نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۱، شماره ۲، ۱۳۹۸، صفحات ۳۸۱-۳۹۱

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 11, Issue 2, 2019, Pages 381-391
DOI: 10.22092/ijwmse.2019.118759

مقایسه تغییرات پاسخ هیدرولوژیکی آبخیزهای استان اردبیل با استفاده از چندضلعی‌های بارش-رواناب

رئوف مصطفی‌زاده*[1] و سونیا مهری[2]

[1] استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی و [2] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۹

چکیده

رابطه بارندگی-رواناب یکی از مهمترین و پیچیده‌ترین فرایندهای هیدرولوژیکی در درک ارزیابی پاسخ هیدرولوژیک آبخیزها است. در این مطالعه، روابط بارش و رواناب حوضه‌های استان اردبیل به‌منظور تحلیل تغییرات مکانی پاسخ حوضه با استفاده از چندضلعی‌های بارش-رواناب در مقیاس زمانی ماهانه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، تغییرات بارش و رواناب در مقیاس ماهانه در یک دوره ۲۲ ساله از سال ۱۳۹۰-۱۳۶۸ در ۲۰ ایستگاه هیدرومتری و ۲۵ ایستگاه باران‌سنجی در استان اردبیل مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه ضریب رواناب ایستگاه‌ها نشان داد که بیشترین ضریب رواناب، مربوط به ایستگاه دوست بیگلو با ضریب ۳۳ درصد می‌باشد. بر اساس تحلیل پلی‌گون‌های بارش-رواناب، آبخیزهای ارباب‌کندی، پل الماس، سامیان و دوست بیگلو دارای تغییرات بالای ضریب رواناب هستند. همچنین حوضه‌های شمس‌آباد، کوزه‌تپراقی و احمدکندی دارای رفتار و واکنش هیدرولوژیک مشابه و یکنواخت از نظر تولید رواناب هستند. بر اساس رابطه میان ضریب رواناب و مساحت در ماه‌های سال، بالاترین همبستگی در ماه اسفند با مقدار ضریب ۰/۹۲ مشاهده شد و کمترین مقدار ضریب در مرداد ماه نشان داد که بین مساحت و ضریب رواناب همبستگی وجود ندارد. بیشترین ضریب تغییرات رواناب مربوط به ایستگاه دوست بیگلو با چندضلعی کشیده در راستای هر دو محور طولی و عرضی است. نتایج درصد ضریب رواناب در ماه‌های مختلف نشان داد که در دو ایستگاه هیر و احمدکندی بیشترین ضریب رواناب در ماه‌های تیر تا شهریور است و مربوط به تأخیر زمانی در تولید رواناب مرتبط است. بر اساس نتایج، چندضلعی بارش و رواناب روشی مناسب برای مقایسه پاسخ هیدرولوژیکی و تغییرات رابطه بارش-رواناب در حوزه‌های آبخیز می‌باشد. قابل ذکر است که وجود رفتار پیچیده آبخیز در فرایند بارش-رواناب باعث ایجاد پلی‌گون‌های نامنظم شده است که تفسیر آن‌ها دشوار بوده، نیازمند تحلیل‌های بیشتری از خصوصیات حوضه و عوامل موثر بر آن در مطالعات آتی و سایر مناطق کشور است.

واژه‌های کلیدی: ضریب رواناب، واکنش هیدرولوژیک، تغییرات زمانی و مکانی، تغییرات هیدرواقلیم

مقدمه

رواناب سطحی یکی از مهمترین اجزاء چرخه هیدرولوژیکی و جریان رودخانه‌ای و یکی از مهمترین منابع آبی است که برای مصارف کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی حائز اهمیت می‌باشد (Sharifi و همکاران، ۲۰۰۴). برآورد رواناب ناشی از بارش نه تنها در

* مسئول مکاتبات: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

مدیریت و بهره‌برداری صحیح از حوضه با اهمیت است، بلکه در کاهش خسارات ناشی از سیلاب نیز نقش موثری ایفا می‌کند. در بسیاری از آبخیزها وجود ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی، تحلیل رابطه بارش-رواناب و تغییرات مکانی رواناب خروجی را امکان‌پذیر نموده است. با تحلیل رابطه بارش-رواناب و مقایسه بیشینه دبی ناشی از بارش‌های مختلف، امکان پیش‌بینی طغیان‌ها و نیز مقایسه واکنش آبخیزها فراهم می‌شود (Jafari و همکاران، ۲۰۰۹؛ Bahremand و Mostafazadeh، ۲۰۱۰؛ Tetzlaff و همکاران، ۲۰۰۸). بارش به‌عنوان یکی از موثرترین مولفه‌های هیدرولوژیک دارای تغییرات زمانی و مکانی است. همچنین خصوصیات متفاوت توپوگرافی، نوع خاک و کاربری اراضی در مناطق مختلف باعث ایجاد تغییر در پاسخ هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز می‌شود (Mostafazadeh و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر این، کمیت رواناب ناشی از وقوع بارش بستگی به عوامل متعددی از جمله شرایط رطوبتی اولیه و خصوصیات بارش نظیر مقدار بارش، شدت بارش و تداوم آن دارد (McCuen، ۱۹۹۸؛ Raghunath، ۲۰۰۶؛ Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۶). ارتباط بارش-رواناب و نیز مقایسه درصد ضریب رواناب در آبخیزهای مختلف امکان مقایسه پاسخ هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز فراهم می‌آورد (Abdollahzadeh و همکاران، ۲۰۱۶). پاسخ آبخیز به‌وسیله درجه فصلی بودن جریان، حجم، شدت، فراوانی و مدت بارندگی و رواناب مشخص می‌شود (Tetzlaff و همکاران، ۲۰۱۰). فصلی بودن جریان به‌عنوان یک خصوصیت مهم، برای اهدافی همچون گروه‌بندی آبخیزها و تعمیم نتایج مطالعات می‌تواند در تعیین مناطق مشابه با پاسخ هیدرولوژیک یکسان مورد استفاده قرار گیرد (Castellarin و همکاران، ۲۰۰۱؛ Laaha و Bloschl، ۲۰۰۶؛ Parajka و همکاران، ۲۰۰۹). در این راستا، چندضلعی‌های بارش و رواناب[1] که بیانگر ارتباط و تغییرات بارش و رواناب در مقیاس ماهانه است، می‌تواند ابزار مناسبی در تحلیل رفتار هیدرواقلیمی آبخیزها باشد. Sivakumar و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از روش همبستگی ابعادی و تحلیل داده‌های ماهانه بارش، رواناب و ضریب رواناب در آبخیز گوتا در سوئد، به بررسی وجود نوسانات فصلی در داده‌های مشاهداتی پرداختند و بیان نمودند که تغییرات ضریب رواناب ناشی از تغییرات بارندگی و رواناب است. همچنین، روش‌های غیر خطی را برای بیان بهتر تغییرات ضریب رواناب در اثر دو مولفه بارش و رواناب توصیه کردند. Kadioglu و Sen (۲۰۰۱) تغییرات ماهانه ضریب رواناب در تعدادی از آبخیزهای اطراف استانبول ترکیه را با استفاده از پلی‌گون‌های بارش-رواناب مورد مطالعه قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند که روش مورد استفاده روش موثری در تبیین تبدیل بارش-رواناب در آبخیزهای مورد مطالعه است. Sen (۲۰۰۳) در مطالعه تغییرات ضریب رواناب سالانه و ماهانه در شش حوضه اطراف استانبول در ترکیه با استفاده از چندضلعی بارش-رواناب به این نتیجه رسید، با استفاده از چندضلعی بارش-رواناب، می‌توان تغییرات کمی ضریب رواناب، و همچنین بر اساس شکل چندضلعی تاثیرپذیری تغییرات رواناب ناشی از بارش را ارزیابی نمود. Ali و همکاران (۲۰۱۴) برای تحلیل فصلی فرایندهای هیدرولوژیکی در ۱۰ حوضه دارای شیب آب و هوایی معتدل شمالی کانادا از چندضلعی بارش-رواناب برای مقایسه و گروه‌بندی حوضه‌ها استفاده کردند و نتایج مطالعه ایشان نشان داد که استفاده از ضریب رواناب برای نشان دادن تفاوت بین ۱۰ حوضه بسیار موثر بوده، خصوصاً در ارزیابی میزان بارش و رواناب و تفسیرهای کمی و کیفی در خصوص دینامیک غالب تولید رواناب در هر حوضه بسیار مفید بوده است. Gandomkar و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی، وضعیت بارش در حوضه گوجان و رابطه آن با رواناب در منطقه پرداختند. نتایج نشان داد که در این حوضه ذخیره آبی ماهانه و سالانه وجود دارد. بر اساس محدودیت سوابق تحقیق در خصوص استفاده از تکنیک چندضلعی‌های بارش-رواناب، تحقیق حاضر با هدف تحلیل‌های مقایسه‌ای رفتار هیدرولوژیک آبخیزها انجام شده است. استفاده از چندضلعی دارای مزیت‌های قابل توجهی نسبت به استفاده از ضریب

[1] Precipitation-Runoff Polygons

رواناب[1] (نسبت بین رواناب و بارش ماهانه) دارد، در این راستا می‌توان به امکان مقایسه ضرایب رواناب در ماه‌های مختلف اشاره کرد. همچنین، مقایسه همزمان چندضلعی بارش-رواناب می‌تواند اطلاعاتی را در مورد مقدار رواناب، تغییرات ضریب رواناب نسبت به زمان و تفسیر کیفی و کمی پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز ارائه می‌دهد (Kadioglu و Sen، ۲۰۰۱؛ Ali و همکاران، ۲۰۱۴). هدف از این مطالعه، تحلیل تغییرات پاسخ هیدرولوژیک آبخیز با استفاده از چندضلعی‌های بارش-رواناب ماهانه و تفسیر خصوصیت فصلی‌بودن آن‌ها در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

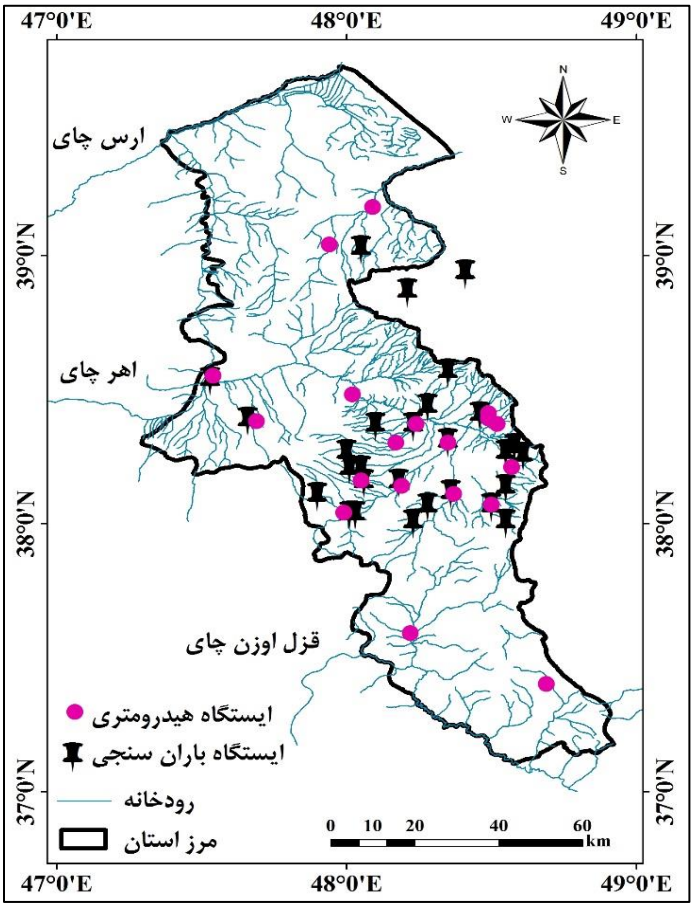
داده‌ها و منطقه مورد پژوهش: اردبیل در شمال غربی فلات ایران بین مختصات ′۴۵ °۳۷ تا ′۴۲ °۳۹ عرض شمالی و ′۳ °۴۷ تا ′۵۵ °۴۸ طول شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. از شمال با جمهوری آذربایجان همسایه بوده، از قسمت شرق با استان گیلان، از جنوب با استان زنجان و از غرب با استان آذربایجان شرقی هم‌جوار است. استان اردبیل جزء نواحی سردسیر کوهستانی محسوب می‌شود و میزان نزولات جوی در استان اردبیل به‌طور متوسط بین ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال در بخش‌های مختلف استان نوسان دارد. در این مطالعه از آمار دبی جریان روزانه ۲۰ ایستگاه هیدرومتری و آمار بارش روزانه ۲۵ باران‌سنجی با دوره آماری ۲۲ ساله از سال آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۰ واقع در آبخیزهای استان اردبیل استفاده شده است. با تحلیل آمار و استفاده از روش تیسن مقادیر بارش متوسط حوضه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. در شکل ۱، موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل نشان شده است.

روش پژوهش: در این مطالعه، ابتدا داده‌های بلندمدت هیدرولوژیکی شامل سری‌های روزانه بارش و دبی تهیه و مورد تحلیل قرار گرفت. بعد از پردازش داده‌ها و بازسازی نواقص آماری تعداد ۲۰ ایستگاه هیدرومتری و ۲۵ ایستگاه باران‌سنجی با طول دوره آماری مشترک ۲۲ ساله از سال ۱۳۶۸ تا۱۳۹۰ انتخاب شد. در خصوص داده‌های بارش ماهانه، از روش تیسن برای محاسبه سطح اثر ایستگاه‌ها و مقدار بارش استفاده شد. با استفاده از داده‌های دبی روزانه، ابتدا مقدار متوسط دبی ماهانه برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه شد و در ادامه با توجه به مساحت ایستگاه‌ها ارتفاع رواناب ماهانه در هر حوضه محاسبه شد (Schnabel و Gomez-Gutierrez، ۲۰۱۳). همچنین، مقادیر ضریب رواناب با در نظر گرفتن ارتفاع رواناب و ارتفاع بارش به‌دست آمد و سپس تغییرات آن در ماه‌های مختلف سال بر اساس آمار درازمدت به‌صورت نمودار رسم شد. به‌عنوان مثال، مقدار بارش یا رواناب ماه مهر، از میانگین کل ماه‌های مهر به‌دست آمده است. بر اساس مقادیر بارش و رواناب ماهانه، دیاگرام چندضلعی رسم شد. در این روش، دو سری زمانی همزمان داده‌های بارش و رواناب به‌صورت پیوسته با اتصال نقاط مستقیم به هم وصل می‌شوند و تشکیل یک چندضلعی بسته می‌دهند (Kadioglu و Sen، ۲۰۰۱؛ Sen، ۲۰۰۳؛ Dhakal و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین با برازش یک رابطه رگرسیونی میان داده‌های بارش و رواناب ماهانه، ضریب رواناب ماهانه از روی شیب خط مستقیم به‌دست می‌آید.

در این روش، موارد زیر مد نظر قرار خواهد گرفت. الف) اضلاع چندضلعی نشان‌دهنده تغییر در مقادیر بارش و رواناب است، ب) عرض اضلاع نشان‌دهنده تغییر در میانگین رواناب در ماه‌های متوالی است، ج) نزدیکی شیب طرفین عمودی و افقی چندضلعی بیانگر مقادیر ضریب رواناب ماهانه است، د) چندضلعی‌های باریک بیانگر ضریب رواناب یکنواخت و چندضلعی‌های کشیده بیانگر ضریب رواناب غیر یکنواخت است، ه) چندضلعی‌هایی با مساحت کوچک، نشان‌دهنده بارش یکنواخت و ثبات ضریب رواناب است و شیب کمتر محور افقی چندضلعی بیانگر تبدیل بخش بیشتری از بارش به رواناب است (Kadioglu و Sen، ۲۰۰۰؛ Ali و همکاران، ۲۰۱۴). در مورد چندضلعی‌های کشیده قابل ذکر است که کشیدگی در راستای محور طول‌ها به معنی تغییرات بالا در مقدار بارش و کشیدگی در راستای محور عرض‌ها نشان‌دهنده تغییرات در مقدار

[1] Runoff coefficient

رواناب می‌باشد. در ادامه نمودار تغییرات ضریب رواناب در ماه‌های مختلف در هر یک از ایستگاه‌ها رسم و تفسیر شد. همچنین، رابطه مقادیر ضریب رواناب با مساحت در هر یک از آبخیزهای مورد مطالعه رسم شد. برای تعیین همبستگی معنی‌دار میان مساحت و ضریب رواناب در حوضه‌های مورد مطالعه و نیز در ماه‌های مختلف، از ضریب همبستگی خطی پیرسون استفاده شد (Endale و همکاران، ۲۰۰۳). در ادامه معنی‌داری روابط همبستگی در سطح یک و پنج درصد مورد آزمون قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری منتخب در استان اردبیل

نتایج و بحث

خصوصیات آماری مقادیر بارش، رواناب و ضریب رواناب ماهانه و سالانه در دوره آماری مشترک ۲۲ ساله از سال ۱۳۶۸تا ۱۳۹۰ محاسبه و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

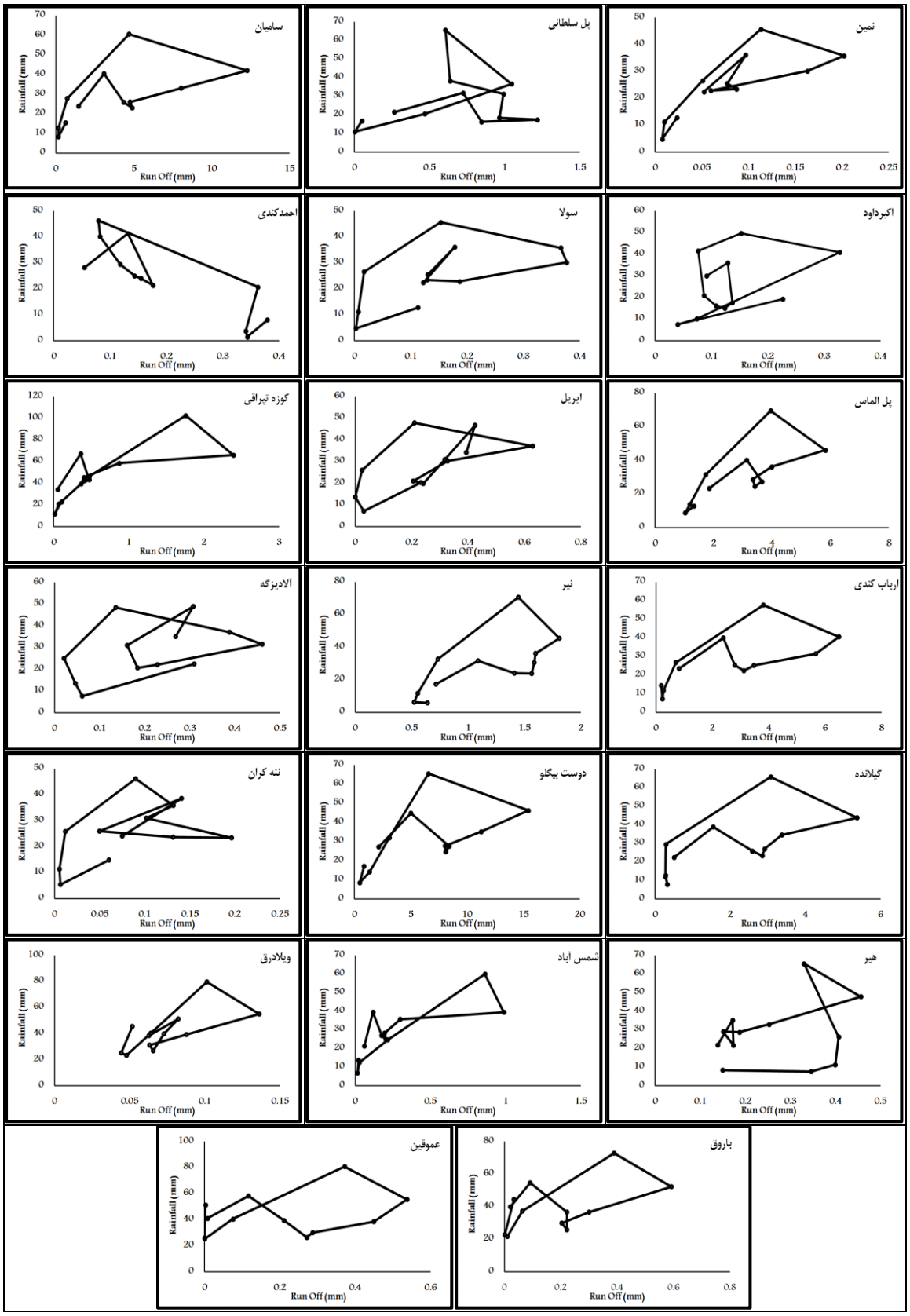
بر اساس نتایج آمار توصیفی، بیشترین بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی به مقدار ۱۰۲/۴۶ میلی‌متر مربوط به ایستگاه کوزه‌تپراقی در اردیبهشت ماه بود، بیشترین رواناب ماهانه مربوط به ایستگاه هیدرومتری دوست‌بیگلو به مقدار ۱۵/۳۴ میلی‌متر برای دوره مورد نظر در ماه‌های اسفند و فروردین بوده است. همچنین، بیشترین مقدار ضریب رواناب ماهانه ۳۳ درصد در ایستگاه دوست‌بیگلو و مربوط به فروردین ماه است. به‌منظور مقایسه بارش و رواناب در ایستگاه‌های مورد بررسی، چندضلعی بارش و رواناب بر اساس میانگین دراز مدت مقادیر بارش و رواناب طی دوره مطالعاتی به‌دست آمده‌اند و نتایج در شکل ۲، ارائه شده است.

بر اساس سوابق تحقیق، چندضلعی‌های بارش و رواناب دارای حالت‌های مختلفی هستند از جمله چندضلعی بسته (تعادل بین بارش و رواناب یا برابری مقدار بارش ورودی با رواناب خروجی)، چندضلعی باز (عدم تعادل یا برابری بین مقایر

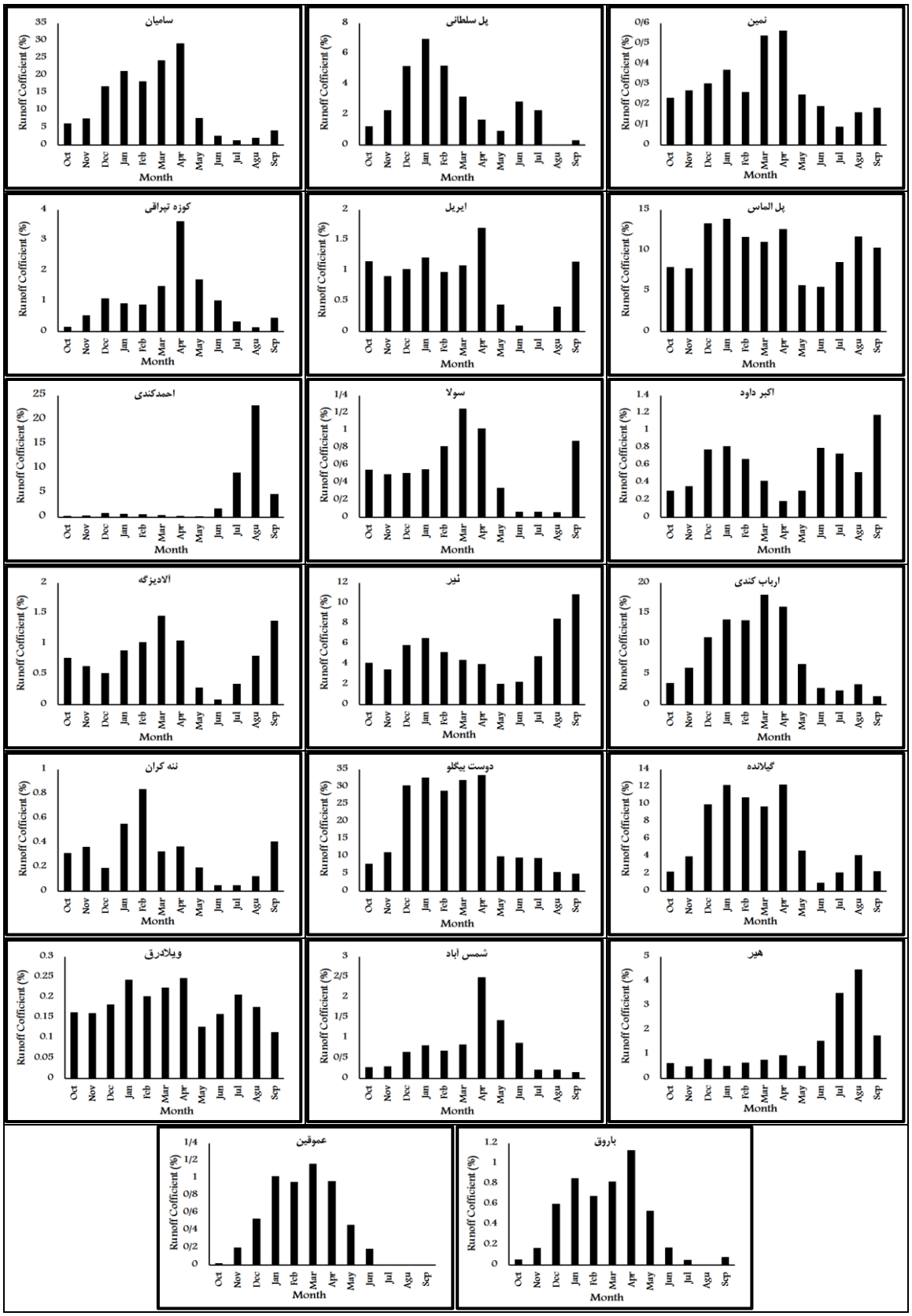
بارش و رواناب)، چندضلعی کشیده در استای محور عرض‌ها و طول‌ها و چندضلعی‌های باریک یا پهن می‌باشد که هر کدام از این اشکال دارای توضیحات و تفسیر جداگانه هستند. در خصوص سه ایستگاه هیر، احمدکندی و شمس‌آباد و سایر ایستگاه‌های مشابه قابل ذکر است که چندضلعی مربوط به این ایستگاه‌ها جز چندضلعی‌های باز و کشیده در راستای محور طول‌ها محسوب می‌شود. به بیان دیگر، چندضلعی‌های بارش-رواناب باز نشان‌دهنده عدم برابری مقدار بارش ورودی و رواناب خروجی است، به‌عبارتی نشان‌دهنده کمتر بودن توان تولید رواناب در حوزه آبخیز مورد نظر است. همچنین، کشیدگی در راستای محور طول‌ها نشان‌دهنده غیر یکنواختی بودن مقدار بارش و تغییرات بسیار بالا آن در منطقه می‌باشد. توزیع زمانی ضریب رواناب در ماه‌های مختلف در حوضه‌های استان اردبیل در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات آماری مقادیر بارش، رواناب و ضریب رواناب محاسباتی در حوضه‌های مختلف استان اردبیل

ایستگاه	مساحت حوضه (km^2)	بارش (mm)				رواناب (mm)					ضریب رواناب			
		حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات
احمد کندی	۱۵۷	۴۶/۳۳	۱/۵۰	۱۴/۴۵	۱/۶۷	۰/۳۸	۰/۰۵	۰/۱۲	۱/۶۱	۲۲/۹	۰/۱۷	۶/۶۷	۰/۵۲
ارباب کندی	۴۸۰۰	۵۷/۶۰	۷/۱۴	۱۳/۹۲	۱/۹۵	۶/۴۹	۰/۱۹	۲/۱۵	۱/۱۶	۱۸	۱/۳۱	۶/۰۱	۱/۳۷
اکبر داود	۷۱۰	۴۹/۷۸	۷/۶۷	۱۳/۷۸	۱/۸۵	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۱/۶۸	۱/۱۷	۰/۱۸	۰/۲۹	۲/۰۴
الادیزگه	۲۲	۴۸/۹۳	۷/۷۴	۱۲/۶۱	۲/۲۷	۰/۴۶	۰/۰۲	۰/۱۴	۱/۵۵	۱/۴۵	۰/۰۹	۰/۴۲	۱/۸۱
ایریل	۷۶	۴۷/۸۹	۷/۲۵	۱۲/۳۹	۲/۲۶	۰/۶۳	۰/۰۰	۰/۱۸	۱/۳۸	۱/۶۹	۰/۰۰	۰/۵۰	۱/۶۸
باروق	۹۴	۷۲/۹۲	۲۱/۸۲	۱۴/۸۵	۲/۶۷	۰/۵۹	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۹۹	۱/۱۳	۰/۰۱	۰/۳۹	۱/۱۱
پل‌الماس	۱۰۷۰	۶۹/۵۵	۸/۸۵	۱۶/۶۶	۱/۸۲	۵/۸۳	۱/۰۳	۱/۴۶	۱/۹۷	۱۳/۹	۵/۴۹	۲/۸۷	۳/۴۹
پل‌سلطانی	۹۸	۶۵/۴۹	۱۱/۰۴	۱۴/۹۴	۱/۸۲	۱/۲۲	۰/۰۰	۰/۳۹	۱/۶۶	۶/۹۷	۰/۰۴	۲/۱۴	۱/۲۵
دوست‌بیگلو	۷۳۱۱	۶۵/۶۱	۸/۶۴	۱۵/۶۳	۱/۹۸	۱۵/۴۳	۰/۴۷	۴/۶۱	۱/۲۸	۳۳/۳۱	۴/۹۶	۱۲/۰۴	۱/۴۹
سامیان	۴۰۰۴	۶۰/۵۵	۸/۲۵	۱۴/۳۶	۱/۹۷	۱۲/۲۹	۰/۱۶	۳/۶۳	۱/۰۴	۲۹/۲۲	۱/۳۵	۹/۶۸	۱/۲۲
سولا	۴۰	۴۵/۶۸	۴/۸۴	۱۱/۵۲	۲/۱۵	۰/۳۸	۰/۰۰	۰/۱۲	۱/۲۲	۱/۲۵	۰/۰۶	۰/۳۹	۱/۴۱
شمس‌آباد	۱۲۸	۶۰/۰۰	۶/۸۹	۱۴/۴۶	۱/۹۳	۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۳۲	۰/۸۲	۲/۵۰	۰/۱۶	۰/۶۷	۱/۱۲
عموقین	۱۱۰	۸۰/۸۸	۲۵/۳۹	۱۶/۴۲	۲/۶۱	۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۱۹	۱/۰۲	۱/۱۷	۰/۰۰	۰/۴۶	۱/۰۱
کوزه‌تپراقی	۸۱۲/۵	۱۰۲/۴۶	۱۱/۹۸	۲۴/۶۵	۱/۸۹	۲/۳۹	۰/۰۲	۰/۷۴	۰/۸۳	۳/۶۲	۰/۱۳	۰/۹۶	۱/۰۸
گیلانده	۱۶۳۸	۶۵/۹۵	۷/۹۴	۱۵/۹۳	۱/۸۰	۵/۳۷	۰/۲۸	۱/۶۶	۱/۱۷	۱۲/۲۴	۰/۹۷	۴/۳۳	۱/۴۵
نمین	۴۴	۴۵/۶۸	۴/۸۴	۱۱/۵۲	۲/۱۵	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۰۶	۱/۳۳	۰/۵۶	۰/۰۹	۰/۱۴	۱/۹۷
ننه‌کران	۸	۴۶/۲۳	۵/۳۸	۱۱/۵۶	۲/۲۱	۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۰۶	۱/۳۹	۰/۸۴	۰/۰۵	۰/۲۲	۱/۴۰
نیر	۲۵۶	۷۰/۵۸	۵/۹۲	۱۸/۱۱	۱/۵۵	۱/۸۱	۰/۵۲	۰/۴۸	۲/۳۸	۱۰/۸۶	۲/۰۵	۲/۵۲	۲/۰۴
هیر	۱۷۸	۶۵/۶۴	۷/۷۳	۱۶/۶۱	۱/۶۹	۰/۴۶	۰/۱۴	۰/۱۲	۲/۲۵	۴/۴۷	۰/۴۹	۱/۳۰	۱/۰۶
ویلادرق	۸	۷۹/۶۱	۲۳/۲۸	۱۵/۶۰	۲/۶۵	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۲/۸۵	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۰۴	۴/۳۳



شکل ۲- چندضلعی‌های بارش-رواناب در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل



شکل ۳– توزیع زمانی مقادیر ضریب رواناب در ماه‌های مختلف در حوضه‌های استان اردبیل

بیشترین مقدار ضریب رواناب ماهانه در بیشتر ایستگاه‌ها در ماه‌های دسامبر تا آوریل (اسفند تا فروردین) مشاهده شده است. البته در دو ایستگاه احمدکندی و هیر، بیشینه ضریب رواناب در ماه‌های

جولای تا سپتامبر (تیر تا شهریور) اتفاق افتاده است. در خصوص ارتباط شکل پلی‌گون‌های بارش رواناب با تغییرات ضریب رواناب به‌صورت ماهانه قابل ذکر است که با توجه به شکل پلی‌گون‌ها هر چه چندضلعی باریک‌تر باشد، یکنواختی تولید رواناب در ماه‌های مختلف در سطح حوضه بیشتر خواهد بود. به بیان دیگر، توزیع مقادیر ضریب رواناب در طول یک سال و ماه‌های مختلف کمتر خواهد بود که از این نظر، حوضه‌های شمس‌آباد، کوزه‌تپراقی و احمدکندی دارای رفتار و واکنش هیدرولوژیک مشابه هستند. چندضلعی‌های کشیده در راستای محور عرض‌ها نشان‌دهنده ضریب رواناب غیر یکنواخت و تغییرات بالای آن بوده، که با نمودارهای ستونی دارای تغییرات زیاد در ماه‌های مختلف مطابقت دارد و چندضلعی‌های بارش-رواناب بسته نشان‌دهنده برابری مقدار بارش ورودی و رواناب خروجی است. یعنی این‌که تغییرات ضریب رواناب در ماه‌های مختلف زیاد بوده است. در کل در طول یک‌سال آماری تغییرات ضریب رواناب بسیار بالاست. در این پژوهش ایستگاه‌های عموقین، باروق، ویلادرق، ارباب‌کندی و ایریل دارای چنین وضعیتی بوده‌اند.

روابط بین ضریب رواناب در ماه‌های مختلف و مساحت آبخیزهای مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است و همچنین، در شکل ۴ همبستگی بین ضریب رواناب و مساحت در دو ماه (آبان و اردیبهشت) به‌عنوان نمونه ارائه شد. در شکل ۵ نیز رابطه بین متوسط مقادیر ضریب رواناب سالانه در کل دوره مورد مطالعه و مساحت در حوزه‌های آبخیز اردبیل نشان داده شده است. روابط همبستگی ارائه شده در بیشتر ماه‌ها در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بوده که فقط در ماه‌های شهریور و مرداد همبستگی وجود نداشته است.

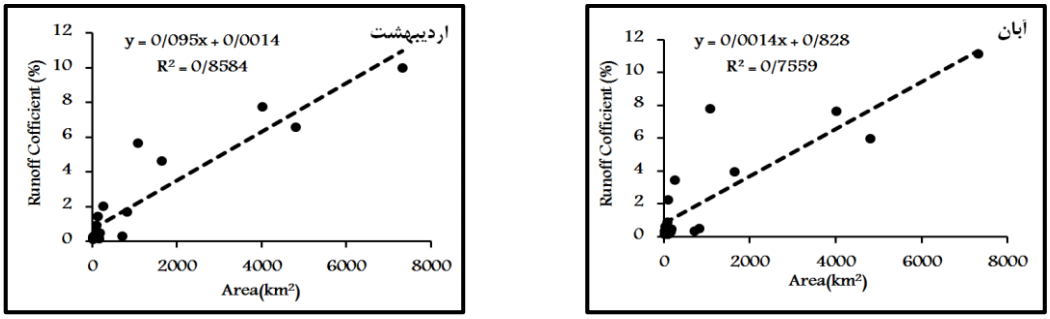
جدول ۲- رابطه میان مساحت و ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل در ماه‌های مختلف

ماه	عدد ثابت	شیب	ضریب تبیین
مهر	۰/۸۴	۰/۰۰۱	۰/۵۳ *
آبان	۰/۸۲	۰/۰۰۱۴	۰/۷۵ **
آذر	۰/۸۳	۰/۰۰۳۶	۰/۸۳ **
دی	۱/۴۴	۰/۰۰۴	۰/۸۴ **
بهمن	۱/۱۹۲	۰/۰۰۳	۰/۸۷ **
اسفند	۰/۹۴	۰/۰۰۴	۰/۹۲ **
فروردین	۱/۲۰	۰/۰۰۴	۰/۸۷ **
اردیبهشت	۰/۰۰۱	۰/۰۹۵	۰/۸۵ **
خرداد	۰/۶۸	۰/۰۰۰۹	۰/۶۵ **
تیر	۱/۴۱	۰/۰۰۰۷	۰/۱۹ *
مرداد	۲/۹۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸ ns
شهریور	۱/۹۱	۰/۰۰۴	۰/۰۵۷ ns

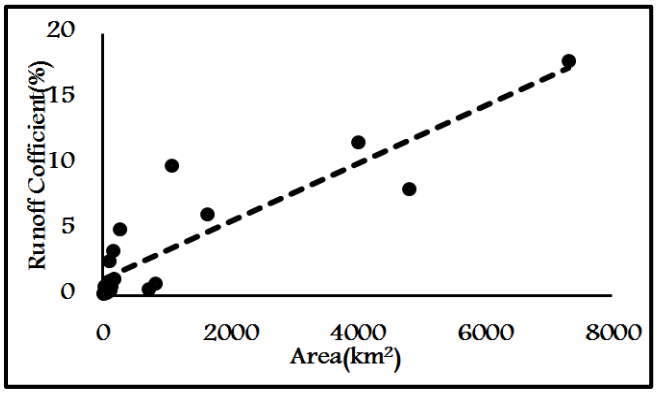
** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns غیر معنی‌دار

به‌طور کلی، عوامل مختلفی در ایجاد رواناب موثر هستند. مساحت حوضه نیز یکی از عوامل مهم در مقدار رواناب و ضریب رواناب است که هر چه مساحت حوضه بیشتر باشد، مقدار رواناب ایجاد شده نیز بیشتر است و برعکس، با افزایش میزان رواناب ضریب رواناب نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، می‌توان در آبخیزهای بدون آمار رواناب و صرفاً با استفاده از تشابه مساحت رفتار تولید رواناب را برآورد کرد. در شکل ۵ با ارائه

رابطه رگرسیونی میزان همبستگی بین مساحت و ضریب رواناب در ماه‌های مختلف بیان شده است، به‌طوری که بالاترین همبستگی ضریب رواناب و مساحت در ماه اسفند (۰/۹۲) و کم‌ترین مقدار مربوط به ماه مرداد (۰/۰۰۸۹) مشاهده شد.



شکل ۴– همبستگی بین ضریب رواناب و مساحت حوزه‌های آبخیز به‌عنوان نمونه در دو ماه آبان و اردیبهشت در استان اردبیل



شکل ۵– همبستگی ضریب رواناب سالانه و مساحت در حوضه‌های استان اردبیل

نتیجه‌گیری

ارزیابی رابطه بارش-رواناب در ایستگاه‌های استان اردبیل و مقایسه رفتار هیدرولوژیکی آن‌ها در دوره آماری ۲۲ ساله با استفاده از تحلیل آمار توصیفی و پلی‌گون‌های بارش-رواناب (Precipitation-runoff polygons) در تحقیق حاضر انجام گرفت. بر اساس نتایج مشخص شد که بیشترین میزان بارش مربوط به ایستگاه کوزه‌تپراقی با ۱۰۲/۴۶ میلی‌متر در سال و بیشترین ضریب رواناب و رواناب مربوط به ایستگاه دوست‌بیگلو، به‌ترتیب ۳۳ درصد و ۴۶ میلی‌متر است. پایین‌ترین میزان رواناب مربوط به ایستگاه ویلادرق ۰/۱۱ می‌باشد. علاوه‌بر این، هر چه چندضلعی باریک‌تر باشد، یکنواختی تولید رواناب در ماه‌های مختلف در سطح حوضه بیشتر خواهد بود که از این نظر، حوضه‌های شمس‌آباد، کوزه‌تپراقی و احمدکندی دارای رفتار و واکنش هیدرولوژیک مشابه هستند. بر اساس نتایج و تفسیر چندضلعی‌های بارش-رواناب، می‌توان گفت که چندضلعی‌های بارش-رواناب بسته، نشان‌دهنده برابری مقدار بارش ورودی و رواناب خروجی است، به‌عبارتی نشان‌دهنده توان بالای تولید رواناب در حوزه آبخیز مورد نظر است که در این پژوهش ایستگاه‌های عموقین، باروق، ویلادرق، ارباب‌کندی و ایریل دارای چنین وضعیتی بوده‌اند. چندضلعی‌های کشیده در راستای محور عرض‌ها، نشان‌دهنده ضریب رواناب غیر یکنواخت و تغییرات بالای آن بوده، بر این اساس، آبخیزهای پل‌الماس، سامیان و دوست‌بیگلو دارای این خصوصیت هستند. همچنین، بر اساس نتایج، ضریب تغییرات بالا در مقادیر ضریب رواناب، باعث کشیدگی نمودار در راستای محور عرض‌ها شده است که در این پژوهش بیشترین ضریب تغییرات ۱/۲ و مربوط به ایستگاه دوست‌بیگلو که با چندضلعی حوضه که به شکل

کشیده می‌باشد، هم‌خوانی دارد. هر چه مساحت حوضه کوچک‌تر باشد، چرخه بارش رواناب مدت زمان کوتاه‌تری دارد، به‌عبارتی رواناب بلافاصله بعد از تشکیل، در مدت زمان کوتاهی از حوضه خارج می‌شود، در این راستا و بر اساس تحلیل چندضلعی‌های بارش-رواناب، حوضه‌های ننه‌کران و ویلادرق با مساحت هشت کیلومتربع کوتاه‌ترین چرخه بارش و رواناب را دارند و حوضه دوست‌بیگو با مساحت ۷۳۱۱ کیلومترمربع طولانی‌ترین چرخه بارش و رواناب را در سطح منطقه مورد مطالعه (استان اردبیل) دارد. در این راستا نتایج این پژوهش با نتایج Sen (۲۰۰۳) و Ali و همکاران (۲۰۱۴) مبنی بر تایید روش چندضلعی در خصوص مقایسه همزمان چندضلعی‌ها و ارائه اطلاعاتی در مورد عملکرد حوضه در تولید رواناب و تبدیل بارش به رواناب هم‌خوانی دارد. در نهایت مقایسه نتایج نشان داد که بین خصوصیات آماری و چندضلعی بارش رواناب در منطقه مورد مطالعه رابطه معنی‌داری وجود دارد. همچنین، بررسی نتایج درصد ضریب رواناب در ماه‌های مختلف نشان داد که در دو ایستگاه هیر و احمدکندی بیشترین ضریب رواناب در ماه‌های تیر تا شهریور است که علت آن با بارش‌های برف در ماه‌های دسامبر تا مارس و وجود تاخیر زمانی در تولید بارش به رواناب مرتبط است. علاوه‌بر این، ممکن نفوذپذیری بالا و نفوذ آب حاصل از بارش و تأخیر در پیوستن به جریان سطحی در این مورد تأثیر داشته باشد. بر اساس رابطه میان ضریب رواناب و مساحت در ماه‌های سال، بالاترین همبستگی مربوط به ماه اسفند (۰/۹۲) و کمترین مقدار مربوط به ماه مرداد و شهریور می‌باشد که همبستگی در این ماه بین مساحت و ضریب رواناب وجود ندارد. این روش چندضلعی با طیف وسیعی از معیارهای کمی مرتبط و یک ابزار ساده برای درک و مقایسه عملکرد حوضه فراهم می‌کند (نه‌تنها به‌صورت سالانه و از دیدگاه بیلان هیدرولوژیک، بلکه از دیدگاه تغییرات ماهانه به فصلی) تفسیر کمی و کیفی چندضلعی بارش و رواناب یک راه حل مناسب برای مقایسه پاسخ هیدرولوژیکی و تغییرات رابطه بارش رواناب در حوزه‌های آبخیز می‌باشد. قابل ذکر است که وجود رفتار پیچیده آبخیز در فرایند بارش-رواناب باعث ایجاد پلی‌گون‌های نامنظم شده است که تفسیر آن‌ها دشوار بوده، نیازمند تحلیل‌های بیشتری از خصوصیات حوضه و عوامل موثر بر آن در مطالعات آتی و سایر مناطق کشور است.

منابع مورد استفاده

1. Abdollahzadeh, A., M. Ownegh, A. Sadoddin and R. Mostafazadeh. 2016. Constraints to residential land use development arising from flood and runoff coefficient in a land use planning framework, case study: Ziarat Watershed, Golestan Province. Watershed Engineering and Management, 8(2): 221-235 (in Persian).
2. Ali, G., D. Tatzlaff, L. Kruitbos, Ch. Soulsby, S. Carey, J. McDonnell, J. Buttle, H. Laudon, J. Sebirt, K. McGurie and J. Shanly. 2014. Analysis of hydrological seasonality across northern.catachmants using monthly precipitation–runoff polygon metrics. Hydrological Sciences Journal, 59(1): 56-72.
3. Bahremand, A. and R. Mostafazadeh. 2010. Comparison of different methods for parameter estimation of Nash's instantaneous unit hydrograph in Jafar Abad Watershed. Watershed Management Researches Journal, 86: 42-51 (in Persian).
4. Castellarin, A., D.H. Burn and A. Brath 2001. Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for flood frequency analysis. Journal of Hydrology, 241: 270-285.
5. Costa, M.H., A. Botta and J.A. Cardillo. 2003. Effects of large-scale change in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. Journal of Hydrology, 283(1:4): 206-217.
6. Dhakal, N., X. Fang, W.H. Asquith, T.G. Cleveland and D.B. Thompson. 2012. Estimation of volumertic runoff coefficents for Texas Watershed in using land use and rainfall-runoff data. Journal of Irrigation and Drainage Engeering, 138(1): 43-45.
7. Dhakal, N., X. Fang., W.H. Asquith, T.G. Cleveland and D.B. Thompson. 2013. Rate-based estimation of the runoff coefficients for selected watershed in Texa. Journal of Hydrologic Engineering, 18(12): 1571-1580.
8. Endale, D.M., D.S. Fisher and J.L. Steiner. 2003. Long-term rainfall-runoff characteristics of a small southern piedmont watershed. 1st Interagency Conference on Research in the Watersheds. October 27-30 U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 497-502.
9. Gandomkar, A. and T. Raiesi. 2012. Study the rainfall-runoff relationship in Gojan Watershed (Karoon River). Geograpgy-Sepehr, 21(81): 38-53 (in Persian).

10. Jafari, G., M.H. Ramesht and M. Moayery. 2009. Relationship of rainfall and runoff in ungauged watersheds, case study: Soghad Watershed. Geography and Planning, 16(29): 191-208 (in Persian).
11. Kadioglu, K. and Z. Sen. 2001. Monthly precipitation-runoff polygons and mean runoff coefficients. Hydrological Sciences Journal, 46(1): 3-11.
12. Laaha, G. and G. Bloschl. 2006. Seasonality indices for regionalizing low flows. Hydrological Processes, 20: 3851-3878.
13. Labat, D., Y.G. Eris and J.L. Probst. 2004. Evidence for global runoff increase related to climate warming. Advances in Water Resources, 27: 631-642.
14. Mc Cuen, R.H. 1998. Hydrologic analysis and design. 2nd Edition, Prentice Hall, 814 pages.
15. Mostafazadeh, R., S.H.R. Sadeghi and A. Sadoddin. 2015. Modelling effects of land use type and spatial pattern on flow hydrograph variations. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 9(31): 51-58 (in Persian).
16. Parajka, J., S. Kohnova, R. Merz, J. Szolgay, K. Hlavcova and G. Bloschl 2009. Comparative analysis of the seasonality of hydrological characteristics in Slovakia and Austria. Hydrological Sciences Journal, 54: 456-473.
17. Raghunath, H.M. 2006. Hydrology: principles, analysis and design. New Age International, 476 pages.
18. Sadeghi, S.H.R. and R. Mostafazadeh. 2016. Triple diagram models for changeability evaluation of precipitation and flow discharge for suspended sediment load in different time scales. Environmental Earth Sciences, 75(9): 843.
19. Schnabel, S. and A. Gomez-Gutierrez. 2013. The role of interannual rainfall variability on runoff generation in small dry sub-humid watershed with disperse tree cover. Cuadernos de Invetsigaction Geografica, 39(2): 259-285.
20. Sen, Z. 2003. Monthly percipitaation–runoff polygons and mean runoff coefficients. Hydrological Sciences Journal, 46(1): 3-11.
21. Sharifi, F., Sh. Safarpour, S.A. Ayoubzadeh and J. Vakilpour. 2004. Investigation of effective factors on runoff generation threshold in arid and semi-arid regions using simulation and rainfall-runoff data. Natural Resources of Iran, 57(1): 33-45 (in Persian).
22. Sivakumar, B., R. Berndtsson, J. Olsson, K. Jinno and A. Kawamura. 2000. Dynamics of monthly rainfall-runoff process at the Gota basin: a search for chaos. Hydrology and Earth System Science, 4(3): 407-411.
23. Tetzlaff, D., C. Soulsby and C. Birkel. 2010. Hydrological connectivity and microbiological fluxes in montane catchments: the role of seasonality and climatic variability. Hydrological Processes, 24: 1231-1235.
24. Tetzlaff, D., C. Soulsby, S. Waldron, I.A. Malcolm, P.J. Bacon, S.M. Dunn, A. Lilly and A.F. Youngson. 2007. Conceptualization of runoff processes using a geographical information system and tracers in a nested mesoscale catchment. Hydrological Processes, 21: 1289-1307.
25. Zehtabin, Gh.R., A. Malakian, H.M. Asgari and A. Zoratipour. 2007. Applaication of geostastical methods for determining annual precipitation in Karoon and Dez basins. Desert Journal, 12: 47-52.