دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

تغییرات زمانی رواناب و رسوب جریان رودخانه‌های کوهستانی سبلان

مرتضی عیوضی[۱]، نازیلا علایی[۲] و رئوف مصطفی‌زاده[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع‌طبیعی، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه ارومیه
۳- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی،
(نویسنده مسوول: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۳۱
صفحه: ۴۳ تا ۵۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: برآورد بار رسوب معلق ایستگاه‌های هیدرومتری نیازمند درک درست تغییرات مکانی و زمانی رسوب است. تغییرات و اثرپذیری هم‌زمان دبی و رسوب از تغییرات بارش از مواردی است که به‌ندرت مورد توجه قرار گرفته است. لذا، در این پژوهش تغییرات در شیب منحنی روند و نیز همبستگی نموداری مقادیر ماهانه و سالانه رواناب، رسوب ماهانه و سالانه نسبت به مقادیر بارندگی در شش ایستگاه شامل آتشگاه، پل‌سلطانی، نیر، عموقین، ویلادرق و نوران واقع در دامنه کوهستان سبلان در استان اردبیل، در یک دوره ۲۰ ساله با استفاده از منحنی جرم مضاعف مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: برای رسم و تحلیل منحنی جرم مضاعف، داده‌های ماهانه بارش، رواناب و رسوب جریان در یک دوره همزمان محاسبه و تجمعی شد. شیب منحنی روند (STC) برای تعیین افزایش رواناب بر مبنای بارش و غلظت رسوب بر مبنای رواناب مورد استفاده قرار گرفت. تغییر شیب و نیز آزمون معنی‌داری در تغییرات منحنی‌های تجمعی بارش-رواناب و بارش-رسوب مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه تحلیل‌های تغییر شیب، عامل کاهشی و ضریب تبیین روی نتایج انجام شد. هم‌چنین از روش ترسیمی تیلور برای ارزیابی همبستگی میان سری‌های زمانی بارش، رواناب و رسوب موردمطالعه استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج مقادیر تغییرات رواناب و رسوب در طول دوره آماری موجود ایستگاه‌های هیدرومتری نشان داد که به‌جز ایستگاه نیر، یکنواختی مقادیر رسوب و رواناب در طول دوره آماری وجود دارد. در صورتی‌که در ایستگاه نیر در تمامی سال‌های مورد بررسی دارای بیش‌ترین مقادیر رواناب و رسوب بوده است. نتایج نمودار جرم مضاعف نشان داد که ایستگاه‌های نیر، پل‌سلطانی و آتشگاه روند تغییرات شیب منحنی در طول دوره آماری ثابت بوده، مقدار رسوب و رواناب متناسب با مقدار بارش است. اما در ایستگاه ویلادرق و نوران تغییرات روند رسوب و رواناب نسبت به بارندگی مشاهده شد. هم‌چنین در ایستگاه‌های آتشگاه و نوران داده‌ها در سال‌های اولیه فاقد روند تغییرات بوده‌اند در سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۴ برای ایستگاه آتشگاه و سال ۱۳۸۶ برای ایستگاه نوران این روند کاهش پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری: تحلیل نمودارهای تیلور نشان داد که همبستگی میان داده‌های بارش و رواناب و رسوب در دامنه صفر تا حدود ۰/۴ است. تشابه نسبی ضریب تغییرات رواناب و رسوب را می‌توان با تغذیه رودخانه‌ها از ذوب برف، مقیاس زمانی سالانه تحلیل‌ها و نیز پوشش گیاهی مناسب منطقه مورد مطالعه مرتبط دانست. بر اساس تحلیل نمودارهای تیلور، مقادیر انحراف معیار داده‌های رسوب در همه ایستگاه‌ها در یک محدوده مشابه قرار دارد. علاوه براین، در همه ایستگاه‌ها مقادیر انحراف معیار داده‌های رسوب از انحراف معیار داده‌های رواناب جریان بیش‌تر بوده است.

واژه‌های کلیدی: تغییر رژیم جریان، رسوب معلق، شیب منحنی روند، نمودار جرم مضاعف

مقدمه

جنگل‌زدایی، شهرنشینی و سایر فعالیت‌های کاربری اراضی می‌تواند به‌طور قابل توجهی توزیع فصلی و سالانه جریان رودخانه را در یک رودخانه تغییر دهد (۲،۲۷). علاوه بر این، فرسایش خاک یکی از معضلات جهانی است که منجر به آلودگی‌های محیط زیستی در رودخانه‌ها و از بین رفتن حاصلخیزی خاک شده است (۳،۹). تغییر نحوه بهره‌برداری از اراضی، به‌خصوص در دهه‌های اخیر موجب بروز تحولاتی عظیمی در سطح کره زمین شده است. این تحولات به تخریب جنگل‌ها و مراتع و تغییر در الگوی کاربری اراضی منجر شده و بر فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه تاثیر گذاشته و تعادل طبیعی رواناب را مختل ساخته است (۲۳). تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسان در تغییرات رواناب، و رسوب و مدیریت منابع آب و توسعه پایدار اهمیت زیادی دارد (۱۳). رسوب معلق یک جزء طبیعی و اساسی است و در عملکرد هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و ژئومورفولوژیکی سیستم رودخانه نقش اساسی دارد (۲۲). در اغلب رودخانه‌ها بخش اعظم رسوبات به‌صورت بار معلق انتقال می‌یابد. برآورد دقیق میزان رسوب در مسائلی از جمله طراحی مخازن، برآورد آلودگی دریاچه، تعیین خسارات ناشی از رسوبگذاری به محیط زیست و تعیین تأثیرات مدیریت آبخیز، مورد نیاز است (۱۹،۲۲). مطالعه فرآیند رسوب‌زایی به‌عنوان یکی از معضلات اساسی مطرح بوده و مدیریت آن بدون شناخت ماهیت پیچیده و عوامل موثر در وقوع آن امکان‌پذیر نیست. آب مهم‌ترین عوامل فرسایشی پوسته زمین بوده و در مسیر حرکت خود موادی را به‌صورت محلول، معلق و بار بستر حمل می‌کند (۲۴). برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها و حوزه‌های آبخیز نیازمند درک تغییرات زمانی و مکانی رسوب است (۱۶). منحنی‌های جرم مضاعف (DMCs[1]) که یک روش مفید برای تحلیل‌های مقایسه‌ای هستند، با الزامات داده پایین و قابلیت تعمیم بالا مشخص می‌شوند و در کنار معادلات بیلان آب و مدل‌های هیدرولوژیکی برای ارزیابی‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شوند (۲۹). منحنی جرم مضاعف اطلاعات زمانی تغییرات در متغیرها را نمایش می‌دهد (۲،۲۷). تعیین میزان تغییرات رسوب و دبی جریان اهمیت زیادی در اولویت‌بندی، مدیریت حوزه‌های آبخیز دارد (۱۱). پژوهش‌های زیادی در خصوص ارتباط بارش-رواناب و رسوب در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی صورت گرفته است. در همین راستا لانا-رنو و همکاران، (۱۲) در بررسی تغییرپذیری زمانی روابط میان بارش، دبی و غلظت رسوب معلق و عوامل مؤثر بر غلظت رسوب معلق در یک حوزه آبخیز مدیترانه‌ای کوچک در اسپانیا به این نتیجه رسیدند که تغییرپذیری زمانی روابط، نشان‌دهنده

1- Double Mass Curve

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]

پاسخ سریع هیدرولوژیکی و تولید رسوب در آبخیز بوده است. هم‌چنین ون‌رومپای و همکاران (۳۰) اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک و میزان رسوبدهی در کشور چک را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که اثر پراکنش مکانی پوشش گیاهی به‌مراتب مهم‌تر از درصد تغییر آن است. آوی و همکاران (۲) به بررسی تاثیر توسعه و تغییر کاربری اراضی روی روابط بارش–رواناب و رواناب–رسوب تحت شرایط گرم و مرطوب در ایستگاه Bernam مالزی پرداختند. در پژوهش ایشان از منحنی جرم مضاعف و منحنی روند شیب برای بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی روی روابط رواناب–بارش و رواناب–رسوب استفاده شد. نتایج نشان داد که تغییرات کاربری اراضی باعث تغییر روابط رواناب–بارش و رواناب–رسوب شده است و در نتیجه شیب منحنی روند (STC[1]) بارندگی–رواناب سالانه و منحنی رواناب–رسوب در دهه‌ی ۱۹۹۰ نسبت به سال‌های۱۹۸۰ بیش‌تر شده است. ایشان در پژوهش خود اذعان کردند که مقادیر رواناب و رسوب در اثر تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۹۹۰ نسبت به سال‌های قبل بیش‌تر شده است. واژشو (۳۱) به پویایی حوزه آبخیز و تأثیر آن بر تولید رواناب با استفاده از مدل‌سازی حوزه آبخیز و تجزیه و تحلیل آماری برای تشخیص پاسخ حوضه پرداختند. در مطالعه ایشان از روش آماری جرم مضاعف و تحلیل منحنی تداوم جریان استفاده شد. نتایج نشان داد شیب منحنی جرم مضاعف در سال ۱۹۹۲ و ۱۹۹۴ در حوضه‌های بیلیت و هار[2] روند روند افزایشی داشته است. هم‌چنین تغییرات رواناب سالانه از ۱۰ تا ۲۳ درصد در حوزه آبخیز بیلیت و بیش از ۱۶ درصد در حوزه آبخیز هار متغیر است. شاهد و همکاران (۲۷) به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و تاثیر آن‌ها بر مولفه‌های هیدرولوژی در دریاچه Simly پاکستان پرداختند. بپدر این پژوهش برای تعیین تغییرات کاربری اراضی از تغییرات روند منحنی جرم مضاعف استفاده شد. نتایج نشان داد که در منطقه مرطوب که تغییر در بارندگی می‌تواند نادیده گرفته شود، تغییرات کاربری اراضی ممکن است به‌عنوان عامل اصلی افزایش رواناب و رسوب تلقی شود. نتایج نشان داد به‌دلیل تغییر کاربری اراضی، رابطه بارندگی–رواناب و رواناب–رسوب تغییر کرده است. روند شیب منحنی‌های جرم مضاعف بارش–رواناب (بارندگی–رواناب) و منحنی‌های جرم مضاعف رواناب–رسوب در مقایسه با دوره قبل از بارندگی، بیش‌تر بوده است. این امر نشان‌دهنده وقوع رواناب و رسوب‌گذاری بیش‌تر در طول دوره زمانی است. که با تداوم روند فعالیت‌های توسعه، سد مخزنی مورد مطالعه خیلی زودتر از عمر مفید خود از رسوب پر می‌شود. ویو و همکاران (۳۲) به بررسی ویژگی‌های فرسایش و رواناب در حوزه آبخیز فلات لس چین پرداختند. در این پژوهش فرسایش ناشی از رواناب را براساس بارش رگباری در طی دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقادیر رواناب و رسوب برای هر رویداد رگبار باران با توابع خطی، لگاریتمی و نمایی کاهش یافته است. ایشان در نتایج خود اذعان کردند که خصوصیات پاسخ رسوبدهی، تحت تأثیر شدت و مدت زمان بارندگی بوده، که ممکن است تغییرات زیادی در تعامل بین جریان و رسوب ایجاد کند. هم‌چنین دنگ و همکاران (۴) به بررسی تغییرات در بارش و تأثیرات بر عملکرد رسوب در منطقه Hekouzhen-Longmen حاشیه رودخانه زرد، چین پرداختند. در این پژوهش تغییرات مکانی و زمانی بارندگی با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از ۳۰۱ ایستگاه بارندگی از سال ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش رسوبدهی در طول ۱۹۹۹–۱۹۹۰ به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر برداشت آب، یعنی بهره‌برداری اصولی از منابع آبی است. نور و همکاران (۱۴) به بررسی روابط بین رواناب و بارش با رسوب در حوضه کجور، ایران پرداختند. در این پژوهش از مدل رگرسیونی استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های رگرسیون در تعیین روابط بین رواناب و رسوب و هم‌چنین تخمین مقادیر رسوب و ضریب رگبار با ضریب تعیین ۰/۹۶ و ۰/۹۳ کارایی خوبی دارد. پیرنیا و همکاران (۱۸) با استفاده از آزمون من–کندال و منحنی تجمعی جرمی به بررسی تغییرات جریان رودخانه در پاسخ به تغییرات اقلیمی و انسانی پرداختند. در این پژوهش از آزمون من–کندال و آزمون تفاوت رتبه تجمعی در قالب یک سری زمانی از متغیرهای هواشناسی در ایستگاه رودخانه تجن در ایران به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد که تغییرات رواناب در فصول مرطوب و خشک بعد از بارندگی، کاهش معنی‌دار و روند افزایشی را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد. نتایج حاصل از روش منحنی جرم مضاعف نشان داد که تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به‌ترتیب منجر به کاهش رواناب در فصل مرطوب شد. اسکات و همکاران (۲۵) در بررسی روند رسوب‌دهی رود ساکرمنتوی[3] کالیفرنیا به این نتیجه رسیدند که بر اساس آزمون‌های آماری، در یک جریان مشخص رسوبدهی معلق سالانه به احتمال زیاد، روند کاهشی خواهد داشت و برای تصمیم گیری درباره مدیریت حوزه‌های آبخیز باید به نقش توسعه انسانی بیشتر توجه کرد. صادقی و همکاران (۲۴) در تبیین روابط بین رسوب‌نمودها و آب‌نمودها و حلقه‌های سنجه رگبارهای به‌وقوع پیوسته در حوزه آبخیز جنگلی Mie ژاپن نتیجه گرفتند که حلقه‌های سنجه مشاهداتی از نوع ساعت‌گرد بوده و مقدار غلظت رسوب معلق در شاخه بالارونده آب‌نمود بیش از مقدار آن برای شاخه پایین‌رونده بود. در پژوهش مذکور، نقش تخلیه رسوب و مشارکت جریان زیرقشری در کاهش در غلظت رسوب معلق در شاخه پایین رونده را مورد تاکید قرار داده‌اند. هو و همکاران (۸) در پژوهش خود با عنوان تغییرات زمانی و مکانی منحنی سنجه رسوب در حوضه چانگ چیان رودخانه یانگ تسه، غلظت رسوب معلق را در ۳ بازه از رودخانه شامل: بالادست، میانه و پایین‌دست حوضه را در دوره‌های متفاوت زمانی از سال ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۷ محاسبه کردند و تغییرات زمانی و مکانی منحنی سنجه رسوب را نسبت به تأثیر فعالیت‌های انسانی و ویژگی‌های آبخیز آنالیز کردند نتایج نشان داد که تعرضات و فعالیت‌های انسانی به طبیعت تأثیر اصلی را بر روی پارامترهای منحنی سنجه رسوب دارد. رودیگز–بلانکو و همکاران (۲۰) تغییرات زمانی انتقال رسوب معلق در حوزه آبخیز آتلانتیک واقع در شمال غرب اسپانیا بررسی کردند و از داده‌های رسوب معلق و دبی

1- Slope of Trend Curve
2- Bilate and Hare
3- Sacramento

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]

جریان ۲۰۰۰۴) در طی مدت ۳ سال (۲۰۰۷-۲۰۰۴) در مقیاس‌های زمانی مختلف (فصلی، ماهانه و سالانه) استفاده نمودند. نتایج نشان داد که تغییر در مقدار تولید رسوب معلق با تعداد و شدت وقایع رواناب رابطه معنی‌داری دارد، آن‌ها هم‌چنین به نقش رسوب در انتقال مواد مغذی و آلاینده‌ها به مناطق ساحلی منطقه مورد مطالعه تاکید داشتند. فرجزاده و قره‌چورلو (۵) به بررسی تحلیل مکانی و زمانی رسوب معلق در حوزه آبریز قره‌سو پرداختند. در این پژوهش از ایستگاه بارانسنجی و هیدرومتری هم نام طی یک دوره ۲۲ ساله استفاده شد. در ادامه با استفاده از تحلیل رگرسیون بین متغیرهای بارش، دبی و رسوب در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد و در نهایت مدل بهینه با توجه به همبستگی بالا و معنی‌داری قابل قبول استخراج شد. نتایج حاصله حاکی از همبستگی بسیار ضعیف متغیر بارش متوسط با متوسط رسوب معلق در ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. در مقابل متغیر دبی همبستگی متوسط و معنی‌داری با میزان رسوب معلق داشت و در بهترین حالت بیش از ۵۲ درصد تغییرات رسوب‌دهی را تبیین نمود. از طرفی تغییرات سالانه رسوب در ایستگاه‌های لای و پل‌سلطانی با روند افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها با روند کاهشی رو به رو بود، در حالی‌که روندهای دبی تنها در ایستگاه لای حالت افزایشی را نشان داد. کاویان و همکاران (۱۰) با استفاده از تصاویر لندست برای سال ۱۹۹۱ و ۲۰۱۳ و مدل ارزیابی خاک و آب (SWAT) اثرات تغییر کاربری اراضی را بر آلودگی جریان رودخانه تالار (شمال ایران) بررسی کردند. نتایج نشان داد که بارهای رسوبی و نیترات در سال‌های ۹۱-۱۳۹۰ به میزان ۳۴/۴ درصد و ۴۲/۲ درصد افزایش یافته است. خوشرفتار و مازینی (۱۱) به بررسی آماری دبی و رسوب حوضه آبریز قره‌سو استان گلستان پرداختند. در این پژوهش با استفاده از داده‌های دبی، رسوب و بارندگی ایستگاه‌هایی که حداقل دارای آمار ۲۰ ساله بودند، به مطالعه روابط دبی و رسوب حوزه آبخیز قره‌سو پرداختند. نتایج نشان داد به رغم اینکه ایستگاه سیاه آب بالاترین میزان دبی را دارد، اما بالاترین میزان رسوب‌دهی مربوط به ایستگاه غاز محله است و به لحاظ زمانی، بیشینه رسوب معلق مربوط به مهرماه است.. حاجی و همکاران (۷) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی شدت تمرکز دبی و رسوب ماهانه در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی پرداختند. در این پژوهش میزان شدت تمرکز دبی و رسوب ماهانه در ۱۱ ایستگاه هیدرومتری واقع در استان آذربایجان غربی در یک دوره ۳۸ ساله با استفاده از منحنی جرم مضاعف و شاخص تغییرات سالانه (شاخص ضریب تغییرات، ضریب تعدیل توزیع سالانه و شدت تمرکز) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین یکنواختی در وقوع دبی و رسوب در ماه‌های سال مربوط به ایستگاه چپرآباد (ضریب تعدیل توزیع سالانه دبی و رسوب به‌ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۲۵ درصد) بوده است. ایشان در پژوهش خود اذعان کردند که در مجموع می‌توان گفت که شاخص‌های تغییرات فصلی دبی و رسوب در بیشتر موارد در یک راستا بوده، نیز تغییرات مکانی رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند متفاوتی است که از شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی و انسانی متأثر می شود. لاوه‌بر این، تحلیل رواناب سطحی، بار رسوب معلق و کاربرد آن در مطالعه بیلان هیدرولوژی و رسوب دارای اهمیت است (۱۱). با توجه به اهمیت موضوع، آگاهی از مقادیر کمی فرسایش و تولید رسوب و روابط بارش–رواناب و رواناب–رسوب منطقه و آمار ایستگاه راهکار مناسبی برای مدیریت بوم‌سازگان است که منجر به حفاظت بهتر و برنامه‌ریزی‌های راهبردی جهت مدیریت پایدار اراضی کمک می‌کند. در این بین، اهمیت بارش به‌دلیل نوسانات زیاد و کاربری اراضی به‌دلیل نقش آبخیزنشینان در توسعه جوامع بسیار مشهود است و تخمین میزان فرسایش و مقدار دقیق حجم رسوبات حمل شده به‌وسیله رودخانه‌ها در اثر تغییر کاربری‌های اراضی و اقلیم برای بسیاری از پروژه‌های منابع آب مانند طراحی سدها و حوضچه‌های ذخیره آب سطحی، طراحی کانال‌ها و هم‌چنین برآورد میزان کیفیت آب شرب و کشاورزی حیاتی است. با توجه به مرور پژوهش‌های انجام شده، پیچیدگی روابط میان فرآیندهای هیدرولوژی و تولید رسوب، ارزیابی این ارتباط برای درک شرایط حاکم بر حوزه آبخیز و مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز ضروری است (۶).

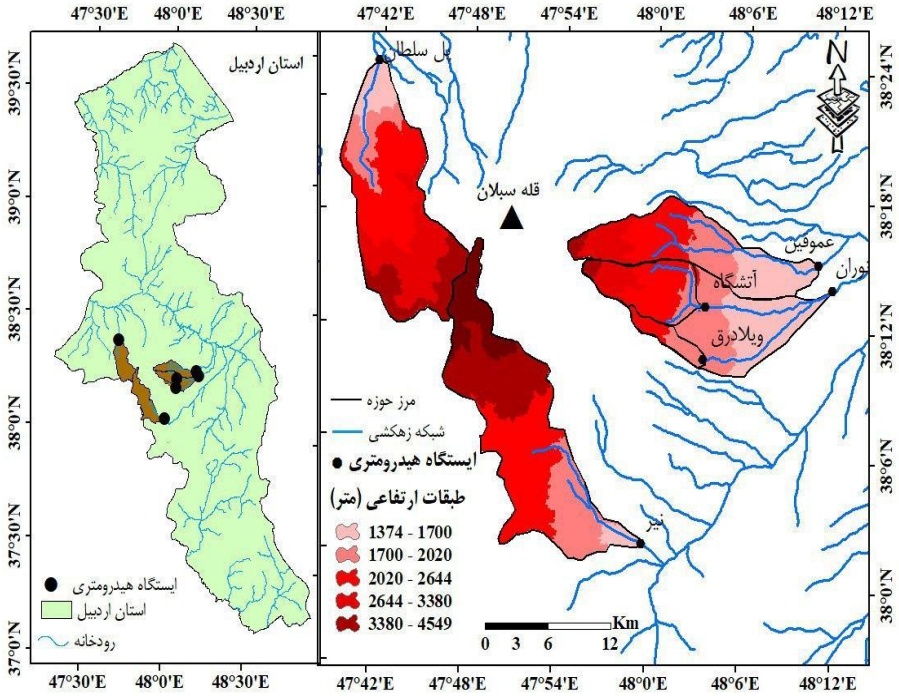
بر اساس جمع‌بندی سوابق پژوهش و نیز اهمیت ارزیابی تغییرات در واکنش تولید رواناب و رسوب در اثر تغییر مولفه‌های بارش، و نیز شیوه بهره‌برداری از اراضی و اثر برداشت‌های انسانی ضروری است. از طرفی، تغییرات و اثرپذیری هم‌زمان دبی و رسوب از تغییرات بارش از مواردی است که به‌ندرت مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی، پویایی رواناب و رسوب و تغییرات آن ممکن است تحت تاثیر عوامل طبیعی و یا انسانی تشدید و یا تعدیل شود. با توجه به اهمیت مطالعه عوامل موثر بر رسوب‌دهی و نیز تغییرات زمانی رابطه رواناب و بار رسوب معلق، پژوهش در این زمینه، خصوصا در آبخیزهایی با واکنش سریع هیدرولوژیک که کم‌تر تحت تاثیر دخالت‌های انسانی هستند، می‌تواند در تعیین و شناسایی ارتباط متغیرهای بارش و میزان بار رسوب معلق و نیز تغییر رفتار رابطه رواناب–رسوب معلق در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. لذا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تغییرات معنی‌دار در رژیم رواناب و رسوب رودخانه‌های کوهستانی سبلان در استان اردبیل انجام شده است. هم‌چنین، استفاده از منحنی جرم مضاعف در ارزیابی همزمان تغییرات شیب منحنی روند بارش، رواناب و رسوب، به‌صورت کمی و نموداری در مقیاس ماهانه و سالانه، در رودخانه‌های منتخب نیز از مواردی است که این پژوهش را از سایر پژوهش‌های مشابه در این زمینه متمایز می‌کند. در این پژوهش مورد توجه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر شش ایستگاه در دامنه کوهستان سبلان در قسمت غرب استان اردبیل مورد مطالعه قرار گرفت. ایستگاه‌های مذکور شامل آتشگاه، پل سلطانی، نیر، عموقین، نوران، و ویلادرق هستند. شکل (۱) موقعیت هر شش ایستگاه هیدرومتری منتخب را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]



داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی اخذ شده از سازمان مدیریت منابع آب ایران و هم‌چنین سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل استفاده شد. در انتخاب ایستگاه‌های واقع شده در دامنه کوهستانی سبلان مد نظر بوده است، علاوه براین وجود آمار طولانی‌مدت رواناب و رسوب معلق بوده است. هم‌چنین وجود ایستگاه باران‌سنجی در داخل و یا مجاورت حوزه آبخیز مد نظر قرار گرفت. در پژوهش حاضر پس از انتخاب ایستگاه‌های هیدرومتری مورد نظر آمار ایستگاه‌های هیدرومتری بارش، رسوب و رواناب ایستگاه‌های آتشگاه، پل‌سلطانی، نیر، عموقین، ویلادرق و نوران در مقیاس‌های زمانی سالانه و ماهانه برای ۱۸ سال (۱۳۷۵–۹۲) دوره آماری مشترک در نظر گرفته شد. که در انتخاب این پایه زمانی مشترک معیارهای کامل بودن، طول کافی داده‌ها و استفاده از آخرین داده‌های در دسترس مد نظر قرار گرفت. محاسبه مقادیر رسوب از داده‌های اندازه‌گیری شده لحظه‌ای برای هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شد.

روش انجام کار

نمودار جرم مضاعف توزیع روند تغییرات بین مقادیر تجمعی رسوب و رواناب را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در صورت افزایش ناگهانی در روند تغییرات، منحنی تجمعی جرم و مضاعف در نقطه عطف ظاهر خواهد شد (۷). برای انجام تجزیه و تحلیل منحنی جرم مضاعف، دبی به رواناب تبدیل شد و در ادامه مقادیر تجمعی رواناب، رسوب و بارش محاسبه شده و نمودار مورد نظر رسم شد. برای تحلیل منحنی جرم مضاعف ماهانه، میانگین بارش ماهانه متوالی برای دوره مشابه با داده‌های رواناب‌های تجمعی، ترسیم شد. شیب منحنی روند منعکس‌کننده سرعت افزایش رواناب و یا مقادیر رسوب بر مبنای بارش یا رواناب مورد استفاده قرار گرفت. اگر منحنی جرم مضاعف تغییر در شیب روند را نشان دهد که به لحاظ آماری هم قابل‌توجه است به این معنی است که روند افزایشی در رواناب‌ها وجود دارد (۲). در ادامه ضریب تغییرات از تقسیم انحراف معیار بر میانگین پارامتر مورد استفاده همان ایستگاه محاسبه شد. در جدول (۱) برخی از ویژگی‌های ایستگاه‌های آبخیز مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Some characteristics of the stations studied

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مساحت ایستگاه (Km^2)	ارتفاع متوسط (m)	دبی متوسط (m^3/s)	رسوب متوسط (ton/y)	انحراف معیار دبی	چولگی دبی	چولگی رسوب
ویلادرق	۴۸°۰۳′۱۸″	۳۸°۱۰′۳۸″	۱۰/۷۵	۲۰۷۰	۰/۰۶	۸۸/۶۶	۰/۰۲	۱/۱۵	۰/۹۳
عموقین	۴۸°۱۰′۴۰″	۳۸°۱۵′۰۷″	۹۰/۳۵	۲۱۱۱	۰/۱۸	۸۸/۶۶	۰/۱۸	۱/۰۱	۰/۹۲
پل‌سلطانی	۴۷°۴۱′۳۸″	۳۸°۲۳′۵۶″	۱۴۵/۲۸	۲۶۰۶	۰/۵۸	۲۶۶۳/۵۷	۰/۴۰	۰/۸۴	۱/۴۶
نیر	۴۷°۵۹′۳۸″	۳۸°۰۲′۰۳″	۱۶۹/۴۵	۲۵۹۷	۱/۰۳	۶۴۱/۱۲	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۴۸
نوران	۴۸°۱۱′۳۷″	۳۸°۱۳′۵۸	۱۲۰	۱۹۸۷	۰/۳۰	۸۸/۶۶	۰/۲۶	۱/۰۲	۰/۹۳
آتشگاه	۴۸°۰۳′۲۲″	۳۸°۱۳′۵″	۴۲/۴۳	۲۶۹۵	۰/۱۱	۸۸/۶۶	۰/۴۰	۱/۲۸	۰/۳۹

قابل ذکر است که برای تعیین تغییر شیب معنی‌دار در منحنی‌های تجمعی بارش–رواناب و بارش–رسوب، از نرم‌افزار Hydrognomon استفاده شد که امکان محاسبه شیب و نیز نقاط شکست شیب در نمودار را فراهم می‌نماید. در ادامه

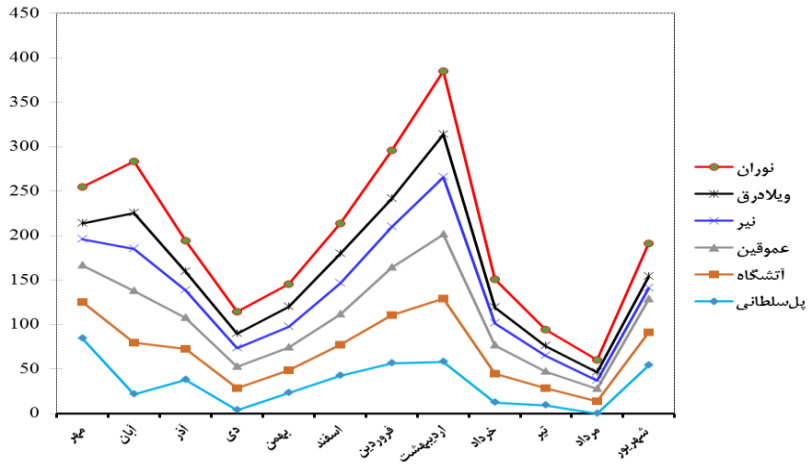
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]

تحلیل‌های تغییر شیب، عامل کاهشی و ضریب تبین روی نتایج انجام شد. هم‌چنین از روش ترسیمی تیلور (۲۰۰۱) برای ارزیابی تشابه سری‌های زمانی بارش، رواناب و رسوب موردمطالعه استفاده شد. نمودار تیلور خصوصیات سری‌های زمانی را نسبت به مشاهدات یا یک سری زمانی از داده‌های مستقل نشان می‌دهد. نمودار تیلور با استفاده از سه آماره ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و انحراف معیار دو سری زمانی ترسیم شد (۲۸). در نمودار تیلور، همبستگی سری‌های زمانی مختلف با همدیگر، دامنه تغییرات مقادیر انحراف معیار و نیز مجذور مربعات خطا در سری‌های زمانی وابسته نمایش داده می‌شود. در این پژوهش برای رسم نمودار تیلور از نرم‌افزار R استفاده شد.

نتایج و بحث

تغییرات زمانی ـ مکانی بارش

با توجه به شکل ۲، در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه بیش‌ترین بارندگی در ماه اردیبهشت رخ داده است که بالاترین بارندگی این ماه در ایستگاه پل‌سلطانی با ۷۴/۳ میلی‌متر و پایین‌ترین آن در ایستگاه ویلادرق با ۴۸/۱۵ میلی‌متر مشاهده می‌شود. در مقابل مرداد ماه به‌خصوص به‌دلیل نبود منابع رطوبتی کم‌ترین بارندگی را داشته است که کم‌ترین بارندگی این ماه به ایستگاه پل‌سلطانی با صفر میلی متر و بیش‌ترین آن به ایستگاه نوران با ۱۳/۸۹ میلی متر اختصاص دارد. بیش‌ترین اختلاف ما بین پرباران‌ترین و کم باران‌ترین ماه (دامنه تغییرات) مربوط به ایستگاه پل‌سلطانی با ۸۴/۲۰ میلی‌متر است. در حالی‌که ایستگاه ویلادرق ۳۸/۷۵ میلی‌متر کم‌ترین اختلاف را دارد. این موضوع می‌تواند ناشی از عامل ارتفاع و نیز فاصله از کوه بوده و نشانگر تأثیر عوامل محلّی در مقادیر بیشینه و کمینه بارش ماهانه باشد. آنچه که از مقایسه مجموع بارش‌های ماهانه در ایستگاه‌های منتخب حاصل می‌شود نشان‌دهنده بیش‌ترین بارندگی سالانه در ایستگاه‌های آتشگاه، عموقیمن و نوران با ۴۴۵/۳۵ میلی‌متر و کم‌ترین بارندگی سالانه در ایستگاه نیر با مجموع بارش سالانه ۳۶۰/۶۳ است.



شکل ۲- توزیع بارش‌های ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۹۲-۱۳۷۵)
Figure 2. Distribution of monthly precipitation in the studied stations (1996-2013)

تغییرات زمانی - مکانی دبی

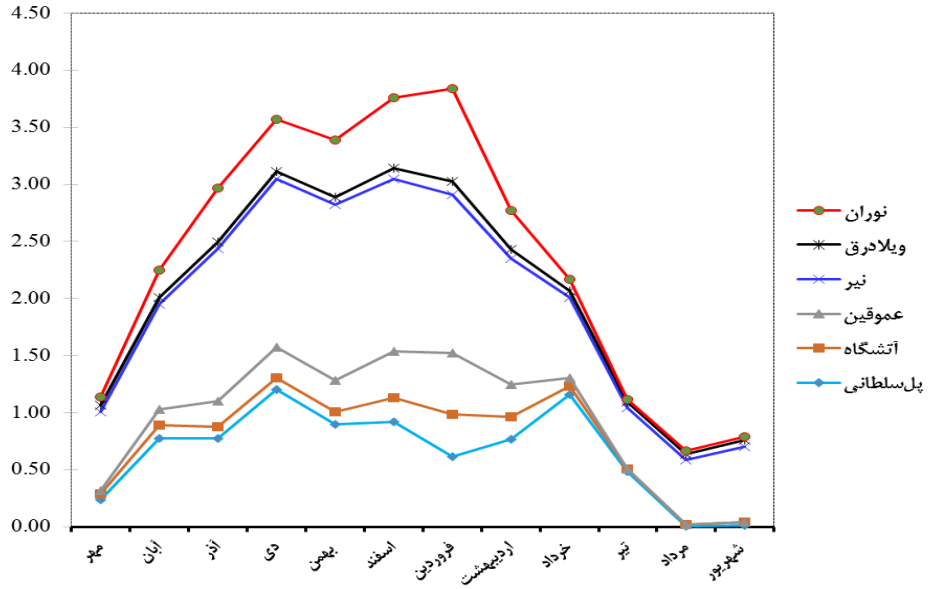
ایستگاه‌های نمونه نشان می‌دهد کم‌ترین رواناب متوسط سالانه مربوط به ایستگاه ویلادرق ۰/۰۵ مترمکعب بر ثانیه و بیش‌ترین آن مربوط به ایستگاه نیر با ۱/۱۹ مترمکعب بر ثانیه است. ایستگاه ویلادرق کوچک‌ترین زیرحوزه از لحاظ مساحت بوده است. به همان رواناب ماهانه ایستگاه ویلادرق کم‌ترین انحراف معیار برابر با ۰/۰۲ و ایستگاه‌های پل‌سلطانی و نیر بیش‌ترین انحراف معیار برابر ۰/۴۰ را دارند. اما آنچه که از ارقام میانگین کل تعمیم یافته برای کل حوزه نشان‌دهنده بیش‌ترین آبدهی در ماه فروردین با ۰/۶۴ مترمکعب بر ثانیه است. با این‌که ارقام میانگین کل تعمیم یافته نشان‌دهنده بیش‌ترین آب‌دهی ماهانه در فروردین ماه است در ایستگاه‌های پل سلطانی و نیر شاهد نتیجه دیگری هستیم که نشان از وقوع بیش‌ترین رواناب ماهانه ایستگاه‌های مذکور در ماه‌های دی و بهمن و اسفند دارد. این امر میتواند ناشی از کوهستانی بودن زیرحوزه‌های بالادست است. نتایج حاصل از تغییرات رواناب ماهانه (جدول ۲) در اوج‌گیری ناگهانی آبدهی ماهانه در گذر از اسفند به فروردین و افت متقابل آن در گذر از فروردین به اردیبهشت به غیر از ایستگاه پل‌سلطانی قابل توجه است (شکل ۳) و می‌تواند حاکی از عملکرد ذوب برف زمستانی و تغییرات دبی پایه باشد. در این بین بهره‌برداری از منابع آب در فصل بهار نیز می‌تواند مزید بر علت باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]

جدول ۲- توزیع رواناب ماهانه (به مترمکعب بر ثانیه) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 2. Monthly flow rate distribution (m^3/s) in the studied stations

	پل‌سلطانی	آتشگاه	عموقین	نیر	ویلادرق	نوران	میانگین	انحراف معیار
مهر	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۶۹	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۲۶
آبان	۰/۷۸	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۹۲	۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۳۸
آذر	۰/۷۷	۰/۱۰	۰/۲۲	۱/۳۴	۰/۰۶	۰/۴۷	۰/۴۹	۰/۴۹
دی	۱/۲۰	۰/۱۰	۰/۲۷	۱/۴۸	۰/۰۶	۰/۴۶	۰/۵۹	۰/۶۰
بهمن	۰/۹۰	۰/۱۰	۰/۲۸	۱/۵۳	۰/۰۶	۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۵۷
اسفند	۰/۹۲	۰/۲۱	۰/۴۱	۱/۵۱	۰/۰۹	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۵۲
فروردین	۰/۶۲	۰/۳۷	۰/۵۳	۱/۳۹	۰/۱۲	۰/۸۱	۰/۶۴	۰/۴۴
اردیبهشت	۰/۷۷	۰/۲۰	۰/۲۸	۱/۱۰	۰/۰۸	۰/۳۴	۰/۴۶	۰/۳۹
خرداد	۱/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۷۱	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۳۶	۰/۴۷
تیر	۰/۴۹	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۵۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۱۹	۰/۲۶
مرداد	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۵۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۱۰/۱۱	۰/۲۲
شهریور	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۶۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۲۶
مجموع	۷/۸۷	۱/۳۷	۰/۲۳	۱۲/۴۴	۰/۸۱	۳/۶۹		
ماکزیمم	۱/۲۰	۰/۳۷	۰/۵۳	۱/۵۳	۰/۱۲	۰/۸۱		
مینیمم	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۵۴	۰/۰۵	۰/۰۲		
انحراف معیار	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۴۰	۰/۰۲	۰/۲۶		
میانگین	۰/۶۶	۰/۱۱	۰/۱۹	۱/۰۴	۰/۰۷	۰/۳۱		

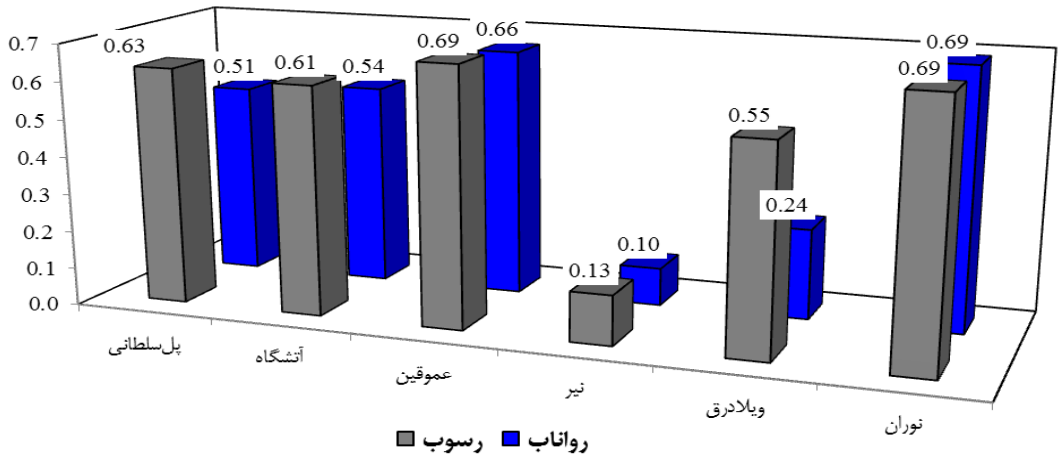


شکل ۳- توزیع دبی‌های ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۹۲-۱۳۷۵)

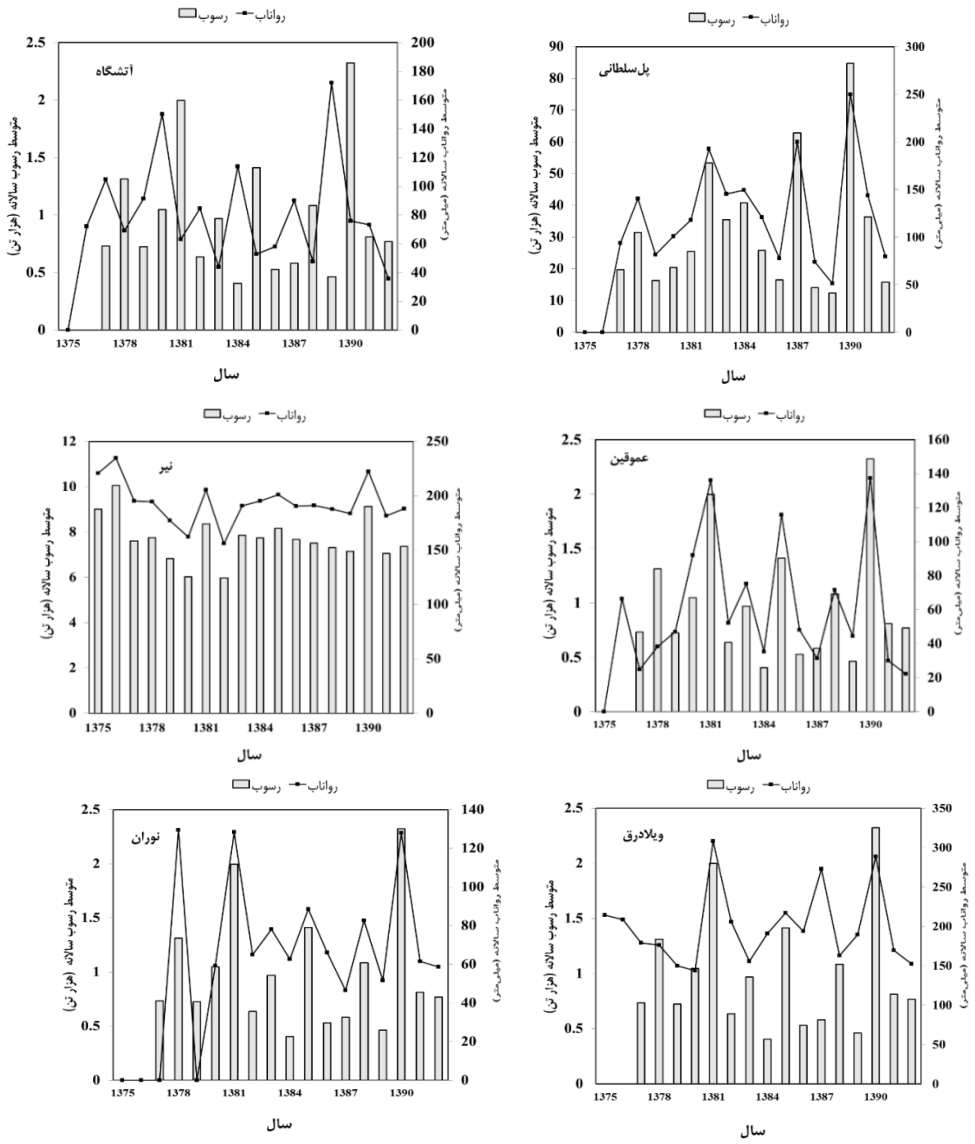
Figure 3. Distribution of monthly discharges in the studied stations (1996-2013)

مقادیر ضریب تغییرات دبی و رسوب در ایستگاه‌های آبخیز مورد مطالعه در طول دوره آماری در شکل (۴) ارائه شده است. نتایج نشان داد که ضریب تغیرات رسوب نسبت به رواناب در همه ایستگاه‌های مورد بررسی بیش‌تر است. این تغییرات در ایستگاه نیر کم‌ترین مقدار و در ایستگاه نوران بیش‌ترین مقدار است. هم‌چنین نتایج نشان داد که ضریب تغییرات رواناب و رسوب ایستگاه نیر با هم برابر است. در حالت کلی بیش‌ترین ثبات در ایجاد رواناب و رسوب در ایستگاه نیر با ضریب تغییرات ۱۰ و ۱۳ درصد است. بیش‌ترین ضریب تغییرات رسوب و رواناب به‌ترتیب مربوط به ایستگاه پل سلطانی و نوران و کم‌ترین مقدار برای ایستگاه نیر بدست آمد. انتظار بر این است که ضریب تغییرات رسوب از ضریب تغییرات رواناب بیش‌تر باشد، اما برابری نسبی این مقادیر ضریب تغییرات را می‌توان به تغذیه رودخانه‌های مورد مطالعه از ذوب برف نسبت داد. علاوه براین می‌توان گفت که محدوده‌های بالادست رودخانه‌های مورد مطالعه مراتع ییلاقی سبلان هستند که دارای پوشش گیاهی مناسب است و بنابراین رسوب جریان دارای تغییرات اندک است. هم‌چنین دلیل دیگر این امر را می‌توان با مقیاس زمانی مورد مطالعه مرتبط دانست که در مقیاس زمانی سالانه بخش زیادی از تغییرات در ارائه اعداد به‌صورت میانگین سالانه در نظر گرفته نخواهد شد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]



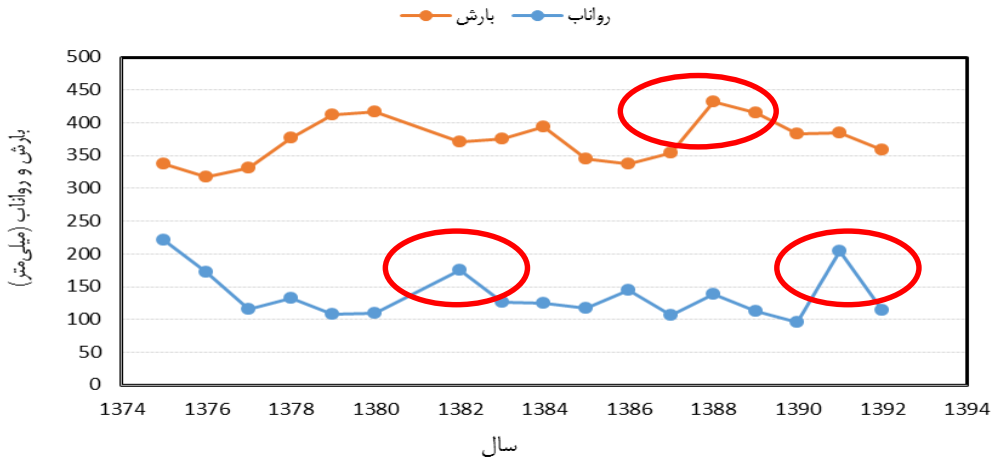
شکل ۴- ضریب تغییرات مقادیر رواناب و رسوب در ایستگاه‌های آبخیز مورد مطالعه
Figure 4. Coefficient of variation of runoff and sediment values in the studied watershed stations



شکل ۵- تغییرات مقادیر رواناب و رسوب در طول دوره آماری موجود در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه استان اردبیل
Figure 5. Changes in runoff and sediment values during the statistical period of the hydrometric stations under study in Ardabil province

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]

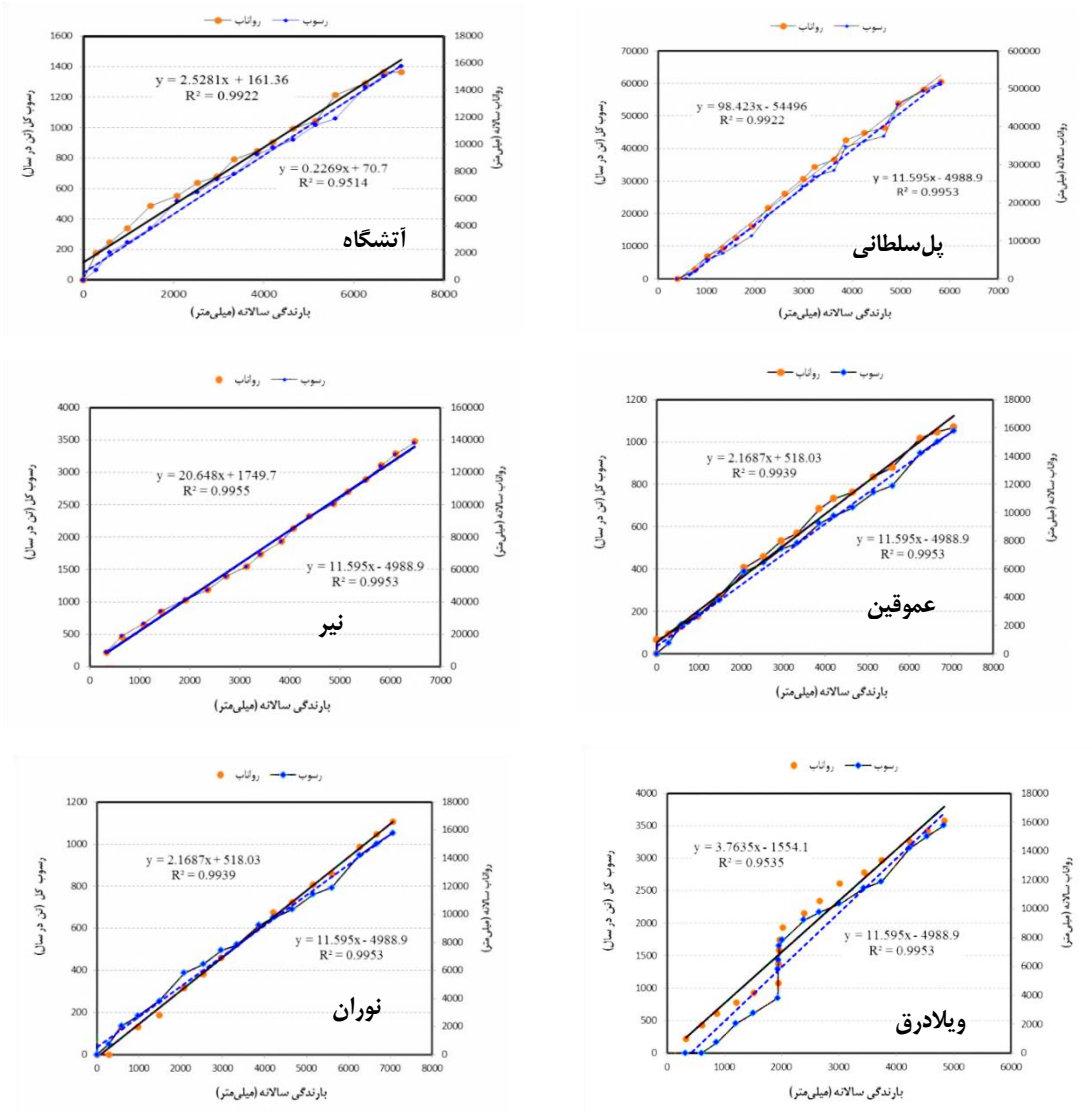
تغییرات زمانی رواناب و رسوب، با استفاده از نمودارهای توالی زمانی رواناب و رسوب در ایستگاه‌های منتخب، روندهای زمانی بدست آمده از این نوسانات سالانه طی ۱۸ سال آماری بر روی محدوده حوزه به نمایش درآمد (شکل ۵). با توجه به شکل فوق به غیر از ایستگاه پل‌سلطانی، عموقین که روند تغییرات رواناب و رسوب غیریکنواخت است یعنی در سال‌های مورد بررسی با افزایش رواناب، رسوب کاهش یافته یا برعکس. اما در سایر ایستگاه‌های مورد بررسی، روند ثابتی (بدون روند افزایشی یا کاهشی) از تغییرات رواناب و رسوب روبرور هستیم. هم‌چنین نتایج حاکی از این است که در ایستگاه نیر در تمامی سال‌های مورد بررسی دارای بیش‌ترین مقادیر رواناب و رسوب بوده است. نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۰ تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی تغییرات رسوب بعد از یک روند کاهشی، افزایش پیدا کرده است. هم‌چنین شکل (۶) تغییرات بارندگی و رواناب در طی دوره‌های مورد بررسی ارائه شده است. که متوسط رواناب و بارش همه ایستگاه‌های مورد بررسی است. با توجه به شکل (۶) نتایج نشان می‌دهد که تغییرات رواناب در دو دوره زمانی ۱۳۹۲ و ۱۳۸۲ بیش‌تر شده است در حالی‌که مقادیر بارش نسبت به دوره‌های خود دارای بارش مشابه بوده است. هم‌چنین در سال ۱۳۸۸ افزایش در مقدار بارش رخ داده است اما رواناب به همان مقادیر قبلی خود بوده است.



شکل ۶- تغییرات بارندگی و رواناب در طی دوره‌های مورد بررسی
Figure 6. Rainfall and runoff changes over the periods studied

مقادیر تغییرات رواناب و رسوب در طول دوره آماری موجود در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی در شکل (۷) ارائه شده است. شکل (۷) به‌منظور بررسی هماهنگی تغییرات آمار تجمعی رواناب و رسوب سالانه برای حوضه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری موجود رسم شده است. معمولاً نمایش نقاط روی دستگاه مختصات به‌منظور رسم منحنی‌های جرم مضاعف، خط مستقیم تشکیل نمی‌دهد، بلکه به‌طور متوسط با کمی انحراف می‌توان از میان آن‌ها خط مستقیمی را عبور داد که این انحرافات جزئی تغییر شیب در منحنی به‌حساب نمی‌آید. به‌طور کلی منحنی‌های جرم مضاعف منعکس‌کننده تغییرات دو مؤلفه بارش-رواناب و بارش-رسوب است که اساس تجزیه و تحلیل روند تغییرات است (۷). بر اساس نتایج، ایستگاه‌های نیر، پل سلطانی و آتشگاه روند تغییرات شیب منحنی در طول دوره آماری ثابت بوده، مقدار رسوب و رواناب متناسب با مقدار بارش است. اما در ایستگاه ویلادرق و نوران تغییرات روند رسوب و رواناب نسبت به بارندگی مشاهده شد. نمودار منحنی تجمعی مقادیر رواناب و رسوب در ایستگاه‌های مورد بررسی به‌ترتیب در شکل (۸) و (۹) نشان داده شده است.

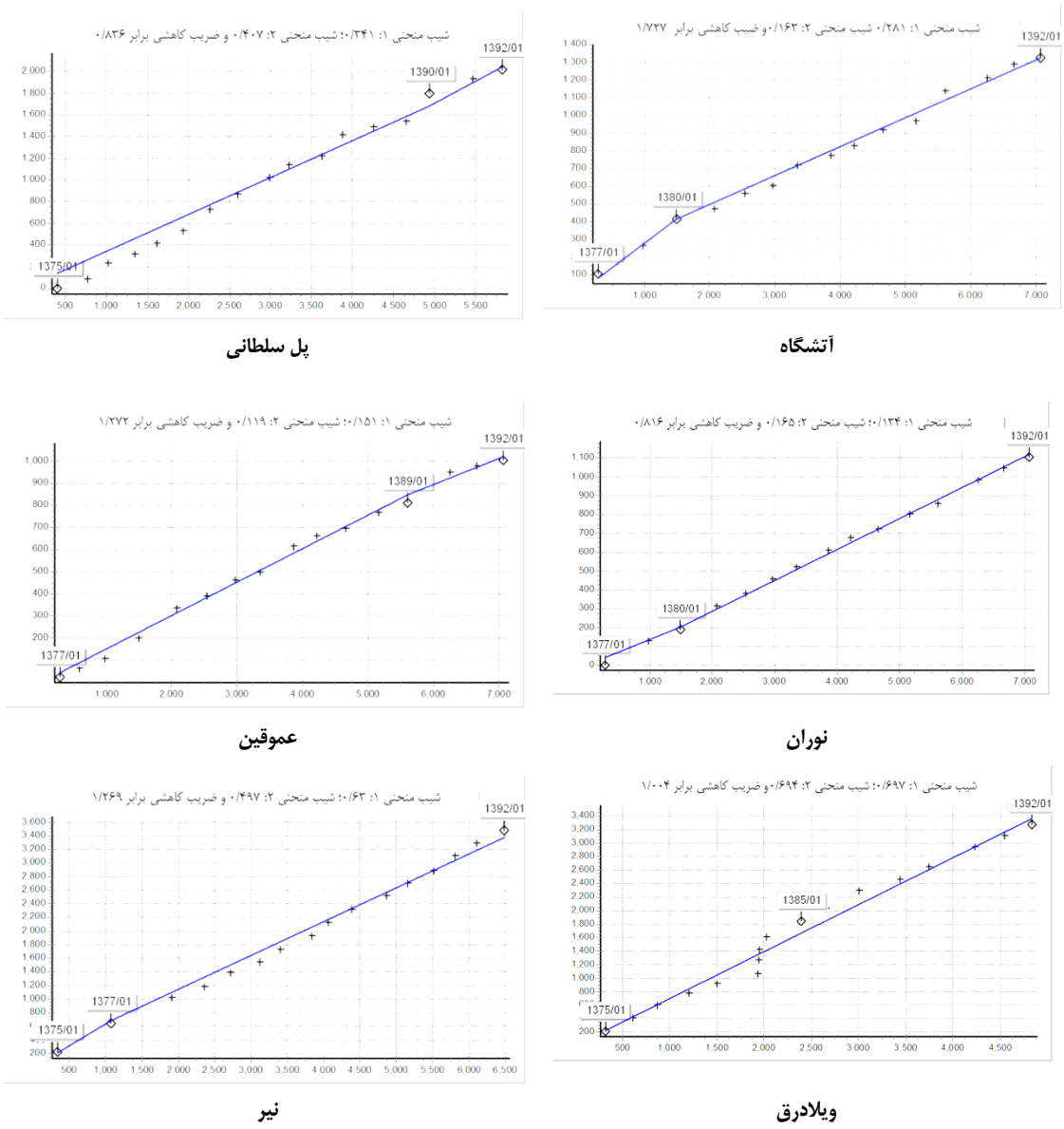
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]



شکل ۷- منحنی تجمعی مقادیر رواناب و رسوب نسبت به بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 7. Cumulative curve of runoff and sediment yield values at the stations under study

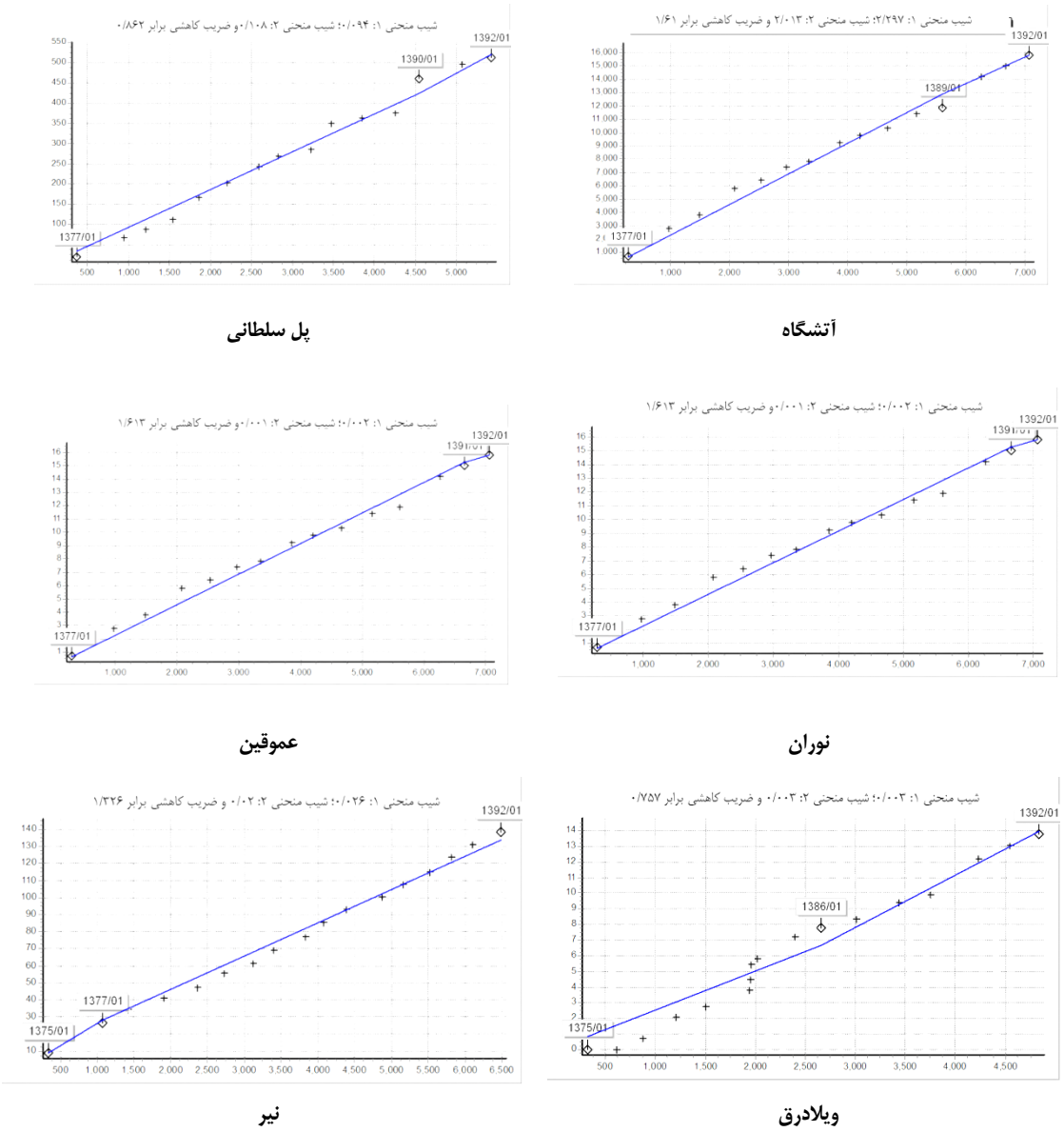
براساس نتایج بدست آمده، در ایستگاه‌های پل‌سلطانی، نیر، عموقین و ویلادرق روند تغییرات شیب منحنی در طول دوره آماری ثابت بوده و مقدار رسوب متناسب با مقدار رواناب است. این نشان می‌دهد که داده‌ها دارای روند افزایشی و کاهشی نیستند. هم‌چنین در ایستگاه‌های آتشگاه و نوران داده‌ها در سال‌های اولیه فاقد روند تغییرات بوده‌اند در سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۴ برای ایستگاه آتشگاه و سال ۱۳۸۶ برای ایستگاه نوران این روند کاهش پیدا کرده که دلیل آن را می‌توان کم بودن رسوب یا رواناب در این دوره آماری دانست. هم‌چنین جدول (۳) مقایر شیب‌های منحنی تجمعی رواناب و رسوب در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. باتوجه به شکل (۸) نتایج نشان داد که بیش‌ترین ضریب کاهشی برای رواناب در ایستگاه آتشگاه در سال ۱۳۸۰ با مقدار عددی ۱/۷۲ است و کمترین مقدار برای ایستگاه نوران با مقدار عددی ۰/۸۱ بدست آمد. هم‌چنین برای رسوب ایستگاه نوران با مقدار عددی ۱/۶۱۳ بیش‌ترین مقدار ضریب کاهشی را در سال ۱۳۹۱ داشته و ایستگاه پل‌سلطانی کمترین ضریب کاهشی را در سال ۱۳۹۰ داشته است. باید اشاره شود که پس از ترسیم نمودار جرم مضاعف سالانه برای ایستگاه‌های مورد بررسی، شیب در تمامی سال‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و سالی که شکست شیب بیش‌تری داشته است، در نمودار نمایش داده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]



شکل ۸- منحنی تجمعی مقادیر رواناب در ایستگاه‌های مورد بررسی
Figure 8. Accumulated curve of runoff values at the stations studied

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]



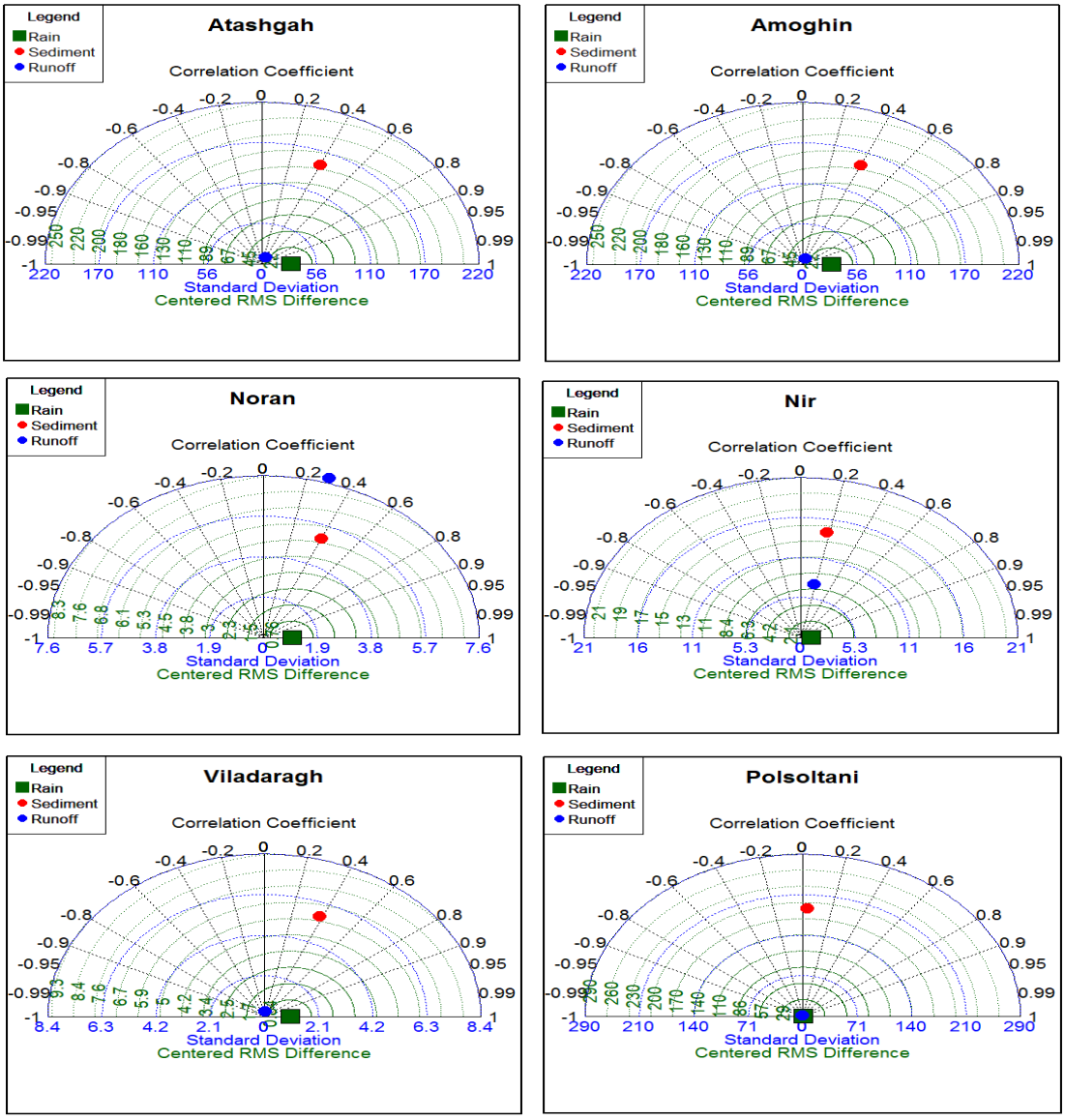
شکل ۹- منحنی تجمعی مقادیر رسوب در ایستگاه‌های مورد بررسی
Figure 9. Accumulated curve of sediment content at the stations under study

جدول ۳- مقایر شیب‌های منحنی تجمعی رواناب و رسوب در ایستگاه‌های مورد بررسی
Table 3. Comparisons of cumulative slope curves of runoff and sediment at the stations under study

ایستگاه	معیار	عامل کاهشی	ضریب تبین
نیر	رواناب	۰/۵۳۸	۰/۹۹۴
	رسوب	۰/۰۲۱	۰/۹۹۴
آتشگاه	رواناب	۰/۱۷۵	۰/۹۹۸
	رسوب	۲/۱۴۷	۰/۹۹۳
پل سلطانی	رواناب	۰/۳۶۶	۰/۹۸۹
	رسوب	۰/۰۹۴	۰/۹۸۷
عموقین	رواناب	۰/۱۳۹	۰/۹۸۶
	رسوب	۰/۰۰۲	۰/۹۹۳
نوران	رواناب	۰/۱۵۸	۰/۹۹۷
	رسوب	۰/۰۰۲	۰/۹۹۳
ویلادرق	رواناب	۰/۷۰۳	۰/۹۸۲
	رسوب	۰/۰۰۳	۰/۹۵۴

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]

با توجه به جدول (۳) مقدار عامل کاهشی در رواناب ایستگاه ویلادرق با مقدار ۰/۷۰۳ حداکثر مقدار بوده و در ایستگاه عموقین با مقدار ۰/۱۳۹ کم‌ترین مقدار را داشته است. هم‌چنین مقدار عامل کاهشی رسوب در ایستگاه‌های عموقین و نوران با مقدار ۰/۰۰۲ کم‌ترین مقدار را داشته است. در شکل (۱۰) نمودار تیلور برای مقایسه بارش، رسوب و رواناب در ایستگاه‌های مورد بررسی ارائه شده است.



شکل ۱۰- نمودار تیلور برای مقایسه بارش، رسوب و رواناب در ایستگاه‌های مورد بررسی
Figure 10. Taylor chart for comparison of precipitation, sediment and runoff at the stations under study

تحلیل نمودارهای تیلور نشان می‌دهد که که همبستگی میان داده‌های بارش و رواناب و رسوب در دامنه صفر تا حدود ۰/۴ است. بر اساس تحلیل نمودارهای تیلور، در همه ایستگاه‌ها مقادیر انحراف معیار داده‌های رسوب از انحراف معیار داده‌های رواناب جریان بیش‌تر بوده است که دلیل آن را می‌توان با عوامل متعدد موثر در تولید رواناب و رسوب مانند نوع کاربری، فعالیت‌های انسانی و نیز فرآیندهای هیدرلوژی مرتبط دانست. مقادیر انحراف معیار داده‌های رسوب در همه ایستگاه‌ها در یک محدوده مشابه قرار دارد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش روند تغییرات زمانی و مکانی دبی، رواناب و رسوب در شش ایستگاه هیدرومتری در استان اردبیل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات و بی‌نظمی مقادیر دبی و رسوبدهی ایستگاه‌های منتخب به‌خصوص در مقیاس ماهانه قابل توجه است. هم‌چنین، افزایش تغییرپذیری رسوبدهی سالانه با افزایش مقادیر رواناب ایستگاه‌ها بر وجود روابط نزدیک رواناب با وضعیت رسوبدهی ایستگاه‌های منتخب دلالت دارد. بیش‌ترین یکنواختی رواناب و رسوب تمامی ایستگاه‌های مذکور به جز

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]

ایستگاه نیر در طول دوره آماری موجود است. به‌عبارتی می‌توان گفت که روند تغییرات رواناب و رسوب در ایستگاه نیر در طول دوره تقریبا یکنواخت بوده ولی در سایر ایستگاه‌ها این تغییرات در بعضی از سال‌ها دارای روند افزایشی و همچنین کاهشی بوده است نتایج این پژوهش با نتایج حاجی و همکاران (۷) مبنی روند افزایش و کاهشی رواناب و رسوب ممکن است ناشی از شرایط هیدرولوژیکی رودخانه یا مقادیر بارش‌ها در طول دوره آماری باشد مطابقت دارد. همچنین طبق نتایج مصطفی‌زاده و مهری (۱۵) مبنی بر روند افزایشی تولید رواناب ناشی از افزایش بارش و یا ناشی از تغییر کاربری اراضی و افزایش شدت بهره‌برداری از مراتع مطابقت دارد. تحلیل نمودارهای تیلور نشان داد که همبستگی میان داده‌های بارش و رواناب و رسوب در دامنه صفر تا حدود ۰/۴ است. بر اساس تحلیل نمودارهای تیلور، در همه ایستگاه‌ها مقادیر انحراف معیار داده‌های رسوب از انحراف معیار داده‌های دبی جریان بیش‌تر بوده است. در این راستا، صادقی و مصطفی‌زاده (۲۲) نیز در ارزیابی تغییرپذیری و تحلیل داده‌های بارش، رواناب و رسوب در ایستگاه قزاقلی استان گلستان در مقیاس‌های مختلف زمانی به این نتیجه رسیدند که کم‌ترین مقدار انحراف معیار مربوط به داده‌های بارش است و میزان انحراف معیار داده‌های رسوب از رواناب نیز بیش‌تر است. در این خصوص باید اشاره شود که فرایند ایجاد رواناب و نیز تولید رسوب تحت تاثیر عوامل متعددی مانند نوع کاربری، فعالیت‌های انسانی و نیز فرآیندهای هیدرلوژی قرار دارند و ممکن است تغییرات قابل توجهی در مقادیر روسب تولیدی و نیز رواناب اتفاق بیفتد. این در حالی است که آرس و همکاران (۱) در تحلیل داده‌های بارش، رواناب و رسوب در مقیاس رگبار در یک آبخیز ۵۶۰ هکتاری در آرژانتین، گزارش دادند که انحراف معیار داده‌های بارش بیش‌تر از رواناب و رسوب است و انحراف معیار داده‌های رواناب و رسوب نیز تقریبا مشابه هستند. مقادیر تعمیم یافته تغییرات ماهانه رسوب برای کل حوزه نشان‌دهنده بیش‌ترین تولید رسوب در ماه فروردین و کم‌ترین آن در مرداد ماه بود که با کمینه و بیشینه آب‌دهی ماهانه مطابقت داشته اما در مورد بارش تنها بخش کمینه ماهانه بارش با رسوب تطابق زمانی دارد. در مورد تغییرات فصلی رسوب نتایج حاکی از بیش‌ترین میزان رسوب‌دهی در فصل بهار و کم‌ترین آن در فصل پاییز بوده است که این نتایج با نتیجه فرجزاده و قره‌چورلو (۵) مبنی بر تغییرات فصلی میزان تولید رسوب در رودخانه‌های اردبیل مطابقت دارد.

نکته قابل توجه این است که مقادیر انحراف معیار داده‌های رسوب در همه ایستگاه‌ها در یک محدوده مشابه قرار دارد. این در حالی است که در ایستگاه نوران، مقادیر انحراف معیار داده‌های رواناب از داده‌های رسوب نیز بیش‌تر است، دلیل این امر را می‌توان با واکنش سریع هیدرولوژیک در آبخیز مورد نظر مرتبط دانست. نتایج نمودار جرم مضاعف نشان داد که ایستگاه‌های نیر، پل‌سلطانی و آتشگاه روند تغییرات شیب منحنی در طول دوره آماری ثابت بوده، مقدار رسوب و رواناب متناسب با مقدار بارش است. اما در ایستگاه ویلادرق و نوران تغییرات روند رسوب و رواناب نسبت به بارندگی مشاهده شد. هم‌چنین در ایستگاه‌های آتشگاه و نوران داده‌ها در سال‌های اولیه فاقد روند تغییرات بوده‌اند در سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۴ برای ایستگاه آتشگاه و سال ۱۳۸۶ برای ایستگاه نوران این روند کاهش پیدا کرده است. در مجموع می‌توان گفت که تغییرات شیب منحنی روند و تغییرات رواناب و رسوب نشان داد که به‌جز ایستگاه نیر، یکنواختی مقادیر رسوب و رواناب در طول دوره آماری وجود دارد. در در ایستگاه نیر در تمامی سال‌های مورد بررسی دارای بیش‌ترین مقادیر رواناب و رسوب بوده است. در خصوص تشابه نسبی ضریب تغییرات رسوب از ضریب تغییرات رواناب می‌توان به رژیم برقی منطقه و تغذیه رودخانه‌ها اشاره نمود. از طرفی پوشش گیاهی مناسب بالادست منطقه مورد مطالعه، تغییرات رسوب را کاهش داده است. علاوه براین، چون مقیاس مورد مطالعه سالانه است، لذا بخش زیادی از تغییرات و نوسانات در مقادیر رواناب و رسوب در میانگین‌گیری اعداد از بین رفته است. پیشنهاد می‌شود که سهم عوامل موثر بر میزان رواناب و رسوب معلق در هر حوضه، شامل ویژگی‌های فیزیکی، تراکم آبراهه، نوع کاربری اراضی و شیب مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود مقایسه این تغییرات در مقیاس‌های رگبار، داده‌های روزانه و ماهانه و نیز سالانه و درازمدت انجام شود. نکته مهم دیگری که باید در نظر گرفته شود، ارزیابی میزان تغییرپذیری رواناب و رسوب معلق از شدت و مولفه‌های بارش است که می‌تواند در تکمیل تحلیل‌ها مورد استفاده واقع شود.

منابع

1. Ares, G.M., M. Varni and C. Chagas. 2016. Suspended sediment concentration controllingfactors: an analysis for the Argentine Pampasregion. Hydrological Sciences Journal, 61(12): 2237-2248.
2. A.W. Alansi., M.S. Amin, G.A. Halim, H.M.Z. Shafri, A.M. Thamer, A.R.M. Waleed, A. Aimrun and M.H. Ezrin. 2009. The effect of development and land use change on rainfall-runoff and runoff-sediment relationships under humid tropical condition: Case study of Bernam Watershed Malaysia. European Journal of Scientific Research, 31(1): 88-105.
3. Azarakhshi1, M., A. Mosaedi, M. Bashir and R. Ojaghloo Shahabi. 2017. Effects of recipitation and land use changes on sediment yield (Case study: Senobar Watershed- Torbat Heydarieh). Iran-Watershed Management Science & Engineering, 11(37): 25-33 (In Persian).
4. Dang, S., L. Xiaoyan L. Xiaoyu Y. Manfei and D. Zhang. 2018. Changes in different classes of precipitation and theImpacts on sediment yield in the Hekouzhen-Longmen Region of the Yellow river basin, China. Advances in Meteorology, 8(8): 1-15.
5. Farajzadeh, M. and M. Garahchorlo. 2011. Analysis of the spatial and temporal suspended sediment of Qarahsu drainage basin. Environmental Erosion Research Journal, (3): 61-84 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]

6. Feiznia, S. and M. Zare-Khosh Eghbal. 2004. Sensitivity of rocks and formations to erosion and sediment yield in Latian drainage basin Area. Iranian Journal of Natural Resources Research (IJNRR), 4(11): 41-44.
7. Haji, Kh., R. Mostafazadeh, A. Esmali-Ouri and Sh. Mirzaei. 2019. Spatial and temporal variations of discharge and sediment loadsconcentration rate over some river gauge stations of West-Azarbaijan Province. Watershed Engineering and Management, 11(3): 619-632 (In Persian).
8. Hu, B., T.H. Wang, Z. Yang and X. Sun. 2011.Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. Quaternary International, 230(1-2): 34-43.
9. Karimi, N., L. Gholamiand and A. Kavian. 2019. Variations of runoff, soil loss and sediment concentration variables using different Biochar levelsin laboratory conditions. Watershed Management Research, 10(20): 38-48 (In Persian).
10. Kavian, A., M. Mohammadi, L. Gholami and J. Rodrigo-Comino. 2018. Assessment of the spatiotemporal effects of land use changes on runoff and nitrate loads in theTalar river. Waterr, 10(445): 1-19.
11. Khoshratar, R. and F. Mazinee. 2011. Statistical survey of discharge and sediment in gara sou drainage basin (Golestan Province). Geographic Space, 11(33): 101-121 (In Persian).
12. Lana-Renault, N., D.E. Regues, N. Romero, S. Muela and J.M. Garcia-Ruiz. 2010. Streamflow response and sediment yield after farmland abandonment: results from a small experimental catchment in the central Spanish Pyrenees. Pirineos, Revista de Ecologia de Montana, 165: 97-114.
13. Liu, J., J. Chen, J. Xu, Y. Lin, Z. Yuan and M. Zhou. 2019. Attribution of runoff variation in the headwaters of the Yangtze river based on the budyko hypothesis. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16: 2506.
14. Noor, H., S. Fazli and S.M. Alibakhshi. 2013. Evaluation of the relationships between runoff-rainfall-sediment related nutrient loss (A case study: Kojour Watershed, Iran). Soil & Water Resource, 8(4): 172-177.
15. Mostafazadeh, R. and S. Mehri. 2018. Trends in variability of flood coefficient in river gauge stations of Ardabil Province, Iran. Watershed Management Research, 9(17): 82-94 (In Persian).
16. Pajouhesh, M., T. Tahmasbi and Kh. Abdollah. 2017. Simulation of runoff and sediment using the WetSpa model. Irrigation and water engineering, 8(32): 30-46 (In Persian).
17. Palamuleni, L.G., P.M. Ndomba and H.A. Annegarn. 2011. Evaluation land cover change and its impact on hydrological regim in Upper Shire river catchment, Malawi, 11(4): 845-855.
18. Pirnia, A., M. Golshan, H. Darabi, J. Adamowski and S. Rozbeh. 2018. Using the Mann–Kendall test and double mass curve method to explore stream flow changes in response to climate and human activities. Water and Climate Change, 10(4): 1-18.
19. Raghuwanshi, N.S., R. Singh and L.S. Reddy. 2006. Runoff and sediment yield modeling using artificial neural networks: Upper Siwane River, India. Journal of Hydraulic Engineering, 11(1): 71-79.
20. Rodriguez-belanco, M.L., M.M. Taboada-Castro, L. Palleiro and M.T. Taboada-castro. 2010. Temporal chages in suspended sediment transport in an Atlantic catchment, NW Spain, Geomorpholigy, 123: 181-188.
21. Romero, E.N., D. Regüés and J. Latron. 2008. Relationships among rainfall, runoff, and suspended sediment in a small catchment with badlands. Catena, 74: 127-136.
22. 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: 843.
23. Sadeghi, S.H.R., B. Salavati and A. Telvari. 2010. Effects of land use change on annual runoff in Garan watershed, Kordistan province. Watershed Engineering and Management, 2(11): 111-115 (In Persian).
24. Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama, S. Miyata, T. Gomi, K. Kosugi, T. Fukushima, S. Mizugaki and Y. Onda. 2008. Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed. Journal of Hydrology, 356: 271-282.
25. Scott, A., W. Schoellhamer and H. David. 2004. Trends in the sediment yield of the Sacramento River, California 1957-2001. Sanfrancisco Estuary and Watershed Science, 2(2): 1-15.
26. Sutari, C.A.T., M. Van der Perk and H. Middelkoop. 2020. Spatial and temporal patterns of suspended sediment concentrations in the Rhine River. Earth and Environmental Science, 451: 012080.
27. Shahid, M., H.F. Gabriel, A. Nabi, S. Haider and Sh.A. Khan. 2014. Valuation of development and land use change effects on rainfall-runoff and runoff-sediment relations of catchment area of Simly Lake Pakistan. Life Science Journal, 11(7s): 11-15.
28. Soqanloo, S.Sh. and M. Mousavi Bayegi. 2019. The effect of large-scale climatic signals on rainfall in Mazandaran Province. Watershed Management Research, 10(20): 13-23 (In Persian).
29. Tesfaye, G.A., A. Assef and D. Kidane. 2016. Runoff, sediment load and land use/cover change relationship: the case of Maybar sub-watershed, South Wollo, Ethiopia. International Journal of River Basin Management, http://dx.doi.org/10.1080/15715124.2016.1239625.
30. Van Rompaey, A., J. Krasa and T. Dostal. 2007. Modelling the impact of land cover changes in the Czech Republic on sediment delivery. Land Use Policy, 24: 576-583.
31. Wagesho, N. 2014. Catchment dynamics and its impact on runoff generation: Coupling watershed modelling and statistical analysis to detect catchment responses, 6(2): 73-87.
32. Wu, L., J. Jiang, G.X. Li and X. Ma. 2018. Characteristics of pulsed runoff-erosion events under typical rainstorms in a small watershed on the Loess Plateau of China. Scientific Reports, 8: 3672.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]

Temporal Changes in Runoff and Sediment of Rivers in Sabalan Mountain

Morteza Eyvazi[1], Nazila Alaei[2] and Raoof Mostafazadeh[3]

1- M.Sc. Student of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Ph.D Student, Department of Natural Resources, Faculty Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
3- Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran,
(Corresponding author: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir)
Received: 26 March, 2020 Accepted: 21 May, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objetive: Estimating the suspended sediment load of hydrometric stations in the watershed requires an accurate understanding of the spatial and temporal variations of the sediment regime. Simultaneous changes and impressability of discharge and sediment from precipitation changes are of mouch importance that rarely considered. Therefore, the aim of tis study was exploring the changes in the slope of the trend curve and also the graphical correlation of monthly and annual data of runoff, sediment values to precipitation values. Toward this, six stations including Atashgah, Pulsoltani, Nayr, Amuqin, Villadergh and Nooran located in the foothills of Sabalan mountain in Ardabil province were chosen and analysed over a 20-year period using the double mass curve method.

Therefore, in this study, the amount of monthly and annual runoff and sediment variations in relation to precipitation values at six including Atashgah, PulSoltani, Nir, Amugin, Viladargh and Nooran river gauge stations in Sabalan Mountain, Ardabil province, were evaluated over a 20-year period using the double mass curve method.

Material and Methods: Tworad this, the monthly mass curve, the mean monthly rainfall for the same period calculated and was plotted versus corresponding runoff data. Trend Curve Slope (STC) was used to reflect the rate of increase in runoff and sediment amounts based on rainfall or runoff, respectively.

Results: The results of changes in runoff and sediment yield during the available period over the studied rivers showed that except for the Nir station, there were uniform sediment and runoff regime of other stations, during the studied period. Meanwhile, the Nair station had the highest amount of runoff and sediment in all the years studied. Results of double mass curves showed that Nair, Polsoltani and Atashgah stations had no trend of curve slope changes during the statistical period, the amount of sediment and runoff was proportional to precipitation in a consistent variation regime. However, changes in precipitation and runoff with respect to rainfall were observed at Villadargh and Noran stations. Also in the recorded data of Atashagh and Noran stations there is not a trend in the early years of the available data, but the Atashgah station had a decrease in 2000 and 2005 years, and a decrease has been occurred in 2007 at Noran station.

Conclusion: Analysis of Taylor diagrams showed that the correlation between precipitation and runoff and sediment data were in the range of zero to about 0.4. The relative similarity of runoff and sediment change coefficients can be related to the originating the rivers from snowmelt, the annual scale of analyzes, as well as the appropriate vegetation of the upland study area. According to analysis of Taylor diagram, at all stations the standard deviation of sediment data was higher than the standard deviation of flow discharge data. The standard deviation values of the sediment data at all stations are in the same range.

Keywords: Double mass diagram, Runoff regime change, Suspended sediment, Trend curve slope

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.2.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.43]