

## جداسازی جریان پایه از رواناب سطحی با استفاده از روش‌های ایزوتوپی و ردیاب‌های هیدروشیمیایی (مطالعه موردی: حوضه کارستی ابوالعباس)

علی محمد آخوندعلی<sup>۱</sup>، حیدر زارعی<sup>۲\*</sup>، حسین محمدزاده<sup>۳</sup> و فریدون رادمنش<sup>۴</sup>

### چکیده

به دلیل اهمیت دبی پایه در فرآیندهای هیدرولوژیک و داشتن نقش حیاتی در مدیریت منابع آب، برآورد جریان آن از موضوع‌های مهم می‌باشد. روش‌های ترسیمی مورد استفاده برای تعیین دبی پایه به میزان زیادی سهم این مؤلفه را کم برآورد می‌کنند. نتایج حاصل از روش‌های ردیابی ایزوتوپی و هیدروشیمیایی در منطقه‌های مرطوب دنیا نشان می‌دهد که سهم مؤلفه آب زیرزمینی در تولید رواناب زیاد است. هدف این پژوهش بررسی نقش آب زیرزمینی در تولید جریان در حوضه کارستی ابوالعباس با اقلیم خشک و نیمه‌خشک با استفاده از روش‌های ایزوتوپی و ردیاب‌های هیدروشیمیایی است. برای رسیدن به این هدف، در طول زمستان سال ۱۳۸۹ سه بارش با شدت و رطوبت پیشین متفاوت به همراه سیلاب متناظر آن‌ها نمونه‌برداری شد. پارامترهای هیدروشیمیایی در آزمایشگاه کیفیت آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و محتوای ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ در دانشگاه اوتاواای کانادا اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در هر سه بارش مورد بررسی، با توجه به توسعه کارست در حوضه مورد بررسی، سهم مؤلفه آب زیرزمینی (دبی پایه) در رودخانه بیشتر از رواناب حاصل از بارش است. همچنین نتایج نشان داد که سهم مؤلفه رواناب سطحی در شرایط خشک ناچیز است و در شرایط مرطوب سهم این مؤلفه افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** جریان پایه، رواناب سطحی، ایزوتوپ، ردیاب هیدروشیمیایی، اکسیژن ۱۸، آب زیرزمینی.

**ارجاع:** آخوندعلی ع. م. زارعی ح. محمدزاده ح. و رادمنش ف. ۱۳۹۳. جداسازی جریان پایه از رواناب سطحی با استفاده از روش‌های ایزوتوپی و ردیاب‌های هیدروشیمیایی (مطالعه موردی: حوضه کارستی ابوالعباس). مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۵):۱۸۷-۱۹۶.

۱- استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- استادیار گروه زمین شناسی و مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

\* نویسنده مسئول: [zareih@scu.ac.ir](mailto:zareih@scu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۰۳

**مقدمه**

فهم و درک فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه آبریز برای تضمین مدیریت مناسب آب‌های سطحی قابل دسترس و منابع آب زیرزمینی، از نظر کمی و کیفی مهم است. در منطقه‌های خشک و نیمه خشکی مانند ایران که در چند سال اخیر شاهد بروز خشکسالی‌های شدیدی نیز است، اهمیت این موضوع دوچندان است. پی بردن به سهم آب‌های زیرزمینی (جریان پایه) در رودخانه موضوع مهمی است که با طیف گسترده‌ای از مباحث مدیریت آب همراه است. در روش‌های ترسیمی برای جداسازی جریان پایه از جریان حاصل از بارش، طبق مفاهیم هورتنی فرض می‌شود که بخش اعظم جریان در زمان سیلاب از جریان حاصل از بارش ایجاد شده است (لینزلی و همکاران، ۱۹۸۲). مدل‌های معمول رواناب بیش‌تر مواقع فرض می‌کنند که جریان پایه حاصل از آب زیرزمینی به رودخانه در دوره‌های پربابی کم است. با این حال در دهه گذشته، با استفاده از روش‌های ایزوتوپی و هیدروشمیایی مشخص شده است که در منطقه‌های مختلف دنیا اغلب آب‌های زیرزمینی نسبت به رواناب حاصل از ذوب برف یا بارش، سهم بیشتری در تولید رواناب دارند. ترنر و همکاران (۱۹۹۲) برای تفکیک آب‌نمود در یک حوضه نیمه خشک در غرب استرالیا از دوتریم (D) و کلر (Cl) استفاده کردند. نتایج آن نشان داد که در طول یک رگبار، حدود ۷۵ درصد از رواناب حاصل از آب باران و فقط ۲۵ درصد از آن ناشی از آب زیرزمینی است، که با توجه به رسوبات رسی حوضه قابل انتظار بود. تفکیک براساس کلر نشان داد که نیمی از جریان مربوط به آب باران و نیمی مربوط به آب زیرزمینی است و مشخص شد این اختلاف به دلیل نمک‌های حاصل از تبخیر در سطح خاک است. مول و همکاران (۲۰۰۸) برای جدا کردن و تعیین مقدار مؤلفه‌های مختلف رواناب در حوضه نیمه خشک ماکانیا در تانزانیا از ردیاب‌های هیدروشمیایی استفاده کردند. در این پژوهش یک رویداد به کمک هدایت الکتریکی، سیلیس محلول و آنیون‌ها و کاتیون‌های مهم بررسی شد. تفکیک آب‌نمود نشان داد که برای این واقعه، بیش از ۹۵ درصد از دبی را می‌توان به رواناب زیر سطحی نسبت داد. عدم وجود رسوبات معلق در نمونه‌ها نشانه‌ای روشن بر عدم تولید رواناب سطحی و تسلط فرآیندهای زیر سطحی است. در پژوهشی مونیانیزا و همکاران (۲۰۱۲) به کمک

ایزوتوپ‌های دوتریم و اکسیژن ۱۸ و پارامترهای هیدروشمیایی کلر و سیلیس محلول به تفکیک دو و سه مؤلفه‌ای آب‌نمود در کشور رواندا پرداختند. نتایج حاصل از جداسازی دو مؤلفه‌ای آب‌نمود با استفاده از سیلیس محلول و کلرید با نتایج جداسازی سه مؤلفه‌ای با استفاده از سیلیس محلول و دوتریم تأیید شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در دو سیلاب بیش از ۸۰ درصد جریان مربوط به رواناب زیرسطحی است.

استفاده از ردیاب‌های هیدروشمیایی به عنوان یک ردیاب طبیعی در مقایسه با ردیاب‌های ایزوتوپی به مراتب ارزان‌تر می‌باشد. ضمن اینکه به دلیل عدم وجود آزمایشگاه برای انجام تجزیه ایزوتوپی در کشور و فراوانی آزمایشگاه‌های هیدروشمیایی، استفاده از ردیاب‌های هیدروشمیایی باصرفه است. مهم‌ترین چالش در استفاده از ردیاب‌های هیدروشمیایی تغییر غلظت این ردیاب‌ها در طول مسیر جریان است به عبارت دیگر این ردیاب‌ها پایدار نیستند، اما در صورت کم بودن فاصله زمانی بین وقوع بارش و تولید رواناب قابل چشم‌پوشی است (مول و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که برای تفکیک جریان پایه از رواناب سطحی می‌توان از دیگر ردیاب‌های هیدروشمیایی مانند هدایت الکتریکی (هوپر و شومیکر، ۱۹۸۶ و لادن و اسلیمیکر، ۱۹۹۷)، غلظت سیلیس (ولز و همکاران، ۱۹۹۱؛ هینتون و همکاران، ۱۹۹۴)، منیزیم (موراد و کریشنامو، ۲۰۰۴) و دیگر پارامترها (مول و همکاران، ۲۰۰۸) تحت شرایط مشخص هیدرولوژیکی و لیتولوژیکی استفاده کرد.

با توجه به نقش مهم آب زیرزمینی در تولید جریان در حوضه‌ها، هدف این پژوهش بررسی نقش آب زیرزمینی در تولید جریان در حوضه کارستی ابوالعباس با اقلیم خشک و نیمه‌خشک با استفاده از روش‌های ایزوتوپی و ردیاب‌های هیدروشمیایی است. قابل توجه است که تاکنون در کشور مطالعه‌ای در این زمینه انجام نشده است.

**مواد و روش‌ها****منطقه مورد مطالعه**

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز رودخانه ابوالعباس در ایستگاه آسنجی پل منجنیق در جنوب غربی ایران، شرق استان خوزستان و شمال شرقی شهر باغملک است. این ایستگاه روی رودخانه ابوالعباس از سر شاخه‌های رودخانه

کارستی از جمله کارن، فروچاله و چشمه های کارستی در حوضه آبریز مشاهده می شود. ۱۵ چشمه در حوضه آبریز وجود دارد که بزرگترین آن چشمه مال آقا با دبی متوسط ۲۴۳۰ لیتر بر ثانیه است. تغییرات آبدهی چشمه مال آقا نسبت به زمان نشان می دهد که حداکثر آبدهی این چشمه با مقدار تقریبی ۵۲۰۰ لیتر بر ثانیه در اردیبهشت ماه اتفاق افتاده است. نسبت دبی حداکثر به حداقل (۴/۶۳) تأیید کننده توسعه سیستم مجرای در حوضه آبریز چشمه است (بی نام، ۱۳۸۹).

### فرض های پژوهش

اصل استفاده از ردیاب ها در تفکیک آب نمود بر اساس یکسان نبودن غلظت ردیاب در آب زیرزمینی حوضه آبریز و باران است. آب زیرزمینی حوضه آبریز دارای ترکیب ایزوتوپی است که بیانگر میانگین درازمدت مقادیر ایزوتوپ ورودی است. در حالی که رگبار دارای یک ترکیب ایزوتوپی متفاوت است. اگر اختلافی بین غلظت ردیاب آب زیرزمینی و رگبار وجود نداشته باشد، تفکیک هیدروگراف با استفاده از ردیاب ممکن نیست.

در مطالعات تفکیک دو مؤلفه های هیدروگراف، فرض بر این است که دو مؤلفه آب زیرزمینی و بارندگی در تولید رواناب مشارکت دارند. مؤلفه رواناب حاصل از بارندگی به عنوان جریان سطحی و زیرسطحی (جریان در لایه نفوذپذیر خاک در عمق کم) قلمداد می شود. تفکیک دو مؤلفه های آب نمود به دو مؤلفه جریان پایه (قبل از رگبار) و رواناب حاصل از رگبار با رابطه زیر بیان می شود.

$$Q_t = Q_g + Q_r \quad (1)$$

که در این رابطه  $Q_t$  دبی کل جریان،  $Q_g$  دبی آب زیرزمینی (قبل از رگبار) و  $Q_r$  رواناب حاصل از رگبار است.

با نمونه گیری از جریان پایه قبل از رگبار، بارندگی و آب رودخانه هنگام بارندگی محتوای ایزوتوپی و پارامترهای هیدروشیمیایی (C) آن ها مشخص می شود و می توان قانون بقا جرم را به صورت زیر نوشت:

$$Q_t C_t = Q_g C_g + Q_r C_r \quad (2)$$

که در این رابطه  $C_t$ ،  $C_g$  و  $C_r$  به ترتیب پارامترهای هیدروشیمیایی کل جریان، آب زیرزمینی و رواناب می باشند.

رود زرد قرار دارد. تجهیزات اندازه گیری آن شامل اشل یکپارچه ۴ متری، پل تلفریک و لیمنوگراف بوده و دارای آمار آبدهی از سال آبی ۱۳۵۲ تاکنون می باشد. در چند سال اخیر روی این ایستگاه سامانه ثبت خودکار اطلاعات (دیتالاگر) نصب شده و اطلاعات به صورت ساعتی برداشت می شود ولی متأسفانه در برخی موارد به دلیل ایجاد خطا در دستگاه و عدم بازدید ماهانه در برخی سال ها تا چند ماه هیچ اطلاعاتی با دستگاه ثبت نشده اند. پارامترهای مهم حوضه در جدول ۱ ارائه شده است.

### جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز رودخانه

#### ابوالعباس در ایستگاه آبنجی پل منجیق

پارامتر	مشخصات فیزیوگرافی
محیط - کیلومتر	۸۵/۵۵
مساحت - کیلومتر مربع	۲۸۳
ضریب گراویلیوس	۱/۴۳
حداکثر ارتفاع حوضه - متر	۳۲۸۰
حداقل ارتفاع حوضه - متر	۶۹۰
ارتفاع متوسط حوضه - متر	۱۸۸۵
شیب متوسط حوضه - درصد	۱۹/۴۳
شیب خالص رودخانه - درصد	۴/۳۸
طول رودخانه - کیلومتر	۳۸/۹۶
زمان تمرکز حوضه - ساعت	۵/۰

قسمت اعظم حوضه کوهستانی، مرتفع و پوشیده از درختان جنگلی زاگرس و جریان آب رودخانه آن نیز دائمی است. رژیم رودخانه در این حوضه از نوع برفی و بارانی بوده و در فصل خشک، آب آن از چشمه های در بالادست حوضه تأمین می شود. متوسط بارش سالانه طولانی مدت این حوضه ۸۲۵ میلی متر (بی نام، ۱۳۸۳) می باشد که با توجه به آمار طولانی مدت دبی ایستگاه پل منجیق، بده متوسط سالانه ۳۷۰ میلی متر را تولید می کند.

سازندهای آهکی ضخیم با گسترش ۶۴ درصدی در سطح حوضه، آب و هوای مساعد توسعه کارست و تکنونیک فعال، شرایط مناسبی را برای ایجاد و گسترش کارست در محدوده مورد مطالعه فراهم آورده است. شکل های مختلف

شوند، اما نتایج قابل قبولی برای جداسازی آبنمود در مطالعات دیگر به دست آمده است (هینتون و همکاران، ۱۹۹۴؛ جنکینز و همکاران، ۱۹۹۴؛ میروت و همکاران، ۱۹۹۵؛ مک گلین و مک دونل، ۲۰۰۳؛ دیدزون و اولن بروک، ۲۰۰۸؛ هارشویتز و همکاران، ۲۰۱۱ و مونیانیزا و همکاران، ۲۰۱۲).

#### روش پژوهش

در طول زمستان سال ۱۳۸۹ از سه واقعه بارندگی با شرایط رطوبت پیشین و شدت متفاوت و سیلاب متناظر آن‌ها نمونه‌برداری شد. در ابتدا چند ظرف برای جمع آوری نمونه آب باران در سطح حوضه آبریز طراحی (شکل ۱) و در نقطه‌های مختلف حوضه در هر بارش نمونه آب باران جمع‌آوری شد (شکل ۲).

با توجه به اهمیت نحوه نمونه‌برداری در نتیجه تحلیل‌ها، باید نمونه‌برداری با دقت زیاد انجام می‌شود. از آنجایی که فرآیند تبخیر محتوای ایزوتوپی را به شدت تغییر می‌دهد، می‌بایست ظروف جمع‌آوری نمونه آب باران طوری طراحی شود که هنگام بارندگی و تا زمان نمونه‌برداری، تبخیر از سطح آب انجام نشود. در صورت مناسب نبودن ظروف جمع‌آوری آب باران، نتایج به حد زیادی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این پژوهش با بررسی منابعی که در آن‌ها نحوه تهیه ظروف نمونه‌برداری ذکر شده بود (آدار و همکاران، ۱۹۸۰؛ اینگراهام و همکاران، ۱۹۹۱؛ اسمیت و همکاران، ۱۹۹۲؛ آدامز و همکاران، ۱۹۹۵؛ شول و همکاران، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۲)، به شکلی ساده‌تر طبق استاندارد جدید IAEA (آژانس انرژی اتمی جهانی)، ظرف جمع‌آوری نمونه آب باران ساخته شد (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است با ورود آب باران، سطح تبخیر فقط به قطر لوله ورودی محدود می‌شود و سبب جلوگیری از تبخیر از تمام سطح ظرف می‌شود.

همزمان با شروع بارندگی و شروع سیلاب در خروجی حوضه مورد مطالعه از آب رودخانه به صورت منظم هر نیم ساعت نمونه‌هایی برداشت شد. در مجموع ۶۰ نمونه تهیه شد که ۱۸ نمونه مربوط به آب باران (هر بارش در ۶ محل) و ۴۲ نمونه مربوط به رودخانه است. از آنجا که غلظت آب رودخانه قبل از بارندگی به‌عنوان غلظت جریان پایه فرض می‌شود (باتل، ۱۹۹۴)، ۳ نمونه از آب رودخانه قبل از شروع سیلاب، به عنوان آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه کیفیت آب دانشکده

$$n = \frac{Q_g}{Q_t} \text{ با فرض}$$

$$1 - n = \frac{Q_r}{Q_t} \text{ از رابطه ۱ حاصل می‌شود:}$$

رابطه ۲ را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$C_t = nC_g + (1-n)C_r \quad (۳)$$

یا

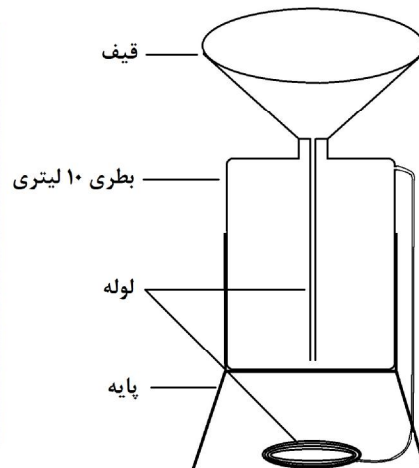
$$n = \frac{C_t - C_r}{C_g - C_r} \rightarrow Q_g = \left( \frac{C_t - C_r}{C_g - C_r} \right) Q_t \quad (۴)$$

با فرض تغییرات جزئی محتوای ایزوتوپی و هیدروشمیایی آب زیرزمینی در نقطه‌های مختلف، قانون بقای جرم را می‌توان برای هر نقطه در طول آبراهه به کار برد. این معادله برای اولین بار در سال ۱۹۶۹ توسط پیندر و جونز (۱۹۶۹) برای نوع ردیاب شیمیایی برای جدا نمودن آبنمود رگبار سه حوضه آبریز کوچک در یکی از ایالت‌های کانادا به کار گرفته شد. آن‌ها دریافتند که آب زیرزمینی ۳۲ الی ۴۲ درصد از دبی پیک عبوری برای رگبارهای مورد مطالعه را شامل می‌شود (پیندر و جونز، ۱۹۶۹). هینتون و همکاران (۱۹۹۴) و کندال و همکاران (۱۹۹۵) اجزاء مهم رواناب و محدودیت‌های مدل دو مؤلفه‌ای را چنین ارائه کردند که ترکیب هیدروشمیایی باران، آب حاصل از ذوب برف، آب خاک<sup>۱</sup> و آب زیرزمینی تغییر می‌کنند و غالباً با هم تفاوت دارند. بنابراین، برای هر مؤلفه اضافی، پارامتر مستقل دیگری در توازن جرمی لازم است. استفاده از این روش براساس فرض‌های زیر است (اسکلاش و فارولدن، ۱۹۷۹ و هویگ و همکاران، ۲۰۰۰):

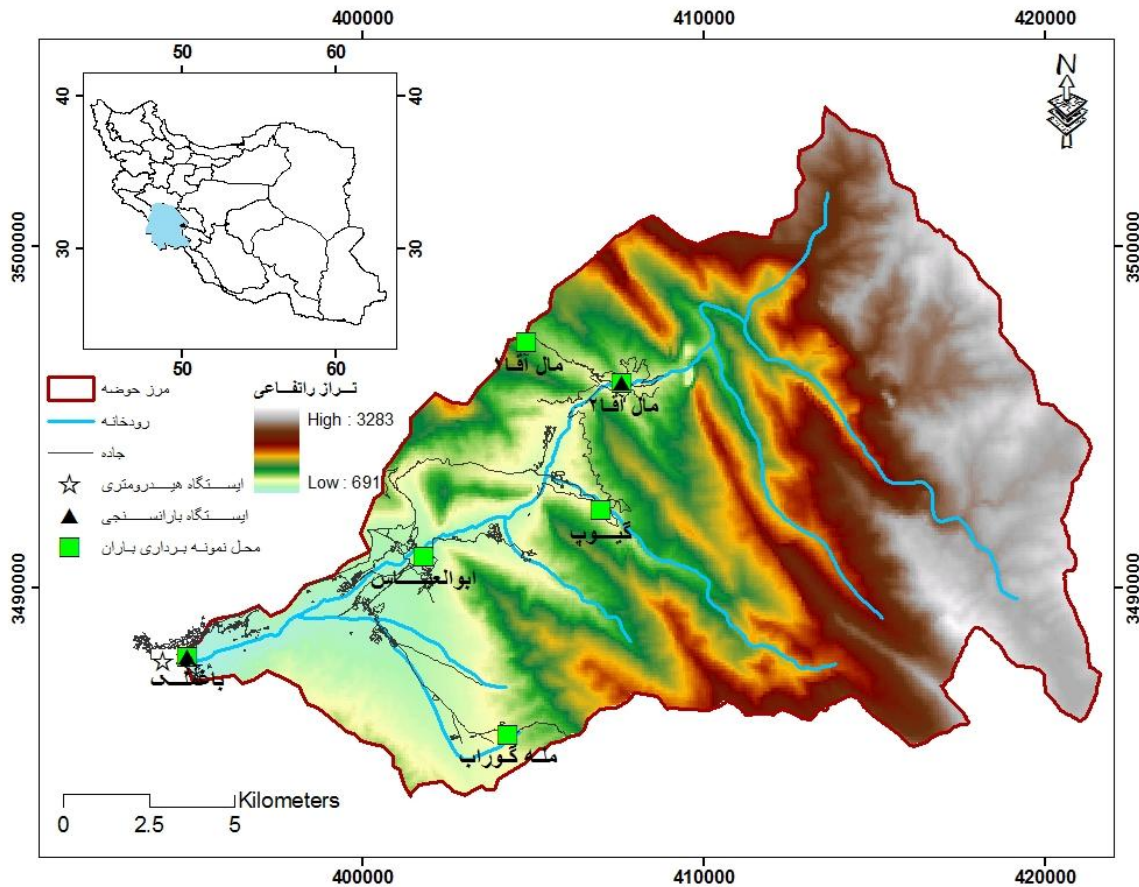
(۱) اختلاف معنی‌داری بین غلظت ردیاب در مؤلفه‌های مختلف وجود دارد. (۲) غلظت ردیاب نسبت به زمان و مکان ثابت است و یا تغییرات آن قابل اندازه‌گیری است. (۳) مشارکت یک مؤلفه اضافی قابل چشم‌پوشی است و یا غلظت ردیاب آن مؤلفه شبیه یکی از مؤلفه‌ها است. (۴) ردیاب به خوبی مخلوط شده و پایدار است. (۵) غلظت ردیاب مؤلفه‌های مختلف مستقل از هم بوده و همبستگی ندارند. اعتقاد بر این است که این فرض‌ها برای ردیاب ایزوتوپی در قیاس با ردیاب‌های هیدروشمیایی به واقعیت نزدیکتر است (بوخت و همکاران، ۲۰۱۰). هرچند که عامل‌های ذکر شده می‌تواند سبب ایجاد عدم قطعیت

ظرف باقی نماند. نمونه‌ها به کشور کانادا ارسال و در آزمایشگاه ایزوتوپی گروه زمین شناسی دانشگاه اوتاوا تحلیل شد. لازم به ذکر است که پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، مواد جامد محلول (TDS)، pH و دما در محل اندازه‌گیری شد.

مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز تحلیل شد و پارامترهای هیدروشیمیایی شامل آنیون و کاتیون‌ها و برای نمونه‌برداری ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ از ظروف کوچک پلی‌اتیلنی ۲۵ میلی‌لیتری استفاده شد. در هنگام نمونه برداری، ظروف با آبی که قرار بود از آن نمونه تهیه شود، کاملاً شستشو داده شد به طوری که هیچ‌گونه حبابی در



شکل ۱- ظرف جمع آوری نمونه آب باران



شکل ۲- موقعیت حوضه مورد مطالعه و نقطه‌های نمونه برداری

## نتایج و بحث

بارش اول که اولین بارش در سال آبی ۹۰-۸۹ نیز بود با مقدار ۱۲ میلی‌متر به مدت ۲/۵ ساعت در ۲۲ آذر ماه در شرایط کاملاً خشک اتفاق افتاد. حداکثر دبی سیلاب حاصل از این بارش در خروجی حوضه ۲۲۳۰ لیتر بر ثانیه محاسبه شد. بارش دوم به میزان ۲۵/۲ میلی‌متر با توجه به بارش ۵ روز قبل، که در حدود ۳۰ میلی‌متر بود، در شرایط کاملاً مرطوب اتفاق افتاد. دبی حداکثر سیلاب حاصل از این بارش ۷۴۱۰ لیتر بر ثانیه برآورد شد. بارش سوم با مقدار ۱۴/۲ میلی‌متر نیز شبیه بارش دوم در شرایط مرطوب اتفاق افتاده و سبب ایجاد سیلابی با دبی حداکثر ۱۱۹۰۰ لیتر بر ثانیه شده است (جدول ۲).

بررسی تغییرات پارامترهای هیدروشمیایی مورد استفاده در این پژوهش نشان داد که به طور کلی پارامترهایی مانند هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول، کلسیم و پتاسیم با افزایش دبی، افزایش می‌یابند. سدیم، منیزیم و pH با افزایش دبی، کاهش می‌یابند و کلر تغییرات

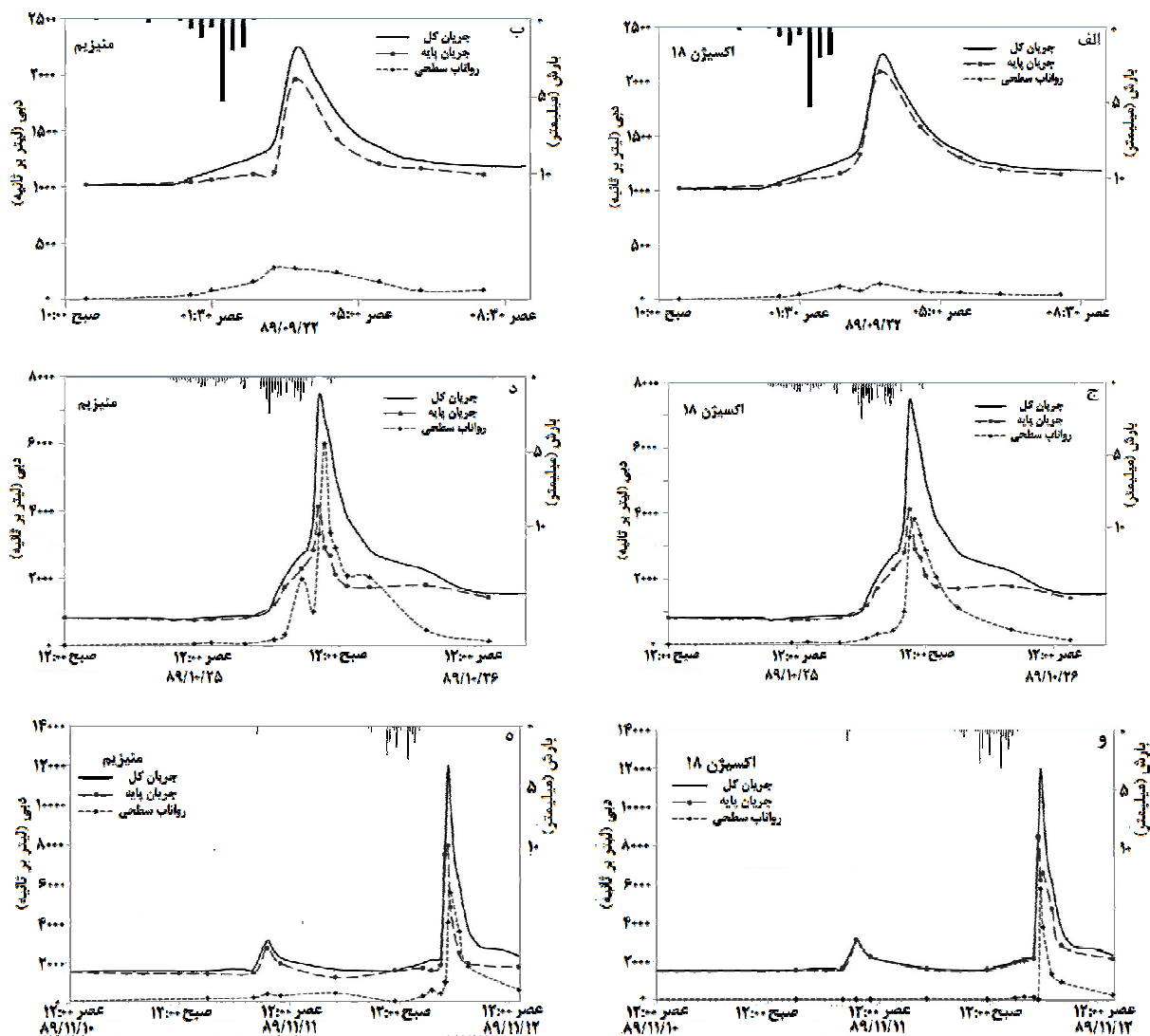
مشخصی را نشان نمی‌دهد. علت این تغییرات، حضور سازندهای زمین‌شناسی با وضعیت سنگ‌شناسی و انحلال‌پذیری متفاوت در سطح حوضه آبریز است. به نظر می‌رسد به دلیل وجود سازند تبخیری گچساران و انحلال‌پذیری بالای آن، با شروع بارش و تولید رواناب و انحلال بخش‌های ژپسی این سازند، مقدار سولفات و کلسیم و در نتیجه آن هدایت الکتریکی و مواد جامد محلول افزایش می‌یابد. بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان می‌دهد که فقط پارامتر هیدروشمیایی که منبعی غیر از بارش نداشته و تا حدودی در حوضه به صورت پایدار عمل می‌کند، منیزیم است و می‌توان به نتایج حاصل از منیزیم اعتماد کرد. دیگر پارامترها به دلیل ناپایدار بودن در سطح حوضه برای تفکیک جریان پایه از رواناب سطحی مناسب نیستند. خلاصه ای از اطلاعات وقایع بارندگی و نتایج اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی و نتایج حاصل از تحلیل ایزوتوپی و هیدروشمیایی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- خصوصیات سه بارش مورد بررسی و سیلاب متناظر آن‌ها

واقعۀ	تاریخ وقوع	بارش (mm)	دبی حداکثر سیلاب (l/s)	نوع منبع	EC (μmohs/cm)	TDS (mg/l)	pH	$\delta^{18}\text{O}$ VSMOW (‰)	Mg (meq/l)
۱	۲۲/۹/۱۳۸۹	۱۲/۰	۰/۰	آب زیرزمینی (آب قدیمی)	۵۹۱	۲۶۰	۸/۷۵	-۴/۷۷	۱/۸۹
				رودخانه	۵۸۸	۲۵۹	۸/۶۹	-۴/۶۳	۱/۹۲
				باران	۱۵۸	۷۲	-	-۱/۸۳	۲/۱۹
۲	۲۵/۱۰/۱۳۸۹	۲۵/۲	۳۰/۰	آب زیرزمینی (آب قدیمی)	۵۷۸	۲۸۹	۸/۴۹	-۴/۸۵	۱/۹۳
				رودخانه	۵۵۸	۲۷۹	۸/۴۵	-۳/۹۵	۱/۶۲
				باران	۶۱	۳۱	۸/۸۳	-۱/۴۰	۰/۱۴
۳	۱۱/۱۱/۱۳۸۹	۱۴/۲	۵۸/۵	آب زیرزمینی (آب قدیمی)	۵۴۷	۲۷۵	۸/۵۱	-۴/۸۳	۲/۱۰
				رودخانه	۵۹۳	۲۹۷	۸/۴۵	-۴/۷۳	۱/۶۷
				باران	۵۶	۲۸	۸/۵۴	-۳/۶۶	۰/۱۶

جریان پایه از رواناب سطحی انجام شده است. نتایج در شکل ۳ ارائه شده است.

براساس محتوای ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ و غلظت منیزیم آب زیرزمینی، آب باران و آب رودخانه (جدول ۲)، براساس رابطه ۴ برای سه واقعه مورد بررسی تفکیک



شکل ۳- جداسازی مؤلفه آب زیر زمینی در سه سیلاب حاصل از بارش‌های مورد بررسی

۹۰/۸ درصد است (شکل ۳ ب). براساس محتوای ایزوتوپی اکسیژن ۱۸، سهم جریان حاصل از رگبار در بارش دوم و سوم که در شرایط مرطوب اتفاق افتاده است به نسبت بارش اول بیشتر شده است و در بارش دوم و سوم به ترتیب سهم مؤلفه آب زیرزمینی در دبی حداکثر ۵۷ و ۵۵ درصد از دبی کل است. از کل حجم سیلاب

برای بارش اول که در شرایط کاملاً خشک اتفاق افتاده است، نتایج حاصل از جداسازی توسط اکسیژن ۱۸ نشان می‌دهد که جریان پایه سهم عمده‌ای در تولید سیلاب داشته و سهم آب جدید (رواناب حاصل از رگبار) در تولید سیلاب ناچیز است. در دبی حداکثر، حدود ۹۴ درصد از سیلاب را آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد. از کل حجم سیلاب حاصل از بارش اول ۹۵/۵ درصد سهم آب زیرزمینی است (شکل ۳ الف). براساس غلظت یون منیزیم بالاترین مقدار سهم مؤلفه رواناب سطحی ۱۹/۸ درصد است و در زمان وقوع دبی حداکثر سهم این مؤلفه به ۱۲/۲ درصد می‌رسد. بطور متوسط در این سیلاب سهم مشارکت آب سطحی و آب زیرزمینی به ترتیب ۹/۲ و

مرطوب است را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که برای ارائه نتیجه‌گیری قطعی، ضروری است تعداد بارش بیشتری با شدت و مقدار بارش پیشین متفاوت، مورد ارزیابی قرار گیرند. با توجه به اینکه نتایج جداسازی جریان پایه به کمک غلظت منیزیم با نتایج حاصل از اکسیژن ۱۸ تأیید شده است، بنابراین، می‌توان در حوضه‌های با وضعیت زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی مشابه، از این پارامتر با هزینه بسیار کم، نتایج خوبی بدست آورد. نتایج نشان داد که در حوضه کارستی ابوالعباس با اقلیم خشک با توجه به توسعه کارست، سهم مشارکت مؤلفه آب زیرزمینی در تولید رواناب بیشتر از سهم رواناب حاصل از بارش است. نتایج این پژوهش با نتایج دیگر پژوهش‌های که در منطقه‌های مرطوب (کندی و همکاران، ۱۹۸۶؛ لادون و اسلیمیکر، ۱۹۹۷؛ کندال و کویلن، ۲۰۰۱ و اولن بروک و همکاران، ۲۰۰۸) و خشک و نیمه خشک (هارشویتز و همکاران، ۲۰۱۱ و مونیانیزا و همکاران، ۲۰۱۲) انجام شده، همخوانی دارد. بنابراین، این فرض که جریان آب‌های زیرزمینی واقعی به ندرت از علل عمده تولید رواناب هستند و نقش اصلی آن در تداوم جریان در دوره‌های کم آبی بین وقایع بارش باران و ذوب برف است، نیاز به بازنگری دارد. ضروری است کارشناسان و محققین با نگرشی متفاوت به بحث جریان پایه و سهم آن در تولید رواناب به خصوص در حوضه‌های کارستی نگاه کنند.

### منابع

۱. بی‌نام، ۱۳۸۹. مطالعات شناخت منابع آب تاقدیس منگشت محدوده ایذه، جلد دوم- گزارش هیدروژئولوژی، هیدروشمی و ژئومورفولوژی. ۵۳ ص.
۲. بی‌نام، ۱۳۸۶. مطالعات مرحله اول طرح سد ابوالعباس، گزارش مطالعات زمین‌شناسی مهندسی. ۱۵۵ ص.
۳. بی‌نام، ۱۳۸۳. مطالعات مرحله اول طرح سد ابوالعباس، گزارش مطالعات هواشناسی. ۶۹ ص.
4. Adams A.I. Goff F. and Counce D. 1995. Chemical and Isotopic Variations of Precipitation in the Los Alamos Region, New Mexico. Los Alamos National Laboratory.
5. Adar E. Levin M. and Barzilai A. 1980. Development of a self-sealing rain sampler for arid zones. Water Resources Research. 16:592-596.

حاصل از بارش دوم و سوم به ترتیب ۶۲/۵ و ۷۶/۸ درصد سهم آب زیرزمینی می‌باشد (شکل ۳ ج، و).

در سیلاب دوم در زمان دبی حداکثر سهم مؤلفه آب زیرزمینی براساس غلظت منیزیم حدود ۵۲/۶ درصد است و بیشترین سهم مؤلفه رواناب سطحی ۱۷ درصد برآورد شده است. به طور متوسط سهم مؤلفه آب زیرزمینی در این سیلاب در حدود ۸۳/۰ درصد است (شکل ۳ د). نتایج نشان می‌دهد که در سیلاب سوم حداکثر سهم رواناب سطحی با مقدار ۵۸/۹ درصد، بعد از دبی حداکثر رخ داده است. هنگام وقوع دبی حداکثر سهم مؤلفه آب زیرزمینی در این سیلاب در حدود ۶۶/۴ درصد برآورد شده است. به طور متوسط سهم مؤلفه آب زیرزمینی در این سیلاب در حدود ۷۷/۳ درصد بدست آمده است (شکل ۳ ه).

افزایش حدود ۱۶/۲۵ متری سطح آب چاه‌های پیزومتری حفر شده در مطالعات سد ابوالعباس در حوضه مورد مطالعه، با شروع بارش در سال آبی ۸۴-۸۵ (بی‌نام، ۱۳۸۶)، بیانگر کارست شدگی و تأثیر نفوذ آب باران بر سطح آب زیرزمینی و افزایش گرادیان هیدرولیکی است که در نتیجه آن، تخلیه آب زیرزمینی به رودخانه افزایش می‌یابد. همچنین نزدیک بودن مقدار محتوای ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ رودخانه در هنگام سیلاب به محتوای ایزوتوپی جریان پایه و اختلاف به نسبت زیاد آن با محتوای ایزوتوپی آب باران به عنوان تولید کننده رواناب سطحی دلیل دیگری بر تأیید سهم بالای جریان پایه در تولید سیلاب در حوضه مورد مطالعه است.

### نتیجه‌گیری

با وجود تأثیر شرایط رطوبتی پیشین بر سهم مؤلفه‌های مختلف در تولید رواناب، مرور منابع نشان داد که تاکنون مقایسه‌ای بین شرایط رطوبتی مختلف انجام نشده است. نتایج این پژوهش نشان داد هرچند که بیشترین شدت بارش مربوط به اولین بارش (در شرایط کاملاً خشک) بوده است ولی کمترین دبی تولید شده است. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در حوضه مورد مطالعه تأثیر بارش پیشین به نسبت شدت بارش در تولید سیلاب بیشتر است. در ضمن در بارش سوم با شدت بارش بیشتر نسبت به بارش دوم و با شرایط رطوبتی یکسان، دبی حداکثر و سیلاب بزرگتری ایجاد شده است که این موضوع اهمیت شدت بارش در زمانی که خاک در شرایط



18. Laudon H. and Slaymaker O. 1997. Hydrograph separation using stable isotopes, silica and electrical conductivity: an alpine example. *Journal of Hydrology*. 201:82-101.
19. Linsley R. K. Kohler M. A. and Paulhus J. L. H. 1982. *Hydrology for engineers*. McGraw-Hill.
20. McGlynn B. L. and McDonnell J. J. 2003. Quantifying the relative contributions of riparian and hillslope zones to catchment runoff. *Water Resources Research* 39.
21. Merot P. Durand P. and Morisson C. 1995. Four-component hydrograph separation using isotopic and chemical determinations in an agricultural catchment in western France. *Physics and Chemistry of the Earth*. 20:415-425.
22. Mul M. L. Mutiibwa R. K. Uhlenbrook S. and Savenije H. H. G. 2008. Hydrograph separation using hydrochemical tracers in the Makanya catchment, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 33. 151-156.
23. Munyaneza O. Wenninger J. and Uhlenbrook S. 2012. Identification of runoff generation processes using hydrometric and tracer methods in a meso-scale catchment in Rwanda. *Hydrology Earth System Science Discuss*. 9:671-705.
24. Murad A. . and Krishnamurthy R. V. 2004. Factors controlling groundwater quality in Eastern United Arab Emirates: a chemical and isotopic approach. *Journal of Hydrology*. 286:227-235.
25. Pinder G. F. and Jones J. F. 1969. Determination of the ground-water component of peak discharge from the chemistry of total runoff. *Water Resources Research*. 5:438-445.
26. Scholl M.A. Gingerich S.B. and Tribble G.W. 2002. The influence of microclimates and fog on stable isotope signatures used in interpretation of regional hydrology: East Maui, Hawaii. *Journal of Hydrology*. 264:170-184.
27. Scholl M. A. Ingebritsen S. E. Janik C. J. and Kauahikaua J. P. 1996. Use of Precipitation and Groundwater Isotopes to Interpret Regional Hydrology on a Tropical Volcanic Island: Kilauea Volcano Area, Hawaii. *Water Resources Research*. 32:3525-3537.
28. Sklash M. G. and Farvolden R. N. 1979. The role of groundwater in storm runoff. *Journal of Hydrology*. 43:45-65.
29. Smith G. I. Friedman I. Gleason J. D. and Warden A. 1992. Stable Isotope Composition of Waters in Southeastern California: 2. Groundwaters and Their Relation to Modern Precipitation. *Journal of Geophysical Research*. 97:5813-5823.
30. Turner J. V. Bradd J. M. and Waite T. D. 1992. Conjective use of isotopic techniques to elucidate solute concentration and flow processes in dryland salinized catchments.
6. Bohté R. Mul M. L. Bogaard T. A. Savenije H. H. G. Uhlenbrook S. and Kessler T. C. 2010. Hydrograph separation and scale dependency of natural tracers in a semi-arid catchment. *Hydrology Earth System Science. Discuss*. 7:1343-1372.
7. Buttle J. M. 1994. Isotope hydrograph separations and rapid delivery of pre-event water from drainage basins. *Progress in Physical Geography*. 18:16-41.
8. Didszun J. and Uhlenbrook S. 2008. Scaling of dominant runoff generation processes: Nested catchments approach using multiple tracers. *Water Resources Research*. 44(2):1-15.
9. Hinton M. J. Schiff S. L. and English M. C. 1994. Examining the Contributions of Glacial Till Water to Storm Runoff Using 2-Component and 3-Component Hydrograph Separations. *Water Resources Research*. 30:983-993.
10. Hoeg S. Uhlenbrook S. and Leibundgut C. 2000. Hydrograph separation in a mountainous catchment - combining hydrochemical and isotopic tracers. *Hydrological Processes*. 14: 1199-1216.
11. Hooper R. P. and Shoemaker C. A. 1986. A Comparison of Chemical and Isotopic Hydrograph Separation. *Water Resources Research*. 22:1444-1454.
12. Hrachowitz M. Bohte R. Mul M. L. Bogaard T. A. Savenije H. H. G. and Uhlenbrook S. 2011. On the value of combined event runoff and tracer analysis to improve understanding of catchment functioning in a data-scarce semi-arid area. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15:2007-2024.
13. Ingraham N. L. Lyles B. F. Jacobson R. L. and Hess J. W. 1991. Stable isotopic study of precipitation and spring discharge in southern Nevada. *Journal of Hydrology*. 125:243-258.
14. Jenkins A. Ferrier R.C. Harriman R. and Ogunkoya Y. O. 1994. A case study in catchment hydrochemistry: Conflicting interpretations from hydrological and chemical observations. *Hydrological Processes*. 8:335-349.
15. Kendall C. and Coplen T. B. 2001. Distribution of oxygen-18 and deuterium in river waters across the United States. *Hydrological Processes*. 15:1363-1393.
16. Kendall C. Sklash M. and Bullen T. D. 1995. Isotope tracers of water and solute sources in catchments. In: Trudgill, S.T. (Ed.), *Solute Modelling in Catchment Systems*. Wiley, New-York.
17. Kennedy V. C. Kendall C. Zellweger G. W. Wyerman T. A. and Avanzino R. J. 1986. Determination of the components of stormflow using water chemistry and environmental isotopes, Mattole River basin, California. *Journal of Hydrology*. 84:107-140.

- Isotopic Techniques in Water Resources Development 1991, IAEA Symposium 319, Vienna. pp. 33-60.
31. Uhlenbrook S. Didszun J. and Wenninger J. 2008. Source areas and mixing of runoff components at the hillslope scale - a multi-technical approach. *Hydrolog Sciences Journal*. 53:741-753.
  32. Wels C. Cornett R.J. and Lazerte B.D. 1991. Hydrograph separation: A comparison of geochemical and isotopic tracers. *Journal of Hydrology*. 122:253-274.