

## طول دوره آماری مناسب برای برآورد میانگین سالانه رسوب و رابطه آن با مساحت، تغییرات رسوبدهی سالانه، خصوصیات اقلیمی، زمین شناسی و پوشش گیاهی حوزه آبخیز

سادات فیض نیا<sup>۱</sup>، فرهاد مجدآبادی فراهانی<sup>۱</sup>، محسن محسنی ساروی<sup>۱</sup> و محمود عرب خدری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج؛ <sup>۲</sup> مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران

تاریخ دریافت: ۸۰/۷/۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۰/۱۱/۲۰

### چکیده

در این تحقیق سعی شده دامنه مناسبی از شرایط نمونه برداری رسوب معلق با توجه به روند فعلی نمونه برداری در ایران برای برآورد میانگین سالانه رسوب تعریف شود. روش کار شامل ترسیم معادلات سنجه یک تا n ساله (n سالهای آماری موجود) با استفاده از داده های رسوب معلق نمونه برداری شده آن سال و سالهای قبل، برآورد میانگین رسوب سالانه برای هر یک از این معادلات با استفاده از داده های دبی متوسط روزانه سالهای متناظر هر معادله (با فرض قطع نمونه برداری از آن سال به بعد) و در نهایت مقایسه میانگین های بدست آمده با میانگین سال آخر که معتبرترین میانگین قابل محاسبه است، می باشد. سرانجام سالی که از آن به بعد میانگین ها کمتر از ۱۰ درصد نسبت به میانگین سال آخر تفاوت داشتند، به عنوان سال مناسب برای برآورد میانگین معرفی شد. سپس رابطه طول دوره آماری با مساحت، تغییرات رسوبدهی سالانه، خصوصیات اقلیمی، زمین شناسی و پوشش گیاهی حوزه آبخیز با برقراری رابطه رگرسیونی مستقیم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که طول دوره آماری بین ۹ تا ۲۵ سال برای حوزه های مختلف بدست می آید اما برای برخی حوزه های آبخیز کشور نمی توان طول دوره آماری مشخصی تعریف کرد. بررسی رابطه طول دوره آماری مناسب و عوامل مورد مطالعه نشان داده که رابطه معنی داری بین آنها وجود ندارد. اما با جدا کردن حوزه های یک منطقه، می توان روند مشخصی را بین تمامی حوزه ها مشاهده کرد که این روند نشان می دهد طول دوره با افزایش درصد تغییرات رسوبدهی سالانه، مساحت، درصد سازندهای حساس، درصد سازندهای حساس و نسبتا حساس و حساسیت حوزه به فرسایش تمایل به افزایش و با افزایش بارندگی سالیانه و شاخص اقلیمی دوارتن تمایل به کاهش دارد.

واژه های کلیدی: رسوب معلق، رسوبدهی، طول دوره آماری، حوزه آبخیز، ایران.



## مقدمه

هر ساله بالغ بر ۲۰ تا ۵۲ میلیارد تن رسوب توسط رودخانه‌های جهان حمل می‌شود (منابع مختلف) که بخش عمده‌ای از آن خاکهای حاصلخیز حوزه‌های آبخیز است. برای کنترل و کاهش خسارات حاصل از این رسوبات اطلاع از وضعیت رسوبدهی رودخانه لازم است. از عوامل مهم در ارزیابی وضعیت رسوبدهی رودخانه میانگین سالانه رسوب است که عبارت از میزان رسوبی است که بطور متوسط، سالانه از یک حوزه آبخیز خارج می‌شود. از این عامل در تعیین طول عمر مفید سدها استفاده می‌شود و برآوردهای ناصحیح از میانگین رسوب سالانه تاکنون صدمات اقتصادی و اجتماعی زیادی به نقاط مختلف جهان و کشور ما وارد کرده است. برآورد صحیح میانگین رسوب سالانه یک رودخانه از یک طرف وابسته به توانایی روشهای برآورد رسوب سالانه رودخانه است و از طرف دیگر نیاز به اطلاع و آگاهی از تغییرات رسوبدهی و رژیم رسوبدهی رودخانه دارد که تحقیق حاضر به بخش دوم این مسئله می‌پردازد. هدف اصلی این تحقیق تعریف دامنه مناسبی از شرایط نمونه‌برداری با توجه به روند فعلی نمونه‌برداری رسوب معلق در ایران و ارائه یک پایه داده معرف برای بررسی رژیم رسوبدهی رودخانه است.

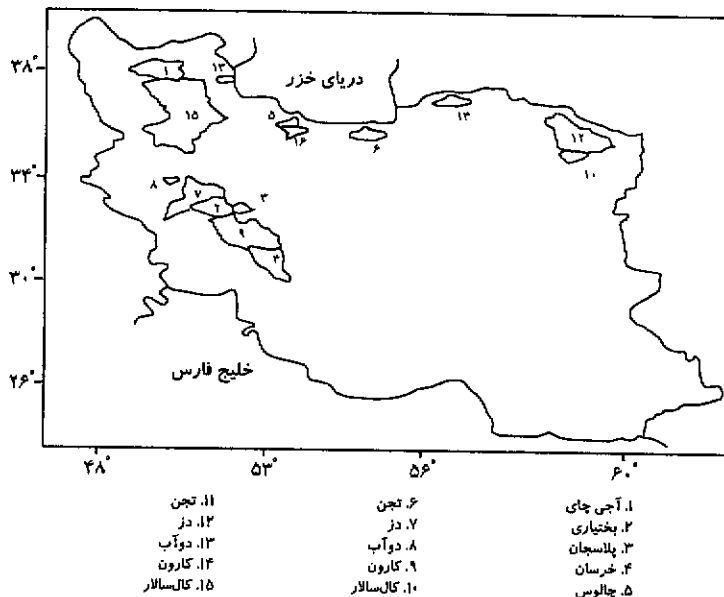
در مورد طول دوره آماری مناسب جهت برآورد میانگین سالانه رسوب تاکنون تحقیقاتی زیادی صورت نگرفته و اکثراً به اظهار نظرهای کارشناسی خلاصه می‌شود. والینگ و گرگوری (۱۹۷۳) پس از بررسی منابعی که طول دوره آماری مناسب را برای بارندگی و جریان بدست آورده‌اند با ارائه نتایج آنها عنوان می‌دارند که مشکل ارزیابی میانگین بار رسوب مهم‌تر و مشکل‌تر از حالت بارندگی و رواناب است چرا که بارندگی‌ها و سیل‌های با دوره بازگشت بزرگ

عامل انتقال نسبت بار رسوب بیشتری می‌شوند. در تحقیقاتی که آنها اشاره کرده‌اند از مرز ۱۰ درصد برای بررسی ثبات استفاده شده است. مورگان (۱۹۸۶) معتقد است اطلاعاتی که طی ۲۰ سال در زمینه بار رسوبی رودخانه‌ها در دنیا جمع‌آوری شده علی‌رغم کمبودها از نظر شناخت الگوی فرسایش آبی در دنیا بخوبی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. دی (۱۹۸۸) برای برخی رودخانه‌های کانادا طول دوره آماری مناسب را حدود ۱۴ سال معرفی می‌کند و اظهار می‌دارد از آن به بعد نمونه‌برداری از رسوب معلق با روشهای قبلی صرفه اقتصادی ندارد.

## مواد و روشها

ابتدا برای انتخاب ایستگاه‌های مناسب تحقیق، معیارهایی چون آمار رسوب کافی (حداقل بیست سال نمونه‌برداری پیوسته غلظت رسوب معلق)، آمار جریان کافی (آماردبی متوسط روزانه پیوسته در سالهای متناظر با آمار رسوب معلق)، موقعیت مناسب نسبت به مرز جغرافیایی کشور (خارج نبودن حوزه یا بخشی از آن از کشور)، دقت آماری مناسب (انجام نمونه‌برداری غلظت در دبی‌های حداکثر رخ داده)، قرارنگرفتن ایستگاه بعد از سد (حذف اثر سد بر رژیم رسوبدهی رودخانه) و خصوصیات اقلیمی، زمین شناسی و پوشش گیاهی متفاوت برای انتخاب ایستگاه‌ها در نظر گرفته شده است (۱). در نهایت پس از گذراندن ۷۱۵ ایستگاه رسوب‌سنجی کشور (ایستگاه‌های تحت اندازه‌گیری تمام) از فیلتر معیارهای فوق ۱۵ ایستگاه آجی‌چای - وینار، پلاسجان - اسکندری، خراسان - بارز، چالوس - پل زغال، تجن - سلیمان تنگه، دز - دزفول، دوآب - الشتر، کارون - پل شالو، کال‌سالار - جعفرمشهدی، کرج - سیرا، کشف رود - آق دریند، سفارود - پونل، گرگانرود - گنبد و قزل اوزن - گیلوان دارای





شکل ۱- موقعیت ایستگاههای و حوزه‌های آبخیز تحت مطالعه (نقشه فاقد مقیاس است).

دارای شرایط لازم بودند که موقعیت آنها در شکل ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است ایستگاه دزفول بعد از سد دز قرار دارد و انتخاب آن نیز بصورت استثناء و بدلیل مقایسه وضعیت آن با دیگر ایستگاه‌ها صورت گرفته است.

در مرحله بعد، از بین روشهای برآورد رسوب معادله توانی یا خطی به عنوان روش برآورد رسوب سالانه انتخاب گردید. دلیل این انتخاب کمبود تعداد نمونه‌های رسوب معلق در سالهای اول برای رسم منحنی سنجه رسوب در روشهای FAO<sup>۱</sup> تعدیل شده، USBR<sup>۲</sup>، حد وسط دسته‌ها و منحنی‌های چند خطی و وابستگی دقت روش برازش منحنی چشمی به تبحر کارشناس و عدم دقت روشهای غیرتوانی (غیرخطی) بوده است (۵). سپس آمار رسوب و جریان این ایستگاه‌ها تهیه و مورد بازبینی قرار گرفت. از داده‌های نمونه‌برداری

رسوب داده‌هایی که دارای یک یا دو غلظت سنجه در مقطع رودخانه بودند، حذف شدند چون چنین داده‌هایی نمی‌توانند معیار مناسبی از غلظت متوسط رودخانه باشند. پس از مرتب‌کردن داده‌های نمونه‌برداری شده غلظت بر اساس تاریخ اندازه‌گیری، معادلات سنجه رسوب یک تا n ساله (n تعداد سالهای آماری موجود) با کاربرد داده‌های نمونه‌برداری شده همان سال و سالهای ماقبل و با فرض اینکه از این سال به بعد نمونه‌برداری قطع شده باشد، رسم شدند که در نهایت برای هر ایستگاه به تعداد سالهای آماری موجود، معادله سنجه رسوب رسم شده وجود داشت. سپس با استفاده از این معادلات و دبی متوسط روزانه سالهای متناظر این معادلات رسوبدهی سالانه سالهای آماری هر ایستگاه محاسبه شد و در مرحله بعد از رسوبدهی سالانه سالهای هر معادله میانگین‌گیری و در نهایت میانگین یک تا n ساله هر ایستگاه محاسبه شد (میانگین یک ساله عبارت از رسوبدهی سالانه‌ای

۱ - FAO: سازمان غذا و کشاورزی جهانی

۲ - USBR: اداره احیای اراضی ایالات متحده آمریکا



است که با استفاده از داده‌های نمونه برداری شده سال اول بدست آمده است و با این فرض که شاید نشان دهنده میانگین رسوب سالانه حوزه باشد به عنوان میانگین نامیده شده است (۷). برای بررسی به ثبات رسیدن میانگین سالانه رسوب نیاز به اطلاع از میانگین واقعی حوزه است تا بتوان اظهار کرد که میانگین‌ها به میانگین واقعی حوزه نزدیک شده یا به آن رسیده‌اند. لیکن با توجه به اینکه میانگین سالانه واقعی حوزه در دست نیست، عامل دیگری باید مورد مقایسه قرار می‌گرفت. در این تحقیق میانگین سال آخر به عنوان معیار ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت چون معتبرترین میانگین قابل محاسبه است. برای بررسی ثبات میانگین‌های یک تا n ساله از معادله زیر استفاده شد که به عنوان درصد انحراف از میانگین سال آخر نامیده شده است:

[۱]

$$dv = [(Q_i - Q_n) / Q_n] \times 100$$

که در آن dv درصد انحراف از میانگین سال آخر،  $Q_n$  میانگین رسوب سالانه سال آخر و  $Q_i$  میانگین رسوب سالانه تا سال i ام است. این معادله نشان می‌دهد که میانگین‌های یک تا n ساله چند درصد با میانگین سال آخر تفاوت دارند. برای تعریف طول دوره آماری نیاز به تعریف درصدی از انحراف میانگین بود تا طول دوره آماری براساس آن تعیین شود. در این تحقیق طول دوره آماری مناسب سالی معرفی شد که از آن سال به بعد درصد انحراف از میانگین سال آخر به زیر ۱۰ درصد برسد (۱۱۸).

در بخش دوم برای بررسی رابطه طول دوره آماری با عوامل مورد مطالعه، ابتدا عوامل مورد مطالعه در ۱۲ حوزه آبخیز (حوزه‌هایی که طول دوره آماری با توجه به نتایج بخش اول برای آنها بدست آمد) محاسبه شد. عوامل مورد مطالعه عبارت از مساحت، درصد تغییرات رسوبدهی

سالانه، بارندگی متوسط سالیانه حوزه، شاخص اقلیمی دومارتن، درصد سازندهای حساس به فرسایش در سطح حوزه، درصد سازندهای حساس و نسبتاً حساس در سطح حوزه، ضریب حساسیت به فرسایش حوزه و شاخص پوشش گیاهی حوزه بودند. مساحت حوزه‌ها با توجه به نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی بدست آمد. درصد تغییرات رسوبدهی سالانه بصورت معادله زیر تعریف شد:

[۲]

$$V = (Q_{max} - Q_{min}) / Q_{mean}$$

که در آن V درصد تغییرات رسوبدهی سالانه،  $Q_{max}$  رسوبدهی سالانه حداکثر،  $Q_{min}$  رسوبدهی سالانه حداقل در طی سالهای مورد مطالعه و  $Q_{mean}$  میانگین رسوبدهی سالانه ایستگاه در سال آخر است. بارندگی متوسط سالانه با استفاده از منحنی‌های همباران و شاخص اقلیمی دومارتن با استفاده از معادله دومارتن در حوزه‌های آبخیز تحت مطالعه بدست آمد:

$$I = P / T + 10 \quad [۳]$$

که در آن I شاخص اقلیمی دومارتن (که عددی بین صفر تا بیش از ۳۵ است)، P بارندگی متوسط سالیانه حوزه به میلی‌متر و T دمای متوسط سالیانه به درجه سانتی‌گراد است. برای بدست آوردن درصد سازندهای حساس و نسبتاً حساس و ضریب حساسیت به فرسایش حوزه از بررسی مقاومت سنگها در اقالیم مختلف استفاده شد (۶). در این روش، سازندها بر اساس نوع اقلیم و میزان مقاومت به فرسایش ضرایب مختلفی می‌گیرند که نشان دهنده حساسیت آنها به فرسایش است. جدول ۱ این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد. براساس این تقسیم‌بندی درصد سازندهای حساس (درصد مساحت سازندهای ماقبل کواترنر با ضریب مقاومت کمتر از ۴ و



سازندهای کواترنر با ضریب مقاومت کمتر از ۳) و درصد سازندهای حساس و نسبتاً حساس ( درصد مساحتی که سازندهای ماقبل کواترنر با ضریب مقاومت ۶ و کمتر از ۶ و سازندهای کواترنر با ضریب مقاومت ۳ و کمتر از ۳ به خود اختصاص می‌دهند) بدست آمد. ضریب حساسیت به فرسایش حوزه نیز از روش وزنی و با استفاده از معادله زیر بدست آمد:

$$E + \sum (Ai \times Si) \quad [4]$$

که در آن E ضریب حساسیت به فرسایش حوزه، Ai درصد مساحت هر سازند، Si ضریب مقاومت سازند i است. معادله فوق نشان می‌دهد که هر چه E کوچکتر باشد حوزه به فرسایش حساس‌تر است. برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی حوزه آبخیز، درصد پوششهای مختلف ( کاربردی‌های اراضی مختلف ) در سطح حوزه براساس نقشه‌های مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان برنامه‌ریزی پژوهشهای کشاورزی که بین سالهای ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۶ رسم شده بود، بدست آمد. برای هر پوشش با توجه به تأثیری که در فرسایش دارد نمره‌ای بین ۰ تا ۱۰ اختصاص داده شد که ۱۰ برای پوششها و کاربریهای که هیچ نوع فرسایشی نداشتند و کاملاً فرسایش را کنترل می‌کردند و صفر برای پوششها و کاربریهای که تأثیر ناچیزی بر فرسایش داشته‌اند، به کار برده شد. در نهایت شاخص پوشش گیاهی که در این تحقیق استفاده شد، از معادله زیر بدست آمده است:

$$C.P = \sum (Ai \times Ni) \quad [5]$$

که C.P شاخص پوشش گیاهی حوزه، A درصد مساحت کاربری i و N نمره اختصاص داده شده این کاربری است. جدول ۲ عوامل بررسی شده را در حوزه‌های آبخیز تحت مطالعه نشان می‌دهد. در نهایت پس از بدست آوردن این عوامل، رابطه آنها با طول دوره آماری بدست آمده برای هر ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت.

## نتایج و بحث

برآورد میانگین‌های یک تا ۱۱ ساله که در جدول ۳ آورده شده، نشان می‌دهد که در بعضی ایستگاه‌ها تفاوت زیادی بین میانگین‌هایی که در سالهای مختلف برآورد شده، وجود دارد. جدول ۴ درصد انحراف از میانگین سال آخر را برای سال‌های مختلف در ایستگاه‌های تحت مطالعه نشان می‌دهد و علامت \* سالی را نشان می‌دهد که میانگین‌های سالانه از آن به بعد کمتر از ۱۰ درصد با میانگین سال آخر تفاوت دارند. در ایستگاه ونبار اگرچه رسوبدهی ۸ میلیون تنی سال آبی ۴۸-۱۳۴۷ میانگین را تا حد ۳/۶ میلیون تن افزایش داده، لیکن رسوبدهی‌های بالای ۳ میلیون تنی سال آبی ۶۷-۱۳۶۶ و ۶۴-۱۳۶۳ تغییر محسوسی در میانگین نمی‌دهد و نشان می‌دهد که میانگین به ثبات رسیده‌است و بنابراین طول دوره آماری ۲۵ سال تعریف شده است. در ایستگاه تنگ پنج که طول دوره آماری مشخصی تعریف نشده است، بررسی وضعیت رسوبدهی نشان می‌دهد رسوبدهی سالانه تا سال آخر تغییرات زیادی ندارد و لذا میانگین در حدود ۴ میلیون تن ثابت است. در سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ وقوع یک رسوبدهی استثنایی ۳۲ میلیون تنی باعث شده تا میانگین به ۶ میلیون تن افزایش یافته و با اضافه شدن داده‌های بالای منحنی سنج رسوب در این سال در حقیقت داده‌های رسوب رودخانه کامل‌تر شده اند. طول دوره آماری در این ایستگاه قابل تعریف نبود، لیکن به نظر می‌رسد اگر رسوبدهی استثنایی در سالهای اول رخ می‌داد یا در این سالها نمونه‌برداری از دبی‌های بالا صورت می‌گرفت، طول دوره آماری قابل تعریف بود. در ایستگاه اسکندری طول دوره آماری ۱۶ سال بدست آمده است. در ایستگاه بارز در سال اول نمونه‌برداری (سال آبی ۴۸-۱۳۴۷) رسوبدهی بالایی رخ داده که داده‌های بالای منحنی سنج رسوب را شامل



جدول ۱- رده بندی سازندهای حوزه آبخیز براساس حساسیت به فرسایش (فیض نیا ۱۳۷۴).

سن	رده	تعریف رده	ضریب مقاومت
مقابل کواترنر	A	حساس به فرسایش	۴ و کمتر از ۴
	B	نسبتا حساس به فرسایش	۵ تا ۶
	C	حساسیت متوسط به فرسایش	۷ تا ۹
	D	نسبتا حساس به فرسایش	۱۰ تا ۱۲
کواترنر	E	مقاوم به فرسایش	۱۳ به بالا
	I	نسبتا حساس به فرسایش	۳
	II	نسبتا مقاوم به فرسایش	۶

جدول ۲- عوامل مورد مطالعه در حوزه های آبخیز (که طول دوره آماری برای آنها تعریف شده است).

نام حوزه	مساحت حوزه آبخیز (کیلومتر مربع)	درصد تغییرات رسوبدهی سالانه (%)	بارندگی متوسط سالیانه (میلی متر)	شاخص اقلیمی دومازن	ضریب حساسیت حوزه به فرسایش (مجدآبادی ۱۳۸۰)	حساس به فرسایش (%)	درصد سازندهای حساس و نسبتا حساس (%)	درصد سازندهای حساس و نسبتا حساس (%)	شاخص پوشش گیاهی (مجدآبادی ۱۳۸۰)
آجی چای	۸۱۰۰	۴۳۹	۴۲۹	۲۵	۷/۲۱	۱/۴	۵۰/۸	۵/۳۳	
پلاسجان	۱۶۶۴	۲۳۴	۵۱۷	۲۸	۵/۰۳	۱/۲	۷۰/۵	۲/۳۰	
خرسان	۸۲۵۵	۳۵۴	۶۳۲	۳۱	۵/۷۸	۳/۳	۴۹/۲	۵/۲۳	
چالوس	۱۵۵۵	۴۱۹	۷۸۱	۴۴	۷/۱۳	۳/۴	۳۴/۱	۷/۵۰	
تجن	۹۶۰	۳۵۰	۶۳۴	۴۰	۶/۴۶	۰/۰۱	۶۳/۷	۷/۸۶	
دوآب	۶۷۶	۱۵۳	۳۴۷	۴۸	۶/۶۹	۰/۰۱	۳۵/۶	۴/۵۴	
کارون	۲۳۴۰۰	۳۷۲	۶۳۶	۳۰	۵/۶۴	۲/۸	۵۰/۲	۴/۴۳	
کال سالار	۲۰۷۰	۵۶۵	۴۴۶	۵۱	۶/۷۱	۰/۰۱	۲۷/۴	۳/۸۹	
کرج	۷۲۵	۵۴۴	۱۷۱	۴۳	۹/۳۳	۱/۱	۱۸/۰	۵/۷۸	
کشف رود	۱۴۸۰۰	۱۰۰۴	۲۸۶	۱۳	۵/۲۶	۱	۷۳/۸	۴/۵۶	
شمارود	۳۵۰	۲۱۰	۱۱۰۵	۵۸	۹/۸۷	۰/۰۱	۴/۰	۸/۲۶	
گرگانرود	۵۳۱۰	۳۱۲	۵۵۵	۲۳	۴/۳۳	۱/۴	۸۱/۱	۷/۱۹	





می شده است و لذا میانگینی که با استفاده از داده‌های این سالها بدست آمده بسیار بالا بوده (۳۲ میلیون تن) و با میانگین سالهای دیگر تفاوت زیادی دارد. در سالهای بعد با وقوع رسوبدهی کم و اضافه شدن داده‌های پائین منحنی سنجه رسوب میانگین کاهش یافته و از سال سوم به بعد روند ثابتی پیدا کرده و از سال آبی ۶۳-۱۳۶۲ به بعد انحراف آن نسبت به میانگین سال آخر کمتر از ۱۰ درصد می شود و لذا طول دوره آماری مناسب در این ایستگاه طی ۱۵ سال بدست می آید. در ایستگاه پل زغال میانگین رسوب سالانه پس از پنج سال ابتدائی بطور تقریبی ثابت می شود. در این ایستگاه رسوبدهی بالای سال آبی (۷۲-۱۳۷۱) تأثیری محسوس بر میانگین سالانه نگذاشته است و از سال آبی ۶۷-۱۳۶۶ درصد انحراف از میانگین سال آخر به زیر ۱۰ درصد می رسد و با توجه به ثبات میانگین در این سالها طول دوره آماری مناسب در این ایستگاه طی ۲۰ سال بدست می آید. در ایستگاه سلیمان تنگه مانند ایستگاه‌های قبل، وقوع رسوبدهی سالانه بالا و رسوبدهی‌های سالانه پائین در سالهای اول باعث شده تا معادله سنجه رسوب شامل داده‌های کامل باشد و بنابراین رسوبدهی سالانه سال‌های آخر تأثیر محسوسی بر میانگین نگذارد. درصد انحراف از میانگین در این ایستگاه بتدریج کاهش می یابد و از سال آبی ۶۸-۱۳۶۷ به زیر ۱۰ درصد می رسد و لذا برای این ایستگاه ۲۱ سال به عنوان طول دوره آماری معرفی می شود. در ایستگاه دزفول که تنها ایستگاه انتخاب شده پس از سد بوده است، تغییرات رسوبدهی سالانه بسیار کم و بین ۰/۳ تا ۰/۹ میلیون تن در سال بوده است. مقایسه این ایستگاه با ایستگاه تنگ پنج که از زیر حوزه‌های دز است نشان می دهد که رژیم رسوبدهی آن کاملاً متفاوت با زیر حوزه اصلی است. بطور مثال رسوبدهی استثنایی زیر حوزه تنگ پنج در سال آبی

۷۲-۱۳۷۱ در این حوزه مشاهده نمی شود. با توجه به این مسئله تنها در سال اول نمونه برداری (سال آبی ۵۱-۱۳۵۰) که رسوبدهی بالایی رخ داده و نمونه‌های برداشت شده از منطقه بالای منحنی سنجه بوده اند میانگین متفاوت با سالهای دیگر بدست آمده است (که شاید ناشی از فرسایش کناری پس از محل سد باشد). در سالهای بعد رژیم رسوبدهی رودخانه متعادل و میانگین‌ها با میانگین سال آخر کمتر از ۲۰ درصد تفاوت دارند. لیکن با توجه به تعریف صورت گرفته در این تحقیق ۹ سال طول دوره آماری برای این ایستگاه معرفی می شود (البته نتایج این ایستگاه با توجه به شرایط متفاوت با دیگر ایستگاه‌ها و قرار داشتن بعد از سد در بخش دوم استفاده نشده است). در ایستگاه الشتر بالاترین میزان رسوبدهی سالانه در دوره تحت مطالعه در سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ رخ داده که نشان می دهد تحت تأثیر بارانهای شدید این سال در این منطقه بوده است (همه ایستگاه‌های این منطقه در این سال رسوبدهی بالایی داشته اند). میانگین سالانه که در سالهای ابتدایی تغییرات زیادی با رسوبدهی بالا و پائین می کند از سالهای آبی ۶۳-۱۳۶۲ بطور تقریبی ثابت می شود و از رسوبدهی سالانه سالهای آبی کمتر تأثیر می پذیرد. از این سال به بعد درصد انحراف از میانگین سال آخر به کمتر از ۱۰ درصد می رسد و لذا طول دوره آماری مناسب ۱۳ سال بدست می آید. در ایستگاه پل شالو میانگین رسوب سالانه در سالهای ابتدایی کم و سپس در سالهای بعد تحت تأثیر رسوبدهی بالای بعضی سالها زیاد بر آورده شده است. در سالهای پایانی تأثیر رسوبدهی سالانه (وبالخصوص رسوبدهی بالای سال آبی ۷۲-۱۳۷۱) بر میانگین نامحسوس بوده و میانگین را نسبت به میانگین سال آخر کمتر از ۱۰ درصد منحرف کرده است. در این ایستگاه از سال آبی ۶۷-۱۳۶۶ درصد انحراف به کمتر از ۱۰ درصد رسید و لذا







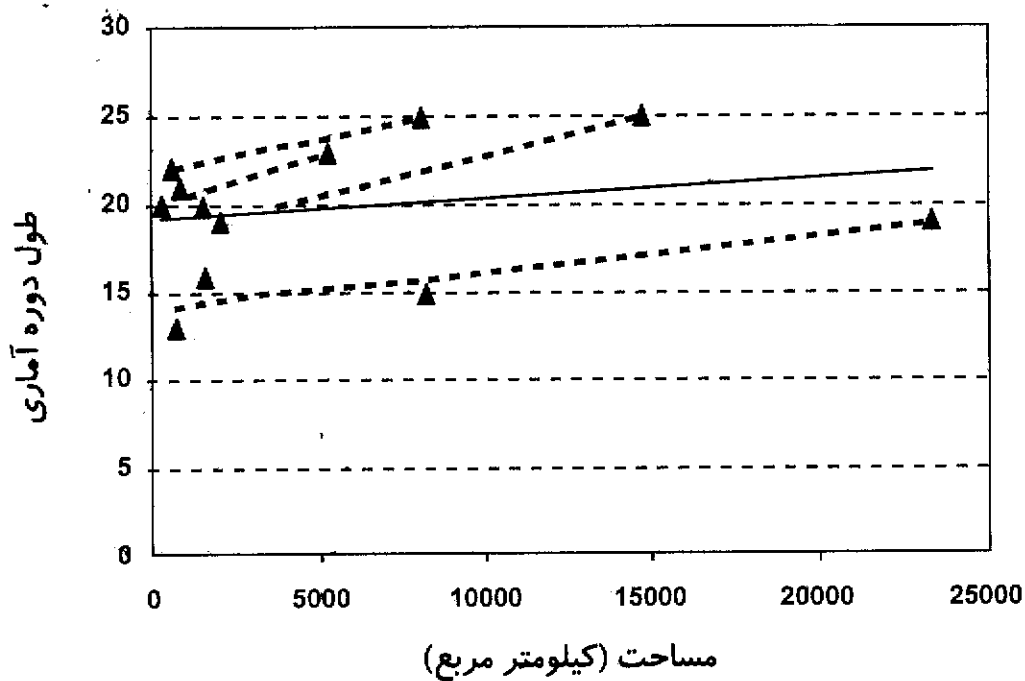
طول دوره آماری ۱۹ سال تعریف شده است. در ایستگاه جعفر مشهدی که در مناطق خشک قرار دارد، رسوبدهی وابستگی زیادی به بارندگی دارد (با توجه به برآوردهای رسوبدهی سالانه) و لذا باید در برآورد میانگین رسوب سالانه آن دقت شود. میانگین سالانه در این ایستگاه در سالهای ابتدایی تحت تأثیر رسوبدهی بالای سال آبی ۵۵-۱۳۵۴ زیاد بوده و سپس با اضافه شدن داده‌های رسوب سالهای بعد کاهش می‌یابد و حدود ۰/۵ میلیون تن می‌شود و رسوبدهی سالانه سال آبی ۶۱-۱۳۶۰ هم تأثیر بسیار کمی (کمتر از ۰/۱ میلیون تن) بر میانگین می‌گذارد. پس از این سال چندین سال متوالی رسوبدهی کم رخ می‌دهد که با اضافه شدن داده‌های رسوب این سالها منحنی سنج رسوب میانگین را کمتر بر آورد می‌کند و رسوبدهی بالای سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ تأثیر چندانی (بیش از ۱۰ درصد) بر میانگین نمی‌گذارد، بنابراین از این سال (۷۲-۱۳۷۱) درصد انحراف به کمتر از ۱۰ درصد رسیده است و لذا در این ایستگاه طول دوره آماری ۱۹ سال بدست آمده است. ایستگاه تحت مطالعه سیرا میزان رسوبدهی آن در سال اول حدود ۱/۵ میلیون تن بر آورد شده است. رسوبدهی بالای این ایستگاه (با توجه به مساحت ایستگاه یعنی رسوبدهی ویژه) شاید ناشی از بارندگی زیاد این حوزه و پوشش فقیر سطح آن و یا ناشی از شیب‌های تند این حوزه باشد. میانگین رسوب سالانه (متأثر از داده‌های برداشت شده در سال اول تحت مطالعه) در سالهای ابتدایی زیاد و بتدریج اثر آن با اضافه شدن داده‌های سالهای بعد کاهش می‌یابد و از سال ۶۴-۱۳۶۳ بطور تقریبی ثابت می‌شود. البته درصد انحراف از میانگین سال آخر از سال آبی ۶۹-۱۳۶۸ به زیر ۱۰ درصد می‌رسد و طول دوره آماری این ایستگاه ۲۲ سال بدست می‌آید. در ایستگاه آق در بند مانند اکثر

حوزه‌های مناطق خشک در اکثر سالها رسوبدهی سالانه بسیار کم بوده و در برخی سالها بطور استثنایی رسوبدهی افزایش می‌یابد (وابستگی بالای رسوبدهی به بارندگی). میانگین رسوب سالانه نیز در این ایستگاه تغییرات زیادی دارد و در سال اول مطالعه تحت تأثیر داده‌های نمونه‌برداری شده در این سال حدود ۳۰ میلیون تن بر آورد شده و پس از آن کاهش یافته است تا اینکه در سال آبی ۶۰-۱۳۵۹ با وقوع یک رسوب استثنایی و وارد شدن داده‌های این سال به معادله سنج رسوب افزایش یافته و دوباره روند ثابت خود را ادامه می‌دهد اگرچه کاهش نامحسوس در آن به علت کاهش تأثیر این رسوبدهی دیده می‌شود. درصد انحراف از میانگین در پنج سال اول تفاوت بیش از ۵۰ درصد را با میانگین سال آخر را نشان می‌دهد که متأثر از رسوبدهی بالای دو سال اول است و از سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ به زیر ۱۰ درصد می‌رسد و لذا طول دوره آماری مناسب برای این ایستگاه ۲۵ سال بدست می‌آید. در ایستگاه پونل که جنگلی‌ترین حوزه تحت مطالعه است، تغییرات در اکثر سالها بطور متناوب کم و زیاد است. میانگین سالانه که تحت تأثیر رسوبدهی بالای سال دوم و داده‌های نمونه‌برداری شده در این سال زیاد است در سالهای بعد بطور تقریبی ثابت می‌شود و تنها در سالهای بین ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۷ تحت تأثیر ۴ سال رسوبدهی بالا افزایش محسوسی می‌یابد (از ۲۵ هزار تن به ۳۰ هزار تن می‌رسد) و سپس دوباره ثابت می‌شود درصد انحراف از سال آخر که بجز ۲ سال ابتدایی در بقیه سالها کمتر از ۲۰ درصد است، نشان می‌دهد که میانگین در این ایستگاه تغییرات چندانی نداشته است. درصد انحراف از میانگین از سال آبی ۶۷-۱۳۶۶ به زیر ۱۰ درصد می‌رسد و طول دوره آماری ۲۰ سال بدست می‌آید. در ایستگاه گنبد در سالهای ابتدایی که میانگین متأثر از



جدول ۵ - طول دوره آماری مناسب (برای برآورد میانگین سالانه رسوب) تعریف شده در ایستگاه‌های تحت مطالعه.

ایستگاه	طول دوره آماری
رودخانه	۲۵
آبی جای	۲۵
پلاسجان	۱۶
تجن	۲۱
چالوس	۲۰
خرسان	۱۵
شماره	۲۰
دوآب	۱۳
کارون	۲۰
کال سالار	۱۹
کرج	۲۲
کشف رود	۲۵
مگرگازده	۲۳



شکل ۲- رابطه مساحت حوزه آبخیز یا طول دوره آماری در کل حوزه ها (خط پیوسته) و حوزه‌های تفکیک شده بر اساس منطقه اقلیمی (خطوط نقطه چین).





داده‌های نمونه برداری شده در سالهای ابتدایی، بالاست درصد انحراف از میانگین سال آخر بالا بوده و سپس در سالهای بعد با اضافه شدن داده‌های پائین منحنی سنجه رسوب میانگین کاهش یافته از سال آبی ۶۶-۱۳۶۳ بطور تقریبی ثابت می‌شود. درصد انحراف از میانگین از سال آبی ۶۸-۱۳۶۷ به زیر ۱۰ درصد می‌رسد و لذا طول دوره آماری مناسب در این ایستگاه ۲۳ سال بدست می‌آید. در ایستگاه گیلوان بیشترین میزان رسوبدهی مربوط به سالهای اول مورد مطالعه است و میانگین از سال آبی ۴۸-۱۳۴۷ به بعد بتدریج کاهش می‌یابد و این کاهش در سالهای ۱۳۶۵ به بعد بیشتر است. در حالیکه به نظر می‌رسد میانگین رسوب سالانه در این رودخانه بین سالهای ۱۳۵۸ تا ۱۳۶۴ ثابت بوده است و دوباره روند نزولی پیدا کرده است. روند کاهش قبل از این دوره ثابت را می‌توان ناشی از کاهش اثر داده‌های رسوب بالای سالهای اول در منحنی سنجه رسوب و اضافه شدن داده‌های پائین منحنی سنجه رسوب دانست، لیکن کاهش میانگین سالانه رسوب در سالهای بعد که میانگین را از ۳۰ میلیون تن در سال به حدود ۶ میلیون تن می‌رساند توجیه پذیر نیست (البته با توجه به این که در این زمینه تحقیقی صورت نگرفته است به نظر محقق علت آن را می‌توان کاهش غلظت رسوب ناشی از اعمال کنترل فرمایش در این حوزه دانست). نتایج حاصل از بررسی طول دوره آماری مناسب برای ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که در ۱۳ ایستگاه طول دوره آماری مشخصی قابل تعریف است که طول دوره آماری در جدول ۵ آورده شده است.

در بررسی رابطه عوامل مورد مطالعه با طول دوره آماری (که در ۱۲ ایستگاه صورت گرفته) رابطه معنی داری بدست نیامده و اکثر روابط دارای ضریب همبستگی پائینی بودند اما با جداکردن حوزه‌های واقع شده در یک منطقه (شمال کشور،

حوزه خلیج فارس، حوزه قره قوم و ...) روند متمایل افزایشی یا کاهشی توجیه پذیر و منطقی در همه حوزه‌ها مشاهده شد (شکل ۲ این رابطه را با مساحت نشان می‌دهد). این روند شامل افزایش طول دوره آماری با افزایش مساحت، درصد تغییرات رسوبدهی سالانه، درصد سازندهای حساس و درصد سازندهای حساس و نسبتاً حساس به فرسایش و کاهش طول دوره آماری با افزایش بارندگی متوسط سالیانه، شاخص اقلیمی دومارتن و ضریب مقاومت به فرسایش حوزه آبخیز می‌شود. ضریب همبستگی تمامی این روابط پائین می‌باشد و بالاترین ضریب همبستگی را با درصد تغییرات رسوبدهی سالانه دارد.

#### پیشنهادات

با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد برای رسیدن به میانگین واقعی رسوب سالانه یک رودخانه نیاز به وجود دامنه کاملی از رخدادهای رسوب معلق و نمونه‌گیری جامعی از این رخدادهاست. در حوزه‌های تحت مطالعه و بطور کلی در کشور ما مشکل در بخش دوم است. بنابراین لازم است که به این موارد توجه بیشتری شود. با توجه به مشکلاتی که در سیر این تحقیق پیش آمد پیشنهادات زیر جهت بهتر انجام شدن تحقیقات بعدی ارائه می‌شود:

۱. طول دوره آماری با استفاده از روشهای مناسب‌تر برآورد رسوب مورد بررسی قرار گیرد چون با استفاده از نتیجه این تحقیق می‌توان مبنای کار را در تحقیقات بعدی از ۱۰ سال گذاشت و لذا مشکل کمبود داده در رسم معادله سنجه برای سالهای اول وجود ندارد.

۲. روش نمونه برداری رسوب معلق اصلاح شود و به سمتی پیش برود که تعداد نمونه بیشتری از جریانهای بالا (دبی‌های پیک که بار رسوب زیادی را حمل می‌کنند) برداشت شود. برای این امر می‌توان از نمونه بردارهای سری ارتفاعی (تعدادی

بطری در ارتفاعات مختلف روی یک ستون عمودی نصب می‌شود تا از دبی‌های مختلف سیلابی نمونه‌گیری شود) که با هزینه کم و بدون گرفتن وقت نمونه‌برداری قابل اجراست، استفاده کرد.

۳. نمونه‌برداری از رسوب معلق به سمتی پیش برود که از تمامی دبی‌های جریان و شرایط مختلف نمونه‌برداری صورت گیرد. برای این کار می‌توان به دنبال تحقیقاتی رفت که پراکنش نمونه‌گیری‌ها را مشخص کنند.

## منابع

۱. احمدی، ح. و س. فیض نیا. ۱۳۷۸. سازندهای دوران کواترنر، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۴۲۴، ۵۵۷ صفحه.
۲. سازمان برنامه ریزی پژوهشهای کشاورزی. ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۶. نقشه‌های کاربری اراضی مناطق مختلف ایران، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰.
۳. سازمان زمین شناسی و شرکت ملی نفت ایران. نقشه‌های زمین شناسی مناطق مختلف ایران، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰.
۴. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی مناطق مختلف ایران، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰.
۵. عرب خدری، م. و همکاران. ۱۳۷۸. ضرورت تجدید نظر در روشهای متداول بر آورد بار معلق رودخانه‌ها، پنجمین سمینار مهندس رودخانه. اهواز. صفحات ۴۲۹ تا ۴۳۷.
۶. فیض نیا، س. ۱۳۷۴. مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران. مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، صفحات ۶۷ تا ۷۵.
۷. مجدآبادی فراهانی، ف. ۱۳۸۰. بررسی طول دوره آماری مناسب جهت برآورد میانگین سالانه رسوب و رابطه آن با اقلیم، زمین شناسی و پوشش گیاهی حوزه آبخیز، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۳۰ صفحه.
8. Day, T.J. 1988. Evaluation of long term suspended sediment records for selected Canadian rivers. Symposium on Sediment Budgets, Porto Algere, Brazil: IAHS, p. 189-195.
9. Morgan, R.P.C. 1986. Soil erosion and conservation, Longman.
10. Oldman, L.R., and L. Darwis. 1979. Contribution controls. Research Institute for Agriculture, 52: 1-35.
11. Walling, D.E., and K.J. Gregory. 1973. Basin form and process: A geomorphological approach, Edward Arnold, London.



## **Evaluation of the 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**

**S. Feiznia<sup>1</sup>, F. Majdabadi Farahani<sup>1</sup>, M. Mohseni Saravi<sup>1</sup> and M. Arab-Khedri<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Natural Resources, Karaj, Iran; <sup>2</sup> Research Center for Soil Conservation and Watershed Management, Tehran, Iran.

---

### **Abstract**

The aim of this research is evaluation of proper length of record for estimation of mean annual sediment yield, its relation with climate, geology as well as vegetation cover and finding the optimum statistical period for suspended sediment sampling. In this research, it is tried to define actual (or best) mean annual sediment yield. For this study, 15 watersheds with sediment gauging station were selected around the country (Iran). Suspended sediment yields were calculated from 1 to n years (n is the most recent available data) for each station by suitable equations and water-discharge data. For determination of the proper lengths of record for each station and the length of time after which mean annual sediment yield stabilizes in each station, mean annual sediment yields were compared with the most recent annual mean (n year) as the most valid mean. Then, the variations from mean (standard deviation of the best mean) were calculated and each year that its variation was less than 10% was chosen as the optimum statistical period of data for that station. After that, the relationship between optimum statistical period and climate, geology and vegetation cover of the watershed was studied. The results have shown that the optimum statistical period for 13 stations is between 9 to 25 years. With increase of the area, percentage of annual sediment yield variation, percentage of sensitive and semi-sensitive geological formations and decrease of annual rainfall and De martin climatologic indes, optimum statistical period also increases.

**Keywords:** Suspended sediment; Sediment yield; Statistical length of record; Watershed; Iran.

