نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

صفحات ۱۹۵ – ۲۰۸

تحلیل تغییرات فضایی و زمانی رسوبات معلق در حوزه آبخیز نکارود استان مازندران

کاکا شاهدی؛ استاد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

بهروز محسنی[1]؛ استادیار گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

سید محسن معنوی‌امری؛ دانش‌آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، ساری ایران.

نرجس محمودی‌وانعلیا؛ دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران تهران ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۱/۰۱/۲۸ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۶/۲۱

چکیده

مشکل رسوب‌زایی، انتقال رسوب، فرسایش و رسوب‌گذاری از بحث‌های مهم در برنامه‌ریزی راهبردهای خرد و کلان مدیریت حوزه‌های آبخیز است. گردآمدن رسوب در مناطق پایین‌دست موجب بروز خسارات برون- منطقه‌ای، تخریب مسیر آبراهه‌ها، گل آلودگی آب مصرفی، انباشت نهرها از رسوب و کاهش ظرفیت مخازن سدها و تنگناهای زیست‌محیطی بسیاری می‌شود. رسوبات ناشی از فرسایش حوزه‌های آبخیز علاوه بر هدر رفت خاک و کم‌شدن حاصلخیزی، موجبات کاهش کیفیت آب را فراهم آورده و عمر مفید سدها را به‌دلیل انباشت رسوبات در مخازن آن‌ها به مخاطره می‌اندازد. در این تحقیق تغییرات زمانی و مکانی بار رسوب معلق، در سه ایستگاه هیدرومتری سفیدچاه، گلورد و آبلو واقع در شاخه اصلی نکارود با استفاده از منحنی سنجه‌های رسوب و مدل خطی رگرسیونی در محیط نرم‌افزارهای MINITAB و EXCEL مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به‌منظور تعیین بهترین مدل، از شاخص ضریب همبستگی(R^2) استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که در تغییرات زمانی مدل فصلی بهار در هر سه ایستگاه با حداکثر ضریب همبستگی (۰/۸۹) به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برآورد بار رسوبی معلق از بین مدل‌های مورد بررسی است. در مطالعات مکانی نیز ایستگاه آبلو واقع در خروجی حوزه آبخیز نکارود دارای بیشترین میزان ضریب همبستگی (۰/۹۳۴) بین دبی جریان و دبی رسوب است.

واژه‌های کلیدی: زیست‌محیطی، مخاطره، مدل خطی رگرسیونی، MINITAB، نکارود.

۱ . نویسنده مسئول: Email:mohseni.b۲۰۱۹@pun.ac.ir

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

مقدمه

رسوب معلق در رودخانه می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی فرسایش خاک منطقه و شرایط اکولوژیکی و محیطی مورد استفاده قرار گیرد. در دهه‌های اخیر، فرسایش و اثرات آن بر خاک و آب‌های سطحی مورد توجه سیاست‌گذاران مختلف قرار گرفته است. مطالعات زیادی روی فرآیندهای فرسایش خاک، دینامیک رسوب، ارزیابی عملکرد رسوب، رسوب‌گذاری مخزن و جنبه‌های اکولوژیکی مربوط به انتقال رسوب معلق و اقدامات خاص برای کاهش فرسایش خاک متمرکز شده‌اند (De Girolamo et al, ۲۰۱۵). رسوب معلق در رودخانه‌ها با توجه به خسارات ناشی از آن، یکی از اولویت‌های مطالعات در بخش آب است. همچنین افزایش مقدار رسوبات در مخزن، باعث کاهش عمر مفید سدها و کاهش کارآیی آن‌ها به‌مرور زمان می‌گردد. بنابراین لزوم بررسی وضعیت رسوب‌گذاری در مخازن سدها در پروژه‌های آبی، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها، ساماندهی رودخانه‌ها و هشدار خطر سیل کاملاً احساس می‌شود (یزدان‌پرست و همکاران، ۱۳۹۵؛ فضل‌اللهی، ۱۳۹۵). از آنجایی‌که بار معلق به‌طور متوسط بیش از ۸۵ درصد بار کل حوزه آبخیز را شامل می‌شود، ژئومورفولوژیست‌ها و هیدرولوژیست‌ها رسوبات معلق را به‌دلیل فراهم‌سازی اطلاعات مهمی درباره فرآیند فرسایش و تولید رسوب مدنظر قرار می‌دهند (Lee and Singh, ۱۹۹۹). آنچه در حال حاضر در کشور در حال شکل‌گیری است، توسعه بی‌رویه و کمی کشاورزی در بسیاری از مناطق و نابودی جنگل‌ها و مراتع است (عرب‌خدری، ۱۳۸۴). مسلماً چنین توسعه‌ای هرچند در بخش کشاورزی به‌طور موقت مفید است، اما برای اقتصاد کشور نتیجه مطلوبی را در پی نخواهد داشت و تخریب منابع ملی را در آینده به‌همراه دارد که منجر به ایجاد سیلاب‌های خسارت‌بار به‌همراه بار رسوبی فراوان می‌گردد. برآورد و پیش‌بینی بار رسوب در سیستم رودخانه‌ای از مدت‌ها پیش به دلایل متعدد، ازجمله تکامل دلتاها و مصب رودخانه‌ها و همچنین محیط‌زیست ساحلی، از اهداف رسوب‌شناسان، هیدرولوژیست‌ها، مهندسان و دانشمندان علوم زمین بوده است (عرب‌خدری، ۱۳۸۴). با توجه به اینکه حدود ۶۰٪ جمعیت ساکن جهان در مصب‌ها و سواحل زندگی می‌کنند، لذا آگاهی از مقدار تولید رسوب آبخیزها و بررسی رسوب‌دهی رودخانه‌ها، در شناسایی مناطق بحرانی اهمیت زیادی دارد (Hu et al., ۲۰۱۱; Mohamadi et al., ۲۰۰۷).

معمولاً تغییرات میزان رسوب در رودخانه‌ها تا حدودی تابع تغییرات دبی است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۶). با روش‌های مختلفی مانند مشاهدهٔ هم‌زمان بار رسوب معلق و دبی جریان، استفاده از منحنی سنجهٔ رسوب، محاسبهٔ کل خاک فرسایش یافته و حجم رسوبات ته‌نشین‌شده در آبخیزهای کوچک، مدل‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان و الگوریتم ژنتیک اندازه‌گیری حجم رسوب در داخل آبگیرها، دریاچه‌ها یا مخازن سدها، بار رسوبی در حوضه‌ها قابل اندازه‌گیری و پیش‌بینی است (Mohamad Reza Pour et al, ۲۰۱۲). از میان روش‌های فوق، منحنی - سنجهٔ رسوب، یکی از معمول‌ترین روش‌های برآورد مقدار رسوب است که با استفاده از آمار دبی ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی و برقراری رابطهٔ بین دبی آب متناظر با دبی رسوب تهیه می‌شود. در بسیاری از رودخانه‌های کم‌شیب، قسمت اعظم رسوب حمل‌شده به‌صورت رسوب معلق است. بار معلق بوجود آمده وابسته به منبع تولید آن نسبتاً آسان اندازه‌گیری می‌شود، اما پیش‌بینی درست آن مشکل است. ازاین‌رو هیدرولوژیست‌ها از منحنی سنجه‌ها که از لحاظ تجربی می‌تواند به توصیف رابطه بین غلظت رسوب معلق و دبی آب برای یک مکان خاص بپردازند، استفاده می‌کنند (Telvari, ۲۰۰۱). در ایستگاه‌های هیدرومتری کشور، برداشت داده‌های رسوب معمولاً به‌صورت تصادفی بوده و الگوی توزیع زمانی مرتبی برای برداشت اطلاعات مربوط به رسوب وجود ندارد و اطلاعات تولیدی رسوب معمولاً محدود بوده و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

بیش‌تر به‌صورت کیفی است (تلوری و همکاران، ۱۳۸۶). زمانی‌که ایستگاه‌های هیدرومتری کافی با پراکندگی مناسب و داده‌های دبی مداوم موجود باشد، استفاده از منحنی سنجه‌های رسوب برای تخمین بار رسوبی مناسب است (عسگری و همکاران، ۱۳۹۹). اندازه ذرات رسوبات معلق یکی از ویژگی‌های مهم هیدرولوژی و ژئومورفولوژی رسوبات رودخانه‌ای است که تأثیر فراوانی بر فرآیند رسوب‌زایی و مصرف انرژی دارد و بیانگر ترکیب‌های مواد سطح زمین در حوزه آبخیز است. این پارامتر یکی از متغیرهای کلیدی در طراحی ابعاد و ویژگی‌های تله‌های رسوب‌گیر است. بنابراین تغییرات زمانی و مکانی اندازه ذرات رسوب معلق رودخانه، فرآیندهای رسوب‌زایی مانند فرسایش، انتقال و ته‌نشینی را هم در حوزه آبخیز و هم در مجاری رودخانه منعکس می‌کند. به‌همین دلیل پژوهشگران مختلفی در سال‌های اخیر توزیع اندازه ذرات رسوب معلق را از دیدگاه‌های مختلفی مورد توجه قرار داده‌اند. شار رسوب معلق (SSF)[۱] رودخانه‌ها عمدتاً توسط عوامل زمین‌شناسی مانند پستی و بلندی و سنگ‌شناسی و همچنین توسط عوامل آب و هوایی مانند بارش و پوشش گیاهی خاک کنترل می‌شود (Kuksina and Alexeevsky, ۲۰۱۵). در زمینه بررسی تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق، هوو و همکاران (Hu et al., ۲۰۱۱) طی پنج دهه تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق و دلایل ایجاد این تغییرات در سه ایستگاه بالادست، میان و پایین‌دست رود یانگ تسه در چین، به این نتیجه رسیدند که رسوب معلق می‌تواند تحت تأثیر خصوصیات حوزه آبخیز و فعالیت‌های انسانی، دستخوش تغییر قرار گیرد. ویی و همکاران (Wei et al., ۲۰۱۲)، با ارزیابی رسوب معلق در رودخانه پیرل چین، دریافتند روش اندازه‌گیری بار معلق رسوب که بر پایه اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق و بده جریان استوار است، روشی مطمئن است که مستلزم اندازه‌گیری پیوسته بوده و معمولاً تنها برای رودخانه‌های مهم و دائمی مقدور است. صادقی (۲۰۰۰) در حوزه امامه، کارسون و راهامبرگ (Karlsson and Rahmberg, ۲۰۰۲) در زیمباوه، کیتکا و همکاران (Kitheka et al., ۲۰۰۵) در کنیا، به مطالعه تغییرات رسوب به‌صورت زمانی و مکانی مبادرت نمودند؛ نتایج مطالعات ارائه‌شده نشان داد که پراکندگی نواحی رسوب‌خیز از نظر مواد معلق یکسان نبوده و در اکثر موارد بیشترین میزان رسوب در فصل بهار رخ می‌دهد. صادقی و سینگ (Sadeghi and Singh, ۲۰۰۱)، غلظت رسوب معلق، دبی جریان و توزیع اندازه ذرات رسوب را در داده‌های ۲۴ ایستگاه رسوب‌سنجی در آمریکا بررسی کردند. بیشتر ایستگاه‌ها تفاوت معنی‌داری در غلظت رسوب معلق روزانه (از ۱۸ ایستگاه؛ یکی افزایش و ۱۷مورد کاهش)، دبی جریان (از ۱۹ ایستگاه؛ هفت مورد افزایش و ۱۲ مورد کاهش) و درصد اندازه ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون (از ۱۵ ایستگاه؛ ۵ مورد افزایش و ۱۰ مورد کاهش) نشان داد.

یاداو و همکاران (Yadav et al., ۲۰۲۲) سناریوی بهینه‌شده برای تخمین عملکرد رسوب معلق (SSY)[۲] را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN)[۳] همراه با الگوریتم ژنتیک (GA)[۴] بررسی کردند. آن‌ها ضمن مقایسه عملکرد منحنی سنجه رسوب معمولی (SRC)[۵]، ANN و رگرسیون خطی چندگانه (MLR)[۶] با مدل ترکیبی ANN-GA دریافتند که مدل ANN-GA دارای بیشترین ضریب همبستگی (۰/۸۷) و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا (۰/۰۰۸) در بین تمام SRC، ANN و MLR مقایسه‌ای است.

۱. Suspended Sediment Flux
۲. Suspended Sediment Yield
۳. Artificial Neural Network
۴. Genetic Algorithm
۵. Sediment Rating Curve
۶. Multiple Linear Regression

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

سوتاری و همکاران (Sutari et al., ۲۰۲۰) به بررسی الگوهای مکانی و زمانی غلظت رسوب معلق (SSC)[۱] در رودخانه راین پرداختند. با توجه به تغییرات فصلی، SSC بالا بیشتر در زمستان و SSC پایین بیشتر در تابستان مشاهده شد. بااین‌حال، یک نتیجه دیگر نشان داد که SSC در ماه ژوئن تقریباً در تمام ایستگاه‌های نظارتی که دبی حداقل است، بالا است. در همین حال، رودخانه موزل به دلیل داشتن دبی زیاد، بیشترین سهم غلظت رسوب معلق راین را در مقایسه با سایر شاخه‌های آن به راین دارا بود.

تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق در بخشی از حوضهٔ رودخانهٔ هراز توسط صادقی و همکاران (۱۳۸۴) مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که رسوب روزانه در طول دورهٔ آماری نوسانات زیادی داشته و بیش‌ترین و کم‌ترین رسوب خروجی از منطقه به‌ترتیب در فروردین و مرداد است و بررسی تغییرات فصلی نشان داد که فصل بهار بیش‌ترین و فصل پاییز کم‌ترین مقدار دبی خروجی را داشته و تغییرات زمانی از تغییرات بارش، دبی و نیز پتانسیل مختلف زیرحوضه‌ها در تولید رسوب تأثیر می‌پذیرد. فرجزاده و قره‌چورلو (۱۳۹۰) با هدف تعیین الگوی تغییرات مکانی و زمانی رسوب، مطالعه‌ای در حوضهٔ آبریز قره‌سو استان اردبیل در ۷ ایستگاه هیدرومتری انجام دادند و نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین دبی و رسوب متوسط سالانه به‌ترتیب ۶/۹۶ مترمکعب بر ثانیه و ۱۷۴۹/۷۹ تُن در روز، مربوط به ایستگاه دوست‌بیگلو و کم‌ترین دبی و رسوب متوسط سالانه به‌ترتیب با مقادیر ۰/۱۲ مترمکعب بر ثانیه و ۱/۷ تن در روز، در ایستگاه لای مشاهده شد. عسگری و همکاران (۱۳۹۹) به تعیین ارتباط و تغییرات مکانی مقادیر دبی و رسوب معلق در حوضه‌های استان اردبیل با استفاده از روش‌های درون‌یابی IDW، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ به‌منظور تعیین بهترین روش در جهت مطالعهٔ تغییرات مکانی متغیرهای دبی و رسوب پرداختند. بر اساس نتایج آزمون همبستگی، روش‌های IDW و کوکریجینگ، که به‌عنوان بهترین روش تشخیص داده شدند، طبق روش IDW مقادیر دبی در بخش‌های غرب استان اردبیل بیش‌تر (۵/۸-۴/۸۴ مترمکعب بر ثانیه) و در بخش‌های مرکزی مقدار این مؤلفه کم‌تر (۱-۰/۰۴ مترمکعب بر ثانیه) به‌دست آمد. روش کوکریجینگ نیز بخش‌های غربی و جنوبی استان اردبیل دارای مقادیر رسوب بیش‌تر (۱۶/۱۹-۰/۰ تن در هکتار در سال) و در بخش‌های مرکزی مقادیر رسوب کم‌تر (۱/۰۴-۰/۰ تن در هکتار در سال) است. محمدی و همکاران (۱۳۸۶)، در بررسی تغییرات فصلی رسوب معلق حوزه آبخیز گرگان‌رود نیز به این نتیجه رسیدند که از بین فصول مختلف سال، فصل بهار بیشترین میزان حمل رسوبات حوزه را به خود اختصاص داده است.

تغییرات مکانی و زمانی رواناب و بار رسوبی در سه ایستگاه در رودخانهٔ لَنکانگ توسط ژای و همکاران (Zhai et al., ۲۰۱۶) مطالعه شد و آن‌ها دریافتند که ساخت و سازهای صورت گرفته در اطراف ایستگاه‌های مورد مطالعه، تغییر در کاربری اراضی و الگوهای بارش، در تغییرات مکانی و زمانی رواناب و بار رسوبی تأثیرگذار بوده‌اند. مرور منابع نشان می‌دهد که تحقیقات انجام‌شده بخصوص در داخل کشور، یا تنها به بررسی روشی برای برآورد رسوب معلق پرداخته‌اند یا اینکه تغییرات مکانی را بجای بررسی در طول یک بازه از رودخانه؛ با استفاده از مدل‌ها و به‌صورت مقایسه رسوب خروجی در زیرحوضه‌ها انجام داده‌اند، همچنین در مطالعات مشابه خارج از کشور که در زمینه تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق رودخانه انجام شده است نقش دبی در تغییرات رسوب یکسان در نظر گرفته شده است در حالی‌که تغییرات دبی در هر ایستگاه می‌تواند دارای تأثیر متفاوتی در تغییرات رسوب باشد. این مطالعه بر اساس پایش دبی آب و رسوب در سه ایستگاه هیدرومتری رودخانه نکارود بین سال‌های ۹۶-۷۵ (دوره ۲۲ ساله) انجام شده است. در این راستا تحقیق حاضر به بررسی تغییرات مکانی و فصلی رسوب معلق در

[۱]. Suspended Sediment Concentrations

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

سه ایستگاه هیدرومتری واقع در شاخه اصلی رودخانه نکارود با استفاده از روش‌های مناسب که تغییرات رسوب را در هر ایستگاه نسبت به هم متفاوت در نظر گرفته است پرداخته است. لذا تعیین منطقی بار رسوبی تولیدشده در حوزه موردنظر با استفاده از مدلی که بیشترین همبستگی را بین دبی جریان و دبی رسوب نشان می‌دهد در جهت انجام اقدامات مرتبط با کاهش خسارات ناشی از آن از مهم‌ترین اهداف این تحقیق است.

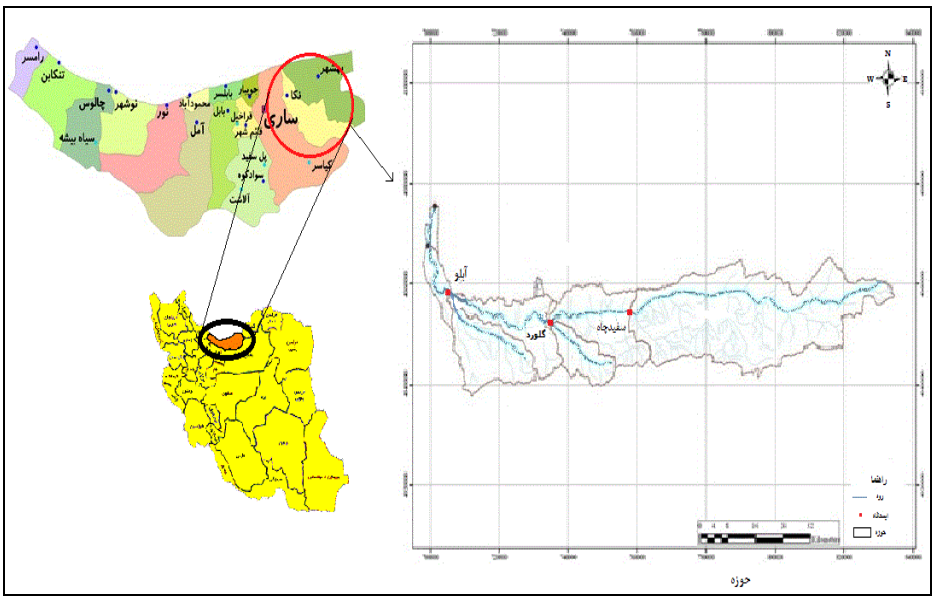
داده‌ها و روش کار

- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

منطقه مورد مطالعه در حاشیه شمالی رشته کوه‌های البرز و در حوزه آبخیز فرعی هراز – قره‌سو واقع شده است. حوضه نکارود از چندین رودخانه بزرگ و کوچک تشکیل شده که دره اصلی آن برخلاف اکثر رودخانه‌های استان روند شرقی- غربی دارد. این روند در نزدیک شهر نکا با چرخش ۹۰، درجه روند شمالی- جنوبی پیدا کرده و شهر نکا نیز روی مخروط‌افکنه آن واقع شده است. این رودخانه دائمی حدود ۱۸۰ کیلومتر طول دارد و در محدوده شهرستان‌های گرگان، بهشهر و نکا قرار گرفته است. این رودخانه پس از گذر از روستای نوذرآباد به دریای خزر می‌ریزد. قسمت اعظم آن را نواحی کوهستانی دربر گرفته است و تنها در حاشیه جلگه ساحلی است که روی سطوح صاف امتداد می‌یابد. منطقه مورد مطالعه (حوزه آبخیز رودخانه نکا) با مساحت ۱۹۲۲ کیلومترمربع بین طول‌های ´۱۷ °۵۳ تا ´۴۴ °۵۴ شرقی و عرض‌های ´۲۶ °۳۶ تا ´۴۴ °۳۶ شمالی قرار دارد. حداکثر ارتفاع این حوضه ۳۴۰۰ متر در شاه‌کوه بالا و حداقل ارتفاع در خروجی (ایستگاه آبلو) ۵۰ متر متغیر است. رژیم این رودخانه نیز در بالادست، برفی- بارانی و در میانه و پایاب، بارانی- برفی تا بارانی متغیر است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۵). رودخانه نکارود دارای آب دائمی است، به‌طوری‌که دبی سالیانه آن ۱۵۴میلیون مترمکعب و رسوب سالانه آن ۰/۴۲۲ میلیون تُن است. منطقه مورد مطالعه از نظر شرایط آب و هوایی دارای اقلیم جنب‌حاره‌ای و میانگین بارندگی ناحیه نیز ۶۴۵ میلی‌متر در سال است (سازمان آب منطقه‌ای مازندران، ۱۴۰۰). در شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه و مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه نکارود ارائه شده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه هیدرومتری	طول آبراهه اصلی (km)	مساحت (m^2)	رسوب (تن در روز)	شیب متوسط (٪)	موقعیت جغرافیایی		سال تأسیس
					عرض	طول	
آبلو	۱۶/۴۳	۱۹۱۶/۶۸	۱۲۱۷۳۴	۳۴/۵	۳۶-۳۸-۵۴	۵۳-۱۷-۴۱	۱۳۴۷
سفیدچاه	۸۷/۹۳	۱۰۴۵/۰۳	۹۸۰	۴۱/۷	۳۶-۳۵-۵۵	۵۳-۵۲-۵۸	۱۳۴۷
گلورد	۱۱۵/۹۳	۱۴۳۷/۷۶	۱۱۷۰/۷۱	۳۸/۳	۳۶-۳۵-۱۹	۵۳-۵۷-۲۹	۱۳۴۸

- **روش کار**

داده‌های رسوب معلق برای ارزیابی الگوهای منطقه‌ای و جهانی فرسایش استفاده می‌شود. محققان همچنین مجموعه فرایندهای طبیعی از قبیل فرسایش و هوازدگی که منجر به تخریب و حذف لایه‌های سطح زمین می‌شوند را با استفاده از عملکرد رسوب معلق به‌عنوان شاخص کاهنده سطح آن‌ها تخمین زدند. قابلیت اطمینان مطالعاتی که از داده‌های حاصل از رسوب استفاده می‌کنند، حیاتی است، زیرا این اطلاعات درنهایت می‌توانند اساس نظریه‌های تکامل چشم‌انداز، تأثیر فعالیت‌های انسانی بر سطح زمین و اختلالات چرخه ژئوشیمیایی جهانی را ایجاد کنند. به دلیل دوره‌های مختلف ثبت‌شده، رفتار متحرک رودخانه و قابلیت اطمینان داده‌ها، عدم قطعیت‌های مهمی در مورد قابلیت اطمینان داده‌های رسوب معلق وجود دارد. براین اساس، در انجام این تحقیق برای اندازه‌گیری رسوبات معلق، ابتدا جریان آب سطحی و غلظت رسوب معلق (SSCs) طی یک دوره ۲۲ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۶) در سه ایستگاه هیدرومتری آبلو، سفیدچاه و گلورد اندازه‌گیری شدند. به دلیل فقدان داده‌های پیوسته رسوب روزانه از مقادیر ماهانه آن استفاده گردید و مقدار رسوب معلق و دبی ماهانه در این ۲۲ سال مورد مطالعه، به‌صورت سری زمانی مرتب گردید. تعداد سال‌های مورد بررسی با توجه به دوره مشترک آماری بین ایستگاه‌ها و هم‌چنین در نظر گرفتن سال‌هایی که نواقص آماری نداشته باشد، انتخاب گردیده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

قبل از انجام هرگونه تجزیه و تحلیل آماری، داده‌های مربوط به دبی جریان و غلظت رسوب برای ایستگاه‌های فوق‌الذکر واقع در حوزه آبخیز نکارود کنترل شده و با استفاده از تست همگنی داده‌ها به روش ران-تست در نرم‌افزار MINITAB تصحیح و بازسازی شدند. جهت بررسی تغییرات مکانی میزان رسوب به‌عنوان متغیر مورد مطالعه، از مقادیر دبی جریان که در ارتباط مستقیم با رسوب است استفاده و منحنی سنجه رسوب به‌عنوان مدل این ارتباط در نظر گرفته شد. برای تبدیل مقادیر اندازه‌گیری‌شده غلظت مواد رسوبی معلق به دبی رسوب از رابطه (۱) استفاده شد.

$$Q_S = ۰,۰۸٦٤CQW \quad (۱)$$

که در آن؛ Q_S دبی مواد رسوبی معلق یا بار معلق برحسب تن در روز، Q_W دبی جریان برحسب مترمکعب بر ثانیه و C متوسط غلظت مواد رسوبی معلق برحسب میلی‌گرم بر لیتر است.

مدل منحنی سنجه در رابطه زیر ارائه شده است.

$$Q_S = aQ_W^b \quad (۲)$$

برای مقایسه میزان رسوب در ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن میزان دبی از آنالیز کوواریانس استفاده گردید. ازآنجاکه مدل آنالیز کوواریانس یک مدل خطی نسبت به پارامترها هست و مدل سنجه رسوب یک منحنی غیرخطی نسبت به پارامترها محسوب می‌گردد، ابتدا با تبدیل لگاریتمی مدل سنجه رسوب به یک مدل خطی نسبت به پارامترها تبدیل شد و سپس لگاریتم رسوب و لگاریتم دبی جانشین مقادیر اصلی آن در آنالیز کوواریانس گردید. همچنین جهت بازسازی داده‌ها و کاهش خطای ناشی از بزرگی اعداد رسوب معلق، از تبدیل لگاریتمی استفاده شد. با این تبدیل، مدل سنجه رسوب به یک مدل خطی تبدیل شد که به‌صورت رابطه (۳) ارائه می‌گردد.

$$\ln (Q_s) = \ln (a) + b \ln(Q) \quad (۳)$$

که در آن؛ $\ln (Q_s)$ لگاریتم دبی رسوب، $\ln (Q)$ لگاریتم دبی جریان، a عرض از مبدأ و b شیب خط است (مهدوی ۱۳۸۶).

برازش فرم خطی‌شده منحنی سنجه رسوب در نمودارهای لگاریتمی تهیه گردید و هم‌چنین ضریب تعیین $R^۲$ مربوط به هر نمودار گزارش شد. ضریب تعیین ($R^۲$) به‌عنوان آزمون تناسب برای هر نمودار گزارش شد که با مقایسه درصد رسوب در هر فصل با استفاده از ضریب رگرسیونی، تغییرات فصلی رسوب در هر ایستگاه مشخص گردید. این تبدیل لگاریتمی دارای مزایای دیگری نیز هست که ازجمله آن کاهش خطای ناشی از بزرگی اعداد رسوب معلق با تبدیل لگاریتمی است. همچنین تخمین حاصل از مدل غیرخطی با استفاده از روش تکرار (بر اساس آزمون و خطا) به دست می‌آید و همیشه به جواب نمی‌رسد (عرب‌خدری، ۱۳۸۴). در این تحقیق برای بررسی تغییرات فصلی رسوب معلق، پس از تعیین مقدار کل رسوب سالانه و فصلی در هر ایستگاه، درصد سهم هر فصل از این مقدار کل با استفاده از نرم-افزار Excel و ایجاد یک رابطه رگرسیونی خطی بین مقادیر دبی جریان و دبی رسوب محاسبه گردید و با مقایسه درصد حمل رسوب در هر فصل تغییرات فصلی مقدار رسوب معلق در هر ایستگاه مشخص شد.

معمول‌ترین روش ترسیم منحنی سنجه رسوب مدل خطی لگاریتمی است، که در آن داده‌های دبی رسوب به‌عنوان تابع با دبی جریان متناظر آن‌ها به‌عنوان متغیر مربوطه به یک محور مختصات لگاریتمی منتقل شده و بهترین خط برازش،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

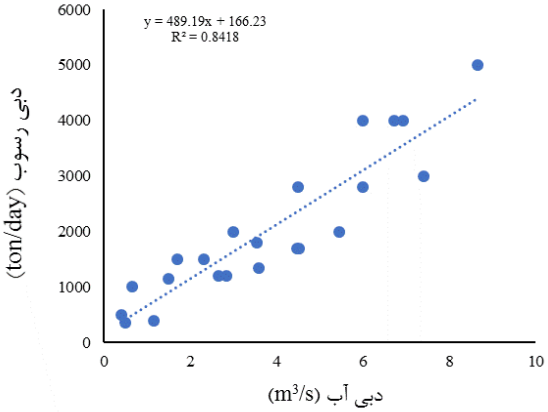
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

از بین نقاط عبور داده می‌شود. مدلی که بیشترین ضریب همبستگی را داراست به‌عنوان مدل مناسب انتخاب می‌گردد (Kitheka et al,. ۲۰۰۵).

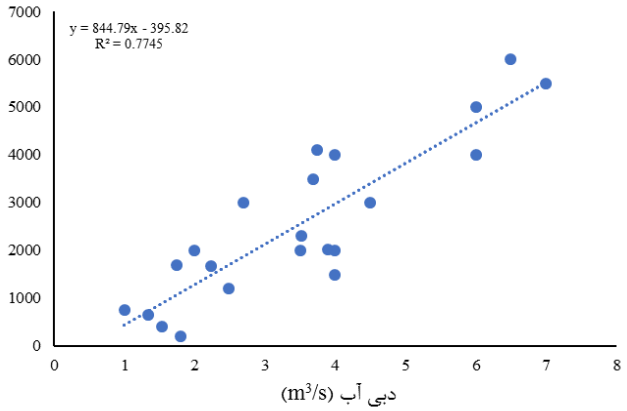
شرح و تفسیر نتایج

- **دبی جریان و غلظت رسوب**

با نتایج مربوط به تغییرات فصلی و سالانه نمودارهای سنجه رسوب حاصل از برازش مدل خطی بر داده‌های دبی جریان و دبی رسوب معلق در شکل‌های ۲ الی ۱۶ ارائه شده‌اند. این نتایج حاکی از همبستگی بالائی بین مقادیر دبی جریان و دبی رسوب معلق در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. نتایج نشان می‌دهد که ایستگاه‌ها ازلحاظ لگاریتم رسوب در تمام دامنه‌های دبی با هم متفاوت هستند. اثر متقابل ایستگاه و دبی، در دبی‌های کم معنی‌دار نیست (شکل‌های ۸، ۱۲ و ۱۳) اما در دبی‌های زیاد معنی‌دار است که بیانگر این است در دبی‌های کم، شیب خط رگرسیونی تقریباً با هم برابر است اما هر چه به سمت دبی‌های زیاد پیش می‌رود شیب خط، اختلاف معنی‌داری پیدا می‌کند. تغییرات دبی در ایستگاه‌های مختلف باعث عملکرد متفاوتی در تغییرات رسوب می‌شود. معنی‌دار بودن لگاریتم دبی نشان از انتخاب مناسب دبی به‌عنوان متغیر کمکی دارد.

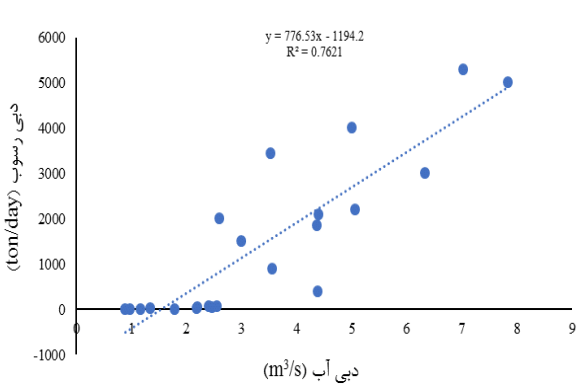


شکل ۳. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه آبلو (فصل بهار)



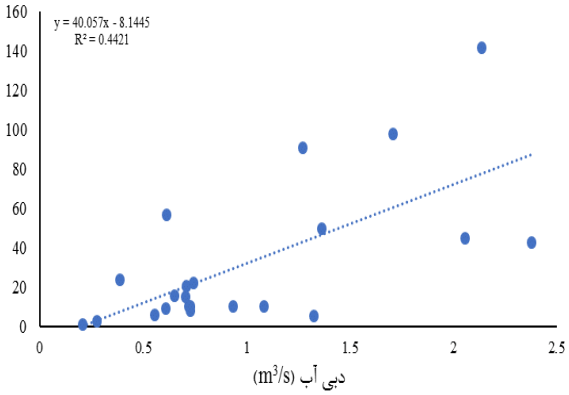
شکل ۲. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه آبلو (فصل زمستان)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

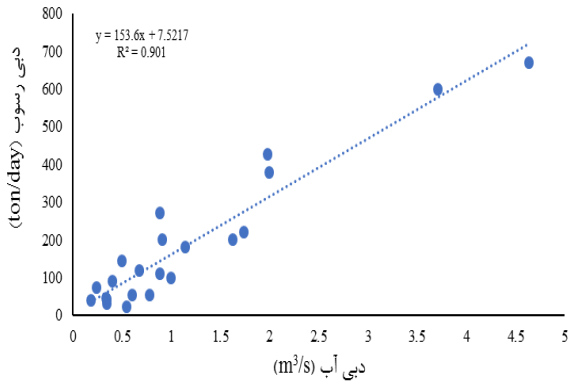


شکل ۴. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه آبلو (فصل تابستان)

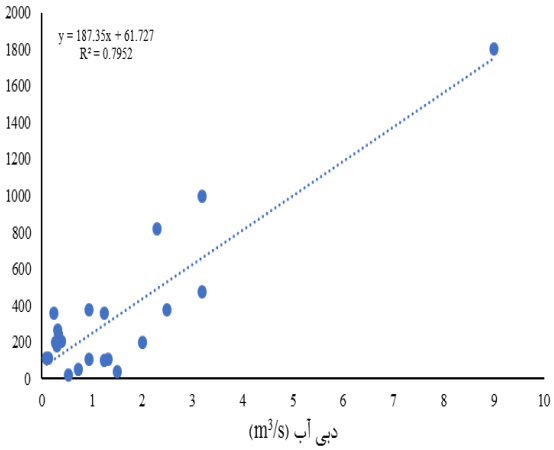
شکل ۵. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه آبلو (فصل پاییز)



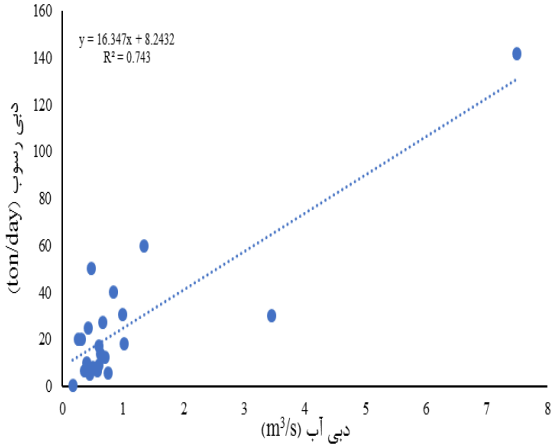
شکل ۶. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه سفیدچاه (فصل زمستان)



شکل ۷. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه سفیدچاه (فصل بهار)



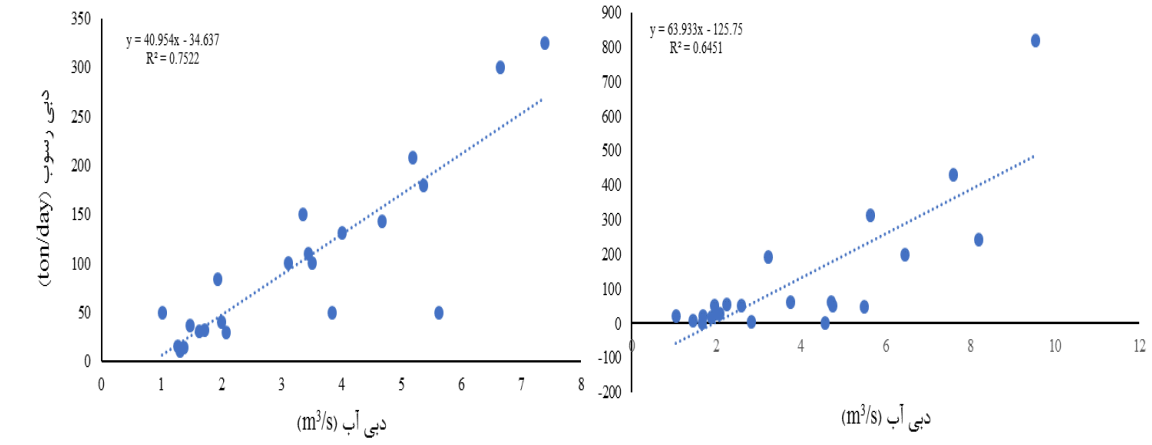
شکل ۸. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه سفیدچاه (فصل تابستان)



شکل ۹. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه سفیدچاه (فصل پاییز)

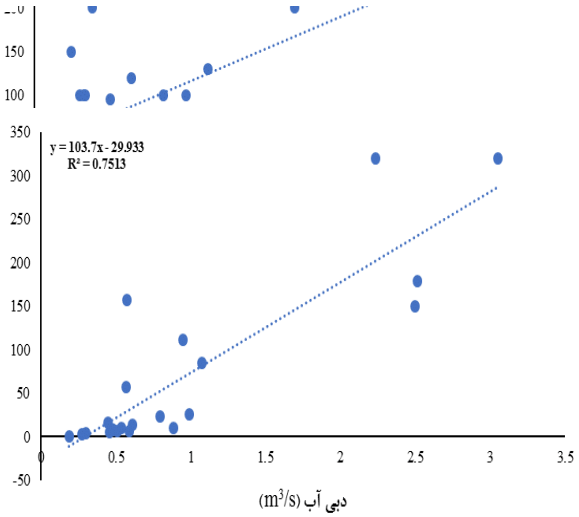
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

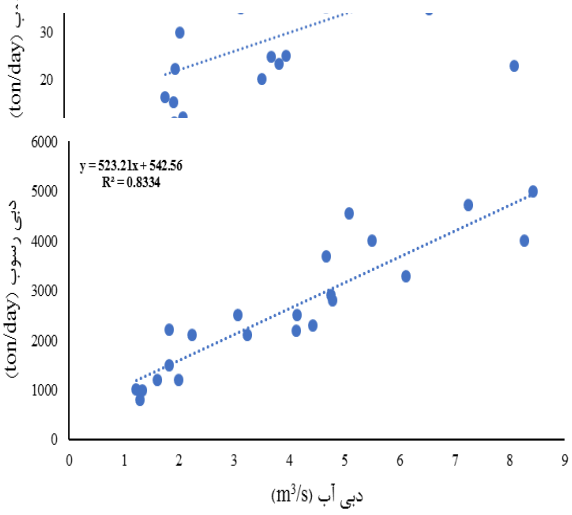


شکل ۱۰. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه گلورد (فصل بهار)

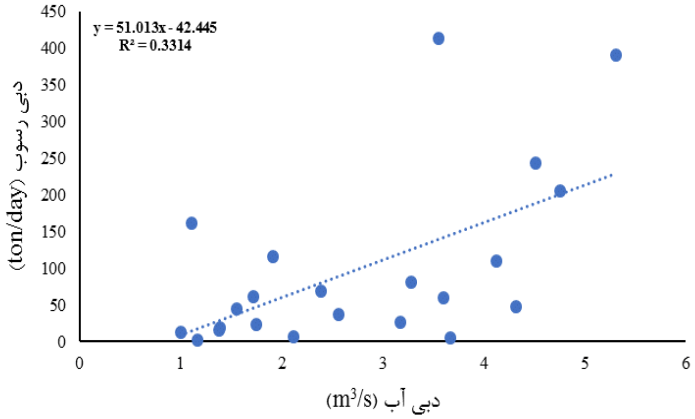
شکل ۱۱. منحنی‌سنجه رسوب ایستگاه گلورد (فصل بهار)



شکل ۱۴. منحنی‌سنجه رسوب سالانه ایستگاه سفیدچاه



شکل ۱۳. منحنی‌سنجه رسوب سالانه ایستگاه آبلو



شکل ۱۶. منحنی‌سنجه رسوب سالانه ایستگاه گلورد

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

- **تغییرات زمانی و مکانی**

مطابق آنچه تمامی نمودارهای مربوط به ایستگاه‌ها به خود اختصاص می‌دهند، با توجه به اینکه در این مطالعه، رسوب معلق مدنظر است وجود دبی جریان برای حمل و اندازه‌گیری رسوب الزامی است، به همین دلیل حمل بخش اعظم رسوب معلق در فصل زمستان و بهار را زمانی که سیلاب با شدت بالا رخ می‌دهد، پوشش گیاهی وجود ندارد یا بسیار کم است و عملیات خاک‌ورزی انجام می‌شود، را می‌توان توجیه نمود که با نتایج محمدی و همکاران (۱۳۸۶) و کیتکا و همکاران (۲۰۰۵) مبنی بر تولید رسوب در فروردین ماه به دلیل تمرکز بارش مطابقت دارد. نمودار حاصل از برازش مدل خطی بر داده‌های لگاریتمی دبی جریان و دبی رسوب معلق به‌صورت سالانه مطابق شکل‌های ۱۴ الی ۱۶ است. بر اساس نتایج حاصل از نمودارهای فصلی و سالانه (شکل ۲ تا ۱۶) نشان داده شد که همبستگی بالایی بین دبی جریان و دبی رسوب وجود دارد. به‌طوری‌که در هر سه ایستگاه (سفیدچاه، گلورد و آبلو) فصل بهار (شکل ۳، ۷، ۱۱) دارای بیشترین ضریب همبستگی (با حداکثر ضریب ۰/۹ در ایستگاه سفیدچاه) است. بنابراین از بین مدل‌های فصلی، فصل بهار با ضریب همبستگی بیشتر نسبت به تمامی مدل‌ها از دقت بالاتری برخوردار است و به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برآورد رسوب معلق از میان مدل‌های مورد بررسی تعیین می‌شود. این نتایج در تائید یافته‌های خزایی‌موغانی و همکاران (۱۳۹۲) و برامبیلا و همکاران (Brambilla et al., ۲۰۱۸) مطابقت دارد.

از نظر تغییرات مکانی، منحنی سنجه رسوب سالانه نشان می‌دهد که ایستگاه آبلو دارای بیشترین میزان ضریب همبستگی بین دبی جریان و دبی رسوب (۰/۸۳) است. همچنین با توجه به اینکه عامل شیب نقش مؤثری در عواملی مانند رواناب، مقدار نفوذ، شدت سیلاب، فرسایش‌پذیری و رسوب‌گذاری ایفا می‌کند، ایستگاه آبلو با مساحت تحت پوشش بیشتر، درصد شیب و زمان تمرکز کمتر و همچنین ورود زیرشاخه فرعی و پیچان‌رودی شدن رودخانه، نسبت به سایر زیرحوضه‌ها دارای رسوب معلق انتقالی بیشتری است. مساحت زیاد ایستگاه مذکور، مهمترین عاملی است که با میزان زیاد تولید رسوب در توجیه با نظرات وفاخواه و مهدوی (۱۳۸۰) و نجفی (۱۳۸۲)، مبنی بر دخالت عوامل فیزیوگرافی در مدل‌سازی تولید رسوب معلق به ترتیب در بخشی از حوزه آبخیز ساحلی دریای خزر و حوزه آبخیز زاینده‌رود و سیرجان همخوانی دارد. تغییرات زمانی حوزه‌ی آبخیز نکارود، از روش منحنی سنجه رسوب برای تعیین بیشترین ضریب همبستگی بین دبی رسوب و دبی جریان استفاده شد. لذا طبق نتایج به‌دست آمده از نمودارها، فصل بهار با ضریب همبستگی بیشتر، مقدار رسوب معلق بالاتری را به خود اختصاص داده است. درنتیجه می‌توان گفت که با افزایش مقادیر دبی و رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در طول دوره آماری، رسوب نیز افزایش پیدا کرده است که نتایج این پژوهش با یافته‌های تعداد زیادی از مطالعات دیگر در بررسی تغییرپذیری زمانی روابط میان بارش، دبی و غلظت رسوب معلق در یک راستا است (Sutari et al., ۲۰۲۰; Yadav et al., ۲۰۲۲; Roy and Sinha, ۲۰۱٤; Wu et al., ۲۰۰۸; Wenfeng and Kateb, ۲۰۱۱; Lana-Renault et al., ۲۰۱۰). به این معنی که میزان رسوب بسته به تغییرات دبی و رواناب، کاهش یا افزایش می‌یابد. بیشتر بودن میزان رسوب معلق در فصل بهار را می‌توان با بارندگی‌های بهاری که موجب افزایش جریان آب و درنتیجه تولید رسوب بیشتر می‌شود توجیه نمود که با نتایج محمدی و همکاران (۱۳۸۶) حوزه آبخیز گرگان‌رود، صادقی (۲۰۰۰) در حوزه امامه، کارسون و راهامبرگ (۲۰۰۲) در زیمباوه، کیتکا و همکاران (۲۰۰۵) در کنیا مبنی بر تولید رسوب در فصل بهار به دلیل بارش بیشتر مطابقت دارد. نگاه کلی به مقادیر رسوب ایستگاه‌ها، نشان می‌دهد که نوسانات مقادیر رسوبی در اوایل و اوخر سال و مصادف با بارندگی‌های سنگین بهاری و شروع ذوب برف زیاد هست. اکثر مقادیر حداکثر نیز در این دو

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

مقطع زمانی رخ داده است که با یافته‌های پیرسون و همکاران (Pierson et al. ۲۰۰۱) و گالارت و همکاران (Gallart et al. ۲۰۰۴) مبنی بر وابستگی تولید رسوب به رواناب و ذوب برف مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به پیچیدگی مسئله رسوب، تحقیق حاضر سهم بسزایی در افزایش دانش فرآیندهای مربوطه دارد که به‌نوبه خود برای تلفیق رسوب و کیفیت آب در مدیریت حوضه رودخانه نقش اساسی دارد. نتایج این پژوهش که با تغییرات مکانی و زمانی دبی و رسوب در سه ایستگاه هیدرومتری موجود در حوزه آبخیز نکارود استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت، نشان داد تغییرات و بی‌نظمی مقادیر دبی و رسوب‌دهی ایستگاه‌های منتخب قابل‌توجه است. همچنین، افزایش تغییرپذیری رسوب‌دهی سالانه با افزایش مقادیر رواناب ایستگاه‌ها بر وجود روابط نزدیک رواناب با وضعیت رسوب‌دهی ایستگاه‌های منتخب دلالت دارد. مقادیر تغییرات دبی و رسوب در فصول و ماه‌های مختلف در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر دبی و رسوب در فصل بهار و مخصوصاً در ماه اردیبهشت اتفاق افتاده و می‌توان نتیجه گرفت علاوه بر عامل بارندگی، عامل ذوب برف نیز بر میزان آبدهی بالای رودخانه‌ها در این فصل اثرگذار بوده است. البته باید به این نکته نیز توجه داشت که در ایستگاه‌های مورد مطالعه ضریب همبستگی به یکدیگر نزدیک بوده است و می‌توان گفت که در این ایستگاه‌ها رابطه معنی‌دار و خطی وجود دارد. بر همین اساس، نتایج تغییرات در مقادیر دبی و رسوب ماهانه در منطقه مورد مطالعه را می‌توان با خصوصیات حوضه، واکنش هیدرولوژیک و کاربری اراضی (زمان شخم اراضی کشاورزی) مرتبط دانست که از عوامل اصلی کنترل‌کننده مؤلفه‌های دبی و تولید رسوب معلق است. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق و اهمیت اطلاع از تغییرات مکانی و زمانی رسوب معلق در مدیریت حوضه، انجام تحقیقات برای سایر حوزه‌های آبخیز مهم کشور و مقایسه نتایج به دست آمده با یکدیگر، انجام پژوهش‌های کاربردی مشابه با گستره زمانی طولانی‌تر در منطقه مورد مطالعه پژوهش حاضر، تجهیز و نوسازی حوزه‌های آبخیز مورد بررسی با وسایل ثبات اندازه‌گیری و نمونه‌برداری رسوب و توسعه پژوهش‌های مشابه از طریق انجام دقیق سایر مطالعات پیشنهاد می‌گردد.

منابع

ابراهیمی، پیام؛ کریم سلیمانی و کاکا شاهدی. ۱۳۹۵. تدوین نقشه برنامه‌ریزی استراتژیک محیطی بر پایه تغییرات کاربری اراضی و پهنه‌های سیل‌گیری موردشناسی: نکارود. جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای، **(۲۰) ۶**: ۵۷-۷۴.

تلوری، عبدالرسول؛ نادر بیرودیان و اسماعیل منوچهری. ۱۳۸۶. مدل‌سازی تغییرات زمانی رسوب (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز گاران در استان کردستان). نشریهٔ پژوهش و سازندگی، **۷۵**: ۷۰-۶۴.

خزایی‌موغانی، سولماز؛ علی نجفی‌نژاد، مجیدعظیم محسنی و واحدبردی شیخ. ۱۳۹۱. تغییرات مکانی و فصلی رسوب معلق در ایستگاه‌های واقع در طول رودخانه گرگانرود، استان گلستان. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، **(۷) ۴**: ۱۵-۱.

سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران. ۱۴۰۰. داده‌های بارش، دبی و رسوب اندازه‌گیری‌شده ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری استان مازندران.

صادقی، سیدحمیدرضا؛ سهیلا آقابیگی، امین بنفشه‌یثربی، مهدی وفاخواه و عباس اسماعیلی‌ساروی. ۱۳۸۴. تغییرات زمانی و مکانی تولید رسوب معلق زیرحوزه‌های مهم آبخیز هراز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز هراز). پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی خزر، **(۳) ۳**: ۱۵-۲۹.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

عرب‌خدری، محمود. ۱۳۸۴. ارزیابی مدل‌های هیدرولوژیکی در تخمین بار معلق در جریان پایه و ارتفاع جریان در حوضه سد ایلام. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، ۴۸۶-۴۹۰.

عسگری، ابراهیم؛ سید زین‌العابدین حسینی و رئوف مصطفی‌زاده. ۱۳۹۹. تعیین ارتباط و تغییرات مکانی مقادیر دبی و رسوب معلق در حوضه‌های استان اردبیل. جغرافیا و توسعه، **(۱۶) ۱۸**: ۱۴۳-۱۷۶.

فرجزاده، منوچهر و مرتضی قره‌چورلو. ۱۳۹۰. تحلیل مکانی و زمانی رسوب معلق در حوزهٔ آبریز قره‌سو. مجلهٔ پژوهش‌های فرسایش محیطی، **(۳) ۱**: ۶۱-۸۴.

فضل‌اللهی، علی. ۱۳۹۵. برآورد رسوب بار معلق رودخانه با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی. یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، انجمن آبخیزداری ایران، دانشگاه یاسوج.

محمدی، امین؛ ابوالفضل مساعدی و علی حشمت‌پور. ۱۳۸۶. تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی رودخانهٔ گرگانرود. مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، **(۴)۱۴**: ۲۳۲-۲۴۰.

نجفی، درعلی. ۱۳۸۲. اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز اصفهان و سیرجان در تولید رسوب با استفاده از تجزیه و تحلیل منطقه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشکده منابع‌طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

وفاخواه، مهدی و محمد مهدوی. ۱۳۸۰. تجزیه و تحلیل ناحیه‌ای رسوب در منطقه شمال (مازندران و گرگان). طرح پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس.

یزدان‌پرست، مریم؛ ابوالفضل مساعدی، سعیدرضا خداشناس و علی گلکاریان. ۱۳۹۵. بررسی وضعیت رسوب‌گذاری در مخزن سد کارده طی یک‌دوره ۷ ساله. یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، انجمن آبخیزداری ایران، دانشگاه یاسوج.

Brambilla, D.; M. Papini, and L. Longoni. ۲۰۱۸. Temporal and Spatial Variability of Sediment Transport in a Mountain River: A Preliminary Investigation of the Caldone River, Italy. Geosciences, ۱۶۳: ۱-۱۷.

De Girolamo, A.M.; G. Pappagallo, and A. Lo Porto. ۲۰۱۵. Temporal variability of suspended sediment transport and rating curves in a Mediterranean river basin: The Celone (SE Italy. Catena, ۱۲۸: ۱۳۵–۱۴۳.

Gallart, F.; C. Balasch, D. Regues, and M. Soler. ۲۰۰٤. Spatial and temporal scales of sediment production and transport in a small Mediterranean mountain catchment. http://www.cosis.net/abstracts/EGU۰٤/O۲۸۹۵/EGU۰٤-]-۰۲۸۹۵-(.pdf).

Hu, B.; H. Wang, Z. Yang, and X. Sun. ۲۰۱۱. Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. Quaternary International, ۲۳۰: ۳٤-٤۳.

Karlsson, M, and M. Rahmberg. ۲۰۰۲. Assessment of suspended sediment variability in Odzi River, Zimbabwe, Arbetsgruppen for Tropisk Ekologi, Uppsala University, ۳٦ pp.

Kitheka, J.U.; M. Obiero, and P. Nthenge. ۲۰۰۵. River discharge sediment transport and exchange in the Tana Estuar, Kenya, Estuarine. Coastal and Shelf Science, ٦۳: ٤٥٥-٤٦٨.

Kuksina, L. and N. Alexeevsky. ۲۰۱۵. Spatial and temporal variability of suspended sediment yield in the Kamchatka Krai, Russian Federation. IAHS, ۳٦۷: ۳۰٤–۳۱۱

Lana-Renault, N.; D. Regues, E. Nadal-Romero, M.P. Serrano-Muela, and J.M. Garcia-Ruiz. ۲۰۱۰. 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, ۱٦۵: ۹۷-۱۱٤.

Lee, Y.H. and V.P. Singh. ۱۹۹۹. Prediction of sediment yield by coupling kalman filter with instantaneous unit sediment graph. Hydrological Process, ۱۳: ۲۸٦۱-۲۸۷۵.

Mohamadi, A.; A. Mosaedi, and A. Heshmatpour. ۲۰۰۷. Determination of the best Model to estimate suspended sediment loud in Ghazaghli gauge station-Gorganroud river. Journal of Agriculture Science and Natural Resources, ۱٤ **(٤)**: ۲۳۲-۲٤۰.

Pierson, F.B.; C.W. Slaughter, and K.C. Zane. ۲۰۰۱. Long-term stream discharge and suspended-sediment database, Reynolds Creek Experimental Watershed, Idaho, United States. Water Resources Research, ۳۷ **(۱۱)**: ۲۸۵۷-۲۸٦۱.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]

Roy, N.G. and R. Sinha. ۲۰۱٤. Effective discharge for suspended sediment transport of the Ganga River and its geomorphic implications. Geomorphology, **٤ (۳)**: ۲۲۱-۲۳٤.

Sadeghi, S.H.R. ۲۰۰۰. Some aspects of spatial and temporal distribution of prediction models of watershed sediment yield, Ph.D dissertation, G.B.P.U.A. and T., Pantaagar, India, ۲٦٦ pp.

Sadeghi, S.H.R. and J.K. Singh. ۲۰۰۱. Prioritization of sub-watersheds in generation of total sediment yield using routing model, in: Proceeding of ۳rd International Conference on Land Degradation-ICLD۳, September, Rio de Janeiro, Brazil: ۱۷-۲۱.

Sutari, CAT.; M. van der Perk, and H. Middlekop. ۲۰۲۰. Spatial and temporal patterns of suspended sediment concentrations in the Rhine River. The ۳rd Environmental Resources Management in Global Region, Earth and Environmental Science, **٤٥۱**: ۱-۸.

Telvari, A. ۲۰۰۱. The relation of suspended sediment with some of the watershed characteristics in Dez and Karkhe in Lorestan province. J. Res. and Construc, **۱٥(٥٦)**: ٤۷-٥٦.

Wei, Z.; W. Xiaoyan, Z. Jinhai, Z. Yuliang, and Z. Yanjing. ۲۰۱۲. Estimating suspended sediment loads in the Pearl River Delta region using sediment rating curves, journal homepage: www.elsevier.com/locate/csr, (pdf)

Wenfeng. D. and H.E. Kateb. ۲۰۱۱. Annual discharge and sediment load variation in Jialing River during the Past ٥۰ years. Journal of Mountain Science, ۸: ٦٦٤-٦۷٦.

Wu, B.S.; G.Q. Wang, J.Q. Xia, X.D. Fu, and Y.F. Zhang. ۲۰۰۸. Response of bankfull to discharge and sediment load in the lower Yellow River. Geomorphology, ۱۰۰: ۳٦٦-۳۷٦.

Yadav, A.; M. K. Hasan, D. Joshi, V. Kumar, A. H. Mohd Aman, H. Alhumyani, M. S. Alzaidi, and H. Mishra. ۲۰۲۲. Optimized Scenario for Estimating Suspended Sediment Yield Using an Artificial Neural Network Coupled with a Genetic Algorithm. Water, ۱٤: ۱-۲۲.

Zhai, H.J.; B. Hu, X.Y. Luo, L. Qiu, W.J. Tang, and M. Jiang. ۲۰۱٦. Spatial and temporal changes in runoff and sediment loads of the Lancang River over the last ٥۰ years. Agricultural Water Management, ۱۷٤: ۷٤-۸۱.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1401.9.2.12.0]