

## روند تغییرات رسوب معلق رودخانه های کرج و جاجرود در چند دهه اخیر

محمود عرب خدري<sup>۱\*</sup>، کلثوم صدارتی<sup>۲</sup> و اباذر اسمعلی عوری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، <sup>۲</sup> کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی و <sup>۳</sup> دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۲۵

### چکیده

باور عمومی کارشناسی در ایران حکایت از افزایش رسوب سالانه در بیشتر حوزه های آبخیز دارد. پژوهش حاضر به ارزیابی این باور با تحلیل چهار دهه آمار رسوب در ایستگاه رودک روی جاجرود و ایستگاه سیرا روی رودخانه کرج پرداخته است. از آن جا که تغییرات مقدار رسوب تابعی از تغییرات دبی و غلظت جریان است، هر سه متغیر به صورت جداگانه تحلیل شد. بررسی اولیه داده ها نشان داد، بیش از ۹۲ درصد از رسوب معلق ایستگاه های رودک و سیرا به ترتیب به وسیله دو و سه دهک (معادل ۲۰ و ۳۰ درصد) بالای جریان (دبی های سیلابی یا موثر) انتقال می یابد. در این میان، بالاترین دهک (۱۰ درصد) جریان نیز به تنهایی مسئولیت حمل حدود ۸۰ و ۶۴ درصد از رسوب این دو ایستگاه را به خود اختصاص می دهد. لذا، در بررسی روند، عمدتاً تحلیل داده های بالاترین دهک جریان مورد توجه قرار گرفت. چند روش مشتمل بر الف) برازش خط رگرسیون بر داده های اندازه گیری شده غلظت و وزن رسوب نسبت به زمان، ب) مقایسه ترسیمی میانگین دبی، غلظت و وزن رسوب در چهار دهه، ج) استفاده از آزمون کروسکال-والیس و د) ضریب همبستگی رتبه ای کندال برای تحلیل روند به کار رفت. هر چهار روش، روند نزولی در مقدار غلظت و وزن رسوب هر دو ایستگاه در طول چهار دهه را نشان دادند که در مورد دو روش ناپارامتری از نظر آماری معنی دار بود. نظر به این که در این چهار دهه، بالاترین دهک دبی های روزانه نیز روندی افزایشی نداشت، می توان مطرح نمود که بر خلاف باور عمومی، رسوب معلق این رودخانه ها کاهش یافته است. تقلیل رسوبدهی احتمالاً ناشی از سطح گسترده عملیات حفاظت خاک و آب اجرا شده در سطح حوضه بالادست سدهای امیرکبیر و لتیان است. البته، روند نزولی رسوب معلق رودخانه، الزاماً به معنی کاهش فرسایش دامنه ها نیست و ممکن است، ناشی از کمتر شدن نسبت تحویل رسوب باشد.

**واژه های کلیدی:** آزمون کروسکال-والیس، احتمال وقوع، دبی موثر، روند زمانی، ضریب همبستگی، غلظت رسوب معلق

### مقدمه

شکل زمین، در سطح منطقه ای و محلی دارد. این مواد علاوه بر خسارت برجا، با گل آلود کردن جریان در پایین دست، رسوب گذاری در مخازن سدها، بستر رودخانه ها و کانال های آبیاری و نظایر آن می تواند

رسوب معلق که عمدتاً از فرسایش سطح حوضه تامین می شود (Vanoni, ۲۰۰۶)، نقش مهمی در جریان بسیاری از عناصر و مواد موجود خاک و تغییر

کردند. آن‌ها در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که در بیش از ۵۰ درصد از رودخانه‌های مورد ارزیابی، روند افزایشی یا کاهشی بار رسوبی از لحاظ آماری معنی‌دار است. در بیشتر رودخانه‌ها، روند کاهشی در بار رسوبی مشاهده شد که دلیل آن اقدامات حفاظت آب و خاک و ساخت سدها و مخازن بر روی رودخانه-ها گزارش شده است. Walling و Fang (۲۰۰۳) اظهار نظر قطعی در این مورد را به ارزیابی دقیق‌تر در مورد روند جریان رسوبات حمل شده به‌وسیله رودخانه‌ها موکول کرده‌اند.

در پژوهشی، Pakparvar (۲۰۰۱) به بررسی روند تغییرات غلظت رسوب معلق و ضریب رواناب در تعدادی از ایستگاه‌های رسوب‌سنجی ایران پرداخت که در بعضی از ایستگاه‌ها، روند افزایشی و در برخی، روند کاهشی مشاهده شد. او در تعدادی از ایستگاه‌ها نیز هیچ‌گونه روندی مشاهده نکرد. مطابق یافته‌های این پژوهشگر در تمام موارد، تغییرات معنی‌دار نبوده است. Shields (۲۰۰۸) نیز پروژه‌های تثبیت آبراهه اجرا شده بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۳ در ۱۶ حوزه آبخیز آمریکا را از لحاظ تأثیر بر حمل رسوبات معلق مورد ارزیابی قرار داد. داده‌های جریان و رسوب معلق بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۷ در این حوزه‌ها اندازه‌گیری شده بود. وی با تحلیل آماری بر روی این داده‌ها، موفق به شناسایی روند کاهشی قابل توجهی در رسوب شد. نتایج نشان داد که در سطح حوزه‌های بزرگ، تأثیر اقدامات کنترل فرسایش به سختی در طول پنج تا ۱۵ سال در میزان رسوب نمایان می‌شوند. از قرار معلوم، کاهش قابل توجه در میزان رسوب انتقال یافته مستلزم تغییر در هیدرولوژی رودخانه است که در نتیجه کاهش رواناب و دبی اوج یا تغییر در شیب بستر آبراهه انجام می‌گیرد.

مطالعات موردی نیز در برخی از آبخیزها انجام شده است. مثلاً Garbrecht و Starks (۲۰۰۹) اثر عملیات آبخیزداری را در حوزه آبخیز سد مخزنی Fort Cobb، با مقایسه متوسط وزن رسوب به‌دست آمده از طریق منحنی سنج رسوب دو دوره چند ساله انجام دادند. تعداد داده‌های موجود در دو دوره ۱۹۴۳ تا ۱۹۴۸ و ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ به‌ترتیب ۳۰ و ۱۰۵ مورد بود. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که مقدار رسوب در

منجر به مشکلات و خسارات متعددی شود (Refahi, ۲۰۰۵).

نوسانات رسوبدهی رودخانه‌ها از سالی به سال دیگر واقعیتهای انکارناپذیر است. Feiznia و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی آمار رسوب و جریان ۱۳ رودخانه، در کمترین حالت نه و در بیشترین وضعیت ۲۵ سال آمار را برای رسیدن به رسوبدهی متوسط قابل قبول سالانه ضروری دانسته‌اند. Vanmaercke و همکاران (۲۰۱۲) نیز با بررسی تغییرات سال به سال رسوبدهی ۵۵۸ ایستگاه رسوب‌سنجی (از جمله ۱۲۳ ایستگاه از ایران) با طول دوره آماری هفت تا ۵۸ سال، آن‌را تابعی از عامل اقلیمی بارش دانستند. آن‌ها ملاحظه کردند که بیشترین نوسانات در مناطق اقلیمی خشک‌تر رخ می‌دهد.

علاوه بر نوسانات سالانه، امکان تغییرات افزایشی یا کاهشی نیز در طول زمان وجود دارد. Walling (۲۰۰۶) تغییرات عمده بار رسوبی در رودخانه‌های جهان را ناشی از دو دسته از اقدامات عنوان می‌کند. گروه اول، اقداماتی مانند جنگل‌تراشی، شخم اراضی شیب‌دار، چرای بی‌رویه، معدن‌کاوی و انواع ساخت و سازهای درون حوضه که نتیجه آن افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها می‌شود. در مقابل، گروه دوم، اقداماتی از قبیل ساخت سدها و بندهای رسوب‌گیر بر روی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها و به‌طور عام فعالیت‌های حفاظت خاک و آب را در بر می‌گیرد که باعث به دام انداختن رسوب می‌شود که نتیجه آن کاهش بار رسوبی رودخانه‌ها است. در سال‌های اخیر و با توجه به گزارش‌های موجود (مثلاً Motiee و McBean, ۲۰۰۶؛ Xu و همکاران, ۲۰۱۰) از تغییرات معنی‌دار در روند بارش و دبی به‌دلیل تغییر اقلیم، تغییر در نرخ فرسایش و رسوب نیز دور از انتظار نیست. اگر در منطقه‌ای هیچ‌یک از عوامل موثر در طول دوره مورد بررسی دچار تغییرات قابل توجهی نشوند، نباید در روند درازمدت رسوبدهی تفاوتی چندان حاصل شود.

مطالعات محدودی در ارتباط با تغییرات زمانی رسوبدهی رودخانه‌ها انجام شده است. در یکی از پژوهش‌ها که ایستگاه‌هایی از مناطق مختلف جهان را پوشش داده است، Walling و Fang (۲۰۰۳) روند تغییرات رسوبات معلق در ۱۴۵ رودخانه را ارزیابی

دوره قبل از عملیات آبخیزداری ۷۶۰ تن در کیلومتر مربع در سال بوده که به ۱۰۸ تن در کیلومتر مربع در سال کاهش پیدا کرده است. در پژوهشی دیگر، Heimann و همکاران (۲۰۱۱) روند رسوبدهی معلق و غلظت رسوب رودخانه می‌سی‌سی‌پی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آن‌ها به‌طور کلی روند بارهای رسوبی در این رودخانه را رو به پایین ارزیابی کردند. بستن سد Fort Randall بر روی این رودخانه در سال ۱۹۵۲ بزرگ‌ترین رویداد تاریخی کاهش بار رسوب معلق در این رودخانه بوده است.

Bobrovitskaya (۱۹۹۶) نیز در پژوهشی، روند تغییرات رسوبدهی رود Kolyma با مساحت ۹۹۴۰۰ کیلومتر مربع در ایستگاه Ust-Srednekamsk واقع در روسیه بر اساس آمار ۱۹۴۱ تا ۱۹۸۸ را بررسی کرد. نتایج نشان داد که در دوره بعد از سال ۱۹۶۵ غلظت رسوب، افزایشی ۱۰۴ درصدی نسبت به دوره قبل دارد. از میان عوامل مربوط به دخالت انسان در طبیعت، بهره‌برداری از معادن طلا مهم ارزیابی شد. در پژوهش Nasri و همکاران (۲۰۱۱) نیز روند رسوبات معلق و عوامل مؤثر بر آن در ایستگاه مندرجان بین سال‌های ۱۳۵۸-۱۳۸۳ مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها در بررسی خود، وجود روند کاهشی رسوبات معلق را به‌دلیل انجام عملیات گسترده حفاظت آب و خاک در سطح حوزه آبخیز عنوان نمودند. بررسی تغییرات روند رسوب در رودخانه زرد چین که متوسط رسوبدهی سالانه آن حدود  $10^9 \times 1/6$  تن برآورد شده و حدود ۱۰ درصد از کل رسوب جهانی انتقال یافته به اقیانوس‌ها را شامل می‌شود، بسیار جالب است. بر اساس آمار موجود از ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰، بار رسوب در این رودخانه به‌طور قابل توجهی به‌دلیل کاهش بارش، افزایش ذخیره آب و اجرای پروژه‌های جامع و حفاظت آب و خاک تقلیل یافته است (Mou, ۱۹۹۶).

این پژوهش با هدف تحلیل روند رسوب در دو رودخانه جاجرود و کرج که آب آشامیدنی کلان‌شهر تهران و اطراف آن را تامین می‌کنند، انجام شد. هر دو حوضه به‌ویژه جاجرود به‌دلیل نزدیکی به تهران در معرض دستیازی‌های شدید قرار گرفته‌اند.

### مواد و روش‌ها

**مشخصات حوضه‌های مورد مطالعه:** جدول ۱، مشخصات دو حوضه جاجرود و کرج تا محل ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در خروجی آن‌ها (به- ترتیب رودک و سیرا) را نشان می‌دهد. این ایستگاه‌ها در ورودی سدهای احداث شده روی این دو رودخانه یعنی سد لتیان و سد امیرکبیر قرار دارند. هر دو ایستگاه دارای بیش از ۱۰۰۰ مشاهده غلظت رسوب و آمار جریان روزانه در دوره ۴۰ ساله هستند.

**روش پژوهش:** میزان رسوبدهی معلق حمل شده در هر رودخانه، تابعی از غلظت رسوب و دبی جریان است. بنابراین، علاوه بر بررسی روند وزن رسوب، بررسی روند دو متغیر یادشده نیز ضرورت دارد. با این دیدگاه، ابتدا داده‌های رسوب و آمار دبی روزانه جمع‌آوری و پس از بررسی صحت داده‌ها نسبت به شناسایی هر گونه موارد ناقص و مشکوک اقدام شد. به‌طور مشخص، در برخی ردیف‌های داده رسوب، مقدار رسوب صفر گزارش شده بود که ردیف مربوط به‌طور کامل حذف شد.

نظر به اهمیت نقش سیلاب‌ها در حمل رسوب، تفکیک اندازه‌گیری‌های مربوط به دبی‌های بالا ضروری است. بدین منظور، از مفهوم دبی مؤثر حمل رسوب استفاده شد. ابتدا تمام دبی‌های روزانه اندازه‌گیری شده در طول ۴۰ سال دوره آماری به‌صورت صعودی مرتب و برای هر یک، احتمال وقوع تجربی به روش ویبال محاسبه شد (Alizadeh, ۲۰۰۰). برای محاسبه رسوبدهی هر دبی، منحنی سنجح حد وسط دسته‌ها که برای اولین بار Jansson (۱۹۹۶) پیشنهاد داده،

چند ایراد اصلی پژوهش‌های محدود انجام شده مرتبط با روند رسوب را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد: الف) در نظر گرفتن یک منحنی سنجح رسوب برای کل دوره آماری (Shields, ۲۰۰۸، ب) کوتاه بودن دوره آماری و احتمال اثر ترسالی و خشک‌سالی بر روند (Garbrecht و Starks, ۲۰۰۹؛ Nasri و همکاران، ۲۰۱۱، ج) تعداد محدود آمار غلظت رسوب

دبی مؤثر به دبی‌هایی اطلاق شد که دهک احتمال وقوع جریان مربوط به آن، بیش از پنج درصد در حمل رسوب دخالت داشته باشد.

کارایی آن را Arabkhedri و همکاران (۲۰۰۳) تایید کرده‌اند، مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، حاصل جمع رسوب در ۱۰ دهک احتمال وقوع (هر یک ۱۰ درصد) به‌طور جداگانه محاسبه شد. در این پژوهش،

جدول ۱ - برخی از مشخصات و اطلاعات جریان و رسوب حوضه‌های مورد بررسی

مشخصات	جاجرود/ رودک	کرج/اسیرا
کد ایستگاه	۴۱-۱۱۷	۴۱-۱۰۱
طول جغرافیایی	۵۱° ۰۹'	۵۲° ۲۲'
عرض جغرافیایی	۳۶° ۰۲'	۳۶° ۱۶'
مساحت (km <sup>2</sup> )	۴۲۱	۷۱۸
اقلیم	نیمه‌خشک تا مرطوب	نیمه‌مرطوب تا مرطوب
سال‌های آماری	۱۳۴۷-۱۳۸۷	۱۳۴۷-۱۳۸۷
طول دوره آماری	۴۰	۴۰
تعداد نمونه رسوب	۱۱۲۵	۱۴۵۷
حداکثر دبی روزانه (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	۱۵۴/۵	۱۲۰/۹
بیشینه دبی لحظه‌ای دارای نمونه غلظت (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	۱۳۶/۲	۱۱۰/۰
بیشینه غلظت مشاهده‌ای (mgL <sup>-1</sup> )	۴۴۴۰۷	۳۱۴۷۴
بیشینه رسوبدهی مشاهده‌ای (tonY <sup>-1</sup> )	۲۴۵۵۶۵	۲۴۱۲۴۶

با توجه به پراکنش وسیع ابر داده‌ها، برای حذف اثر نقاط منفرد و کشف نوسانات دوره‌ای، کل دوره به چهار دهه تقسیم شد و در هر دهه میانگین غلظت رسوب، دبی جریان و وزن رسوب محاسبه شد. به این ترتیب، نوسانات ناشی از تناوب سال‌های خشک و تر نیز تا حدودی از بین رفت. از سوی دیگر، با توجه به اهمیت دبی‌های بالا در حمل رسوب، متوسط هر سه متغیر در بالاترین دهک احتمال وقوع جریان محاسبه و برای تحلیل ترسیمی روند به کار رفت. در مرحله بعد، ارزیابی آماری روند در طول زمان برای داده‌های دهک بالای احتمال وقوع دبی مؤثر نیز انجام شد. به این منظور، از دو آزمون غیر پارامتری کروسکال-والیس و ضریب همبستگی کندال استفاده شد که شرح کامل آن‌ها در Zare Chahooki و Bihamta (۲۰۱۰) آمده است. در این آزمون‌ها، متغیر مورد نظر باید دارای پیوستگی باشد و داده‌ها در آن رتبه‌بندی شوند. در این دو روش نیز تاثیر مشاهدات منفرد استثنایی حذف می‌شود.

آزمون غیر پارامتری کروسکال-والیس برای بررسی وجود روند در سه متغیر دبی، غلظت و رسوب در چهار دهه استفاده شد. پس از مرتب کردن صعودی و

برای بررسی روند جریان و حذف اثر نوسانات سالانه جریان، از روش میانگین متحرک استفاده شد (Alizadeh, ۲۰۰۰) و روند تغییرات حجم جریان سالانه در دو حالت دبی کل و مؤثر به‌طور جداگانه ترسیم و تحلیل شد. برای تعیین روند تغییرات مقادیر مشاهده‌ای غلظت و وزن رسوب در طول دوره ۴۰ ساله، از چند روش آماری استفاده شد. ابتدا، از آن‌جا که در برخی از رویدادهای سیلابی مهم چند نمونه رسوب در طول روز برداشته شده بود، به‌طور تصادفی یک نمونه از هر روز حفظ و مابقی حذف شد تا از ارزیابی احتمالی داده‌ها جلوگیری شود. سپس، داده‌های هر ایستگاه در طول دوره آماری یک‌جا در قالب نمودار ابر نقاط که محور افقی آن زمان و محور عمودی آن رسوب است، نمایش داده شد. با نگاه به ابر نقاط وضعیت پراکنش نمونه‌ها مشتمل بر تراکم اندازه‌گیری‌ها در طول دوره آماری، سال‌های فاقد آمار و یا اختلال در نمونه‌برداری معمول مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، با بررسی خط برازش و ضریب همبستگی، روند افزایشی و کاهشی داده‌ها در طول زمان و معنی‌دار بودن ضریب همبستگی و یا فقدان روند تحلیل شد.

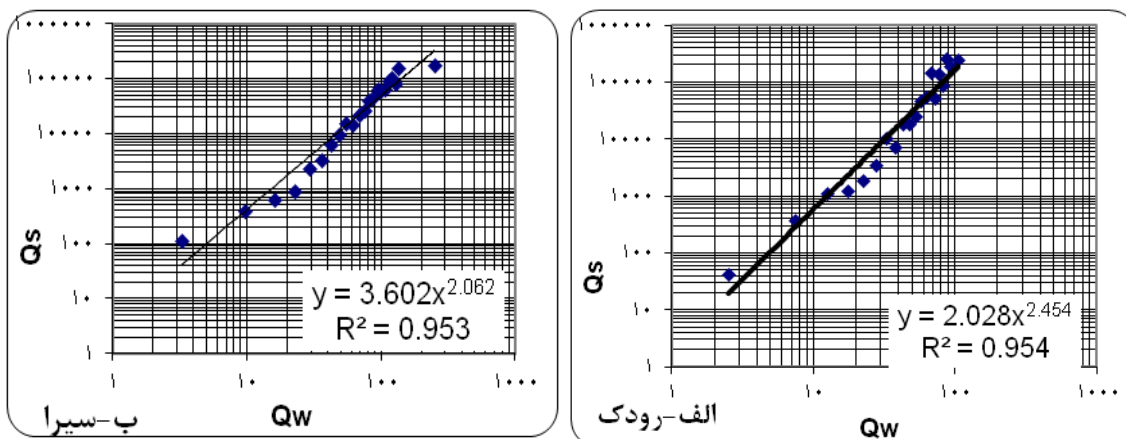
نشان داد. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که روند کلی جریان تغییر نیافته و سهم سیلاب‌ها نیز (که نقش بیشتری در حمل رسوب دارند) از کل جریان در طی چهل سال بیشتر یا کمتر نشده است.

برای بررسی سهم رسوب، لازم بود ابتدا منحنی سنجه رسوب ترسیم و وزن روزانه رسوب محاسبه شود. شکل ۱، منحنی‌های سنجه رسوب حد وسط دسته‌ها را در ایستگاه‌های رودک و سیرا نشان می‌دهد. ضریب تبیین در هر دو ایستگاه بیش از ۹۵ درصد و قابل قبول است. جدول ۲، سهم رسوب حمل شده در ۱۰ دهک احتمال وقوع جریان را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با حرکت به طرف دهک‌های بالاتر احتمال وقوع، مقدار رسوب حمل شده به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد. طوری که در بین دهک‌های دبی مؤثر، دهک بالا بیشترین سهم را در حمل رسوب دارد. در نگاهی کلی، مسئولیت انتقال بیش از ۹۲ درصد رسوب در هر دو ایستگاه به دهک‌های دبی مؤثر مربوط است. در مقابل، دهک‌های پایین جریان، رسوب قابل توجهی را انتقال نمی‌دهند و انتظار می‌رود جریان نسبتاً صاف و زلالی داشته باشد. به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که با تمرکز روی رسوب دبی‌های مؤثر و به طور خاص بالاترین دهک احتمال وقوع جریان، بهتر می‌توان به تحلیل روند پرداخت.

مشخص کردن رتبه هر مشاهده، میانگین رتبه به تفکیک چهار دهه محاسبه و سپس، با استفاده از جدول احتمال، سطح معنی‌داری اختلاف بین دهه‌ها مشخص شد. برای محاسبه ضریب همبستگی کندال، زمان هر اندازه‌گیری به عنوان متغیر مستقل و غلظت رسوب، دبی جریان و وزن رسوب به عنوان متغیر وابسته، در سه تحلیل جداگانه قلمداد شدند. در این مورد نیز ابتدا، هر یک از متغیرها به ترتیب صعودی مرتب و رتبه‌ای به آن‌ها داده شد. سپس ضریب همبستگی بین دو سری رتبه‌های متغیرهای مستقل و وابسته بررسی شد. مقدار این ضریب همواره بین +۱ تا -۱ قرار دارد. در نهایت، مجموعه تحلیل‌های آماری، توصیفی و ترسیمی جمع‌بندی و نتیجه نهایی روند کلی رسوب در هر ایستگاه ارائه شد.

### نتایج و بحث

نمودار میانگین متحرک حجم جریان سالانه تمام دبی‌های روزانه هر دو ایستگاه شباهت زیادی به یکدیگر داشتند. به این ترتیب که، جریان در ابتدای دوره اندکی کاهش، در دهه ۶۰ تا ۷۰ افزایش و مجدداً کاهش و در اواخر دوره اندکی افزایش یافته است. به دلیل قرار گرفتن این دو ایستگاه در یک منطقه آب و هوایی و فاصله نسبتاً کم آن‌ها از یکدیگر این شباهت، منطقی است. نمودار حجم جریان سالانه دبی‌های مؤثر این دو ایستگاه نیز روندی مشابه را



شکل ۱- منحنی سنجه حد وسط دسته‌ها در الف) ایستگاه رودک و ب) ایستگاه سیرا

دبی‌های سیلابی را در بررسی‌های خود نشان دادند. در مقابل، این نتایج با یافته‌های Zinati Shoa و

پژوهشگران زیادی از جمله Webb و Walling و (۱۹۸۷) و Demissie و Markus (۲۰۰۶) اهمیت

رسوب افزوده است. البته مشخص شدن اهمیت نقش دهک‌های بالای جریان در انتقال بار معلق، الزاما به معنی نقش یک یا دو دبی استثنایی نیست. حد پایین دهک دبی‌های موثر (جدول ۲، ستون‌های ۳ و ۴) هر دو ایستگاه چند برابر کوچک‌تر از دبی بیشینه روزانه ثبت شده مربوط به همان حوضه (جدول ۱) است.

Salajegheh (۲۰۰۷) که دبی‌های پایین و متوسط را به‌عنوان دبی مؤثر در انتقال رسوب در دراز مدت اعلام نمودند، هم‌خوانی ندارد. یک دلیل احتمالی برای نتایج متفاوت، وجود آمار بیشتر در ایستگاه‌های منتخب این مطالعه و تعدد نمونه‌برداری در فصل سیلابی است که بر دقت منحنی سنج رسوب و در نتیجه برآورد

جدول ۲- سهم رسوب حمل شده در دهک‌های احتمال وقوع جریان در دو ایستگاه رودک و سیرا

درصد رسوب تجمعی		درصد سهم از رسوب حمل شده		دبی متناظر با احتمال حداقل ( $m^3s^{-1}$ )		حدود دسته‌های احتمال	
سیرا	رودک	سیرا	رودک	سیرا	رودک	حد بالا	حد پایین
۰/۳۰	۰/۰۷	۰/۳۰	۰/۰۷	۰/۳۰	۰/۱۰	۱۰	۰/۰۰۵
۰/۷۴	۰/۲۰	۰/۴۵	۰/۱۳	۳/۷۰	۲/۱۹	۲۰	۱۰
۱/۳۱	۰/۳۷	۰/۵۷	۰/۱۸	۴/۲۵	۲/۵۲	۳۰	۲۰
۲/۰۷	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۲۶	۴/۸۱	۲/۹۲	۴۰	۳۰
۳/۱۲	۱/۰۱	۱/۰۵	۰/۳۸	۵/۵۱	۳/۳۹	۵۰	۴۰
۴/۸۰	۱/۶۳	۱/۶۹	۰/۶۲	۶/۷۰	۴/۰۶	۶۰	۵۰
۸/۱۷	۲/۸۶	۳/۳۷	۱/۲۳	۸/۸۹	۵/۰۷	۷۰	۶۰
۱۶/۲۰	۶/۵۵	۸/۰۳	۳/۶۹	۱۳/۳۲	۷/۲۸	۸۰	۷۰
۳۵/۵۹	۲۰/۱۹	۱۹/۳۹	۱۳/۶۴	۲۰/۱۰	۱۲/۴۰	۹۰	۸۰
۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۶۴/۴۱	۷۹/۸۱	۳۰/۴۰	۱۹/۷۸	۹۹/۹۹۵	۹۰

شکل ۳ (الف و ب)، پراکنش وزن و غلظت رسوب دبی‌های موثر را در ایستگاه سیرا نشان می‌دهد. با توجه به این نمودارها، تراکم ابر نقاط وزن و غلظت رسوب در ابتدای دوره بر روی چند خط راست مترکم شده‌اند که مربوط به تعدد نمونه‌برداری در دوره‌های پربابی در اوایل تاسیس ایستگاه می‌باشند. در مقابل، ابر نقاط در نیمه دوم از توزیع منظم‌تری برخوردار است که به معنی نمونه‌برداری یکسان‌تر در تمام فصول است. با توجه به شیب خط برازش، روند داده‌ها در طول دوره نزولی است. نزولی بودن روند داده‌ها، الزاما به معنی کاهش وزن رسوب نیست، بلکه در این مورد تا حد زیادی ناشی از تراکم بیشتر اندازه‌گیری‌های مربوط به دبی‌های بالا در ابتدای دوره است. زیرا همان‌گونه که مطرح شد، برنامه‌های اندازه‌گیری وزارت نیرو در طول ۴۰ سال تغییر کرده است. به این ترتیب، ممکن است روند افزایشی که Pakparvar (۲۰۰۱) در حوضه کارون به آن اشاره کرده تا حدی مربوط به تغییر برنامه‌های وزارت نیرو در تعداد اندازه‌گیری در طول زمان باشد.

همچنین، با دقت در جدول ۲، ملاحظه می‌شود که در ایستگاه رودک، دو دهک و در ایستگاه سیرا سه دهک دبی مؤثر وجود دارد. مساحت حوزه آبخیز منتهی به ایستگاه رودک نسبت به ایستگاه سیرا کوچک‌تر است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالا با کمتر شدن مساحت حوضه، سهم دبی‌های بالا در حمل رسوب معلق بیشتر می‌شود.

جدول ۳، وضعیت داده‌های رسوب و جریان در ایستگاه‌های مورد مطالعه را به تفکیک دسته‌های احتمال وقوع جریان نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که بیش از ۵۰ درصد از نمونه‌های رسوب هر دو ایستگاه از دبی‌های موثر برداشته شده‌اند و حدود یک‌سوم داده‌ها مربوط به بالاترین دهک دبی موثر است. سهم بیشتر نمونه‌برداری رسوب از دبی موثر و دهک بالای جریان در مقایسه با سهم دبی‌های روزانه متناظر (دو ستون انتهایی جدول ۳)، پشتوانه قوی‌تری برای تحلیل روند رسوب ایجاد می‌کند.

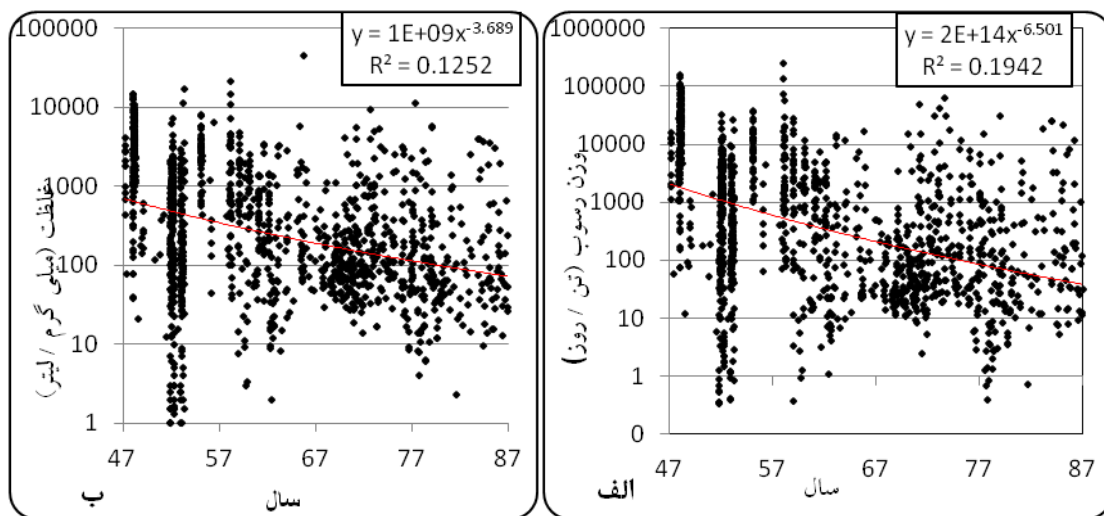
شکل ۲ (الف و ب)، پراکنش وزن و غلظت رسوب تمام نمونه‌های اندازه‌گیری شده نسبت به زمان و

شکل کلی نمودارهای ایستگاه رودک نیز شبیه ایستگاه سیرا است و تنها شیب خط برازش و ضریب تبیین آن‌ها با یکدیگر تفاوت دارد. بنابراین، برای کاهش حجم مقاله و اجتناب از تکرار، وضعیت روند تغییرات وزن و غلظت رسوب معلق مشاهده‌ای برای تمام دبی‌ها و دبی مؤثر در ایستگاه رودک با استفاده از آماره‌های توان معادله خط برازش یافته و ضریب تبیین آن در جدول ۴ ارائه شد. توان X در این جدول، بیان‌گر نرخ شیب خط برازش یافته به ابر نقاط و قدر مطلق این عدد، بزرگی شیب خط برازش و علامت مثبت یا منفی آن، روند صعودی و یا نزولی خط برازش را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه، وضعیت غلظت رسوب در هر ایستگاه نسبت به وزن رسوب است. در هر دو ایستگاه، قدر مطلق شیب خط برازش (توان X) وزن رسوب، نسبت به غلظت افزایش یافته است. همچنین، ضریب تبیین و توان X منحنی‌های برازش یافته مربوط به دبی مؤثر، در مقایسه با کل داده‌ها در هر دو مورد کمتر شده است. این موضوع به

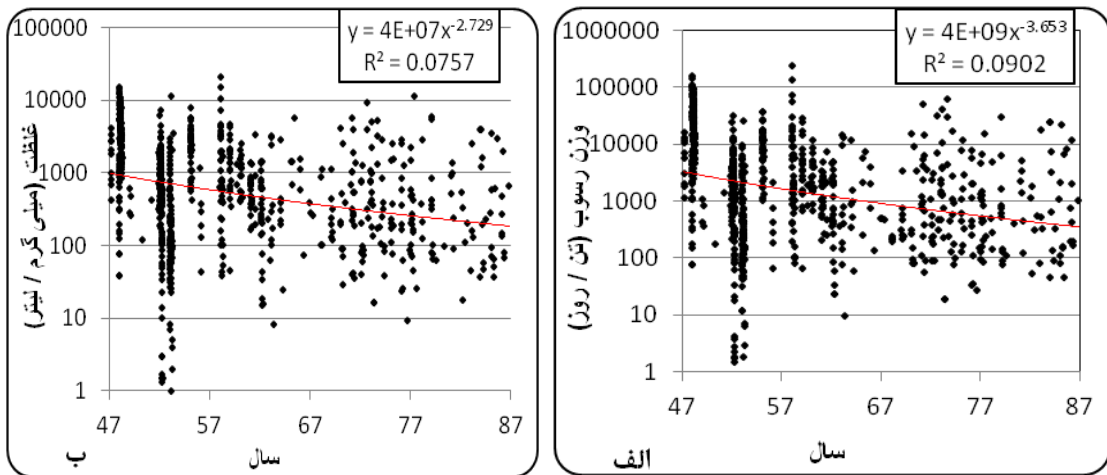
معنی کمتر شدن شیب خط برازش یافته است. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، برای تجزیه و تحلیل بهتر و کاهش اثر نوسانات ترسالی و خشکسالی و موارد استثنایی، میانگین داده‌های مربوط به دهک بالای جریان در چهار دهه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. شکل ۴، روند تغییرات مقادیر متوسط دبی، غلظت و وزن رسوب اندازه‌گیری شده چهار دهه در ایستگاه سیرا را در قالب نمودارهای ستونی و خطی نشان می‌دهد. منحنی‌ها حکایت از روند نزولی منظم در غلظت (۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش) و وزن رسوب حمل شده (حدود ۱۰۰۰۰ تن در روز کاهش) را در طی چهار دهه دارد. در مقابل، مطابق نمودار ستونی متوسط دبی‌های مربوط به دهک بالای جریان در سه دهه اول، سوم و چهارم تقریباً مساوی و بیشتر از دهه دوم است. روند نزولی غلظت و وزن رسوب همراه با فقدان روند واضح برای دبی در دوره متناظر، می‌تواند بیانگر کاهش رسوبدهی معلق حوضه کرج باشد.

جدول ۳- وضعیت داده‌های رسوب و جریان در ایستگاه‌های مورد مطالعه به تفکیک دسته‌های احتمال وقوع جریان

ایستگاه	تعداد داده‌های رسوب		درصد داده‌های رسوب		درصد آمار جریان روزانه	
	کل نمونه‌ها	دبی غیرمؤثر	دسته >۹۰	دسته >۹۰	دسته >۹۰	دسته دبی مؤثر >۹۰
رودک	۹۰۶	۴۴۶	--	۲۹۹	۱۰/۸۲	۲۱/۵۵
سیرا	۱۳۶۴	۵۲۱	۱۴۳	۴۴۱	۹/۸۴	۲۹/۹۳



شکل ۲- الف) پراکنش وزن و ب) غلظت تمام نمونه‌های اندازه‌گیری شده نسبت به زمان در ایستگاه سیرا



شکل ۳- الف) پراکنش وزن و ب) غلظت نمونه‌های رسوب اندازه‌گیری شده مربوط به دبی‌های موثر نسبت به زمان در ایستگاه سیرا

جدول ۴- خلاصه روند تغییرات وزن و غلظت رسوب معلق مشاهده‌ای ایستگاه رودک

متغیر	تمام دبی‌ها		دبی‌های موثر	
	ضریب تبیین (%)	توان X	ضریب تبیین (%)	توان X
وزن	۱۱	-۴/۷	۷/۶	-۲/۹
غلظت	۸/۰	-۲/۸	۶/۷	-۲/۳

دهک بالای جریان در سه دهه اول کاهشی و در دهه آخر کمی افزایشی است. بالاتر رفتن دبی دهک بالای جریان در دهه چهارم در مقایسه با دهه سوم و کمتر شدن غلظت رسوب در دوره متناظر، می‌تواند بیانگر کاهش رسوبدهی معلق حوضه باشد.

با توجه به منحنی‌های شکل ۶، در دبی موثر بیش از ۱۹/۷۸ متر مکعب بر ثانیه (دهک احتمالاتی >۹۰)، میانگین غلظت کاهشی بالغ بر ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و میانگین وزن رسوب، روند نزولی حدود ۱۰۰۰۰ تن در روز را در چهار دهه نشان می‌دهد. در مقابل، نمودار ستونی شکل ۶، نشان می‌دهد که متوسط دبی

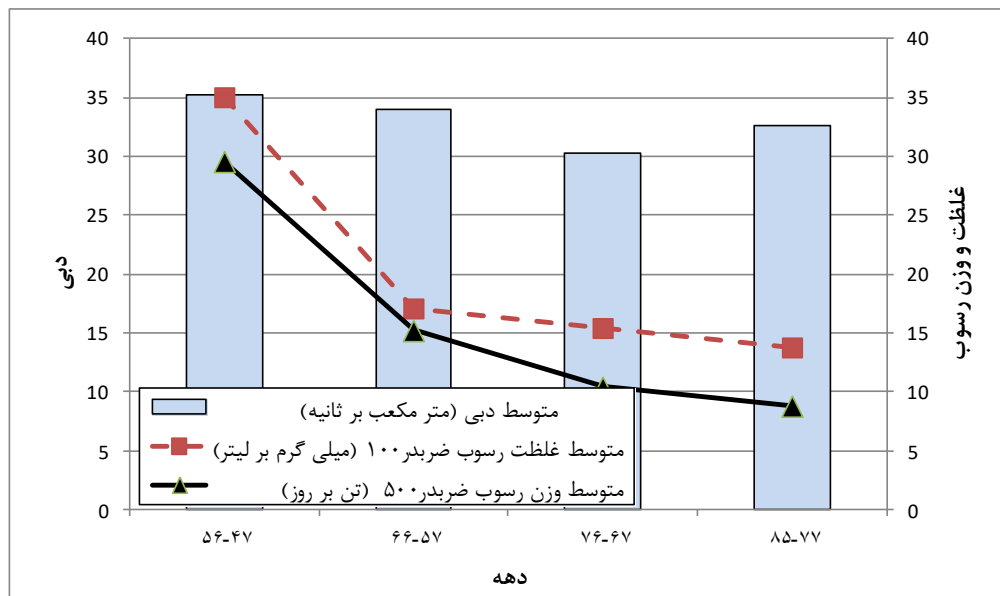


شکل ۵- روند تغییرات متوسط دبی جریان، غلظت و وزن رسوب معلق مشاهده‌ای چهار دهه مورد مطالعه در ایستگاه سیرا



برای دبی بسیار ضعیف است. روند تغییرات سه متغیر دبی، غلظت و وزن رسوب با استفاده از آزمون کروסקال والیس برای داده‌های مربوط به دهک بالای جریان نیز بررسی شد که در جدول ۶، خلاصه نتایج ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که در طول زمان روند کاهشی غلظت و وزن رسوب هر دو ایستگاه در سطح یک درصد معنی‌دار است. در مقابل، اختلاف معنی‌داری بین دبی جریان چهار دهه مشاهده نمی‌شود.

در جدول ۵، ضرایب همبستگی کندال برای غلظت رسوب، وزن رسوب و دبی با زمان برای تحلیل روند در ایستگاه‌های مورد مطالعه، منحصر در داده‌های مربوط به بالاترین دهک جریان ارائه شده است. در هر دو ایستگاه، همبستگی منفی هر سه متغیر دبی، غلظت و وزن رسوب با زمان در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است و روندی منفی را در طول زمان نشان می‌دهد. به‌رغم معنی‌دار بودن ضریب همبستگی با توجه به جدول استاندارد، ضریب همبستگی به ویژه



شکل ۶ - روند تغییرات متوسط دبی جریان، غلظت و وزن رسوب معلق مشاهده‌ای چهار دهه مورد مطالعه در ایستگاه رودک

جدول ۵ - ضریب همبستگی کندال بین متغیرهای دبی، غلظت و وزن رسوب بالاترین دهک جریان با زمان در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	دبی متناظر رسوب ( $m^3s^{-1}$ )	غلظت رسوب ( $mgL^{-1}$ )	وزن رسوب ( $tonY^{-1}$ )	تعداد
سیرا	-۰/۱۴۱**	-۰/۲۹۸**	-۰/۲۹۴**	۴۴۱
رودک	-۰/۱۴۴**	-۰/۲۳۲**	-۰/۲۳۲**	۲۹۹

\*\* معنی‌دار در سطح یک درصد

اندازه‌گیری رسوب و دبی متوسط روزانه ایستگاه‌های رودک و سیرا در جدول ۷ ملاحظه می‌شود. مطابق این جدول، حدود ۳۰۰-۴۰۰ روز در هر دهه، مقدار دبی بیشتر از حد پایین دهک بالای دبی موثر. در مقابل، روند نزولی شدیدی در تعداد رخداد‌های ثبت شده همزمان با برداشتن نمونه رسوب مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که، در هر دو ایستگاه تعداد نمونه دهه اول به تنهایی بیش از سه دهه بعدی است. با

تحلیل‌های فوق، روند کاهشی غلظت و وزن رسوب در بالاترین دهک دبی موثر هر دو ایستگاه را نشان داد. در صورتی که، روند تغییرات جریان مربوط به دهک آخر آمار جریان روزانه مشابه با روند دبی روزهای نمونه‌برداری رسوب باشد، می‌توان همین روند را به کل دوره تعمیم داد. خلاصه‌ای از اطلاعات مربوط به تعداد مشاهده و متوسط دبی جریان در دهک آخر دبی موثر چهار دهه به تفکیک دبی‌های متناظر با

پایین‌تری را دارد. ضمناً به‌طور کلی، دبی متوسط سه دهه آخر کمتر از دهه اول می‌باشد (جدول ۸). بنابراین، با توجه به نتایج مجموعه تحلیل‌ها، کاهش متوسط غلظت در چهار دهه (شکل‌های ۵ و ۶ و جداول ۵ و ۶) و کاهش نسبی و یا عدم تغییر قابل توجه متوسط دهک بالای جریان روزانه (جدول ۷)، می‌توان نتیجه گرفت که وزن رسوب (به‌عنوان برآیند دبی و غلظت) نیز روند نزولی در این چهار دهه داشته است.

توجه به کم بودن نمونه‌های سه دهه بعد، به‌طور قطع اعتبار متوسط به‌دست آمده کمتر است.

در هر دو ایستگاه، متوسط دبی لحظه‌ای متناظر با رسوب در تمام دهه‌ها، بزرگ‌تر از متوسط دبی روزانه است. بررسی داده‌های دبی لحظه‌ای و روزانه در ایستگاه سیرا نشان می‌دهد که به‌طور هماهنگ، دهه دوم رقم کمتری را به خود اختصاص می‌دهد. روند داده‌های دبی روزانه رودک نیز مشابه سیرا است. در حالی‌که در دبی‌های لحظه‌ای آن، دهه سوم رقم

جدول ۶ - مقایسه میانگین رتبه متغیرهای مورد مطالعه مربوط به داده های دهک بالا در دهه‌های مختلف

داده‌ها	بازه زمانی	تعداد مشاهدات	وزن رسوب (tony <sup>-1</sup> )	غلظت رسوب (mgL <sup>-1</sup> )	دبی
سیرا	۴۷-۵۶	۲۸۱	۲۴۶	۲۴۶	۲۲۸
	۵۷-۶۶	۸۰	۱۹۳	۱۹۸	۱۸۵
	۶۷-۷۶	۵۰	۱۴۵	۱۴۲	۲۱۹
	۷۷-۸۶	۲۶	۱۴۹	۱۳۵	۲۳۰
سطح معنی‌داری	-	-	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۶۶ <sup>n.s</sup>
رودک	۴۷-۵۶	۱۷۱	۱۷۳	۱۷۵	۱۵۸
	۵۷-۶۶	۳۸	۱۱۹	۱۱۴	۱۵۸
	۶۷-۷۶	۶۷	۱۱۷	۱۱۷	۱۲۷
	۷۷-۸۵	۲۳	۱۲۳	۱۲۱	۱۴۶
سطح معنی‌داری	-	-	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۹۸ <sup>n.s</sup>

\*\* معنی‌دار در سطح یک درصد و <sup>n.s</sup> غیرمعنی‌دار

جدول ۷ - مشخصات مشاهدات دبی جریان در دهک بالای دبی موثر چهار دهه مورد مطالعه در دو ایستگاه رودک و سیرا

ایستگاه	دهه	حد پایین دهک بالای دبی موثر (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	تعداد نمونه رسوب اندازه‌گیری شده	متوسط دبی لحظه‌ای متناظر با رسوب (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	تعداد دبی روزانه	متوسط دبی روزانه اندازه‌گیری شده (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
رودک	۴۷-۵۶		۱۷۱	۳۵/۲	۳۸۶	۳۲/۳
	۵۷-۶۶	۱۹/۷۸	۳۸	۳۴/۰	۳۲۱	۲۸/۱
	۶۷-۷۷		۶۷	۳۰/۳	۴۱۴	۲۹/۲
	۷۸-۸۸		۲۳	۳۲/۶	۳۰۲	۲۹/۳
سیرا	۴۷-۵۶		۲۸۵	۵۲/۱	۳۶۷	۴۵/۹
	۵۷-۶۶	۳۰/۴۰	۸۰	۴۴/۲	۳۲۰	۴۰/۳
	۶۷-۷۷		۴۳	۵۲/۰	۳۷۱	۴۲/۲
	۷۸-۸۸		۳۳	۵۲/۰	۳۰۸	۴۳/۲

جدول ۸ - مقایسه متوسط دبی روزانه دهک بالای جریان دهه‌های دوم تا چهارم نسبت به دهه اول در دو ایستگاه مورد مطالعه

نسبت	رودک	سیرا
دهه دوم به اول	-۱۳/۱	-۱۲/۳
دهه سوم به اول	-۹/۶	-۸/۱
دهه چهارم به اول	-۹/۳	-۵/۹

## نتیجه‌گیری

نظر نمی‌رسد. توصیه می‌شود، در صورت وجود داده‌های کافی منحنی‌های سنجه جداگانه برای دوره‌های کوتاه‌تر ۱۰ تا ۲۰ ساله ترسیم شود. در این ارتباط، نمونه‌برداری بیشتر به ویژه در روزهای سیلابی ضرورت دارد.

اگرچه، رسوب رودخانه منعکس کننده وضعیت فرسایش حوضه بالادست است، کاهش بودن رسوب معلق، الزاما به معنی کاهش بودن فرسایش در سطح دامنه‌ها نیست. چه بسا، فرسایش از سرشاخه‌ها و سطح دامنه‌ها در طول زمان افزایش یافته، ولی به دلیل اقدامات حفاظت آب و خاک از جمله احداث بندهای متعدد تنظیمی، نسبت حمل رسوب کاهش یافته است.

یکی از محدودیت‌های مهم این پژوهش، یکنواخت نبودن توزیع داده‌ها در طول دوره آماری است. در هر دو ایستگاه، تمرکز زیاد داده‌های رسوب در دهه اول پس از شروع اندازه‌گیری مشاهده می‌شود و به تدریج تعداد نمونه‌ها کاهش یافته است. کم بودن تعداد نمونه‌ها در برخی از بازه‌های زمانی، اعتبار نتایج را تقلیل می‌دهد. پیشنهاد می‌شود، در صورت تهیه داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، این پژوهش در ایستگاه‌هایی از سایر مناطق ایران و حتی در سطح جهان انجام گیرد.

## تشکر و قدردانی

از آقای مهندس محمد بخشی که در مراحل تجزیه و تحلیل آمار رسوب و جریان همکاری داشته‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

هدف این پژوهش، آزمون یک باور کارشناسی در ایران مبنی بر افزایش مقدار رسوب در طول دهه‌های اخیر بود که با بررسی آمار ۴۰ ساله رسوب معلق ایستگاه‌های رودک و سیرا انجام گرفت. در این راستا، علاوه بر روش‌های معمول هیدرولوژی از دو آزمون ناپارامتری نیز استفاده شد. به‌عنوان نتیجه کلی از مجموعه تحلیل‌های هیدرولوژی و آماری در این پژوهش، روندی کاملا عکس (یعنی کاهش) در مقدار رسوب معلق دو حوضه مورد بررسی مشاهده شد. بنابراین، عقیده افزایشی بودن رسوب معلق حداقل در این دو حوضه صحیح به نظر نمی‌رسد. روند نزولی رسوب معلق در این دو ایستگاه می‌تواند مربوط به اجرای عملیات آبخیزداری گسترده در سطح حوزه آبخیز بالادست آن‌ها (۴۳ پروژه در حوضه سد امیرکبیر و ۲۵ پروژه حوضه سد لتیان با میانگین اعتبار بالغ بر ۳۵۰ میلیون به ازاء هر پروژه) به‌وسیله اداره‌های کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان‌های البرز و تهران باشد. اصولا کمتر شدن غلظت متوسط مواد معلق در مسائل و برنامه‌های مدیریت آب آبیاری و شهری و همچنین مدیریت مخازن سدها مثبت ارزیابی می‌شود. مثلا لازم است در موضوع طراحی کانال‌های آبیاری از نظر انتقال رسوب و یا مدیریت دریاچه‌های سد در زمان سیلابی برای خارج‌سازی جریان غلیظ متناسب با کمتر شدن غلظت جریان، در نگرش گذشته تجدید نظر شود. به‌دلیل کاهش قابل توجه غلظت رسوب در طول دوره ۴۰ ساله، برازش منحنی سنجه واحد به داده‌های کل دوره صحیح به

## منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 2000. Principle of applied hydrology. Emam Reza University Publication, 547 pages (in Persian).
2. Arabkhedri, M., S. Hakimkhani and D. Nikkami. 2003. Comparison of some statistical methods in estimation of suspended load in a watershed with snowy-rainy hydrological regime. Final Report of Research Plan, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 63 pages (in Persian).
3. Bihanta, M. and M. Zareh Chahooki. 2010. Principal of statistics in natural resources. University of Tehran Publication, 300 pages (in Persian).
4. Bobrovitskaya, N.N. 1996. Long-term variations in mean erosion and sediment yield from the rivers of the former Soviet Union. In: Walling, D.E. and B.W. Webb (Eds.), Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives. (Proc. Exeter Symposium, July, 1996), IAHS Publication No. 236. IAHS Press, Wallingford, UK, 417-423.
5. Feiznia, S., F. Majdabadi Farahani, M. Mohseni Saravi and M. Arabkhedri. 2002. Evaluation of proper length of record for estimation of mean annual sediment yield and its relation with area,

- variation of annual sediment yield, climate, geology and vegetation cover. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources*, 9(3): 3-16 (in Persian).
6. Garbrecht, J.D. and P.J. Starks. 2009. Watershed sediment yield reduction through soil conservation in a west-central Oklahoma Watershed. *Ecohydrology*, 2(3): 313-320.
  7. Heimann, D.C., L.A. Sprague and D.W. Blevins. 2011. Trends in suspended-sediment loads and concentrations in the Mississippi River Basin, 1950–2009. *Scientific Investigations Report*, 2011–5200.
  8. Jansson, M.B. 1996. Estimating a sediment rating curves of the Reventazon River at Palomo using logged mean loads within discharge classes. *Journal of Hydrology*, 183(4): 227-241.
  9. Markus, M. and M. Demissie. 2006. Predictability of annual sediment loads based on flood events. *Journal of Hydrologic Engineering*, 11(4): 354–361.
  10. McBean, E. and H. Motiee. 2006. Assessment of impacts of climate change on water resources—a case study of the Great Lakes of North America. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3: 3183–3209.
  11. Mou, J. 1996. Recent studies of the role of soil conservation in reducing erosion and sediment yield in the loess plateau area of the Yellow River basin. In: Walling, D.E. and B.W. Webb (Eds.), *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*. (Proc. Exeter Symposium, July, 1996), IAHS Publication No. 236. IAHS Press, Wallingford, UK, 541-548.
  12. Nasri, M., S. Feiznia, M. Jafari, H. Ahmadi and S. Soltani. 2011. Statistical assessment of sediment change and the effective factors, case study: Menderjan station. *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 64(1): 95-106 (in Persian).
  13. Pakparvar, M. 2001. Turbidity and runoff coefficient trend in some of west basin of Iran. *Proceedings of Conference on Identifying of Watershed Management Problems in Karoon and Zayandehrood Basins and Suggestion Appropriate Solutions*. Shahrkord, Iran, 92-103 (in Persian).
  14. Refahi, H.G. 2005. *Water erosion and its control*. Tehran University Publication, 552 pages (in Persian).
  15. Shields, F.D. 2008. Effects of a regional channel stabilization project on suspended sediment yield. *Journal of Soil and Water Conservation*, 63(2): 59-69.
  16. Vanmaercke, M., J. Poesen, M. Radoane, G. Govers, F. Ocakoglu and M. Arabkhedri. 2012. How long should we measure? An exploration of factors controlling the inter-annual variation of catchment sediment yield. *Journal of Soils and Sediments*, 12: 603-619.
  17. Vanoni, V.A. 2006. *Sedimentation engineering*. American Society of Civil Engineers, 418 pages.
  18. Walling, D.E. and D. Fang. 2003. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Global and Planetary Change*, 39: 111-126.
  19. Walling, D.E. 2006. Human impact on land–ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 79: 192–216.
  20. Walling, D.E. and B.W. Webb. 1987. *Material transport by the world's rivers: evolving perspectives*. International Association of Hydrological Sciences Publication, 164: 313-329.
  21. Xu, Z., Z. Liu, G. Fu and Y. Chen. 2010. Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years. *Journal of Arid Environments*, 74: 256–267.
  22. Zinati Shoja, T. and A. Salajegheh. 2007. Determination of effective discharge for suspended sediment transport in watersheds, case study: Voshmgir Dam Watershed. *4th Conference on Watershed Science and Engineering*, 8 pages (in Persian).