نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۶۹، تابستان ۱۴۰۲

برآورد منطقه‌ای رسوب‌دهی با استفاده از منحنی سنجه رسوب ماهانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز قره‌سو)

دریافت مقاله: ۹۸/۳/۷ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۹/۲۳

صفحات: ۵۳-۳۳

فریبا اسفندیاری: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران[۱]
Email: Esfandyari@uma.ac.ir
مرتضی قراچورلو: دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
Email: morchorloo@mail.com

چکیده

با توجه به آثار و پیامدهای منفی برخاسته از پدیده فرسایش و رسوب‌دهی در حوضه‌های آبریز، تحقیق حاضر باهدف تخمین و تعیین تغییرات مکانی رسوب‌دهی در حوضه آبریز قره‌سو واقع در استان اردبیل انجام شد. در این راستا استفاده از مقیاس زمانی ماهانه در جهت تهیه منحنی‌های سنجه برآورد رسوب به‌عنوان اساس کار قرار گرفت. تهیه منحنی‌های سنجه رسوب ماهانه بر اساس داده‌های نمونه دبی جریان و دبی رسوب متناظر آن در ۱۹ ایستگاه هیدرومتری واقع در سطح حوضه طی دوره آماری ۱۴ ساله (سال‌های آبی ۱۳۸۱-۱۳۹۴) صورت گرفت. تمامی تحلیل‌های آماری در محیط نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. همچنین نمایش تغییرات فضایی میزان رسوب‌دهی در سطح حوضه از طریق قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) میسر گردید. نتایج آزمون روابط رگرسیونی مابین دبی جریان و دبی رسوب حاکی از وجود روابط نزدیک و معنی‌داری در مقیاس زمانی ماهانه داشت. تعمیم منطقه‌ای این روابط برای کل حوضه نشان داد که اختلاف فصلی مشهود بوده و بالاترین و پایین‌ترین ضریب تعیین به ترتیب به ماه‌های اردیبهشت (۰/۷۴) و مرداد (۰/۵۵) تعلق یافت. همچنین وقوع بیشترین انتقال رسوب در فصل بهار و کمترین آن در فصل تابستان مشهود بوده و اشاره به نوع رژیم بارش-رواناب حاکم بر حوضه قره‌سو داشت. به لحاظ مجموع سالانه رسوب-دهی، ایستگاه یامچی با ۳۹۷۰ تن در سال، بالاترین و ایستگاه ننه‌کران با ۶۶ تن در سال، پایین‌ترین میزان رسوب‌دهی را در بین ۱۹ ایستگاه حوضه قره‌سو به خود اختصاص داد. نظر به کلاس رسوب‌دهی بالای ایستگاه‌های واقع در زیرحوضه‌های بالیخلی و خیاو، توصیه گردید که توجه ویژه‌ای به حفاظت و تقویت ارکان آب‌وخاک و تخفیف نیروهای پیش‌برنده فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های مذکور گردد.

کلید واژگان: بار رسوب، منحنی سنجه رسوب، برآورد منطقه‌ای، تغییرات مکانی، قره‌سو

---

۱. **نویسنده مسئول**: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه جغرافیای طبیعی ، شماره تلفن: ۰۹۱۲۰۵۰۳۲۸۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

مقدمه

درک فرایندهای ژئودینامیک مانند تولید رسوب به‌واسطه فرسایش آبی و انتقال رسوب رودخانه نقش مهمی در مدیریت سیستم‌های جریانی دارد. این به خاطر اثرات جانبی این فرایندها از قبیل کاهش ظرفیت تولید خاک، نهشته‌گذاری در مخازن سدها، تغییرات و ناپایداری بستر آبراهه‌ها و سواحل رودخانه‌ها و مانند آن است. به‌علاوه، رسوب انتقال‌یافته از دامنه‌ها به سمت شبکه زهکشی ممکن است در طول آبراهه‌ها ته‌نشین شود که این انباشت رسوب هنگامی‌که دبی استثنایی آب بعد از باران‌های شدید به رودخانه انباشته از رسوب برسد، می‌تواند موجب سرازیرشدن سیلاب‌های خطرناک به اطراف شود (گروسو[2] و همکاران، ۲۰۰۷: ۶۲۸-۶۲۹). بار رسوبی عبارت است از کل رسوب خروجی از یک حوضه که مقدار آن در یک نقطه مرجع و در یک دوره زمانی خاص قابل‌اندازه‌گیری باشد. این مقدار را می‌توان به‌صورت بار رسوبی کل (تن در سال) و یا به‌صورت بار رسوبی ویژه (تن در سال در کیلومترمربع) بیان کرد (خداشناس و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۵۰). بار رسوبی خروجی از حوضه‌های آبخیز به‌عنوان نماینده فرسایش اراضی بالادست حوضه (هادسون[3]، ۲۰۰۳: ۲۶۳؛ حکیم‌خانی و عرب‌خدری، ۱۳۸۵: ۲۲۳) می‌تواند به‌منظور مقایسه وضعیت فرسایشی حوضه‌های آبخیز و اولویت‌بندی آن‌ها جهت اقدامات مدیریتی و حفاظت مورداستفاده قرار گیرد.

مسائل و پیامدهای زیان‌بار ناشی از پدیده رسوب‌دهی و رسوب‌گذاری در نقاط مختلف جغرافیایی یکسان نیست. در این میان مسائل حاد ناشی از تولید و انتقال رسوب در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود منابع آب‌وخاک مناسب روبرو هستند، اهمیت زیادی می‌یابد. این امر نه‌تنها به نرخ زیاد فرسایش و رسوب‌زایی در این مناطق به دلیل رژیم بارش نامنظم و وقوع رگبارهای ناگهانی فرساینده، خاک‌های فرسایش‌پذیر و محافظت کم خاک توسط پوشش گیاهی ناچیز برمی‌گردد، بلکه ماهیت نامنظم و پیچیده تولید و انتقال رسوب در اقالیم خشک و نیمه‌خشک که پیش‌بینی میزان رسوب‌دهی را دشوار می‌نماید، مزید بر علت می‌باشد. کشور ایران نیز که قسمت اعظم آن از شرایط خشک و نیمه‌خشک برخوردار است، با مسائل عدیده‌ای در زمینه فرسایش و رسوب‌زایی روبروست. گسترش فعالیت‌های انسان در طبیعت، کاربری‌های نامناسب اراضی و بهره‌برداری بی‌رویه و غیراصولی از منابع طبیعی، عرصه‌های وسیعی از کشور را در معرض تخریب اراضی قرار داده است که نتیجه آن بروز عواملی چون افزایش سیلاب‌ها، فرسایش و کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش تولید، بیکاری و پیامدهای منفی اقتصادی- اجتماعی شده است (طالبی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۸). در میان فرایندهای مختلف تخریب اراضی، فرسایش خاک تهدیدی جدی برای حفاظت منابع آب‌وخاک کشورمان می‌باشد (جعفرزاده اسطلخ کوهی و رضایی، ۱۳۹۶: ۲۱۰). ایران ازنظر حجم فرسایش خاک در میان کشورهای منطقه، رتبه نخست و در جهان، رتبه دوم را دارد (کاویان و صفری، ۱۳۹۲: ۱۱۲). با این اوصاف آگاهی از تغییرات مکانی-زمانی فرسایش و رسوب‌دهی در نقاط مختلف کشور، یک نیاز اساسی در راستای مدیریت کارآمد حوضه‌های آبخیز می‌باشد.

[2] Grauso
[3] Hudson

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

به‌منظور برآورد رسوب معلق روش‌های متعدد هیدرولیکی و هیدرولوژیکی وجود دارد که روش‌های هیدرولوژیکی به دلیل سادگی و آمار در دسترس از رواج بیشتری برخوردار است. به‌طورکلی در روش‌های هیدرولوژیکی دبی رسوب تابع دبی جریان در نظر گرفته می‌شود. در بیشتر موارد در این روش‌ها از رابطه توانی بین دبی جریان و دبی رسوب معلق که به منحنی سنجه رسوب معروف است، استفاده می‌شود (رمضانی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۱۳). به دلیل وجود خطا در برآوردهای منحنی سنجه رسوب، محققین مختلف جهت افزایش دقت برآوردها از روش‌های متفاوتی استفاده نموده‌اند که شامل اصلاح منحنی‌های سنجه رسوب و استفاده مناسب از آمار جریان (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۰۵) می‌باشد. در بین روش‌های مختلف دسته-بندی داده‌ها، تفکیک زمانی داده‌های دبی و رسوب متناظر آن در مقیاس فصلی و ماهانه یکی از بهترین و کاراترین روش‌هایی است که باعث افزایش دقت و اطمینان‌بخشی مدل‌های رگرسیونی برآورد رسوب می‌گردد. کارهای هورورویتز[۴] و همکاران، ۲۰۰۳؛ خان‌چول[۵] و همکاران، ۲۰۱۲؛ ذرتی‌پور و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمودی و همکاران، ۱۳۹۰؛ و قراچورلو و اسفندیاری، ۱۳۹۵ مبین این نکته بوده است.

مروری بر تحقیقات صورت‌گرفته در زمینه تغییرات مکانی رسوب‌دهی نشان می‌دهد که محققین مختلف در سراسر دنیا از موضوع تغییرات زمانی و رژیم فصلی رسوب‌دهی غافل نمانده‌اند. ترامبلای[۶] و همکاران (۲۰۰۸) طی تحلیل فراوانی غلظت رسوب معلق سالانه در ۲۰۸ رودخانه شمال آمریکا دریافتند که بیشینه غلظت رسوبات مربوط به فصل بهار و تابستان می‌باشد. بررسی تغییرات بار رسوبی حوضه کوربیرا[۷] واقع در شمال غرب اسپانیا توسط رودریگوئز بلانکو[۸] و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که قسمت اعظم کل بار رسوب سالانه در طول ماه‌های پاییز که مقارن با بروز بیشترین تعداد حوادث بود، حمل شده بود. برعکس کمترین انتقال بار رسوبی سالانه (۱٪) در فصل تابستان رخ داده بود. دووان[۹] و همکاران (۲۰۱۳) ضمن اشاره به تغییرات قابل‌توجه بار رسوبی رودخانه ایشیکاری[۱۰] در مقیاس ماهانه و فصلی دریافتند که بیشترین و کمترین بار رسوب معلق به ترتیب در فصول بهار و زمستان می‌دهد. آنان وقوع طوفان‌ها و بارش‌های سنگین همراه با ذوب برف‌ها و نیز سیلاب‌های اوایل بهار را عامل اولیه و اصلی رخداد بیشینه بار رسوبی در رودخانه موردمطالعه دانستند. ریمزویز[۱۱] و همکاران (۲۰۱۸) طی مطالعه خود در زمینه تفاوت‌های مکانی و زمانی رسوب‌دهی سالانه در حوضه‌های کوچک کشاورزی واقع در ایرلند به اهمیت دوره مرطوب زمستانه در انتقال رسوب اذعان نمودند. پیری و همکاران (۱۳۸۴) با در نظر گرفتن معیارهای هیدرولوژیکی، اقلیمی و زیستی سعی در بهینه‌سازی روابط دبی آب و دبی رسوب در حوزه معروف امامه واقع در البرز مرکزی داشتند. نتایج حاصل از برآورد بار

4. Horowitz
5. Khanchoul
6. Tramblay
7. Corbeira
8. Rodroguez-Blanco
9. Duan
10. Ishikari
11. Rymszewicz

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

رسوبی نشان داد که ۸۴/۲ درصد بار معلق سالانه در فصل بهار، ۶/۵۵ درصد در فصل تابستان، ۴/۲۵ درصد بار معلق سالانه در فصل پاییز و ۵ درصد بار معلق سالانه در فصل زمستان از حوزه خارج می‌گردد. نتایج تحلیل فصلی بار رسوب معلق در حوضه رودخانه گرگانرود توسط خزایی موغانی و همکاران (۱۳۹۲) حاکی از وقوع بیشترین انتقال رسوب در فصل بهار (۵۰ تا ۷۰ درصد رسوب‌دهی) و کمترین آن در فصل تابستان (۳ تا ۱۰ درصد رسوب‌دهی) بود. اسفندیاری و قراچورلو (۱۳۹۴) با تحلیل روابط مکانی ـ زمانی بار رسوب معلق با بارش در حوضه آبریز قره‌سو به این نتیجه رسیدند روابط بین دو متغیر در مقیاس درون‌سالی قوی‌تر از مقیاس بین‌سالی بود. همچنین وقوع بیشترین رسوب‌دهی به ماه فروردین اختصاص داشت. گرامی لوشابی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی رابطه تغییرات فصلی فرسایندگی باران با تغییرات فصلی رسوب‌دهی در حوزه کسیلیان واقع در استان مازندران ضمن اشاره به تغییرات درون‌سالی قابل‌توجه متغیرهای موردمطالعه پی بردند که بیشترین رسوب‌دهی مربوط به فصل بهار بوده است. رمضانی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) طی انجام پژوهشی جهت تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کشف‌رود واقع در استان خراسان رضوی دریافتند که مدل‌هایی که بر اساس دسته‌بندی داده‌ها تهیه شده‌اند، از کارایی بهتری نسبت به مدل‌های سالیانه و بدون دسته‌بندی داده‌ها برخوردار بوده است.

مروری بر تحقیقات انجام‌شده نشان از این واقعیت دارد که استفاده از منحنی‌های سنجه رسوب ماهانه در تعیین تفاوت‌های مکانی رسوب‌دهی کمتر مورد اقبال واقع‌شده است. همچنین خلأ مهمی در زمینه تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی رسوب‌دهی نه‌تنها در مقیاس درون‌سالی، بلکه در مورد تغییرات بین‌سالی در تحقیقات داخل کشور دیده می‌شود. تحقیق حاضر با در نظر گرفتن این کاستی‌ها سعی در برآورد منطقه‌ای و ارائه نقشه‌های تغییرات مکانی رسوب‌دهی ماهانه در حوضه آبریز قره‌سو واقع در استان اردبیل داشت. با توجه به سرچشمه گرفتن رودخانه‌های حوضه از مناطق مرتفع و شیب زیاد این نواحی به‌ویژه در بخش غربی حوضه و نیز عدم رعایت اصول درست کشت و بهره‌برداری از مراتع، هرساله مقادیر قابل‌توجهی رسوب توسط زیرشاخه‌های حوضه حمل می‌گردد. از طرفی با توجه به واقع‌شدن تقریباً نیمی از اراضی مستعد کشاورزی استان در محدوده حوضه و توسعه شبکه‌های آبیاری و تأسیس سدهای جدید بر روی سرشاخه‌های حوضه موردنظر، آگاهی از وضعیت فرسایشی و رسوب‌دهی رودخانه‌ها در جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آب‌وخاک منطقه ضروری است.

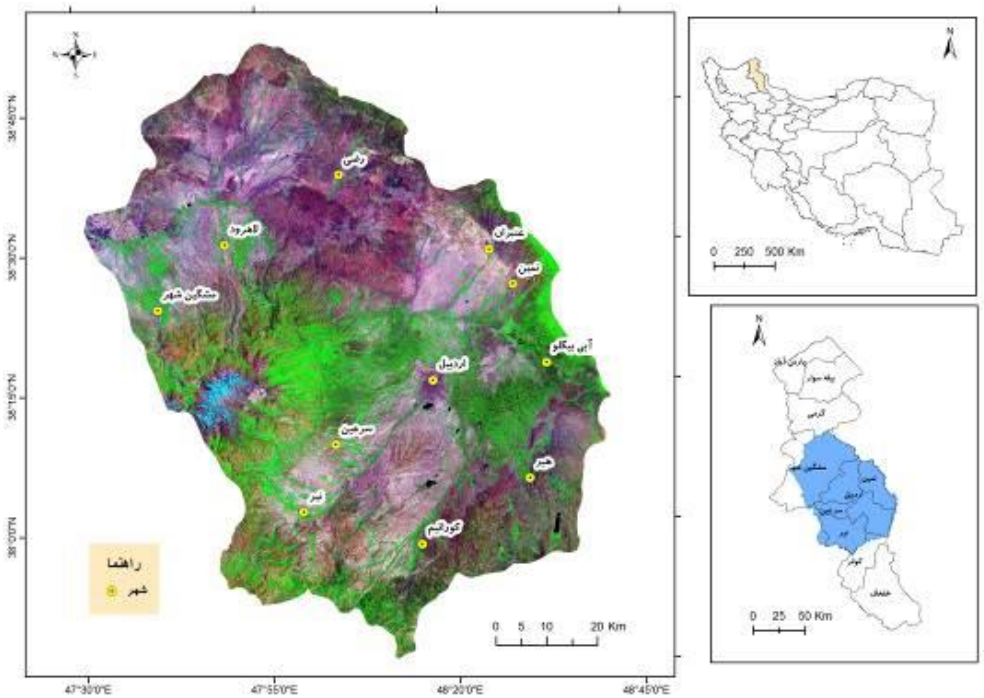
روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

حوضه آبریز قره‌سو با مساحت بالغ بر ۷۴۳۵ کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی ´۳۱ °۴۷ تا ´۴۳ °۴۸ طول شرقی و ´۴۵ °۳۷ تا ´۵۴ °۳۸ عرض شمالی واقع گردیده است. همان‌گونه که از شکل (۱) پیداست، این حوضه در قسمت میانی استان اردبیل جای گرفته و سراسر شهرستان‌های اردبیل، نمین، نیر و سرعین و بخشی از شهرستان‌های مشگین‌شهر و کوثر را شامل می‌شود. البته بخش کوچکی از آن نیز در محدوده استان آذربایجان شرقی (شهرستان سراب) قرارگرفته است (اسفندیاری و قراچورلو،۱۳۹۴). حوضه موردمطالعه به لحاظ ساختمانی از سه واحد اصلی بخش چین‌خورده البرز غربی (شرق حوضه)، حوضه نئوژن فروافتاده مرکزی و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

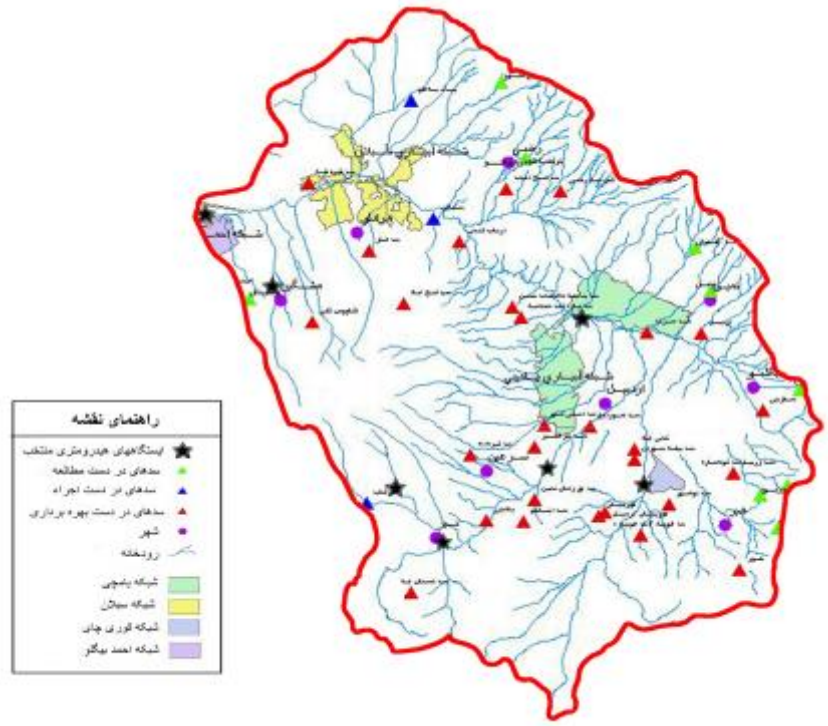
فلات ولکانیکی غربی که بخشی از فلات بزرگ آذربایجان است، تشکیل‌شده است. گدازه‌های آندزیتی و بازالتی قسمت اعظم واحدهای کوهستانی را تشکیل داده و رسوبات آبرفتی کواترنری در پایکوه‌ها و دشت‌های حوضه جای گزیده‌اند. با توجه به احاطه‌شدن حوضه مابین رشته‌کوه‌های تالش (شرق)، سبلان (غرب)، صلوات‌داغی (شمال) و بزغوش (جنوب و جنوب‌غرب)، واحدهای توپوگرافی متمایزی در سطح حوضه به چشم می‌خورد. در این میان دشت رسوبی اردبیل با مساحت تقریبی ۲۷۰۰ کیلومترمربع از عوارض ناهمواری برجسته به شمار می‌رود. اختلاف ارتفاع بین پست‌ترین نقطه در خروجی حوضه (۷۷۴ متر از سطح دریا) و بلندترین نقطه در قله سبلان (۴۷۸۶ متر از سطح دریا) برابر با ۴۰۱۲ متر می‌باشد. دامنه شیب حوضه نیز از صفر تا ۶۳ درجه متغیر است. حاکمیت سیستم فرسایشی جنب‌یخچالی و وقوع حرکات توده‌ای و سولیفلوکسیون در دامنه‌های بالادست بارز بوده و فرسایش آبراهه‌ای در دامنه‌های غربی کوهستان تالش و دامنه‌های سبلان باعث کندوکاو کوهرفت‌ها و حمل مواد فرسایش‌پذیر به پایین‌دست دامنه‌ها شده است. قسمتی از این مواد به‌صورت رسوبات مخروط‌افکنه و پادگانه‌ها درآمده و بخشی نیز در مسیر رودخانه‌ها تا مخازن طبیعی و مصنوعی حمل می‌شود. در فصل مشترک دامنه‌های پای‌کوهی با دشت، به‌ویژه دامنه‌های سبلان که از نهشته‌های نامقاوم دریاچه‌ای و روانه‌های گلی آتش‌فشانی تشکیل یافته‌اند، به دلیل اثرپذیری فرسایش رودخانه‌ای بر بستر خود، تورفتگی‌هایی به داخل نواحی کوهپایه‌ای کشیده شده است. سطح دشت اردبیل از عناصر و مواد نرم ریزبافتی متشکل از سیلت و رس حاصل از تخریب رسوب‌های پالئوژن، نئوژن و نهشته‌های دریاچه‌ای پوشیده شده است که توسط سیستم‌های آبراهه‌ای دامنه‌های باختری ارتفاعات باغرو و خاوری سبلان به سمت دشت جابه‌جا شده‌اند (صمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹:۱۲۱).



شکل (۱). نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز قره‌سو

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

به لحاظ کلاس اقلیمی، اغلب ایستگاه‌های منطقه در محدوده آب‌وهوای مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک قرار دارند. به لحاظ توزیع فصلی بارندگی می‌توان گفت که بیشتر بارندگی حوضه قره‌سو همچون بارندگی‌های آذربایجان در فصل بهار (۴۲٪) اتفاق می‌افتد. در مقابل کمینه بارندگی فصلی به تابستان (۱۰٪) تعلق دارد. رژیم آبدهی نیز به تبعیت از میزان و نوع بارندگی افزایش فراوانی از اواسط سال آبی (اواخر اسفند) تا اواسط بهار داشته و سپس کاهشی تا اواخر تابستان نشان می‌دهد. این واقعیت اشاره به رژیم فصلی برگرفته از ذوب برف زمستانی و بارش‌های سنگین بهاره در مقابل بارش‌های اندک تابستانه همراه با بهره‌برداری انسانی از آب رودها دارد. وجود شبکه گسترده آب‌های سطحی و زیرزمینی در محدوده حوضه قره‌سو باعث گردیده تا این حوضه به لحاظ تأمین منابع آب استان اردبیل از جایگاه مهم اقتصادی- اجتماعی برخوردار شود شکل (۲).



شکل (۲). منابع آب حوضه آبریز قره‌سو

(برگرفته از نقشه منابع آب استان- سازمان آب منطقه‌ای اردبیل)

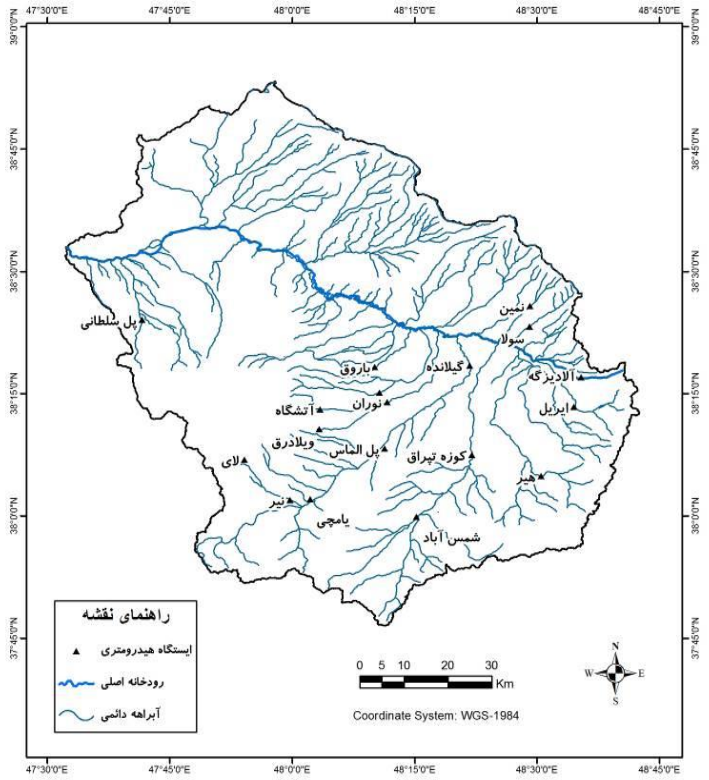
داده‌ها و روش تحقیق

تحقیق حاضر به لحاظ ماهیت از نوع همبستگی بوده و به طریق کتابخانه‌ای انجام شد. داده‌های مورداستفاده عمدتاً شامل داده‌های دبی و رسوب متناظر ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوضه آبریز قره‌سو بود که از سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل اخذ گردید. ابزارهای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و اطلاعات شامل نرم‌افزار تحلیل مکانی GIS، نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS و صفحه گسترده Excel بود. مراحل انجام تحقیق بدین شرح بود:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

الف- انتخاب و تعیین موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری: در وهله نخست هدف بر این بود که از آمار تمامی ایستگاه‌های واقع در حوضه جهت مدل‌سازی منطقه‌ای و برآورد رسوب‌دهی استفاده شود. بااین‌حال برخی ایستگاه‌ها دارای نواقص آماری بودند که ناگزیر از حذف آن‌ها شدیم. دراین‌بین دو ایستگاه قوشه و ساچلو هیچ‌گونه آماری نداشتند. همچنین دو ایستگاه عنبران و نئور با نقص آماری قابل‌توجه مواجه بودند. سایر ایستگاه‌ها که شامل ۱۹ ایستگاه می‌شد، از آمار کافی و بلندمدت برخوردار بودند که جهت انجام تجزیه‌وتحلیل‌های بعدی انتخاب شدند. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در شکل (۳) مشاهده می‌شود.

ب- سری زمانی و انتخاب پایه زمانی مشترک: سری زمانی مورداستفاده در این تحقیق از سال آبی ۱۳۸۱ تا سال آبی ۱۳۹۴ را شامل گردید که به‌صورت ماهانه، برای آمار نمونه دبی و رسوب متناظر آن تنظیم گردید. انتخاب این دوره ۱۴ ساله به این دلیل بود که تقریباً نیمی از ایستگاه‌های هیدرومتری از سال آبی ۱۳۸۱ به بعد دارای آمار نمونه‌برداری شده بودند. سال آبی ۱۳۹۴ نیز آخرین سالی بود که آمار نمونه موردنظر در دسترس بود. البته ناگفته نماند که چون هدف اصلی در این تحقیق، رسیدن به مقادیر میانگین رسوب‌دهی ایستگاه‌ها در مقیاس درون‌سالی بوده و تفاوت‌های بین‌سالی مدنظر نیست، نیازی به آمار طولانی‌مدت نبود.



شکل (۳). موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز قره‌سو

ج- آماده‌سازی و آزمون کفایت آماری داده‌ها: از آنجایی که نوع و کیفیت داده‌های اولیه در دقت و درستی برآورد روش‌های هیدرولوژیکی مؤثر است (ذرتی‌پور و همکاران، ۱۳۸۷: ۸۱۰)، پس از طبقه‌بندی داده‌های

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

ایستگاه‌ها به‌صورت ماهانه، سعی گردید تا بر اساس تجربیات آماری و واقعیات هیدرولوژیکی نسبت به حذف داده‌های مشکوک و تکراری اقدام شود. در گام بعدی، آزمون همگنی داده‌ها به روش ران[۱۲] جهت آگاهی از تصادفی بودن داده‌های نمونه صورت گرفت. آزمون ران یا گردش که یکی از پیش‌فرض‌های اصلی آزمون پارامتریک است، در اصل جهت بررسی تصادفی بودن دنباله‌ای داده‌ها بر مبنای میانگین یا میانه به کار گرفته می‌شود. این آزمون به تفکیک ماهانه برای داده‌های دبی و رسوب متناظر هر ایستگاه در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ اجرا گردید.

د- آزمون روابط رگرسیونی توانی و تهیه معادلات منحنی سنجه رسوب: پس از اطمینان از تصادفی بودن داده‌ها در قالب داده‌های تفکیک‌شده ماهانه برای هر ایستگاه، نوبت به مرحله اصلی تحقیق که همان برقراری روابط رگرسیونی مابین دبی جریان و دبی رسوب بود، رسید. آزمون روابط رگرسیونی جهت رسیدن به معادله پیش‌بین رفتار یک متغیر از روی یک متغیر یا متغیرهای دیگر مورداستفاده قرار می‌گیرد. متغیر مستقل یا پیشگو در اینجا عبارت از دبی جریان بوده و متغیر وابسته یا برآوردی، دبی رسوب متناظر آن می‌باشد. صورت کلی معادله رگرسیون دومتغیره به شرح رابطه (۱) است:

$$y = a + bx \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:y، مقدار مورد انتظار (متغیر وابسته)؛ x، مقدار متغیری است که بر اساس آن پیش‌بینی صورت می‌گیرد (متغیر مستقل)، a، ضریب ثابت که به‌عنوان عرض از مبدأ خوانده می‌شود؛ و b، شیب خط رگرسیونی است (فرج زاده، ۱۳۸۶: ۸۳). معادله فوق، شکل خطی و عمومی روابط رگرسیونی است. در بررسی روابط بین دبی جریان و رسوب متناظر آن استفاده از شکل خطی و عمومی روابط رگرسیونی به دلیل برازش ضعیف رایج نیست. در مقابل، با توجه به افزایش تصاعدی بار رسوبی همگام با افزایش دبی جریان بایستی از تابع دیگری برای برازش خط رگرسیونی بهره جست. این تابع، تابع توانی است که از طریق اعمال آن در روابط رگرسیونی مابین دبی جریان و دبی رسوب، منحنی معروف به "منحنی سنجه رسوب" حاصل می‌شود که قادر به برآورد یا پیش‌بینی بار رسوبی در مقیاس‌های زمانی مختلف است. معادله رگرسیون توانی در مقیاس ماهانه را می‌توان به‌صورت رابطه (۲) ارائه نمود.

$$Q_{s(monthly)} = a.Q_{w(monthly)}^{b} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله، $Q_{s(monthly)}$، دبی رسوب ماهانه؛ $Q_{w(monthly)}$، دبی آب ماهانه؛ و a و b ضریب‌های فرمول رگرسیونی می‌باشند. آزمون روابط رگرسیونی توانی برای هر ایستگاه به تفکیک ماهانه در صورتی انجام گرفت که دست‌کم به تعداد ۱۰ داده نمونه وجود داشته باشد. البته به دلیل کمبود آمار نمونه رسوب معلق به‌ویژه در

12. Run Test

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

ماه‌های تابستان، در موارد معدودی که تعداد داده به ۹ یا ۸ می‌رسید، نیز برازش تابع رگرسیونی صورت گرفت. در ضمن سطح معنی‌داری قابل‌قبول در آزمون روابط رگرسیونی معادل ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

و- تخمین و تکمیل آمار رسوب‌دهی به‌صورت ماهانه: پس از تهیه این معادلات، با استفاده از آمار دبی ماهانه ایستگاه‌ها، تخمین رسوب‌دهی در ماه‌های مختلف سال طی سال‌های آبی موردمطالعه انجام شد. سپس میانگین این ارقام تخمینی برای هرماه و هر ایستگاه محاسبه شد. از مقادیر میانگین برآوردی ماهانه حاصل برای هر ایستگاه، میانگین مجموع بار رسوب معلق برای هر ایستگاه که همان میانگین سالانه بار رسوبی است، به دست آمد. همچنین از طریق میانگین‌گیری از ارقام میانگین ماهانه برای ۱۹ ایستگاه، سعی گردید تعمیمی برای کل حوضه به لحاظ میزان رسوب‌دهی ماهانه به دست آید.

ه- تهیه نقشه‌های رسوب‌دهی ماهانه: نمایش تغییرات مکانی رسوب‌دهی در قالب نقشه‌های موضوعی آخرین بخش از تحقیق را شامل شد که با استفاده از ارقام متوسط ماهانه برای ۱۹ ایستگاه صورت گرفت. این اطلاعات در قالب پایگاه اطلاعات میزان رسوب‌دهی ایستگاه‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه و سازمان‌دهی شد. با توجه به این اطلاعات توصیفی و موقعیت مکانی ایستگاه‌ها، نقشه‌های میزان رسوب‌دهی ماهانه در سطح حوضه موردمطالعه بر پایه نمادگذاری دایره‌ای ارائه گردید. در همین راستا، نقشه رسوب‌دهی کل سالانه زیر حوضه‌ها نیز از طریق جمع‌بندی ارقام متوسط ماهانه در هر ایستگاه ارائه گردید.

نتایج

بررسی کم و کیف آماری داده‌های نمونه

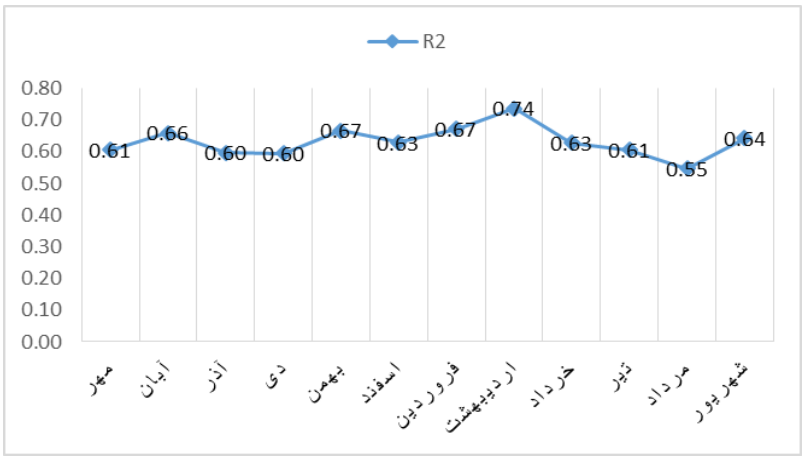
نتایج بررسی مقدماتی داده‌های نمونه‌برداری دبی جریان و بار رسوب متناظر آن در ۱۹ ایستگاه هیدرومتری نشان داد که طبق معمول (پیشینه موضوعی)، کم‌وکاستی‌هایی در این زمینه دیده می‌شود که آزمون روابط رگرسیونی در مقیاس زمانی ماهانه را با محدودیت مواجه ساخت. کمبود داده طی ماه‌های خرداد تا مهر در بیش از نصف ایستگاه‌های موردمطالعه مشهود بوده و مانع از برازش منحنی‌های سنجه رسوب در آن‌ها شد. احتمالاً یکی از دلایل این موضوع مربوط به دبی جریان کم رودخانه‌ها در این ماه‌ها باشد که نمونه‌برداری غلظت رسوب را دشوار می‌نماید. محققینی مانند عرب‌خدری (۱۳۸۴) و صادقی (۱۳۸۴)، محدودیت تعداد سال‌های دارای آمار، تعداد کم و عدم دقت کافی نمونه‌برداری‌ها را جزء مشکلات همیشگی مطالعات رسوب در کشور دانسته‌اند؛ اما نتایج آزمون تصادفی بودن داده‌های نمونه‌برداری به تفکیک ماهانه نشان داد که تقریباً تمامی ایستگاه‌ها در طول دوره آماری موردنظر از داده‌های تصادفی و همگن برخوردار بودند. درنتیجه، پیش‌شرط لازم برای آزمون روابط رگرسیونی دومتغیره جهت رسیدن به منحنی سنجه رسوب ماهانه فراهم شد.

آزمون رگرسیونی و تهیه منحنی سنجه رسوب ماهانه

نتایج اولیه آزمون روابط رگرسیونی در ایستگاه‌های موردبررسی حاکی از روابط مختلف و متفاوت در بین ایستگاه‌ها و ماه‌های سال داشت. ازآنجایی‌که در میان ایستگاه‌ها، برخی روابط از معنی‌داری کافی (کمتر یا مساوی ۰/۰۵) برخوردار نبود، بازبینی از منحنی‌های سنجه رسوب صورت گرفت. بدین‌صورت که چنانچه حذف

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

برخی داده‌ها به معنی‌داری لازم می‌انجامید، اقدام به حذف آن‌ها شد. درنهایت، تعداد ماه‌های با عدم رابطه معنی‌دار بین دبی جریان و رسوب متناظر آن، ۱۲ عدد بود که ناچیز بوده و نشان از وجود روابط نزدیک بین دو متغیر موردبررسی در حوضه قره‌سو داشت. نمودار مقادیر تعمیم‌یافته متوسط ماهانه ضریب تعیین برای کل حوضه این واقعیت را تائید می‌نماید شکل (۴).



شکل (۴). نمودار تغییرات میانگین ضریب تعیین منحنی سنجه رسوب ماهانه در حوضه آبریز قره‌سو

شکل (۴) نشان می‌دهد که بالاترین و پایین‌ترین ضریب تعیین روابط رگرسیونی میان دبی جریان و دبی رسوب در حوضه موردمطالعه به ترتیب به ماه‌های اردیبهشت (برابر با ۰/۷۴) و مرداد (برابر با ۰/۵۵) تعلق دارد.

تخمین و تکمیل آمار رسوب‌دهی در مقیاس زمانی ماهانه

مقادیر برآوردی بار رسوب حاصل از اعمال معادلات منحنی سنجه رسوب در ۱۹ ایستگاه هیدرومتری حوضه به تفکیک ماهانه طی جدول (۱) آورده شد. با توجه به این‌که کمبود داده نمونه‌برداری و نیز عدم برازش معنی‌دار خط رگرسیونی در برخی موارد مانع از تهیه منحنی‌های سنجه برآورد رسوب شد، لذا در راستای اهداف تحقیق و تعمیم منطقه‌ای رسوب‌دهی در حوضه موردمطالعه جهت تکمیل آمار رسوب‌دهی ایستگاه‌ها به‌ناچار از میانگین‌گیری داده‌های نمونه بار رسوب استفاده شد. بااین‌حال ماه‌هایی که مقادیر برآوردی آن‌ها بنا به تجارب کارشناسی و اطلاعات موجود از رژیم هیدروکلیمایی زیرحوضه‌ها از دقت کافی برخوردار نبود، با علامت ستاره (*) در جدول (۱) مشخص شد. نتایج برآوردی نشان می‌دهد که بیشینه و کمینه رسوب‌دهی ماهانه به ترتیب در ماه‌های فروردین برابر با ۹۱۰ تن (ایستگاه یامچی) و مرداد برابر با ۰/۰۳ تن (ایستگاه عموقین) رخداده است. همچنین نقش چند ایستگاه در کسب بیشینه و کمینه رسوب‌دهی طی ماه‌های مختلف سال آبی آشکار می‌باشد. به لحاظ مقادیر بیشینه، در ماه اول سال آبی (مهرماه) ایستگاه پل سلطانی بالاترین رسوب‌دهی (۲۷۶ تن در ماه) را در بین ایستگاه‌ها تجربه می‌نماید. در ماه‌های آبان و آذر، ایستگاه پل الماس به ترتیب با ۳۵۱ و ۲۷۵ تن در ماه، بالاترین میزان رسوب‌دهی را دارد. در ۵ ماه بعدی یعنی ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت، ایستگاه یامچی به ترتیب با ۳۴۲، ۳۱۵، ۴۸۹، ۹۱۰ و ۷۳۱ تن در ماه، بیشترین رسوب‌دهی را به خود اختصاص داده است. در ماه‌های خرداد و تیر، ایستگاه پل سلطانی به ترتیب با مقادیر ۸۵۰ و ۴۰۹ تن در

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

ماه، بیشترین میزان رسوب‌دهی را دارد. درنهایت در ماه‌های مرداد و شهریور، بار دیگر ایستگاه پل الماس به ترتیب با ۴۳۲ و ۱۳۸ تن در ماه، بالاترین رسوب‌دهی را تجربه می‌نماید؛ اما به لحاظ مقادیر کمینه، در ماه اول سال آبی یعنی مهرماه، ایستگاه ننه‌کران با مقدار ۱/۸ تن در ماه، کمترین رسوب‌دهی را دارد. در ماه آبان، ایستگاه نمین با ۱/۹ تن در ماه، این رتبه را به خود اختصاص داده است. در ماه آذر ایستگاه سولا با ۵ تن در ماه، پایین‌ترین میزان رسوب‌دهی را دارا می‌باشد. در دی‌ماه، ایستگاه ننه‌کران با داشتن ۰/۹ تن در ماه، کمترین رسوب‌دهی را دارد. در بهمن‌ماه، ایستگاه شمس‌آباد با ۲/۴۱ تن در ماه، کمترین رسوب‌دهی را تجربه می‌نماید. در ۴ ماه بعدی، یعنی ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد، بار دیگر ایستگاه ننه‌کران به ترتیب با مقادیر ۷/۰۵، ۹/۸۳، ۱۳/۵۷ و ۱/۱۲ تن در ماه، پایین‌ترین میزان رسوب‌دهی را در بین ایستگاه‌ها تجربه می‌نماید. درنهایت، در ۳ ماه بعدی یعنی ماه‌های تیر، مرداد و شهریور، پایین‌ترین میزان رسوب‌دهی به ترتیب برابر با ۰/۰۷، ۰/۰۳ و ۰/۲۴ به ایستگاه عموقین اختصاص دارد. نظر به نتایج فوق معلوم می‌شود که اختلاف بین مقادیر بیشینه و کمینه رسوب‌دهی در مقیاس ماهانه به‌ویژه در فصل بهار بالاست. همچنین انتظار می‌رود که ایستگاه‌های یامچی، پل الماس و پل سلطانی که به ترتیب بیشترین تعداد ماه‌های با مقادیر بیشینه را دارا هستند، بالاترین مجموع رسوب‌دهی سالانه را نیز دارا باشند. این قضیه به‌طور برعکس در مورد ایستگاه ننه‌کران که بیشترین تعداد ماه‌های با مقادیر کمینه را دارا است، نیز می‌تواند صادق باشد. مقادیر مجموع رسوب‌دهی سالانه ایستگاه‌ها نیز این موضوع را تأیید می‌نماید. ایستگاه یامچی با ۳۹۷۰ تن در سال، بالاترین و ایستگاه ننه‌کران با ۶۶ تن در سال، پایین‌ترین مجموع رسوب‌دهی سالانه را در بین ۱۹ ایستگاه حوضه قره‌سو دارا می‌باشند.

جدول (۱). مقادیر برآوردی میانگین ماهانه رسوب‌دهی در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه قره‌سو

ایستگاه/ ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع
آتشگاه	۵.۳۴	۲۰.۰۳	۱۳.۱۰	۲۲.۵۰	۲۳.۲۳	۳۶.۱۳	۱۳۵.۰۹	۵۳.۰۶	۱۴.۰۴	۱۱.۴۴	۸.۷۶	۱۱.۵۷	۳۵۴.۲۸
آلادیزگه	۳۷.۶۳	۳۱.۸۵	۱۴.۰۹	۶.۰۰	۴۰.۲۰	۷۴.۵۱	۵۷.۹۲	۳۴.۸۹	۳.۹۶	۱۷.۵۹	۲۸.۷۹	۶۴.۸۵	۴۱۲.۲۹
ایریل	۶.۰۰	۳۱.۸۸	۵۲.۴۸	۳۱.۲۰	۲۳.۷۹	۳۷.۵۱	۷۸.۰۱	۲۵.۹۲	۳.۴۱	۳.۵۲	۷.۲۰	۱۶.۳۵	۳۱۷.۲۷
باروق	۶۰.۰۰	۵.۴۵*	۲۸.۶۴	۳۶.۵۷	۳۳.۳۵	۶۹.۶۰	۲۶۲.۴۰	۱۵۴.۶۶	۱۰۱.۳۷	۱۰.۳۳	۰.۲۹	۸.۶۶	۷۷۱.۳۲
پل الماس	۱۸۶.۵۸	۳۵۱.۳۴*	۲۷۵.۵۳*	۱۷۱.۷۳	۲۶۰.۹۸	۳۸۰.۴۸	۴۶۴.۳۷	۴۱۸.۴۲	۴۵۶.۸۹	۳۳۷.۴۵	۴۳۲.۷۸*	۱۳۸.۹۲	۳۸۷۵.۴۸
پل سلطانی	۲۷۶.۴۳*	۲۶۳.۱۵	۱۰۵.۵۹	۲۱۸.۰۶	۲۳۱.۴۴	۲۱۸.۹۱	۲۴۹.۷۴	۵۵۵.۹۴	۸۵۰.۰۰*	۴۰۹.۰۲*	۲.۵۰	۱۲.۴۰	۳۳۹۳.۱۷
سولا	۲.۸۶	۱۳.۷۰	۴.۹۹*	۸.۱۷	۱۰.۴۶	۲۴.۷۰	۲۲.۶۲	۲۶.۸۹	۱.۵۵	۱.۸۶	۰.۹۳	۵.۲۷	۱۲۳.۹۹
شمس‌آباد	۱۸.۹۰	۷.۲۰	۶.۳۵	۳.۷۱	۲.۴۱*	۸.۶۷	۱۲۸.۰۴	۱۸۸.۱۵	۲۵.۶۳	۴.۵۲	۰.۰۳*	۰.۳۱*	۳۹۳.۹۴
عموقین	۴.۰۸	۱۳.۴۱	۲۰.۸۸	۲۳.۵۸	۴۹.۸۷	۷۹.۲۳	۱۶۴.۰۲	۷۵.۴۱	۱۲.۴۱	۰.۰۷	۰.۰۳*	۰.۲۴	۴۴۳.۲۲
لای	۱۱.۷۲	۹.۰۸	۱۴.۶۹	۲۰.۲۶	۱۵.۹۵	۱۲.۶۵	۱۹.۱۵	۲۶.۲۷	۲۲.۶۳	۳۱.۵۵	۲۳.۷۶	۲۲.۵۴	۲۳۰.۲۶
کوزه‌تپراقی	۹۶.۰۰	۱۵.۰۰	۶.۰۵	۱۰.۳۰	۱۶.۳۵	۷.۹۱	۵۸۵.۶۰	۱۱۵.۴۵	۳.۱۰	۰.۳۱*	۱.۲۴	۳.۴۰	۸۶۰.۷۱
گیلانده	۱۸۷.۴۲	۴۹.۱۷	۱۶۶.۶۱	۲۰۳.۷۸	۲۴۳.۴۷	۲۶۰.۵۷	۷۸۱.۸۱	۲۵۴.۱۶	۱۵۸.۰۰	۶۷.۱۲	۲۳.۰۱	۸۷.۱۶	۲۴۸۲.۲۹
نمین	۳.۹۰	۱.۸۹	۵.۷۸	۳.۸۳	۳.۲۱	۱۳.۲۴	۱۷.۱۱	۱۹.۴۰	۹.۷۵	۰.۳۰*	۰.۹۳	۲.۷۹	۸۲.۱۳
ننه کران	۱.۸۰*	۷.۲۰	۶.۰۰	۰.۹۰*	۱۲.۶۰	۷.۰۵*	۹.۸۳*	۱۳.۵۷*	۱.۱۲	۰.۶۶	۰.۸۴	۴.۳۴	۶۵.۹۲
نیر	۶۰.۰۰	۱۲۵.۴۰	۱۴۷.۲۴	۹۵.۲۲	۱۴۲.۶۳	۲۵۹.۵۵	۱۷۴.۶۵	۱۳۶.۴۹	۱۲۵.۲۳	۹۶.۷۲	۵۵.۶۰	۸۸.۲۱*	۱۵۰۶.۹۵
نوران	۸.۸۱	۴۵.۰۹	۷۹.۰۲	۸۸.۵۷	۵۷.۴۳	۷۱.۸۳	۱۴۰.۴۲	۳۷.۰۴	۱.۲۴*	۱.۸۶	۲.۷۹	۲۲.۶۳	۵۵۶.۷۳

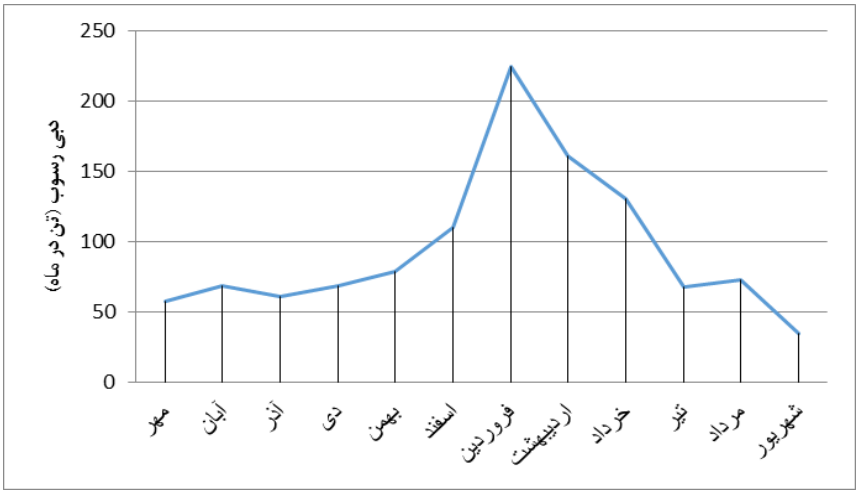
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

ویلادرق	۴.۶۱	۵.۵۰*	۷.۷۱	۴.۹۳	۵.۰۹	۷.۲۸	۱۵.۲۰	۱۶.۰۱	۷.۷۵	۱۱.۷۷	۹.۱۴	۶.۸۲	۱۰۱.۸۰
هیر	۱۸.۸۵	۵۰.۳۴	۷.۰۲	۶.۶۹	۱۵.۶۸	۳۳.۵۹	۵۰.۲۷	۱۸۰.۲۴	۱۸۸.۶۶	۱۸۸.۸۶	۱۷۹.۱۳	۱۶.۹۴	۹۳۶.۲۶
یامچی	۱۰۰.۹۸	۲۵۸.۰۰	۱۸۸.۶۶	۳۴۲.۰۰*	۳۱۵.۴۸*	۴۸۹.۶۳	۹۱۰.۳۹	۷۳۱.۶۹*	۲۴۱.۸۰	۱۸۲.۳۴	۱۳۷.۸۷	۷۰.۸۹	۳۹۶۹.۷۴

تعمیم منطقه‌ای تغییرات ماهانه و فصلی رسوب‌دهی در حوضه قره‌سو از طریق میانگین‌گیری مقادیر ماهانه مندرج در جدول (۱) میسر گردید. جدول (۲) اشاره به این تغییرات برای کل حوضه دارد. نتایج تعمیم منطقه‌ای نشان می‌دهد که بالاترین رسوب‌دهی ماهانه حوضه قره‌سو به فروردین با میانگین ۲۲۴ تن در ماه تعلق دارد. در مقابل، پایین‌ترین رسوب‌دهی حوضه در تیرماه با میانگین ۶۸ تن در ماه رخ می‌دهد؛ اما نمودار تغییرات ماهانه رسوب‌دهی اشاره به افزایش تدریجی رسوب‌دهی از اوایل سال آبی تا اواسط زمستان و سپس صعود ناگهانی و چشم‌گیر آن تا اواخر فروردین دارد. از اواسط بهار تا اوایل تابستان میزان رسوب‌دهی حوضه با یک نزول ناگهانی و قابل‌توجه روبروست. این نزول به حالت تدریجی در طول فصل تابستان ادامه می‌یابد. مقادیر میانگین فصلی رسوب‌دهی نیز نشان می‌دهد که طبق معمول، بیشترین رسوبات در فصل بهار انتقال می‌یابد. فصول زمستان و پاییز، مقام دوم و سوم را به لحاظ رسوب‌دهی فصلی دارند. دراین‌بین، فصل تابستان که خشک‌ترین فصل سال است، پایین‌ترین میزان رسوب‌دهی را تجربه می‌نماید شکل (۵).

جدول (۲). مقادیر میانگین ماهانه و فصلی رسوب‌دهی در حوضه آبریز قره‌سو

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میانگین ماهانه	۵۷.۴۷	۶۸.۶۷	۶۰.۵۵	۶۸.۳۲	۷۹.۱۴	۱۱۰.۱۶	۲۲۴.۵۶	۱۶۱.۲۵	۱۳۰.۳۰	۶۸.۱۱	۷۳.۰۰	۳۴.۹۴
میانگین فصلی	۱۸۶.۶۹			۲۵۷.۶۱				۵۱۶.۱۰			۱۷۶.۰۵	



شکل (۵). تغییرات ماهانه میانگین رسوب‌دهی در حوضه آبریز قره‌سو

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

نتایج به‌دست‌آمده با نتایج بیشتر محققین مبنی بر فصلی بودن انتقال رسوب و وقوع بیشترین رسوب‌دهی در ماه‌ها و فصول پرآب و مرطوب همخوانی دارد (ازجمله: ترامبلای و همکاران، ۲۰۰۸؛ رودریگوئزبلانکو و همکاران، ۲۰۱۰؛ دووان و همکاران، ۲۰۱۳؛ پیری و همکاران، ۱۳۸۴؛ خزایی موغانی و همکاران، ۱۳۹۲ و گرامی‌لوشابی و همکاران، ۱۳۹۵). هرچند که ممکن است فصول پرآب و کم‌آب در نقاط مختلف دنیا با توجه به رژیم هیدروکلیمایی گوناگون نواحی و نیز اثرات فصلی کاربری انسانی که بر پیچیدگی اوضاع انتقال رسوبات می‌افزاید، متفاوت باشد. حمل بیشتر رسوب در ماه‌های پرآب و ماه‌های مرطوب نسبت به ماه‌های کم‌آب و خشک به این دلیل است که بارندگی در این ماه‌ها، سبب فرسایش بیشتر ذرات خاک می‌گردد و علاوه بر آن، جریان نسبتاً زیاد در آبراهه، خود سبب فرسایش آبراهه‌ای می‌شود، ولی در ماه‌های کم‌آب، دبی جریان اغلب در حالت پایه بوده و در این حالت عوامل ایجادکننده فرسایش و هم‌چنین عوامل انتقال‌دهنده رسوب در حداقل میزان فعالیت و تأثیر خود می‌باشند (پیری و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۷). دووان و همکاران (۲۰۱۳) وقوع طوفان‌ها و بارش‌های سنگین همراه با ذوب برف‌ها و نیز سیلاب‌های اوایل بهار را عامل اولیه و اصلی رخداد بیشینه بار رسوبی در فصل بهار دانستند. به‌علاوه، هرچند رژیم فصلی رسوب‌دهی در وهله نخست در ارتباط با بارش و رواناب می‌باشد، در این میان نبایستی از عامل پوشش گیاهی چشم پوشید (رجوع شود به ترامبلای و همکاران، ۲۰۰۸؛ رودریگوئزبلانکو و همکاران، ۲۰۱۰؛ پیری و همکاران، ۱۳۸۴). پوشش گیاهی ناچیز و کم در اوایل فصل بهار قادر به تعدیل اثرات فرسایشی طوفان‌های رگباری و بارش‌های سنگین و متعاقب آن جریانات فرساینده و کاوشی نیست.

تهیه نقشه‌های رسوب‌دهی ماهانه

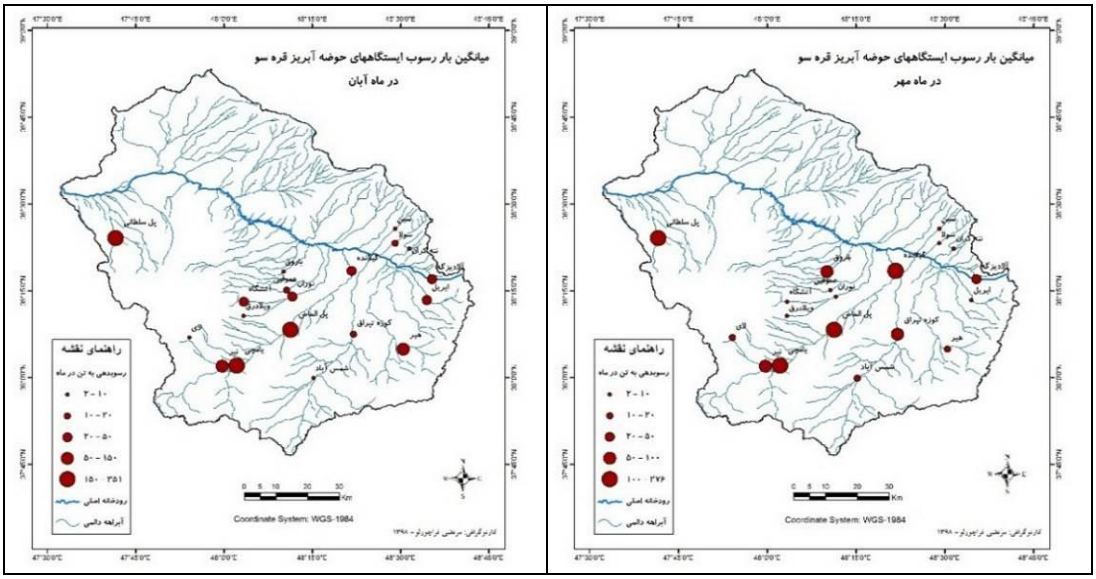
در هر تحلیل جغرافیایی وجود نقشه از ضروریات اساسی محسوب می‌شود. درعین‌حال یک نقشه به‌عنوان برونداد تحلیل‌های فضایی از پدیده‌ها و فرایندهای رخدادِ در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف مطرح می‌باشد. در این میان بالطبع نقشه‌هایی که بیانگر تغییرات مکانی- زمانی هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. نظم‌دهی و بهینه‌سازی فضای زیست‌محیطی در گرو توجه عالمانه به این جنبه‌های جغرافیایی است. پدیده فرسایش و رسوب‌دهی نیز به دلیل تغییرات مکانی ـ زمانی زیاد در داخل یک حوضه آبخیز نیازمند چنین ملاحظات و ارائه نقشه‌هایی برای تدبیر و مدیریت جامع است. نقشه‌های تغییرات فضایی رسوب‌دهی در ایستگاه‌های موردمطالعه طی ماه‌های مختلف سال در شکل (۶) نشان داده‌شده است. این نقشه‌ها ایستگاه‌های موردمطالعه را در پنج طبقه به لحاظ میزان رسوب‌دهی ماهانه دسته‌بندی نمود: خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد. این طبقه-بندی بر مبنای رویکرد منطقه‌ای و با کمی تغییر به روش شکست‌های طبیعی[13] در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام گرفت. البته با توجه به دامنه تغییرات متفاوت میزان رسوب‌دهی ماهانه در بین ایستگاه‌ها، بدیهی است که فاصله طبقات در ماه‌های مختلف فرق می‌نماید.

در کل، ایستگاه‌های واقع در شرق حوضه (سولا، نمین، ننه‌کران و آلادیزگه) از بار رسوب کمی برخوردارند.

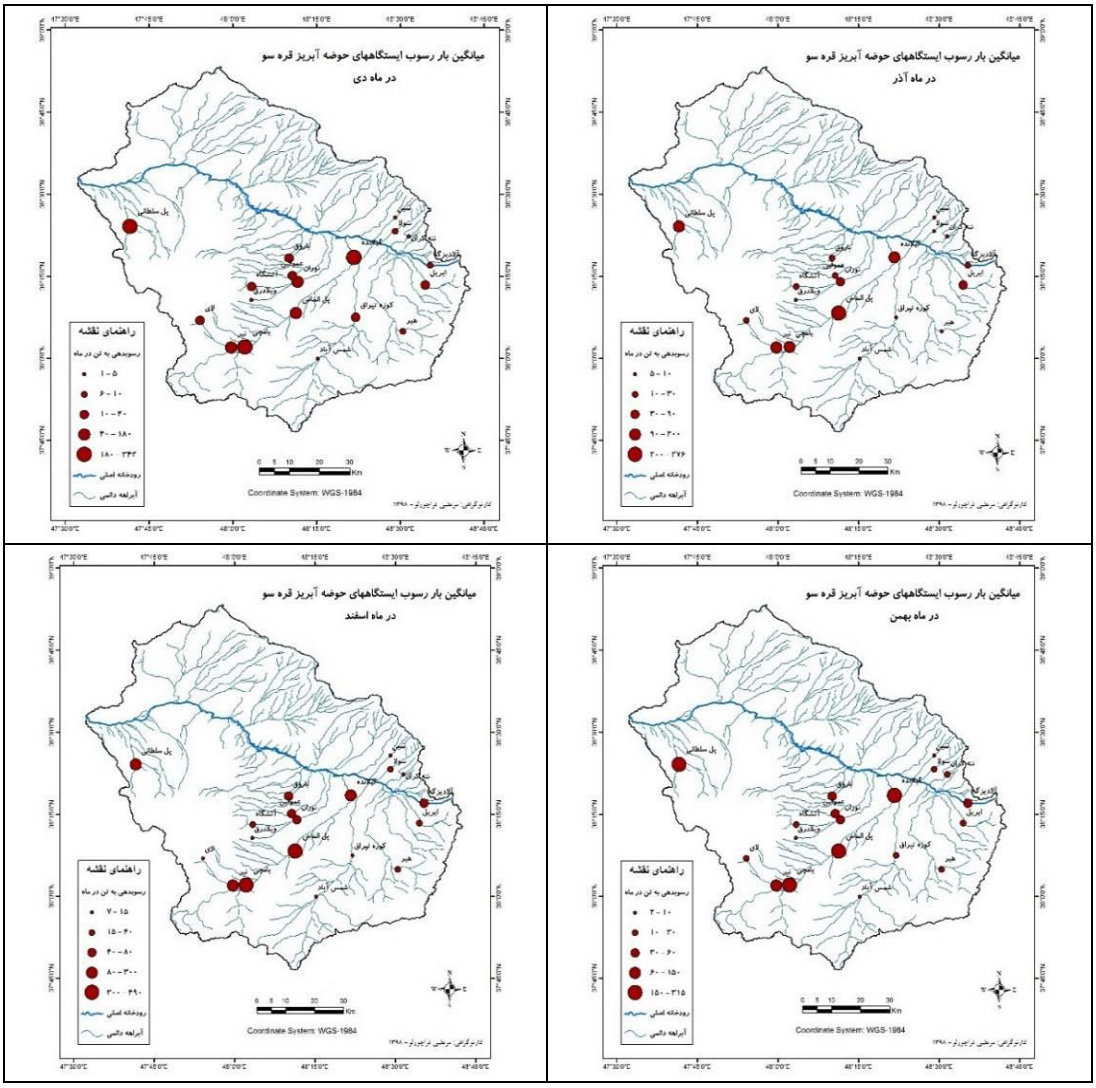
13. Natural Breaks

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

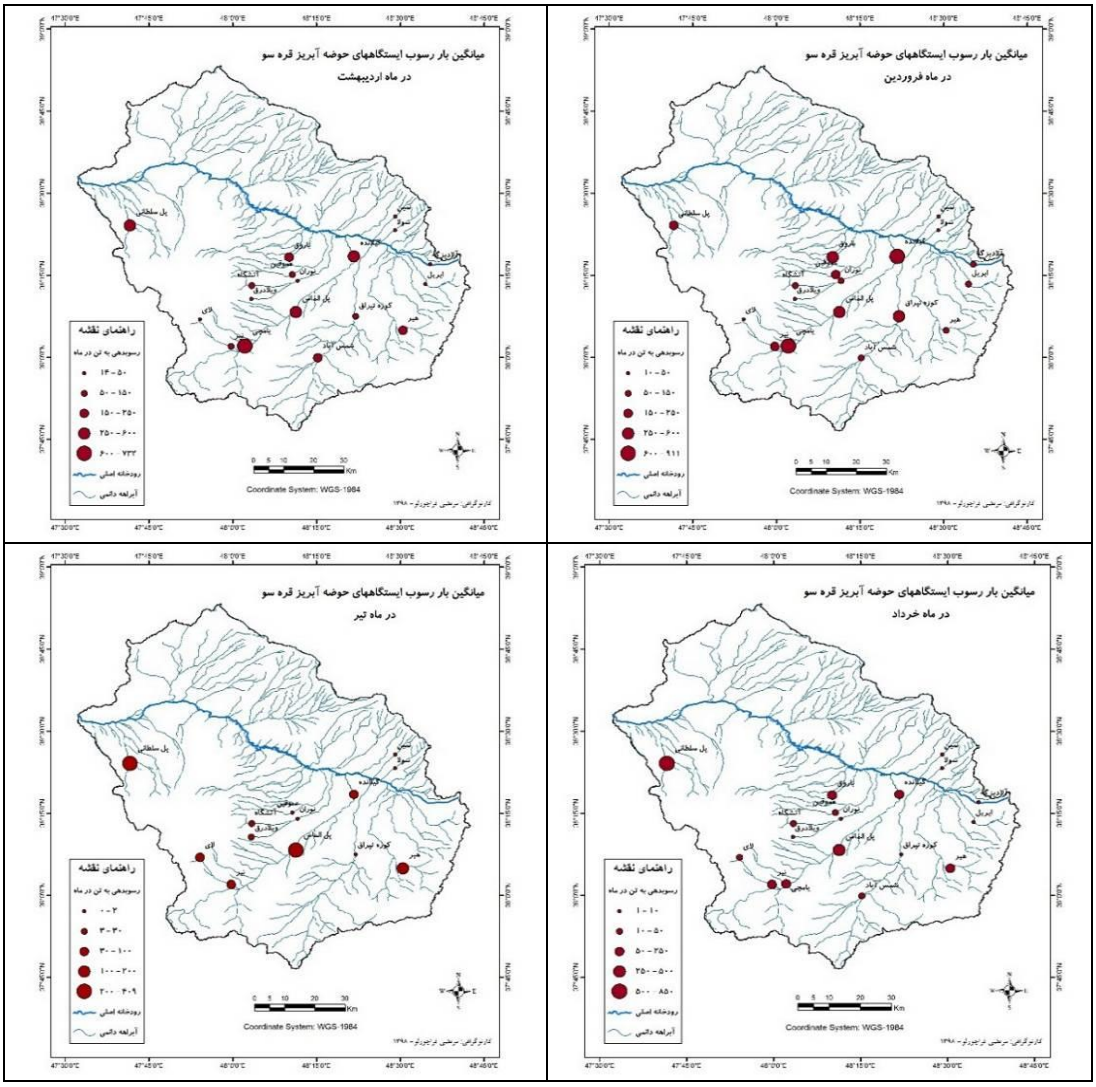
برعکس، ایستگاه‌های واقع بر روی رودخانه بالیخلی (یامچی، پل الماس و گیلانده) مقادیر بالای رسوب‌دهی را تجربه می‌نمایند. گرچه به نظر می‌آید عامل مساحت زیرحوضه‌ها در این تفاوت رسوب‌دهی دخیل باشد، اما وضعیت هیدروکلیمایی مؤثر بر فرایندهای فرسایشی نیز مهم می‌باشد. این واقعیت را به‌راحتی می‌توان در تفاوت رسوب‌دهی زیرحوضه قوری‌چای (ایستگاه کوزه‌تپراقی) به مساحت ۸۰۰ کیلومترمربع با رسوب‌دهی زیرحوضه بالخیلی‌چای (ایستگاه پل الماس) به مساحت تقریباً ۱۰۰۰ کیلومترمربع درک نمود. سرشاخه‌های بالادست زیرحوضه بالیخلی که از ارتفاعات سبلان سرچشمه می‌گیرند، از اقلیم مرطوب‌تر و آبدهی بالاتر همراه با توپوگرافی خشن‌تر برخوردارند. در مقابل سرشاخه‌های زیرحوضه قوری‌چای از اقلیم خشک‌تر، آبدهی کم‌تر و توپوگرافی ملایم‌تر برخوردارند. همین تفاوت در وضعیت فیزیوگرافی دو زیرحوضه موجبات فرسایش و رسوب-دهی بیشتر رودخانه بالیخلی (۳۸۷۰ تن در سال) نسبت به رودخانه قوری‌چای (۸۶۰ تن در سال) شده است. نکته دیگر در مورد زیرحوضه بالیخلی که بزرگ‌ترین زیرحوضه قره‌سو نیز محسوب می‌شود، این است که میزان بار رسوب در پایین‌دست حوضه و ایستگاه گیلانده (۲۴۸۲ تن در سال) نسبت به ایستگاه یامچی در بالادست حوضه (۳۹۷۰ تن در سال) کاهش‌یافته است. این واقعیت را بدین‌گونه می‌توان تبیین نمود که همچنان‌که توپوگرافی پرشیب در حوضه‌های کوچک بالادست به چشم‌اندازهای پست و هموارتر در بازه‌های پایین‌دست حوضه‌های بزرگ‌تر منتهی می‌شوند، رسوبات ممکن است در قاعده دامنه‌ها، روی سیلاب‌دشت‌ها و در داخل مجرا به‌صورت کپه‌های رسوبی ته‌نشین شوند (ریمزویز، ۲۰۱۸: ۶۸۰). به تله افتادن رسوبات در داخل تأسیسات انسانی چون حوضچه‌ها و مخازن کنترل آب و سدها که زیان‌های اقتصادی را به همراه دارد، نیز از ابعاد دیگر این مسئله است. با این نتایج می‌توان گفت که وضعیت فرسایش و رسوب‌دهی در زیرحوضه بالیخلی نگران‌کننده بوده و نیازمند اقدامات مدیریتی صحیح می‌باشد. دراین‌بین، اهمیت توجه به بار رسوب ایستگاه یامچی که بیشترین رسوب‌دهی سالانه را نیز در بین ایستگاه‌های حوضه قره‌سو دارد، با توجه به‌واقع شدن آن در ورودی سد یامچی، هر چه بیشتر معلوم می‌شود.



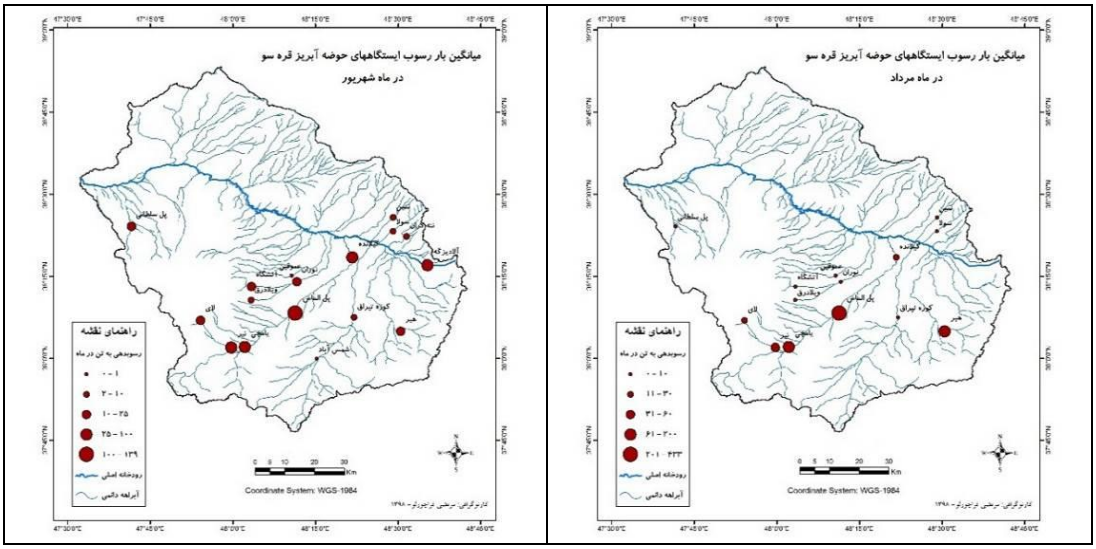
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]



شکل (۶). تغییرات مکانی میزان رسوب‌دهی (تن در ماه) در حوضه آبریز قره‌سو

نتیجه‌گیری

آگاهی از تغییرات مکانی بار رسوبی در مقیاس زمانی ماه‌های مختلف سال می‌تواند نگاهی واقع‌بینانه‌تر و سنجیده‌تر از وضعیت فرسایشی و رسوب‌دهی حوضه‌ها ارائه داده و گامی مفید در مدیریت بهینه منابع آب‌وخاک در محدوده حوضه‌های آبریز باشد. این واقعیت به ماهیت پیچیده بار رسوبی و تغییرات رژیم رسوب-دهی به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک برمی‌گردد که برآورد آن در مقیاس‌های زمانی ماهانه را ایجاب می‌نماید. در این راستا، پژوهش حاضر قصد داشت از طریق تهیه منحنی‌های سنجه رسوب ماهانه بر اساس آمار ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوضه آبریز قره‌سو، برآوردی دقیق و کم‌خطا از میزان رسوب‌دهی حوضه فراهم سازد. نتایج اولیه نیز نشان داد که با وجود نواقص آماری جامعه نمونه که شامل داده‌های دبی جریان و رسوب متناظر آن در ۱۹ ایستگاه هیدرومتری موردمطالعه بود، روابط رگرسیونی نزدیکی بین دو متغیر وجود داشته و امر مدل‌سازی را آسان نمود. نتایج برآوردی رسوب‌دهی ماهانه در بین ایستگاه‌های مختلف حاکی از تفاوت‌های قابل‌ملاحظه به‌ویژه در فصل بهار داشت. نتایج تعمیم منطقه‌ای نشان داد که بالاترین و پایین‌ترین رسوب‌دهی ماهانه حوضه قره‌سو به ترتیب به ماه‌های فروردین (با میانگین ۲۲۴ تن در ماه) و تیر (با میانگین ۶۸ تن در ماه) تعلق دارد. به لحاظ فصلی نیز بیشترین رسوبات حوضه قره‌سو در مرطوب‌ترین فصل سال یعنی فصل بهار انتقال می‌یابد. در مقابل، فصل تابستان که خشک‌ترین فصل سال است، پایین‌ترین میزان رسوب‌دهی را تجربه می‌نماید. در کل، تغییرات رژیم رسوب‌دهی در حوضه قره‌سو متأثر از رژیم بارش- رواناب بوده و وقوع بارش‌های سنگین و رگباری همراه با ذوب برف‌ها باعث افزایش فرسایش و تولید رسوب از اواخر زمستان تا اواسط بهار می‌شود؛ اما تغییرات منطقه‌ای میزان رسوب‌دهی که در قالب نقشه‌های ماهانه نیز ارائه شد، نشان داد که ایستگاه‌های واقع بر روی رودخانه بالیخلی شامل ۳ ایستگاه یامچی، پل الماس و گیلانده در کنار ایستگاه پل سلطانی واقع بر روی رودخانه خیاو، بالاترین مقادیر رسوب‌دهی را تجربه نموده و در تمام ماه‌ها جزء

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

ایستگاه‌های پر رسوب بوده‌اند. در مقابل ایستگاه ننه‌کران که معرف ایستگاه‌های واقع در شرق حوضه می‌باشد، بیشترین تعداد ماه‌های با کمینه رسوب‌دهی را دارا می‌باشد؛ بنابراین ضرورت توجه به وضعیت فرسایشی و رسوب‌زایی در حوضه آبخیز بالیخلی به دلیل فعالیت کشاورزی و نیز تأسیسات مهندسی موجود در سطح حوضه (سد یامچی) محسوس بوده و نیازمند مدیریت صحیح آب‌وخاک و اولویت‌دهی اقدامات آبخیزداری است. در پایان با در نظر گرفتن کمبود نقشه‌های رسوب‌دهی منطقه‌ای در گستره جغرافیای کشور به‌عنوان یکی از ضرورت‌های بنیادی در اجرای طرح‌های حفاظت آب‌وخاک، پیشنهاد می‌شود تحقیقات لازم در خصوص تهیه چنین نقشه‌های ویژه و کاربردی از سوی مؤسسات و سازمان‌های مرتبط با موضوع صورت پذیرد.

منابع

اسفندیاری، فریبا؛ قراچورلو، مرتضی. (۱۳۹۴). **بررسی روابط مکانی ـ زمانی بار رسوب معلق با بارش حوضه (مطالعه موردی حوضه آبریز قره‌سو)**، فصلنامه هیدروژئومورفولوژی، ۴: ۱۲۵-۱۴۲.

پیری، عبدالسلام؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ ضیاء تبار احمدی، میرخالق؛ سلیمانی، کریم؛ مساعدی ابوالفضل. (۱۳۸۴). **بهینه‌سازی رابطه دبی آب و رسوب در حوزه معرف امامه**، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، ۳: ۴۰-۳۰.

جعفرزاده اسطلخ کوهی، علیرضا؛ رضائی، پرویز. (۱۳۹۶). **برآورد فرسایش خاک در حوضه سفیدرود با تأکید بر نقش لندفرم‌ها**، فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۷ (۴۴): ۲۰۱-۲۲۱.

حکیم‌خانی، شاهرخ؛ عرب‌خدری، محمود. (۱۳۸۵). **تحلیل رگرسیونی بین رسوب معلق و ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه دریاچه ارومیه**، فصلنامه علوم کشاورزی ایران، ۳۷(۲):۲۳۱- ۲۲۳.

خداشناس، رضا؛ قهرمان، بیژن؛ داوری، کامران، ناظریان، حسن. (۱۳۸۷). **ارائه مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره برآورد رسوب در حوضه‌های شمال استان خراسان**، مجله آب‌وخاک، ۲۲(۲): ۱۶۴-۱۵۰.

خزایی‌موغانی، سولماز؛ نجفی‌نژاد، علی؛ عظیم محسنی، مجید؛ بردی شیخ، واحد. (۱۳۹۲). **تغییرات مکانی و فصلی رسوب معلق در ایستگاه‌های واقع در طول رودخانه گرگانرود، استان گلستان**، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷: ۱۵-۱.

ذرتی‌پور، امین؛ مهدوی، محمد؛ خلیقی سیگارودی، شهرام؛ سلاجقه، علی؛ شمس‌المعالی، نگار. (۱۳۸۷). **بررسی تأثیر طبقه‌بندی رسوب بر بهبود روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)**، نشریه منابع طبیعی ایران، ۶۱(۴): ۸۱۹-۸۰۹.

رمضانی‌پور، الیاس؛ مساعدی، ابوالفضل؛ مصداقی، منصور.(۱۳۹۶). **تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق بر اساس آماره‌های خطاسنجی (مطالعه موردی- تعدادی از زیرحوزه‌های کشف‌رود)**. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۵: ۱۲۴-۱۱۲.

سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل. **نقشه منابع آب استان اردبیل**.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

صادقی، حمیدرضا؛ آقابیگی، سهیلا؛ یثربی، بنفشه؛ وفاخواه، مهدی؛ اسماعیلی ساوری، علی. (۱۳۸۴). **تغییرات زمانی و مکانی تولید رسوب معلق زیرحوزه‌های مهم رود آبخیز هراز**، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، ۳(۳): ۲۹ -۱۵.

صمدزاده، رسول؛ خیام مقصود؛ حسینی، حسن. (۱۳۸۹). **نگرشی نو بر تکامل ژئومورفولوژیک چاله زمین‌ساختی اردبیل با رویکرد آمایش سرزمین**. فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۱(۱): ۱۳۰-۱۰۵.

طالبی، علی؛ سوزنده‌پور، سیده فاطمه؛ دستورانی، محمدتقی؛ کریمیان، علی‌اکبر؛ سلطانی، محبوبه. (۱۳۹۴). **بررسی اثر کاربری اراضی در شرایط فعلی و بهینه روی رسوب‌دهی حوزه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شور و شیرین شیراز)**. فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب‌وخاک)، ۷۲: ۵۵- ۴۷.

عرب‌خدری، محمود. (۱۳۸۴). **بررسی رسوب‌دهی معلق حوزه‌های آبخیز ایران**، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۲): ۵۱-۶۰.

قراچورلو، مرتضی؛ اسفندیاری، فریبا. (۱۳۹۵). **ارائه مدل مناسب برآورد بار رسوب معلق با استفاده از تلفیق توابع رگرسیونی و کلاسه‌بندی زمانی دبی در حوضه آبخیز بالیخلی‌چای (استان اردبیل)**، فصلنامه فضای جغرافیایی، ۵۶: ۱۴۹-۱۳۳.

کاویان، عطاا...؛ صفری، عطا. (۱۳۹۲). **تعیین مدل مناسب برای برآورد رسوب‌دهی با استفاده از روش‌های آماری، مطالعه موردی: حوزه آبخیز بابل رود**، فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۳۰: ۱۳۰-۱۱.

گرامی لوشابی، زهرا؛ عرب‌خدری، محمود؛ اسدی، حسین؛ بیات، رضا. (۱۳۹۵). **تأثیر نوسانات زمانی فرسایندگی باران بر تغییرات فصلی رسوب‌دهی معلق (مطالعه موردی: حوزه کسیلیان)**، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۴: ۱۷۶- ۱۶۷.

محمودی، عمران؛ نجفی نژاد، علی؛ بابایی، اکبر. (۱۳۹۰). **اثر تفکیک زمانی داده‌های دبی و رسوب معلق بر روی منحنی سنجه بار معلق در ایستگاه هیدرومتری باغه سالیان (استان گلستان)**، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (برگزاری در ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰)، اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان.

میرزایی، محمدرضا؛ عرب‌خدری، محمود؛ فیض‌نیا، سادات؛ احمدی، حسن. (۱۳۸۴). **مقایسه روش‌های برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها**، نشریه منابع طبیعی ایران، ۲: ۳۱۳-۳۰۱.

Duan W. Takara K. He, B. Luo P. Nover D. Yamashiki Y. (2013), **Spatial and temporal trends in estimates of nutrient and suspended sediment loads in the Ishikari River, Japan, 1985 to 2010**, Science of the Total Environment, 461: 499-508

Grauso, S. Fattoruso, G. Crocetti, C. Montanari, A. (2007), **A spatially distributed analysis of erosion susceptibility and sediment yield in a river basin by means of geomorphic parameters and regression relationships**, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 4(2): 627-654.

Horowitz, A.J. (2003), **An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations**, Hydrological Processes, 17: 3387–3409.

Hudson P.F. (2003), **The influence of the el niñoso uthern oscillation on suspended sediment load variability in a seasonally humid tropical setting: pánuco basin, Mexico**, Geographic Annals, 85 (3–4): 263–275.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]

Khanchoul K. Boukhriss, Z.E.A. Acidi A. Altschul R. (2012), **Estimation of suspended sediment transport in the Kebir drainage basin, Algeria**, Quaternary International, 262: 25-31.

Rodríguez-Blanco M.L. Taboada-Castro M.M. Palleiro M. Taboada-Castro, M.T. (2010), **Temporal changes in suspended sediment transport in an Atlantic catchment, NW Spain**, Geomorphology, 123: 181-188.

Rymszewicz A. Bruen M. O'Sullivan J.J. Turner J.N. Lawler D.M. Harrington J.R. Conroy E. Kelly-Quinn M. (2018), **Modelling spatial and temporal variations of annual suspended sediment yields from small agricultural catchments**, Science of the Total Environment, 619: 672-684.

Tramblay Y. St-Hilaire A. Ouarda T.B. (2008), **Frequency analysis of maximum annual suspended sediment concentrations in North America**. Hydrological sciences, 53(1): 236-252.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.69.2]

[DOI: 10.61186/jgs.23.69.33]