مجله

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال ششم- شماره ۱۹- پاییز و زمستان ۱۳۹۱ Vol. 6, No. 19, Fall &Winter 2012-2013

بررسی آستانه رواناب در زمین‌های کارستی (مطالعه موردی: حوضه کارستی دلی بجک سپیدار)

رسول پرهمت[۱]، جهانگیر پرهمت[۲]و حمیدرضا ناصری[۳]

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۶/۱٤

چکیده

ضریب جریان و آستانه رواناب نقش مؤثری در برآورد های آب شناختی، به ویژه در بیلان آبی و سیلاب طراحی دارد، ولی به نظر می‌رسد در مناطق کارستی، روابط تعریف شده معینی وجود نداشته باشد. بدین منظور، در پژوهش حاضر در ۲۵ آزمایش در حوضه کارستی دلی بجک سپیدار واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از باران ساز مصنوعی، این پدیده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش دامنه وسیعی از ظرفیت نفوذ تا آستانه رواناب را نشان می‌دهد، به‌طوری که دامنه بارش نفوذ یافته از چهار تا بیش از ٤۳ میلی‌متر با شدت ۵۰ تا ۳۰۳/۵ میلی‌متر در ساعت در تغییر می‌باشد. همچنین، نتایج پژوهش نشان داد که سنگ آهک‌های خرد شده و برِش‌ها که فاقد پوشش خاک می‌باشد، از نفوذپذیری بالایی برخَوردار بوده، به طوری که در بارش ٤۳ میلی‌متری و با شدت بیش از ۳۰۳/۵ میلی‌متر در ساعت که خارج از دامنه بارش‌های حدی و نقطه‌ای منطقه می‌باشد، فاقد شرایط شکل گیری رواناب می‌باشند.

کلمات کلیدی: آستانه رواناب، بارش مصنوعی، تلفات اولیه بارش، کارست، نفوذ

مقدمه

ظرفیت جذب رطوبت اولیه تا شروع رواناب نمایانه مهمی در تعیین ظرفیت تغذیه طبیعی و شکل گیری رواناب می‌باشد که به عنوان تلفات اولیه بارش و یا آستانه رواناب شناخته شده است. همچنین، برآورد این مؤلفه در کاربردهای آب شناختی از جمله برآورد سیلاب مورد نیاز می باشد. بر اساس نظر تولارام و ایلاهی [۲۰] در مدل‌های بر آورد سیلاب که در طراحی‌های آب شناختی به طور وسیع بکار می‌روند، تلفات اولیه بارش از مهمترین عامل‌های ورودی مدل می‌باشد. تلفات اولیه نیز تابعی از میزان نفوذپذیری بوده که خود متناسب با وضعیت آب و هوا، نوع پوشش و میزان توسعه کارست متفاوت بوده و به دلیل تغییرات وسیع و ناهمگنی، نمی‌توان برای آن رابطه معینی ارائه نمود. تعیین میزان بارندگی، ضریب کارستی شدن و نیز مساحت حوزه آبخیز کارست دارای دقت و اطمینان کافی نمی‌باشد [۵]. در مناطق کارستی ناهمگنی بالا و تغییرات مکانی و زمانی عامل‌های زمین آب شناختی و هیدرو دینامیکی از مشخصه‌های سفره‌های کارستی می‌باشد ([٤، ۸ و ۹]).

یکی از عوامل مهم در تعیین میزان ذخیره آب در آهک‌های کارستی، تعیین میزان آب بارندگی است که به داخل خاک‌های پوشش آهک و یا آهک‌های برهنه نفوذ می‌کند. آهک‌های رخنمون یافته در سطح زمین دارای درزه‌ها و شکاف‌های متعدد و با ابعاد بسیار متفاوتی بوده، بنابراین، خصوصیات هیدرودینامیکی و موقعیت زمین‌شناسی رخنمون‌های آهک‌ها ناهمگن بوده که باعث می‌شود اندازه‌گیری مستقیم نفوذ آب حاصل از بارش به درون آهک مشکل و یا غیر ممکن گردد [۱].

با وجود این که برای تجزیه و تحلیل فرآیندهای آب شناختی در محیط‌های کارستی نیاز به داده‌های با دوره طولانی می‌باشد، ولی این داده‌ها کمتر در دسترس قرار می‌گیرند. در این رابطه وستنا و کوبییاما [۲۱] اعلام نموده‌اند که در مناطق کارستی، برای تجزیه و تحلیل فرآیندهای آب شناختی به دوره پایش بیشتر از ۱۰ سال نیاز می‌باشد. هم‌چنین، سالرنو و تارتاری [۱۵] گزارش نموده‌اند که در محیط‌های کارستی، شبیه‌سازی دبی چشمه‌ها خیلی پیچیده بوده به‌طوریکه حتی شبیه‌سازی دبی رودخانه را نیز با مشکل مواجه می‌سازد. بوناچی [٦] داده‌های ۱۲۷ ساله چشمه کارستی فونتاین دی واکلوس[٤] را مورد بررسی قرار داد و اعلام نموده که معمای اصلی تغییرات دبی متوسط سالانه این چشمه با داده‌های یک دوره ۱۲۷ ساله حل نشده است و توصیه نموده که باید شرایط اقلیمی، روش‌ها و نمایانه‌های متعددی به همراه اندازه‌گیری و تحلیل تفصیلی بیشتری برای شناخت آب شناختی این چشمه بکار گرفته شود.

در پژوهش دیگری روئیز سینوگا و همکاران [١٤] فرآیندهای آب شناختی را در جنوب اسپانیا مورد بررسی قرار داده و اعلام نمودندکه در مناطق تپه ماهوری اقلیم خشک مدیترانه‌ای، به دلیل تغییرات پوشش سطحی (قطعات سنگی و گیاهان) و شرایط اقلیمی، فرآیندهای آب

۱- نویسنده مسئول و دانش آموخته کارشناسی ارشد آب‌های زیرزمینی، دانشگاه شهید بهشتی
۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
۳- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

4- Fontaine de Vaucluse

شناختی به طور مکانی و زمانی متغیر می‌باشد و به دلیل نفوذ رواناب سطحی در امتداد سراشیبی‌ها و به ویژه در بخش‌هایی که از مواد مادری نفوذپذیر آهکی تشکیل شده‌اند، ناپیوستگی آب شناختی غالب می‌باشد. همچنین، نتیجه‌گیری شده است که بین میزان رواناب و پوشش قطعات سنگی همبستگی منفی وجود دارد.

بر اساس نظر وایت [۲۲] مدل نمودن جریان آب زیر زمینی در سفره‌های کارستی موفقیت‌های زیادی نداشته است، لذا ساخت مدل‌هایی که سفره را به‌طور کامل در برگیرد و دارای تأثیر همه مؤلفه‌ها از جمله تغذیه و نفوذ باشد، مورد تأکید وی می‌باشد. آکوئیلینا و همکاران [۳] نیز فرآیند تغذیه سامانه‌های کارستی را مورد بررسی قرار داد و نحوه تغذیه را به چهار دسته تقسیم نمود که شامل انتقال سریع آب باران از طریق محور اصلی زهکشی کارست، ذخیره تدریجی آب باران در اپی کارست و تخلیه سریع آن از طریق شافت‌ها و گالری‌های متصل به شبکه زهکشی، ذخیره تدریجی آب باران در اپی‌کارست و کارست و بالاخره تغذیه آب باران به درون منطقه غیر کارستی و سپس نفوذ به داخل زمینه می‌باشند. وی بیان می‌کند که تفکیک این چهار دسته از همدیگر به سادگی امکان پذیر نمی‌باشد. [۳].

بوناچی [۵] سهم نفوذ مؤثر سالانه و ماهانه را از میزان کل بارش در حوضه چشمه کارستی گرادول[1] در دیناریک مورد بررسی قرار داد و نتیجه‌گیری نمود که ضریب نفوذ مؤثر به دلیل این که همه مؤلفه‌های حوضه که در تبدیل کل بارش به نفوذ مشارکت دارند را در برداشته عامل مهمی برای مدیریت منطقه‌ای و بهره‌برداری از منابع آب می‌باشد. وی ضریب نفوذ مؤثر (درصد تغذیه طبیعی) را برای این منطقه ۵۷ درصد بدست آورده است. وی هم چنین نشان داده است که میزان نفوذ با بارش سالانه همبستگی پایینی داشته، به طوری که در بعضی از سال‌ها بارندگی سالانه زیاد بوده ولی سهم نفوذ کمتر بوده و بالعکس. بوناچی این روند را حاصل تأثیر فصلی بارش بر سهم نفوذ می‌داند.

ژیانگ و همکاران [۱۰] عنوان نمودند ظرفیت نفوذ اولیه که تعیین‌کننده میزانی از بارش بوده که به طور کامل نفوذ نموده و سهمی از آن به رواناب تبدیل نمی‌شود، یکی از نمایانه‌های مهم در مناطق کارستی می‌باشد. آستانه بارش موثر (رواناب) مقدار بارشی است که با مقدار و یا شدت بیشتر از آن رواناب در سطح زمین شکل می‌گیرد. در این پژوهش مقادیر آستانه رواناب در کوه‌های جنگلی که دارای کارست‌های زیر سطحی بوده‌اند، بر اساس پایش پیوسته نمایانه دبی چشمه، اسیدیته، هدایت الکتریکی، درجه حرارت و بارندگی مورد بررسی قرار گرفته و مقدار آستانه رواناب در اپی کارست ۱۲ میلی‌متر بارش به دست آمده است. همچنین مقدار آستانه برای اپی کارست علامت تشخیص بارش موثر و غیر موثر بوده و نیز عامل مهمی برای مطالعه شکل گیری منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

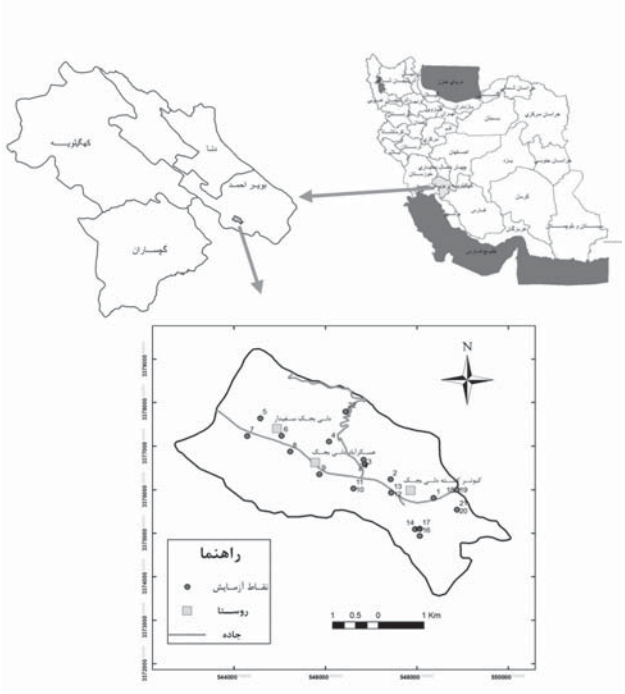
1 - Gradole

ژی-هوا و همکاران روش SCS [۱۸، ۱۹ و ۲۳] را برای تلفات اولیه در سه حوضه چین استفاده نموده و نسبت آن را که SCS برای خاک‌های مختلف معادل ۲۰ درصد حداکثر ظرفیت جذب پیشنهاد نموده بود، بین ۱ تا ۱۵/٤ درصد و با متوسط ۵/۳ درصد برای مناطق غیرکارستی تعیین نموده‌اند. مارشال و همکاران [۱۲] آستانه بارش تجمعی را برای تعیین بارش مازاد در ایجاد رواناب بر روی درز و شکاف‌های کارستی برای هشدار سیل استفاده نموده‌اند. سامی و هوگس [۱٦] میزان تغذیه سالانه سفره های رسوبی درزه و شکاف‌دار در سفره کارو[2] را بر اساس رابطه بارش-تغذیه ۹/۹ میلی‌متر در سال از ٤٦۰ تا ٤۸۳ میلی‌متر بارش سالانه برآورد نمودند.

بنابراین، با توجه به مطالب فوق برای شناخت فرآیندهای آب شناختی مؤلفه‌های نفوذ و رواناب در حوضه‌های کارستی نیاز به مطالعات موردی بیشتری می‌باشد. در این رابطه، دستگاه باران ساز مصنوعی وسیله‌ای است که از آن می‌توان برای بررسی پدیده نفوذ و رواناب و یا تعیین آستانه رواناب استفاده نمود. آبراهام و پارسونز [۱] با اندازه‌گیری رواناب و با استفاده از باران‌ساز مصنوعی رابطه بین نفوذ را برای شرایط پوشش سطحی شامل یکی پوشش سنگی و دیگری سطح تاج پوشش بوته زار در مناطق نیمه خشک آریزونای امریکا مورد بررسی قرار داد و نتیجه‌گیری نمود که نفوذ در زیر تاج پوشش به دلیل تجمع مواد آلی و ماسه نسبت به فواصل بین بوته‌ها که پوشش سطحی قلوه سنگ بوده، بیشتر می‌باشد. کسلر [۱۱] با استفاده از باران ساز مصنوعی در منطقه کارستی اگتلک[3] که از آهک‌های تریاس میانی تشکیل یافته‌اند، سرعت نفوذ را بین ٦/۷ تا ۹/۷ متر در ساعت گزارش کرد. در این مطالعه بارشی معادل ۸۵ میلی‌متر ایجاد شد. وی همچنین در آهک‌های ائوسن بالایی با بارش ۱۰۰ میلیمتری سرعت نفوذی معادل با ۲/٤ تا ٤/۷ متر در ساعت به دست آورد. رهنمایی [۱۳] در مطالعات خود در تاقدیس‌های کفترک، سبزپوشان و دراک واقع در استان فارس اظهار نمود که برآورد نفوذ برای پوشش سنگ آهک از روش استوانه مضاعف چندین برابر بیشتر از مقدار نفوذ محاسبه شده به روش باران مصنوعی است. در این مورد نقش گرادیان هیدرولیکی ایجاد شده در روش استوانه دو گانه بسیار مهم است. وی در ادامه عنوان می‌کند هر چند که روش باران مصنوعی یک روش علمی و نزدیک به طبیعت می‌باشد، ولی برای مقاصد کاربردی برای دقت بیشتر بایستی از روش بیلان آب‌شناختی استفاده نمود.

سردا [۷] به بررسی اثر شکاف خوردگی سطح بر رواناب و نفوذ پرداخته است. مطالعات وی در شرایط میدانی بوسیله شبیه‌سازی باران‌ساز بر خاک‌های طبیعی انجام یافت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که درز و شکاف سنگ‌ها در درجه اول باعث به تأخیر انداختن رواناب سطحی می‌شود و در درجه دوم یکنواختی بیشتری به نرخ نفوذ می‌دهد. در ضمن چنانچه درز و شکاف‌های سطحی

2- Karro
3- Aggtelek



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش در نقشه مرزهای سیاسی استان کهگیلویه و بویراحمد و ایران

محدودهٔ تحت مطالعه پوشانیده شود ضریب رواناب تا ۳ برابر بیشتر از حالت درز و شکاف لخت خواهد بود.

سیگر [۱۷] با استفاده از باران‌ساز مصنوعی شک و تردیدهای موجود در عوامل تعیین کننده کمی فرآیندهای تولید رواناب و فرسایش در مناطق مختلف کشور اسپانیا را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش نتیجه‌گیری شد که در اغلب مناطق تولید رواناب و رسوب دارای تغییرات زیادی است و لذا حتی در شبیه‌سازی بر روی پلات‌های کوچک فرآیندهای پیچیده متعددی بایستی مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس عوامل مؤثر بایستی حتی در مقیاس‌های تفصیلی برای ویژگی‌های زمین بوم شناختی و نیز در مقیاس‌های مختلف زمانی مورد پژوهش قرار گیرند.

با این وصف، تعیین میزان تغذیه و نفوذ در آهک‌ها مستلزم بررسی مؤلفه‌های زیادی است که از جمله آن‌ها تعیین ظرفیت نفوذ و آستانه‌های شکل گیری رواناب برای پوشش‌های متنوع کارستی است. لذا هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییرات آستانه رواناب (میزان بارشی که پس از آن رواناب جاری می‌شود) در پوشش‌های مختلف منطقه کارستی با ایجاد باران مصنوعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

الف- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از سرشاخه‌های حوضه بشار در استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد و در جنوب غربی ایران واقع شده است. این محدوده در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۱ درجه، ۲۶

شکل۲- نمایی از باران ساز در موقعیت نصب

دقیقه و ٤٢ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقه و ۱۸ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۹ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۳۲ دقیقه و ٤۱ ثانیه شمالی قرار گرفته است. محدوده مورد مطالعه در عرصه‌ای به وسعت ۱۷٤۵ هکتار و در حدفاصل ارتفاعی ۱۰۸٤ تا ۲۷۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه را نشان می دهد. متوسط بارندگی سالانه بر اساس یک دوره ۲۰ ساله ایستگاه باران‌سنجی سپیدار، ۱۰۲۰ میلی‌متر می‌باشد. متوسط دمای منطقه ۱۳/۱ درجه سانتی‌گراد و میزان تبخیر و تعرق منطقه بر اساس روش بلانی کریدل ۱٤۳۳ میلی‌متر و تعداد روزهای یخبندان بر اساس دوره آماری ۷۰-۱۳۶۳قریب ۷۰ روز می‌باشد (مرکز پژوهشات کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، ۱۳۸۷). محدوده مورد مطالعه از نظر زمین شناسی در منطقه ساختاری زاگرس چین خورده قرار گرفته است و روند چین‌خوردگی‌ها در راستای شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشد. سازند تشکیل دهنده ارتفاعات مشرف به مسیل از نوع آسماری و حاشیه مسیل اصلی رسوبات کواترنری به همراه رخنمون‌های بسیار کمی از سازند رازک می‌باشد [۲].

ب- روش اندازه‌گیری

در این پژوهش برای بررسی پدیده‌های رواناب و نفوذ از دستگاه باران‌ساز مصنوعی با ابعاد یک متر در یک متر استفاده شد. دستگاه مذکور شامل قسمت‌های مختلفی از جمله منبع آب، چهار پایه نگهدارنده منبع آب، افشانک‌ها، دو عدد پایه‌های نگهدارنده افشانک‌ها، حاشیه‌های پلات با ابعاد یک متری که یکی از آن‌ها دارای لوله ای برای خروج رواناب از پلات می باشد. شکل۲ دستگاه را در موقعیت نصب برای اندازه‌گیری نشان می‌دهد.

در مناطق کارستی عوامل مؤثر بر نرخ نفوذ دارای تغییرات مکانی زیادی می‌باشد. منطقه دلی‌بجک نیز به عنوان یک منطقه کارستی دارای تنوع پوششی بسیار زیادی می‌باشند. به منظور پوشش این تغییرات ابتدا سطح زمین به سه دسته کلی سنگ‌های یکپارچه آهکی

جدول ۱- موقعیت و مشخصات نقاط آزمایش

شماره آزمایش	موقعیت جغرافیایی		پوشش
	X	Y	
۱	٥٤٨٣٦٩	٣٣٧٥٨٠٨	خاک با بیش از ۷۵ درصد پوشش قطعات سنگ
۲	٥٤٧٤٢٥	٣٣٧٦٢٣٧	بلوک‌های سنگی لخت با کمی درزه و کمتر از ۲۵ درصد خاک
۳	٥٤٦٨٦٥	٣٣٧٦٥٨٥	خاک با بیش از ٦۰ درصد پوشش قطعات سنگ
٤	٥٤٦٠٧٥	٣٣٧٧١٠٥	خاک با بیش از ۷۵ درصد پوشش قطعات سنگ و پوشش گیاهی متوسط
٥	٥٤٤٥٧٣	٣٣٧٧٦٤٢	پوشش سنگی واریزه‌ای بر روی پوشش خاک
٦	٥٤٥٠٣٦	٣٣٧٧٢٣٩	زمین زراعی حاوی تعداد کمتر از ۱۰ قطعه سنگ در متر مربع
۷	٥٤٤٢٨٨	٣٣٧٧٢٣٥	قطعات سنگی با پوشش خاک روی آهک‌های کارستی و شیب کم زمین
۸	٥٤٥٢٢٩	٣٣٧٦٨٧٥	خاک با بیش از ٦۰ درصد پوشش قطعات سنگ و پوشش گیاهی متوسط
۹	٥٤٥٨٦٤	٣٣٧٦٣٥٦	خاک با بیش از ۷۵ درصد پوشش قطعات سنگ و پوشش گیاهی متراکم
۱۰	٥٤٦٦١٠	٣٣٧٦٠٣٠	خاک با بیش از ٦۰ درصد پوشش قطعات سنگ و دارای کمی پوشش گیاهی
۱۱	٥٤٦٦١٠	٣٣٧٦٠٣٠	خاک با بیش از ٦۰ درصد پوشش قطعات سنگ و دارای پوشش گیاهی
۱۲	٥٤٧٤٣٨	٣٣٧٥٩٢٧	خاک با بیش از ۷۵ درصد پوشش قطعات سنگ و دارای کمی پوشش گیاهی
۱۳	٥٤٧٤٣٨	٣٣٧٥٩٢٧	خاک با بیش از ۷۵ درصد پوشش قطعات سنگ و دارای پوشش گیاهی متراکم
١٤	٥٤٧٩٦٢	٣٣٧٥٠٩٣	پوشش خاک با حدود ۵۰ درصد پوشش قطعات سنگ
۱۵	٥٤٧٩٦٢	٣٣٧٤٩٣٨	پوشش خاک نازک (۱ تا ۵ سانتی متر) روی سطوح آهکی درزه دار
١٦	٥٤٨٠٦٤	٣٣٧٥١٠١	سنگ آهک با تک درزه دارای عرض بازشدگی حدود ۵ سانتی‌متر
۱۷	٥٤٨٠٦٤	٣٣٧٥١٠١	سنگ آهک با تک درزه دارای عرض بازشدگی حدود ۵ سانتی‌متر
۱۸	٥٤٨٨٧٩	٣٣٧٦٠٠٠	پوشش واریزه قطعات سنگی که به صورت یک لایه روی خاک قرار گرفته است
۱۹	٥٤٨٨٧٩	٣٣٧٦٠٠٠	لایه نازک از پوشش واریزه سنگی بر روی خاک
۲۰	٥٤٨٨٨٠	٣٣٧٥٥٤٠	قطعات سنگی واریزه‌ای به همراه پوشش گیاهی متراکم
۲۱	٥٤٨٨٨٠	٣٣٧٥٥٤٠	قطعات سنگی واریزه‌ای به همراه پوشش گیاهی
۲۲	٥٤٦٤٣٩	٣٣٧٧٧٩٦	قطعات سنگی با پوشش خاک روی آهک‌های کارستی و شیب کم زمین
۲۳	٥٤٦٨٣٤	٣٣٧٦٦٨٥	سنگ آهک‌های با درزه‌های ریز پر شده از خاک
۲٤	٥٤٦٨٣٤	٣٣٧٦٦٨٥	مشابه نمونه شماره ۲۳ ولی با درزه‌های بیشتر و بزرگ‌تر
۲۵	٥٤٥٠٥٩	٣٣٧٨٧٨٦	پوشش ضخیم قطعات سنگی خرد شده

درزه‌دار، سنگ‌های خرد شده و واریزه‌های سنگی و بالاخره پوشش خاکی تقسیم شد. سپس برای هر کدام از آن‌ها نقاطی برای انجام آزمایش انتخاب گردید. انتخاب نقاط بر اساس پیمایش سطحی منطقه و مشاهده ویژگی‌های سطحی زمین انجام گرفت. با توجه به تنوع پوشش خاک و نیز رخنمون‌های سنگی، تعداد ۲۵ آزمایش در فاصله زمانی ۱۹ تا ۲۲ مهر سال ۱۳۸۸ انجام گردید شکل (۱). همانطور ملاحظه می‌شود علاوه بر در برگرفتن پوشش‌های مختلف تا حد امکان سعی شده است نقاط به نحوی انتخاب شوند که پراکندگی مناسبی در سطح حوضه داشته باشند. با این وصف کلیه آزمایش ها دارای شرایط یکسان رطوبت پیشین می‌باشند. آزمایش‌های ۲، ١٦، ۱۷، ۲۳ و ٢٤ در سنگ‌های آهکی درزه‌دار (گروه ۱)، آزمایش‌های ۵، ۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۵ بر روی سنگ‌های خرد شده آهکی و واریزه های سنگی حاصل از آهک‌های سازند آسماری (گروه ۲) و مابقی آزمایش‌ها بر روی پوشش خاکی با تنوعی از پوشش گیاهی (گروه ۳) صورت گرفته است (جدول ۱).

نمونه های ٤، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ دارای پوشش گیاهی هستند که هر یک نسبت به دیگری تفاوت دارد. در نمونه ۱۳ و ۱۲ که در مجاورت یکدیگر قرار دارند پوشش گیاهی نمونه ۱۲ کمتر از ۱۳ می‌باشد. نمونه های ۱، ۳، ١٤، ۲۰ و ۲۱ پوشش چندانی ندارند. نمونه ۵ دارای سنگ‌های با ابعاد کوچک‌تری می‌باشد و اغلب ذرات را پبل[1] (سنگریزه) تشکیل می‌دهد، در حالی که نمونه‌های ۱۸ و ۱۹

1- Pebble

جدول۲- نتایج آزمایش‌های اندازه‌گیری نفوذ و رواناب به وسیله باران‌ساز مصنوعی

شماره آزمایش	کل زمان آزمایش (min)	شدت بارش (mm/hr)	زمان آستانه رواناب (min)	حجم کل بارش (L)	حجم رواناب (L)	ارتفاع بارش تا آستانه رواناب (mm)	ضریب جریان (٪)
۱	۱٤/۵۷	۱۳۱/۸۱	۹/۰۸	۳۲	۱/۱۵	۲۰	۳/۷
۲	۷/۸۰	۱۰۰/۰۰	۲/٤۵	۱۳	۵/۱۵	٤/۱	٤۰
۳	۱٤/۰۵	۱۳۵/۷٤	۸/٦۰	۳۰	۱/۹۱	۱۸/٤	٦/۳
٤	۹/۷۷	۱۹۰/٤٦	۳/۰۰	۳۱	۱/۲۰	۹/۵	۳/۸
۵	۱٤/۱۳	۱۱۸/۸۷	۷/٤۲	۲۸	۱/۵۷	۱٤/۷	۵/۷
٦	۸/٤۰	۱۲۸/۵۷	۲/۲۰	۱۸	۱/۱۵	٤/۷	٦/۷
۷	۹/۵۰	۱۲۰/۰۰	۵/۲۸	۱۹/۲۵	۲/۱۰	۱۰/۸	۱۰/۷
۸	۱۲/۰۰	۱٤۰/۰۰	٤/۳۳	۲۸	۱/٦۰	۱۰/۱	۵/۷
۹	۱۱/۹۸	۱۳۰/۱۸	٦/۱۰	۲٦	۱/٦۵	۱۳/۲	٦/۵
۱۰	۲۱/۲۳	۸۵/٤۸	۱۲/۰۸	۳۰/۲۵	۱/۳۱	۱۷/۲	٤/۳
۱۱	۵۰/۰۰	۵۰/۲۱	٤۲/۹۸	٤۰/۵	۱/۱۱	۳٤/۸	۲/۷
۱۲	۷/۰۷	۱٦۱/۳۳	۱/٦۳	۱۹	۱/٤۰	٤/٤	۷/٤
۱۳	۹/۷۲	۱۷۱/۳۷	٦/۲۷	۲٤/۷۵	۲/۳۰	۱٦	۹/۳
۱٤	۱۹/۵۲	۱۱٤/٦۷	۱۱/۵۰	۳۷/۳	۰/٦۵	۲۲	۱/۸
۱۵	۱۱/۷۵	۱۰۳/٦٦	۷/۳۷	۲۰/۳	۱/۲۵	۱۲/۷	٦/٤
۱٦	۱/٦۳	۲۲۰/٤۵	۱/٦۳	٦	_	٦	*
۱۷	۳/۱۳	۱۱۰/۰۰	٤/۰۰	٦/٦	_	۸/٤	*
۱۸	۱۱/۸۳	۱۱۱/۵۵	۹/۰۵	۲۲	۰/۵۳	۱٦/۸	۲/۳
۱۹	٦/٦۳	۱۲۸/۵۷	۲/۲۵	۱۵	۲/٤۵	۵/۱	۱٦/۷
۲۰	۱۱/۰۳	۸۷/۰۱	۳/۱۰	۱٦	۱/۱۵	٤/۵	۷/۵
۲۱	۹/۱۷	۱۸۳/۲۹	٤/٤۷	۲۸	۰/٤٦	۱۳/	۱/۸
۲۲	۱۱/۵۸	۱۲۲/۲۵	٤/۰۷	۲۳/٦	۰//٤۸	۸/۳	۲/۲
۲۳	۲/۳۰	۱۵٦/۵۲	۲/۳۰	٦	_	٦	*
۲٤	۳/۰۰	۱۵۷/۵۰	۳/۰۰	۱۰/۵	_	۱۰/۵	*
۲۵	۸/۵۰	۳۰۳/۵۳	_	٤۳	_	–	۰

که مشابه می‌باشند دارای پبل‌های با ابعاد بزرگ‌تر بوده و اغلب شامل ذرات کابل[1] (قلوه سنگ) و پبل می‌باشند. آزمایش‌های ۱٦ و ۱۷ بر روی سطح آهک درزه‌دار با ابعاد ۱ تا ٦ سانتی‌متری با دو شدت متفاوت صورت گرفت. شرایط آزمایش‌های ۲۳ و ۲٤ نیز آهک‌های درزه‌دار بوده ولی به طور کامل توسط رسوبات ریز دانه پر شده‌اند. همچنین، درزه‌های نمونه‌های ۲٤ دارای بازشدگی بیشتری نسبت به نمونه ۲۳ می‌باشند. این آزمایش در ارتفاعات منطقه صورت پذیرفته است. آزمایش ۲۵ بر روی آهک‌های خرد شده در ارتفاعات شمالی که به صورت پوشش یکپارچه سنگ‌های خرد شده می‌باشند، انجام گرفت. قابل ذکر است که علاوه بر آزمایش‌های ۱۲ و ۱۳، آزمایش‌های ۱۰ و ۱۱، ۱٦ و ۱۷، ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ در فاصله نزدیک به هم صورت پذیرفته‌اند و به همین دلیل این نقاط آزمایش در شکل (۱) روی هم قرار گرفته‌اند.

در هر یک از آزمایش‌ها، بارش با شدت ثابتی تنظیم گردید. بدین منظور، با باز کردن شیر منبع پس از مدت کوتاهی آب از طریق نازل‌ها بر روی سطح پلات باریده شد. سپس زمانی که رواناب در سطح پلات جاری گردید یادداشت و از این به بعد رواناب خروجی توسط ظروف مدرج اندازه‌گیری گردید. همچنین پس از قطع بارندگی نیز تا زمانی که رواناب جاری بود اندازه گیری آن ادامه یافت. بنابراین، حجم کل بارش، زمان آغاز رواناب (زمان آستانه)، حجم بارش تا زمان وقوع آستانه رواناب، حجم رواناب خروجی در فواصل زمانی مختلف در آزمایش اندازه گیری و ثبت گردید.

نتایج و بحث

بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، مقادیر متوسط شدت و

1- Cobble

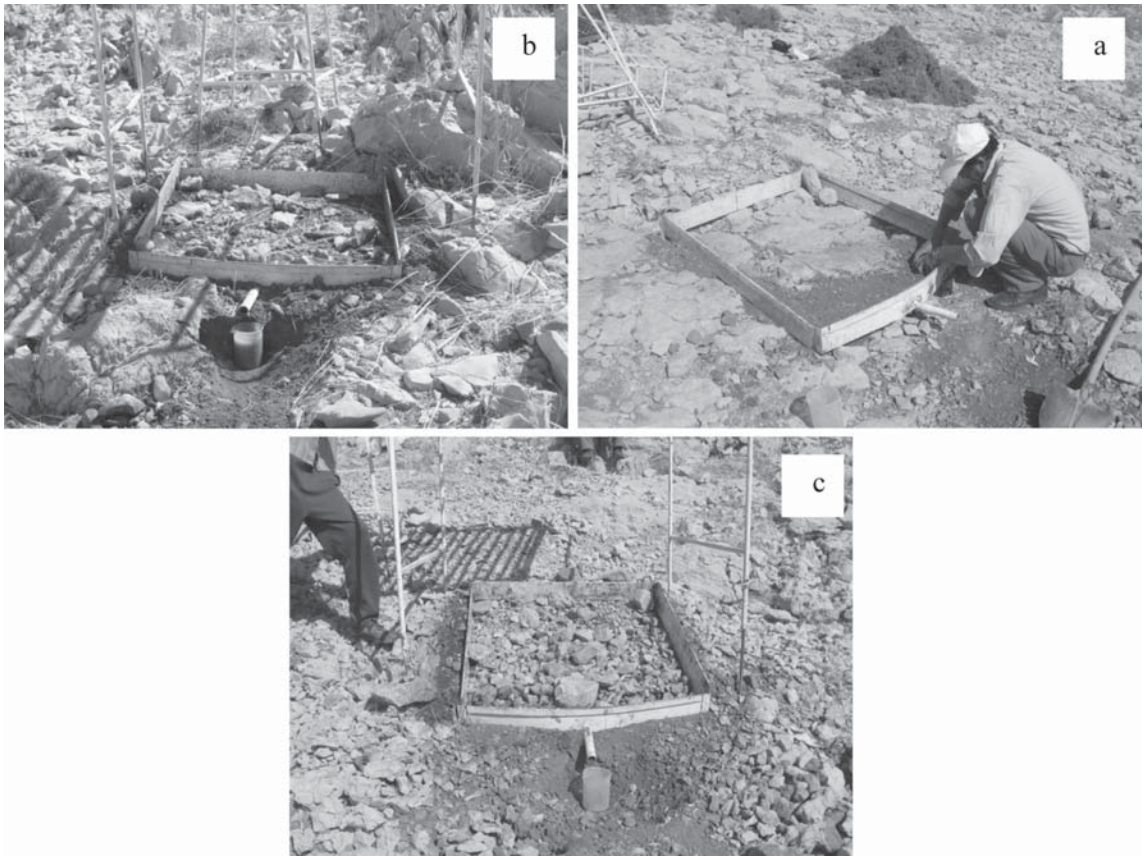
مقدار تجمعی بارش تا آستانه رواناب و نیز مقدار تجمعی کل بارش و مؤلفه‌های رواناب و نفوذ برای هر ۲۵ آزمایش برآورد و نتایج محاسبات در جدول (۲) ارائه شده است. شدت بارش با توجه شناخت اولیه‌ای که نسبت به پوشش به دست آمده بود، تنظیم گردید. بررسی جدول (۲) نشان می‌دهد که شدت بارش تنها در سه آزمایش ۱۰، ۱۱ و ۱۲ کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در ساعت و به ترتیب ۸۵/۵، ۵۰/۲ و ۸۷ میلی‌متر در ساعت است. همچنین شدت بارش در دو آزمایش ۱۶ و ۲۵ بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر در ساعت و به ترتیب ۲۲۰/۵ و ۳۰۳/۵ میلی‌متر در ساعت بوده است. در ۲۰ نمونه دیگر، شدت بارش در دامنه ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر در ساعت قرار دارد.

ضریب جریان نیز بر اساس مقادیر بارش و رواناب اندازه‌گیری شده برآورد شده است جدول (۲). همانگونه که مشاهده می‌شود ضریب جریان تنها در سه مورد بیشتر از ۱۰ درصد بوده که این سه مورد به ترتیب در آزمایش‌های ۲، ۷ و ۱۹ و به میزان ۴۰، ۱۶/۷ و ۱۰/۸ درصد می‌باشد. در چهار آزمایش ۱۶، ۱۷، ۲۳ و ۲۴ که بر روی سنگ‌های یکپارچه آهکی همراه با درزه های با ابعاد متفاوت صورت گرفته اند، امکان قرار دادن ظرف اندازه گیری رواناب در خروجی پلات و بر روی پوشش سنگی وجود نداشت لذا در لحظه شکل‌گیری رواناب ادامه آزمایش قطع شده است و تنها زمان و مقدار آستانه رواناب اندازه‌گیری شده است. در آزمایش ۲۵ که روی واریزه های سنگی ضخیم صوت گرفته است با وجود ۴۳ میلی متر بارش در ۸/۵ دقیقه که بیشترین شدت بارش مورد استفاده بر اساس امکانات موجود در این پژوهش بوده، هیچ روانابی شکل نگرفته است و ضریب جریان در این آزمایش صفر می‌باشد. شکل (۳) نمای پوشش سطحی را در محل آزمایش‌های ۲، ۷ و ۱۹، شکل (۴) وضعیت پوشش را برای آزمایش‌های شماره ۱۶ و ۱۷ و شکل (۵) این وضعیت را برای شماره‌های ۲۳، ۲۴ و ۲۵ نشان می‌دهد. آزمایش‌های ۲، ۱۶، ۱۷، ۲۳ و ۲۴ در گروه ۱ (سنگ‌های آهکی درزه‌دار) و آزمایش‌های ۷، ۱۹ و ۲۵ در گروه ۲ (سنگ‌های خرد شده آهکی و واریزه‌های سنگی) قرار دارند. محل آزمایش ۲ دارای سطح زمین با بیش از ۷۵ درصد پوشش سنگی یکپارچه با درزه‌های کوچک پرشده و ۲۵ درصد قشر نازکی از خاک بر روی سنک یکپارچه می‌باشد. به علاوه در محل آزمایش ۷ پوشش نازکی از لایه خاک و سنگ بر روی سنگ‌های یکپارچه درزه‌دار قرار گرفته است. همچنین محل انجام آزمایش شماره ۱۹ قشری از سنگ‌های خرد شده روی سنگ یکپارچه می‌باشد. با این وصف در این سه آزمایش که ضریب رواناب بیشتر از ۱۰ درصد مشاهده شده است، همگی دارای شرایط سنگ یکپارچه زیر سطحی و یا روسطحی می‌باشند به طوری که نفوذ را به طور مستقیم متأثر ساخته‌اند. محل آزمایش ۲۵ که دارای بیشترین ظرفیت نفوذ می‌باشد، واریزه‌های سنگی است که در دامنه ظرفیت امکانات موجود برای اندازه‌گیری نفوذ و به دلیل نفوذپذیری بالا امکان تعیین شرایط شکل‌گیری رواناب میسر نگردید. بر اساس ارقام اندازه‌گیری شده ظرفیت نفوذ این نوع پوشش سطحی زمین خیلی بیشتر از میزان بارش طبیعی منطقه بوده، لذا تحت شرایط طبیعی انتظار تولید رواناب در این مناطق نمی‌باشد.

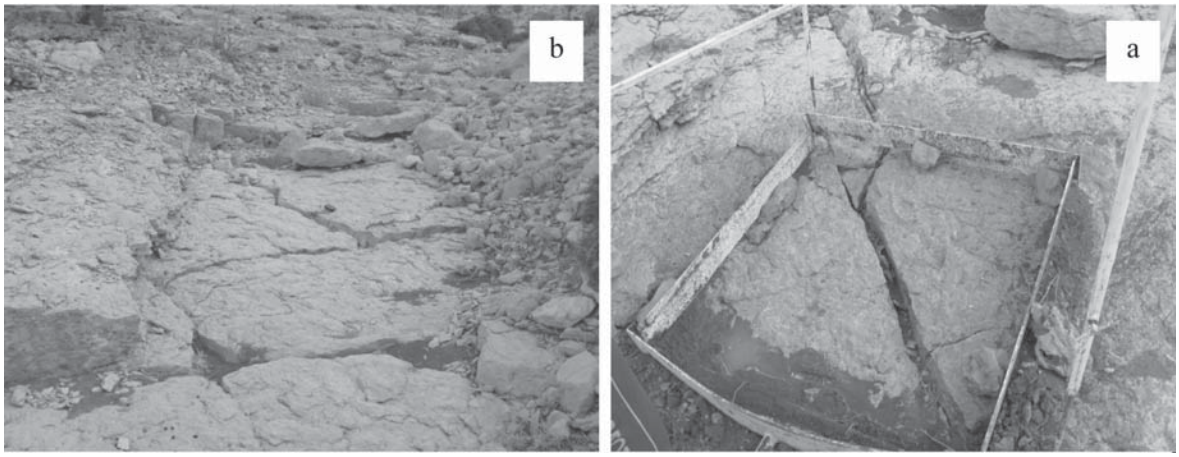
مقدار آستانه رواناب یکی از عامل‌های مهم در تعیین ظرفیت رواناب و نفوذ می‌باشد، که در این پژوهش با استفاده از نتایج آزمایش‌های مختلف محاسبه و برآورد گردید (جدول ۲). تحلیل مقادیر آستانه در هر کدام از گروه‌های سه گانه پوشش سطحی منطقه نشان می‌دهد که در گروه ۱ کمترین مقدار آستانه رواناب ۴/۱ میلی‌متر در آزمایش ۲ و بیشترین مقدار ۱۰/۵ میلی‌متر در محل آزمایش ۲۴ می‌باشد. همچنین این مقادیر حدی برای گروه ۲ به ترتیب ۴/۵ و ۴۳ میلی‌متر در محل آزمایش‌های ۲۰ و ۲۵ و برای گروه ۳ به ترتیب ۴/۴ و ۳۴/۸ میلی‌متر در محل آزمایش‌های ۱۲و ۱۱ به دست آمده است. مقایسه ۵ آزمایش گروه ۱ نشان می‌دهد که هر چه عمق و عرض بازشدگی درزه‌ها بیشتر باشد آستانه رواناب افزایش یافته و در مواردی که وسعت درزه ها کم و یا از خاک پر شده‌اند آستانه رواناب کاهش می‌یابد، به طوریکه در آزمایش ۲ مقدار خیلی کم و در آزمایش‌های ۱۶ و ۲۳ این مقدار ۶ میلی‌متر و در آزمایش‌های ۱۷ و ۲۴ به ترتیب ۸/۴ و ۱۰/۵ میلی‌متر می‌باشد. مقادیر آستانه رواناب در گروه ۲ نشان می‌دهد هر چه ضخامت واریزه بیشتر باشد آستانه رواناب بیشتر و ضریب رواناب کوچک و ناچیز می‌شود. در بین آزمایش‌های این گروه آزمایش ۲۵ چنین وضعیتی را داشته که با وجود ۴۳ میلی‌متر بارش در ۸/۵ دقیقه هیچ روانابی جاری نشده است. در گروه سوم که آزمایش‌ها در پوشش‌های خاکی واقع بر روی سنگ‌های آهکی انجام شده است، وجود قطعات خرد شده و پوشش گیاهی موجب ایجاد دامنه وسیعی از آستانه رواناب گردیده است. این تغییرات به نظر می‌رسد که به مقدار زیادی به نسبت قطعات سنگی و پوشش گیاهی و سطوح عاری از این دو وابسته باشد. در آزمایش‌های صورت گرفته هر چه قطعات سنگی و پوشش گیاهی بیشتر بوده دارای آستانه رواناب بیشتری بوده‌اند.

عمق بارش تا آستانه رواناب در آزمایش‌های انجام شده دارای دامنه وسیعی می‌باشد. بر اساس عمق بارش تا آستانه رواناب آزمایش‌ها در چهار دسته قرار گرفتند که خلاصه آن در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که در ۱۰ آزمایش عمق بارش تا آستانه رواناب کمتر از ۱۰، در ۱۲ آزمایش بین ۱۰ تا ۲۰، در یک آزمایش بین ۲۰ تا ۳۰ و در دو آزمایش بیشتر از ۳۰ میلی‌متر به دست آمده است. در هر ۱۰ آزمایش سری اول شدت بارش بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر در ساعت بوده است. به ویژه در آزمایش‌های ۱۶ و ۲۳ به ترتیب ۲۲۰/۵ و ۱۵۶/۵ میلی‌متر در ساعت می‌باشد. همچنین، آزمایش‌های۲، ۱۶، ۱۷، ۲۲ و ۲۳ علاوه بر شدت بالا، بر روی بسترهای سنگی یکپارچه و یا دارای درزه‌های کوچک پر شده از خاک انجام گرفته‌اند.

آزمایش‌های ۴ و ۱۲ که محل آزمایش پوشیده از قطعات سنگی بر روی بستر خاک می‌باشد، به ترتیب دارای شدت‌های ۱۹۱ و ۱۶۱ میلی‌متر در ساعت می‌باشند. بستر آزمایش شماره ۱۹ با شدت ۱۲۹



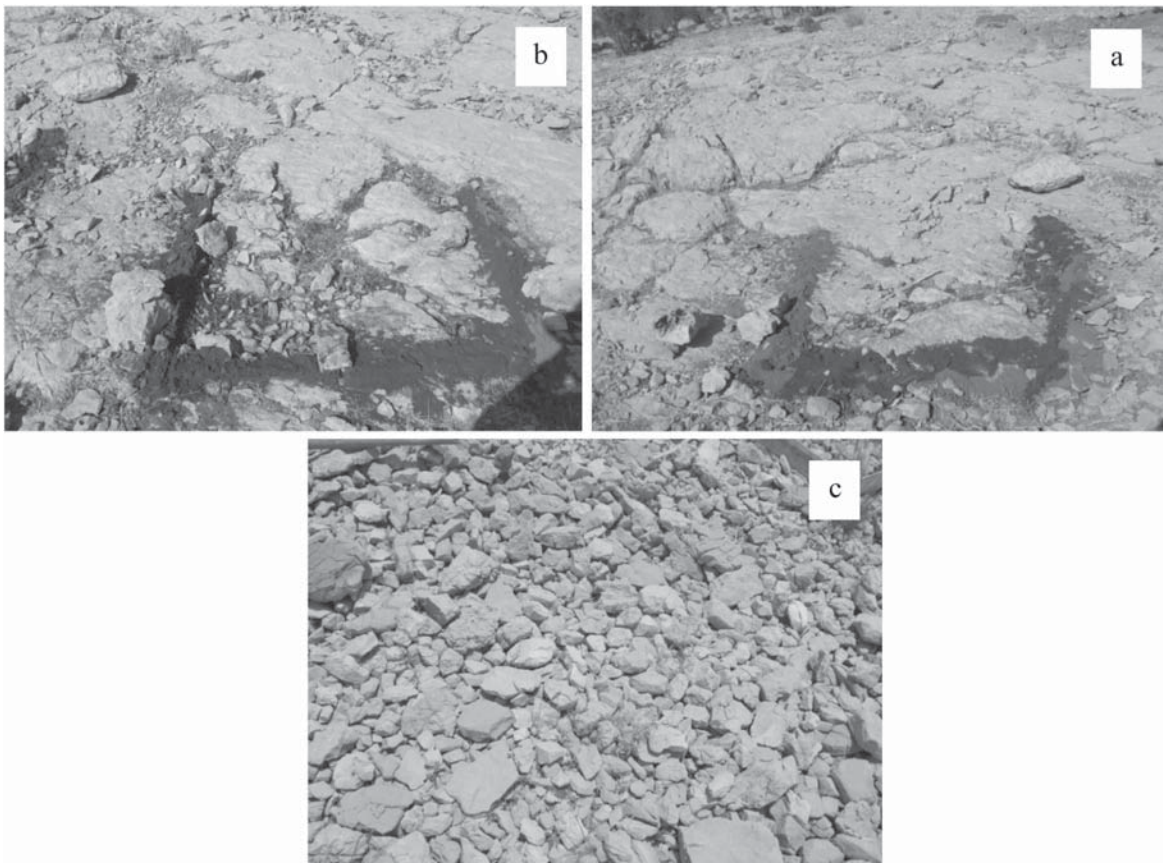
شکل ۳- a- محل انجام آزمایش ۲ b- محل انجام آزمایش ۷ c-محل انجام آزمایش ۱۹



شکل ٤- a- محل انجام آزمایش ١٦ b- محل انجام آزمایش ١٧

میلی‌متر در ساعت نیز به نظر می‌رسد که سنگ‌های یکپارچه آهکی باشد که با قشر چند سانتی‌متری از واریزه و قطعات سنگی بزرگ پوشیده شده است که در شکل (۳) نشان داده شده است. آزمایش ٦ در اراضی زراعی با شدت بارش ۱۲۹ میلی‌متر در ساعت که شدت بالایی نیز می‌باشد انجام شده است. در این گروه، نتایج آزمایش ۲۰ که هم از شدت پایین‌تری نسبت به بقیه برخوردار بوده و هم بستر آزمایش بر روی قطعات سنگ می‌باشد، با بقیه هماهنگ نیست.

آزمایش‌های ۸، ٢٤، ۷، ۹ و ۲۱ به ترتیب در ردیف‌های بعدی شکل‌گیری آستانه رواناب قرار گرفته‌اند (دسته دوم). آستانه رواناب دیگر آزمایش‌های دسته سوم به ترتیب شامل ۵، ۱۳، ۱۸، ۱۰، ۳ و ۱ بوده که دارای آستانه رواناب ١٤/٧، ١٦، ١٦/٨، ١٧/٢، ١٨/٤ و ۲۰ میلی‌متر و نیز دارای شدت بارش به ترتیب ۱۱۹، ۱۷۱، ۱۱۲، ٨٦، ١٣٦ و ۱۳۲ میلی‌متر



شکل ۵- a- محل انجام آزمایش ۲۳ b- محل انجام آزمایش ۲٤ c- محل انجام آزمایش ۲۵

جدول ۳- مقادیر آستانه رواناب مشاهده‌ای

دامنه ارتفاع بارش تا آستانه رواناب	کمتر از ۱۰ میلی‌متر										۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر												۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر	بیشتر از ۳۰ میلی‌متر	
شماره آزمایش	۲	۱۲	۲۰	٦	۱۹	۱٦	۲۳	۲۲	۱۷	٤	۸	۲٤	۷	۱۵	۹	۲۱	۵	۱۳	۱۸	۱۰	۳	۱	۱٤	۱۱	۲۵

در ساعت می‌باشد. همچنین، بستر این آزمایش‌ها نیز به ترتیب سنگریزه و قطعات سنگی، سنگریزه و قلوه سنگ بر روی خاک، سنگریزه و قطعات سنگی بدون خاک، سنگریزه و قطعات سنگی بر روی خاک تا حدودی ضخیم، حدود ٦۵ درصد سنگریزه و ۳۵ درصد خاک، حدود ۵۰ درصد سنگریزه و ۵۰ درصد خاک می‌باشد.

در دسته سوم که آستانه های حد فاصل ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر می‌باشد، تنها آزمایش شماره ۱٤ واقع شده است که دارای بارشی با شدت ۱۱۵ میلی‌متر در ساعت می باشد. این آزمایش در شرایط پوشش خاک به همراه حدود ۵۰ درصد سنگریزه و نیز تراکم مناسب پوشش گیاهی تنظیم گردید. بنابراین درصد قطعات سنگی و پوشش گیاهی بر روی کاهش آستانه رواناب در این آزمایش اثرگذار بوده‌اند.

در دسته چهارم دو نمونه ۱۱ و ۲۵ قرار دارد، که به ترتیب دارای شدت بارش ۵۰/۵ و ۳۰۳/۵ میلی‌متر در ساعت می‌باشند. آزمایش شماره ۱۱ دارای آستانه ۳۵ میلی‌متر بوده ولی آزمایش ۲۵ با وجود شدت بالا که ۳۰۳/۵ میلی‌متر در ساعت بوده و ٤۳ میلی‌متر بارش داشته است به حد آستانه نرسیده است. وضعیت پوششی مشابه با آزمایش ۲۵ در ارتفاعات شمالی منطقه سطح وسیعی را پوشانده است. البته در سایر نقاط حوضه نیز چنین پوششی دیده می‌شود. با این وصف این نوع پوشش در ایجاد نفوذپذیری بالا و کاهش رواناب سهم قابل توجهی را در حوضه بر عهده دارد.

نتایج بررسی ضریب رواناب، آستانه رواناب و شدت نفوذ در این پژوهش دامنه وسیعی از تغییرات را نشان می‌دهد. این دامنه وسیع ناشی از ناهمگنی وسیع در پوشش سطحی زمین در این منطقه کارستی می‌باشد. با وجود این ناهمگنی و دامنه وسیع تغییرات در مجموع نتایج این پژوهش حاکی از ظرفیت نفوذپذیری بالا و ضریب جریان پایین می‌باشد که در اغلب آزمایش‌ها نمایان بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل آستانه رواناب در پلات‌های ۱متر در ۱متر و با ایجاد بارش مصنوعی در طیفی از انواع پوشش سطحی خاک و سنگ مناطق کارستی نشان می‌دهد که با تکرار آزمایش‌ها، در تنوع بیشتری از پوشش سطح زمین در مناطق کارستی می‌توان به روابط تجربی برای آستانه و ضریب رواناب بر اساس پوشش سطحی دست یافت. علاوه بر این سنگ آهک‌های خرد شده که فاقد پوشش خاک می‌باشند از نفوذپذیری بالایی برخوردار بوده، بطوری که در بارش مصنوعی۴۳ میلی‌متری و با شدت ۳۰٤ میلی‌متر در ساعت که خارج از دامنه بارش‌های حدی و نقطه‌ای منطقه می‌باشد، فاقد رواناب می‌باشند. از طرفی دیگر سنگ‌های آهکی یکپارچه که دارای درزه‌های پرشده از خاک می‌باشند دارای درصد نفوذ پایینی بوده، بطوری که در آزمایش‌های انجام شده با ایجاد بارش‌های مصنوعی در حد ٤ تا ۱۰/۵ میلی‌متر رواناب شکل گرفته است. در ضمن هرچه میزان قطعات سنگی در مخلوط‌های خاک و سنگ بیشتر باشد، ظرفیت نفوذ و نیز میزان بارش تا آستانه رواناب بیشتر می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد میزان بارش تا آستانه رواناب با میزان بقایا و پوشش گیاهی که در آزمایش‌های ۱۱ و ١٤ بستر سطحی را تشکیل داده‌اند، رابطه مستقیمی را نشان می‌دهد. در مناطق کارستی، ظرفیت نفوذ زمین‌های زراعی نسبت به سایر سطوح زمین از میزان پایین‌تری برخوردار بوده، به طوری که اراضی واریزه‌ای، مخلوط‌های سنگ و خاک، سنگ‌های یکپارچه دارای درزه‌های متقاطع دارای ظرفیت نفوذ بیشتری هستند. در نهایت بررسی ضریب جریان با استفاده از نتایج باران‌ساز مصنوعی نشان می‌دهد که در ۲۵ آزمایش انجام شده تنها در سه مورد بیشتر از ۱۰ درصد است که این سه مورد به ترتیب به میزان ٤۰، ١٦/٧ و ۱۰/۸ درصد می‌باشد. در بقیه موارد ضریب جریان کمتر از ۱۰ درصد و حتی در مواردی صفر بوده است.

اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل آستانه رواناب در پلات‌های ۱متر در ۱متر و با ایجاد بارش مصنوعی در طیفی از انواع پوشش سطحی خاک و سنگ مناطق کارستی نشان می‌دهد که با تکرار آزمایش‌ها در تنوع بیشتری از پوشش سطح زمین در مناطق کارستی می‌توان به روابط تجربی برای آستانه و ضریب رواناب بر اساس پوشش سطحی در این مناطق دست یافت. در این پژوهش اندازه‌گیری ضخامت فوقانی خاک، مخلوط خاک و سنگ بر روی سنگ بستر آهکی میسر نشد، لذا توصیه می‌شود برای فرمول‌بندی آستانه و ضریب رواناب، ضخامت فوقانی مواد هوازده رویی مورد توجه قرار گیرد. همچنین، تأثیر شیب بر میزان نفوذ و آستانه و ضریب رواناب تأثیر گذار است که در این پژوهش مجال این کار نبود. توصیه می‌شود در پژوهش‌های بعدی برای انواع بستر سطحی و شیب‌های مختلف این پژوهش انجام شود. در ضمن برای درک واقع بینانه تری از پدیده نفوذ و رواناب در سطح واحدهای کارستی، اندازه‌گیری رواناب و نفوذ در پلات‌های با ابعاد بزرگ‌تر از ۱۰ متر مربع که می‌تواند بخشی از عوارض کارستی نظیر گریک‌ها را در برگیرد انجام شود. بعلاوه، با تکرار این پژوهش و اندازه گیری رواناب و بارش در سطح واحدهای آب شناختی منطقه پژوهش نحوه تعمیم نتایج پلات که سهل الوصول است، به سطح حوضه که به راحتی قابل دستیابی نیست مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و سپاسگزاری

امکانات اندازه‌گیری و صحرایی مورد نیاز این پژوهش به وسیله مرکز پژوهش‌های کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد فراهم شده است، بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از رئیس، مدیران و کارکنان این مرکز به خصوص آقایان ابراهیمی تبار و غلامی اعلام می‌نماید.

منابع

1- Abrahams, A. and Parsons A. J. 1991. Relation between infiltration and stone cover on a semiarid hillslope, southern Arizona, Journal of Hydrology, 122: 49-59.

2- Agricultural and Natural Resources Research center of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, 2008. Determination of the excess rainfall and loss parameters in the representative basin of 9 province- project of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. (In Persian).

3- Aquilina, L., Ladouche, B. and Dorfliger, N. 2005. Recharge processes in karstic systems investigated through the correlation of chemical and isotopic composition of rain and spring-waters, Applied Geochemistry, 20: 2189-2206.

4- Bakalowicz, M. 2005. Karst groundwater: a challenge for new resources, Hydrogeology Journal, 13:148-160.

5- Bonacci, O. 2001. Monthly and annual effective infiltration coefficients in dinaric karst: example of the Gradole karst spring catchment, Hydrological Science-Journal- des Sciences Hydrologiques, 46:287-299.

6- Bonacci, O. 2007.Analysis of long-term (1878-2004) mean annual discharges of the karst spring fontaine de Vaucluse (France), Time in Karst, Postojna 2007, PP. 151-156.

7- Cerda. A., 2001, "Effets of rock Fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion", Eropean Journal of Soil Science, 51: 54-68.

8- Fleury, P., Ladouche, B., Conroux, Y., Jourde, H. and Dorfliger, N. 2009. Modelling the hydrologic functions of a karst aquifer under active water management-The Lez spring, Journal of Hydrology, 365: 235-243.

9- Jemcov I. and Petric M.2009. Measured precipitation vs. effective infiltration and their influence on the assessment of karst systems based on results of the time series analysis, Journal of Hydrology, 379(3-4):304-314.

10- Jiang, G., Guo, F., Wu, J., Li, Huaju. and Sun, H. 2007. The threshold value of epikarst runoff in karst mountain area, Environ Geol, 55: 87-93.

11- Kessler, H., 1955, "Infiltration percentage and water production from karstified rocks", Hydrol. Kozl, No. 35, PP. 213-222.

12- Maréchal J.C., Ladouche B., Dörfliger N. 2008. Karst flash flooding in a Mediterranean karst, the example of fontaine de Nîmes, Engineering Geology, 99: (3-4) 138-146

13- Rahnamaei, M. 1994. Evaluation of infiltration and runoff in Karstic carbonate rocks. MS Thesis, Shiraz University.

14- Ruiz Sinoga J.D., Diaz A.R., Bueno E.F. and Murillo J.F.M. 2010. The role of soil surface conditions in regulating runoff and erosion processes on metamorphic hillslope (Southern Spain), Soil surface conditions, runoff and erosion in Southern Spain, Catena 80:131-139.

15- Salerno F. and Tartari G. 2009. A coupled approach of surface hydrological modelling and Wavelet Analysis for understanding the base flow components of river discharge in karst environments, Journal of Hydrology, 376(1-2):295-306.

16- Sami K., and Hughes D.A. 1996. A comparison of recharge estimates to a fractured sedimentary aquifer in South Africa from a chloride mass balance and an integrated surface-subsurface model, Journal of Hydrology, 179(1-4):11-136.

17- Seeger, M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations", Catena, 56:56-67.

18- Soil Conservation Service. 1972. Hydrology, Chapter 9, Hydrologic Soil Cover Complex, SCS National Engineering Handbook, Washington D.C., U.S. Department of Agriculture, section -4.

19- Soil Conservation Service. 1975. Urban Hydrology for small watersheds, TR 55, Soil Conservation Service, Washington, D.C.

20- Tularam G.A., and Ilahee M. 2007. Initial loss estimates for tropical catchments of Australia, Environmental Impact Assessment Review, 27(6):493-504.

21- Vestena, L.R., and Kobiyama, M. 2007. Water balance in karst: Study of the Ribeirão da Onça Catchment in Colombo City, Paraná State-Brazil", Brazilian Archives of Biology and Technology, 50(5): 905-912.

22- White William B. 2002. Karst hydrology: recent developments and open questions, Engineering Geology, 65(2-3):85-105.

23- Zhi-Hua Shi, Li-Ding Chen, Nu-Fang Fang, De-Fu Qin, Chong-Fa Cai. 2009. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China, Catema, .77(1):1-7.