نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۳، شماره ۲، ۱۴۰۰، صفحات ۳۷۹-۳۸۸

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 13, Issue 2, 2021, Pages 379-388
DOI: 10.22092/ijwmse.2020.343415.1811

امکان‌سنجی جمع‌آوری آب باران در یک منطقه نیمه‌خشک استان فارس

سمیه شریعتی [۱]، ابوالفضل عزیزیان*[۲]، نجمه یرمی[۳] و عباس پایدار اردکانی[۴]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، [۲ و ۳] استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان و [۴] کارشناس ارشد اداره منابع طبیعی و آبخیزداری اردکان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲

چکیده

استحصال آب باران با سامانه‌های کوچک یکی از گزینه‌های توسعه منابع آب در مناطق خشک است که می‌تواند بخشی از آب مورد نیاز بخش کشاورزی دیم را تأمین کند. برای افزایش پتانسیل استحصال آب در سامانه کوچک می‌توان اقداماتی برای افزایش تولید رواناب انجام داد. در این پژوهش، استفاده از تیمارهای ساده ایجاد جوی و پشته، پوشش خاک رس و ترکیب این دو در کنار تیمار شاهد به‌منظور بررسی رواناب تولیدی در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار و طی دو سال (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) در منطقه زرین‌دشت استان فارس ارزیابی شد. نتایج نشان داد که منطقه پتانسیل استحصال آب باران را دارد. بیشترین مقدار ضریب رواناب در تیمار شاهد و به مقدار ۶/۵ و ۹/۳ درصد به‌ترتیب در سال اول و دوم مشاهده شد. دست‌خوردگی خاک سطحی (در تیمارهای غیر از شاهد) به‌طور متوسط ۱۱ و ۱۴ درصد رواناب و ضریب رواناب (به‌ترتیب) را نسبت به شاهد کاهش داد. آستانه بارش برای ایجاد رواناب طی دو سال آزمایش در تیمار شاهد حدود یک میلی‌متر بود. در سایر تیمارها آستانه بارش در ایجاد رواناب در سال دوم کاهش یافت. از نظر مقدار و ضریب رواناب و نیز آستانه بارش در ایجاد رواناب، تیمار شاهد در سامانه کوچک قابل پیشنهاد است. مساحت سامانه کوچک بین حدود ۱۵ تا ۱۵۰ متر مربع برای تأمین به‌ترتیب ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر نیاز آبی با احتمال وقوع ۵۰ و ۶۷ درصد بارندگی و راندمان ذخیره ۲۵ و ۵۰ درصد متغیر بود. البته در واقع مساحت سامانه کوچک با توجه به نوع محصول می‌تواند به صورت اقتصادی تعیین شود.

واژه‌های کلیدی: استحصال رواناب، باغ دیم، سامانه کوچک، زرین دشت، ضریب رواناب

مقدمه

مشکل کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ناشی از بارندگی کم و توزیع نامناسب آن است. منابع معمول تأمین آب در این مناطق اغلب دارای اضافه برداشت هستند. در این شرایط، استفاده از برخی روش‌های سنتی ساده و کم‌هزینه و روزآمد کردن آن‌ها به‌عنوان یک گزینه توسعه منابع آب می‌تواند راهکاری برای تخفیف اثر کمبود آب باشد و فشار بر منابع آبی را کاهش دهد. استحصال آب باران یکی از شاخص‌ترین روش‌ها برای مقابله با کم‌آبی است که از گذشته تا کنون کاربرد دارد (Critchley و همکاران، ۱۹۹۱؛ Mahmoud و همکاران، ۲۰۱۴). مبنای این روش اختصاص سطحی برای جمع‌آوری نزولات آسمانی و سپس، ذخیره‌سازی آن برای استفاده در زمان مورد نیاز برای شرب، کشاورزی، مصارف خانگی، دام و تغذیه آب زیرزمینی می‌باشد (Tuinhof و

* مسئول مکاتبات: aazizian@ardakan.ac.ir

همکاران، ۲۰۱۲). تأمین آب کشاورزی معمولا با طراحی سامانه کوچک و با هدف تولید محصول به‌ویژه محصولات باغی (دیم) انجام می‌شود (Tahmasbi و Rajabi-Sani، ۲۰۰۶؛ Sepaskhah، ۲۰۱۴). این شیوه محاسن دیگری همچون کنترل سیلاب و فرسایش خاک را نیز به‌دنبال دارد (Samuel و Mathew، ۲۰۰۸).

پژوهش‌های زیادی در خصوص طراحی سامانه‌های کوچک جمع‌آوری رواناب انجام شده است. در برخی از این پژوهش‌ها اثر پوشش‌های مختلف در سامانه جمع‌آوری رواناب به‌منظور افزایش تولید رواناب و نیز حفظ رطوبت ذخیره شده در ناحیه کشت بررسی شده است. Huang و همکاران (۲۰۰۲) در ایالت گانگزو چین گزارش کردند که پوشش آسفالت باعث افزایش راندمان جمع‌آوری رواناب تا ۹۰ درصد شد. نتایج مطالعات Shahini (۲۰۰۵) نشان داد که استفاده از پوشش پلاستیکی برای جمع‌آوری رواناب در سطح سامانه‌های آبگیر با اشکال مختلف نسبت به کوبیدگی خاک مؤثرتر عمل کرده است. همچنین، Rastegar (۲۰۰۵) گزارش کرد که استفاده از مالچ در سامانه جمع‌آوری رواناب موجب افزایش تولید رواناب و در نتیجه ذخیره رطوبتی خاک در ناحیه کشت شده است. در تحقیق دیگری، Shekarchian (۲۰۰۵) کاربرد پوشش پلاستیکی در ناحیه کشت را موجب بقاء بیشتر درخت بادام در سامانه جمع‌آوری رواناب گزارش کرد. اثر ساخت سامانه‌های کوچک در بهبود پوشش گیاهی در اتیوپی به‌وسیله Drib و همکاران (۲۰۰۹) بررسی شد. نتایج این پژوهش، حاکی از آن بود که استفاده از اشکال مختلف سامانه کوچک منجر به افزایش تولید زیست‌توده گیاهان شده است. Tavakoli و Oweis (۲۰۱۱) در یک دوره هفت ساله به بررسی عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با سامانه‌های کوچک دارای خاک متراکم می‌توان ۳۵ تا ۵۵ درصد آب مورد نیاز کشاورزی منطقه را تأمین کرد. Hosseini و Roghani (۲۰۱۳) از سامانه‌های کوچک لوزی‌شکل برای جمع‌آوری رواناب استفاده کردند و عنوان کردند که این سامانه رطوبت خاک در لایه سطحی را ۲۹ درصد افزایش داده است. همچنین، نتیجه گرفتند، با افزایش رطوبت خاک، فرسایش و رسوب کنترل شده و سطح سفره آب زیرزمینی افزایش می‌یابد.

برای کشت درختان مثمر در اراضی شیب‌دار، میزان آب قابل استحصال از سامانه‌های سطوح آبگیر باران به‌وسیله Nekuei Mehr (۲۰۱۴) ارزیابی شد. نتایج این بررسی نشان داد که در بین سه تیمار سطح عایق، سطح بدون پوشش (جمع‌آوری سنگریزه و پوشش گیاهی از سطح سامانه) و شاهد (پوشش طبیعی زمین) بر روی دامنه‌ای با شیب ۲۰ درصد، سطح عایق بیشترین مقدار رواناب را تولید کرده است. لذا، استفاده از سطوح عایق برای تأمین قسمتی از نیاز آبی درختان مثمر در اراضی شیب‌دار توصیه شد. Zingiro و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که فناوری استحصال آب باران سبب افزایش بهره‌وری کشاورزی و درآمد ساکنین روستاهای مناطقی از کشورهای روآندا و تانزانیا که در معرض خشکسالی قرار داشتند، شده است. عملکرد سطوح عایق، نیمه‌عایق و طبیعی در فرایند بارش-رواناب به‌وسیله Mehdizadeh Youshanloei و Roghani (۲۰۱۵) بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که حد آستانه بارش برای شروع رواناب با سطوح عایق، نیمه‌عایق و طبیعی به‌ترتیب برابر ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۴ میلی‌متر و ضریب تولید رواناب این سطوح به‌ترتیب ۴۱/۱۷، ۱۰/۵۸ و ۱/۷۴ بوده است. بر این اساس، آن‌ها توصیه کردند که از تیمار عایق برای ایجاد سامانه آبگیر استفاده شود و در ماه‌های پر بارش سامانه ذخیره رواناب تعبیه شود. در کشور اتیوپی نقش مثبت استحصال آب باران با روش پخش سیلاب و سامانه‌های کوچک در افزایش رطوبت خاک و تغذیه آب زیر زمینی به‌وسیله Yusef و Asmamaw (۲۰۱۵) گزارش شده است. Akhshi و همکاران (۲۰۲۱) اثر تیمارهای جوی و پشته، تراکم و شاهد با مساحت‌های مختلف سامانه کوچک بر مقدار و ضریب رواناب حاصل به‌منظور درختکاری در آبخیز طالقان را بررسی کردند و در نهایت، نتیجه گرفتند که استفاده از سامانه‌های کوچک جمع‌آوری رواناب برای کاشت گیاه در منطقه با تراکم خاک سطحی قابل توصیه است و مساحت آن با توجه به نوع گیاه تعیین می‌شود.

بر اساس مرور پژوهش‌ها در این زمینه، به نظر می‌رسد، در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک که تأمین آب برای کشاورزی و حفظ پوشش گیاهی با مشکلات زیادی مواجه است، احداث سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران می‌تواند به‌عنوان یک راهکار استفاده شود. به‌علاوه، بررسی منابع نشان می‌دهد که وجود دست‌کم ۱۵۰-۱۰۰ میلی‌متر بارندگی سالانه برای توجیه‌پذیر بودن عملیات جمع‌آوری رواناب حاصل از بارندگی با سامانه کوچک لازم است (Sepaskhah، ۲۰۱۴). همچنین، طراحی این سامانه‌ها بایستی متناسب با دانش بومی و امکانات هر منطقه صورت گیرد تا بهره‌برداری از آن‌ها به‌وسیله ساکنین محلی با بیشینه بهره‌وری همراه باشد. هدف از این پژوهش که طی دو سال انجام شد، استفاده از سامانه کوچک برای جمع‌آوری رواناب حاصل از بارندگی در جنوب استان فارس بود. چون شرایط سطحی خاک نقش مهمی در استحصال رواناب حاصل از بارندگی با سامانه کوچک ایفا می‌کند، در این آزمایش، اثر شرایط خاک سطحی در افزایش تولید رواناب در قالب چند تیمار ساده و کم هزینه به بوته آزمایش گذاشته شد. همچنین، آزمایش طی دو سال انجام شد تا در سال دوم تغییرات احتمالی خاک دست‌خورده سطحی سال اول در تیمارهای مختلف و اثر آن در نتایج جمع‌آوری رواناب بررسی شود.

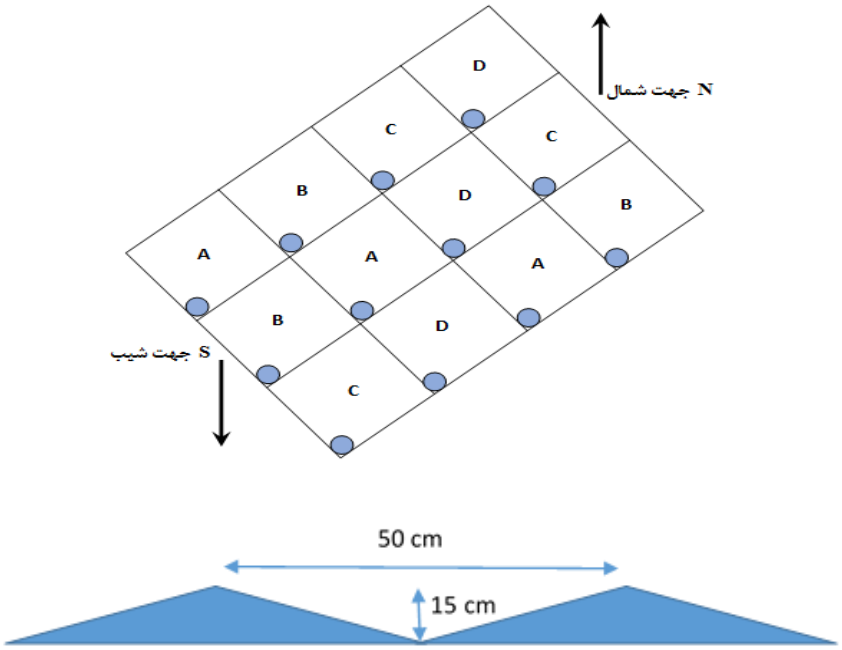
مواد و روش‌ها

محل اجرای پژوهش: این پژوهش، در سال‌های آبی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در جنوب شرقی استان فارس و در شهر دبیران اجرا شد. برخی از مشخصات محل اجرای پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه گرم و خشک است.

جدول ۱- مشخصات محل اجرای آزمایش

ویژگی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	متوسط بارندگی سالانه	متوسط دمای سالانه
مقدار	۵۴° ۲۰′ N	۲۸° ۲۰′ E	۱۱۵۰ m	۲۳۲/۴ mm	۲۲/۷ °C
ویژگی	تبخیر سالانه از سطح آب	بافت خاک	درصد رس	درصد شن	درصد سیلت
مقدار	۳۶۵۰ mm	لوم	۲۵	۲۹	۴۶

احداث سامانه سطوح آبگیر باران و تیمارهای انتخابی: سامانه سطوح آبگیر عبارت است از حوضه کوچکی که رواناب داخل آن به انتهای حوضه هدایت و به‌صورت‌های مختلف از آن استفاده می‌شود. برای انجام این پژوهش، یک سامانه آبگیر باران شامل ۱۲ کرت (سامانه کوچک) مربع شکل به مساحت نه متر مربع مطابق شکل ۱ احداث شد. وضعیت سطح خاک در سامانه تحت چهار تیمار قرار گرفت. تیمارها شامل پوشش با خاک رس (خاک رس با شن‌کش با لایه سطحی مخلوط و با بیل کوبیده شد)، ایجاد جوی و پشته در جهت شیب (فاصله پشته‌ها از هم ۵۰ و ارتفاع آن‌ها ۱۵ سانتی‌متر بود)، پوشش خاک رس و ایجاد جوی و پشته و پوشش طبیعی زمین بدون تیمار (شاهد) با سه تکرار بود. سامانه آبگیر روی زمینی با شیب ۳/۳۳ درصد بدون سنگریزه و با محدوده‌ای از پشته‌های خاکی احداث شد. خاک رس استفاده شده به‌طور متوسط در هر کرت ۶۰ کیلوگرم و معادل ضخامتی حدود سه سانتی متر روی خاک بود. رواناب حاصل از بارندگی در انتهای کرت (انتهای شیب) به چاله گیرنده رواناب، هدایت شد. در محل چاله ظروفی پلاستیکی به‌عنوان مخزن برای جمع‌آوری آب تعبیه شد. برای جلوگیری از پر شدن ظرف از رسوب، اطراف ظروف گود شده و برای جلوگیری از نفوذ آب در خاک با پلاستیک پوشیده شد. مقدار بارندگی و حجم آب جمع‌آوری شده در داخل هر مخزن بعد از وقایع بارش منجر به تولید رواناب، اندازه‌گیری شد. در مجموع در سال اول از چهار واقعه و در سال دوم از پنج واقعه‌ی بارش، رواناب جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- طرح سامانه سطوح آبگیر اجرا شده در این آزمایش، (A تیمار پوشش خاک رس، B تیمار ایجاد جوی و پشته، C تیمار پوشش خاک رس و ایجاد جوی و پشته و D تیمار شاهد (سطح خاک طبیعی و دست‌نخورده منطقه) و دایره‌ها محل جمع‌آوری رواناب و شکل پایین مقطع یک جوی و پشته درکرت را نشان می‌دهد)

تحلیل داده‌ها: تحلیل احتمالاتی بارندگی منطقه که آمار آن از ایستگاه سینوپتیک زرین‌دشت دریافت شد، بر اساس رابطه ویبول (Chow و همکاران، ۱۹۸۸) انجام شد.

$$p = \frac{m}{n+1} \qquad (۱)$$

که در آن، p احتمال وقوع مقدار مشخصی از بارندگی، m شماره ردیف آن مقدار بارندگی در داده‌های مرتب‌شده به‌ترتیب نزولی و n تعداد کل داده‌ها است. طرح آزمایشی طرح کاملا تصادفی با سه تکرار بود. داده‌های مقدار و ضریب رواناب با نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. اثر سال در تحلیل داده معنی‌دار بود، لذا، تحلیل به تفکیک هر سال نیز ارائه شد. همچنین، در تیمارهای مختلف بارش آستانه (P^*) برای تولید رواناب با تحلیل رگرسیون به‌دست آمد (معادله ۲).

$$R = a(P - P^*) \qquad (۲)$$

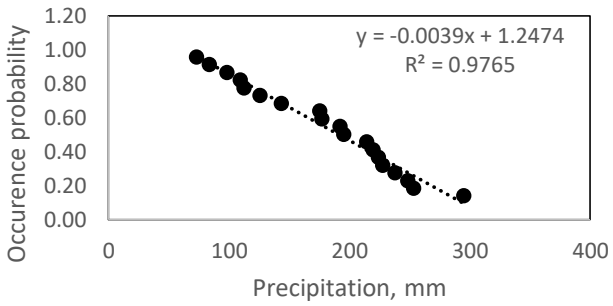
که در آن، R مقدار رواناب، P مقدار بارندگی و a ضریب ثابت معادله است. همچنین، برای طراحی سامانه کوچک با توجه به این واقعیت که رواناب جمع‌آوری شده در انتهای شیب و ناحیه کشت گیاه ذخیره می‌شود، از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد (Anaya و همکاران، ۱۹۷۶).

$$A = A_c[1 + \frac{ET - P}{C_r EP}] \qquad (۳)$$

که در آن، A مساحت سامانه کوچک (m^2)، A_c مساحت ناحیه کشت (m^2)، P مقدار بارش در منطقه با احتمال وقوع مشخص (mm)، ET آب مصرفی در دوره رشد (mm)، C_r ضریب رواناب و E راندمان ذخیره رواناب در ناحیه کشت است. اگر نوع گیاه برای کاشت مشخص باشد، مساحت سامانه کوچک متناسب با آن به‌دست می‌آید. همچنین، می‌توان برای دامنه‌ای از نیاز آبی مساحت سامانه کوچک مناسب را برآورد کرد. اگر سامانه کوچک به شکل مربع ساخته می‌شود، طول ضلع آن با جذر مساحت به‌دست می‌آید. انتخاب دوره بازگشت (یا احتمال وقوع برای بارش) بر اساس میانگین درازمدت منطقه (۵۰ درصد مواقع) و یا احتمال معقولی که بقای درختان کشت شده را تضمین کند (دوره بازگشت دو از سه سال) صورت می‌گیرد. در این بررسی برای دو مقدار نیاز آبی کم و زیاد (۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر)، دو مقدار راندمان ذخیره رواناب کم و مناسب (۲۵ و ۵۰ درصد) و دو مقدار احتمال وقوع بارندگی (۵۰ و ۶۷ درصد معادل دوره بازگشت دو و ۱/۵ سال) مساحت سامانه کوچک تعیین شد تا نتایج کاربردی و ملموس ارائه شود.

نتایج و بحث

تحلیل بارندگی منطقه: بر اساس آمار ۲۰ ساله متوسط سالانه بارندگی منطقه زرین‌دشت و بر اساس معادله ویبول، احتمال وقوع بارندگی محاسبه شد. رابطه بین مقدار بارندگی و احتمال وقوع آن در شکل ۲ ارائه شده است. مطابق این رابطه انتظار می‌رود، در ۵۰ درصد از مواقع بارندگی بیش از ۱۵۰ میلی‌متر به‌وقوع بپیوندد و از این نظر منطقه پتانسیل جمع‌آوری آب باران را دارد (Sepaskhah، ۲۰۱۴). همچنین، از این تحلیل می‌توان برای تعیین احتمالاتی درصد تأمین نیاز آبی گیاه کاشته شده در سامانه‌های کوچک استفاده کرد.



شکل ۲- رابطه بین احتمال وقوع و مقدار بارندگی سالانه در ایستگاه زرین‌دشت

تحلیل رواناب در تیمارهای مختلف: در سال اول آزمایش از چهار واقعه بارش (جمعا به مقدار ۴۶/۲ میلی‌متر) مقدار ۳/۰، ۲/۴، ۲/۱ و ۲/۵ میلی‌متر رواناب در تیمارهای شاهد، جوی و پشته، خاک رس و ترکیب این دو جمع‌آوری شد. مقادیر متناظر در سال دوم از مجموع پنج واقعه بارش (به مقدار ۱۲۷/۷ میلی‌متر) به‌ترتیب ۱۱/۹، ۱۰/۹، ۱۰/۱ و ۱۱/۶ میلی‌متر بود. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار سطحی و سال بر مقدار و ضریب رواناب در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق این نتایج، اثر سال و تیمار سطحی بر مقدار و ضریب رواناب معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش آن‌ها از نظر آماری تأثیری نداشت.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سال و تمیار سطحی بر مقدار و ضریب رواناب

متغیر	منابع تغییر			
	سال	تیمار سطح	سال×تمیار سطح	خطا
رواناب	۴۴۸/۹۳۵**	۱/۹۱۹**	۰/۴۱۹^{ns}	۰/۱۹۵
ضریب رواناب	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۰**	۲/۵۱۷×۱۰$^{-۵}$ ^{ns}	۱/۱۶۸×۱۰$^{-۵}$

^{ns} غیرمعنی‌دار و ** معنی‌دار در سطح یک درصد

مقایسه میانگین متوسط مقدار رواناب در تیمارهای مختلف برای سال اول آزمایش (جدول ۳) نشان داد که در تیمار شاهد به‌ترتیب ۲۱، ۲۹ و ۱۸ درصد بیش از تیمارهای جوی و پشته، پوشش خاک رس و ترکیب این دو تیمار رواناب تولید شده است. ضریب رواناب نیز در تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری بیش از دیگر تیمارها بود. در سال دوم آزمایش، مقدار رواناب در تیمار پوشش خاک رس ۲۲ درصد از تیمار شاهد کمتر بود، اما بین شاهد و تیمارهای جوی و پشته و نیز تیمار ترکیب جوی و پشته و خاک رس تفاوت آماری وجود نداشت. ضریب رواناب در این سال نیز وضعیتی مشابه رواناب در تیمارهای مختلف داشت. بیشترین مقدار متوسط سالانه ضریب رواناب در تیمار شاهد ثبت شد که مقدار آن در سال اول آزمایش ۶/۵ درصد و در سال دوم ۹/۳ درصد بود.

جدول ۳- مقایسه میانگین مقدار (میلی‌متر) و ضریب رواناب سامانه‌های کوچک در تیمارهای مختلف به تفکیک دو سال آزمایش

سال	متغیر اندازه‌گیری شده	تیمار سطحی			
		شاهد	جوی و پشته	خاک رس	جوی و پشته×رس
۱۳۹۳-۹۴	رواناب	۳/۰۰a[1]	۲/۳۸b	۲/۱۴c	۲/۴۵b
	ضریب رواناب	۰/۰۶۵a	۰/۰۵۲b	۰/۰۴۶c	۰/۰۵۳b
۱۳۹۴-۹۵	رواناب	۱۱/۹۰a	۱۰/۹۰ab	۱۰/۱۰bc	۱۱/۶۳a
	ضریب رواناب	۰/۰۹۳a	۰/۰۸۵ab	۰/۰۷۹bc	۰/۰۹۱a

[1] میانگین‌هایی که در هر ردیف دارای حروف مشترک هستند، در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

طبق جدول ۴ در مجموع دو سال آزمایش نیز تیمار شاهد از نظر مقدار رواناب تولیدی و درصد تبدیل بارش به رواناب مؤثرتر از تیمارهای دیگر عمل کرد. در واقع دست خوردن خاک سطحی در سطح سامانه کوچک به‌طور متوسط ۱۱ درصد رواناب و ۱۴ درصد ضریب رواناب را نسبت به شاهد کاهش داد. همچنین، ضریب رواناب در مجموع دو سال در تیمار خاک رس کمینه بود (۲۰ درصد کمتر از شاهد). ضریب جذب بالای آب به‌وسیله رس و ترک خوردن خاک رس با خشک شدن که خود موجب افزایش نفوذ و کاهش رواناب می‌شود، از دلایل کاهش بازده تولید رواناب در این تیمار می‌تواند قلمداد شود. به‌علاوه، با ایجاد جوی و پشته در جهت شیب مسیر عبور رواناب تسهیل شده، مقاومت سر راه عبور آب کاهش می‌یابد. زیرا پهنه تماس آب با سطح زمین کوچک‌تر می‌شود. به همین دلیل، در تیمار جوی پشته ضریب رواناب از تمیار خاک رس بیشتر بوده است. تیمار ترکیبی خاک رس و ایجاد جوی و پشته هرچند مقدار و ضریب رواناب را نسبت به تیمار جوی پشته اندکی افزایش داد اما این مقدار معنی‌دار و قابل توجه نبود.

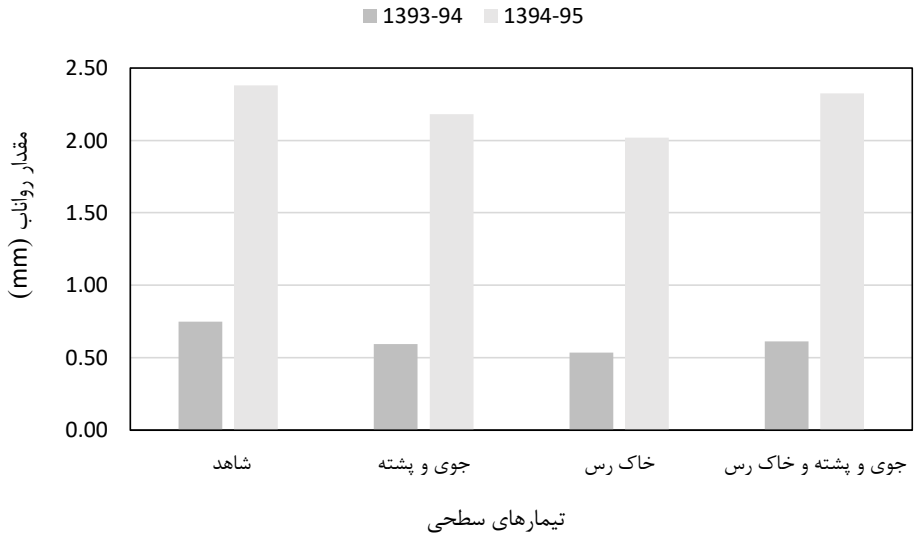
جدول ۴- مقایسه میانگین مقدار (میلی‌متر) و ضریب رواناب سامانه‌های کوچک در تیمارهای مختلف در مجموع دو سال آزمایش

متغیر اندازه‌گیری شده	تیمار سطحی			
	شاهد	جوی و پشته	خاک رس	جوی و پشته×رس
رواناب	۷/۴۵a[1]	۶/۶۶bc	۶/۱۲cd	۷/۰۴ab
ضریب رواناب	۰/۰۷۹a	۰/۰۶۹b	۰/۰۶۳c	۰/۰۷۲b

[1] میانگین‌هایی که در هر ردیف دارای حروف مشترک هستند، در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

در سال اول آزمایش برای آماده‌سازی تیمارها، خاک سطح زمین دست‌خورده شد (به جز تیمار شاهد). دست‌خوردگی و به هم‌ریختگی خاک سطحی با افزایش تعداد و اندازه سوراخ‌های خاک باعث افزایش نفوذ آب در خاک شد. زیرا با این کار زبری سطح زمین و به‌تبع آن فرصت نفوذ رواناب افزایش یافت. اما در سال دوم خاک دست‌خورده سطحی نشست کرده، تثبیت می‌شود و این می‌تواند یک دلیل برای افزایش مقدار رواناب (به ازای یک واقعه بارش بر اساس اطلاعات جدول ۳) در تیمارهای مشابه باشد (شکل ۳). این افزایش در تیمار شاهد دو برابر و در تیمارهای جوی و پشته، خاک رس و ترکیب این دو تیمار به‌ترتیب ۲/۶، ۲/۰ و ۲/۸ برابر بود. هر چند درصد افزایش در تیمار شاهد مشابه تیمار خاک رس و کمتر از دو تیمار دیگر بود، اما در سال دوم نیز مانند سال اول، همچنان مقدار مطلق رواناب در تیمار شاهد بیش از بقیه تیمارها بود. این بدان معنی است که در این منطقه هیچ‌گونه تیماری برای سطح سامانه کوچک جمع‌آوری لازم نیست و تنها سامانه کوچک دارای سطح طبیعی زمین با شیب یکنواخت و عاری از گیاه کفایت می‌کند. زیرا اعمال هرگونه تیمار متضمن هزینه بوده، طبق نتایج حاصل در افزایش تولید رواناب اثری ندارد. البته تولید رواناب از یک بارش معین علاوه‌بر شرایط سطح زمین به ویژگی‌های بارش مانند مقدار و به‌ویژه شدت آن نیز وابسته است. آماری از شدت بارش در دو سال آزمایش برای قضاوت در دسترس نبود، اما در سال دوم مقدار بارندگی در وقایع پنج‌گانه عموما زیاد بود. مقدار بیشتر بارندگی با

تکمیل ظرفیت نگهداری آب در خاک و کاهش شدت نفوذ سبب افزایش تولید رواناب می‌شود. فاصله زمانی بارش‌ها نیز به‌دلیل اثرگذاری بر مقدار رطوبت خاک قبل از یک بارش بر میزان رواناب تولیدی اثر دارد. به‌علاوه کاربرد خاک رس که برای مسدودسازی منافذ خاک به‌کار رفته بود، نتوانست سبب افزایش رواناب شود. احتمالا ترک‌خوردگی خاک رس پس از خشک شدن سبب افزایش نفوذ در بارش بعدی شده و تولید رواناب را کاهش داده است.



شکل ۳- مقدار رواناب به ازای یک بارندگی در تیمارهای مختلف طی دو سال آزمایش

آستانه بارش برای تولید رواناب در تیمارهای مختلف: بارش آستانه برای تولید رواناب کمینه مقدار بارندگی است که پس از جبران ذخیره سطحی خاک در سامانه کوچک جاری می‌شود. با تحلیل رگرسیون مقادیر بارش (چهار واقعه بارش در سال اول و پنج واقعه در سال دوم) و رواناب مطابق معادله (۱)، آستانه بارش برای ایجاد رواناب در تیمارهای مختلف محاسبه شد (جدول ۵). طبق نتایج حاصل، آستانه بارش برای تولید رواناب در هر دو سال آزمایش در تیمار شاهد کمترین مقدار (حدود یک میلی‌متر) را داشت. بیشترین مقدار بارش آستانه طی دو سال آزمایش مربوط به تیمار ترکیبی جوی و پشته و خاک رس به میزان ۴/۱ و ۳/۵ میلی‌متر به‌ترتیب در سال اول و دوم آزمایش بود. مقایسه آستانه بارش برای تولید رواناب بین دو سال آزمایش نشان داد که مقدار بارش آستانه در سال دوم در تمام تیمارهای آزمایشی کاهش یافته است. این مقدار کاهش در تیمارهای جوی و پشته، خاک رس و ترکیب این دو به‌ترتیب ۱۱، سه و ۱۳ درصد بود. تنها در تیمار شاهد آستانه بارش در دو سال تغییری نکرد.

جدول ۵- رابطه بین مقدار رواناب (R، میلی‌متر) و بارندگی (P، میلی‌متر) در تیمارهای مختلف طی دو سال آزمایش[۱]

سال آزمایش	تیمار سطحی			
	شاهد	جوی و پشته	رس	جوی و پشته×رس
۹۴-۱۳۹۳				
معادله	R=0.072(P-1.03)	R=0.058(P-1.27)	R=0.064(P-3.04)	R=0.082(P-4.06)
ضریب تعیین	R^2=0.981	R^2=0.981	R^2=0.977	R^2=0.950
۹۵-۱۳۹۴				
معادله	R=0.097(P-1.05)	R=0.090(P-1.13)	R=0.090(P-2.95)	R=0.106(P-3.54)
ضریب تعیین	R^2=0.988	R^2=0.989	R^2=0.985	R^2=0.979

[۱] تمام معادلات ارائه شده در سطح $p<0.01$ معتبر است.

طبق نتایج حاصل (جدول ۶) دست‌خوردگی خاک سطحی در سامانه کوچک در هر سه تیمار جوی و پشته، کاربرد خاک رس و ترکیب این دو، در دو سال آزمایش مقدار بارش آستانه برای تولید رواناب را نسب به شاهد افزایش داد. به‌عبارت دیگر، به هم خوردن خاک سطحی در نتیجه اعمال تیمار سبب افزایش نفوذ آب در خاک نسبت به تیمار شاهد شد. در سال دوم، آزمایش در تیمار شاهد تفاوت محسوسی از نظر آستانه بارش برای ایجاد رواناب دیده نشد. اما در بقیه تیمارها این آستانه نسبت به سال اول کاهش یافت. یکی از دلایل این امر می‌تواند تثبیت خاک سطحی در تیمارهای آزمایشی پس از یک سال باشد. این امر سبب کاهش تخلخل سطحی و کاهش نفوذ شده، آستانه بارش برای تولید رواناب را کاهش داده است. آستانه بارش برای تولید رواناب در مناطق مختلف بسته به خصوصیات بارش و خاک و نیز شیب زمین می‌تواند متفاوت بوده، قابل مقایسه نباشد. برای مثال، بارش آستانه برای تولید رواناب در آبخیز طالقان با تیمار شاهد و جوی و پشته در سامانه کوچک به‌طور متوسط به‌ترتیب ۲/۵ و ۲/۶۵ میلی‌متر محاسبه شد (Akhshi و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه‌بر ویژگی‌های بارش مخصوصا شدت آن، خصوصیات خاک مانند بافت و درصد سنگریزه نیز می‌تواند دلیل این تفاوت باشد. در آزمایش انجام شده در منطقه طالقان در زمینی با شیب ۱۰ درصد به‌دلیل بارش‌های بیشتر سیستماتیک و طولانی‌مدت منطقه و با شدت کم و نیز وجود سنگریزه در خاک سامانه کوچک، آستانه بارش برای ایجاد رواناب نسبت به تیمارهای مشابه در این آزمایش بیش از دو برابر بود.

مساحت سامانه کوچک: از نتایج حاصل از تحلیل بارندگی و اندازه‌گیری ضریب رواناب می‌توان برای طراحی سامانه‌های کوچک جمع‌آوری رواناب به‌منظور کشت درختان مثمر و غیرمثمر استفاده کرد. با استفاده از معادله (۳) برای شرایط تیمار منتخب (شاهد) با متوسط ضریب رواناب ۸/۰ درصد، مساحت سامانه کوچک کشت محاسبه شد. به این منظور بارش با احتمال وقوع ۵۰ (دوره بازگشت دو ساله) و ۶۷ درصد (دوره بازگشت ۱/۵سال) مقدار مصرف آب به‌وسیله درخت ۳۰۰ (نیاز آبی کم برای درختانی مانند مو) و ۶۰۰ میلی‌متر (نیاز آبی زیاد برای درختانی مانند پسته، انجیر و بادام) در نظر گرفته شد. سپس، مساحت سامانه کوچک کشت برای راندمان ذخیره رواناب در ناحیه کشت با دو وضعیت راندمان ذخیره ضعیف (۲۵ درصد) و خوب (۵۰ درصد) محاسبه شد (جدول ۶). مقدار بارش با احتمال وقوع ۵۰ و ۶۷ درصد از شکل ۲ به‌ترتیب ۱۹۲ و ۱۴۸ میلی‌متر محاسبه شد. نتایج نشان داد که برای یک درخت با نیاز آبی کم (۳۰۰ میلی‌متر) اگر بازده ذخیره رواناب پایین (۲۵ درصد) باشد، بر اساس دوره بازگشت دو ساله برای بارندگی برای سامانه کوچک دست‌کم ۲۹ مترمربع مساحت لازم است. اگر راندمان ذخیره دو برابر شود، مساحت سامانه کوچک به ۱۵/۱ مترمربع (۴۸ درصد کمتر) کاهش می‌یافت. با همین شرایط برای درختی با نیاز آبی زیاد (۶۰۰ میلی‌متر) دست‌کم مساحت ۱۰۷ و ۵۴ مترمربع به‌ترتیب با بازده ذخیره ۲۵ و ۵۰ درصد لازم است. اگر معیار طراحی سامانه کوچک بارش با احتمال وقوع ۶۷ درصد (دوره بازگشت ۱/۵ سال) باشد، دست‌کم مساحت لازم برای تأمین نیاز ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متری با بازده ذخیره ۲۵ درصد به‌ترتیب ۵۲ و ۱۵۳ مترمربع و با بازده ذخیره ۵۰ درصدی به‌ترتیب ۲۶ و ۷۷ مترمربع است.

جدول ۶- مساحت (A، میلی‌متر) و طول ضلع (L، میلی‌متر) ریزحوضه در مقادیر مختلف بارندگی (P)، نیاز آبی و راندمان ذخیره رواناب

راندمان ذخیره	نیاز آبی (میلی‌متر)	مساحت (A، میلی‌متر) و طول ضلع (L، میلی‌متر) سامانه کوچک			
		$P_{50\%}$=192 mm		$P_{67\%}$=148 mm	
		A	L	A	L
۰/۲۵	۳۰۰	۲۹/۱	۵/۴	۵۲/۴	۷/۳
	۶۰۰	۱۰۷/۳	۱۰/۴	۱۵۳/۷	۱۲/۴
۰/۵۰	۳۰۰	۱۵/۱	۳/۹	۲۶/۷	۵/۲
	۶۰۰	۵۴/۱	۷/۴	۷۷/۴	۸/۸

نتایج حاکی از این بود که با احتمال وقوع بزرگ‌تر (دوره بازگشت کوچک‌تر) مساحت بزرگ‌تری برای سامانه کوچک لازم است، زیرا مقدار بارندگی مورد انتظار با دوره بازگشت کوچک‌تر کمتر است (شکل ۲). همچنین، در شرایطی که تلفات رواناب جمع‌آوری شده زیاد باشد (بازده ذخیره کم باشد) مساحت بزرگ‌تری برای سامانه کوچک لازم است. هر اقدامی که ظرفیت ذخیره آب در خاک ناحیه کشت را افزایش دهد (مانند افزایش مواد آلی به خاک) سبب افزایش بازده ذخیره و کاهش مساحت لازم برای سامانه کوچک می‌شود. Sadeghzadeh Reyhan و همکاران (۲۰۱۴) مشابه این نتایج را برای درخت پسته کاشت شده با سامانه کوچک گزارش کردند. Fooladmand و Sepaskhah (۲۰۰۶) نیز برای درخت مو (دارای نیاز آبی کم، حدود ۳۰۰ میلی‌متر) در منطقه باجگاه با متوسط بارندگی ۳۵۰ میلی‌متر مساحت لازم برای سامانه کوچک جمع‌آوری رواناب را نه متر مربع گزارش کردند. در نتایج آن‌ها بازده ذخیره ۷۵ درصد در نظر گرفته شده بود. همچنین، کشاورزان منطقه باجگاه به‌طور سنتی انگور دیم را در کرت‌هایی با مساحت نه متر مربع کشت کرده‌اند. اختلاف این مساحت (نه متر مربع) با عدد ۱۵/۱ متر مربع محاسبه شده، در این پژوهش به‌واسطه بارندگی ۱۹۲ میلی‌متری و بازده ذخیره ۵۰ درصدی توجیه می‌شود. در ضمن مقادیر منظورشده برای نیاز آبی در این پژوهش به گونه‌ای انتخاب شده که نماینده مقدار آب مصرفی برای درختان کم و پرمصرف باشد (Sepaskhah، ۲۰۱۴) و نیز امکان کاشت آن با سامانه کوچک وجود داشته باشد. البته ذکر این نکته ضروری است که با شیوه کشت در سامانه کوچک اغلب نیاز آبی درخت به‌طور کامل تأمین نمی‌شود. بلکه همیشه بخشی از نیاز آبی مرتفع می‌شود. در واقع طراحی سامانه کوچک (انتخاب مساحت و ابعاد) نیز با لحاظ‌کردن ریسک برای تأمین تمام یا بخشی از نیاز آبی درخت با احتمال وقوع مشخص صورت می‌پذیرد (Khalili Samani و همکاران، ۲۰۲۰). در واقع مساحت سامانه کوچک به‌منظور درختکاری با مشخص شدن نوع درخت (معلوم بودن نیاز آبی و نوع محصول) و تحلیل اقتصادی تعیین می‌شود (Meshgi، ۲۰۰۶).

نتیجه‌گیری

در منطقه زرین‌دشت استان فارس در بیش از ۵۰ درصد سال‌ها بیش از ۱۵۰ میلی‌متر بارش رخ می‌دهد. در این بررسی اثر شرایط خاک سطحی سامانه کوچک در افزایش تولید رواناب در قالب چند تیمار بررسی شد. نتایج حاکی از آن بود که اعمال تیمارهای سطحی در سامانه کوچک نقشی در افزایش مقدار و ضریب رواناب نسبت به تیمار شاهد (سطح بدون تیمار سامانه کوچک) نداشت. در نتیجه، در این منطقه هیچ‌گونه تیماری برای سطح سامانه کوچک جمع‌آوری آب باران لازم نیست. لذا، سامانه کوچک دارای سطح طبیعی با شیب یکنواخت و عاری از گیاه به‌دلیل مقدار و ضریب رواناب تولیدی بیشتر قابل توصیه است. بارش آستانه برای ایجاد رواناب در هر دو سال در تیمار شاهد کمتر از تیمارهای دیگر بود. از این نظر نیز تیمار شاهد قابل توصیه در منطقه است. البته طی سال دوم آستانه بارش برای ایجاد رواناب در تیمارها نسبت به سال اول کاهش یافت. مساحت سامانه کوچک جمع‌آوری آب باران در منطقه از کمینه ۱۵/۱ مترمربع در شرایط احتمال وقوع ۵۰ درصد بارندگی و بازده ذخیره ۵۰ درصد تا ۱۵۳/۷ مترمربع با احتمال وقوع ۶۷ درصد برای بارندگی و بازده ذخیره ۲۵ درصد برای تأمین به‌ترتیب ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر نیاز آبی گیاه متغیر بود. مساحت زیرحوضه تابع مقدار بارش، نیاز آبی گیاه و درصد پذیرش ریسک برای تأمین نیاز آبی است. البته با توجه به نوع محصول اندازه اقتصادی سامانه کوچک نیز قابل تعیین است.

منابع مورد استفاده

1. Akhshi, M., N. Yarami, A. Azizian and A.A. Nazari-Samani. 2021. Rainwater harvesting potential in different treatments and seasons in Taleghan Watershed. Watershed Management Research, 33(4): 113-125 (in Persian).

2. Anaya, M.G. and J.S. Tovar. 1975. Different soil treatments for harvesting water for radish production in the Mexico Valley. In Farsier, G.W. (ed.), Symposium on Water Harvesting, Phoenix, AR, ARSW-22, USDA, 315-320.
3. Chow, V.T, D.R. Maidment and L.W. Mays. 1988. Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill, New York, 1440 pages.
4. Critchley, W., K. Siegert and C. Chapman. 1991. Water harvesting a manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. Scientific Publishers, 173 pages.
5. Drib, S.D., T. Assefa, B. Berhanu and G. Zeleke. 2009. Impact of micro-basin water harvesting structures in improving vegetative cover in degraded hillslopes areas of north-east Ethiopia. The Rangeland Journal, 31(2): 259-265.
6. Fooladmand, H.R. and A.R. Sepaskhah. 2006. Probabilistic determination of micro-catchment area for rain-fed tree cultures. Iranian Journal of Science and Technology, 30(B4): 517-526.
7. Hoseini, M. and M. Roghani. 2013. Comparison of the rainwater harvesting in diamond-shape rainwater catchment system. Iranian Journal of Watershed Management Science, 6(19): 7-18 (in Persian).
8. Khalili-Samani, N., A. Azizian, N. Yarami and S. Soltani. 2020. Suitable regions for rain-fed tree culture in Central Zagros, Chaharmahal and Bakhtiari Province of Iran. Journal of Irrigation Science and Engineering, 2: 26-39 (in Persian).
9. Mahmoud, W.H., N.A. Elagib, H. Gaese and J. Heinrich. 2014. Rainfall conditions and rainwater harvesting potential in the urban area of Khartoum. Resources, Conservation and Recycling, 91: 89–99.
10. Mehdizadeh Youshanloei, M. and M. Roghani. 2015. Investigation of operation of isolated, semi-isolated and natural surfaces in rainfall-runoff process of water harvesting system, a case study: Khorram Abad Station. Watershed Engineering and Management, 7(4): 415-424 (in Persian).
11. Meshgi, A. 2006. Optimal determination of rain-fed vineyard micro-catchment cultivation for designing water harvesting systems using stochastic computer model. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University, 203 pages (in Persian).
12. Nekuei Mehr, M. 2014. Investigating the amount of harvestable water from rainwater catchment systems for fruit trees cultivation in sloping lands under water crisis. 2nd National Conference on Water Crisis, September 2014, Shahrekord University, Shahrekord, Iran (in Persian).
13. Rastegar, H. 2005. Comparing flat and lozenge micro catchment shape to increase soil moisture by collecting surface runoff in Hormozgan Province. Proceedings of the Second National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources, Kerman, Iran, 2: 751-758 (in Persian).
14. Sadeghzadeh Reyhan, M.E., D. Zarehaghighi and M.R. Neyshabouri. 2014. Evaluation of rainwater harvesting methods in increasing soil moisture and pistachio seedling growth. Water and Soil Science, 23(4): 203–214 (in Persian).
15. Sepaskhah, A.R. 2014. Micro-catchment water harvesting for optimum use in agriculture. Shiraz University Press, 344 pages (in Persian).
16. Samuel, M.P. and A.C. Mathew. 2008. Rejuvenation of water bodies by adopting rainwater harvesting and groundwater recharging practices in catchment area. The 12th World Lake Conference, Jaipur, India, January 01, 766-776.
17. Shahini, Gh. 2005. Evaluating of different type of micro catchment on soil moisture in east of Golestan Province. Proceedings of the Second National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources, Kerman, Iran, 1: 88-89 (in Persian).
18. Shekarchian, A. 2005. Evaluating of different methods of water harvesting for planting almonds in Piroyeh Watershed. Proceedings of the Second National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources, Kerman, Iran, 2: 731-734 (in Persian).
19. Tahmasbi, R. and R. Rajabi-Sani. 2006. Rainwater collection in natural areas, a solution for elimination of water shortage in arid and semi-arid regions, case study: Latian Watershed. Journal of Geography and Development, 4(7): 23-42 (in Persian).
20. Tavakoli, A.R. and T. Oweis. 2011. Improving rain water productivity by micro-catchment water harvesting systems at northwest of Iran. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage, 15-23 October, Tehran, Iran.
21. Yosef, B.A. and D.K. Asmamaw. 2015. Rainwater harvesting: an option for dry land agriculture in arid and semi-arid Ethiopia. Water Resources and Environmental Engineering, 7(2): 17-28.
23. Zingiro, A., J.J. Okello and P.M. Guthiga. 2014. Assessment of adoption and impact of rainwater harvesting technologies on rural farm household income: the case of rainwater harvesting ponds in Rwanda. Environment, Development and Sustainability, 16: 1281–1298.