نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۸، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۳، ص. ۱۵۴-۱۴۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 18, Apr.-May. 2024, p. 143-154

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تأثیر عوامل محیطی بر توانایی سیستم کجاوه در استحصال آب

محمدرضا حامی کوچه باغی[1*]، تیمور سهرابی[2]، آرزو نازی قمشلو[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۰۲

چکیده

استحصال آب در محل، تنها یکی از تکنیک‌های استحصال آب باران است که شامل طیف وسیعی از روش‌های سنتی و نوآورانه می‌باشد. با اعمال مدیریت صحیح و احداث مکانیزه آن، می‌توان کارایی این روش‌ها را را بهبود بخشید. با الگوگیری از معماری سنتی ایران و اصلاح روش‌های موجود استحصال آب باران، سیستم استحصال آب کجاوه برای کشت گیاه و یا تغذیه آبهای زیرزمینی به‌صورت تکرار مخروط‌های معکوس طراحی شده است. به‌منظور بررسی عوامل موثر بر سیستم کجاوه، در این مطالعه ۱۳ تیمار مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد ساختاری با قطر پایه و ارتفاع مخروط خاص، که با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی منطقه تعیین می‌شود، دارای بیشترین عملکرد در استحصال آب می‌باشد. با توجه به شرایط اولیه متفاوت برای این تیمارها، ساختاری با شیب دیواره ۰/۳ متربرمتر، قطر پایه مخروط برابر با ۵۰ سانتی‌متر، خاک لوم، شدت بارندگی ۱۲ سانتی‌متر در ساعت و طول مدت بارندگی ۱۰ دقیقه، بهترین نتایج از نظر استحصال آب باران را به‌همراه داشت و به‌صورت میانگین ۱۴/۹ درصد آب بیشتری نسبت به حالت بدون ساختار در منطقه هدف فراهم کرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم استحصال آب، شدت بارندگی، طول مدت بارندگی، فرسایش، مدیریت خاک

مقدمه

استپ‌ها مناطقی با آب و هوای خشک هستند که بخش‌های وسیعی از غرب آسیا و شمال آفریقا را پوشش می‌دهند. اهمیت تحقیق و توسعه کشاورزی در استپ‌ها برای اهداف تامین غذا و حفاظت از محیط زیست را نمی‌توان نادیده گرفت. از سویی، افزایش ذخایر آب و عناصر غذایی گیاه و کاهش فرسایش خاک از اهداف دیگر مدیریت خاک است (Oweis, 2001). فن‌آوری‌های استحصال آب باران در محل، مبتنی بر محروم کردن بخشی از زمین از سهم بارندگی خود و افزودن آن سهم به قسمت دیگر (به طور طبیعی یا با مداخله) می‌باشد (Oweis, 2001). روش‌های استحصال آب باران را می‌توان براساس نوع استفاده، روش ذخیره‌سازی آب یا اندازه جمع‌کننده‌ها طبقه‌بندی کرد. لذا یکی از روش‌های طبقه‌بندی بر اساس اندازه سطح جمع‌کننده آب است. در سیستم استحصال آب با سطح جمع‌کننده بزرگ[4]، آب از یک منطقه بزرگ و خارج از مزرعه جمع‌آوری می‌شود. سیستم‌های استحصال آب با سطح جمع کننده بزرگ انواع مختلفی دارند، مانند مخازن کوچک مزرعه[5]، کشت در بستر مسیل[6]، مخازن بزرگ ذخیره آب[7]، هایر[8] و غیره (Oweis, 2001; Oweis et al., 1999). در سیستم‌های استحصال آب با جمع‌کننده کوچک[9] کشاورزان رواناب را از یک منطقه کوچک جمع‌آوری می‌کنند و آن را به منطقه کشت که نزدیک به محل جمع‌آوری است منتقل نموده و از آن استفاده می‌کنند. سیستم‌های استحصال آب داخل مزرعه[10] جزو مهم‌ترین زیرشاخه‌هایی است که دارای طراحی ساده و کم هزینه بوده و به راحتی قابل تکرار و سازگاری هستند. اما امکانات بیشتری برای بهبود چنین سیستم‌هایی وجود ندارد. با این حال، چالش‌هایی مانند بهبود مدیریت و مکانیزه کردن روش‌های سنتی همچنان باقی است که نیاز به توجه بیشتری دارند (Vohland and Barry, 2009). سیستم‌های

۱- دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: abc.m.hami@gmail.com

4- macro catchment system
5- small farm reservoirs
6- Wadi-bed cultivation
7- large bunds tanks
8- hair
9- micro catchment systems
10- In-Site

استحصال آب داخل مزرعه انواع مختلفی دارند، مانند نهرهای کنتوری[1]، نوارهای نیمه دایره‌ای و ذوزنقه‌ای[2]، حفره‌های کوچک[3]، حوضچه‌های کوچک رواناب[4]، نوارهای رواناب[5]، سیستم‌های بین ردیفی[6] و غیره (Eludoyin et al., 2021; MacCarton et al., 2021; Oweis et al., 1999).

بسیاری از محققان کارهای مطالعاتی متعددی بر روی عملکرد روش‌های مختلف استحصال آب باران با تمرکز بر افزایش عملکرد محصول انجام داده‌اند. دموز در تحقیقات خود نشان داد که استفاده از نهرهای گرده‌دار[7] منجر به افزایش عملکرد محصول تا ۴۸/۵ و ۲۷ درصد به‌ترتیب در کشت سورگوم و پنبه می‌شود (Demoz, 2016). گابری‌کیدان از تیمارهای مختلف نهرهای گرده‌دار استفاده کرد و ۳۴/۵ درصد افزایش عملکرد محصول سورگوم در مقایسه با کشت سنتی بدون ساختار استحصال آب را مشاهده نمود (Gebrekidan, 2003). موداتنگوها و همکاران از سه تیمار مختلف سیستم استحصال آب باران استفاده کردند (Mudatenguha et al., 2014). در مقایسه با کشت سنتی بدون ساختار استحصال آب، آنها به‌ترتیب ۴۹/۶، ۱۰۶ و ۱۳۶ درصد افزایش عملکرد محصول برای تیمارهای شامل حفره‌های کوچک، نهرهای گرده‌دار و مالچ مشاهده کردند. همچنین، هالوف و یوهانس (Heluf and Yohannes, 2002) به این نتیجه رسیدند که استفاده از نهرهای گرده‌دار عملکرد ذرت را ۱۵ تا ۵۰ درصد و عملکرد سورگوم را ۱۵ تا ۳۸ درصد افزایش می‌دهد (Heluf and Yohannes, 2002). در مطالعه دیگر که توسط ادبوی و همکاران با استفاده از روش نهرهای گرده‌دار انجام شد، ۲۲ درصد آب بیشتر نسبت به کشت سنتی بدون ساختار استحصال آب فراهم آوردند (Adeboye et al., 2017).

فن‌آوری‌های استحصال آب با استفاده از حفره‌های کوچک شکل رایج از روش‌های استحصال آب باران است که برای بهبود تأمین آب برای مصارف کشاورزی و کاهش آسیب پذیری در خشکسالی‌های طولانی مدت استفاده می‌شود (Patle et al., 2020). ایجاد حفره در سطح خاک، رطوبت را در خاک افزایش می‌دهد و باعث افزایش بهره‌وری تولید محصول در مناطق کم بارش می‌شود (Kimaru- Muchai et al., 2020; Ndeke et al., 2021). سازه‌های استحصال آب به‌صورت حفره‌های کوچک با افزایش وسعت و مدت زمان دسترسی گیاه به رطوبت و همچنین کنترل فرسایش خاک از طریق به‌دام انداختن و تغییر توزیع رطوبت و ترسیب املاح، تولید محصول را افزایش می‌دهند (Nichols et al., 2021; Kimaru-Muchai et al., 2020). چاله‌های زای[8]، شکلی از حفره‌های کوچک برای استحصال آب باران هستند (Danso- Abbeam et al., 2020). حفره‌های زای فناوری غالب استحصال آب در بورکینافاسو است، اما برخی مقالات منشاء آن را منطقه دوگون در مالی می‌دانند (Danjuma and Mohammed, 2015). کشاورزان مختلف سیستم‌های استحصال آب باران شخصی خود را با تغییر عمق و عرض حفره‌های زای با توجه به شرایط موجود در مناطق مختلف ایجاد نموده‌اند. به‌عنوان مثال، در تانزانیا استفاده از حفره‌های نگورو[9] با عرض ۲ متر عملکرد دانه ذرت بیشتری (۱/۹ تن در هکتار) در مقایسه با حفره‌هایی با عرض ۱/۵ متر (۱/۷ تن در هکتار) و ۱ متر (۱/۵۵ تن در هکتار) داشته است (Malley et al., 2004). در تحقیق مشابه بیازین و همکاران از حفره‌های کوچک برای استحصال آب باران استفاده کردند و توانستند آب ذخیره شده در منطقه هدف را تا حدود ۳۰ درصد افزایش دهند (Biazin et al., 2012). در تحقیق دیگری بیان شده است که حفره‌های زای عملکرد سورگوم را تا ۴۰۰ درصد افزایش می‌دهند (Getachew and Wondimu, 2005). در ارتفاعات کشور اتیوپی، حفره‌های زای همراه با کاربرد کود ازت، عملکرد محصول سیب‌زمینی را بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم و عملکرد محصول لوبیا را تا ۲۵۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داده‌اند (Amede et al., 2011). تاسا[10] در نیجر و مالی از سوراخ‌های کوچکی به قطر ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و عمق ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر تشکیل شده است که به فاصله یک متر از هم ایجاد می‌شوند (Partey et al., 2018). چاله‌های کاتومانی[11] در کنیا، چاله‌های نیم‌دایره‌ای[12]، چیلولو[13] و ماتنگو[14] تنها نمونه‌هایی از این چنین اقتباس‌های سازگاری هستند (Kudza and Tapiwa, 2019). تنوع گسترده در ابعاد حفره‌ها تا حدی بیانگر تفاوت در تجربیات کشاورزان است و همچنین می‌تواند ناشی از عدم وجود ابعاد استاندارد پذیرفته شده عمومی باشد (Wadzanayi Nyakudya et al., 2014). حفره‌های عمیق‌تر در مناطق با خاک کم عمق و حفره‌های کم‌عمق در خاک‌هایی با نفوذپذیری کم مطلوب بوده است (Slingerland and Stork, 2000). این روش‌ها در کنار موارد مشابه معمولاً در اندازه حفره‌ها با هم تفاوت دارند و هیچ راهی برای تعیین و طراحی مشخصات هندسی پیشنهاد نشده است. این نشان می‌دهد که فناوری حفره‌های زای به‌طور کامل مورد مطالعه قرار نگرفته است (Vohland

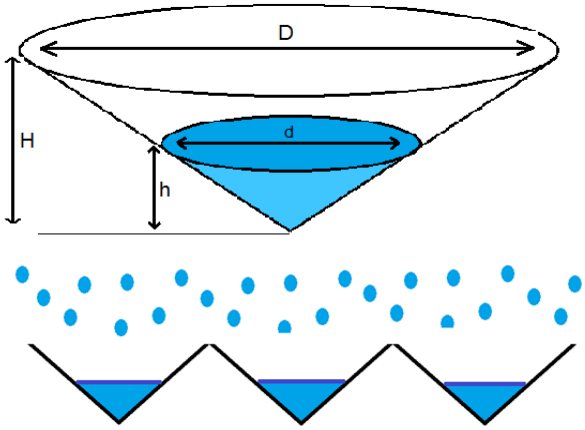
1- contour ridges
2- semi-circular and trapezoidal bunds
3- small pits
4- small runoff basins
5- runoff strips
6- inter-row systems
7- tied ridges
8 - Zai pits
9- Ngoro
10- Tassa
11- Katumani
12- Half-moon
13- Chilolo pits
14- Matengo

and Barry 2009). همچنین، مطالعات علمی پیشین در مورد مزایای عملکرد محصول در حفره‌های استحصال آب باران قطعی نبوده است (Wadzanayi Nyakudya et al., 2014) و موارد بررسی شده تنها به چالش‌های خاص پاسخ می‌دهند (Kuyah et al., 2021).

از سوی دیگر، برخی نتایج حاکی از شکست روش‌های به‌کار رفته در استحصال آب باران بوده است. به‌عنوان مثال، گابریسوس وهمکاران تخریب دیواره‌ها و از بین رفتن کل محصول را هنگام استفاده از نهرهای گرده‌دار مشاهده کردند (Gebreyesus et al., 2006). در تحقیق دیگری کالولی و همکاران از حفره‌های کوچک برای استحصال آب باران استفاده کردند و بیان کردند که این روش منجر به افزایش قابل توجهی در عملکرد محصول یا افزایش در رطوبت خاک نمی‌شود (Kaluli et al., 2012). با این اوصاف، گزارش های متناقضی از عملکرد سیستم‌های استحصال آب باران و حتی کاهش عملکرد به‌دلیل عدم توجه به شرایط اقلیم، جغرافیا، خاک و گیاه و در یک جمله ناهماهنگی انتخاب مکان و فناوری وجود دارد. این موضوع نیاز به طراحی علمی سیستم استحصال آب باران را برجسته‌تر می‌کند (Dhingra et al., 2020).

بدین منظور، سیستم استحصال آب با نام کجاوه با الگوگیری از حفره‌های کوچک طراحی گردیده است و در دشت‌های کم شیب یا با شیب صفر کاربرد دارد. می‌توان سازه کجاوه را به‌صورت مکانیزه و در مقیاس بزرگ ایجاد نمود و به‌دلیل طراحی خاص آن، شبیه‌سازی عملکرد آن ممکن می‌گردد (حامی کوچه باغی و همکاران، ۱۴۰۰). سیستم کجاوه از مخروط‌های معکوس تشکیل شده است که در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند (شکل ۱).

در زمان بارنگی، بخشی از آب در خاک نفوذ می‌کند و اگر شدت بارش بیشتر از میزان نفوذ آب باشد، آب اضافی به‌صورت رواناب در جهت شیب جریان می‌یابد و در مرکز حفره تجمع می‌یابد. تا زمانی که بارندگی ادامه دارد، نفوذ آب در تمام سطح سازه کجاوه وجود دارد. اما، پس از قطع باران، نفوذ تنها در قسمت مرکزی حفره که هنوز آب در آن موجود است رخ می‌دهد. بنابراین زمان تماس آب با خاک در نقاط مختلف متفاوت بوده و در نتیجه میزان نفوذ در نقاط مختلف داخل کجاوه متفاوت خواهد بود. راندمان سیستم کجاوه که به‌صورت حجم آب جمع‌آوری شده در مرکز حفره نسبت به حجم بارش کل تعیین می‌شود، به شدت و طول مدت بارش، شیب دیواره‌ها و بافت خاک بستگی دارد (حامی کوچه باغی و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۱- ساختار کجاوه

همان‌گونه که گفته شد، استحصال آب باران مفهوم جدیدی نیست، بلکه نیازمند بهبود از طریق ترکیب روش‌های بومی با دانش مدرن است (Critchley and Siegert, 1991). شبیه‌سازی سیستم استحصال آب باران می‌تواند به بسیاری از این نیازها پاسخ دهد. در تلاش برای این کار، انتخاب روش استحصال آب باران با ویژگی‌های ساختاری خاص مهم است. در این تحقیق سیستم استحصال آب باران کجاوه مورد توجه قرار گرفته است و تأثیر عوامل مختلفی از جمله شدت و طول مدت بارندگی، نوع خاک و ویژگی های هندسی ساختار بر عملکرد آن بررسی میگردد. این عوامل قبلا مورد توجه سایر محققین نبوده است. در صورتی که هدف از ایجاد سیستم استحصال آب انجام کشاورزی باشد، ویژگی‌های گیاه جزو متغیرهای اصلی برای طراحی سیستم استحصال آب باران خواهد بود. ولی از آنجایی که سیستم استحصال آب باران با اهداف دیگری نظیر تغذیه آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از سیلاب و فرسایش خاک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، وجود گیاه شرایط لازم برای بررسی سیستم استحصال آب باران نیست. بنابراین در این تحقیق اثرات گیاه نادیده گرفته‌شده و هیچ گونه تیمار شامل کشت گیاه مورد بررسی قرار نگرفته است. انتظار می‌رود این مطالعه تأثیر عوامل محیطی مانند شدت و طول مدت بارندگی و نوع خاک بر عملکرد سامانه کجاوه را آشکار سازد و گامی به‌سوی شبیه‌سازی بهینه یک سیستم استحصال آب باران باشد.

می‌توان گفت این تحقیق اولین مورد در نوع خود می‌باشد.

مواد و روش‌ها

اگر نفوذ مستقل از شدت بارندگی و ثابت فرض شود، مقدار رواناب با افزایش شدت بارندگی افزایش می‌یابد. از آنجایی که باران‌های شدید کوتاه‌مدت هستند (Dabiri et al., 2016)، حجم کل آب جمع‌آوری‌شده در کجاوه در طول بارندگی با حجم بارش مشخص، در مقایسه با بارش همان حجم ولی با مدت بارش طولانی-تر و با شدت کمتر، بیشتر خواهد بود. حجم آب ورودی علاوه بر شدت بارندگی، به طول مدت بارندگی نیز بستگی دارد. به‌نظر می‌رسد در بارندگی‌های طولانی مدت، آب نفوذیافته در سطوح جمع‌کننده افزایش یافته و توزیع آب در سطح خاک تقریباً یکنواخت گردد و ویژگی‌های کجاوه برای استحصال آب کم اثر گردد. علاوه بر این، با افزایش قطر پایه مخروط در سیستم کجاوه، اندازه سطحی که بارندگی در آن رخ می‌دهد، حجم آب ورودی به کجاوه و سطوح جمع کننده آب نیز افزایش می‌یابد. با این حال، اگر شدت بارندگی بیشتر از آستانه رواناب باشد، با افزایش قطر پایه مخروط، آب بیشتری در مرکز حفره جمع خواهد شد.

اگر قطر پایه مخروط سازه کجاوه را ثابت فرض کنیم، شیب دیواره با افزایش عمق افزایش می‌یابد. افزایش شیب دو اثر متضاد بر نفوذ دارد. با افزایش شیب سطحی که باران در آن نفوذ می‌کند افزایش می‌یابد. مساحت جانبی مخروط با استفاده از رابطه زیر به-دست می‌آید.

$$S_T = \pi \frac{D}{2} \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + H^2} \qquad (۱)$$

در این معادله H ارتفاع، D قطر پایه و S_T مساحت جانبی مخروط کجاوه است. افزایش سطح منجر به افزایش نفوذ و در نتیجه کاهش رواناب می‌شود. از سویی، طبق برخی مطالعات، با افزایش شیب، میزان نفوذ در واحد سطح کاهش خواهد یافت (Morbidelli et al., 2015). این موضوع هنوز تایید نشده است و در دست بررسی است. با این حال، کاهش نفوذ در واحد سطح با افزایش شیب، نظریه غالب در نظر گرفته می‌شود. در این صورت، دو عامل متضاد بر نفوذ تأثیر می-گذارند و در این شرایط از نظر ریاضی می‌توان انتظار یک نقطه بحرانی را داشت. بنابراین انتظار می‌رود عملکرد سامانه کجاوه در یک شیب مشخص که متناسب با بافت و ساختمان خاک و ویژگی‌های بارندگی می‌باشد، بهینه گردد.

آزمایش‌ها

آزمایش های میدانی اولیه نشان داد که هر حفره در سامانه کجاوه جدا از حفره مجاور عمل می‌کند (حامی کوچه باغی و همکاران، ۱۴۰۰) و مطالعه جداگانه آنها خطای قابل‌توجهی ایجاد نمی‌کند. بنابراین آزمایش‌ها به‌صورت جداگانه در داخل جعبه و در محیط آزمایشگاه انجام شد. این پژوهش از سال ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۹ در مرکز تحقیقات آب گروه مهندسی آبیاری وآبادانی دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. مجموعه‌ای شامل ۶۶ آزمایش برای بررسی تأثیر عوامل محیطی بر عملکرد سیستم کجاوه انجام شد. در این تحقیق ۱۳ آزمایش براساس ویژگی‌های مورد نظر، برای بررسی تأثیر قطر پایه و ارتفاع مخروط کجاوه، شدت و طول مدت بارندگی و بافت خاک بر عملکرد کجاوه انتخاب شد. این انتخاب به-گونه‌ای انجام شده است که حداقل سه آزمایش برای بررسی هر کمیت در اختیار باشد. مشخصات آزمایش‌ها شده در جدول ۱ ارائه شده است.

در هر آزمایش، مخروط معکوس کجاوه را در جعبه‌هایی با ابعاد ۵۵×۵۵ سانتی‌متر و با ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر که با خاک پر شده بودن ایجاد شد. ارتفاع جعبه‌ها به‌اندازه‌ای است که در هنگام نفوذ و توزیع مجدد رطوبت، آب به انتهای جعبه نرسد. از سیستم شبیه‌ساز باران با شدت ۶، ۱۲ و ۱۸ سانتی‌متر در ساعت و یکنواختی ۸۵ تا ۹۵ درصد برای هر جعبه استفاده شد. سه بافت خاک طبیعی تهیه شد و ذرات بزرگ‌تر از ۱/۲۷ سانتی‌متر جدا شدند. ویژگی‌های خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۲ موجود است. رطوبت اولیه نمونه-های خاک در آزمایش‌های مختلف تقریبا یکسان بوده و در محدوده سه تا شش گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار داشت. از هفت قالب مختلف برای ایجاد شکل‌های مخروطی روی سطح خاک استفاده شد. قطر پایه و ارتفاع مخروط‌ها در هر قالب متفاوت است. پس از ایجاد ساختار مخروطی کجاوه، برای حذف اثر زبری سطح، یک لایه نازکی از خاک نرم با بافت مشابه (عبور داده شده از الک با روزنه‌هایی به‌قطر یک میلی‌متر) به‌ضخامت یک تا دو میلی‌متر بر روی ساختار ایجاد شده ریخته شد. سپس سطح با استفاده از قالب‌های موجود صاف شد. مراحل ساخت و تراکم خاک برای تمامی سازه‌های مخروطی کجاوه یکسان انجام شد. پس از اتمام مرحله بارش، ۱۸ ساعت برای توزیع مجدد رطوبت در خاک در نظر گرفته شد. رطوبت در شش نقطه مختلف داخل کجاوه از طریق نمونه برداری ثبت گردید. میانگین نتایج به‌دست‌آمده برای هر دو سمت چپ و راست مخروط کجاوه محاسبه شد. از حاصل‌ضرب رطوبت حجمی و عمق خاک خیس شده، ارتفاع آب نفوذ یافته در هر نقطه به‌دست آمد.

نتایج و بحث

از بین عوامل تاثیرگذار در عملکرد سیستم کجاوه، در این تحقیق شیب دیواره (ارتفاع مخروط)، بافت خاک، شدت بارندگی، طول مدت بارندگی و قطر پایه مخروطی مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش، نتایج تأثیر هر یک از پارامترها بر عملکرد سازه کجاوه به‌صورت جداگانه ارائه می‌شود.

جدول ۱- مشخصات آزمایش‌های مورد بررسی

شماره آزمایش	مدت بارش (min)	شدت بارش (cm/h)	بافت خاک	ارتفاع مخروط H (cm)	قطر قاعده مخروط D (cm)
۱	۱۰	۱۲	Sandy- Loam	۵	۵۰
۲	۱۰	۱۲	Sandy- Loam	۷/۵	۵۰
۳	۱۰	۱۲	Sandy- Loam	۱۰	۵۰
۴	۱۰	۱۲	Sandy- Loam	۱۲/۵	۵۰
۵	۱۰	۱۲	Sandy- Loam	۱۵	۵۰
۶	۱۰	۱۲	Loam	۷/۵	۵۰
۷	۱۰	۱۲	Clay- Loam	۷/۵	۵۰
۸	۱۰	۶	Sandy- Loam	۷/۵	۵۰
۹	۱۰	۱۸	Sandy- Loam	۷/۵	۵۰
۱۰	۷	۱۲	Sandy- Loam	۷/۵	۵۰
۱۱	۱۳	۱۲	Sandy- Loam	۷/۵	۵۰
۱۲	۱۰	۱۲	Sandy- Loam	۶	۴۰
۱۳	۱۰	۱۲	Sandy- Loam	۴/۵	۳۰

جدول ۲- مشخصات خاک‌های مورد استفاده

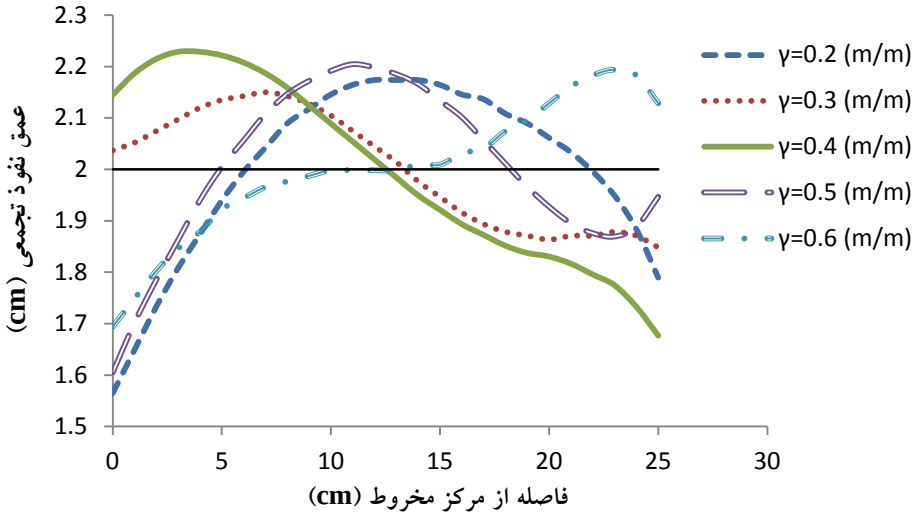
شماره خاک	بافت خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	چگالی (gr/cm^3)
۱	Sandy- loam	۵۲/۶۲	۳۰/۹۶	۱۶/۴۲	۱/۵۶۹
۲	Loam	۴۲/۰۵	۴۰/۴۱	۱۷/۵۴	۱/۲۸۲
۳	Clay- loam	۲۵/۸۰	۴۶/۶۶	۲۷/۵۴	۱/۴۱۱

تاثیر شیب دیواره

با فرض اینکه قطر مخروط منطبق بر محور افقی باشد و محور عمودی رو به پایین مثبت در نظر گرفته شود، با حرکت در راستای شعاع و دور شدن از مرکز قاعده مخروطی، می‌توان عمق نفوذ تجمعی را از طریق ضخامت خیس شده خاک اندازه گیری کرد (شکل ۲).

در شکل ۳ تأثیر شیب (γ) بر نفوذ تجمعی در نقاط مختلف برروی شعاع قاعده مخروطی پس از نرمال‌سازی داده‌ها به دو سانتی‌متر نشان داده شده است (نمودار برای نیم مخروط رسم شده است). خط افقی نشان دهنده مقدار کل بارندگی (دو سانتی‌متر) است. نقاطی که منحنی نفوذ تجمعی آنها بالا تر از این خط قرار دارند آب بیشتری نسبت به میانگین بارندگی دریافت کرده‌اند.

شکل ۲- جبهه رطوبت در ساختار کجاوه



شکل۳- تأثیر شیب بر میزان آب نفوذیافته در نقاط مختلف بر روی شعاع مخروط

سطوح جمع‌کننده آب در سامانه کجاوه دیواره‌های مخروط هستند و ناحیه هدف عمیق ترین مکان یا رأس مخروط است (شکل ۲). از آنجایی که تجمع آب در مرکز حفره رخ می‌دهد، انتظار می‌رود که در تمامی موارد آزمایش، عمق آب نفوذیافته در رأس مخروط بیشتر از بقیه نقاط باشد. اما، شکل ۳ تایید کننده این مطلب نیست. دو موضوع زیر می‌تواند دلیل این امر باشد:

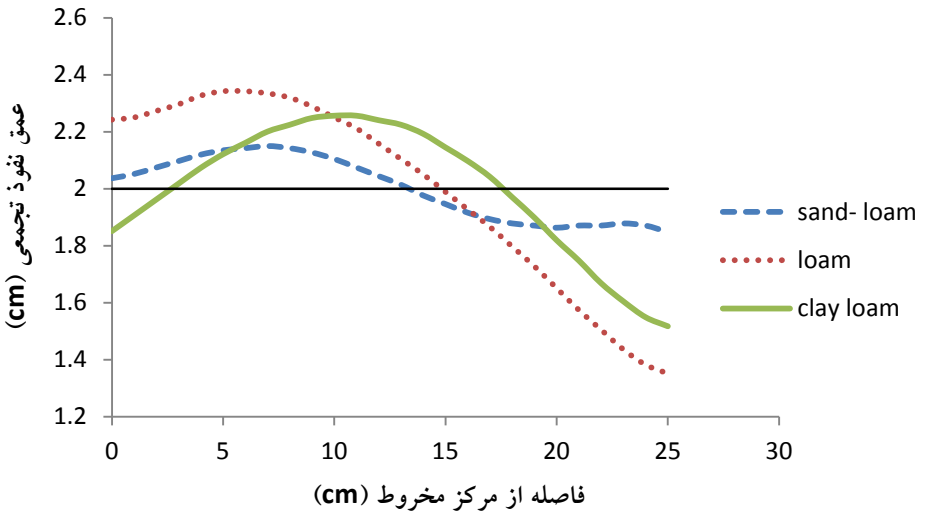
الف) با افزایش شیب، سطح داخلی مخروط افزایش می‌یابد. از سویی، نتایج نشان داده شده در شکل ۳ برای موقعیتی است که از بالا به داخل مخروط نگاه شود. امر باعث می‌گردد در آزمایش‌هایی که شیب سطح داخل مخروط (عمق مخروط) زیاد است، نسبت سطحی که آب در آن نفوذ می‌کند به سطح افق چشمگیری باشد. این امر باعث می‌شود در برخی موارد، نفوذ تجمعی بیشتر از میزان خالص بارندگی دیده شود درحالی که اگر زاویه دید ما عمود بر سطح شیب‌دار بود، چنین نمی‌شد. این امر برای سازه‌ای با شیب ۰/۶ متربرمتر که بیشترین سطح نفوذ نسبت به سطح افقی را دارد کاملا مشهود است.

ب) از آنجایی که آزمایش با خاک خشک (رطوبت وزنی در محدوده سه تا شش گرم بر سانتی‌متر مکعب) و در مدت زمان کوتاه (طول مدت بارندگی هفت تا ۱۳ دقیقه) انجام شد، مکش ماتریس خاک عامل غالب در فرایند نفوذ است و نفوذ به‌صورت عمود بر سطح شیب‌دار رخ می‌دهد (Fox et al., 1997). لذا سایر نقاط تنها با حرکت آب در داخل خاک و توزیع مجدد رطوبت، مرطوب می‌شود. بنابراین، هر چه به رأس مخروط نزدیکتر شود، نسبت سطح نفوذکننده به حجم خاک خشک در تماس با آن سطح کاهش می‌یابد. بنابراین، رطوبت خاک در این نقاط کمتر از ناحیه‌ای است که نسبت سطح نفوذکننده به حجم خاک خشک در تماس با آن بیشتر است (دورتر از مرکز حفره). این شرایط برای سازه‌هایی با شیب ۰/۵ و ۰/۶ متربرمتر قابل مشاهده است.

در این میان، با صرف نظر کردن از خطاهای جزئی احتمالی در آزمایش‌های مختلف، سازه‌هایی با شیب دیواره ۰/۳ و ۰/۴ متربرمتر رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند که مؤید اصول فوق است؛ بنابراین وجود شیب بهینه‌ای که در آن بالاترین راندمان استحصال آب در کجاوه رخ می‌دهد تأیید می‌شود. به‌طوری که، در ساختاری با شیب ۰/۳ متربرمتر، راندمان استحصال آب در کجاوه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. بیشترین مقدار آب نفوذیافته در این ساختار و در فاصله سه سانتی‌متر از مرکز حفره مشاهده شد. در این نقطه سازه کجاوه ۱۱/۴ درصد بیشتر از میانگین بارندگی آب دریافت کرده است. همچنین در همین ساختار، کمترین نفوذ در فاصله ۲۵ سانتی‌متری از رأس مخروطی و با ۱۶/۲ درصد آب کمتر نسبت به میانگین بارندگی رخ داده است.

تاثیر بافت خاک

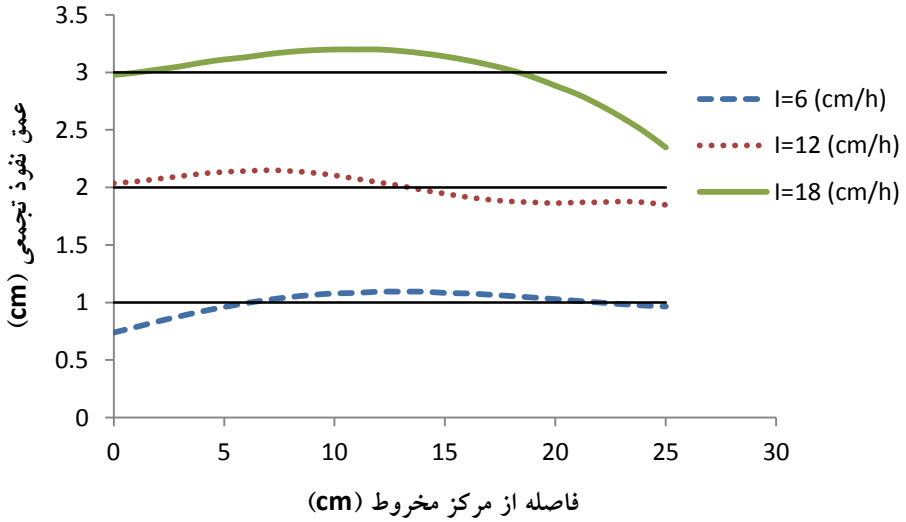
نتایج حاصل از تأثیر سه بافت مختلف خاک بر عملکرد کجاوه در شکل ۴ نشان داده شده است. با اعمال شرایط اولیه یکسان برای همه آزمایش‌ها، خاک با بافت لومی بهترین عملکرد از نظر استحصال آب باران را از خود نشان داد و ۱۷/۱ درصد نفوذ بیشتر نسبت به میانگین بارندگی و در فاصله ۶ سانتی‌متری از مرکز حفره مشاهده شد. همچنین، ۳۲/۴ درصد نفوذ کمتر از میانگین بارندگی، در فاصله ۲۵ سانتی‌متری از مرکز حفره رخ داده است. این فرآیند در تضاد با اثرات کاهش نرخ نفوذ ناشی از تغییر بافت خاک و انتظارات عملکرد بهتر سیستم کجاوه در صورت احداث آن در خاک با بافت سنگین‌تر (به‌عنوان مثال خاک لوم- رسی) است. انتظار می‌رود با تغییر ویژگی‌های آزمایش مانند شیب دیواره، شدت و طول مدت بارندگی و ... نتایج متفاوتی برای خاک‌هایی با بافت مختلف حاصل شود.



شکل ٤- تاثیر بافت خاک بر مقدار آب نفوذ یافته در نقاط مختلف سطح افقی فرضی

تاثیر شدت بارش

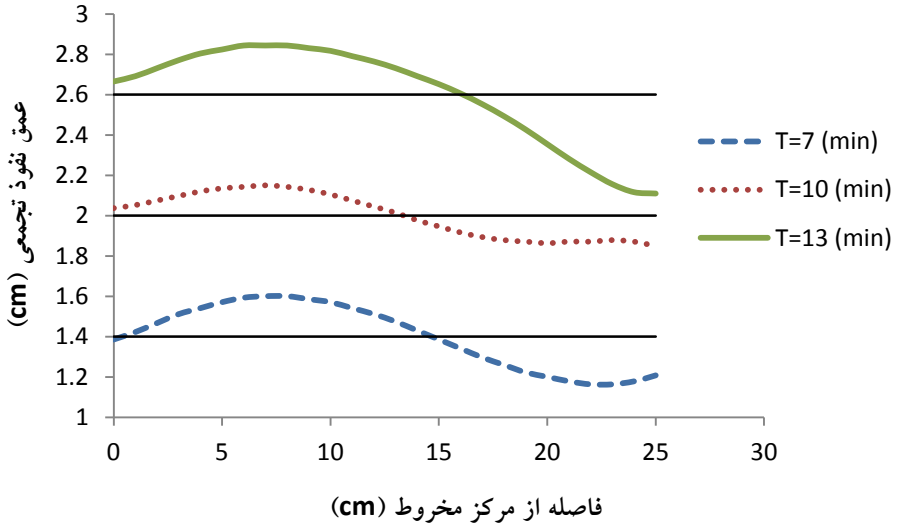
همانطور که قبلا ذکر شد، انتظار می‌رود که شدت بارندگی تأثیر معنی‌داری بر میزان نفوذ نداشته باشد. در طول یک بارندگی معین، مقدار آب جمع‌آوری شده در انتهای حفره با شدت بارندگی افزایش می‌یابد. با افزایش حجم آب جمع‌آوری شده و به‌تبع آن افزایش ارتفاع آب جمع شده در انتهای مخروط (h در شکل ۱)، مناطق خیس شده برای مدت طولانی با آب در تماس هستند. در نتیجه توانایی سیستم کجاوه در متراکم نمودن آب در یک منطقه خاص کاهش می‌یابد. تأثیر شدت بارندگی بر عملکرد کجاوه به زاویه شیب دیواره، نوع خاک و طول مدت بارندگی بستگی دارد. در شکل ۵ دیده می‌شود که بارندگی با شدت ۱۲ سانتی‌متر بر ساعت عملکرد بهتری نسبت به دو تیمار دیگر از نظر متمرکز نمودن آب در یک منطقه خاص دارد. در این تیمار بیشترین میزان آب نفوذیافته ۷/۵ درصد بیشتر از میانگین بارش و در فاصله هفت سانتی‌متری از مرکز حفره است. همچنین، کمترین مقدار آب نفوذیافته ۷/۶ درصد کمتر از مقدار متوسط و در ۲۵ سانتی‌متر از مرکز حفره رخ داده است. اگرچه حداکثر آب نفوذیافته برای بارندگی با نرخ ۱۸ سانتی‌متر بر ساعت بیشتر از نمونه مشابه با نرخ ۱۲ سانتی‌متر بر ساعت است، اما تیمار با نرخ بارندگی ۱۸ سانتی‌متر بر ساعت پس از با نرخ بارندگی ۱۲ سانتی‌متر بر ساعت قرار می‌گیرد. چراکه در تیمار با نرخ بارندگی ۱۸ سانتی‌متر بر ساعت نقاطی که مقدار زیادی آب دریافت کرده‌اند از راس مخروط دورتر هستند.



شکل ٥- تاثیر شدت بارش بر مقدار آب نفوذ یافته در نقاط مختلف سطح افقی فرضی

تاثیر طول مدت بارندگی

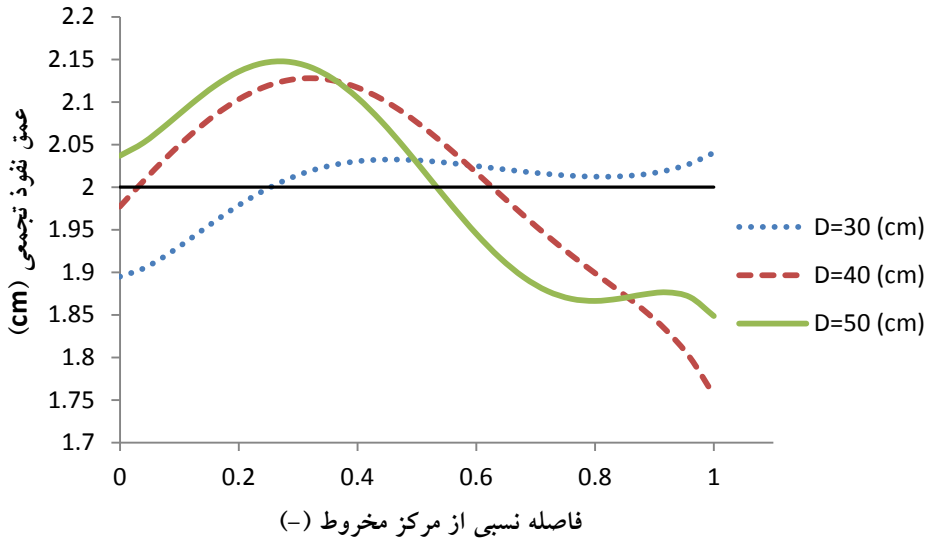
با افزایش طول مدت بارندگی، سطوح جمع‌کننده آب برای مدت طولانی با آب باران تماس پیدا کرده و نفوذ آب در این نقاط افزایش می‌یابد. با این وجود، سایر شرایط موجود در آزمایش‌ها، طول مدت بارندگی بهینه را تعیین می‌کنند. شکل ۶ عملکرد سه تیمار با طول بارندگی متفاوت را در شرایط آزمایش یکسان نشان می‌دهد. در این شکل، تیمار با طول بارندگی ۱۳ دقیقه عملکرد بهتری نسبت به تیمار با طول بارندگی هفت و ۱۰ دقیقه دارد. در تمام تیمارها، مناطقی که بیشترین مقدار آب را دریافت کرده‌اند، با مرکز حفره منطبق نیستند. مناطق با بیشترین میزان دریافت آب در بارندگی با طول مدت بارش هفت، ۱۰ و ۱۳ دقیقه به‌ترتیب در فاصله هفت، هفت و شش سانتی-متری از مرکز حفره قرار دارند. همچنین بیشترین میزان آب نفوذ یافته در این نقاط برای طول مدت بارندگی هفت، ۱۰ و ۱۳ دقیقه به ترتیب ۱۴/۳، ۷/۵ و ۹/۴ درصد بیشتر از میانگین کل بارندگی است. کمترین میزان آب نفوذ یافته در دورترین فاصله از مرکز حفره یعنی در فاصله ۲۵ سانتی‌متری از مرکز حفره رخ داده است، به‌جز برای آزمایشی با طول مدت بارندگی هفت دقیقه که در فاصله ۲۲ سانتی‌متری قرار دارد. کمترین مقدار آب نفوذی به‌ترتیب ۱۶/۹، ۷/۶و ۱۸/۹ درصد کمتر از مقدار متوسط به‌دست آمد. در بین تیمارهای مورد مطالعه، تیمار با طول مدت بارندگی برابر با هفت دقیقه، توانایی بهتری در متراکم نمودن آب در یک منطقه خاص دارد.



شکل ٦- تاثیر طول مدت بارش بر مقدار آب نفوذ یافته در نقاط مختلف سطح افقی فرضی

تاثیر قطر پایه مخروط

در تیمارهایی با قطر پایه مخروطی متفاوت اما شرایط آزمایش یکسان، چندین عامل مختلف و گاه متضاد وضعیت بهینه را تعیین می‌کنند. با کاهش قطر پایه مخروطی، مساحت سطح ورود باران کاهش می‌یابد. از طرفی نفوذ در دیواره‌ها نیز کاهش خواهد یافت. نسبت مساحت سطح ورود باران (مساحت قاعده مخروط) به مساحت سطوح نفوذ (سطوح جمع‌کننده) در تمامی مخروط‌ها یکسان است و تنها با عمق مخروط تغییر می‌کند. اما عملکرد آنها همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است متفاوت است. به‌منظور مقایسه بهتر نتایج در مخروط‌هایی با قطر قاعده متفاوت، در این شکل از فاصله نسبی نقاط اندازه‌گیری شده تا مرکز مخروط استفاده شده است. با در نظر گرفتن نسبت عمق آب نفوذیافته به میانگین بارندگی به‌عنوان معیار مقایسه، عملکرد سازه با قطر پایه ۵۰ سانتی‌متر بهتر از مخروط-های با قطر پایه ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد. در تیمار با قطر پایه ۵۰ سانتی‌متر، حداکثر آب نفوذیافته در فاصله هفت سانتی‌متری از مرکز حفره و ۷/۵ درصد بیشتر از میانگین بارش رخ داده است. کمترین مقدار آب نفوذ یافته در فاصله ۲۵ سانتی‌متر از مرکز حفره رخ داده است و ۷/۶ درصد کمتر از میانگین است. اگر اختلاف میزان نفوذ تجمعی ملاک مقایسه باشد، بیشترین و کمترین مقادیر به‌ترتیب ۶/۳ درصد بیشتر و ۱۲/۲ درصد کمتر از میانگین بارش، در مخروطی با قطر پایه ۴۰ سانتی‌متر رخ داده است. با این حال، ساختار با قطر پایه ۳۰ سانتی متر عملکرد خوبی ندارد و پیش بینی عملکرد مخروط‌هایی با قطر پایه بزرگتر دشوار است.



شکل ۷- تاثیر قطر دهانه مخروط بر مقدار آب نفوذ یافته در نقاط مختلف سطح افقی فرضی

همانگونه که گفته شد، هدف اصلی از ایجاد سامانه کجاوه، نفوذ غیر یکنواخت آب در نقاط مختلف خاک و متمرکز نمودن آب در یک منطقه خاص است. با توجه به پنج کمیت مورد مطالعه، توانایی کجاوه در متمرکز نمودن آب در یک منطقه خاص با عمق مخروط افزایش یافت و در شیب دیواره ۰/۴ متربرمتر به حداکثر خود رسید. در ادامه و با افزایش بیشتر عمق، توانایی کجاوه در متمرکز نمودن آب در یک منطقه خاص کاهش یافت. همچنین، بافت خاک بر توانایی کجاوه در استحصال آب تأثیر بسزایی دارد. خاک لومی بهترین عملکرد را در بین سه بافت خاک مورد بررسی نشان داد. توانایی کجاوه در متمرکز نمودن آب در یک منطقه خاص با افزایش شدت بارندگی در ابتدا افزایش و سپس با افزایش بیشتر شدت بارندگی کاهش یافت. همچنین با افزایش طول مدت بارندگی، توانایی کجاوه در متمرکز نمودن آب در یک منطقه خاص کاهش یافت و با افزایش بیشتر طول مدت بارندگی، این ویژگی افزایش یافت. به‌طور کلی تغییرات طول مدت بارندگی تأثیر معنی‌داری بر نتایج نداشت. شدت و طول مدت بارندگی به‌همراه عوامل دیگری نظیر بافت خاک، تعیین کننده شیب بهینه دیواره کجاوه (عمق مخروط کجاوه) است. با توجه به موارد فوق، نفوذ غیراشباع باران در سطوح شیب‌دار و عوامل مؤثر بر آن، تعیین کننده عملکرد کجاوه در استحصال آب باران خواهد بود. بررسی همزمان ۱۳ آزمایش در نظر گرفته شده نشان داد که آزمایش شماره شش (جدول ۱) بهترین عملکرد را در استحصال آب باران دارد و به‌طور میانگین ۱۴/۹۲ درصد آب بیشتر نسبت به میانگین بارندگی در منطقه مورد نظر (ربع نزدیک به راس مخروط کجاوه) تأمین کرد. از طرفی آزمایش شماره ۸ (جدول ۱) بدترین عملکرد را از نظر متراکم نمودن آب در یک منطقه مورد نظر نشان داد. آب استحصال شده در منطقه مورد نظر، به‌طور میانگین ۱۲/۵ درصد کمتر از میانگین بارندگی بود. برای مقایسه میزان آب اضافی استحصال شده در موارد مشابه می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط بیازین و همکاران اشاره کرد (Biazin et al., 2012). آنها از حفره‌های کوچک برای استحصال آب باران استفاده کردند و توانستند آب ذخیره شده در منطقه هدف را تا حدود ۳۰ درصد افزایش دهند. در مطالعه دیگری با استفاده از روش نهرهای گره‌خورده، به ۲۲ درصد آب بیشتر نسبت به حالت بدون تیمار دست یافتند (Adeboye et al., 2017). همچنین، کوگدرا از تیمارهای مختلفی از جمله حفره‌های زای برای گیاه ذرت استفاده کرد (Kugedera, 2022). نتایج نشان داد که میزان رطوبت در بین تیمارهای متفاوت است اما تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. نتایج مشابهی در تحقیق وادزانایا نیاکودیا به‌دست آمد (Wadzanayi Nyakudya et al., 2014).

نتیجه گیری

در این مقاله عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر سیستم استحصال آب کجاوه به‌منظور برای بهبود مدیریت، کاهش هزینه‌ها و افزایش موفقیت آن بررسی گردید. این یک گام جدید در شبیه‌سازی یک سیستم استحصال آب است. بررسی سایر تحقیقات در کنار تحقیق حاضر نشان می‌دهد که با توجه به شرایط عملیاتی مانند بافت خاک، شدت و طول مدت بارندگی و ویژگی‌های سازه استحصال آب باران، حالت بهینه برای سیستم استحصال آب در منطقه مورد نظر وجود خواهد داشت که از طریق شبیه‌سازی عملکرد سیستم استحصال آب

باران قابل پیشبینی است. ترکیب نامناسب از شرایط عملیاتی و گیاهان کشت شده ممکن است منجر به شکست روش استحصال آب باران شود. این نیز تاکید دیگری برای نیاز به شبیه‌سازی عملکرد سیستم استحصال آب قبل از استفاده از آن است که در این تحقیق سعی شده است مبانی آن محیا شود. از آنجایی که آزمایش‌ها با خاک نرم و دست‌خورده، خشک، بدون متراکم نمودن و در اولین بارندگی انجام شده است، نرخ نفوذ در دیواره‌های جمع‌کننده آب بالا بوده و انتظار می‌رود در بارندگی‌های بعدی میزان نفوذ کاهش یابد. در نتیجه، کارایی سیستم کجاوه بهبود خواهد یافت. از آنجایی که عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم کجاوه به یکدیگر وابسته هستند، یک قاعده کلی در مورد تأثیر متغیرهای مختلف بر عملکرد آن می‌تواند گمراه کننده باشد. لذا، نیاز به شبیه‌سازی عملکرد سیستم کجاوه برای بررسی تأثیر متغیرهای مختلف الزامی است.

منابع

حامی کوچه باغی، م. ر.، سهرابی، ت.، توکلی، ع. و ن. قمشلو، آ. ۱۴۰۰. معرفی مدلی برای استحصال آب با توجه به ساختارهای متناسب با شرایط طبیعی. مجله دانش آب و خاک. ۳۱ (۳): ۱۱۱-۱۲۶. https://doi.org/10.22034/WS.2021.12340

Adeboye, O. B., Schultz, B., Adekalu, K. O. and Prasad, K. 2017. Soil water storage, yield, water productivity and transpiration efficiency of soybeans (Glyxine max L.Merr) as affected by soil surface management in Ile-Ife, Nigeria. International Soil and Water Conservation Research. 5 (2): 141–150. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.04.006

Amede, T., Menza, M. and Awlachew, S.B. 2011. Zai improves nutrient and water productivity in the Ethiopian highlands. Experimental Agriculture. 47 (S1): 7–20. https://doi.org/10.1017/S0014479710000803

Biazin, B., Sterk, G., Temesgen, M., Abdulkedir, A. and Stroosnijder, l. 2012. Rainwater harvesting and management in rainfed agricultural systems in sub-Saharan Africa - A review. Physics and Chemistry of the Earth. 47-48: 139-151. https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.08.015

Critchley, W., Siegert, K. and Chapman, C. 1991. Water harvesting, a manual for the design and construction of Water Harvesting schemes for plant production. FAO, Rome. www.fao.org/docrep/u3160e/u3160e07.htm

Dabiri, D., Alipor, A., Azad, B. and Fatahi, A. 2016. Site Selection of In-Site and Ex-situ Methods of Rain Water Harvesting in the Arid Regions of Iran. International Research Journal of Engineering and Technology. 3 (4): 270- 276.

Danjuma, M. N. and Mohammed, S. 2015. Zai pit System: A catalyst for restoration in the drylands. Agriculture and Veterinary Science. 8 (2): 1- 4. https://doi.org/10.9790/2380-08210104

Danso-Abbeam, G., Dagunga, G. and Ehiakpor, D. S. 2020. Rural non-farm income diversification: implications on smallholder farmers' welfare and agricultural technology adoption in Ghana. Heliyon. 6 (11): e05393. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05393

Demoz, H. A. 2016. A Review on: Effect of Tie Ridging on Crop Productivity in Dry Land Agro-Ecosystems of Ethiopia. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare. 6: 1-6.

Dhingra, N., Singh, N. S., Sharma, R. and Parween, T. 2020. Rainwater Harvesting and Current Advancements. Modern Age Waste Water Problems. 293-307.

Eludoyin, A., Eludoyin, O., Martins, T., Oyinloye, M. and Eslamian, S. 2021. Water Security Using Rainwater Harvesting. Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals. 57-67.

Fox, D. M., Bryan, R. B. and Price, A. G. 1997. The influence of slope angle on final infiltration rate for interrill conditions. Geoderma. 80 (1-2): 181–194. https://doi.org/10.1016/S0016-7061 (97)00075-X

Gebrekidan, H. 2003. Grain Yield Response of Sorghum (Sorghum bicolor) to Tied Ridges and Planting Methods on Entisols and Vertisols of Alemaya Area, Eastern Ethiopian Highlands. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics. 104 (2): 113–128.

Gebreyesus, B., Wortmann, C. S., Martha, M., Heluf, G. and Amare, B. 2006. Micro-basin tillage for grain sorghum production in semiarid areas of northern Ethiopia. Agronomy Journal. 98 (1): 124-128. https://doi.org/10.2134/agronj2005-0148

Getachew, A. and Wondimu, B. 2005. Effects of Farmyard Manure and Combined N and P Fertilizer on Sorghum and Soil Characteristics in Northeastern Ethiopia. Journal of Sustainable Agriculture. 26 (2): 23-41. https://doi.org/10.1300/J064v26n02_04

Heluf, G. and Yohannes, U. 2002. Soil and water conservation (tied ridges and planting methods) on cultivated lands: The case of eastern Ethiopian. Soil and Water Management Research Program, Alemaya University (AU).

Kaluli, J. W., Nganga, K., Home, P.G., Gathenya, J. M., Muriuki, A. W. and Kihurani, A. W. 2012. Effect of rain water harvesting and drip irrigation on crop performance in an arid and semi- arid environment. Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology. 14 (2): 17-29.

Gender-specific determinants of Zai technology use intensity for improved soil water management in the drylands of Upper Eastern Kenya. Heliyon. 7 (6): e07217. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07217.

Nichols, M. H., Shaw, J. R. and Brandau, W. K. 2021. Un intended consequences of rangeland conservation structures. International Soil and Water Conservation Research. 9 (1): 158–165. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.11.006

Oweis, T., Hachum A. and Kijne, J. 1999. Water harvesting and supplementary irrigation for improved water use efficiency in dry areas. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

Oweis, T., Prinz, D. and Hachuma, A. 2001. Water Harvesting: Indigenous Knowledge for the Future of the Drier Environments. International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo, Syria.

Partey, S. T., Zougmoré, R. B., Ouédraogo, M. and Campbell, B. M. 2018. Developing climate-smart agriculture to face climate variability in West Africa: Challenges and lessons learnt. Journal of Cleaner Production. 187: 285-295. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.199.

Patle, G. T., Kumar, M. and Khanna, M. 2020. Climate-smart water technologies for sustainable agriculture: A review. Journal of Water and Climate Change. 11 (4): 1455-1466. https://doi.org/10.2166/wcc.2019.257

Slingerland, M. A. and Stork, V. E. 2000. Determinants of the practice of zaï and mulching in north Burkina Faso. Journal of Sustainable Agriculture. 16 (2): 53–76. https://doi.org/10.1300/J064v16n02_06

Vohland, K. and Barry, B 2009. A review of in situ rainwater harvesting (RWH) practices modifying landscape functions in African drylands. Agriculture, Ecosystems and Environment. 131: 119-127. https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.01.010

Wadzanayi Nyakudya, I., Stroosnijder, L. and Nyagumbo, I. 2014. Infiltration and planting pits for improved water management and maize yield in semi-arid Zimbabwe. Agricultural Water Management. 141: 30-46. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.04.010

Kimaru-Muchai, S. W., Ngetich, F. K., Baaru, M. and Mucheru-Muna, M. W. 2020. Adoption and utilisation of Zai pits for improved farm productivity in drier upper Eastern Kenya. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics. 121 (1): 13–22. https://doi.org/10.17170/kobra-202002281030

Kudza, K. L. and Tapiwa, K. A. 2019. Review: Role of Insitu Rainwater Harvesting and Integrated Soil Fertility Management on Small Grain Productivity. International Journal of Agriculture and Agribusiness. 2 (2): 249 – 259.

Kugedera, A. T. 2022. The Use of Zai Pits and Integrated Nutrient Management as a Strategy in Improving Maize Grain Yield: A Case of Zvipani Area in Hurungwe. Amity Journal of Management Research. 5 (1): 537- 549.

Kuyah, S., Sileshi, G. W., Nkurunziza, L., Chirinda, N., Ndayisaba, P. C., Dimobe, K. and Öborn, I. 2021. Innovative agronomic practices for sustainable intensification in sub-Saharan Africa. A review. Agronomy for Sustainable Development. 41 (2):16. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00673-4

Malley, Z. J. U., Kayombo, B., Willcocks, T. J. and Mtakwa, P. W. 2004. Ngoro: an indigenous, sustainable and profitable soil, water and nutrient conservation system in Tanzania for sloping land. Soil Tillage Res. 77: 47–58. https://doi.org/10.1016/j.still.2003.10.003

MacCarton, L., O. Hogain, S. and Reid, A. 2021. Rainwater Harvesting Systems. The Worth of Water. 1: 83-95. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50605-6_5

Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., Cifrodelli, M., Corradini, C. and Govindaraju, R.S. 2015. Infiltration on sloping surfaces: laboratory experimental evidence and implications for infiltration modeling. Journal of Hydrology. 523: 79–85. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.041

Mudatenguha, F., Anena, J., Kiptum, C. K. and Mashingaidze, A. B. 2014. In Situ Rain Water Harvesting Techniques Increase Maize Growth and Grain Yield in a Semi-arid Agro-ecology of Nyagatare, Rwanda. International Journal of Agriculture and Biology. 16 (5): 996–1000.

Ndeke, A. M., Mugwe, J. N., Mogaka, H., Nyabuga, G., Kiboi, M., Ngetich, F. and Mugendi, D. 2021.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 18, Apr.-May. 2024, p. 143-154

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۸، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۳، ص. ۱۵۴-۱۴۳

Investigating the Effect of Environmental Factors on the Ability of the Kajaveh System in Water Harvesting

M. R. Hami Kouchebaghi*[1], T. Sohrabi[2], A. Nazi Ghameshlou[3]
Recived: Feb.16, 2023 Accepted: Mar.21, 2024

Abstract

In-Site water harvesting is just one of the rainwater harvesting techniques with a wide range of traditional and innovative methods. Its efficiency can be improved by applying proper management and mechanization. By following the traditional architecture of Iran and modifying the existing rainwater harvesting methods, designed an In-Site water harvesting system for planting or groundwater feeding, called the Kajaveh, as a matrix of inverted cones. In order to study the influential factors on the Kajaveh system, 13 different treatments were examined. The results indicate that there is a specific base diameter and cone height which were determined according to the climatic and geographical conditions of the region and lead to the optimal operation of the Kajaveh system in water harvesting. Considering the different initial conditions for these treatments, results indicated that the case with a wall slope of 0.3 m/m, cone base diameter of 50 cm, loam soil, rainfall intensity of 12 cm/h, and rainfall length of 10 min, to yield the best rainwater harvesting results and on the average provided 14.9% more water than the unstructured state in the target area.

Keywords: Erosion, Rainfall length, Rainfall intensity, Soil management, Water harvesting system

1- Ph.D. Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3- Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: abc.m.hami@gmail.com)