شد و نتایج آن با نتایج روش نفوذ-سنجی با استوانه‌های دوگانه مورد مقایسه قرار گرفت.

به خاک نشان داد که در روش نفوذسنجی با استوانه زهکش دار، مدل کاستیاکوف و در روش نفوذسنجی با استوانه‌های دوگانه، مدل کاستیاکوف تعدیل شده بیشترین مقدار ضریب تعیین را دارا می‌باشند، همچنین در هر دو روش نفوذسنجی مدل گرین امپت از کمترین مقدار خطای استاندارد نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار بود.

آپاش بر روی نفوذپذیری خاک، مشاهده شد که با افزایش فشار کارکرد، شدت نفوذ و نفوذ تجمعی افزایش می‌یابد ولی با افزایش ارتفاع آپاش، مقادیر شدت نفوذ و نفوذ تجمعی کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که مقادیر شدت نفوذ و نفوذ تجمعی با کاربرد آپاش Ldn بیشتر از آپاش I-wob می‌باشد. ارزیابی مدل‌های نفوذ آب

فهرست منابع

۱. اسفندیاری، ص.، ۱۳۸۰. بررسی اثرات آبیاری با آپاش تفنگی سیار بر روی تشکیل سله و نفوذ آب به خاک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۲. نیشابوری، م.، فاخری فرد، ا.، فرسادی زاده، د.، صادقیان، ن. و خیری، ج.، ۱۳۸۸. ضرایب مدل‌های نفوذ فیلیپ، کاستیاکوف و کاستیاکوف اصلاح شده بر مبنای جرم مخصوص ظاهری و رطوبت اولیه خاک. مجله دانش آب و خاک. جلد ۱۹/۱، شماره ۲: ۶۹-۵۷.
۳. بی نام، ۱۳۸۲. مجله شماره ۲۳۴، راهنمای اندازه گیری سرعت نفوذ با روش استوانه نفوذسنج. دفتر امور فنیو استناداردمعاونت مرفنی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی، جمهوری اسلامی ایران.
4. ASAE Standard S398.1. 1985, (reaffirmed: 2007). Procedure for sprinkler testing and performance reporting. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. St. Joseph, MI49085-9659, USA.
5. Carlesso, R., Spohr, R.B., Eltz, F.L.F and Flores, C.H. 2011. Runoff estimation in southern Brazil based on Smith's modified model and the Curve Number method. *Agricultural Water Management*. 98:1020-1026.
6. Chowdary, V.M., Rao, M.D and Jaiswal, C.S.2006. Study of infiltration process under different experimental conditions. *Agricultural Water Management*. 83:69-78.
7. Chu, S.T., Onstad, C.A and Rawls, W.J.1987. Macropores in the soil infiltration process. *American Society of Agricultural Engineers Trans*. Paper no. 87-2532.
8. Clausnitzer, V., Hopmans, J.W and Staw, J.L. 1998. Parameter uncertainty analysis of common infiltration models. *Soil Science Society of America Journal*. 62:1477-1487.
9. Clemmens, A.J.1983. Infiltration equations for border irrigation models. In: Proc. Conference on Advance in Infiltration, 12-13 December, Chicago, IL. USA: 266-274.
10. DeBoer, D.W and Chu, S.T.2001. Sprinkler technologies, soil infiltration, and runoff. *Irrigation and Drainage Engineering*. 127 (4): 234-239.
11. Haverkamp, R., Kutlick, M., Parlange, J.Y., Rendon, I and Krejca, M.1988. Infiltration under ponded conditions: 2. Infiltration equation tested for parameter time-dependence and predictive use. *Soil Science Society of American Journal*. 145(5):317-329.
12. ISO-8026 Standard. 1995. Agricultural irrigation equipment - sprayers - general requirements and test methods. ISO copyright office, Geneva.
13. Keller, J and Bliesner, R.D. 1990. Sprinkle and trickle irrigation, VanNostrand Reinhold New York.
14. Liu, H., Lei, T.W., Zhao, J., Yuan, C.P., Fan, Y.T and Qu, L.Q.2011. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the run off-on-out method. *Journal of Hydrology*. 396:24-32.

15. Luz, P.B., Fernandes, M.L and Goncalves, M.C.1998. Reliable estimate of runoff in center pivot irrigation: statistical approach. In: Proc. of the 16e Congress Mondial de Science du Sol, Poster 2-658, ISSS, August 19–25, Montpellier, France: 577–593.
16. Luz, P.B and Heermann, D.2005. A statistical approach to estimating runoff in center pivot irrigation with crust conditions. *Agricultural Water Management*. 72:33–46.
17. Mohamoud, Y.M.1991. Evaluating Green and Ampt infiltration parameter values for filled and crusted soils. *Journal of Hydrology*.123 (1):25–38.
18. 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, vol. III, Tecnomack: 783–792.
19. Silva, L.L.2007. Fitting infiltration equations to center-pivot irrigation data in a Mediterranean soil. *Agricultural Water Management*. 94:83–92.
20. Smith, R.E.1976. Approximation for vertical infiltration rate patterns. *American Society of Agricultural Engineers Trans*. 211:505-509.
21. Sun, Z., Kang, Y and Jiang, S. 2008. Effects of water application intensity, drop size and water application amount on the characteristics of topsoil pores under sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management*. 95:869-876.