تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال نهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲
Volume 9, No. 1, Spring & Summer 2013 (IR-WRR)
۳۶-۴۷

برآورد ضریب رواناب در منطقه کارستی (مطالعه موردی: حوضه دلی‌بجک سپیدار، استان کهگیلویه و بویراحمد)

رسول پرهمت [۱*]، حمیدرضا ناصری [۲]، جهانگیر پرهمت [۳] و علی ملایی [۴]

چکیده

بررسی پدیده‌های رواناب و نفوذ در مناطق کارستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این فرآیندها در مناطق کارستی با سایر پوشش‌ها تفاوت دارند. به دلیل تنوع و تغییرات عوامل مؤثر بر نفوذ و رواناب در مناطق کارستی نمی‌توان رابطه مشخصی را برای این فرآیندها تعیین کرد. در این تحقیق بررسی و برآورد میزان ضریب رواناب و نفوذ در منطقه کارستی دلی بجک سپیدار واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد در دو مقیاس حوضه و پلات صورت گرفته است. بدین منظور اندازه‌گیری مؤلفه‌های بارش (در سه ایستگاه باران‌سنجی) و رواناب در سطح حوضه به طور مداوم طی سالهای آبی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ انجام و بر اساس آن ضریب رواناب برآورد گردید. همچنین در مقیاس پلات با استفاده از باران‌ساز مصنوعی در ۲۵ آزمایش این مؤلفه‌ها بر روی پوشش خاکی و سنگی منطقه مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی بارش و رواناب در این حوضه نشان داد که منطقه مورد مطالعه از ظرفیت نفوذ بالایی برخوردار است به نحوی که در بارش‌های ۱۳۳، ۱۳۰ و ۹۵ میلی‌متری در سطح حوضه، به ترتیب ضرایب روانابی معادل ۱/۵، ۰/۵۴ و ۰/۴۵ درصد به دست آمده است. آزمایش‌های انجام شده به وسیله باران‌ساز مصنوعی نیز دامنه وسیعی از ضریب رواناب را نشان می‌دهد، به طوری که از صفر تا ۴۰ درصد تغییر می‌کند.

کلمات کلیدی: مناطق کارستی، نفوذ، بارش، ضریب رواناب.
تاریخ دریافت مقاله: ۸ آبان ۱۳۸۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۶ مهر ۱۳۹۱

۱- کارشناس ارشد آبهای زیر زمینی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲-دانشیار دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- عضو هیئت علمی سازمان آموزش، تحقیقات و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، یاسوج، ایران
*- نویسنده مسئول

Estimation of Runoff Coefficient in Karstic Area (A Case Study: Delibajak Sepidar, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province)

R. Porhemmat [1], H.R . Nasseri [2], J. Porhemmat [3] and A. Molaei [4]*

Abstract

Evaluation of infiltration and runoff in karstic areas is considerably important. These processes in karstic areas are more different from the other land coverages. Due to variation of factors affecting the infiltration and runoff in karstic areas, a specific formula cannot be set for these processes. In this study the amount of runoff and infiltration in a karstic catchment, named Delibajak in central Iran, were evaluated in both basin and plot scales. Precipitation and runoff components were continuously measured over the basin during research period and the runoff coefficient was estimated based on the collected data. Also, in plot scale, these components were evaluated on soil and rock coverages in 25 tests using sprinkler. Evaluated infiltration and runoff data in the basin-scale, show a very high infiltration capacity in Delibajak catchment, with very small runoff coefficients (1.5, 0.54 0.45 for events of 133, 130 and 95 millimeters of rain, respectively). Results of sprinkler data indicate a wide range of infiltration rate in Delibajak basin from almost zero to 40 percent.

Keywords: *:* Karstic area, Infiltration, Precipitation, Runoff coefficient
Received: October 30, 2010
Accepted: October 7, 2012

1- M. Sc. Graduate of Hydrogeology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: r.porhemmat@yahoo.com
2-Associate Professor, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: H-Nassery@sbu.ac.ir
3-Member of the Scientific Board of Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran, Email: Jahanpor@yahoo.com
4-Member of the Scientific Board of Agricultural and Natural Research Center of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Yasooj, Iran, Email: molaei_ali36@yahoo.com
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

آگاهی از ضریب رواناب در مناطق کارستی دارای اهمیت می‌باشد. عوارض مختلف کارستی شرایط متفاوتی را در سطح ایجاد می‌نمایند، بنابراین مکانیسم نفوذ و به دنبال آن رواناب در مناطق کارستی با سایر مناطق تفاوت زیادی دارد و پدیده‌ای پیچیده می‌باشد. تعیین میزان بارندگی، ضریب کارستی شدن و نیز مساحت حوضه آبریز کارست دارای دقت و اطمینان کافی نمی‌باشند (Bonacci, 2001). مدل نمودن جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی تاکنون موفقیت‌های زیادی نداشته است، لذا ساخت مدل‌هایی که آبخوان را بطور کامل در برگیرد و دارای تأثیر همه مؤلفه ها از جمله نفوذ باشد توصیه می‌شود (White, 2002). برای تعیین نرخ نفوذ در مناطق کارستی بایستی عوامل مختلفی که بر روی نفوذ در این مناطق مؤثرند را شناخت. از طرفی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای هیدروژئولوژیک و هیدرودینامیک از مشخصه‌های مناطق کارستی می‌باشد (Jemcov and Petric, 2009). شرایط تغذیه در سیستم‌های کارستی با سیستم‌های دیگر تفاوت دارد. تغذیه آبخوان‌های کارستی به مراتب مساعدتر از آبخوان‌های واقع در پهنه‌های دیگر زمین‌شناسی است. نفوذ مستقیماً از طریق حفره بلعنده[۱]، استاول[۲] و توسط نفوذ انتشاری از سطح و برکه موقت طبیعی و بوسیله نفوذ مستقیم بارندگی و آب حاصل از ذوب برف از طریق درزه و شکاف‌ها صورت می‌گیرد (Milanovic, 1981). Hotzel (1995) اظهار نموده است که کارستی‌شدن اغلب باعث افزایش میزان تغذیه می‌شود. وی گزارش داد که در یک منطقه رخنمون یافته کارستی در عربستان سعودی ۴۷ درصد متوسط بارش (۹۳ میلی‌متر در سال) وارد چاهک‌ها و درزه‌هایی که به وسیله انحلال توسعه یافته‌اند، می‌شود. مثال‌های دیگری از افزایش تغذیه به وسیله ترکیبی از شرایط آب و هوایی و شرایط زیرسطحی در منطقه آهکی مدیترانه نشان داده شده است. در آبخوان‌های آلگاره پرتغال تغذیه سالانه معادل ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلیمتر صورت می‌گیرد. این منطقه متشکل از تناوب‌هایی از دولومیت کارستی شده و مارن است و دارای شرایط آب و هوایی گرم با تابستان‌های خشک و بارش متوسط سالانه ۵۵۰ میلی‌متر می‌باشد (De Vries & Schwan, 2000). در حوضه‌های کارستی بخشی از آب ممکن است از طریق کانال‌ها و حفره‌هایی با نفوذپذیری بالا به زمین نفوذ نماید (جریان ترجیحی[۳]) و شبکه کارستی را تغذیه کند، بخش دیگری ممکن است از طریق منافذ با نفوذپذیری پایین نفوذ کند و تغییرات کمتری را در سطح آب زیرزمینی ایجاد نماید (Grasso & Jennian, 1997). از دیگر مشخصه‌های مناطق کارستی وجود چشمه‌های بزرگ است که در موقعیت‌های مختلف وارد آبراهه‌ها شده و جریان پایه بزرگی را تشکیل می‌دهد که با وسعت حوضه آبگیر سطحی آنها مطابقت ندارد.

Schoeeler (1948) در مطالعات خود در منطقه دیرالکف تونس که از سنگ‌های آهکی ائوسن تشکیل یافته، درصد نفوذ را بین ۳۳/۲ تا ۹۰ برآورد نمود. وی علت این دامنه تغییرات را ناشی از مقدار بارش، شدت بارش و وضعیت آب زیرزمینی در انتهای فصل خشک دانسته است. همچنین برای تعیین نفوذ قابل اعتماد، آمار چندین ساله را لازم دیده است. Soulious (1984) در مطالعات خود در سه حوضه کارستی یونان شامل کاریسوس میلیتسا[۴]، سورسس دولا[۵] و زروونی[۶] به ترتیب ضرایب جریان خروجی معادل ۵۲/۱، ۵۰/۵ و ۴۵/۶ درصد را ارائه نموده است. سطح این حوضه ها به ترتیب ۹/۲، ۲۲ و ۳۱ کیلومتر مربع می‌باشد. با توجه به بالا بودن ضرایب جریان نتیجه‌گیری کرده است که افزایش سطوح کارستی باعث افزایش نفوذ و کاهش رواناب می‌شود. De Vera (1984) اظهار نموده است که رواناب در یک حوضه کارستی خشک و نیمه خشک، نسبت به حوضه‌های غیر کارستی کمتر است. وی نتیجه‌گیری نمود که کارست باعث فرو بردن آب به درون زمین می‌شود. در نتیجه نگهداشت آب در سطح زمین و تبخیر نیز کاهش می‌یابد. علاوه بر این در شرایطی که سطح کارست بدون پوشش خاک و گیاه باشد این اثر بیشتر می‌شود. Al-Saffin et al. (1989) با مطالعه تغذیه آب زیرزمینی ناحیه کارستی ام رزوما[۷] در منطقه خلیج فارس نتیجه‌گیری نمود که در این ناحیه تعداد زیادی غار و میله کارستی ارتباط بین سیستم زهکشی سطحی و آب زیر زمینی را فراهم نموده‌اند. وی عنوان می‌کند که میزان نفوذ را نمی‌توان به سادگی با میزان نفوذپذیری خاک مرتبط ساخت، ولی میزان رواناب تا حدود زیادی به بارش‌های با شدت بالا و کوتاه مدت مرتبط می‌شود. در این منطقه حدود یک درصد کل بارش به رواناب تبدیل شده است. این مطالعات نشان داده است که با بارش‌های ۲۶/۸، ۱۹۶/۱ و ۶۲ میلی‌متری، ضریب رواناب به ترتیب معادل صفر، ۴۷/۷ و ۴۳ درصد بوده است.

پزشکپور (۱۳۷۰) در مطالعات خود در منطقه کارستی گر و برم فیروز سپیدان میزان نفوذ آهک را بین ۴۵ تا حدود ۹۰ درصد به دست آورد. پرهمت (۱۳۷۲) با مطالعه عوامل بیلان هیدروکلیماتولوژی در منطقه برف‌گیر و مرتفع کارستی شکرک سپیدان، میزان نفوذ را از ۶۵ تا ۹۴/۵ درصد برآورد کرد. وی اعلام نمود که در شرایط وجود فروچاله در منطقه، ۹۴/۵ درصد و در بقیه نقاط ۶۵ درصد بارش نفوذ نموده است.

Bonnaci (2001) سهم نفوذ موثر سالانه و ماهانه از میزان کل بارش در حوضه چشمه کارستی گرادول در دیناریک را مورد بررسی قرار داد و ضریب نفوذ موثر (تغذیه طبیعی) در این منطقه را ۵۷ درصد بدست آورده است. Jiang et al. (2007) مقدار آستانه رواناب در کوه‌های جنگلی که دارای کارست‌های زیر سطحی بودند را بر اساس پایش پیوسته شاخص‌های دبی چشمه، pH، هدایت الکتریکی، درجه حرارت و بارندگی مورد بررسی قرار داده‌اند. بر این اساس نتیجه گیری شده است که مقدار آستانه رواناب در اپی کارست ۱۲ میلی‌متر از بارش صورت گرفته می‌باشد. Marechal et al. (2008) آستانه بارش تجمعی را برای تعیین بارش مازاد در ایجاد رواناب بر روی درز و شکاف‌های کارستی برای هشدار سیل استفاده نموده‌اند.

دستگاه باران‌ساز مصنوعی وسیله‌ای است که از آن می‌توان برای بررسی پدیده نفوذ و رواناب در حوضه‌های مختلف استفاده نمود. Abrahams and Parsons (1991) با اندازه گیری رواناب و با استفاده از باران‌ساز مصنوعی رابطه بین نفوذ و پوشش سطحی را برای شرایط پوشش سنگی و دیگری سطح تاج پوشش بوته زار در مناطق نیمه خشک آریزونای آمریکا بررسی و نتیجه گیری نمودند که نفوذ در زیر تاج پوشش به دلیل تجمع مواد آلی و ماسه نسبت به فواصل بین بوته‌ها که پوشش سطحی قلوه سنگ می‌باشد، بیشتر است. Kessler (1955) با استفاده از باران‌ساز مصنوعی در منطقه کارستی اگتلک که از آهک‌های تریاس میانی تشکیل یافته‌اند، سرعت نفوذ را بین ۶/۷ 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 ۲/۴ تا ۴/۷ متر در ساعت به دست آورد.

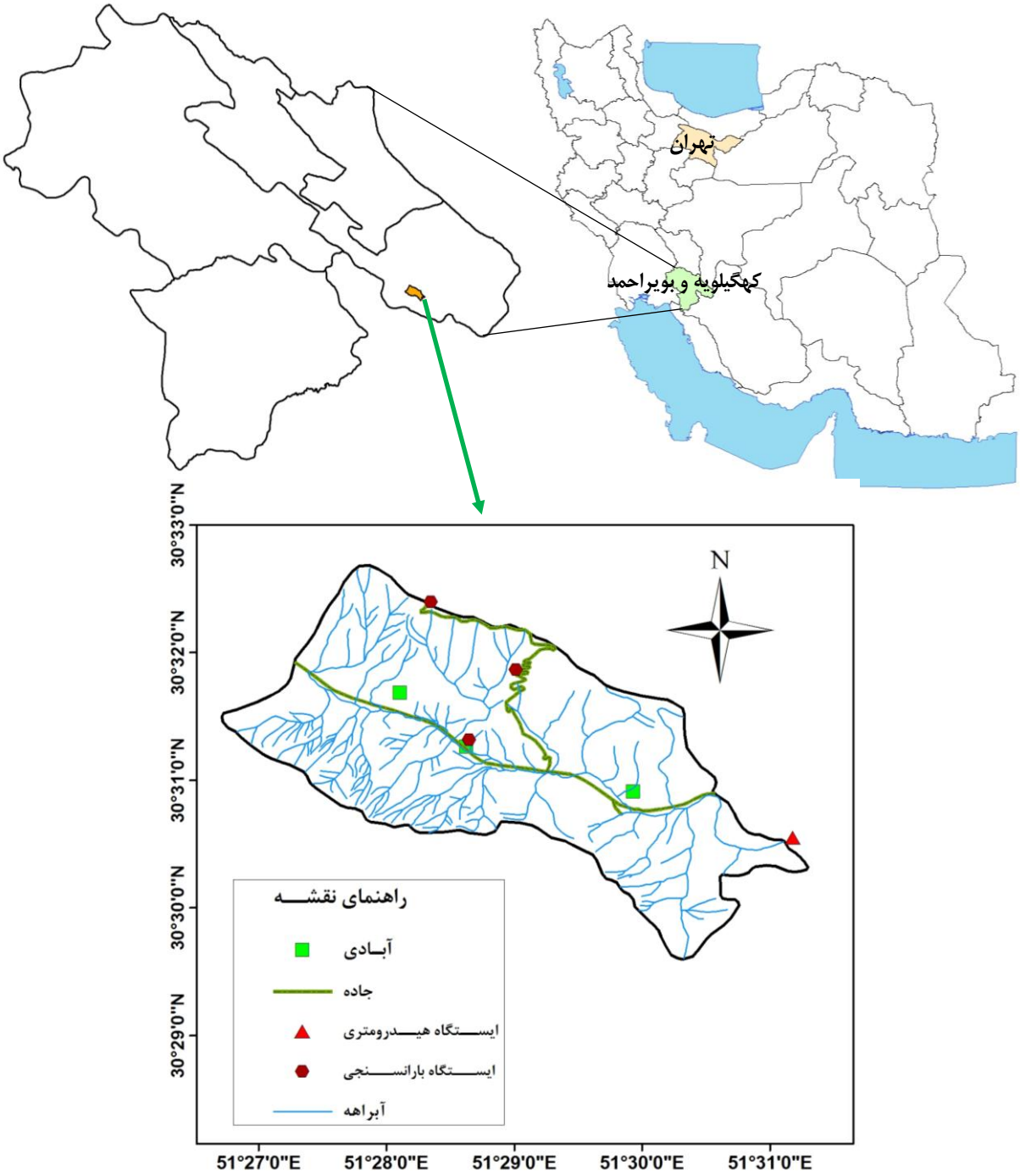
با این وصف ضریب رواناب در مناطق کارستی دارای دامنه وسیعی از تغییرات بوده است و افراد مختلف اظهار نظرهای متعدد و متفاوتی در رابطه با دامنه ضریب رواناب نموده‌اند، ولی همچنان رابطه مشخص و فراگیری برای این پدیده ارائه نشده است. بنابراین تحقیقات موردی برای شناخت این پدیده در مناطق مختلف ضروری می‌باشد.

۲- معرفی منطقه تحقیق

منطقه تحقیق بخشی از سرشاخه‌های حوضه بشار در استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد که در جنوب غربی ایران واقع شده است (شکل ۱). این محدوده در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۱ درجه، ۲۶ دقیقه و ۴۲ 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 ۴۱ ثانیه شمالی واقع شده است. این محدوده دارای وسعتی معادل ۱۷۱۹ هکتار می‌باشد و در حد فاصل ارتفاعی ۲۰۸۴ تا ۲۷۰۰ متر از سطح آزاد آب دریاها قرار گرفته است. بارندگی در این منطقه معمولاً از اواخر آبان تا اواسط اسفند به صورت برف و بقیه سال به صورت باران می‌باشد. بر اساس یک دوره آماری ۲۰ ساله ایستگاه باران‌سنجی سپیدار که نزدیک‌ترین ایستگاه به محدوده مورد مطالعه می‌باشد دارای بارندگی سالانه از ۷۴۲ میلی متر تا ۱۳۳۱ میلی‌متر و متوسط سالانه ۱۰۲۰ میلی‌متر می‌باشد. اقلیم منطقه به روش آمبرژه در طبقه نیمه مرطوب سرد، به روش کوپن از نوع مدیترانه‌ای بری با زمستان سرد و بر اساس اقلیم نمای دومارتن در رده بسیار مرطوب قرار می‌گیرد. متوسط بارندگی سالانه منطقه بر اساس ایستگاه سپیدار حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. از نظر زمین شناسی، حوضه مورد مطالعه شامل یک ناودیس می‌باشد. ارتفاعات منطقه را سازند آسماری پوشانده و محور ناودیس و حاشیه آبراهه اصلی حوضه نیز عمدتاً توسط رسوبات کواترنری و بقایای بسیار کمی از سازند رازک پوشیده شده است. میزان بالای بارندگی به همراه درجه حرارت پایین و نیز وجود گسل‌ها و درزه‌های مختلف و قرار گرفتن در زون راندگی زاگرس با فعالیت شدید تکتونیکی باعث کارستی شدن آهک‌های آسماری در این محدوده شده است. همچنین بر اساس مطالعات صحرایی این محدوده دارای عوارض کارستی از جمله کارن[۸]، فروچاله[۹] ، حفره بلعنده و غار می‌باشد (شکل ۲).

۳- روش کار

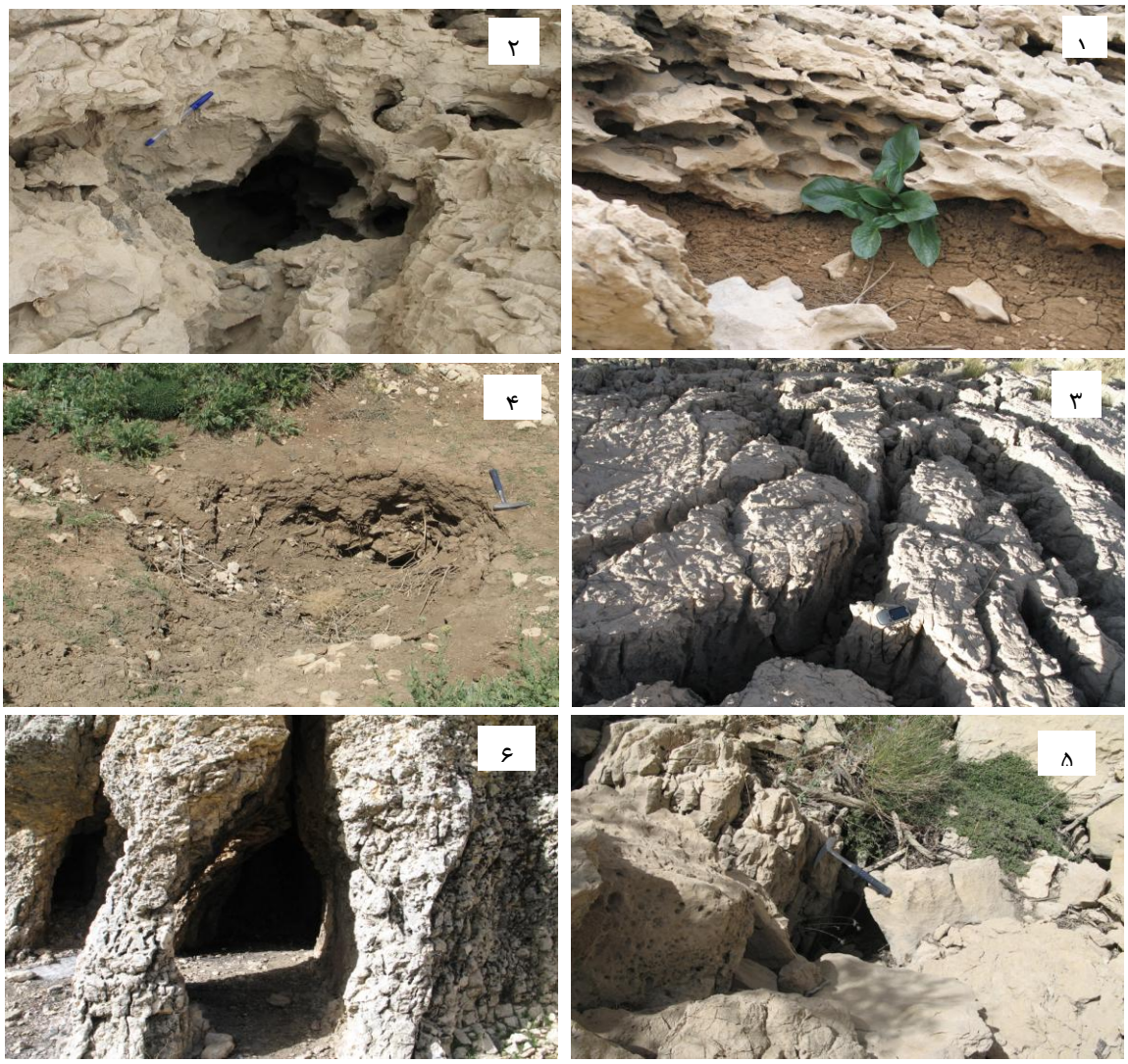
در این تحقیق ضریب رواناب در سطح حوضه مورد مطالعه، بررسی شده است. بدین منظور از نتایج اندازه‌گیری بارش و رواناب در حوضه استفاده گردید. در محدوده مورد مطالعه تا سال ۱۳۸۷ هیچ گونه آمار و اطلاعاتی از بارندگی ثبت نشده است. در سال ۱۳۸۷ ایستگاه‌های باران‌سنجی ثبات و معمولی توسط مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد در محدوده مورد مطالعه احداث گردیده است که در این تحقیق از آمار آن‌ها استفاده شده است. در این حوضه، آماری از رواناب و جریان‌های سطحی در خروجی حوضه در دسترس نبوده است. بدین منظور در سال ۱۳۸۷ مرکز مذکور اقدام به نصب ادوات اندازه‌گیری دبی در سرشاخه‌های حوضه و خروجی آن نموده است. در خروجی اصلی حوضه ایستگاه هیدرومتری مجهز به لیمنوگراف احداث شده است. با این وصف آمار دبی خروجی حوضه در سال‌های آبی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در اختیار قرار گرفت. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه دلی‌بجک سپیدار در نقشه مرزهای سیاسی استان کهگیلویه و بویراحمد و ایران

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری

نوع ایستگاه		ارتفاع (متر)	موقعیت جغرافیایی	
			Y	X
ایستگاه باران‌سنجی	باران‌سنج معمولی روستای دلی‌بجک	۲۱۷۹	۳۳۷۶۷۰۷	۵۴۵۸۰۸
	باران‌سنج ثبات ایستگاه مخابرات	۲۶۷۶	۳۳۷۸۷۱۹	۵۴۵۳۲۳
ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه		۲۰۸۴	۳۳۷۵۳۳۱	۵۴۹۸۶۵



شکل ۲- تعدادی از عوارض کارستی در منطقه مورد مطالعه، ۱: پن‌های انحلالی، ۲: شافت کارنی، ۳: گریک یا کلافت کارن، ۴: فروچاله، ۵: حفره بلعنده و ۶: غار

در تحلیل بارش-رواناب حوضه، داده‌های شدت بارش در مقاطع زمانی کوتاه نیاز است. از آنجایی که ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی، بارندگی را در بازه‌های زمانی ۱۲ ساعته در اختیار قرار می‌دهند، این بازه زمانی برای حوضه های کوچک مانند دلی بجک که دارای زمان تمرکز کوتاهی می‌باشند، مناسب نمی‌باشد.

در تحلیل بارش- رواناب حوضه، داده‌های شدت بارش در مقاطع زمانی کوتاه نیاز است. از آنجایی که ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولی، بارندگی را در بازه‌های زمانی ۱۲ ساعته در اختیار قرار می‌دهند، این بازه زمانی برای حوضه های کوچک مانند دلی بجک که دارای زمان تمرکز کوتاهی می‌باشند، مناسب نمی‌باشد. از طرفی ایستگاه‌های باران‌سنجی ثبات به دلیل مشکلات واسنجی مقدار واقعی بارش را با دقت باران سنج معمولی اندازه‌گیری ننموده ولی شدت بارش را در بازه های کوتاه در اختیار قرار می‌دهند. در این تحقیق مقدار بارش در بازه‌های ۱۲ ساعته از باران‌سنج‌های معمولی روستای دلی‌بجک و توزیع زمانی آن در بازه‌های زمانی کوتاه از روی نسبت این بازه‌های زمانی به بازه ۱۲ ساعته ایستگاه باران سنج ثبات دکل مخابرات استفاده گردیده است. با توجه به مطالب ذکر شده در طول مدت تحقیق هیدروگراف سه واقعه سیلاب در حوضه مورد مطالعه توسط لیمنوگراف خروجی حوضه در اختیار قرار گرفته که در تحلیل ضریب جریان حوضه مورد استفاده قرار گرفتند. بر اساس نتایج اندازه‌گیری بارش، وقایع مهم بارش در سال‌های آبی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در ایستگاه باران‌سنجی روستای دلی‌بجک تعیین شده است (جدول ۲).

در این تحقیق پدیده‌های نفوذ و رواناب در مقیاس پلات (یک متر در یک متر) و با استفاده از دستگاه باران‌ساز مصنوعی نیز مطالعه شده است. منطقه دلی‌بجک به عنوان یک منطقه کارستی دارای رخنمون‌های متنوعی می‌باشد. به منظور در نظر گرفتن این تغییرات ابتدا سطح زمین به سه دسته کلی سنگ‌های یکپارچه آهکی درزه دار، سنگ‌های خرد شده و واریزه های 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. حاصل این پیمایش، انتخاب ۲۵ محل (شکل ۳) برای انجام آزمایشات در مقیاس پلات می‌باشد. دستگاه مورد استفاده شامل قسمت‌های مختلفی از جمله منبع آب، چهار پایه نگهدارنده منبع آب، افشانک‌ها، دو عدد پایه‌های نگهدارنده افشانک ها، حاشیه‌های پلات با ابعاد یک متری که یکی از آن‌ها دارای لوله‌ای برای خروج رواناب از پلات می‌باشد (شکل ۴).

در این روش به منظور انجام آزمایش ابتدا بایستی آماده‌سازی پلات صورت گیرد. بنابراین نوار مهار کننده یا همان حاشیه‌های پلات در محل آزمایش قرار داده شده و از اطراف ایزوله می‌شوند به نحوی که رواناب تولیدی تنها در یک جهت و یک نقطه که لوله خروجی پلات می‌باشد، حرکت کند. در هر یک از آزمایشات بارش با شدت ثابتی تنظیم گردید. بدین منظور با باز کردن شیر منبع پس از مدت کوتاهی آب از طریق باران‌سازها 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 شد. همچنین پس از قطع بارندگی نیز تا زمانی که رواناب جاری بود اندازه‌گیری آن ادامه یافت. بنابراین حجم کل بارش، زمان آغاز رواناب (زمان آستانه)، حجم بارش تا زمان وقوع آستانه رواناب و حجم رواناب خروجی در فواصل زمانی مختلف در آزمایش اندازه‌گیری و ثبت گردید.

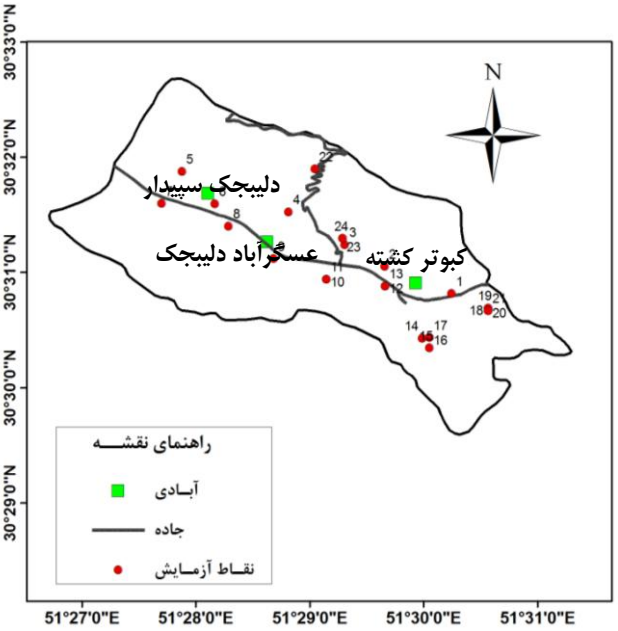
۴- بحث و نتایج

بررسی نتایج آماری بارش و رواناب حوضه دلی‌بجک در دو سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ نشان می‌دهد بارش‌های متعددی در سطح حوضه روی داده است که فاقد تولید رواناب می‌باشند. در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ به جز بارش ۲۰ و ۲۱ فروردین‌ماه با وجود وقوع بارش‌های قابل توجه، روانابی شکل نگرفته است. وقایع مهم بارش در این سال در تاریخ‌های ۱۱ آبان، ۱۶ آبان، ۲۵ آبان، ۹ آذر، ۱۴ دی، ۱۶ بهمن، ۲۴ بهمن و ۱۰ اسفند به وقوع پیوسته است.

میزان بارش حوضه در این وقایع بین ۱۸ تا ۱۴۰ میلی‌متر بوده که روانابی از آن‌ها در محل خروجی حوضه و توسط لیمنوگراف ثبت نشده است. اولین بارش قابل توجه پس از فصل خشک، بارش ۱۱۰ میلی‌متری در روز نهم آذرماه ۱۳۸۷ می‌باشد. این بارش رواناب ایجاد ننموده است که احتمالاً به دلیل خشکی زمین و شدت ناکافی باران بوده است. لازم به ذکر است که این رویداد پس از خشکسالی سال قبل (۸۷-۱۳۸۶) رخ داده است. در دو بارش قابل توجه بعدی که به میزان ۶۰ و ۱۴۰ میلی‌متر در روزهای ۱۴ دی و ۱۶ بهمن ۱۳۸۷ به وقوع پیوسته نیز روانابی در سطح حوضه تشکیل نشده است. علت عدم ایجاد رواناب در این دو واقعه علاوه بر نقش پدیده کارست می‌تواند به دلیل تأثیر نوع بارش باشد که در این دو واقعه عمدتاً به صورت برف بوده است. به همین دلیل بارش‌ها منجر به تولید رواناب در سطح حوضه نشده‌اند. اولین بارشی که منجر به تولید رواناب در سطح حوضه شده است، مربوط به تاریخ‌های ۲۰ و ۲۱ فروردین‌ماه ۱۳۸۸ (نهم و دهم آوریل ۲۰۰۹) می‌باشد.

جدول ۲- مقادیر وقایع مهم بارش (میلیمتر) ایستگاه باران‌سنجی روستای دلی‌بجک

سال آبی	ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۸۸-۱۳۸۷	تاریخ	۱۱ آبان	۱۶ آبان	۲۵ آبان	۹ آذر	۱۴ دی	۱۶ بهمن	۲۴ بهمن	۱۰ اسفند	۱۰ و ۱۱ فروردین	۱۴ و ۱۵ فروردین	–	–
	میزان بارش	۵۰	۲۰	۱۸	۱۱۰	۶۰	۱۴۰	۵۰	۵۰	۹۲	۱۵/۵	–	–
۸۹-۱۳۸۸	تاریخ	۱۳ آبان	۲۸ آبان	۵ آذر	۷ آذر	۹ آذر	۲۸ آذر	۱۴ و ۱۵ بهمن	۷ اسفند	۱۱ اسفند	۸ فروردین	۳ اردیبهشت	۱۲ و ۱۳ اردیبهشت
	میزان بارش	۱۵	۴۰	۵۰	۱۸۰	۱۴۰	۹۰	۱۳۰	۴۰	۴۰	۳۰	۲۰	۹۵



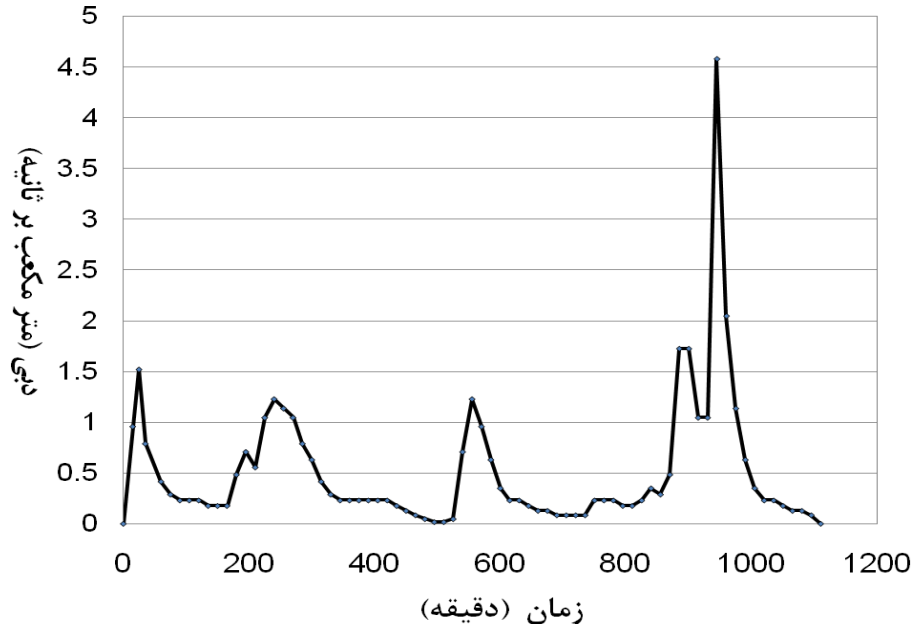
شکل ۳- موقعیت نقاط آزمایش به وسیله باران ساز مصنوعی در سطح حوضه

شکل ۴- باران‌ساز مصنوعی مورد استفاده در تحقیق

از این واقعه تنها بارش تجمعی ۱۲ ساعته آن در اختیار قرار گرفته است. با توجه به این آمار مجموعاً ۱۳۳ میلیمتر بارش در سطح حوضه رخ داده است. هیدروگراف سیلاب حاصله در شکل ۳ نشان داده شده است. این هیدروگراف اولین سیل ثبت شده در حوضه دلی-بجک از آغاز اندازه‌گیری‌ها (شروع سال آبی ۸۸-۱۳۸۷) می‌باشد. سیل مذکور از ساعت ۱۳ و ۱۰ دقیقه و ۵۴ ثانیه روز ۲۰ فروردین ماه ۱۳۸۸ (مصادف با نهم آوریل ۲۰۰۹) آغاز و تا ساعت ۷ و ۴۰ دقیقه و ۵۴ ثانیه صبح روز ۲۱ فروردین ماه ۱۳۸۸ ادامه داشته است که از رژیم بارش (شدت، دوام و نوع بارش) اطلاعاتی در دست نیست.

بررسی هیدروگراف سیلاب (شکل ۵) نشان می‌دهد که این سیل دارای زمان پایه‌ای در حدود ۱۹/۵ ساعت می‌باشد. در هیدروگراف ترسیم شده، پنج اوج مشاهده می‌شود که به ترتیب معادل با ۱/۵۱، ۱/۲۳، ۱/۲۳، ۱/۷۲ و بزرگ‌ترین اوج معادل با ۴/۶ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. با وجود این که از هیتوگراف بارش مولد این سیل اطلاعاتی در دست نیست، ولی بارش ۱۲ ساعته آن نشان می‌دهد که قسمت عمده بارش در ۱۲ ساعت اول روز دوم بارش (۲۱ فروردین) رخ داده است. طی این مدت از مجموع ۱۳۳ میلی‌متر بارش دو روزه، مقدار ۶۵ میلی‌متر آن به وقوع پیوسته است و موجب حداکثر دبی اوج سیلاب‌های متوالی این دو روز گردیده است. بر اساس سطح زیر منحنی، حجم رواناب محاسبه گردید. با توجه به حجم رواناب و بارش (جدول ۳) در این واقعه ضریب رواناب محاسبه گردید. نتایج محاسبات نشان داد که تنها ۱/۵ درصد از حجم بارش به رواناب تبدیل شده است و مابقی آن که معادل ۹۸/۵ درصد می‌باشد، نفوذ یافته است. این در حالی است که از دهم تا نوزدهم فروردین‌ماه در محدوده مورد مطالعه حدود ۱۰۰ میلی‌متر بارندگی گزارش شده است. بنابراین علاوه بر بارش ۱۳۳ میلی‌متری که در روزهای ۲۰ و ۲۱ فروردین به وقوع پیوسته، طی ۱۰ روز ماقبل آن نیز حوضه به طور مداوم تحت بارش قرار داشته است. با این وصف ضریب جریان ۱/۵ درصدی آن حاکی از ظرفیت نفوذ بالا در محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

سیلاب دوم در تاریخ ۱۵ و ۱۶ بهمن ماه ۱۳۸۸ روی داده است. مقدار بارش در ایستگاه باران‌سنجی معمولی طی این واقعه معادل ۱۳۰ میلی‌متر و توسط باران سنج ثبات به میزان ۹۱/۲ میلی متر ثبت گردیده است. با توجه به این اختلاف و از آنجایی که اندازه‌گیری میزان بارش توسط ایستگاه باران‌سنجی معمولی با دقت بیشتری صورت گرفته است، مقدار بارش سطح حوضه معادل ۱۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین برای دستیابی به هیتوگراف بارش در سطح حوضه از نسبت هیتوگراف بارش باران سنج ثبات استفاده شد و بر این اساس هیتوگراف بارش حوضه برای واقعه فوق برآورد گردید. با توجه به حجم بارش و رواناب در این واقعه، حجم رواناب معادل ۰/۷ میلی‌متر عمق آب در سطح حوضه بوده که با توجه به میزان بارش ۱۳۰ میلی‌متری در سطح حوضه دارای ضریب رواناب ۰/۵۴ درصد می‌باشد (جدول (۳)). بررسی هیتوگراف بارش و هیدروگراف رواناب (شکل (۶ –الف)) نشان می‌دهد که حدود ۱۲/۲ ساعت اختلاف بین حداکثر شدت بارش به میزان ۱۴/۲۵ میلیمتر بر ساعت



شکل ۵- هیدروگراف سیل واقعه ۲۰ و ۲۱ فروردین ۱۳۸۸ در محل خروجی حوضه

و دبی اوج به میزان ۳/۲ متر مکعب بر ثانیه وجود دارد. شایان ذکر است طی مدت ۱۲/۲ ساعت بارش به طور پیوسته ادامه داشته و در ۱/۲ ساعت ماقبل وقوع دبی اوج سیل، شدت بارش افزایش یافته و به حدود ۹/۴ میلی‌متر در ساعت رسیده است. همان طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، شدت بارش بعد از ۴۱ ساعت بارندگی پیوسته این افزایش را به خود گرفته و در نتیجه به دنبال آن سیل با دبی اوج ۳/۲ متر مکعب در ثانیه در فاصله زمانی ۱/۲ ساعت مابعد آن روی داده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بارش پیوسته ۴۰ ساعته موجب اشباع محیط گردیده و در نتیجه رواناب از این به بعد آغاز و در ساعت چهل و دوم منجر به دبی اوج سیل شده است.

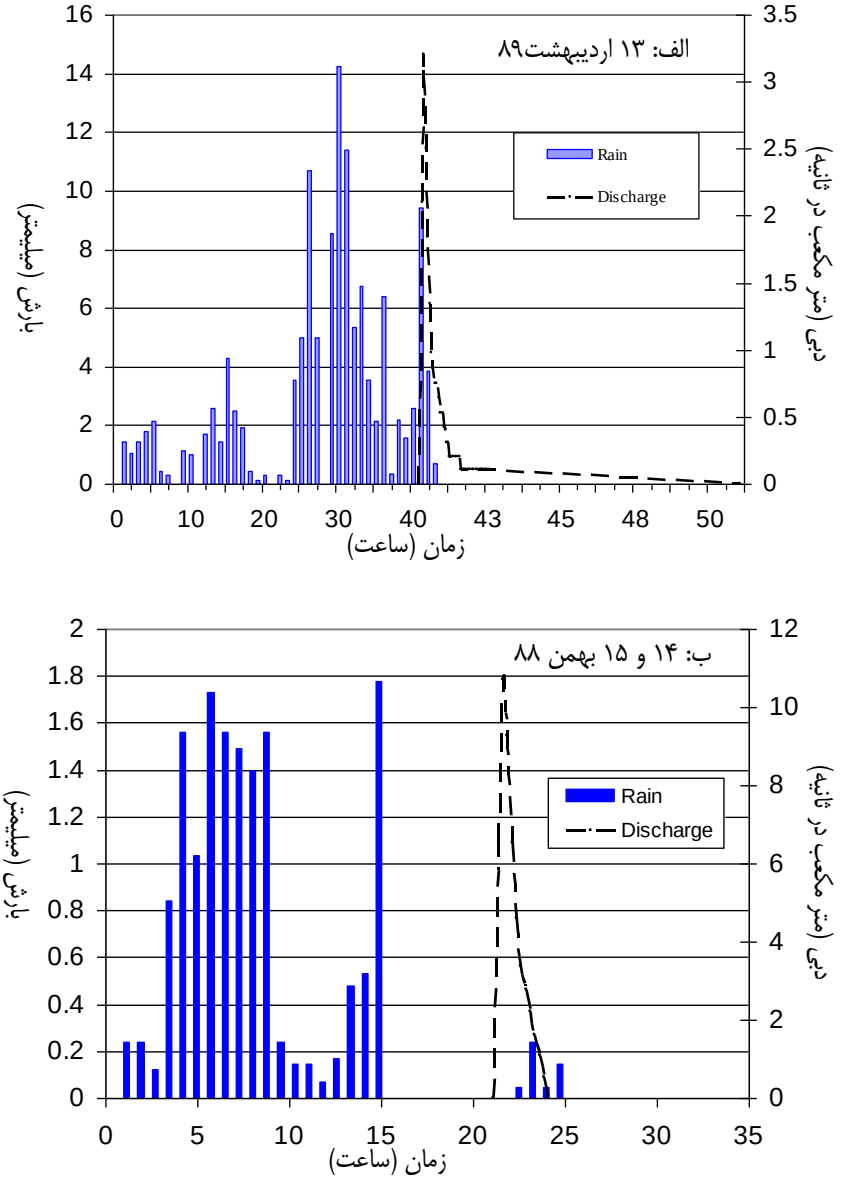
سومین سیلاب در تاریخ ۱۳ اردیبهشت ۱۳۸۹ به وقوع پیوسته است. این سیلاب دارای تداوم ۳ ساعت و ۱۵ دقیقه می‌باشد. در این واقعه مقدار بارش در ایستگاه باران‌سنجی معمولی روستای دلی‌بجک معادل ۹۵ و در باران‌سنج ثبات دکل مخابرات نیز به میزان ۶۵/۸ میلی‌متر ثبت گردیده است. بنابراین مقدار بارش در سطح حوضه به میزان ۹۵ میلیمتر و توزیع زمانی آن بر اساس درصد وقوع بارش ایستگاه ثبات دکل مخابرات تعیین و برآورد گردید (شکل (۶ –ب)). با احتساب حجم بارش و رواناب در این واقعه ضریب رواناب محاسبه شده معادل ۰/۴۵ درصد می‌باشد (جدول (۳)). سیل مذکور پس از حدود سه ساعت فروکش نموده است. حداکثر شدت بارش به میزان ۱۰/۷ میلیمتر بر ساعت می‌باشد که پس از ۱۹ ساعت از آغاز بارش روی داده است. همچنین شدت ۱۰/۴ میلی‌متر بر ساعت نیز در ساعت هفتم از آغاز بارش به وقوع پیوسته است. با این وصف اختلاف بین اوج دبی و حداکثر شدت بارش حدود ۲/۶ ساعت و در مورد دومین حداکثر شدت بارش حدود ۱۱/۲۵ ساعت می‌باشد. بر این اساس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بارش پیوسته ۱۹ ساعت ماقبل به میزان ۸۱/۴ میلی‌متر بوده، به تدریج باعث اشباع زمین و فراهم نمودن زمینه شکل‌گیری رواناب در ساعات آخر بارش گردیده و در نتیجه افزایش شدت بارش و وقوع ۱۰/۷ میلیمتر در ساعت بارش، سیل و دبی اوج آن را ایجاد نموده است. با استفاده از نتایج آزمایشات باران‌ساز مصنوعی و مقادیر بارش و رواناب حاصل از آن پارامترهای مختلف از جمله ضریب جریان محاسبه گردید. ضریب جریان بر اساس مقادیر بارش و رواناب اندازه‌گیری شده، برآورد گردید (جدول ۴).

نتایج نشان می‌دهد که ضریب جریان تنها در سه مورد بیشتر از ۱۰ درصد است که این سه مورد به ترتیب در آزمایش‌های ۲، ۷ و ۱۹ و به میزان ۴۰، ۱۶/۷ و ۱۰/۸ درصد می‌باشد.

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 سنگ یکپارچه می‌باشد. به علاوه در محل آزمایش ۷ پوشش نازکی از لایه خاک و سنگ بر روی سنگ‌های یکپارچه درزه دار قرار گرفته است.

جدول ۳- مشخصات بارش و رواناب‌های حاصل از آن در سطح حوضه

وقایع بارش	حجم بارش در سطح حوضه (m^3)	ارتفاع متوسط بارش در سطح حوضه (mm)	حجم کل رواناب خروجی حوضه (m^3)	ارتفاع متوسط رواناب در سطح حوضه (mm)	ضریب جریان (%)
۲۰ و ۲۱ فروردین	۲۲۸۶۲۷۰	۱۳۳	۳۴۳۶۵	۲	۱/۵
۱۴ و ۱۵ بهمن	۲۲۳۴۷۰۰	۱۳۰	۱۲۱۹۸	۰/۷	۰/۵۴
۱۲ و ۱۳ اردیبهشت	۱۶۳۳۰۵۰	۹۵	۷۳۸۴/۷	۰/۴	۰/۴۵



شکل ۶- هیتوگراف و هیدروگراف دو سیل در خروجی حوضه

جدول ۴- نتایج آزمایش‌های اندازه‌گیری نفوذ و رواناب به وسیله باران‌ساز مصنوعی

شماره آزمایش	موقعیت جغرافیایی		پوشش	کل زمان آزمایش (min)	شدت بارش(mm/hr)	زمان آستانه رواناب (min)	حجم کل بارش (L)	حجم رواناب (L)	حجم آب تا آستانه(L)	ضریب جریان (٪)
	X	Y								
۱	۵۴۸۳۶۹	۳۳۷۵۸۰۸	خاک با بیش از ۷۵ درصد پوشش قطعات سنگ	۱۴/۵۷	۱۳۱/۸۱	۹/۰۸	۳۲	۱/۱۵	۱۹/۹۶	۳/۷
۲	۵۴۷۴۲۵	۳۳۷۶۲۳۷	بلوک‌های سنگی لخت با کمی درزه و کمتر از ۲۵ درصد خاک	۷/۸۰	۱۰۰/۰۰	۲/۴۵	۱۳	۵/۱۵	۴/۰۸	۴۰
۳	۵۴۶۸۶۵	۳۳۷۶۵۸۵	خاک با بیش از ۶۰ درصد پوشش قطعات سنگ	۱۴/۰۵	۱۳۵/۷۴	۸/۶۰	۳۰	۱/۹۱	۱۸/۳۶	۶/۳
۴	۵۴۶۰۷۵	۳۳۷۷۱۰۵	خاک با بیش از ۷۵ درصد پوشش قطعات سنگ و پوشش گیاهی متوسط	۹/۷۷	۱۹۰/۴۶	۳/۰۰	۳۱	۱/۲۰	۹/۵۲	۳/۸
۵	۵۴۴۵۷۳	۳۳۷۷۶۴۲	پوشش سنگی واریزه‌ای که روی پوشش خاک	۱۴/۱۳	۱۱۸/۸۷	۷/۴۲	۲۸	۱/۵۷	۱۴/۶۹	۵/۷
۶	۵۴۵۰۳۶	۳۳۷۷۲۳۹	زمین زراعی حاوی تعداد کمتر از ۱۰ قطعه سنگ در متر مربع	۸/۴۰	۱۲۸/۵۷	۳/۲۰	۱۸	۱/۱۵	۴/۷۱	۶/۷
۷	۵۴۴۲۸۸	۳۳۷۷۲۳۵	قطعات سنگی با پوشش خاک روی آهک‌های کارستی و شیب کم زمین	۹/۵۰	۱۲۰/۰۰	۵/۲۸	۱۹/۲۵	۲/۱۰	۱۰/۸۴	۱۰/۷
۸	۵۴۵۲۲۹	۳۳۷۶۸۷۵	خاک با بیش از ۶۰ درصد پوشش قطعات سنگ و پوشش گیاهی متوسط	۱۲/۰۰	۱۴۰/۰۰	۴/۳۳	۲۸	۱/۶۰	۱۰/۱۰	۵/۷
۹	۵۴۵۸۶۴	۳۳۷۶۳۵۶	خاک با بیش از ۷۵ درصد پوشش قطعات سنگ و پوشش گیاهی متراکم	۱۱/۹۸	۱۳۰/۱۸	۶/۱۰	۲۶	۱/۶۵	۱۳/۲۴	۶/۵
۱۰	۵۴۶۶۱۰	۳۳۷۶۰۳۰	خاک با بیش از ۶۰ درصد پوشش قطعات سنگ و دارای کمی پوشش گیاهی	۲۱/۲۳	۸۵/۴۸	۱۲/۰۸	۳۰/۲۵	۱/۳۱	۱۷/۲۱	۴/۳
۱۱	۵۴۶۶۱۰	۳۳۷۶۰۳۰	پوشش مانند آزمایش شماره ۱۰	۵۰/۰۰	۵۰/۲۱	۴۲/۹۸	۴۰/۵	۱/۱۱	۳۴/۸۲	۲/۷
۱۲	۵۴۷۴۳۸	۳۳۷۵۹۳۷	خاک با بیش از ۷۵ درصد پوشش قطعات سنگ و دارای کمی پوشش گیاهی	۷/۰۷	۱۶۱/۳۳	۱/۶۳	۱۹	۱/۴۰	۴/۳۹	۷/۴
۱۳	۵۴۷۴۳۸	۳۳۷۵۹۳۷	پوشش مانند آزمایش شماره ۱۲	۹/۷۲	۱۷۱/۳۷	۶/۳۷	۲۴/۷۵	۲/۳۰	۱۵/۹۶	۹/۳
۱۴	۵۴۷۹۶۲	۳۳۷۵۰۹۳	پوشش خاک با حدود ۵۰ درصد پوشش قطعات سنگ	۱۹/۵۲	۱۱۴/۶۷	۱۱/۵۰	۳۷/۳	۰/۶۵	۲۱/۹۸	۱/۸
۱۵	۵۴۷۹۶۲	۳۳۷۴۹۳۸	پوشش خاک نازک (۱ تا ۵ سانتی متر) روی سطوح آهکی درزه دار	۱۱/۷۵	۱۰۳/۶۶	۷/۳۷	۲۰/۳	۱/۲۵	۱۲/۷۳	۶/۴
۱۶	۵۴۸۰۶۴	۳۳۷۵۱۰۱	سنگ آهک با تک درزه دارای عرض بازشدگی حدود ۵ سانتیمتر	۱/۶۳	۲۲۰/۴۵	۱/۶۳	۶	_	_	*
۱۷	۵۴۸۰۶۴	۳۳۷۵۱۰۱	پوشش مانند آزمایش شماره ۱۶	۳/۱۳	۱۱۰/۰۰	۴/۰۰	۶/۶	_	_	*
۱۸	۵۴۸۸۷۹	۳۳۷۶۰۰۰	پوشش واریزه قطعات سنگی که به صورت یک لایه روی خاک قرار گرفته	۱۱/۸۳	۱۱۱/۵۵	۹/۰۵	۲۲	۰/۵۳	۱۶/۸۳	۲/۳
۱۹	۵۴۸۸۷۹	۳۳۷۶۰۰۰	پوشش مانند آزمایش شماره ۱۸	۶/۶۳	۱۲۸/۵۷	۲/۲۵	۱۵	۲/۴۵	۵/۰۹	۱۶/۷
۲۰	۵۴۸۸۸۰	۳۳۷۵۵۴۰	قطعات سنگی واریزه‌ای به همراه پوشش گیاهی متراکم	۱۱/۰۳	۸۷/۰۱	۳/۱۰	۱۶	۱/۱۵	۴/۵۰	۷/۵
۲۱	۵۴۸۸۸۰	۳۳۷۵۵۴۰	مشابه نمونه شماره ۲۰ با پوشش گیاهی بیشتر و شیب زمین نیز حدود ۲ درجه بیشتر	۹/۱۷	۱۸۳/۲۹	۴/۴۷	۲۸	۰/۴۶	۱۳/۶۴	۱/۸
۲۲	۵۴۶۴۲۹	۳۳۷۷۷۹۶	مشابه نمونه شماره ۷ ولی با قطعات سنگی بزرگ‌تر و متراکم‌تر	۱۱/۵۸	۱۲۲/۲۵	۴/۰۷	۲۳/۶	۰//۴۸	۸/۲۸	۲/۲
۲۳	۵۴۶۸۳۴	۳۳۷۶۶۸۵	سنگ آهک‌های با درزه‌های ریز پر شده از خاک	۲/۳۰	۱۵۶/۵۲	۲/۳۰	۶	_	_	*
۲۴	۵۴۶۸۳۴	۳۳۷۶۶۸۵	مشابه نمونه شماره ۲۳ ولی با درزه‌های بیشتر و بزرگ‌تر	۳/۰۰	۱۵۷/۵۰	۳/۰۰	۱۰/۵	_	_	*
۲۵	۵۴۵۰۵۹	۳۳۷۸۷۸۶	پوشش ضخیم قطعات سنگی خرد شده	۸/۵۰	۳۰۳/۵۳	_	۴۳	_	_	۰

همچنین محل انجام آزمایش شماره ۱۹ قشری از سنگ‌های خرد شده بر 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 مستقیماً متأثر ساخته‌اند. در آزمایش‌های ۱۶، ۱۷، ۲۳، ۲۴ و ۲۵ روانابی شکل نگرفته است، که چهار نمونه اول بر روی سنگ‌های یکپارچه درزه دار پر شده از خاک و نمونه ۲۵ برای قطعات سنگی و سنگ‌های خرد شده صورت گرفته است. در چهار آزمایش اول در لحظه شکل‌گیری رواناب ادامه آزمایش قطع شده است و در واقع ضریب رواناب در آن‌ها محاسبه نشده است، ولی در نمونه ۲۵ ادامه یافته است، لذا ضریب جریان برای شرایط آزمایش در نمونه ۲۵ صفر می‌باشد. نمونه 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 است، لذا تحت شرایط طبیعی انتظار تولید رواناب در این مناطق نمی‌باشد. مقایسه سهم نفوذ و رواناب در دو مقیاس فوق دارای همخوانی بالایی می‌باشد، ولی میزان نفوذ در سطح حوضه نسبت به پلات افزایش یافته است. این مسئله به دلیل وجود عوارض کارستی مؤثر روی پدیده نفوذ به خصوص کارن‌ها در مقیاس حوضه می‌باشد. در حالی که نمی‌توان تأثیر آن‌ها را در مقیاس پلات مورد استفاده در این تحقیق نشان داد.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که در حوضه کارستی دلی بجک ضریب رواناب پایین می‌باشد، به طوری که در وقایع مهم بارش ۱۳۳، ۱۳۰ و ۹۵ میلی‌متری تنها ۲، ۰/۷ و ۰/۴ میلیمتر از بارش به طور مستقیم به رواناب تبدیل شده است. تحلیل مقادیر بارش و رواناب حاصل نشان می‌دهد که ضریب رواناب در وقایع بارش این حوضه در دامنه ۰/۴۵ تا ۱/۵ درصد می‌باشد، که در مقایسه با تحقیقات قبلی ضریب جریان کمتری را نشان می‌دهد. با وجود این، نتایج فوق به مقادیر حداقل ضریب جریان شولر (۱۹۴۸)، پزشکپور (۱۳۷۰) و پرهمت (۱۳۷۲) نزدیک می‌باشد. با این وصف می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در حوضه دلی‌بجک تأثیر پدیده کارستی شدن موجب ضریب نفوذ حداکثری شده است. همچنین نتایج تحقیق در دو مقیاس پلات و حوضه نشان می‌دهد که ضریب رواناب در هر دو مقیاس پایین می‌باشد ولی دامنه تغییرات در مقیاس پلات بیشتر می‌باشد که می‌تواند ناشی از کوچک بودن محدوده پلات در مقیاس با حوضه باشد. بنابراین در تعمیم نتایج ضرایب رواناب و نفوذ از مقیاس پلات به حوضه رابطه‌ای مشخص در این تحقیق ارائه نگردید. در این تحقیق با توجه به محدودیت داده‌های ثبت شده، از آمار بارندگی و رواناب در دو سال آبی استفاده شده است. با توجه به نقش ضریب جریان در محاسبات بیلان آبی در یک دوره طولانی ۱۰ ساله، پیشنهاد می‌شود پایش ادامه یابد تا وقایع بیشتری مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این نوع تحقیقات در سایر حوضه‌های کارستی ایران برای تعیین ضریب جریان و نفوذ انجام شود.

پی‌نوشت‌ها

1- Ponor
2- Stavele
3- Preferential Flow
4- Korissos Milista
5- Soursec Devoula
6- Xerovouni
7- Umm E Radhuma
8- Karren
9- Sinkhole

۶- مراجع

پزشکپور، پ. (۱۳۷۰). "بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی کوه‌های گر و برم فیروز"، *پایان نامه کارشناسی ارشد*، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز.

پرهمت، ج. (۱۳۷۲). "بررسی عوامل بیلان هیدرولوژیکی در حوضه‌های کارستی مرتفع"، *پایان نامه کارشناسی ارشد*، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز.

Abrahams, A. and Parsons, A.J. (1991). "Relation between infiltration and stone cover on a semiarid hillslope, southern Arizona", *Journal of Hydrology*, 122 (1-4), pp. 49-59.

Al-Saffin, A. K., Bader, T. A. and Shehata, W. (1989). "Groundwater recharge in an arid karst Area in saudi Arabia", *International Geologic Congress*. 9-19 July, Washington, USA, pp. 29-41.

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), pp. 287-299.

De Vera, M. (1984). "Rainfall-runoff relationship of some catchment with karstic geomorphology under arid to semi-arid condition", *Journal of Hydrology*, 68 (1-4), pp. 85-93.

Kessler, H. (1955). “Infiltration percentage and water production from karstified rocks”, *Hydrol. Kozl*, (35), pp. 213-222.

Maréchal, J.C., Ladouche, B. and Dörfliger, N. (2008). “Karst flash flooding in a Mediterranean karst, the example of Fontaine de Nîmes”, *Engineering Geology*, 99 (3), pp. 138-146.

Milanovic, P.T. (1981). “Karst Hydrogeology”, *Water Resources Publications, Littleton*, 434 p.

Schoeeler, H. (1948). “Le regime hydrogeologique des calcires Eocene due synclinal due Dyr El Kef (Tunisia)”, *Bulletin de lasociete geologique de France 5 series, TXVIII*, pp. 167-180.

Soulious, G. (1984). “Effective infiltration into Greek karst”, *Journal of Hydrology*, 75, pp. 343-356.

White, W.B. (2002). “Karst hydrology: recent developments and open questions”, *Engineering Geology*, (65), pp. 85-105.

De Vries, J.J. and Schwan, J. (2000). “Groundwater flow and geological structure of the Algarve”, *Portugal. Faculty of Earth Science, Vrije Universiteit, Amesterdam, 104p.*

Hotzel, H. (1995). “Groundwater recharge in an arid karst area (Saudi Arabia)”, *IAHS Publ*, (232), pp. 195-207.

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), pp. 304-314.

Grasso, D. A. and Jeannin, P. A. (1998). "Climate variation on karst spring chemical response", In: Spec Issue: Modelling in karst system, Bull Hydrogeol, (16), PP. 59-76.

Jiang, G., Guo, F., Wu, J., Li, H. and Sun, H. (2007). “The threshold value of epikarst runoff in karst mountain area”, *Environ Geol,* (55), pp. 87-93.