



رباب رزمی^۱
* حسین عساکره^۲
سیدابوالفضل مسعودیان^۳

نگرشی اقلیمی - مقایسه‌ای بر رابطه بارش - رواناب در زیرحوضه‌های کارون بزرگ

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

چکیده

فرایند بارش رواناب، درحوضه آبریز، پدیده پیچیده‌ای است که توسط عوامل متعددی در بعد زمان و مکان کنترل می‌شود. مهم‌ترین آنها بارندگی است. در تحقیق حاضر از داده‌های بارش روزانه ۱۶۰ ایستگاه همدیدی و باران‌سنجی و داده‌های ۱۲ ایستگاه هیدرومتری برای ۱۲ زیرحوضه کارون بزرگ با طول دوره آماری متفاوت جهت بررسی روابط بین بارش و رواناب و تغییرات زمانی و تنوع مکانی آنها، استفاده شد.

برای دستیابی به هدف تحقیق، معادله‌های همبستگی خطی و غیرخطی بین دو عنصر مذکور در مجموع برای ۴۱۳۰ یاخته با ابعاد ۴ کیلومترمربع محاسبه گردید. همچنین برای درک حجم کل بارش دریاقتی و کل حجم رواناب خروجی، برای هر روز سال مجموع ضرایب رواناب به صورت تجمعی بر حسب رواناب، بارش و مساحت هر یک از زیرحوضه‌ها به دست آمد. مهم‌ترین نتایج نشان داد که، ضریب رواناب دارای نوسانات سالانه و روندهای متفاوت در زیرحوضه‌های مختلف است. اما عموماً روند آن کاهش یافته است. سیر صعودی ضریب رواناب در زیرحوضه‌های بهشت آباد، عباس پور، سپید دشت و تنگ پنج و همچنین کوهستانی و غیر قابل نفوذ بودن زمین آنها، نشان داد که در این زیرحوضه‌ها رژیم بارش برفی - بارانی است. لذا رواناب قابل توجهی هم ایجاد می‌گردد. انجام تبدیلات غیرخطی تأثیری بر روابط بین بارش و رواناب نداشته و روابط این دو عنصر خطی بوده است. لذا بر اساس روش همبستگی خطی، روابط بین دو متغیر مورد ارزیابی قرار گرفت. نشان داده شد که کم‌ترین ارتباط بین بارش و رواناب در حوضه آبریز ۲ و بیشترین میزان همبستگی در حوضه‌های پست و هموار به ترتیب در حوضه آبریز دشت بزرگ (۹) با حداکثر ۰/۵۲. و حوضه آبریز گتوند (۱۲) به میزان ۰/۲۸ می‌باشد. در این بین عامل ارتفاع، نوع بارش و دما نیز تأثیرهای متفاوتی بر میزان همبستگی داشته‌اند. با افزایش ارتفاع رابطه خطی بین بارش و رواناب به شدت کاهش می‌یابد. بررسی علل ضعف در همبستگی نشان داد که به غیر از بارش، عوامل موثر دیگری نظیر خصوصیات فیزیکی حوضه به ویژه زمین ساخت منطقه و عوامل انسانی به ویژه سدسازی و انتقال آب بین حوضه‌های تأثیر بسزایی در روابط عناصر هیدرواقليمی در حوضه آبریز کارون داشته‌اند.

واژگان کلیدی: بارش، رابطه بارش-رواناب، دبی، کارون بزرگ

مقدمه

پدیده‌های ظاهراً ثابت (نظیر ناهمواری‌های سطح زمین) و متغیر (نظیر شرایط اقلیمی) و به‌ویژه تحولات آنها از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ویژگی‌های آب‌شناسی آب‌های سطحی است (Movahed danesh, 2013). (Asakereh et al (2021) نشان دادند که نقش اقلیمی - بارشی عواملی نظیر ناهمواری‌ها و طول و عرض جغرافیایی در بستر تحولات اقلیمی متحول می‌شود. از طرف دیگر، شواهد موجود نشان می‌دهد که تحولات آب و هوایی متناسب با نوع، جهت و شدت دگرگونی‌ها، می‌تواند سرعت چرخه آب‌شناختی را متأثر سازد (Huntington, 2006). لذا تغییراتی از این قبیل در سامانه‌های آب‌شناختی می‌تواند بر منابع آب موجود، عرضه و تقاضای آب، کیفیت آب، رطوبت خاک، ذخیره منابع آب زیرزمینی، فراوانی سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها تاثیرات چشم‌گیری بر جای بگذارد (Zarenistanak et al., 2014).

مطالعات پرشماری دگرگونی‌های اقلیمی (Justino et al (2011)؛ Villar et al (2010)؛ Lowry (2007) و به‌ویژه تغییرات بارش (Saymohammadi et al (2017)؛ Keikhosravi Kiany et al (2018)؛ Asghari and Rahimzadeh (2007) را تایید کرده‌اند. یکی از مهم‌ترین فرایندهایی که انتظار می‌رود از تحولات اقلیمی متأثر شوند، رابطه بارش و رواناب است. فرایند پیچیده رابطه بارش - رواناب، در هر حوضه آبریز توسط عوامل پرشماری در بُعد زمان و مکان (Giorgio et al (2014)؛ Berhane (2016)؛ از جمله شدت و نوع بارش (Xu et al., 2010)، پوشش گیاهی سطح زمین (Wang et al (2017)؛ Zuazo et al (2009)؛ Liu et al (2018)؛ مساحت حوضه آبریز، شیب زمین و نوع خاک (Zhao (2014) کنترل می‌شود. ترکیب برهم‌کنش این عوامل فرایندی پویا، غیرخطی و پیچیده با برآمدی غالباً غیرقابل تشخیص تولید می‌کند (Salajegheh et al., 2009). لذا می‌توان گفت روند تغییرات رواناب به دلیل تاثیر توأم و غیرخطی عوامل یاد شده، همیشه با تغییرات بارندگی هم‌خوانی ندارد. از این رو مطالعه رابطه بارش و رواناب یکی از مطالعات پیچیده و یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مسائل در مطالعه آب‌شناسی آب‌های سطحی است (Alizadeh, 2019). بررسی این روابط، رویکردهای مطالعاتی متنوعی را در سطح جهانی به خود اختصاص داده است. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان مطالعات انجام شده را در چهار گروه رده‌بندی کرد:

- اولین گروه شامل مطالعاتی است که به مدل‌سازی روابط بین بارش و رواناب پرداخته‌اند. براساس این پژوهش‌ها مدل‌سازی روابط بین بارش و رواناب و فهم پیچیدگی‌های این روابط از مهم‌ترین مسائل در زمینه مدیریت منابع آبی به‌ویژه در مناطقی با تغییرپذیری فیزیوگرافیک بسیار بالا می‌باشد (Singh et al (2018). Jahangir et al (2008) در حوضه آبریز کارده، Salajegheh et al (2009) در حوضه‌های آبریز رودخانه‌های طالقان، کرج و جاجرود، Aalami and Hosseinzadeh (2010) در حوضه آبریز ليقوان‌چای، Jahanbakhsh et al (2018) در حوضه آبریز شهرچای، Razzaghian et al (2017) در رودخانه بابلرود رابطه بین بارش و رواناب را مدل‌سازی کرده‌اند.

- دوم مطالعاتی که تغییرات زمانی بارش و دبی را مد نظر قرار داده‌اند. Zhang et al (2001) روند جریان رودخانه را در کانادا، Labat et al (2004) روند تغییرات آبدهی ۲۲۱ رودخانه بزرگ جهان، Chen et al (2014) روند و تغییرات مکانی بارش، دما و رواناب را در حوضه آبریز یانگ‌تسه، Li et al (2018) تغییرات دما، بارش،

تبخیر و تعرق پتانسیل و رواناب را در چین، Shen(2018) روند جریان رودخانه‌ها را در مناطق کوهستانی تیانشان مورد مطالعه قرار دادند. Jahanbakhsh et al(2019) و در حوضه آبریز رود زرد را مورد مطالعه قرار دادند.

- سومین گروه شامل مطالعاتی است که اثر تغییر اقلیم و به‌ویژه تغییر بارش را بر رواناب و دبی حوضه‌های آبریز مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. Sanikhani et al (2014) اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز آجی‌چای، Binesh et al (2017) تاثیر تغییرات بارش روی دبی رودخانه درکه در ایران، (Kamal & Massah Bavani(2010) تاثیر تغییر و نوسانات عناصر اقلیمی بر رواناب حوضه آبریز قره‌سو، Nouri et al (2020) اثر تغییر دما و بارش بر میزان رواناب حوضه آبریز مهرگرد را بررسی و مدل‌سازی کردند. Xu(2015) تاثیر گرمایش جهانی را روی چرخه آبی در منطقه بالا دست حوضه آبریز رودخانه زرد مورد بررسی قرار دادند.

- مطالعاتی که ضریب رواناب را به‌صورت رابطه بین بارش و رواناب مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند. Pandit et al(1996) تاثیر اقلیم، زمین‌شناسی، کاربری اراضی بر روی ضریب رواناب را در ۱۴ حوضه کوهستانی آلپ در شرق ایتالیا، Merz and Blöschl(2009) ضریب رواناب را در چندین زیرحوضه در استرالیا مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که ویژگی‌های فیزیکی حوضه تاثیر زیادی روی ضرایب رواناب دارند. Lavado et al(2012) نشان دادند که رابطه‌ای معکوسی بین ضریب رواناب و مساحت حوضه آبریز وجود دارد. Dhakal (2013) ضریب رواناب را براساس شدت بارش و اوج رواناب برای ۱۵۰۰ رویداد بارشی در ۸۰ زیرحوضه تگزاس محاسبه کردند.

حوضه آبریز کارون مهم‌ترین حوضه رودخانه‌ای در جنوب غرب ایران است. رودخانه کارون آب مورد نیاز بسیاری از شهرها، روستاها، بخش کشاورزی و صنایع را تامین می‌کند (Aghdam et al(2012) در کنار تغییرات فصلی و سالانه دبی و بارش، فعالیت‌های انسانی (عمدتاً کشاورزی و صنعتی) باعث ایجاد تغییرات گسترده‌ای در میزان آب ورودی حوضه آبریز کارون شده است. در پژوهش حاضر فرض بر این است که یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر تغییرات دبی کارون که تاثیر مستقیمی بر مدیریت منابع آبی دارد، تغییرات بارندگی و واکنش آب‌شناختی حوضه است. لذا تلاش گردید تا با استفاده از مشاهدات طولانی‌مدت دبی و بارش، تغییرات زمانی - مکانی روابط این فراسنج‌ها و اثر تغییرات بارش بر تغییرات رواناب در حوضه آبریز کارون مورد بررسی قرار گیرد. واضح است که غیر از بارندگی، سایر عوامل نظیر پوشش گیاهی یا زمین‌شناسی نیز بر رواناب اثر گذار می‌باشند. از این‌رو با در نظر گرفتن جنس زمین، به عنوان مهم‌ترین عامل موثر بر رواناب، نقش این عامل نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. می‌توان گفت از نقاط قوت این تحقیق بررسی هم‌زمان نقش عنصر اقلیمی (بارش) و عامل جغرافیایی (زمین‌شناسی) بر رواناب کارون می‌باشد. مهم‌ترین هدف تحقیق شناخت روابط می‌باشد؛ لذا تلاش می‌شود با استفاده از روش‌های آماری، روابط بین این عناصر و عوامل مورد ارزیابی قرار گیرد.

داده‌ها و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

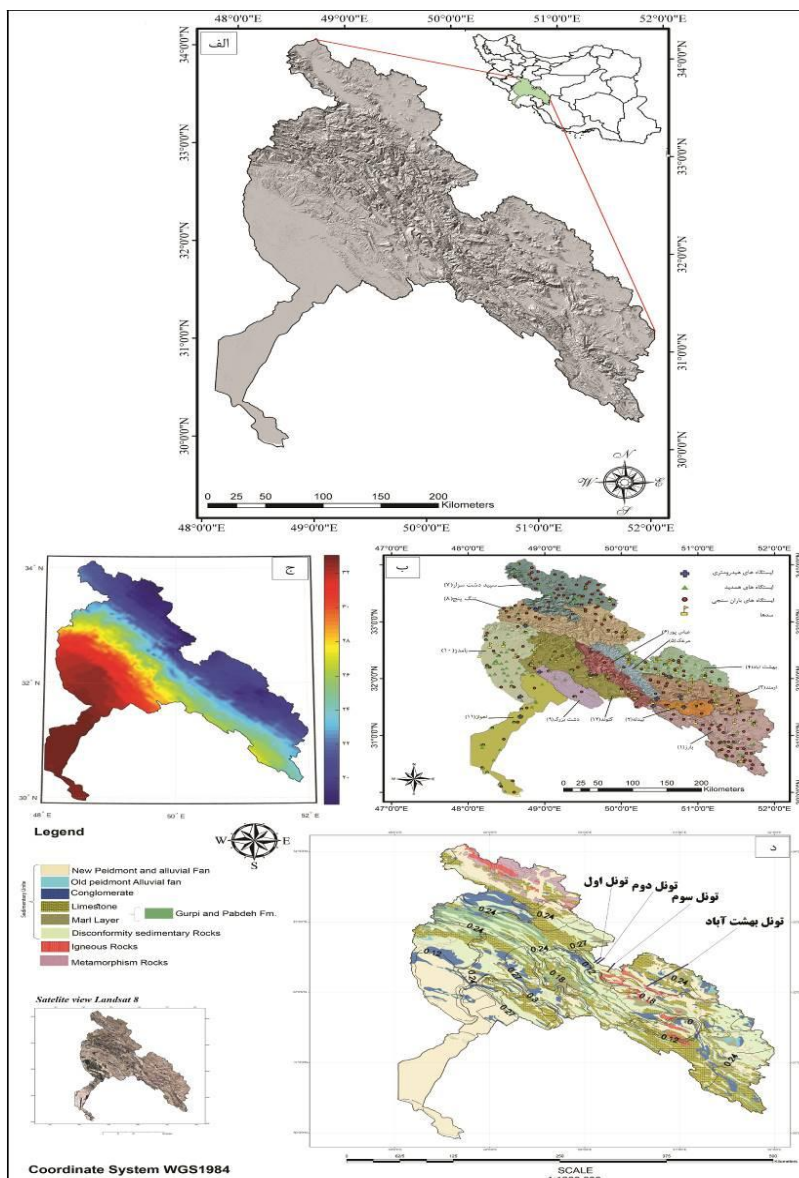
حوضه آبریز کارون بزرگ با وسعتی معادل ۶۷۱۱۲ کیلومترمربع، در جنوب باختری ایران و بخش‌های وسیعی از استان‌های چهارمحال و بختیاری، خوزستان، یاسوج، کهگیلویه و بویراحمد، اصفهان، لرستان و همدان را پوشش می‌دهد. این حوضه با مختصات جغرافیایی زیر مشخص می‌شود (شکل ۱ الف):

$$N: 29^{\circ} 54' - 34^{\circ} 07'$$

$$E: 48^{\circ} 00' - 52^{\circ} 00'$$

موقعیت حوضه آبریز کارون در شکل (۱ الف) ارائه شده است.^۴ رودخانه کارون بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه کشور است که سرشاخه‌های اصلی آن از ارتفاعات زاگرس در استان‌های مجاور سرچشمه گرفته و به جلگه خوزستان وارد می‌شود. حوضه آبریز کارون مرتفع‌ترین حوضه آبریز ایران می‌باشد (Dehghani et al., 2015). ۶۹ درصد از مساحت حوضه کوهستانی و ۳۱ درصد آن مناطق پست و هموار می‌باشد (Dehghani et al., 2015). بلندترین نقطه کارون در ارتفاعات کوه‌رنگ از ۴۵۴۸ متر تا پایین‌ترین نقطه در خرمشهر در ارتفاع ۱۲ متری از سطح دریا واقع شده است (Yousefi et al., 2018). این رودخانه در مسیر خود آب مورد نیاز شهرها و روستاهای متعدد با جمعیتی بیش از ۳/۵ میلیون نفر (Yousefi et al., 2016)، کارخانه‌های صنعتی و هزاران هکتار اراضی کشاورزی، مراکز پرورش ماهی و کشت و صنعت را تامین می‌نماید (Hashemi Fard et al., 2018). این مسأله سبب بالا رفتن میزان حساسیت و آسیب‌پذیری سیستم منابع آب این حوضه از منظرهای مختلف، نسبت به نوسانات آوردهای سالانه شده است (Arshadi & Bagheri, 2014).

۴ - در شکل ۱ تعداد سدهای موجود بر حوضه آبریز کارون نشان داده شده است. بیشترین تعداد سدها در بخش شرقی حوضه کارون و بر روی رودخانه‌های زیرحوضه‌های ارمند (۳) و بهشت آباد (۴) بسته شده است.



شکل ۱: الف) موقعیت حوضه آبریز کارون در جنوب غرب ایران، ب) موقعیت زیرحوضه های ۱۲ گانه درحوضه آبریز کارون، ج) توزیع مکانی متوسط دمای سالانه حوضه آبریز کارون بزرگ، د) توزیع مکانی سازندهای زمین شناسی (پس زمینه رنگی) به همراه موقعیت تونل های احداث شده و همبستگی خطی بارش - رواناب (هم چندها) در حوضه آبریز کارون بزرگ

Figure 1: A) general Location of Karoon basin in southwest of Iran, B) Location of 12 sub-basins in Karoon basin, C) Spatial distribution of average annual temperature of Karoon basin, D) Spatial distribution of lithology (colored background) with the location of constructed tunnels and linear correlation of rainfall-runoff in the Karoon basin

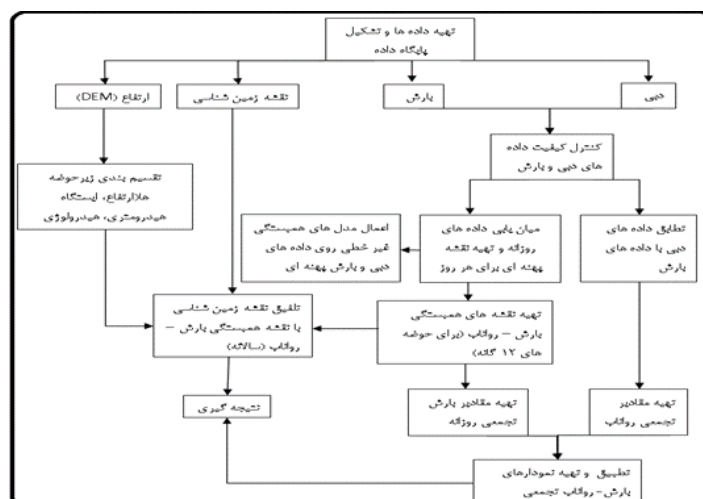
داده‌ها:

در این پژوهش با هدف بررسی رابطه بین بارش - رواناب و بررسی تغییرات زمانی و تنوع مکانی آنها، چند گروه داده، اطلاعات و مشاهدات به شرح زیر گردآوری شد:

۱- از آنجا که ویژگی‌های زمین‌شناسی نقش مهمی در تولید یا جذب رواناب سطحی حوضه‌های آبریز دارد Farzi et al., (2016) تلاش گردید تا نقش زمین‌شناسی در روابط بین بارش و رواناب نیز مورد توجه قرارگیرد. براین اساس نقشه زمین‌شناسی کارون با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه گردید (شکل ۱ ب). ۲- نقشه رقومی ارتفاع (DEM) با تفکیک مکانی ۳۰ متر SRTM^۵ اخذ شد (توصیه می‌شود برای آشنایی با این داده‌ها به (Tozer et al (2019) مراجعه کنید). ۳- مشاهدات روزانه بارش از ۳۶ ایستگاه هم‌دیدگی از سازمان هواشناسی کشور و ۱۲۴ ایستگاه باران سنجی طی دوره آماری ۱۹۷۲-۲۰۱۴ از وزارت نیرو تهیه شد. ۴- داده‌های دبی روزانه ۱۲ ایستگاه هیدرومتری، از وزارت نیرو اخذ شد. توزیع مکانی ایستگاه‌های سنجش فراسنج‌های جوی و آب‌شناختی در شکل (۱ ب) ارائه شده است. ۵- داده‌های مربوط به دبی مخازن سدها (ورودی و خروجی روزانه سدهای موجود در حوضه آبریز) و تونل‌ها از وزارت نیرو تهیه شد.

روش‌ها

این پژوهش طی چند مرحله به شرح زیر انجام شد (شکل ۲): ۱- کنترل کیفیت مشاهدات به لحاظ مشاهدات گمشده، مشاهدات پرت و کفایت طول دوره آماری. بدین ترتیب پایگاه داده برای کل پهنه کارون تهیه شد. به دلیل گستردگی مکانی حوضه آبریز کارون بزرگ و طیف ارتفاعی بسیار متنوع و شرایط اقلیمی ناهمگن آن، این حوضه آبریز به ۱۲ زیرحوضه کوچک‌تر تقسیم‌بندی شد. این زیرحوضه‌ها به همراه ایستگاه‌های هم‌دیدگی، باران‌سنجی، هیدرومتری، و سدهای تاسیس شده در شکل (۱ ب) ارائه و سایر مشخصات حوضه‌های آبریز در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۲: روال نمای مراحل انجام پژوهش
Figure 2: Process of the research

⁵ https://topex.ucsd.edu/WWW_html/srtm15_plus.html

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های هیدرومتری ۱۲ زیرحوضه

Table 1-Specifications of 12 sub-sub-stations

| ردیف | نام ایستگاه هیدرومتری | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | مساحت حوضه (km^2 بریز) | متوسط ارتفاع(متر) | تعداد سدها | آغاز دوره آماري | پایان دوره آماري |
|------|--------------------------|------------------|------------------|---------------------------------|----------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| ۱ | بارز | ۵۰/۴۱ | ۳۱/۵۱ | ۹۰۳۰ | ۲۵۸۸ | ۵ | ۱۹۶۱ | ۲۰۱۲ |
| ۲ | بیدله | ۵۰/۵۳ | ۳۱/۵۷ | ۱۴۸۷ | ۲۲۴۲ | ۱ | ۲۰۰۷ | ۲۰۱۲ |
| ۳ | ارمند | ۵۰/۷۷ | ۳۱/۶۸ | ۵۵۰۹ | ۲۴۲۰ | ۸ | ۱۹۶۱ | ۲۰۱۲ |
| ۴ | بهشت اباد | ۵۰/۶۳ | ۳۲/۰۳ | ۵۱۳۶ | ۲۹۰۰ | ۱۶ | ۱۹۹۸ | ۲۰۱۲ |
| ۵ | مرغک | ۵۰/۴۷ | ۳۱/۶۵ | ۲۱۷۵ | ۲۴۷۲ | - | ۱۹۷۲ | ۲۰۰۹ |
| ۶ | عباس پور | ۴۹/۶ | ۳۲/۳۰۷ | ۳۵۰۱ | ۲۱۰۱ | ۵ | ۱۹۷۲ | ۱۹۹۵ |
| ۷ | سپیددشت | ۴۸/۸۸ | ۳۳/۲۲ | ۷۷۹۹ | ۲۵۰۹ | ۱ | ۱۹۶۱ | ۲۰۱۲ |
| ۸ | تنگ پنج | ۴۸/۷۵ | ۳۲/۹۳ | ۷۹۸۶ | ۲۲۸۳ | ۲ | ۱۹۶۱ | ۲۰۱۲ |
| ۹ | دشت بزرگ | ۴۸/۹۳ | ۳۲/۱۲ | ۲۷۶۷ | ۷۰۷ | - | ۱۹۸۲ | ۲۰۱۲ |
| ۱۰ | بامدر | ۴۸/۶۸ | ۳۱/۶۸ | ۷۴۵۳ | ۱۲۹۷ | ۴ | ۱۹۶۳ | ۲۰۱۲ |
| ۱۱ | اهواز | ۴۸/۴۶۸ | ۳۱/۳۳ | ۷۴۶۵ | ۲۲۶ | - | ۱۹۶۱ | ۲۰۱۲ |
| ۱۲ | گتوند | ۴۸/۸۲ | ۳۲/۲۵ | ۶۳۵۰ | ۱۶۷۳ | ۸ | ۱۹۶۱ | ۲۰۱۲ |

۲- برای تهیه ویژگی‌های بارش حوضه‌های آبریز، پس از تشکیل پایگاه داده، ابتدا یک شبکه مربعی (یاخته) بر کل پهنه گسترده شد. سپس براساس روش میانگین شناور و آزمون - خطا اندازه یاخته‌ها با روش‌های مختلف برای تهیه نقشه اختیار شد. نهایتاً حداقل اندازه یاخته‌ها با استفاده از میان‌یابی کریجینگ 4×4 کیلومتر (Asakere, 2007) تعیین گردید. نقشه‌های پهنه‌ای بارش برای هر روز طی دوره آماری مورد مطالعه (۵۱ سال) تهیه شد. پس از تهیه نقشه برای هر روز، مقادیر فراسنج‌های مورد نظر به صورت ماهانه و سالانه برای هر کدام از زیرحوضه‌ها محاسبه شد.

۳- در مناطق کوهستانی از یک طرف پراکنش ایستگاه‌ها از توزیع مناسبی برخوردار نمی‌باشند و از طرف دیگر به دلیل تغییرات مکانی بارش و تاثیر عوامل فیزیکی حوضه بر رواناب، تعیین روابط بین بارش و رواناب از پیچیدگی زیادی برخوردار می‌باشد. لذا در پژوهش حاضر تلاش می‌شود رابطه رواناب با بارش با فرض ثابت بودن اثر عوامل فیزیکی، مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور از روش همبستگی پیرسون، به‌عنوان یکی از روش‌های آماری معتبر استفاده شده است. این نمایه جهت و درجه همبستگی را نشان می‌دهد و به شرح زیر به دست می‌آید (Asakere, 2011):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

بسیاری از محققین از جمله (Berhane, 2016) بر این باورند که فرایند بارش - رواناب تحت تأثیر اندرکنش عوامل پرشمار فیزیکی، فرایندی پویا و غیرخطی است. لذا بر اساس این فرض، رابطه غیرخطی بارش و رواناب نیز بررسی شد. بدین منظور تمام تبدیلات ممکن شامل تبدیلات غیرخطی (Asakereh, 2011) بر روی سری‌های زمانی زیرحوضه‌ها اعمال گردید. یکی از تبدیلات غیرخطی تبدیل باکس-کاکس (شبه نرمال) می باشد که در آن، سری تبدیل شده از توزیعی شبیه نرمال برخوردار می شود (Pandey et al., 2019). (Box and Cox, 1964) با استفاده از تابع درست‌نمایی توزیع نرمال، تبدیل زیر را ارائه کردند:

$$y^\lambda = \begin{cases} \frac{(x^\lambda - 1)}{\lambda} & \text{if } (\lambda \neq 0) \\ \log y & \text{if } \lim_{\lambda \rightarrow 0} \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه λ می‌تواند ارزش‌های عددی متفاوتی را به خود بگیرد. در جدول (۲) بعضی از تبدیلات باکس و کاکس به ازای مقادیر مختلف λ ارائه شده است.

جدول ۲- برخی انواع تبدیل‌ها براساس مقادیر مختلف λ

Table 2- Some types of conversions based on different values of λ

| مقادیر λ | $\lambda=3$ | $\lambda=2$ | $\lambda=1$ | $\lambda=0.5$ | $\lim_{\lambda \rightarrow 0}$ | $\lambda=-0.5$ | $\lambda=-1$ | $\lambda=-2$ | $\lambda=-3$ | مقادیر λ |
|------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|
| مقادیر | y' | y' | y' | y' | y' | y' | y' | y' | y^{-3} | مقادیر |
| تبدیل | $= y^3$ | $= y^2$ | $= y$ | $= \sqrt{y}$ | $= \log(y)$ | $= \frac{1}{\sqrt{y}}$ | $= \frac{1}{y}$ | $= \frac{1}{y^2}$ | $= \frac{1}{y^3}$ | تبدیل |
| یافته | | | | | | | | | | یافته |
| y^λ | | | | | | | | | | y^λ |

برای تعیین مقدار مناسب λ ، داده‌های بارش و رواناب روزانه با مقادیر مختلف λ تبدیل شد. این فراسنج از ۳- تا ۳+ با نمو ۰/۱ محاسبه گردید. بیشترین مقدار همبستگی بارش- رواناب براساس تبدیل مناسب (λ) در هر پیکسل اختیار شد. نتایج همبستگی به صورت نقشه‌هایی در شکل (۵) آورده شده است. در جدول ۴ بیشترین و کم‌ترین مقدار همبستگی غیرخطی به ازای بهترین تبدیل λ برای بارش و رواناب ارائه شده است.

۴- ضریب رواناب برای زیرحوضه‌های کارون محاسبه شد. ضریب رواناب نسبت رواناب (R) به بارش (P) حوضه بوده و بی بعد است و با رابطه زیر قابل بیان می باشد (Movahed Danesh, 2014):

$$Cr = \frac{R}{P}$$

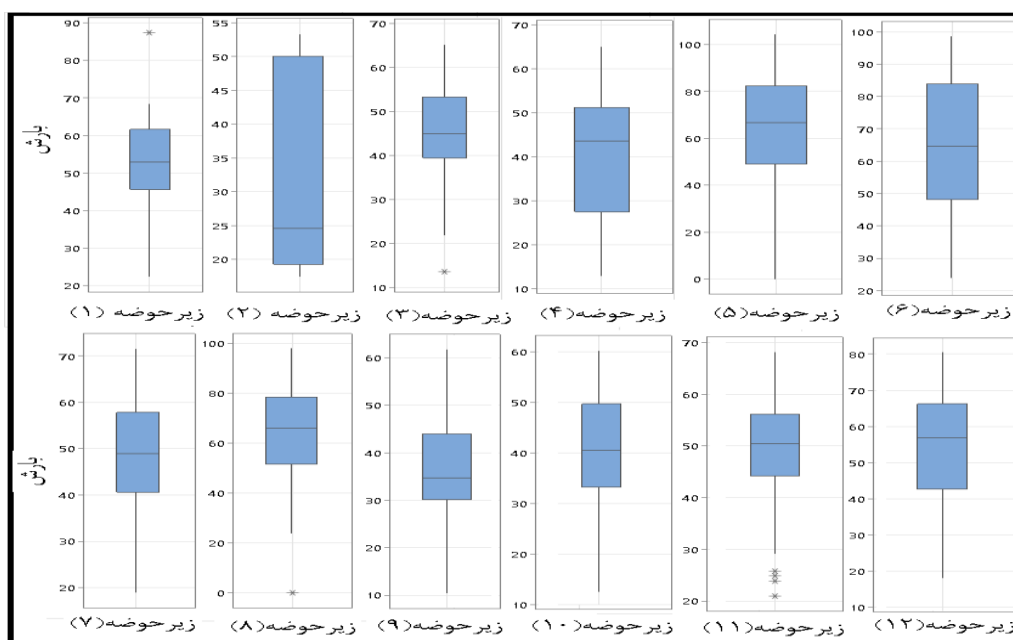
ضریب رواناب مقیاسی نسبی و از مهم‌ترین فراسنج‌ها برای طراحی‌های هیدرولوژیکی است (Lemma et al., 2018). این نمایه یک متغیر تشخیصی مهم برای واکنش حوضه آبریز است؛ به‌ویژه اگر چندین زیرحوضه با هم در مقام مقایسه قرار گرفته (Merz and Blöschl, 2009) و هدف بررسی تفاوت‌های اساسی بین ویژگی‌های مختلف حوضه‌های آبریز باشد (Norbiato, 2009). تحلیل ضریب رواناب می‌تواند شناختی اساسی در مورد چگونگی تاثیر مکان و بارش در تولید رواناب ارائه کند (Vlickova et al., 2009). این ضریب به ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز نظیر عوامل مربوط به مورفولوژی حوضه (شیب، وسعت، شبکه ذهکشی، ضریب شکل حوضه و...)، اقلیم حوضه، کاربری اراضی و پوشش سطح زمین، زمین‌شناسی و خاک منطقه بستگی زیادی دارد.

۵- در مرحله نهایی ابتدا مقادیر رواناب از متر مکعب به میلی متر تبدیل گردیده سپس ضرایب تجمعی بارش و رواناب بر حسب میلی متر در سال و الگوهای زمانی - مکانی آنها محاسبه شد. بدین منظور ابتدا متوسط سالانه بارش و دبی برای هریک از زیرحوضه‌ها محاسبه گردید. پس از محاسبه ارتفاع رواناب براساس مساحت زیرحوضه و مقادیر دبی ثبت شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی آن زیرحوضه، مقادیر تجمعی ورودی (بارش) و خروجی (رواناب) زیرحوضه‌ها محاسبه شد. شایان ذکر است که مقادیر دبی خروجی زیرحوضه‌های بالادست از ورودی زیرحوضه‌های پایین دست با در نظر گرفتن ورودی و خروجی مخازن سدها در هر روز از سال، همچنین مقادیر خروجی تونل‌ها، کسر گردید و تناسب خروجی نسبت به ورودی حوضه‌ها به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.

بحث و یافته‌ها

مشخصات عمومی بارش - رواناب

ویژگی‌های توصیفی بارش و رواناب زیرحوضه‌های کارون به‌ترتیب در شکل‌های (۳ و ۴) برای ۱۲ زیرحوضه در قالب نمودار جعبه‌ای ارائه شده است. نمودارهای ارائه شده در شکل (۳) نشان می‌دهد که بارش در زیرحوضه‌های مختلف، رفتار متفاوتی دارد. این تغییرات مکانی بارش را می‌توان تابعی از موقعیت (طول و عرض جغرافیایی) و عوامل توپوگرافی (ارتفاع، جهت، شیب دامنه‌ها) دانست (Asakerh, 2012). همان‌طور که در جدول (۳) دیده می‌شود بارش طی ماه‌ها و فصول مختلف سال واکنش متفاوتی نسبت به عوامل جغرافیایی دارد. اما بیشترین تاثیر را از ارتفاع و سپس عرض جغرافیایی منطقه می‌پذیرد. از این‌رو حوضه‌های مرتفع و کوهستانی نسبت به حوضه‌های واقع در مناطق پست و هموار متوسط بارش بالاتری دریافت می‌کنند. می‌توان گفت شرایط کوهستانی و گستره ارتفاعی زیاد منطقه از سطح دریا تا ارتفاع ۴۵۴۸ متری باعث شده‌است که مناطق مختلف حوضه به لحاظ بارش دریافتی از تنوع مکانی قابل توجهی برخوردار شوند.



شکل ۳: مشخصات توصیفی بارش سالانه زیرحوضه‌های حوضه آبریز کارون بزرگ

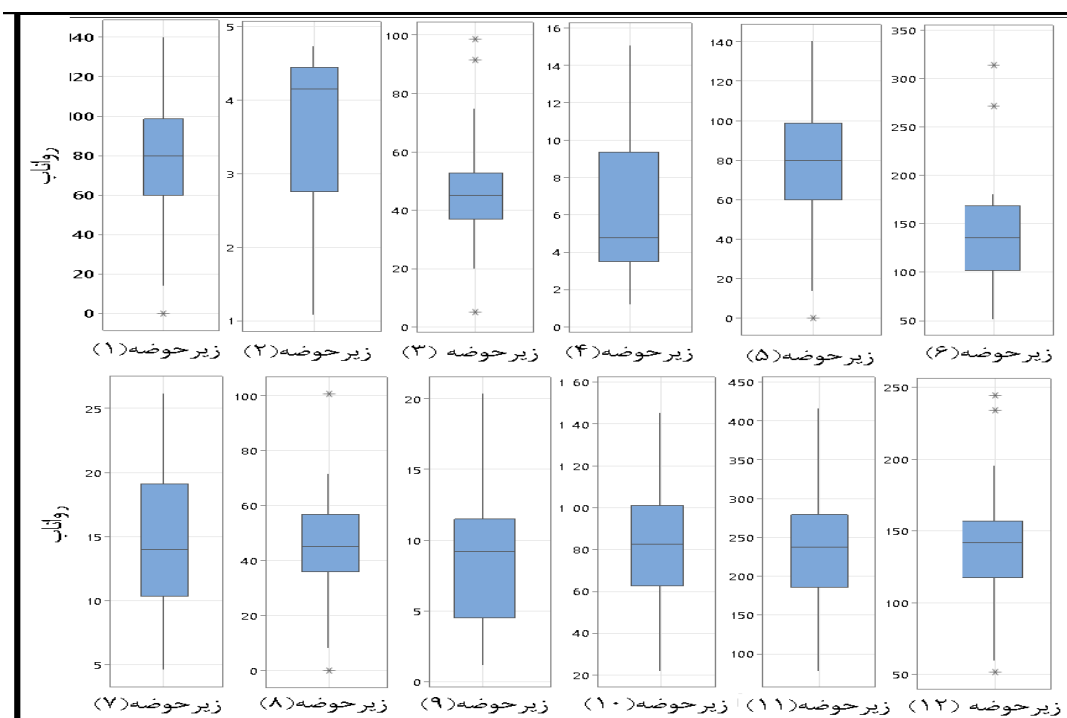
Figure 3: Descriptive characteristics of annual precipitation in the sub-basins of Karoon Basin

جدول ۳- همبستگی بارش ماهانه و سالانه با عوامل جغرافیایی در حوضه آبریز کارون بزرگ

Table 3-Correlation of monthly and annual rainfall with geographical factors in the Karun Bozhar watershed

| عوامل اقلیمی | ژانویه | فور | مار | آوریه | می | جون | جولای | اگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر | سالانه |
|---------------|--------|------|------|-------|------|------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|--------|
| | یه | یه | س | ل | | ی | ست | بر | بر | بر | بر | بر | بر |
| ارتفاع | ۰/۳۱ | ۰/۴۵ | ۰/۵۰ | ۰/۴۳ | ۰/۴۱ | ۰/۳۵ | ۰/۵۶ | ۰/۴۳ | ۰/۳۴ | ۰/۳۵ | ۰/۴۲ | ۰/۳۴ | ۰/۴۱ |
| طول جغرافیایی | ۰/۱۹ | ۰/۳۶ | ۰/۳۳ | ۰/۱۰ | ۰/۱۰ | ۰/۰۷ | ۰/۶۴ | ۰/۶۹ | ۰/۱۳ | ۰/۰۷ | ۰/۲۱ | ۰/۲۳ | ۰/۲۲ |
| عرض جغرافیایی | ۰/۱۶ | ۰/۲۱ | ۰/۳۵ | ۰/۶۲ | ۰/۸۰ | ۰/۷۲ | ۰/۳۱ | ۰/۲۱ | ۰/۴۳ | ۰/۷۱ | ۰/۳۶ | ۰/۱۶ | ۰/۳۰ |
| شیب | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۴ | ۰/۰۹ | ۰/۰۲ | ۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۹ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۵ |
| جهت شیب | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ | ۰/۰۹ | ۰/۰۲ | ۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۸ | ۰/۱۳ | ۰/۱۳ | ۰/۱۴ |

علاوه بر این ضریب تغییرات بالا در حوضه‌های مرتفع ($cv > 30$) نشان دهنده نوسانات و تغییرات مکانی زیاد بارش در ارتفاعات منطقه می‌باشد. این در حالی است که در حوضه‌های کم‌ارتفاع نظیر زیرحوضه‌های (۹)، (۱۰)، (۱۱)، (۱۲) رفتار بارش از تعادل نسبی برخوردار بوده و شاهد تغییرات کم‌تری در رفتار بارش هستیم. براساس نمودارها، در شکل (۴) حوضه‌های مرتفع نظیر (۳)، (۴)، (۵) به سمت زیرحوضه‌های پست به دلیل ورود رواناب حوضه‌های بالا دست به زیرحوضه‌های پایین دست، مقدار متوسط رواناب سالانه افزایش می‌یابد؛ با این وجود میزان تغییرات رواناب در حوضه‌های مرتفع ($cv = 40-60$) بیشتر از حوضه‌های کم‌ارتفاع ($cv = 30-40$) است.



شکل ۴: مشخصات توصیفی رواناب زیرحوضه‌های حوضه آبریز کارون بزرگ

Figure 4: characteristics of the runoff of the sub-basins in Karoon Basin

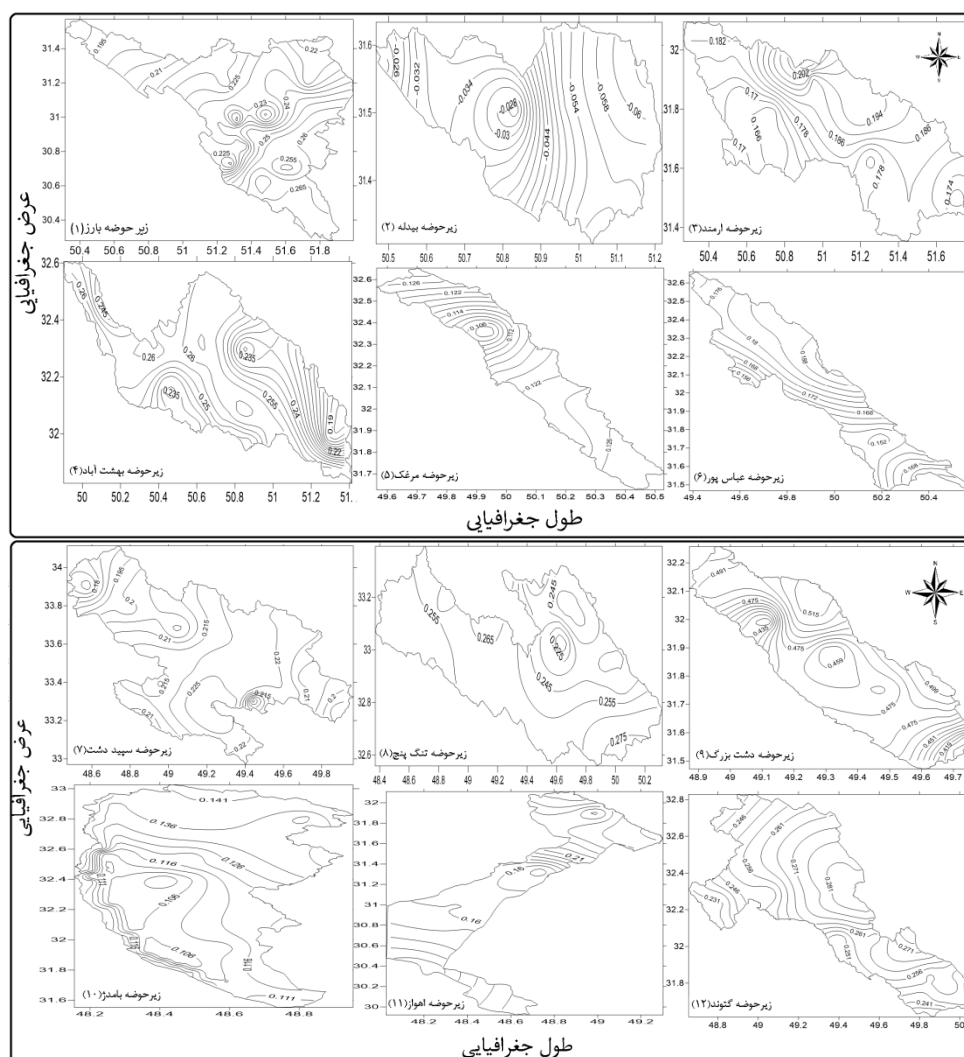
باتوجه به تاثیر عوامل مختلف طبیعی و انسانی بر دبی رودخانه‌ها، دامنه نوسانات دبی نیز در زیرحوضه‌های مختلف از تفاوت چشم‌گیری برخوردار می‌باشد. به طوری که دامنه این نوسانات از ۳-۴ مترمکعب در ثانیه در زیرحوضه ۲ به ۲۷۰-۲۰۰ مترمکعب در ثانیه در حوضه آبریز ۱۱ می‌رسد. ورود آب رودخانه‌ها از حوضه‌ای به حوضه دیگر (به‌عنوان مثال ورود آب زیرحوضه‌های (۱)، (۲)، (۳)، (۴)، (۵) به زیرحوضه (۶)، تغییر ارتفاع زیرحوضه‌ها، حجم آب ورودی به، و خروجی از مخازن سدها به ویژه زیرحوضه‌های (۳) و (۴)، ساختارهای زمین‌شناسی، کاربری‌های مختلف اراضی منطقه، تنوع پوشش گیاهی، شکل زیرحوضه‌ها همگی از عواملی هستند که تغییر میزان دبی هر زیرحوضه را توجیه پذیر می‌کند. به‌عنوان مثال، رفتار رواناب در شکل (۴) در زیرحوضه‌های مرتفع مانند زیرحوضه‌های (۳) و (۴) در مقایسه با زیرحوضه‌های کم ارتفاع نظیر زیرحوضه‌های (۹) و (۱۰) از تفاوت شایان توجهی برخوردار می‌باشد. از بین عوامل یاد شده، مهم‌ترین عامل موثر بر دبی زیرحوضه‌ها را می‌توان عامل طبیعی نظیر ساختار زمین‌شناسی منطقه و عامل انسانی همچون احداث سدها دانست. به‌عنوان مثال حوضه‌های آبریز (۳)، (۴)، (۶) و (۱۲) به دلیل احداث سدهای متعدد^۶ در حوضه‌های بالادست (به محل سدهای احداث شده در شکل ۱) و تعداد سدهای هر زیرحوضه در جدول ۱ توجه کنید) دچار تغییرات دبی بسیار زیادی می‌باشند.

^۶ - شایان ذکر است که بیش از ۵۱ سد در رودخانه‌های حوضه آبریز کارون بزرگ احداث شده است.

زمانی که رفتار بارش درمقام مقایسه با رواناب قرار می‌گیرد، رواناب رفتاری کاملاً متفاوت از بارش داشته است؛ به‌طوری که رواناب بیشتر تمایل به هم‌نواپی با بارش کم‌تر از میانگین دارد. در این شرایط سوال این است که چرا با وجود فراوانی بارش، مقادیر رواناب کاهشی است؟ از یافته‌های پژوهش حاضر چنین استنباط می‌شود که باوجود تاثیر عوامل فیزیکی حوضه بر رواناب، مهم‌ترین عامل موثر در کاهش آب‌دهی رودخانه‌ها، بهره‌گیری نامناسب از مقدار دبی ورودی حوضه‌ها می‌باشد. عملیات انتقال آب بین حوضه‌ای یکی از مهم‌ترین مسایل درحوضه کارون است. به‌عنوان مثال می‌توان به انتقال آب بهشت آباد (زیرحوضه ۴) به زاینده‌رود اصفهان اشاره کرد. گرچه این انتقال برای تامین افزایش تفاضل در بخش کشاورزی، صنعت، برق آبی، خانگی و زیست محیطی انجام می‌گیرد، اما چنین عملیاتی طی سال‌های اخیر با وجود پدیده خشکسالی و بهره‌برداری نادرست از منابع آبی، می‌تواند موجب کاهش حجم مخازن آب‌های زیرزمینی (Naderiyanfar et al., 2009; Knapp et al., 2003) بروز مشکلات زمین‌شناسی محیطی (Jalali et al., 2019) و کاهش حجم جریان‌های سطحی و... شود. به‌عنوان مثال در حوضه آبریز کارون مطالعه (Mahammadi et al., 2020) نشان داد که انتقال آب از سرشاخه‌های کارون به مناطق مرکزی ایران از طریق تونل بهشت آباد (شکل ۱ ج) باعث کاهش آبدهی چشمه‌ها و قنوت در مسیر تونل و بروز پدیده نشست زمین، برهم خوردن تعادل هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستیک و ناپایداری محیط زیست رودخانه‌ها و تالاب‌ها خواهد شد. افزایش شدت مشکلات مربوط به کمبود آب و انتقال آبی در برخی استان‌های کشور از قبیل اصفهان، چهارمحال و بختیاری و خوزستان بارزترین نتیجه چنین اقداماتی است.

رابطه بارش - رواناب

تحلیل روابط بارش - رواناب یکی از مفاهیم ارزشمند و مهم در فهم شرایط آب‌شناختی و مدیریت اراضی حوضه‌های آبریز می‌باشد (Lemma et al., 2018). روابط غیرخطی بارش - رواناب براساس تبدیلات غیرخطی بارش و رواناب محاسبه شده و توزیع مکانی همبستگی غیرخطی بر روی نقشه‌های مربوط ارائه شد. از آن‌جا که روابط حاصل از تبدیل‌های غیرخطی براساس مقادیر مربوط و نیز مقادیر ضریب تعیین آنها (جدول ۳)، تفاوت قابل توجهی با روابط حاصل از همبستگی خطی نداشت، بنابر اصل امساک از ارائه نقشه‌های مربوط به تبدیلات و روابط غیرخطی بین بارش و رواناب پرهیز شد. لذا فقط توزیع مکانی همبستگی خطی بین بارش و رواناب در شکل ۵ ارائه شد. قدرمطلق مقادیر ارائه شده در این شکل‌ها بسیار کم می‌باشد. پیش‌تر بیان شد که شکل و مساحت حوضه، زمین‌شناسی و خاک منطقه، نفوذپذیری یا عدم نفوذپذیری، رطوبت پیشین خاک و بسیاری عوامل فیزیکی دیگر روی رابطه بین بارش و رواناب اثرگذار هستند. همچنین تاثیر عوامل انسانی نظیر سدسازی‌ها، انتقال آب بین حوضه‌ای و تغییر کاربری اراضی همگی بر روی برآورد رواناب تاثیر سوء می‌گذارند. لذا پایین بودن همبستگی و رابطه بین بارش و رواناب را می‌توان با تاثیر عوامل یاد شده مرتبط دانست.

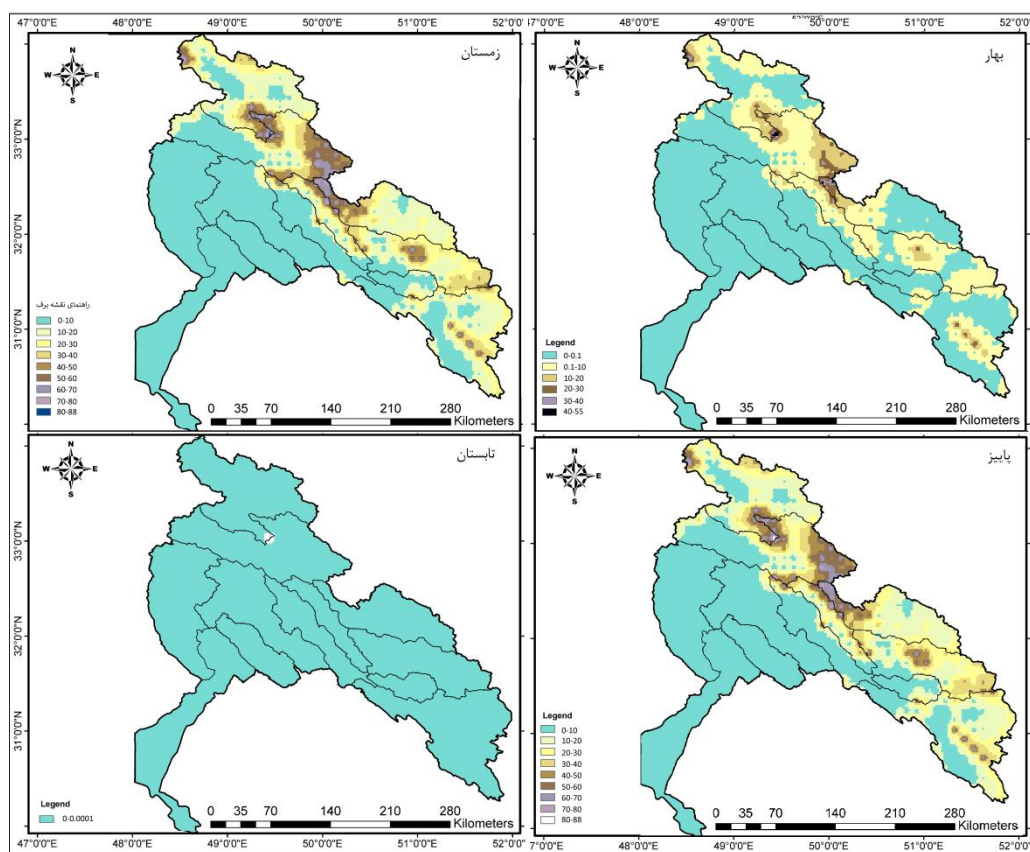


شکل ۵: نقشه‌های همبستگی خطی بارش-رواناب در حوضه‌های ۱۲ گانه کارون

Figure 5: Linear correlation maps of rainfall and runoff in the 12 basins of Karun

توزیع مکانی همبستگی خطی بارش - رواناب در نقشه‌های ارائه شده در شکل ۵ گویای این واقعیت است که با افزایش ارتفاع، رابطه خطی بین بارش و رواناب به شدت کاهش می‌یابد. به صورتی که میزان همبستگی در حوضه‌های مرتفع نظیر زیرحوضه (۱)، (۳) و (۴) نسبت به مناطق پست ضعیف می‌باشد. پیش‌تر نیز بیان شد که بارش بیشترین ارتباط را با ارتفاع نشان می‌دهد (جدول ۳). از این رو با بررسی درصد روزهایی که سطح زمین در فصول مختلف سال پوشیده از برف می‌باشد، نتایجی حاصل شد که در شکل (۶) ارائه شده است. در این شکل، میزان بارش برف و درصد روزهایی که سطح زمین پوشیده از برف می‌باشد، ارائه شده است. به غیر از فصل تابستان، در کلیه فصول سال مناطق مرتفع حداقل از ۱۰ تا ۸۸ درصد روزهای سال پوشیده از برف می‌باشد. از طرف دیگر چنان‌که در شکل (۱ د) دیده می‌شود با افزایش ارتفاع میزان دمای سالانه کاهش می‌یابد و در ارتفاعات به کم‌تر از ۲۰ درجه سلسیوس می‌رسد. از این‌رو می‌توان چنین استنباط کرد که رابطه معکوس بارش - رواناب در ارتفاعات

تحت تاثیر نوع بارش می‌باشد؛ بدین معنی که ریزش برف بیش از آن‌که موجبات شکل‌گیری رواناب را مهیا سازد، ذخیره‌سازی و ذوب را به‌همراه دارد. از این‌رو ضریب همبستگی کم‌تری را نشان می‌دهد. در مقابل بیشترین میزان رابطه خطی بین بارش و رواناب در حوضه‌های پست برقرار است. به‌ویژه حوضه آبریز (۹) که میزان همبستگی به بیش از ۰/۵ می‌رسد. زیرا در این نواحی بارش عمدتاً به شکل مایع رخ می‌دهد.



شکل ۶: درصد روزهای توأم با برف پوش سطح زمین در فصول مختلف سال در حوضه آبریز کارون

Figure 6: percentage of days with snow cover in different seasons in the Karoon basin

در جدول (۴) بیشینه و کمینه مقدار همبستگی‌ها برای ۱۲ زیر حوضه ارائه شده است. براساس این جدول کم‌ترین ارتباط بین بارش و رواناب در حوضه آبریز ۲ و بیشترین میزان همبستگی به ترتیب در حوضه آبریز ۹ با حداکثر ۰/۵۲ و در حوضه آبریز ۱۲ به میزان ۰/۲۸ دیده می‌شود (حوضه‌های پست و هموار). این میزان همبستگی علی‌رغم این‌که معنی‌دار می‌باشد چنان‌که گفته شد، نمی‌تواند روابط بین بارش و رواناب را به‌خوبی نمایان سازد. این ضعف در همبستگی نشان می‌دهد که به‌غیر از بارش، عوامل موثر دیگری نیز روی رواناب اثر گذار می‌باشند. از این‌رو، سایر عوامل نظیر زمین‌شناسی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۴- مقادیر همبستگی خطی و غیرخطی در زیرحوضه های کارون بزرگ

Table 4- Linear and non-linear correlation values in large Karun sub-basins

| مقدار بزرگترین معنی دار (بارش - رواناب) | همبستگی غیرخطی | | | | همبستگی خطی | | | | نام حوضه آبریز |
|--|----------------|-------|---------------|--------|---------------|-------|---------------|--------|----------------------|
| | ضریب تعیین | حداقل | ضریب تعیین | حداکثر | ضریب تعیین | حداقل | ضریب تعیین | حداکثر | |
| ۲-۳ | ۰/۱۰ | ۰/۳۲ | ۰/۱۸ | ۰/۴۳ | ۰/۳۲ | ۰/۱۸ | ۰/۰۷ | ۰/۲۷ | بارزا |
| ۲-۳ | ۰ | ۰/۰۴ | ۰ | ۰/۰۸ | ۰ | -۰/۰۶ | ۰ | -۰/۰۲ | بیدله ۲ |
| ۳-۳ | ۰/۰۶ | ۰/۲۶ | ۰/۱۴ | ۰/۳۸ | ۰/۰۲ | ۰/۱۶ | ۰/۰۴ | ۰/۲۱ | ارمند ۳ |
| ۳-۳ | ۰/۰۵ | ۰/۲۴ | ۰/۶ | ۰/۷۸ | ۰/۰۳ | ۰/۱۸ | ۰/۰۶ | ۰/۲۶ | بهشت اباد ۴ |
| (-۰/۵)-۰/۵ | ۰/۰۷ | ۰/۲۷ | ۰/۱ | ۰/۳۳ | ۰/۰۱ | ۰/۱ | ۰/۰۱ | ۰/۱۲ | مرغک ۵ |
| ۱/۵-۱ | ۰/۰۳ | ۰/۱۸ | ۰/۰۴ | ۰/۲۱ | ۰/۰۱ | ۰/۱۴ | ۰/۰۳ | ۰/۱۹ | عباس پور ۶ |
| ۰/۵-۰/۵ | ۰/۰۷ | ۰/۲۷ | ۰/۱۰ | ۰/۳۳ | ۰/۰۲ | ۰/۱۶ | ۰/۰۵ | ۰/۲۳ | سپید دشت ۷ |
| ۰/۵-۰/۵ | ۰/۰۵ | ۰/۲۴ | ۰/۱۲ | ۰/۳۶ | ۰/۰۴ | ۰/۲ | ۰/۰۷ | ۰/۲۷ | تنگ پنج ۸ |
| ۰/۵-۰/۵ | ۰/۲۴ | ۰/۴۹ | ۰/۳۳ | ۰/۵۸ | ۰/۱۶ | ۰/۴ | ۰/۲۷ | ۰/۵۲ | دشت بزرگ ۹ |
| ۰/۵-۰/۵ | ۰/۰۳ | ۰/۱۸ | ۰/۳ | ۰/۵۵ | ۰ | ۰/۰۹ | ۰/۰۱ | ۰/۱۴ | بامدژ ۱۰ |
| ۰/۵-۰/۵ | ۰/۰۴ | ۰/۲۲ | ۰/۱ | ۰/۳۲ | ۰/۰۱ | ۰/۱۱ | ۰/۰۶ | ۰/۲۶ | اهواز ۱۱ |
| ۱-۱ | ۰/۰۵ | ۰/۲۳ | ۰/۰۹ | ۰/۳۱ | ۰/۰۴ | ۰/۲۲ | ۰/۰۷ | ۰/۲۸ | گتوند ۱۲ |

همان طور که گفته شد یکی از عوامل موثر بر رابطه بارش - رواناب را می‌توان در سازندهای رسوبی - ساختاری حوضه ردیابی نمود. سازندهای زمین‌شناسی حوضه به ۹ گروه دسته‌بندی گردید (شکل ۱ ج). این دسته‌بندی شامل سنگ اهک^۷، رسوبات مخروط افکنه‌ای و تراس‌های قدیمی^۸، سنگ‌های آذرین^۹، کنگلومرا^{۱۰}، لایه‌های مارنی^{۱۱}، سنگ‌های دگرگونی^{۱۲}، رسوبات مخروط افکنه‌ای و تراس‌های جدید^{۱۳}، سازند گورپی و پایده^{۱۴} و رسوبات تفکیک نشده^{۱۵} است. رودخانه‌های حوضه آبریز کارون بزرگ در بخش‌هایی از هر سه زیرپهنه زاگرس رانده، زاگرس چین

⁷ -limestone

⁸ -Old Piedmont Alluvial Fan

⁹ -igneous rocks

¹⁰ -conglomerate

¹¹ -marl layer

¹² -metamorphism rocks

¹³ - new Piedmont Alluvial Fan

¹⁴ -gurpi and pabdeh

¹⁵ -disconformity sedimentary rocks

خورده و دشت‌های زاگرس جاری هستند (Khodabakhshnezhad et al., 2015). آنچه که شرایط زمین‌شناختی حاکم بر زاگرس را با اهمیت می‌کند، حضور انواع سازندهای متفاوت و با مقاومت‌های مختلف در منطقه می‌باشد. از این‌رو تاثیر هر کدام از این سازندها در رواناب قطعاً متفاوت خواهد بود. نقشه تلفیقی توزیع مکانی رابطه بارش - رواناب و توزیع مکانی سازندهای زمین‌شناسی در شکل (۱ ج) ارائه شده است. براساس این شکل، اگرچه حضور بخش‌های آهکی و کارستی و ارتباط بین تخلخلی (تراوایی بالا) با افزایش جذب بارش و کاهش رواناب همراه است و در نتیجه میزان رابطه بارش - رواناب بسیار ضعیف است، اما به‌خوبی می‌توان دید که اختلاف ناچیزی در رابطه بارش - رواناب سازندهای مختلف وجود دارد. بنابراین تشابه سازند ساختارهای متباین به‌لحاظ رابطه بارش - رواناب، نشانه‌ی تاثیر بیش‌تر عوامل متغیر، در قیاس با عوامل ثابت زمین‌شناسی است.

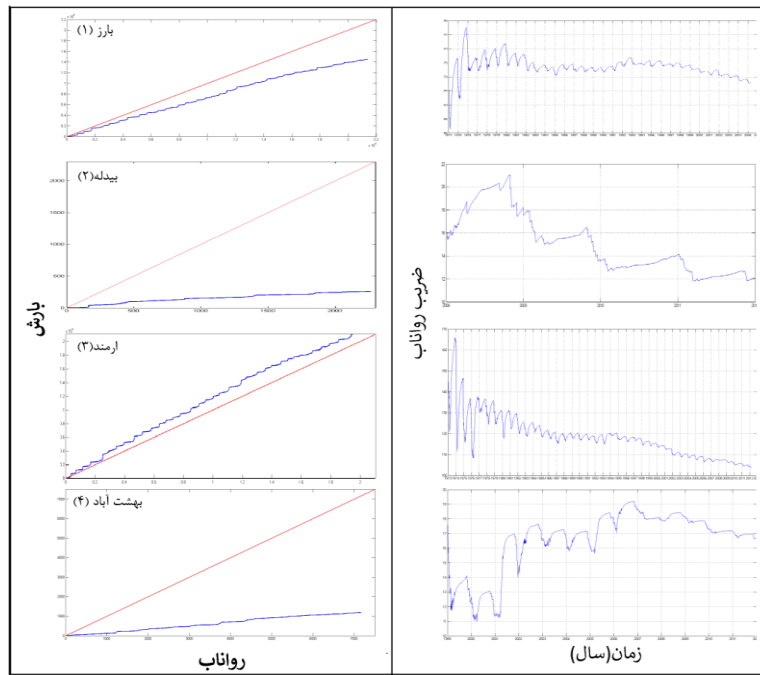
در این شکل دیده می‌شود که در بخش شمال‌غربی و غرب، میزان همبستگی بین بارش و رواناب نسبت به بخش‌های شرقی و شمال‌شرقی بالا بوده و تقریباً ثابت است. چرا که حضور سنگ‌های آذرین و دگرگونی، آذرین، کنگلومرا و رسوبی باعث کاهش میزان نفوذپذیری زمین‌های منطقه شده و مقدار زیادی از بارش دریافتی تبدیل به رواناب شده است. اگر تمامی عوامل را حذف و تنها عامل سنگ‌شناسی (لیتولوژی) را در نظر بگیریم این کاهش نسبی می‌تواند به‌دلیل حضور رسوبات مخروط افکنه‌ای جدید و سست باشد. در بخش میانی (محدوده حوضه‌های آبریز (۵) و (۶)) کاهش میزان همبستگی از شمال به جنوب با حضور بخش‌های مارنی کاملاً قابل توجیه است. همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، وجود لایه‌های رسی مانع از عبور آب درون ساختاری شده و تراوایی را به حداقل می‌رساند. اگرچه بخش‌های پایینی این زیرحوضه‌ها از آهک می‌باشد، اما حضور لایه‌های سخت و نفوذناپذیر در بخش‌های ارتفاعات فوقانی باعث کاهش نفوذپذیری در منطقه شده و رواناب در بخش‌های خروجی این زیرحوضه‌ها از شدت بیشتری برخوردار می‌باشد. در بخش شرقی نیز حضور رسوبات مخروط افکنه‌ای قدیمی سخت شده عامل زمین‌شناختی عمده در افزایش درصد رواناب می‌باشد. البته در این بخش ارتفاع و شیب توپوگرافی نیز نقش غالب را ایفا می‌کند. به‌طور کلی نقش عمده لیتولوژی بر میزان رواناب را می‌توان در حضور سازندهای آذرین در افزایش میزان همبستگی (به علت نفوذناپذیری) و سازندهای آهکی خالص و کارستی را علت کاهش میزان همبستگی (به‌دلیل تراوایی و ضریب تخلخل) دانست.

ضرایب تجمعی رواناب

در شکل (۷- الف) ضریب رواناب تجمعی سالانه و شکل (۷- ب) تناسب رواناب- بارش ارائه شده است. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، ضریب رواناب نسبت بین میزان جریان سطحی (حجم یا ارتفاع) به کل بارندگی است. بر این اساس در این بخش، برای درک حجم کل بارش دریافتی و کل حجم رواناب خروجی، برای هر روز سال از روز اول ژانویه سال اول تا روز آخر آخرین سال طول دوره آماری، مجموع ضرایب رواناب به‌صورت تجمعی (نمودار اجایو) محاسبه شده به‌صورت نمودارهایی در شکل (۷- الف) ارائه شد. همچنین در شکل (۷- ب) مقادیر رواناب در مقابل مقادیر بارش ترسیم گردید تا رابطه بارش روی رواناب آشکار شود. در این نمودارها

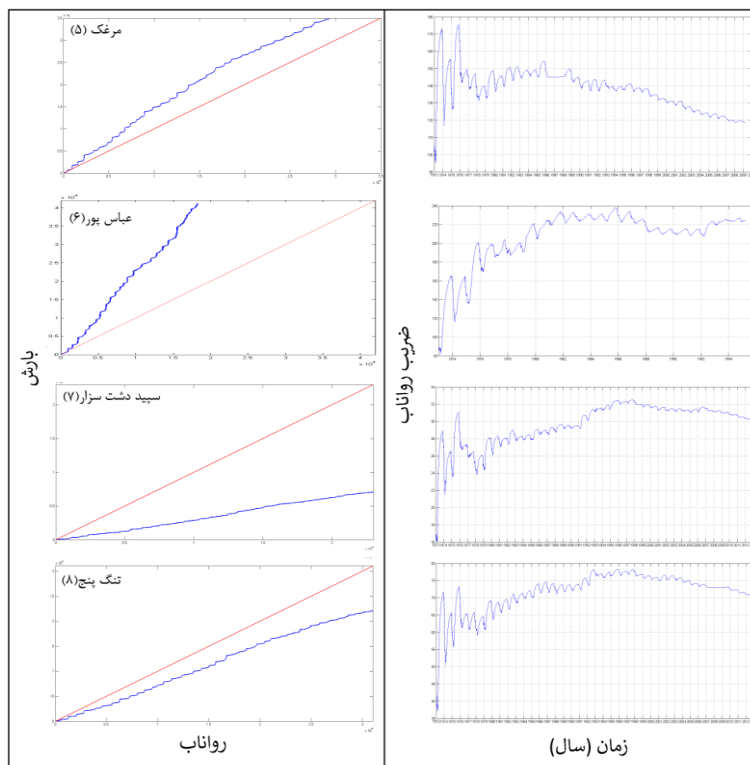
خط صفر (خط تعادل بین بارش و رواناب) با رنگ قرمز ترسیم شده است. این خط شرایط برابری میزان بارش (ورودی) با میزان رواناب (خروجی) حوضه را نشان می‌دهد. اگر میزان رواناب بیشتر (کم‌تر) از بارش باشد، نقاط اتصال رواناب - بارش (نمودار آبی رنگ) در بالای (پایین) خط تعادل قرار می‌گیرد. همان‌طور که گفته شد این نمودارها مقدار بارش دریافتی و نسبت رواناب حاصل از آن را برای کل دوره آماری مورد بررسی نشان می‌دهند (به جدول ۵ توجه کنید).

شکل (۷-ب) یک نمایش کلی از میزان آب ورودی و خروجی زیرحوضه‌ها ارائه می‌دهد. در این اشکال افزایش مقادیر ضریب رواناب در مقاطع زمانی مختلف بدین معنی است که میزان خروجی حوضه بیش از مقادیر بارش دریافتی است. در حوضه‌های آبریز ارمند (۳)، مرغک (۵)، عباس‌پور (۶)، بام دژ (۱۰)، اهواز (۱۱) و گتوند (۱۲) مقدار خروجی بیش از مقدار ورودی حوضه می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۱ ب) مشاهده می‌شود بیشترین تعداد سدهای احداث شده نیز در این زیرحوضه‌ها واقع شده است. حوضه‌های ارمند (۳)، مرغک (۵) و عباس‌پور (۶) نیز جزء زیرحوضه‌های مرتفع در منطقه می‌باشند. لذا می‌توان استنباط کرد که در این زیرحوضه‌ها، به‌غیر از بارش، عوامل دیگری نظیر مخازن سدها، تبخیر (Meijerink, 2005)، تغییرات پوشش گیاهی، ذوب برف‌های ذخیره شده، ورود رواناب حوضه‌های بالادست نیز در مقادیر ورودی زیرحوضه‌ها اثرگذار هستند (Zhang et al., 2010). اما در زیرحوضه‌های، بارز (۱)، بیدله (۲)، بهشت‌آباد (۴)، سپید دشت سزار (۷)، تنگ پنج (۸)، دشت بزرگ (۹) مقادیر خروجی (رواناب) کم‌تر از مقادیر ورودی (بارندگی) است. از آن‌جا که در این زیرحوضه‌ها، دخالت عوامل انسانی نظیر سدسازی نسبت به سایر زیرحوضه‌ها به‌غیر از حوضه آبریز بهشت‌آباد (۴) کم‌تر می‌باشد، همچنین با توجه به شکل (۶) که بیشترین میزان ذخایر برفی کارون در زیرحوضه‌های مزبور می‌باشد، می‌توان گفت که این حوضه‌ها دارای سیستم ذخیره‌ای می‌باشند و آب در آنها به اشکال مختلف ذخیره می‌شود. یکی دیگر از عوامل اثرگذار بر این سیستم ذخیره‌ای را می‌توان عامل زمین‌شناسی منطقه دانست. چرا که حوضه‌هایی که در بالا نام برده شد به‌غیر از حوضه آبریز دشت بزرگ (۹) بقیه زیرحوضه‌ها جزء زیرحوضه‌های مرتفع می‌باشند که اکثراً ارتفاعات آنها از سنگ‌های دگرگونی، کنگلومرا و آذرین تشکیل شده است. اما در خروجی زیرحوضه‌ها عمدتاً سنگ‌های آهکی، مارنی (رس و آهک) و رسوبی واقع شده‌اند که این عامل نیز خود می‌تواند توجهی بر کاهش میزان رواناب در این زیرحوضه‌ها باشد.

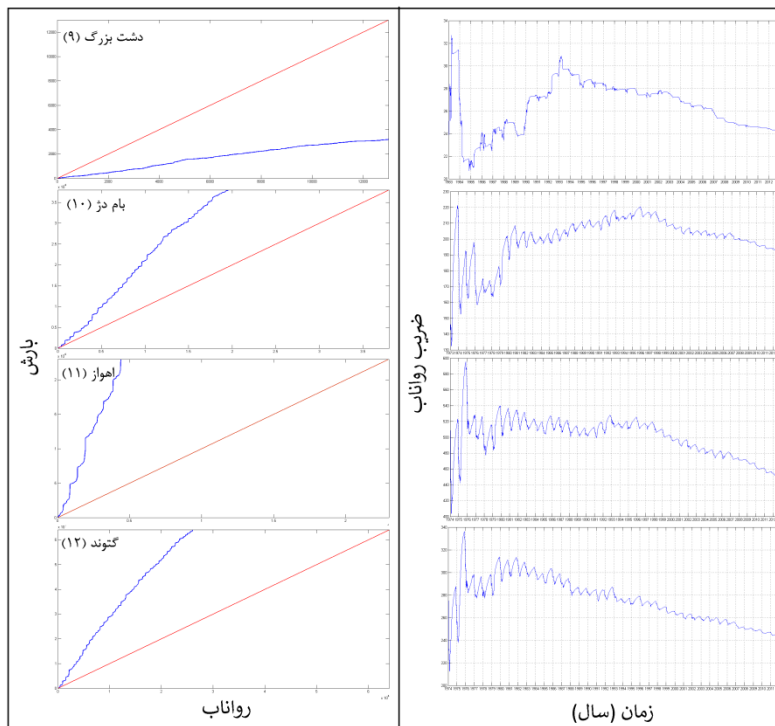


شکل ۷-ب: نمودار بارش - رواناب

شکل ۷-الف: ضریب رواناب تجمعی سالانه



شکل ۷-الف: ضریب رواناب تجمعی سالانه
 شکل ۷-ب: نمودار بارش - رواناب
 Figure7- A: Cumulative annual runoff coefficient
 Figure7-B: proportion of precipitation-runoff



شکل ۷-الف: ضریب رواناب تجمعی سالانه
 شکل ۷-ب: نمودار بارش - رواناب
 Figure7- A: Cumulative annual runoff coefficient
 Figure7-B: proportion of precipitation-runoff

در اشکال (۷-الف)، ضریب رواناب به صورت تجمعی محاسبه و ترسیم شده است. چنان‌که دیده می‌شود رفتار ضریب رواناب در هر کدام از زیرحوضه‌ها متناسب با ویژگی‌های اقلیمی و فیزیکی حوضه متفاوت می‌باشد. در این اشکال، ضرایب رواناب در طول سال در همه زیرحوضه‌ها در اوایل سال افزایش یافته و به مرور زمان در فصل بهار و تابستان به اوج خود می‌رسد. سپس در اواخر سال فروکش می‌کند. این ویژگی احتمالاً از افزایش میزان نزولات جوی یا ذوب برف یا ورود دبی حوضه‌های بالادست متأثر می‌شود. نوسانات سینوسی در کل دوره قابل مشاهده است. به عبارتی بخشی از فصول سال مقادیر ضریب رواناب افزایشی و در بخشی از فصول سال کاهش‌ی است. در اوایل طول دوره آماری به دلیل کمبود داده یا عدم وجود داده‌های مطمئن، ضرایب رواناب از نوسان بسیار زیادی برخوردار می‌باشند. اما با گذر زمان و افزایش طول دوره آماری بر میزان ثبات و اعتماد بر این ضرایب افزوده می‌شود. از ویژگی‌های بارز ضرایب رواناب که قابل مشاهده می‌باشد می‌توان به نوسانات بلند مدت و روندهای متفاوت آن در طول زمان در زیرحوضه‌های مختلف اشاره کرد. از مهم‌ترین ویژگی‌های قابل توجه، سیر صعودی نسبت رواناب به بارش در چند زیرحوضه شامل بهشت آباد (۴)، عباس پور (۶)، سپید دشت (۷) و تنگ پنج (۸) می‌باشد. شایان ذکر است که زیرحوضه‌های مزبور جزء حوضه‌های مرتفع و کوهستانی کارون با وضعیت زمین‌شناسی تقریباً نفوذ ناپذیر می‌باشند. لذا می‌توان گفت در این زیرحوضه‌ها هم بارش مناسب دریافت می‌شود هم

ذخایر برفی مناسبی دارند. هم رواناب قابل توجهی ایجاد می‌گردد. البته در مورد زیرحوضه عباس پور (۶) به دلیل کوتاه بودن طول دوره آماری و عدم دسترسی به داده‌های سال‌های اخیر، نمی‌توان با قاطعیت چنین نظری داشت. در حوضه آبریز بهشت آباد (۴) با وجود سدهای زیادی که احداث شده است (جدول ۱) و همچنین انتقال آب از سرشاخه‌های رودخانه‌های موجود در این حوضه با استفاده از تونل‌های بزرگی که احداث شده است (شکل ۱ ج) همچنان از رواناب مناسبی برخوردار می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر این است که رفتار عمومی ضریب رواناب در اکثر زیرحوضه‌ها در طول زمان کاهش نشان می‌دهد. به عبارتی ضریب رواناب در عین حال که در داخل سال‌ها نوسان دارد در طول زمان نیز روندی کاهشی داشته است.

جمع بندی:

مقدار رواناب در یک حوضه آبریز با مقدار بارش و سایر عوامل جغرافیایی نظیر ارتفاع، پوشش گیاهی، جنس زمین و... رابطه آشکاری دارد. در این راستا در پژوهش حاضر سعی بر این بود که این نوع روابط مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج مطالعه نشان داد که حوضه‌هایی که در ارتفاع بالای ۲۰۰۰ متر قرار دارند از تغییرات زمانی و مکانی بارش و رواناب بیشتری برخوردار می‌باشند. با افزایش ارتفاع رابطه خطی بین بارش و رواناب به شدت کاهش می‌یابد. این ویژگی نشان می‌دهد که به غیر از بارش، سایر عوامل نیز روی رواناب اثرگذار هستند. به عنوان مثال حضور سازندهای آذرین به دلیل نفوذناپذیری باعث افزایش همبستگی و سازندهای آهکی و کارستی به دلیل تخلخل بالا باعث کاهش همبستگی شده است. نتایج مطالعات (Farzi et al (2016 نیز تایید می‌کند که زمین شناسی یکی از مهم ترین عوامل موثر بر تغییرات دبی کارون می‌باشد.

مهم ترین ویژگی بارز ضرایب رواناب، نوسانات بلندمدت و روندهای متفاوت آن در طول زمان در زیرحوضه های مختلف است. همچنین نشان داده شد که عموماً ضریب رواناب در اکثر زیرحوضه‌ها در طول زمان کاهش یافته است. به عبارتی ضریب رواناب در عین حال که در داخل سال‌ها نوسان دارد در طول زمان نیز روندی کاهشی داشته است. در نهایت باید گفت که باوجود تاثیر عوامل فیزیکی حوضه بر رواناب، مهم ترین عامل موثر در کاهش آب‌دهی رودخانه‌ها، فعالیت های انسانی نظیر سدسازی، تغییر کاربری‌های اراضی و بهره برداری نادرست از منابع آبی نظیر عملیات انتقال آب بین حوضه ای می‌باشد.

پرواضح است که تغییرات میزان بارش و رواناب و تغییر روابط بین آنها می‌تواند اثرات مهمی بر چرخه هیدرولوژیکی و منابع آب داشته باشد با توجه به اینکه رواناب عمدتاً تحت تاثیر فعالیت های انسانی قرار گرفته است، دولت باید تلاش کند تا برنامه مسنجمی برای ذخیره و بهره برداری مناسب از رواناب ها ارائه داده و مردم را نسبت به صرفه جویی در آب و بهبود مصرف آب، تنظیم ساختار کشت و تسهیل و رواج استفاده از فن آوری های کارآمد آبیاری تشویق و حمایت نماید تا بهره برداری پایدار از منابع آب تحقق یافته و توسعه متوازن محیط زیستی، اجتماعی - اقتصادی و اکولوژیکی در کل حوضه صورت گیرد.

منابع

- Aalami, MT. ,& Hosseinzadeh, H. (2010). Modeling rainfall-runoff process in Lighvan Chai basin using conditional threshold temperature neuron. **water and soil science**, 20, 97-110. [In Persian]
- Arshadi, M.,& Bagheri, A.(2014). A system dynamic approach to sustainability analysis in Karun river basin, Iran. **Iran Water Resources Research**, 9, 1-13.[In Persian].
- Aghdam,J.A., Zare,M., Capaccioni, B., Raeisi, P.,& Forti,P.(2012). The Karun River waters in the Ambal ridge region (Zagros mountain Range, southwestern Iran). **Carbonates Evaporites** , 27,251–267
- Asakereh,H.(2007). Spatio – temporal changes of Iran inland precipitation during recent decades.**Geography and development**, 10, 145-164. [In Persian].
- Asakereh,H.(2011). **Basics of statistical climatology**, Zanjan University Press:Zanjan, Iran.pp544[In Persian].
- Asakereh,H., Masoodian,S.M.,& Tarkarani,F.(2021). A Discrimination of roles of internal and external factors on the decadal variation of annual precipitation in Iran over recent four decades . 53, 91-107. [In Persian].
- Asghari,A.,& Rahimzadeh,F.(2007). Studying the variability of rainfall in recent decades in Iran. **Geographical Research Quarterly**, 38, 1568-1582. [In Persian].
- Alizadeh,A. (2019). **Principles of applied hydrology**, Mashhad : Publications of Imam Reza International University,pp941.[In Persian].
- Asakereh,H.,& SeifiPour, Z. (2012). Spatial modeling of annual precipitation in Iran. **Geography and Development**, 29 ,15-30. [In Persian].
- Binesh ,N., Niksokhan, MH.,& Sarang,A.(2017). A study of the effect of rainfall variability on Darakeh river flow rate during 1989-2012. **ECO Hydrology**, 3, 465-476. [In Persian].
- Box, G. EP.,& Cox, DR. (1964) .An analysis of transformations. **J R Stat Soc B**. 26(2),211–252.
- Berhane, S., Zmadim, B., & Melesse, A. M. (2016). Rainfall–runoff processes and modeling: The case of Meja watershed in the upper Blue Nile basin of Ethiopia. In Landscape dynamics, soils and hydrological processes in varied climates. Springer Pub: Cham. pp. 183-206.
- Chen, J., Wu, X., Finlayson, B. L., Webber, M., Wei, T., Li, M., & Chen, Z. (2014). Variability and trend in the hydrology of the Yangtze River, China: Annual precipitation and runoff. **Journal of Hydrology**, 513, 403-412.
- Dhakal, N., Fang, X., Cleveland, T. G., Thompson, D. B., Asquith, W. H., & Marzen, L. J. (2012). Estimation of volumetric runoff coefficients for Texas watersheds using land-use and rainfall-runoff data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 138(1), 43-54.

- Dehghani, M., Saghafian, B., Rivaz, F., & Khodadadi, A. (2015). Monthly stream flow forecasting via dynamic spatio-temporal models *Stoch Environ Res Risk Assess.* 29:861–874.
- Farzi, P., Azarakhshi, M., Rasoulzadeh, A., & Bashiri, M. (2016). The Effects of geological units' characteristics and slope gradient on runoff and sediment yield using rainfall simulator (Case study: Senobar Watershed, Torbat-e-Heidarieh). **Journal of Range and Watershed Management**, 69, 437-447. [In Persian].
- Giorgio, G., Carletti, A., & Pittalis, D. (2014). Runoff coefficient and average yearly natural aquifer recharge assessment by physiography-based indirect methods for the island of Sardinia (Italy) and its NW area (Nurra). **Journal of Hydrology**, 519, 1779-1791.
- Huntington, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. **Journal of Hydrology**, 319(1-4), 83-95.
- Hashemifard, A., Kardavani, P., Asadian, F. (2018). Analysis of the effects of pollutants at the source of (Between Gotvand dam to Ahwaz). **Journal of Regional Planning**, 30, 146-155. [In Persian].
- Jahanbakhsh Asl, S., Asakereh, H., & Ashrafi, S. (2020). Downscaling the relationship between the precipitation and runoff of the Zard basin in the climate change context. **Hydrogeomorphology**, 21, 109-132. [In Persian].
- Jahanbakhsh Asl, S., Rezaee Banafshe, M., Rostamzadeh, H., Aalinejad, M. H. (2018). Continuous simulation of rainfall-runoff of Shahrchay basin of Urmia using HEC-HMS model. **Hydrogeomorphology**, 16, 101-118. [In Persian].
- Jahangir, A. R., Raeini, M., & Ziatabar Ahmadi, M. (2008). Comparison of artificial neural networks (ANN) simulation of rainfall-runoff process with HEC-HMS model in Kardeh watershed. **Journal of Water and Soil**, 22, 72-84. [In Persian].
- Jalali, L., Zarei, M., & Gutiérrez, F. (2019). Salinization of reservoirs in regions with exposed evaporites. The unique case of Upper Gotvand Dam Iran. **Water Research**, 157, 587-599.
- Justino Flavio, A., De Melo, S., Setzer, A., Sedyama, G. C., Ribeiro, G. A., Machado J. P., & Sterl, A. (2010). "Greenhouse gas induced changes in the fire risk in Brazil in ECHAM5/MPI-OM coupled climate model". **Climatic Change**, 106, 285–302.
- Keikhosravi Kiany, M. S., Balling, C. R., Randall, Jr., Cerveny Daniel, S., & Krahenbuhl, S. (2018). Diurnal variations in seasonal precipitation in Iran from TRMM measurements. **Advances in Space Research**, 62, 2418–2430.
- Knapp, K. C., Weinberg, M., Howitt, R., & Posnikoff, J. F. (2003). Water transfers, agriculture, and groundwater management: a dynamic economic analysis. **Journal of Environmental Management**, 67, 291–301.
- Kamal, A. R., & Massah Bavani, A. R. (2010). Climate change and variability impact in basin's runoff with interference of two hydrology models uncertainty. **Journal of Water and Soil**, 24, 920-931. [In Persian].
- Khodabakhshnezhad, A., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A., & Charchi, A. (2015). Active tectonics of great Karoun river basin. **Scientific Quarterly Journal of Geosciences**, 95, 13-28. [In Persian].

- Li, B., Liang, Z., Zhang, J., Wang, G., Zhao, W., Zhang, H., & Hu, Y. (2018). Attribution analysis of runoff decline in a semiarid region of the Loess Plateau, China. **Theoretical and applied climatology**, 131(1), 845-855.
- Lemma, T. M., Gessesse, G. D., Kassa, A. K., & Edossa, D. C. (2018). Effect of spatial scale on runoff coefficient: Evidence from the Ethiopian highlands. **International Soil and Water Conservation Research**, 6(4), 289-296.
- Labat, D., Godd ris, Y., Probst, J. L., & Guyot, J. L. (2004). Evidence for global runoff increase related to climate warming. **Advances in water resources**, 27(6), 631-642.
- Lavado Casimiro, W. S., Ronchail, J., Labat, D., Espinoza, J. C., & Guyot, J. L. (2012). Basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969–2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages. **Hydrological Sciences Journal**, 57(4), 625-642.
- Lowry, R. (2007). Is risk itself a climate-related harm? "**Climatic Change**, 10, 105-116 .DOI 10.1007/s10584-010-9960-0.
- Liu, J., Gao, G., Wang, S., Jiao, L., Wu, X., & Fu, B. (2018). The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. **Journal of Geographical Sciences**, 28(1), 59-78.
- Merz, R., Blöschl, G. (2009). A regional analysis of event runoff coefficients with respect to climate and catchment characteristics in Austria. **Water Resources Research**, 103, 835-848. doi:10.1029/2008WR007163.
- Meijerink, A. M. J., Gieske, A. S. M., & Vekerdy, Z. (2005). Surface energy balance using satellite data for the water balance of a traditional irrigation—wetland system in SW Iran. **Irrigation and Drainage Systems**, 19(1), 89-105.
- Movahed danesh, A.A. (2013). **The hydrology of the Surface Waters of Iran**, Samt: Tehran. pp 384. [In Persian].
- Mohamadi, H.R., Hakimi Khorram, A., & Ahmadi, E. (2020). Feasibility study of the implementation of inter-basin water transfer projects in Iran (Case study: Beheshtabad Central Plateau Water Transfer Project), 51, 1073-1092. [In Persian].
- Nouri, Z., Talebi, A., & Ebrahimi, B. (2020). Analysis of effect of the climate parameters change on runoff and evapotranspiration of Mehrgerd watershed. **Journal of Water and soil**, 69, 225-239. [In Persian].
- Naderianfar, M., Ansari, H., Ziaie, A., & Davary, K. (2011). Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour, **Journal of Irrigation and Water Engineering**, 3, 22-37. [In Persian].
- Norbiato, D., Borga, M., Merz, R., Blöschl, G., & Carton, A. (2009). Controls on event runoff coefficients in the eastern Italian Alps. **Journal of Hydrology**, 375(3-4), 312-325.
- Pandit, A., & Gopalakrishnan, G. (1996). Estimation of annual storm runoff coefficients by continuous simulation. **Journal of irrigation and drainage engineering**, 122(4), 211-220.
- Pandey, P. K., Tripura, H., & Pandey, V. (2019). Improving prediction accuracy of rainfall time series by hybrid SARIMA–GARCH modeling. **Natural Resources Research**, 28(3), 1125-1138.
- Razzaghian, H., Shahedi, K., Habib Nejad Roshan, M. (2017). Evaluation of the climate change effect on Babol-rood watershed runoff using IHACRES model. **Journal of Irrigation and Water Engineering**, 26, 159-172. [In Persian].

- Saymohammadi, S., Zarafshani, K., Tavakoli, M., Mahdizadeh, H., and Amiri, F. (2017). " Prediction of climate change induced temperature & precipitation: The case of Iran. " **Sustainability** , 9, 146-158; doi:10.3390/su9010146.
- Sanikhani, H., Dinpazhoh, Y., & Ghavidel, S.Z. (2014). The impacts of climate change on runoff in watersheds (case study: Ajichay watershed in East Azerbaijan Province, Iran), **Water and soil**, 276, 1226-1234. [In Persian].
- Singh, A., Malik, A., Kumar, A., & Kisi, O. (2018). Rainfall-runoff modeling in hilly watershed using heuristic approaches with gamma test. **Arabian Journal of Geosciences**, 11(11), 1-12
- Salajegheh, A., Fathabadi, A., & Mahdavi, M. (2009). Investigation on the efficiency of neuro-fuzzy method and statistical models in simulation of rainfall-runoff process, **Journal of Range and Watershed Management**, 62(1), 32-50. [in Persian].
- Shen, Y. J., Shen, Y., Fink, M., Kralisch, S., Chen, Y., & Brenning, A. (2018). Trends and variability in streamflow and snowmelt runoff timing in the southern Tianshan Mountains. **Journal of Hydrology**, 557, 173-181.
- Tozer, B. D. T., Sandwell, W. H., Smith, F., Olson, C., Beale, R., & Wessel, P. (2019). " Global bathymetry and topography at 15 Arc Sec. **Earth and Space Science**, 10, 1797-2041.
- Villar, J., & Krosnick, A. (2010). " Global warming vs. climate change, taxes vs. prices: Does word choice matter? " **Climatic Change**, 105, 1-12.
- Vlickova, M., Nechvatal, M., and Soukup, M. (2009). Annual runoff coefficient in the Cerhovicky Stream catchment. **Journal of Water and Land Development**. 13b, 41-56.
- Wang, J., Li, Z., Yao, W., & Dong, G. (2017). Influence of vegetation on runoff and sediment in wind-water erosion crisscross region in the upper Yellow River of China. **Chinese Geographical Science**, 27(4), 569-576.
- Xu, J. (2015). Complex response of runoff-precipitation ratio to the rising air temperature: the source area of the Yellow River, China. **Regional Environmental Change**, 15(1), 35-43.
- Xu, K., Milliman, J. D., & Xu, H. (2010). Temporal trend of precipitation and runoff in major Chinese Rivers since 1951. **Global and Planetary Change**, 73(3-4), 219-232.
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghasemi, H. R., Zakizadeh, H. R., & Tabibian, S. (2018). Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran). **Geomorphology**, 304, 30-39.
- Yousefi, S., Pourghasemi, H. R., Hooke, J., Navratil, O., & Kidová, A. (2016). Changes in morphometric meander parameters identified on the Karoon River, Iran, using remote sensing data. **Geomorphology**, 271, 55-64
- Zarenistanak, M., Amit, G., Dhorde, L., & Kripalani, R. H. (2014). " Trend analysis and change point detection of annual and seasonal precipitation and temperature series over southwest Iran ". **J. Earth Syst. Sci.** 123(2), pp. 281-295.
- Zhang, X., Harvey, K., Hogg, W. D., & Yuzyk, T. R. (2001). Trends in Canadian streamflow. **Water Resour Res**, 37(4), 987-998
- Zhang, Y., Xia, J., Liang, T., & Shao, Q. (2010). Impact of water projects on river flow regimes and water quality in Huai River Basin. **Water Resources Management**, 24(5), 889-908.

- Zuazo, V. H. D., & Pleguezuelo, C. R. R. (2009). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. **Sustainable agriculture**, 28, 785-811.
- Zhao, L., Liang, X., & Wu, F. (2014). Soil surface roughness change and its effect on runoff and erosion on the Loess Plateau of China. **Journal of Arid Land**, 6(4), 400-409

Climatic-Comparative Approach on the Relationship between precipitation - Runoff in Karun Sub-basins

Robab Razmi¹, Hossein Asakereh². Abolfazl Masoodian³

1- Department of Geography, Zanjan University, Zanjan, Iran

2- Department of Geography, Zanjan University, Zanjan, Iran

3- Department of Geography, Isfahan University, Isfahan, Iran

The relationship between precipitation and runoff is affected by climate change. The complex process of precipitation-runoff relationship in each catchment area is controlled by numerous factors in the time and place dimension. Among the most important factors affecting surface

runoff are precipitation type and intensity, ground surface vegetation, catchment area, Land slope and soil type. Therefore, studying the relationship between precipitation and runoff is one of the complex studies and one of the most important and fundamental issues in the study of surface water hydrology.

Data and Methods

Data:

In this study, several groups of data, information and observations were gathered with the aim of investigating the relationship between precipitation and runoff, and investigating their temporal changes and spatial diversity: a geological map with a scale of 1:1000000, Digital Elevation Model (*DEM*), Daily precipitation observations, Daily discharge data of 12 hydrometric were used.

Methods

Based on available data, this study was conducted in several stages. Quality control of observations was performed in terms of missing observations. This basin was divided into 12 smaller sub-basins. The present study investigated the relationship between runoff and precipitation with the assumption that the effect of physical factors is constant. Runoff coefficient of Karun sub-Basins was calculated. Runoff coefficient is the ratio of runoff (*R*) to precipitation (*P*) of the basin and can be expressed by the following relationship: In the final stage, cumulative coefficients of precipitation and runoff and its temporal-spatial -patterns were calculated.

Results:

Runoff in a catchment area has direct relationship with precipitation and other geographical factors such as altitude, vegetation, land genus, etc. In this study, we tried to evaluate these relationships in several sections using statistical-graphical techniques and GIS using discharge data of hydrometric stations and regional precipitation as well as geological data of the region in the Karun river Basin. Accordingly, the results of this study showed that the height of the region has the greatest impact on precipitation during different months and seasons of the year. Also, as altitude has a direct impact on precipitation and runoff, it also has a great impact on the relationships between these two elements.