

بررسی، مقایسه و شبیه‌سازی رواناب در خاک‌های سبک و سنگین تحت شرایط آبیاری بارانی با ماشین تفنگی

بهزاد قربانی^۱

تاریخ ارسال: ۱۳۹۵/۰۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۱

چکیده

در سامانه‌های آبیاری بارانی متحرک همانند آبپاش تفنگی، وقتی شدت پاشش لحظه‌ای با فشار کم سامانه توأم می‌شود و از شدت نفوذ نهایی خاک تجاوز می‌کند، پتانسیل ایجاد رواناب به قدری افزایش می‌یابد که موجب فرسایش خاک می‌شود. هدف این تحقیق بررسی، مقایسه و شبیه‌سازی رواناب تحت شرایط آبیاری بارانی با آبپاش تفنگی روی دو نوع خاک سبک و سنگین و دو عملیات زراعی جویچه و کرت بود. آزمایش‌ها روی پلات‌های جویچه و کرت با سه تکرار و با شیب یکنواخت ۰/۶۷ درصد انجام شدند. برای تولید باران از یک دستگاه ماشین تفنگی از نوع قرقره‌ای به طول ۲۰۰ متر و با سه سرعت متفاوت استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد با توجه به نوع بافت خاک، آبیاری بارانی با این ماشین با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه منجر به تولید رواناب سطحی روی خاک‌های سنگین بافت در دو عملیات زراعی جویچه و کرت با میانگین ضریب رواناب ۰/۱۵ می‌شود، ولی در خاک‌های سبک بافت روانابی مشاهده نمی‌شود (ضریب رواناب برابر صفر). بنابراین یکی از راه‌های مقابله با مشکل رواناب و در نتیجه افزایش بازده آبیاری استفاده از این سامانه آبیاری روی خاک‌های سبک بافت است. هر چه سرعت حرکت ماشین کم‌تر باشد، امکان تولید رواناب بیشتر خواهد بود. در این تحقیق، افزون بر آزمایش میدانی، نتایج شبیه‌سازی با مدل EUROSEM نشان داد این مدل قادر است رواناب را با همبستگی بالا ($R > 0.90$) و حداقل میانگین خطای مربعات ($RMSE < 0.2$) به خوبی شبیه‌سازی کند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، رواناب، جویچه، فرسایش، کرت، EUROSEM

^۱ دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، همراه: ۰۹۱۳۱۱۰۴۰۴۷@behzad.ghorbani55@gmail.com

مقدمه

در روش های مختلف آبیاری بارانی، شدت پاشش آبپاش ها بر مبنای شدت نفوذ نهایی آب به خاک مشخص می شود. هرگاه شدت پاشش که تحت عوامل مختلفی ممکن است تغییر کند، از شدت نفوذ پذیری خاک تجاوز کند پتانسیل ایجاد رواناب سطحی افزایش می یابد. در بین روش های مختلف آبیاری بارانی، کاربرد سامانه های بارانی متحرک MSIS نظیر ماشین های دوار مرکزی و آبپاش تفنگی به طور فزاینده ای در بسیاری از کشورهای جهان از جمله آمریکا و بریتانیا گسترش یافته است (گیلی، ۱۹۹۲ و بن هور ۱۹۹۴). علت رونق روش های بارانی (MSIS) پوشش زیاد مزرعه، سهولت کاربرد و قابلیت اتوماسیون آنها است. اما عده زیادی از پژوهشگران مشکل رواناب را برای سامانه MSIS گزارش کرده اند. زیرا این سامانه طوری طراحی می شود که مقدار مشخصی آب را در یک مدت کوتاه به مزرعه وارد کند، ولی شدت پاشش لحظه ای وقتی با فشار کم سامانه توأم شود مشکل رواناب به قدری افزایش می یابد که موجب فرسایش می شود (قربانی، ۲۰۰۹). علیرغم امتیازهای خوب آبپاش تفنگی و گسترش آن در کشورهای پیشرفته، گزارش های دریافتی حاکی از عدم توسعه این روش آبیاری در ایران است. به نظر می رسد علت عدم موفقیت این روش در نقاط مختلف کشور بی توجهی به عوامل محیطی از جمله سرعت باد، خصوصیات خاک و راه های مقابله با پدیده رواناب باشد. شدت رواناب بستگی به نوع خاک، پستی و بلندی سطح زمین، مدیریت، مشخصات هیدولیکی آبپاش ها و نوع گیاه دارد. بن هور (۱۹۹۴) در گزارشی می نویسد: مقدار رواناب به عوامل دیگری از جمله شدت پاشش، عمق آب آبیاری، رطوبت اولیه خاک، نوع خاک و عملیات زراعی نیز بستگی دارد. با همین استدلال در اغلب اوقات بارش های

سنگین کوتاه مدت نیز موجب رواناب و نفوذ عمقی می شود (ساندرا، ۲۰۱۰).

پژوهشگران مشکل رواناب را برای سامانه های کم فشار نیز گزارش کرده اند. مثلاً طبق گزارش گیلی (۱۹۹۲) چون هزینه انرژی ارتباط مستقیم با فشار سامانه دارد، این ارتباط موجب می شود که برخی کشاورزان فشار سامانه را کاهش دهند. کاهش فشار سامانه موجب کاهش شعاع پاشش، افزایش شدت پاشش لحظه ای و در نهایت ایجاد رواناب روی بسیاری از خاک ها، به جز خاک های بسیار سبک، می شود. نتیجه آن که رواناب و فرسایش حاصل از آن روی عمق آب آبیاری و میزان تولید اثر خواهد گذارد. طبق گزارش لیتلی و همکاران (۱۹۸۴) و بن هور و همکاران (۱۹۹۵)، رواناب می تواند از سه طریق روی میزان محصول اثر بگذارد:

۱- کاهش بازده آبیاری به علت تلفات آب ناشی از رواناب، ۲- فرسایش خاک، شستشوی کود و سموم و خروج آنها از مزرعه و ۳- تجمع آب در چاله های سطحی خاک و توزیع غیر یکنواخت آب در مزرعه که موجب کاهش بازده محصول می شود.

از آنجا که در سامانه آبپاش تفنگی انعطاف پذیری بالا و هزینه ها در واحد سطح کم ولی فشار زیاد، بازده آبیاری کم و شدت رواناب و فرسایش زیاد است، برخی از پژوهشگران را بر آن داشت که برای کاهش این مشکلات این سامانه را با دقت بیشتری طراحی کنند. لذا رولیم و تیکسیرا (۲۰۱۶)، نرم افزار Enrolador را برای طراحی سامانه آبپاش تفنگی ساختند و با داده های یک مزرعه ای آزمایشی در منطقه آلتنجو در کشور پرتغال عوامل طراحی را اعتبار سنجی کردند. نتیجه مطالعات آنها نشان داد که مدل به خوبی شاخص های طراحی را شبیه سازی می کند.

ویلسون (۱۹۷۸) می نویسد هر چند بین رواناب و شدت پاشش رابطه است، ولی این رابطه مستقیم نیست. زیرا عوامل دیگری نظیر تبخیر، ذخیره برگاب، ذخائر سطحی، نفوذ پذیری و رطوبت اولیه خاک نیز بر آن مؤثرند. افزون بر آن، شیب، اندازه و شکل حوضه،

مومنتم است. وی من (۱۹۷۵) می‌نویسد: در شرایط طبیعی جریان آب به ندرت ورقه‌ای است، زیرا وجود ذخائر سطحی موجب تأخیر در جریان آب در درون آبراهه‌ها می‌شود. افزون بر آن، در داخل یک آبراهه پس از بارندگی، عمق و سرعت جریان افزایش می‌یابد. هر چند جریان سطحی روی یک حوضه خرد سه بعدی و پیچیده است، ولی در یک مقیاس بزرگ تر می‌توان آن را یک فرایند یک بعدی که تابعی از عمق جریان است تصور کرد. در مجموع، با احتساب زبری بستر و رژیم متلاطم جریان که متأثر از قطرات باران است، معادله زیر قابل ارائه می‌باشد:

$$q = \alpha h^m \quad (2)$$

که در آن q شدت جریان رواناب در واحد عرض (m^2/s)، $\alpha = (1/n)S^{1/2}$ ضریب مربوط به زبری و شیب بستر، m ضریب مربوط به رژیم جریان (برای جریان متلاطم معادل $1/666$ و برای جریان خطی 3) و h عمق رواناب (m) است. شدت جریان در واحد عرض یک سطح مسطح یا کانال را می‌توان با فرمول مانینگ به شرح زیر بیان کرد:

$$q = \frac{1}{n} h^{5/3} S^{1/2} \quad (3)$$

که در آن n ضریب زبری بستر، S شیب سطح آب (شیب خط انرژی) و h عمق آب است. به علت ورود مستمر جریان‌های سطحی اطراف و بارش مستقیم روی سطح شیب‌دار یا کانال، شدت جریان آب در پائین دست افزایش می‌یابد. این معادله را با معادله پیوستگی برای جریان غیر یکنواخت به شرح زیر می‌توان تلفیق کرد و برای جریان رواناب سطحی به کار برد:

$$\frac{dq}{dx} + \frac{dh}{dt} = Q(x,t) \quad (4)$$

که در آن q جریان در واحد عرض بستر (m^2/s)، t زمان (s)، h عمق جریان، x فاصله (m) از مبدأ (شکل ۱) و $Q(x,t)$ جریان جانبی (m/s) است که از اطراف وارد آبراهه می‌شود. معادله بالا از بسط معادله دیفرانسیل زیر که برای اولین بار توسط ونانت (۱۹۵۶) ارائه شد به دست آمده است. این معادله همان معادله

بارندگی، ارتفاع آبپاش از سطح زمین و خصوصیات زمین شناسی و اقلیمی نیز باید منظور شوند. اولیویرا (۱۹۸۷)، و ولهایزر و همکاران (۱۹۹۰) و هویبرز و استروسنیجر (۱۹۹۲) نوشته‌اند وقتی شدت بارندگی یا آبیاری بارانی از شدت نفوذ لحظه‌ای خاک تجاوز کند، بعد از پر شدن چاله‌های سطحی (معمولاً بین ۲ تا ۵ میلی متر) رواناب اتفاق می‌افتد. سهرابی و فتح الله زاده (۱۳۷۵) با استفاده از بوم‌های کوتاه و بلند عمود بر لاترال دوامرکزی نشان دادند که میزان رواناب نسبت به سامانه پاشش اولیه به مقدار $26/6$ تا $58/8$ در صد کاهش می‌یابد.

بورتیلینی و همکاران (۲۰۱۶)، تحقیقاتی را در شمال ایتالیا روی آبپاش تفنگی انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که هر چند این سامانه در مدتی کم سطح وسیعی را آبیاری می‌کند، ولی به علت تولید قطرات درشت موجب افزایش مصرف آب و تولید رواناب و کاهش یکنواختی توزیع آب می‌شود.

هر چند برای کاهش رواناب ناشی از کاربرد برخی از روش‌های بارانی متحرک از جمله سنتر پیوت تا کنون تحقیقاتی انجام شده است، ولی هنوز تحقیقات کافی برای برآورد رواناب بر روی خاک‌های سبک و سنگین تحت ماشین آبپاش تفنگی انجام نشده است. لذا هدف از تحقیق حاضر بررسی، مقایسه و شبیه‌سازی رواناب در خاک‌های سبک و سنگین تحت شرایط آبیاری بارانی با ماشین تفنگی است.

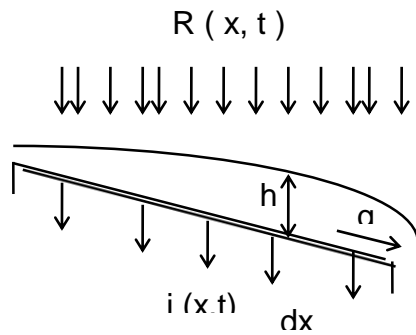
مواد و روش‌ها

رواناب سطحی

به طور کلی می‌توان گفت شدت رواناب سطحی در واحد عرض جریان (q) تابعی از سرعت (V) و عمق جریان آب (h) است، یعنی:

$$q = f(V, h) \quad (1)$$

سرعت جریان بستگی به شیب و زبری سطح زمین دارد. افزون بر آن، رژیم جریان (خطی یا متلاطم) روی سرعت جریان نیز موثر است. افزون بر آن، شدت رواناب سطحی یک حوضه تابع یکسری قوانین فیزیکی نظیر قانون بقای ماده، معادله پیوستگی و



شکل ۱- رواناب از یک سطح شیبدار

کلیه آزمایش‌های مربوط به این تحقیق در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد روی سه پلات مسطح و سه پلات شیاردار با دو بافت خاک سبک و سنگین انجام شد. طول جغرافیایی شهرکرد $۲۲^{\circ} ۲۲' ۴۹''$ تا $۵۰^{\circ} ۴۴' ۵۳''$ و عرض جغرافیایی آن $۲۲^{\circ} ۱۸' ۳۲''$ تا $۵۰^{\circ} ۲۱' ۲۳''$ است. شهرکرد با ارتفاع ۲۰۶۰ متر از سطح دریا دارای اقلیم نیمه مرطوب معتدل با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های بسیار سرد و میانگین بارش سالانه ۳۲۶ میلی‌متر در سال است.

برخی از خواص فیزیکی خاک‌های مورد آزمایش نظیر بافت، جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص واقعی، در صد تخلخل و سرعت نفوذنهایی با مراجعه مستقیم و نمونه برداری در آزمایشگاه مشخص شدند که در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- برخی از خواص فیزیکی خاک‌های مورد آزمایش

بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	جرم مخصوص واقعی (gr/cm^3)	در صد تخلخل (%)	سرعت نفوذ نهایی (mm/h)
شنی	۱/۵۴	۲/۵۶	۴۰	۲۶
رسی	۱/۱۹	۲/۷۴	۵۶/۶	۱/۹

پلات‌های آزمایشی با شیب یکنواخت ۰/۶۷ درصد به صورت جویچه‌هایی به طول ۱۲، عرض ۰/۹ و ارتفاع ۰/۲ متر و کرت‌هایی به طول ۱۲، عرض ۳ و ارتفاع ۰/۲ متر و هر کدام با سه تکرار در جهت شیب ایجاد شدند. ماشین‌تفنگی به کار رفته در این طرح از نوع قرقه‌ای به طول شیلنگ ۲۶۵ متر، قطر نازل ۱۸ میلی‌متر و

پیوستگی جریان غیر یکنواخت یک بعدی روی یک سطح است.

$$\frac{d(Vh)}{dx} + \frac{dh}{dt} = Q(x,t) \quad (۵)$$

که Vh معادل عامل q ، یعنی شدت جریان در واحد عرض کانال یا سطح است. عامل $Q(x,t)$ از معادله زیر به دست می‌آید (شکل ۱).

$$Q(x,t) = R(x,t) - i \quad (۶)$$

که در آن $R(x,t)$ شدت بارندگی و i شدت نفوذ پذیری خاک است. برای سهولت کار، مقدار $R(x,t)$ ثابت فرض می‌شود. اگر سطح خاک ناهموار باشد مقداری از رواناب در ذخایر سطحی جمع می‌شود که در این صورت اگر تغییرات ذخیره سطحی ds باشد معادله زیر به دست می‌آید:

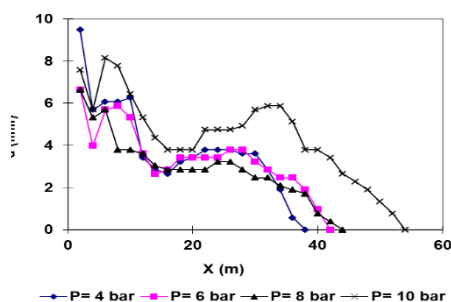
$$Q(x,t) = R(x,t) - i - ds/dt \quad (۷)$$

وقتی سطح خاک هموار باشد عامل ds/dt معادل صفر خواهد بود. با جای‌گزینی معادله $q = \alpha h^m$ در معادله (۷) معادله دیفرانسیل زیر که دارای یک متغیر وابسته است حاصل می‌شود که معادله حاصل اساس کار تئوری موج سینماتیک است:

$$\frac{dh}{dt} + cmh^{m-1} \frac{dh}{dx} = Q(x,t) \quad (۸)$$

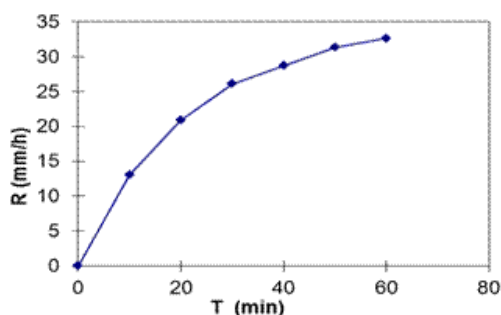
این معادله اساس مدل‌های ریاضی از جمله KINEROS (وولهایزر و همکاران ۱۹۹۰)، EUROSEM (مورگان و همکاران ۱۹۹۲) و OLF (قربانی ۱۹۹۶) است.

شدت پاشش، رواناب تجمعی، و میزان نفوذ پذیری خاک در زمان‌های معین محاسبه شدند.



شکل ۲- الگوی توزیع آب در فشارهای مختلف در شرایط وزش آرام باد

بر عکس یک سامانه ثابت، در یک سامانه آبیاری متحرک، زمان شروع پاشش آب و زمان ختم آن روی نقاط مختلف یک مزرعه توسط یک ماشین آبیاری-تفنگی متفاوت است، چون که تمام قطعه تحت آبیاری در یک زمان تحت پاشش آب قرار نمی‌گیرد. شدت پاشش آب در یک نقطه روی زمین با حرکت ماشین به طرف آن افزایش می‌یابد و پس از عبور ماشین از آن نقطه عمق پاشش شروع به کاهش نموده و بالاخره صفر می‌شود (شکل ۳). در این شکل به علت تشابه از رسم شاخه پایین‌رونده نمودار صرف‌نظر شده است. بنا بر این، اگر یک حوضه مسطح یا شیاردار به چند زیر حوضه تقسیم شود، برای سهولت عمل می‌توان شدت پاشش روی هر المان را ثابت فرض نمود. ولی زمان شروع پاشش آبیاری بر روی هر زیر حوضه و زمان خاتمه آن متفاوت خواهد بود.



شکل ۳- تغییرات شدت پاشش نسبت به زمان

قطر پاشش ۱۰۰ متر بود و نیروی محرکه مورد نیاز برای حرکت ماشین از طریق یک توربین آبی و فشار آب تامین شد.

قبل از انجام آزمایش‌های اصلی، لازم بود الگوی-پاشش آبیاری-تفنگی در حالت سکون در فشارهای مختلف (۴، ۶، ۸ و ۱۰ بار) نسبت به فاصله از آبیاری مشخص شود که پس از ده دقیقه کارکرد سامانه و اندازه‌گیری شدت پاشش، منحنی‌های مربوطه برای شرایط بدون وزش باد مشخص گردید (شکل ۲). در این طرح، برای کاهش رواناب در مجاورت آبیاری، کاهش جابجایی قطرات آب توسط باد و جلوگیری از مصرف بی‌رویه انرژی، فشار ۸ بار برای انجام کلیه آزمایش‌ها انتخاب شد. با توجه به شکل ۲، برای حفظ یکنواختی پاشش آبیاری محل استقرار پلات‌های آبیاری در فاصله ۱۰ تا ۳۰ متری از خط حرکت ماشین انتخاب شدند.

شدت پاشش آبیاری-تفنگی متحرک در هر نقطه از سطح خاک نسبت به زمان متغیر است. لذا برای تعیین الگوی آن، هر ده دقیقه در طول آزمایش شدت پاشش توسط یک سطل که در محل ثابتی وسط پلات آبیاری قرار داشت اندازه‌گیری شد.

برای تعیین متوسط شدت پاشش آب روی هر پلات توسط آبیاری-تفنگی از سه سطل که در ابتدا، وسط و انتهای پلات قرار داشت استفاده گردید. علاوه بر آزمایش‌های بالا، آزمایش‌های مربوط به تعیین رطوبت اولیه خاک و بافت خاک نیز انجام شد. برای جمع‌آوری رواناب در انتهای هر پلات چاله‌ای ایجاد گردید که رواناب حاصل از آن به وسیله یک لوله به سطلی هدایت و به روش حجمی نسبت به زمان اندازه‌گیری می‌شد.

آزمایش‌ها در سه سرعت: کم (۱۰ متر در ساعت)، متوسط (۲۰ متر در ساعت) و زیاد (۳۰ متر در ساعت) ماشین آبیاری-تفنگی روی دو بافت سبک و سنگین خاک، هر کدام با سه تکرار (هر تکرار معرف یک عمق پاشش است) و با دو نوع عملیات زراعی (مسطح و شیاردار) انجام شد. در مجموع ۵۴ آزمایش انجام شد. افزون بر اندازه‌گیری شدت رواناب عواملی هم‌چون

نتایج و بحث

پلات های شیار

نتایج آزمایش های مربوط به خاک سبک روی پلات های شیاردار با شیب یکنواخت ۰/۶۷ درصد در جدول ۲ قابل ملاحظه است. این جدول نشان می دهد، علی رغم افزایش شدت پاشش از ۱۳/۹ به ۱۸ میلی متر در ساعت و عمق آبیاری از ۲۰/۸ به ۲۶/۲ میلی متر نسبت به کاهش سرعت ماشین، تغییری در ضریب رواناب که صفر است ایجاد نمی شود. به عبارتی با وجود کاهش سرعت ماشین هیچ گونه روانابی روی خاک سبک ایجاد نمی شود.

داده های آزمایش های مربوط به خاک سنگین روی پلات های شیاردار در سرعت های ۳۰، ۲۰ و ۱۰ متر در

ساعت حرکت ماشین در جدول ۳ نشان داده شده اند. نتایج حاصل از این جدول نشان می دهد که در سرعت ۳۰ متر در ساعت و متوسط شدت پاشش ۱۳/۳ میلی - متر در ساعت در مدت ۷۸/۳ دقیقه کارکرد ماشین، روانابی معادل ۱/۶ میلی متر در ساعت با متوسط ضریب رواناب ($C = 117$) بروز کرده است. نتایج این بخش در یک مقایسه اجمالی، با خاک سبک نشان می دهد هر چند شدت پاشش آب روی بافت سنگین تقریباً معادل خاک سبک است (۱۴ میلی متر در ساعت)، ولی بر عکس خاک سبک که هیچ گونه روانابی از آن مشاهده نگردید، در این جا روانابی معادل ۱/۶ میلی متر در ساعت در خاک سنگین بروز کرده است.

جدول ۲ - نتایج آزمایش های مربوط به پلات های شیار دار با خاک سبک و شیب یکنواخت ۰/۶۷ درصد

شماره	P	V	R	Q _a	T _a	r _a	تکرار	رطوبت اولیه خاک (در صد حجمی)	C
	(bars)	(m/h)	(mm/h)	(mm)	(min)	(mm/h)			r _a /R
1	۸/۵	10	18	0	90	0	1	6	0
2	۸/۵	10	17/4	0	90	0	2	6	0
3	۸/۵	10	17	0	90	0	3	6	0
میانگین	۸/۵	10	17/5	0	90	0	-	۶	0
4	۸/۵	20	17	0	90	0	1	6/8	0
5	۸/۵	20	16/2	0	90	0	2	6/8	0
6	۸/۵	20	15/2	0	90	0	3	6/8	0
میانگین	۸/۵	20	16/1	0	90	0	-	۶/۸	0
7	۸/۵	30	15/9	0	90	0	1	7/2	0
8	۸/۵	30	13/8	0	90	0	2	7/2	0
9	۸/۵	30	12	0	90	0	3	7/2	0
میانگین	۸/۵	30	13/9	0.0	90	0	-	۷/۲	0

ضریب رواناب = C، شدت رواناب = r_a، سرعت ماشین آبپاش تفنگی = V، مدت آبیاری = T_a، رواناب تجمعی = Q_a، شدت پاشش = R، فشار نازل = P

جدول ۳- نتایج آزمایش‌های مربوط به پلات‌های شیاردار با خاک سنگین و شیب یکنواخت ۰/۶۷ درصد

شماره	P	V	R	Q _a	T _a	r _a	تکرار	رطوبت اولیه خاک	C
	(bars)	(m/h)	(mm/h)	(mm)	(min)	(mm/h)		(در صد حجمی)	r _a /R
7	8	10	30/2	10/49	80	7/9	1	15	0/261
8	8	10	26/5	6/21	75	5/0	2	15	0/187
9	8	10	28/2	5/85	80	4/4	3	15	0/156
میانگین	8	10	28/3	7/5	78/3	5/7	-	15	0/203
4	8	20	22/6	5/02	65	4/6	1	15	0/205
5	8	20	17/5	3/94	65	3/6	2	15	0/208
6	8	20	18/7	3/82	57	4/0	3	15	0/215
میانگین	8	20	19/6	4/30	62/3	4/1	-	15	0/209
1	8	30	14	6	75	2/1	1	15	0/130
2	8	30	13.4	5/1	75	1/8	2	15	0/133
3	8	30	12/4	3/1	85	1/1	3	15	0/08۶
میانگین	8	30	13/3	4/7	78/3	1/6	-	15	0/117

ضریب رواناب = C، شدت رواناب = r_a، سرعت ماشین آبیاری = V، مدت آبیاری = T_a، رواناب تجمعی = Q_a، شدت پاشش = R، فشار نازل = P

می‌یابد، ولی تغییری در ضریب رواناب که صفر است ایجاد نمی‌شود. به عبارتی این بار نیز با وجود کاهش سرعت ماشین هیچ‌گونه روانابی روی خاک سبک ایجاد نمی‌شود (شدت نفوذ نهایی خاک شنی ۲۶ میلی‌متر در ساعت).

نتایج آزمایش‌های مربوط به خاک سنگین نیز روی زمین مسطح در جدول ۵ قابل ملاحظه است. همان‌طور که در این جدول آمده است، در سرعت ۳۰ متر در ساعت ماشین و متوسط شدت پاشش ۱۵/۲ میلی‌متر در ساعت روانابی معادل ۰/۷ میلی‌متر در ساعت ایجاد شده است که متوسط ضریب رواناب روی سه پلات برابر (C=۰/۰۴۷) شده است (مدت پاشش ۸۰ دقیقه). در آزمایش‌های بعدی، با کاهش سرعت ماشین به ۲۰ متر در ساعت، شدت پاشش به ۲۶/۸ میلی‌متر در ساعت و رواناب حاصل به ۱/۸ میلی‌متر در ساعت افزایش یافته است که متوسط ضریب رواناب سه پلات معادل (C=۰/۰۶۸) است (مدت پاشش ۶۵ دقیقه). در سری آزمایش‌های بعدی، سرعت حرکت ماشین به ۱۰ متر در ساعت کاهش یافته و شدت پاشش به ۲۷/۳ و رواناب ناشی از آن به ۲/۷ میلی‌متر در ساعت افزایش یافته است. متوسط ضریب رواناب

جدول ۳ نشان می‌دهد که با کاهش سرعت حرکت ماشین به ۲۰ متر در ساعت، متوسط شدت پاشش به ۱۹/۶ میلی‌متر در ساعت و شدت رواناب به ۴/۱ میلی‌متر در ساعت با ضریب رواناب (C=۰/۲۰۹) افزایش یافته است. در آزمایش‌های بعدی، سرعت حرکت ماشین به ۱۰ متر در ساعت کاهش یافته است و متوسط شدت پاشش به ۲۸/۳ و مقدار رواناب به ۵/۷ میلی‌متر در ساعت با ضریب (C=۰/۲۰۳) افزایش یافته است.

به‌طور کلی می‌توان گفت که با افزایش سرعت ماشین، رواناب حاصل از آن روی بافت سنگین کاهش می‌یابد، ولی در یک سرعت ثابت با افزایش شدت پاشش، رواناب نیز افزایش می‌یابد. افزون بر آن، هر چه سرعت ماشین افزایش می‌یابد ضریب رواناب کاهش و بازده آبیاری افزایش می‌یابد.

پلات‌های مسطح

نتایج آزمایش‌های مربوط به خاک سبک روی زمین مسطح با شیب یکنواخت ۰/۶۷ درصد در جدول ۴ نشان داده است. همان‌طور که در این جدول آمده است، علی‌رغم این‌که با کاهش سرعت ماشین از ۳۰ به ۱۰ متر در ساعت شدت پاشش و عمق آبیاری افزایش

یکی از اهداف این مطالعه پیش بینی رواناب تحت شرایط آبپاش تفنگی توسط مدل است. شکل ۴ نمونه‌ای از مقادیر رواناب تجمعی اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل EUROSEM را برای پلات‌های شیاردار و مسطح با خاک سنگین و سرعت حرکت ۱۰ متر در ساعت برای ماشین آبپاش-تفنگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود یک همبستگی بالا ($R > 0.9$) و یک حداقل میانگین مربعات خطا ($RMSE = 0.2$) بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده وجود دارد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل EUROSEM رواناب را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. لازم به یادآوری است که مدل میزان رواناب را در خاک سبک بافت برای سرعت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر بر ساعت ماشین برابر مشاهدات یعنی صفر پیش‌بینی می‌کند. نتایج این شبیه‌سازی و مقایسه با یافته‌های مورگان و همکاران (۱۹۹۲) و قربانی (۲۰۰۹) همخوانی دارد.

روی سه پلات برابر ($C=0/0.98$) می‌باشد (مدت پاشش ۷۸/۳ دقیقه).

با مقایسه نتایج حاصل روی خاک سبک شیاردار و مسطح می‌توان دریافت که هیچ‌گونه روانابی روی این دو سطح با بافت سبک ایجاد نمی‌شود ($C=0$)، ولی مقایسه نتایج حاصل روی خاک سنگین شیاردار و مسطح نشان می‌دهد که شدت رواناب ناشی از پلات‌های شیاردار (۲۱/۰ - ۱۲/۰) بیشتر از پلات‌های مسطح (۱۰/۰ - ۰۵/۰) است. پس برای کاهش رواناب در سامانه آبیاری بارانی یا آبپاش تفنگی لزوماً باید از خاک سبک استفاده کرد. اگر از خاک سنگین استفاده شود، در صورت امکان باید زمین را به صورت نوار یا کرت درآورد و این سامانه آبیاری را برای آبیاری تکمیلی در کشت‌هایی که به روش کرتی یا نواری انجام می‌شوند به کار برد. در غیر این صورت، اگر از شیار استفاده شد باید از روش‌های مکانیکی حفاظت آب و خاک برای کاهش رواناب استفاده نمود.

پیش‌بینی مدل

جدول ۴: نتایج آزمایش‌های مربوط به پلات‌های مسطح با خاک سبک و شیب یکنواخت ۶۷٪ درصد

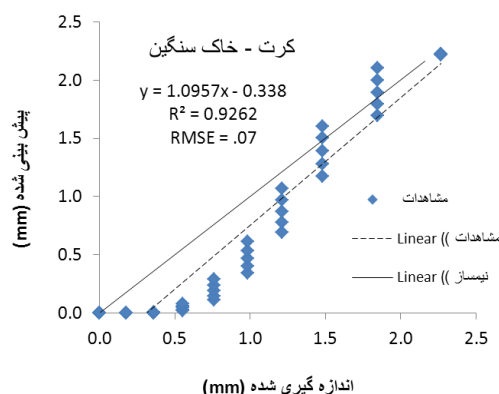
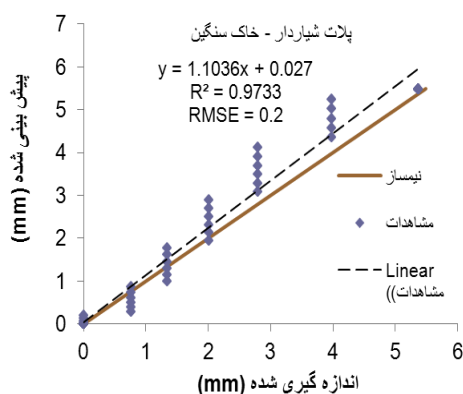
شماره آزمایش	P (bars)	V (m/h)	R (mm/h)	Q _a (mm)	T _a (min)	f _a (mm/h)	تکرار	رطوبت اولیه خاک (در صد حجمی)	C r _a /R
10	8	10	17/1	0	90	0	1	6	0
11	8	10	17/8	0.04	90	0/03	2	6	0
12	8	10	18/3	0.1	90	0/07	3	6	0
میانگین	8	10	17/7	0	90	0	-	6	0
13	8	20	15/9	0	90	0	1	6/8	0
14	8	20	16/9	0	90	0	2	6/8	0
15	8	20	16/8	0	90	0	3	6/8	0
میانگین	8	20	16/5	0	90	0	-	6/8	0
16	8	30	12/4	0	90	0	1	7/2	0
17	8	30	16/5	0	90	0	2	7/2	0
18	8	30	17/5	0	90	0	3	7/2	0
میانگین	8	30	15/5	0	90	0	-	7/2	0

$C =$ فشار نازل ، $R =$ پاشش ، شدت ، $Q_a =$ رواناب تجمعی ، $T_a =$ مدت آبیاری ، $V =$ سرعت ماشین آبپاش تفنگی ، $f_a =$ رواناب ، شدت $C =$ رواناب ضریب

جدول ۵: نتایج آزمایش های مربوط به پلات های مسطح با خاک سنگین و شیب یکنواخت ۰/۶۷ درصد

شماره آزمایش	P	V	R	Q _a	T _a	r _a	تکرار	رطوبت اولیه خاک (در صد حجمی)	C
	(bars)	(m/h)	(mm/h)	mm	(min)	mm/h			r _a /R
16	7	10	24/4	2/3	75	1/8	1	15	0/75
17	7	10	29/3	3/1	80	2/3	2	15	0/079
18	7	10	28/1	5/1	80	3/8	3	15	0/136
میانگین	7	10	27/3	3/5	78.3	2/7	-	15	0/098
13	8	20	20/9	1/58	65	1/5	1	5/5	0/069
14	8	20	27/8	1/86	65	1/7	2	5/5	0/062
15	8	20	31/5	2/48	65	2/3	3	5/5	0/073
میانگین	8	20	26/8	2/0	65	1/8	-	5/5	0/068
10	8	30	14/8	0/67	80	0/5	1	5/5	0/034
11	8	30	15/5	0/93	80	0/7	2	5/5	0/045
12	8	30	15/4	1/25	80	0/9	3	5/5	0/061
میانگین	8	30	15/2	1/00	80	0/7	-	5/5	0/047

P = فشار نازل ، R پاشش ، شدت = Q_a ، رواناب جمععی = T_a مدت آبیاری ، V ، سرعت ماشین آبپاش تفنگی ، r_a رواناب ، شدت = C رواناب ضریب



شکل ۴: مقادیر رواناب جمععی اندازه گیری شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده برای پلات های شیاردار و کرت با خاک سنگین و سرعت حرکت ۱۰ متر در ساعت برای ماشین

نتیجه گیری

۲- به نظر می رسد در آبیاری بارانی با آبپاش تفنگی برای کاهش و یا تأخیر در رواناب سطحی در خاک های سنگین استفاده از کرت به جای جوی پشته مناسب تر است.

۳- هر چه سرعت حرکت ماشین کم تر باشد، مقدار تولید رواناب به خصوص در خاک های سنگین بافت بیشتر خواهد بود.

۴- مدل EUROSEM قادر است رواناب ناشی از آبیاری بارانی با یک سامانه در حال حرکت مثلاً آبپاش تفنگی را به خوبی برای زمین شیاردار و تا حد قابل قبولی برای زمین مسطح پیش بینی نماید.

از مجموع آزمایش هایی که از آبیاری بارانی با آبپاش تفنگی روی دو نوع خاک سبک و سنگین با دو عملیات زراعی جوپچه و کرت در این تحقیق انجام گردید نتایج زیر حاصل می شود:

۱- با توجه به شدت پاشش بالا و درشتی قطرات، آبیاری بارانی با این ماشین منجر به رواناب سطحی روی خاک های سبک نمی شود. لذا یکی از راه های مقابله با مشکل رواناب ناشی از آبیاری و در نتیجه افزایش بازده آبیاری با این ماشین استفاده از این سامانه آبیاری روی خاک های سبک بافت است.

سیاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه دولتی شهرکرد به خاطر حمایت‌های مالی از این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

منابع:

سهرابی ، ت. و فرداد فتح اله زاده، ف. ۱۳۷۶ بررسی رواناب در سیستم های آبیاری بارانی سنتریپوت کم فشار. مجله علوم کشاورزی ایران ۴(۲۸)، ۸۷-۹۵.

Ben-Hur, M. 1994 Runoff, Erosion and polymer application in moving sprinkler irrigation. *Soil Science*, 158(4): 283-290.

Ben-Hur, M., Plaut, Z., Levy, G. L., Agassi, M. and Shainberg, I. 1995 Surface runoff, uniformity of water distribution and yield of peanut irrigated with moving sprinkler system. *Agronomy Journal*. 87: 619-613.

Bortolini, L., Nicoletto, C., Sambo, P. and Evans, M.R. 2016 Radicchio Cultivation under Different Sprinkler Irrigation Systems. *Contemporary Engineering Sciences*, Vol. 9(7), 345 – 355.

Gilley, J. R. 1992 Design and management of centre-pivot irrigation systems. *Proceeding of International Conference on Advances in Planning, Design and management of irrigation systems as related to sustainable land use*. Leuven, Belgium, 1: 347-356.

Ghorbani, B., 1997 A mathematical model to predict runoff under sprinkler irrigation systems, Ph.D thesis, Cranfield University, UK.

Ghorbani, B., 2009 Predicting water losses (runoff) under moving sprinkler irrigation using the european soil erosion model (EUROSEM), *The First International Conference on Water Crises*, Zabol, Iran.

Huibers, F. P. and Stroosnijder 1992 Crop water use efficiency. *Irrigators and Engineers*, 5(1), 259-264.

Letely, J., Vaux, H. V. J. and Fienerman, E. 1984 Optimum water crop application as affected by uniformity water infiltration. *Agronomy Journal*. 76: 436-441.

Sandra, j. 2010 Improving on-farm food safety through good irrigation practices. Ministry of Agriculture, Food and Rural affairs, Ontario, Canada.

Morgan, R. P. C., Quinton, J. N. and Rickson, R. J. 1992 EUROSEM: Documentation and manual. Silsoe College, Cranfield University, UK.

Oliveria, C. A. S., Hanks, R. J. and Shani, U. 1987 Infiltration and runoff as affected by pitting, mulching and sprinkler irrigation. *Irrigation Science*. 8: 49-68.

Rolim, J. and Teixeira, J. 2016 The design and evaluation of travelling gun irrigation systems: Enrolador software. *Eng. Agric.*, 36(5), 917-927.

Venant, S. 1956 Unsteady flow in open channels: Water Resources Publications, p. 1-27.

Woolhiser, D. A., Smith, R. E. and Goodrich, D. C. 1990 KINEROS, A_kinematic runoff and erosion model: Documentation and user manual. United State Department of Agriculture.

Assessment, simulation and comparison of runoff on coarse and fine soil textures under traveling rain-gun machine

Behzad Ghorbani^۱

Abstract

Although moving sprinkler systems such as traveling rain-gun are usually designed, so that the instantaneous water application rate which is associated with low pressure is less than the soil final infiltration rate to avoid runoff; there are a growing number of sprinkler systems where potential runoff increases so much causing soil erosion. Moving sprinkler systems such as travelling rain-gun and center pivot can have excessively high water application rates and are prone to runoff problems. This is exacerbated by the trend to low pressure operation, for the reason of saving energy which adds to the problem. The purpose of this paper is to assess, compare and simulate a more fundamentally based approach to predict runoff from sprinkler irrigation systems under moving rain gun conditions on coarse and fine soil textures practiced on both simple plane and ridge and furrow. Experiments were carried out on both simple plane and ridge and furrow plots sloped 0.67 percent with three replications. A travelling rain-gun with length of 200 m was employed to generate rainfall at three different speeds. Results showed no runoff with runoff coefficient of zero on coarse soil. However, a remarkable runoff with coefficient of 0.162 was considered from the fine soil texture on both simple plane and ridge and furrow practices plots, as machine run with the speed of 10 m/hr. Therefore, one of the approaches to overcome runoff problem and increasing irrigation coefficient is using this system over fine soil textures. On the hand, as much as the machine speed is lower, the potential for runoff is larger. In addition to field experiments, there was a good relationship between observed and predicted runoff using EUROSEM. This is because of a high regression coefficient ($R > \%90$) and minimum Residual Mean Square Error ($RMSE < 0.2$) between them.

Keywords: basin, EUROSEM, ridge and furrow, runoff, sprinkler irrigation.

^۱Associate Professor of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord