

مقدمه

رسوب^۳ به تمامی مواد حاصل از تخریب پوسته‌ی زمین یا فرسایش بخشی از خاک گفته می‌شود که بسته به اندازه‌ی ذرات آن به سه حالت معلق^۴، غلطش^۵ و جهش^۶ و در قالب بار رسوبی^۷ منتقل می‌شود^۸ [۱۱]. البته در بعضی از شرایط، بسته به نقطه یا محل مورد نظر^۹ محقق، بهره‌بردار و یا مدیر آبخیز، خاک فرسایش یافته را رسوب می‌نامند. به‌طوری که این نقطه‌ی بررسی می‌تواند خروجی یک آبخیز، کرت، محل مشرف به تاسیسات شهری و زیرساختی باشد. رسوب انتقالی در حالت کلی به سه بخش بار شسته^{۱۰}، بار معلق آبراهه‌ای^{۱۱} و بار بستر^{۱۲} قابل تقسیم است [۱۱]. بار شسته و بار معلق حوزه‌ای به‌صورت رسوب معلق^{۱۳} حمل می‌شوند. تفاوت بار شسته با بار معلق آبراهه‌ای در این است که بار شسته متأثر از شرایط سطح حوزه‌ی آبخیز و طبعاً وضعیت هیدرولوژیک حاکم بر آن بوده و شامل ذرات ریزی است که سهم خیلی کمی از آن مربوط به بستر آبراهه می‌شود. در حالی که بار معلق آبراهه‌ای تحت تأثیر شرایط هیدرولیک آبراهه و منشأ آن کناره‌ها و بستر آبراهه می‌باشد [۲۹]. رسوبات، محدوده‌ی وسیعی از قطر ذرات انتقالی را به خود اختصاص می‌دهند و رسوبات معلق عموماً عهده‌دار انتقال بیش از ۹۰ درصد ردیاب‌ها و فلزات سنگین و غذایی ورودی به سامانه‌ی آبراهه‌ای و آلودگی‌های مرتبط با آن هستند [۵]. همچنین کاهش اکسیژن و از بین رفتن زیستگاه‌ها در سامانه‌های آبی توسط رسوبات معلق و قاعدتاً محدوده‌ی قطری کم‌تر از ۶۳ میکرون مورد تأکید و توجه جدی قرار گرفته است. به نحوی که این بخش از رسوبات به‌عنوان مهم‌ترین دلیل تخریب محیط‌زیست و عامل اول آلودگی به‌شمار می‌آیند [۵ و ۲۶]. بر همین اساس و با توجه به سهم بالای رسوب معلق نسبت به بار بستر در رسوب خروجی از حوزه‌های آبخیز و سامانه‌های آبی، تفسیر رسوب‌دهی پایین‌دست یک آبخیز و سایر پیامدهای متصور بر رسوبات معلق منوط به درک فرآیندهای

تحلیل مفاهیم حاکم بر فرآیندهای فرسایش آبی، تولید و انتقال رسوب در حوزه‌های آبخیز

سعید نجفی^۱ و سید حمیدرضا صادقی^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۲۰

چکیده

ترسوب، مجموعه‌ای از ذرات شن، سیلت و رس حاصل از فرسایش است که پس از طی مراحل انتقال در پایین‌دست آبخیزها و آبراهه‌ها ته‌نشین می‌شود. رسوبات محدوده‌ی وسیعی از قطر ذرات انتقالی را به‌خود اختصاص می‌دهند. اما به‌دلیل ارتباط تنگاتنگ رسوبات معلق با انتقال و پخش مواد مغذی خاک، ردیاب‌ها، فلزات سنگین و سایر آلودگی‌های مرتبط با رسوب ورودی به سامانه‌ی آبراهه‌ای، این بخش از رسوبات مورد توجه جدی قرار گرفته است. از طرفی درک فرآیندهای حاکم بر انتقال رسوبات معلق در یک آبخیز و فهم صحیح از مفاهیم مهمی چون حرکت، حرکت مجدد، تحویل رسوب، رسوب ذخیره، ترسیب، بازتوزیع رسوب، آبشار رسوبی و بیلان رسوب منجر به مدیریت و مهار رسوب و منابع آلوده‌کننده‌ی رسوبی و مشکلات ناشی از آن‌ها خواهد شد. در این مقاله سعی شده است با ایجاد درکی یکسان از این مفاهیم و بیان اهمیت این فرآیندها، لزوم کاربرد مهم مفاهیم مزبور در شبیه‌سازی جامع رفتار آبخیزها و طبعاً مدیریت رسوب مورد تأکید قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال رسوب، منبع و مخزن رسوب، سامانه‌های رودخانه‌ای، مدل‌سازی رسوب، مدیریت جامع آبخیز

3. Sediment
4. Suspension
5. Rolling/Sliding
6. Saltation
7. Sediment Load
8. Transfer, Transport, Transportation
9. Control Point/Desired point
10. Wash Load
11. Suspended Bed Material Load
12. Bed Load
13. Suspended Sediment

۱. دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس، نور، najafisaid65@yahoo.com

۲. استاد و نویسنده مسئول گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس، نور، sadeghi@modares.ac.ir

حاکم بر انتقال رسوبات معلق بالادست و البته درون کانالی می باشد. بر همین اساس و ضرورت برشمرده، چندین مفهوم مهم در رابطه با انتقال و به ترتیب شامل حرکت^۱ (کنش)، باز حرکت^۲ (برکنش)، تولید رسوب^۳، ذخیره ی رسوب^۴، ترسیب^۵، باز توزیع رسوب^۶، بیلان رسوب^۷ و آبشار رسوبی^۸ می باشند که در کشور کم تر به آنها پرداخته شده است. طبیعی است عدم درک صحیح مفاهیم مزبور منجر به شبیه سازی ناقص از رفتار تولید رسوب در سامانه های آبخیز شده و طبعاً مدیریت رسوب را دچار اختلال می نماید. از این رو رویکردهای مدیریتی حوزه های آبخیز به شدت نیازمند فهم صحیح از این مفاهیم می باشد و منجر به مدیریت و مهار منابع آلوده کننده ی رسوبی و مشکلات ناشی از آنها خواهد شد. این موضوع از طریق تشخیص منابع کلیدی تولید رسوب و اهمیت منابع ثانویه ی تولید آن و نقش اقدامات حفاظتی بالادست آبخیز و تاثیر آن بر پاسخ پایین دست در رسوب دهی محقق شده و نهایتاً ارتقاء مدیریت منابع و آبخیزها را به دنبال خواهد داشت.

مفهوم شناسی فرآیندهای تولید و انتقال رسوب

باتوجه به توضیحات اشاره شده در بخش قبل و در خصوص ضرورت اهمیت مفهوم شناسی صحیح اجزا و فرآیندهای حاکم بر سامانه های رسوبات آبی در حوزه های آبخیز، مفاهیم مختلف مرتب بر این فرآیندها به شرح زیر بررسی و ارائه شده است. بررسی کار مربوطه بر اساس بررسی سوابق پژوهش و منابع مختلف موجود در این خصوص، تحلیل مقایسه ای، ارزیابی مفهومی اصطلاحات و نهایتاً ارائه ی جمع بندی های لازم و در برخی مواقع ارائه ی مثال های موردی استوار بوده است.

تولید و حرکت رسوب

رسوب عموماً تحت دو فرآیند فرسایش غیر متمرکز^۹ و متمرکز^{۱۰} ایجاد می شود. فرسایش غیر متمرکز حاصل بارش و رواناب نامتمرکز می باشد و پدیده های فرسایشی پاشمانی^{۱۱}، سطحی^{۱۲} و بین شیار^{۱۳} منتج از آن می باشند. فرسایش پاشمانی در اثر برخورد قطرات باران به سطح خاک و با پرتاب ذرات جدا شده ی خاک به اطراف به وجود می آید که آغازین مراحل تولید رسوب نیز می باشد. فرسایش سطحی نیز ناشی از عملکرد توامان و ممتد فرسایش پاشمانی و هم چنین

1. Sediment Mobilisation
2. Sediment Remobilization
3. Sediment Yield
4. Sediment Storage
5. Deposition
6. Redistribution
7. Sediment Budget
8. Sediment Cascade
9. Unconcentrated or Uncanalized Soil Erosion
10. Canalized Soil Erosion
11. Splash Erosion
12. Sheet Erosion
13. Inter-rill Erosion

جدا شدن ذرات سطحی و انتقال مواد مغذی خاک بر اثر رواناب نامتمرکز می باشد. فرسایش بین شیار شامل کنده شدن ذرات در اثر برخورد قطرات باران و رواناب سطحی در اولین مراحل تشکیل شیار می باشد. باید توجه داشت که در این پدیده ی فرسایشی بخشی از ذرات پاشمان شده مستقیم وارد شبکه ی شیار می شود و بخش دیگری نیز به وسیله ی جریان سطحی منتقل می گردد. در فرسایش متمرکز، جریان متمرکز رواناب در مسیرهای مشخص مانند شیار، آبراهه و آبکند علاوه بر کنش بستر و تولید رسوب، عامل انتقال عمده رسوب تولید شده نیز می باشد [۱۹]. در فرآیند انتقال، اولین مرحله بعد از جدایش ذره ی خاک یا رسوب، مربوط به توانایی جریان در به حرکت در آوردن آن می باشد. در واقع آنچه از مرور منابع مطالعاتی برداشت می شود، حرکت رسوب را می توان اولین مرحله ی فرآیند انتقال آن دانست که بسته به قطر ذرات و رواناب موجود، این ذره می تواند از اولین مکان خود جابه جا شود. این مفهوم بیش تر معطوف به جابه جایی ذرات خاک پس از جدایش در سطوح دامنه ای و قبل از ورود به سامانه ی آبراهه ای است. به همین دلیل برای اندازه گیری میزان حرکت خاک یا رسوبات، محل اندازه گیری این بخش از رسوب، سطوح و واحدهای دامنه ای و اراضی کشاورزی خواهد بود که به عنوان منابع اولیه ی تولید رسوب مطرح هستند [۱، ۴، ۲۵ و ۲۷]. از سویی مفهوم حرکت رسوب را می توان جزئی از فرآیند انتقال دانست به طوری که ممکن است بخشی از رسوبات با توجه به ظرفیت کنش^{۱۴} یا انتقال^{۱۵} رسوب دچار حرکت شوند اما هرگز منجر به انتقال آنها نشود زیرا انتقال رسوب، بسته به خروج آن از نقطه ی تعیین شده ی مد نظر می باشد. طبیعی است که کاهش ظرفیت انتقال رسوب به دلیل کاهش در مقادیر متغیرهای موثر در آن، مانند دبی در واحد سطح و زمان^{۱۶}، تغییرات شیب و میانگین سرعت جریان می باشد.

رسوب گذاری

ترسیب یا رسوب گذاری، به فرآیند جای گذاری مواد رسوبی به وسیله ی رواناب در محلی خاص، هنگام کاهش توان حمل به دلیل کاهش شیب یا سرعت جریان اطلاق می شود [۱۴]. طبیعی است این فرآیند، پس از تکامل فرآیندهای حرکت رسوب و انتقال آن به وسیله ی عامل انتقالی مانند رواناب صورت می گیرد. تحویل^{۱۷} و نسبت تحویل رسوب^{۱۸}

از آنجایی که ممکن است تمام رسوبات به حرکت درآمده به نقطه ی بررسی نرسند، لذا محققین میزان رسوب خارج شده از نقطه ی مد نظر و عموماً خروجی آبخیز را میزان تحویل رسوب و یا رسوب دهی آبخیز در نظر می گیرند. این مفهوم بیان گر مقدار کل یا بخشی از

14. Sediment Detachment Capacity
15. Sediment Transport Capacity
16. Unit Discharge
17. Sediment Delivery
18. Sediment Delivery Ratio, SDR

رسوب به حرکت درآمده‌ای است که طی فرآیند انتقال کامل رسوب به خروجی مورد نظر رسیده است. این بخش از رسوب از این نظر اهمیت دارد که سبب مشکلات برون منطقه‌ای^۱ مانند رسوب‌گذاری در مزارع، دشت‌های سیلابی و مجموعه‌های آبی، افزایش گل‌آلودگی آبراهه‌ها، کاهش کیفیت آب، خسارت به آبریان و اختلال در فرآیند ژئومورفولوژیک سیستم‌های روخانه‌ای می‌شود. بر همین اساس و در سال‌های اخیر نیاز کسب اطلاعات مربوط به منابع بار رسوبی خارج شده از حوزه‌های آبخیز و داده‌های کمی مربوط به گستره و میزان فرسایش خاک مورد توجه جدی قرار گرفته است. بر همین اساس ارزیابی جامعی از مشکلات فرسایش، حاصل شده و متعاقب آن اقدامات درستی در مورد تدابیر حفاظت خاک و درمان تولید رسوب تشدید و تأثیرات اقتصادی و زیست محیطی برنامه‌ریزی شده است. مفهوم دیگری که ارتباط تنگاتنگی با میزان تحویل رسوب دارد با عنوان نسبت تحویل رسوب مطرح می‌شود که از تقسیم رسوب تحویل شده در خروجی و یا نقطه‌ی بررسی به میزان رسوب حرکت یافته در اولین مراحل فرآیند فرسایش به دست می‌آید. مقدار این نسبت در شرایط عادی و معمولی بین صفر و یک متغیر خواهد بود. عدد صفر یعنی هیچ رسوبی از رسوبات جابه‌جا شده فرآیند انتقال را به صورت کامل طی نکرده و به خروجی مد نظر نرسیده است و عدد یک هم به معنی خارج شدن تمام رسوبات جابه‌جا شده‌ی ناشی از فرسایش خاک در سطح آبخیز از خروجی مورد نظر می‌باشد. در طبیعت عملاً این دو حد از اعداد به ندرت رخ داده یا هرگز رخ نمی‌دهد، زیرا معمولاً مقداری از رسوب تولیدی، به خروجی رسیده و از چرخه‌ی انتقال خارج می‌شود و بخشی از آن نیز در مسیر انتقال دچار تله‌اندازی رسوب می‌شود. مقدار نسبت تحویل رسوب به خصوصیات هیدرولوژیک (میزان بارندگی و رواناب تولیدی)، خصوصیات حوزه‌ی آبخیز و سیمای سرزمین (سطح حوزه‌ی آبخیز، ناهمواری‌ها، طول آبراهه‌ی اصلی، نسبت انشعاب، نزدیکی منابع اصلی تولید رسوب به آبراهه‌ی اصلی و کاربری یا پوشش اراضی)، خصوصیات خاک (نوع منبع رسوبی و بافت مواد فرسایش یافته) و تعاملات بین این عوامل بستگی دارد [۷، ۱۷ و ۲۸]. این موارد سبب ایجاد پیچیدگی در تخمین و ناحیه‌بندی^۲ نسبت تحویل رسوب و تهیه‌ی روش‌های اساساً تجربی در تخمین آن می‌شود. با در اختیار داشتن این نسبت برای منطقه‌ای خاص و با ضرب کردن آن بر مقدار فرسایش خام (رسوب به حرکت درآمده) همان منطقه، می‌توان به میانگین میزان تحویل رسوب بلند مدت ناحیه‌ی مذکور دست یافت و در واقع با استفاده از این مفهوم است که می‌توان ارتباطی منطقی بین فرسایش در سطح حوزه‌ی آبخیز و رسوب تحویلی در خروجی آبخیز برقرار نمود [۷ و ۲۴].

ذخیره‌ی رسوبی

به طور کلی می‌توان گفت که ذخیره‌ی رسوبی هم‌چون سایر

مفاهیم مرتبط با فرآیندهای تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز حائز اهمیت است و از طریق شناسایی منابع کلیدی رسوب، مسیرهای ذخیره و انتقال و تعیین حساسیت و پاسخ حوضه به اختلالات درون و برون حوضه‌ای آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [۲۵]. مفهوم ذخیره‌ی رسوبی جزء بسیار مهمی در بررسی بیلان رسوب است و در کشور نیز کم‌تر مورد توجه قرار گرفته و از سویی سهم آن در میزان رسوب خروجی از آبخیز مورد توجه نبوده است. هر چند در تصور عمومی سخت به نظر می‌رسد، اما در اکثر موارد مقدار ذخیره‌ی رسوبی مساوی و یا حتی بیش‌تر از رسوب خروجی است [۲۵ و ۲۴]. رسوب ذخیره همان‌طور که در بخش بازتوزیع رسوب اشاره شد در تعریفی ساده، به عنوان رسوبی گذرا با طول عمر کوتاه و بعضاً تشکیل دهنده‌ی زمین‌ریخت‌های موقتی محسوب می‌شود که به طور مداوم در فعالیت بوده و معمولاً شامل پدیده‌های درون کانالی و آبراهه‌ای نیز هستند. به عبارت دیگر منظور از ذخیره‌ی رسوبی، آن مقدار از رسوب انتقالی است که در مقیاس مکانی و زمانی مورد نظر ذخیره شده و به انتهای آبخیز منتقل نمی‌شوند و بسته به نوع فرآیندهای حاکم، در فرصتی مناسب مجدداً حرکت کرده و منتقل می‌شوند که به این رسوب، رسوب ذخیره و به کل فرآیند بازحرکت، انتقال، ترسیب و حتی ذخیره‌ی رسوب مجدد، پدیده‌ی بازتوزیع رسوب می‌گویند [۱۶]. بررسی ذخیره‌ی رسوبی از نظر شبیه‌سازی تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز نیز مهم است زیرا طبق بعضی از تحقیقات، نسبت تحویل رسوب در خروجی می‌تواند تا یک درصد کاهش یابد که این امر سهم بسیار بالای رسوب ذخیره را نشان می‌دهد [۲۷]. از سویی تغییرات مکانی و زمانی آن نیز در مقیاس ماهانه و سالانه به شدت متغیر است که همه‌ی این مفاهیم در صورت نادیده انگاشتن، سبب شبیه‌سازی ناقص و غیر جامعی از رفتار سامانه‌ی آبخیز در انتقال و ترسیب رسوب، تعیین نادرست بیلان آن و نهایتاً مدیریت ناقص سامانه بر اساس مهار و تولید رسوب خواهد شد. نتایج تحقیقات خالدی درویشان [۱۲] نیز مؤید نسبت تحویل رسوب کم‌تر از دو درصد برای رگبارهای شبیه‌سازی شده در مقیاس کرت‌های آزمایشگاهی متوسط بوده است. در مورد مکان‌هایی که ذخیره‌ی رسوبی وارد دوره‌ی استقرار می‌شود، اگر دوره‌ی زمانی این استقرار طولانی باشد، این مکان‌ها را به عنوان مخازن^۳ رسوب می‌نامند که عمدتاً دامنه‌ها، دشت‌های سیلابی و تراس‌ها را شامل می‌شوند [۱۰]. با توجه به توضیحات بیان شده، متخصصین و متولیان مدیریت رسوب برای رسیدن به درکی جامع از وضعیت رسوبدهی آبخیزها، ارائه‌ی بیلان رسوبی مطمئن و درک نقش ذخیره‌ی رسوبی، نیازمند پاسخ به موارد زیر می‌باشند:

- محل ذخیره‌ی رسوب در گستره‌ی یک آبخیز کجاست؟
- مدت زمان استقرار رسوب ذخیره در یک محل چقدر است؟
- عوامل مانع شونده در انتقال رسوب ذخیره شده چیست؟
- میزان ذخیره‌ی رسوبی چقدر است؟

جدول ۱- رسوب ذخیره از کل رسوب ریزدانه‌ی ورودی به بستر رودخانه‌ی Na Borges در اسپانیا در زمان نمونه‌برداری و تغییرات خالص ذخیره‌ی رسوبی در نقاط نمونه‌برداری و کل دوره‌ی زمانی مورد مطالعه در دوره‌ی ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۵ (اقتباس از استرانی و همکاران [۴]).

مقطع	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	کل دوره‌ی مورد مطالعه																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
B ₁	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	ذخیره (تن)	

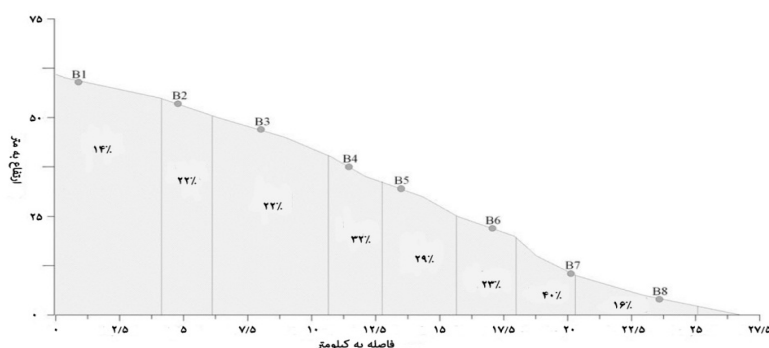
– ذخیره‌ی رسوبی در چه مناطقی در دسترس انتقال بوده و در چه مناطقی مستهلک شده و به خروجی نرسیده‌اند؟

رسوب ذخیره از نظر مقیاس مکانی قابلیت بررسی در سطح دامنه، آبخیز و آبراهه را دارد و از نظر زمانی نیز مقیاس آن به ماهانه، سالانه، دهه و قرن قابل تقسیم می‌باشد. به عنوان مثال در مقیاس دامنه‌ای محل‌های انباشت و برداشت رسوب اغلب در آبراهه‌های درجه اول به هم متصل هستند و توزیع مکانی آن‌ها بیش از سایر موارد به وسیله‌ی توپوگرافی و سنگ‌شناسی منطقه تعیین می‌شود. این در حالی است که در بررسی در مقیاس لکه‌های گیاهی، این پوشش گیاهی است که بیش از سایر عوامل در ایجاد اتصال و عدم اتصال رسوبی و نواحی انباشت رسوب نقش بازی می‌کند [۱۵]. در مورد آبخیزها و درک روش‌های صحیح مدیریت رسوبی آن‌ها، مطالعات مربوط به ذخیره‌ی رسوبی عموماً در آبخیزهای کوچک و دوره‌های زمانی ماهانه و چندساله مورد توجه قرار گرفته‌اند به طوری که سطح آبخیزها از ۲ تا چند ده کیلومتر مربع را شامل می‌شوند [۱، ۱۵ و ۲۱]، هر چند سطوح بررسی در برخی مطالعات به چندین صد کیلومتر مربع نیز رسیده است [۱۴ و ۲۷]. بر اساس تحقیقات انجام شده، ذخیره‌ی رسوبی به مراتب می‌تواند مساوی و یا بیش‌تر از رسوب معلق باشد که از آبخیز خارج می‌شود [۲۵ و ۲۶]. مطالعات نشان می‌دهند که

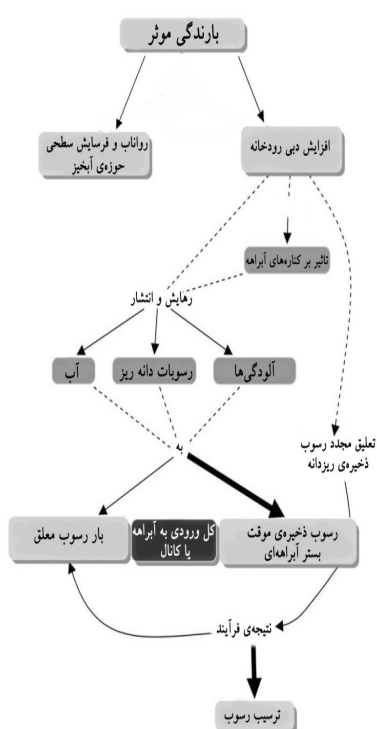
1. Patch

تغییرات مکانی و زمانی ذخیره‌ی رسوبی می‌تواند به شدت متغیر باشد. به طوری که بر اساس مطالعه‌ی استرانی و همکاران [۵] در هشت مقطع طولی از یک آبراهه، ذخیره‌ی رسوبی از ۰ تا ۱۳۰۰۰ گرم بر متر مربع در مکان و زمان‌های مورد بررسی متفاوت بوده است و این امر گویای تغییر فصلی دبی‌های ورودی و خروجی و تأثیرات انسانی و عمل ذخیره‌سازی رسوب در بستر آبراهه می‌باشد. عموماً افزایش رسوب ذخیره در کانال متناسب با رژیم جریان است به طوری که بیش‌ترین ذخیره‌ی رسوبی با مواقع دبی‌های پایه و کم رودخانه‌ها منطبق است. جدول ۱ بخشی از نتایج مربوط به ذخیره‌ی رسوبی مطالعه شده در هشت مقطع طولی از یک آبراهه در حوزه‌ی آبخیز Na Borges با مساحت ۳۱۹ کیلومتر مربع و کاربری زراعت دیم به صورت ارائه شده در شکل ۱ را نشان می‌دهد.

همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است در کل دوره‌ی مورد مطالعه تغییرات کلی ذخیره‌ی رسوبی رودخانه‌ی مورد مطالعه با بیان مثبت و میزان ذخیره‌ی رسوبی ۵۱۵/۲ تن مواجه بوده است. از طرفی میانگین ذخیره‌ی رسوبی ویژه ۲۰/۶ تن در کیلومتر مربع بوده است. این ارقام در حالی است که در یک زمان خاص در مکان‌های مختلف بیان‌های مثبت یا منفی از تغییرات ذخیره‌ی رسوبی وجود دارد. به عنوان مثال این امر در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس به وضوح قابل مشاهده است. به طور کلی کل رسوبات



شکل ۱ پروفیل طولی، نقاط نمونه برداری و شیب متوسط مقاطع طولی آبراهه‌ی مورد بررسی (اقتباس از استرانی و همکاران [۴]).



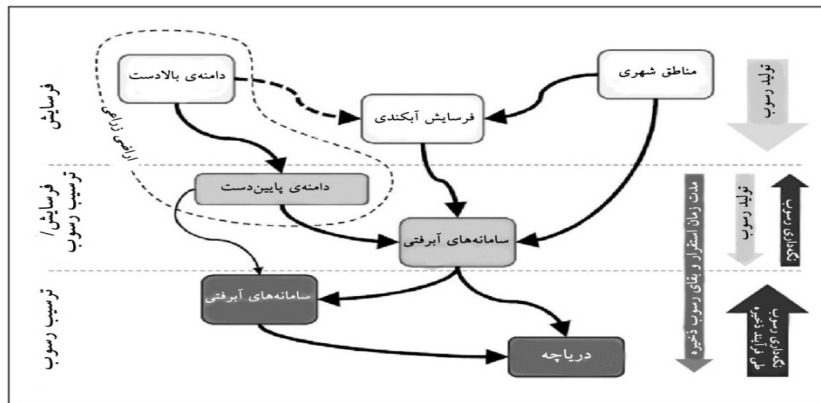
شکل ۲ - اثر متقابل رسوب ذخیره و سایر فرآیندهای تحویل رسوب بار معلق آبراهه‌ای در یک آبخیز (اقتباس از استرانی و همکاران [۵])

در سامانه‌ی آبرفتی است و بخش اعظمی از رسوب به‌عنوان رسوب ذخیره از چرخه‌ی انتقال به‌طور موقت خارج می‌شود و سپس مجدداً در قالب فرآیند بازتوزیع رسوب وارد چرخه‌ی انتقال می‌شود. شکل ۳ نیز نمایی از الگوهای فرسایش، انتقال ذخیره‌ی رسوبی در یک سامانه‌ی آبرفتی را نشان می‌دهد. بدیهی است که افزایش دانش متخصصین از تمام اجزای این فرآیندها موجب غنای دانش فنی و متعاقباً شبیه‌سازی صحیح و جامعی از رفتار سامانه برای

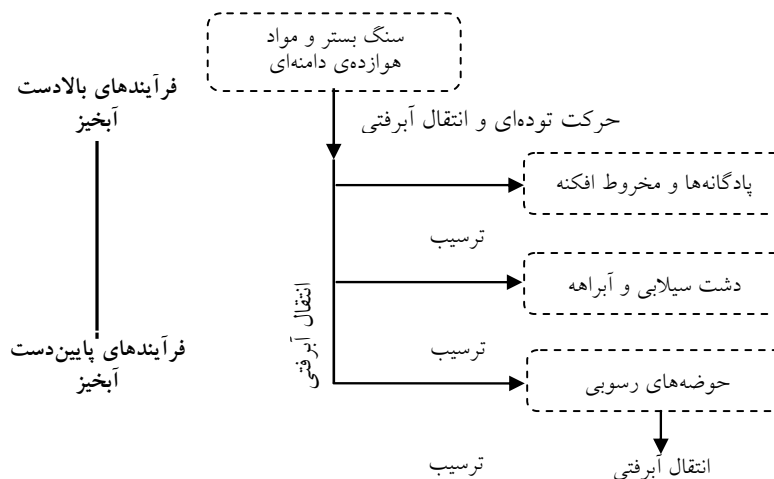
ذخیره‌ی ریزدانه در طول دوره‌ی مورد مطالعه از نظر زمانی و مکانی به‌ترتیب دارای ضریب تغییرات ۷۷ و ۹۰ درصد می‌باشند. ذخیره‌ی رسوبی کم در ماه نوامبر به‌دلیل جریان آبراهه‌ای کم و غیرفعال بودن اکثر آبراهه‌ها در این زمان از سال بوده است. این در حالی است که در ماه دسامبر افزایش قابل توجهی در ذخیره‌ی رسوبی واقع شده که ناشی از اتصال رسوبی^۱ ایجاد شده ناشی از فعال شدن مسیرهای هیدرولوژیک می‌باشد که ورود رسوب به آبراهه را تسهیل نموده است. ماه فوریه زمانی است که بیلان تغییرات رسوب ذخیره منفی است و در واقع ذخیره‌ی رسوبی رخ نداده است. این امر به غالب بودن فرآیندهای فرسایشی و البته آزاد شدن بستر آبراهه از پوشش گیاهی در زمان مورد مطالعه نسبت داده شده است. در مقابل، در ماه آوریل تغییرات رسوب ذخیره چیزی بالغ بر بیلان مثبت ۱۸۷/۶ تن را شامل می‌شود که ناشی از انرژی پایین جریان‌های سیلابی ناشی از بارندگی، وجود پوشش گیاهی و کاهش جریان پایه‌ی رودخانه از عوامل تشدید در افزایش ذخیره‌ی رسوبی رودخانه بوده است. همان‌طور که از نمونه نتایج فوق مشاهده می‌شود، ذخیره‌ی رسوبی می‌تواند در مقیاس زمانی و مکانی تفاوت‌های زیادی را داشته باشد و البته حجم بالایی از رسوب را نیز به خود اختصاص دهد که با نادیده گرفتن آن در فرآیند مدیریت رسوبی در حوزه‌های آبخیز سبب بی‌نتیجه و یا کم‌نتیجه شدن اقدامات حفاظتی و نارسایی برنامه‌های مدیریت رسوب در قالب مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز خواهد شد. شکل ۲ نیز نمونه‌ای کامل از فرآیند تولید و انتقال رسوب را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۲ مشهود است و با جهت‌نمای پیرنگ نشان داده شده است، از کل رسوب معلق ورودی به آبراهه‌ی اصلی، ذخیره‌ی رسوبی بستر آبراهه‌ای به‌طور مشهودی بیش از رسوب معلق تحویلی آبراهه تحت شرایط شیب کم و رواناب کم انرژی

1. Sediment Connectivity



شکل ۳ - مدل مفهومی آبشار رسوبی منابع رسوب با توجه به الگوی فرسایش، انتقال و ذخیره‌ی رسوب در سامانه‌های آبرفتی (اقتباس از فرنز و همکاران [۹])

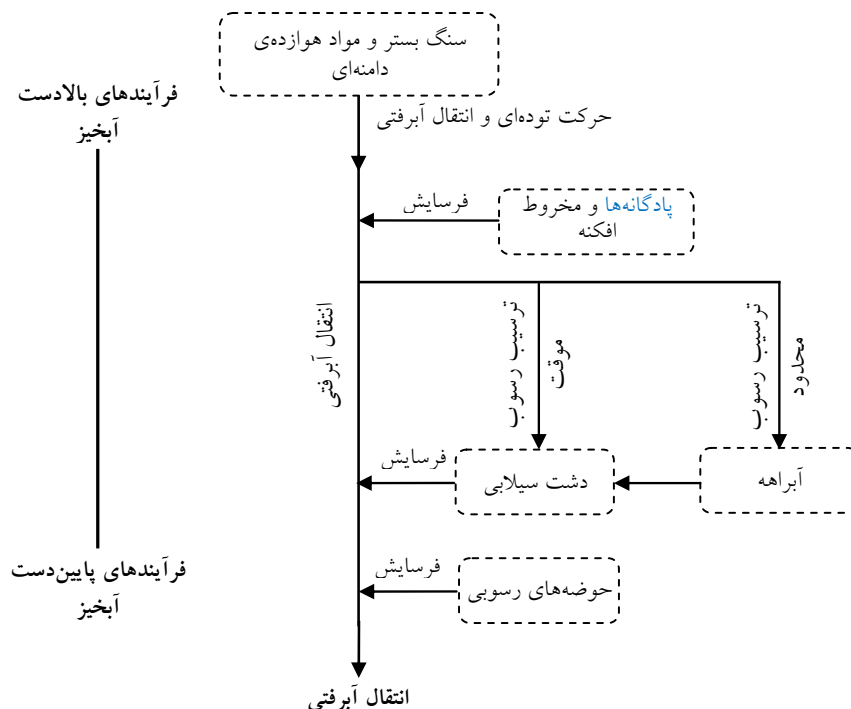


شکل ۴ مدل مفهومی فرآیندهای ترسیب رسوب در مخروط افکنه‌ها، دشت‌های سیلابی، آبراهه‌ها و حوضه‌های رسوبی. (خطوط نقطه‌چین بیان‌گر پهنه‌های ذخیره‌ی رسوبی و جهت‌نماها نشان‌گر مسیر انتقال رسوب است). (اقتباس از فلوریشیم و همکاران [۸]).

رسوب و ذخیره‌ی رسوبی را نشان می‌دهد. یکی از روش‌های مهم در تعیین منابع رسوبی و سهم هر یک از آن‌ها در تولید رسوب استفاده از رویکرد منشأیابی رسوبات آبی با توجه به فن انگشت‌نگاری رسوب^۱ می‌باشد. منظور از منشأ رسوب، واحد یا پدیده‌ی فیزیکی یا فرسایشی است که مد نظر قرار گرفته و فرآیند فرسایش در این واحد رخ داده و در نهایت بخشی از این فرسایش به واسطه‌ی حمل و انتقال به‌عنوان رسوب مطرح می‌شود. به‌طور کلی، عموم منابع رسوب در انگشت‌نگاری به دو دسته‌ی منابع مکانی و پدیداری تقسیم‌بندی می‌شوند. منابع مکانی ممکن است به‌صورتی تعریف و مورد مطالعه قرار گیرند که چند زیر حوضه یا چند انشعاب^۲ از یک حوضه هر کدام به‌عنوان یک منبع مطرح باشند و سهم هر زیرحوضه در تولید رسوب مورد بررسی قرار گیرد. از طرفی امکان دارد در یک حوزه‌ی آبخیز واحدهای سنگ‌شناسی مختلف به‌عنوان منابع

مدیریت آن خواهد شد. شکل ۴ مدل مفهومی فرآیندهای فرسایش و ترسیب رسوب را نشان می‌دهد که با الگویی مکانی سبب ایجاد مخازن رسوبی شده است و در مقابل، شکل ۵ مدل مفهومی منابع رسوب، ذخیره‌ی رسوبی و فرآیند انتقال رسوب از منابع ذخیره‌ی رسوبی بعد از ده‌ها سال و عملکرد آن به‌عنوان منبع رسوب را نشان می‌دهد. به‌عبارتی دیگر پس از چندین دهه ورود رسوب به پهنه‌های ذخیره‌ی رسوبی، حال فرسایش و انتقال آبرفتی از این پهنه‌ها (خطوط نقطه‌چین) فرآیندهای غالب را تشکیل می‌دهند. شکل‌های ۴ و ۵ در واقع فرآیندهایی از ذخیره و انتقال رسوب و منابع اولیه و ثانویه‌ی رسوبی را نشان می‌دهند که مقیاس زمانی وقوع آن‌ها چندین ده سال و یا شاید چندین صد سال باشد. قابل ذکر است که مدل‌های مفهومی ارائه شده در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ هر کدام بسته به نوع فرآیندهای حاکم بر یک منطقه‌ی خاص و یا مقیاس زمانی و مکانی متصور برای بررسی این فرآیندها، قابلیت کاربرد و استفاده را دارند. شکل ۶ نیز مدل مفهومی کلی برای مطالعه‌ی بیلان رسوب با توجه به تعیین منابع

1. Sediment Fingerprinting
2. Tributary / Sub Catchment



شکل ۵ مدل مفهومی فرآیند انتقال رسوب از منابع ذخیره‌ی رسوبی به‌عنوان منابع اصلی رسوب که در گذشته مخازن رسوب بوده‌اند. (اقتباس از فلوریشیم و همکاران [۸]).

شکل ۶ - رویکرد کلی برای مطالعه‌ی بیلان رسوبات معلق به روش جدید و مبتنی بر کاربرد رادیونوکلئیدها (اقتباس از والینگ و همکاران [۲۶])

می‌باشد. به‌طور کلی رویکرد منشأیابی رسوبات آبی شامل انتخاب و استفاده از یک سری ردیاب‌ها شامل خصوصیات ژئوشیمیایی، شیمیایی، رادیواکتیوی، مواد آلی و فلزات سنگین برای تعیین منابع رسوب بالقوه در حوزه‌ی آبخیز می‌باشد. پس از مرحله‌ی فوق و تعیین ترکیب انگشت‌نگار از ردیاب‌های فوق‌الذکر، مقایسه‌ای بین ردیاب‌های رسوبات منتقل شده توسط رودخانه و ردیاب‌های منابع

رسوب مطرح باشند و سطح تحت پوشش هر نوع سنگ به‌منزله‌ی یک منبع رسوب مجزا با عنوان واحدهای سنگ‌شناسی مورد بررسی قرار گیرد. در تقسیم‌بندی بر اساس منابع پدیداری، عموماً منابع به دو گروه سطحی و زیرسطحی تقسیم می‌شوند که منابع سطحی شامل فرسایش سطحی و شیاری در انواع مختلف کاربری و منابع زیرسطحی شامل فرسایش‌های رودخانه‌ای، آبراهه‌ای و آب‌کندی

رسوب بالقوه صورت می‌پذیرد تا در نهایت میزان مشارکت این منابع در تولید رسوب نهایی حوزهی آبخیز مشخص شود. با این توصیف مبانی حاکم بر منشأیابی رسوبات آبی با استفاده از انگشت‌نگاری ترکیبی^۱ شامل جدایش و انتقال ذرات خاک از منابع رسوبی با وقوع بارندگی‌های فرسایش‌زا، وجود ردیاب‌هایی با قابلیت تفکیک منابع مختلف رسوب از یک‌دیگر، انتقال ذرات جدا شده از منابع رسوب به وسیله‌ی شبکه‌ی آبراهه‌ای به پایین‌دست آبخیز، نمونه‌گیری از رسوبات ته‌نشین شده یا در حال انتقال در پایین‌دست آبخیز و نهایتاً مقایسه‌ی خصوصیات ردیاب‌های منابع رسوب بالادست و رسوبات منتقل شده به پایین‌دست آبخیز با استفاده از مدل‌های تعیین سهم می‌باشد. هم‌چنین برای مدل‌سازی موفق، غلظت ردیاب‌های نمونه‌های رسوب بایستی در محدوده‌ی غلظت نمونه‌های منابع رسوب باشد. برای عملیاتی کردن مبانی مذکور، روش خاصی از نمونه‌برداری و مقایسه‌ی آن‌ها مد نظر قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که ابتدا نمونه‌برداری از منابع رسوب مشخص شده بسته به هدف مطالعه انجام می‌شود و سپس نمونه‌برداری لازم از رسوبات رسیده به خروجی حوضه و یا هر نقطه‌ی هدف دیگر انجام می‌پذیرد. به‌عنوان مثال اگر هدف تعیین توزیع زمانی سهم منابع رسوب باشد؛ در زمان‌های مختلف، قبل و بعد از بارندگی نمونه‌برداری‌هایی صورت می‌گیرد تا سهم رسوب تولیدی هر بخش از حوضه در واکنش به وقایع بارندگی و قبل از آن سنجیده شود. حال آن‌که برای تعیین سهم متوسط منابع تولید رسوب، نمونه‌برداری از پشت سدها یا بندهای ذخیره‌ای و یا مصب رودخانه‌ها کفایت می‌کند. اشتباه در تعریف صحیح منابع تولید رسوب، تغییرات شیمیایی ردیاب‌ها در مسیر انتقال و گذر زمان، انتقال انتخابی بر اساس اندازه‌ی ذرات منابع مختلف رسوب و فرض خطی بودن انتقال ردیاب‌ها از مواد منبع به پایین‌دست آبخیز از مواردی هستند که استفاده از رویکرد منشأیابی رسوبات آبی با استفاده از فن انگشت‌نگاری رسوب را با چالش روبرو می‌کنند و سبب برخی عدم قطعیت‌ها در نتایج حاصل می‌شوند. یکی دیگر از موانع استفاده از روش انگشت‌نگاری رسوب، نیازمندی این روش به تجهیزات و امکانات آزمایشگاهی گرانقیمت است که البته این مشکل عموماً متوجه کشورهای در حال توسعه مانند ایران می‌باشد که با محدودیت‌های مالی و امکاناتی نسبی مواجه هستند [۲۰].

باز حرکت رسوب

مفهوم و پدیده‌ی باز حرکت رسوب فرآیندی ثانویه است که پس از رسوب‌گذاری و از ذخیره‌ی رسوبی اتفاق می‌افتد؛ به‌طوری‌که بخشی از رسوب تله‌اندازی شده در طول مسیر انتقال، مناطق بالادست آبراهه‌ی اصلی و مناطق دامنه‌ای، مجدداً وارد چرخه‌ی حرکت و انتقال می‌شود [۲۴]. بنابراین می‌توان گفت که با تکامل

فرآیندهای حرکت و کنش خاک، انتقال، تله‌اندازی رسوب در طول مسیر (ذخیره رسوبی) و ترسیب رسوب، مرحله‌ی اول فرآیندهای مذکور کامل می‌شود. در مرحله‌ی دوم، فرآیندهای یاد شده، با فراهم‌آوری رسوب از باز حرکت مواد رسوبی ذخیره یا ته‌نشین شده، مجدداً آغاز می‌شوند. این مرحله در حقیقت آغاز باز توزیع رسوب می‌باشد، بنابراین باز حرکت مواد رسوبی را می‌توان مرحله‌ای آغازین از باز توزیع رسوب دانست.

باز توزیع رسوب

باز توزیع رسوب به‌نوعی مشابه با مفهوم توزیع رسوب است با این تفاوت که در فرآیند باز توزیع، رسوب ذخیره و تله‌اندازی شده در فرآیندهای باز حرکت، انتقال و ترسیب رسوب نقش ایفا می‌کند و در واقع رسوب ذخیره و نرسیده به خروجی آبخیز است که به‌عنوان خاک فرسایش یافته^۲ دچار فرآیندهای باز حرکت، انتقال و توزیع مجدد می‌شود [۳ و ۱۶]. بنابراین به کل فرآیند باز حرکت، انتقال، ترسیب و حتی ذخیره‌ی رسوب مجدد، پدیده‌ی باز توزیع رسوب می‌گویند. از آنجایی که فرسایش خاک و رسوب و باز توزیع آن پیامدهای مستقیمی بر منابع خاکی و آبی دارند و انتقال و جابه‌جایی خاک، رسوب و آب عمیقاً با هم مرتبط هستند، بنابراین اجرای راهکارهای جامع حفاظت این منابع مورد نیاز جدی است که خود با شناخت رفتار این فرآیندها میسر خواهد بود. حال از آنجایی که برنامه‌های مدیریتی در مورد فرسایش خاک و باز توزیع رسوب در سه دسته‌ی کلی مهار منبع رسوبی (شامل استفاده از فناوری‌ها و روش‌های حفاظت خاک و یا کاهش سرعت جریان رواناب)، مهار مسیرهای رسوبی و تحویل رسوب به رسوب‌گیرها (مانند استفاده از موانع برای اخذ و نگهداری رسوب) و درمان در مخازن رسوبی (لایروبی و تخلیه‌ی مواد رسوبی) قرار می‌گیرند [۱۶] لذا موارد دوم و تا حدی سوم مخصوص مهار مواد دخیل در آغاز فرآیند باز توزیع رسوب می‌باشد.

بیان رسوب

بیان رسوب نیز چارچوب ارزشمندی از جزئیات مربوط به جابه‌جایی و تحویل رسوب برای مهار فرسایش خاک و مدیریت رسوب بر اساس شناسایی منابع کلیدی و اصلی تولید و ذخیره‌ی رسوب، مشکلات مرتبط با آن و نحوه‌ی تاثیر اقدامات مدیریتی بالادست حوضه بر رسوب خروجی پایین‌دست را فراهم می‌کند. بر اساس مفهوم تعادل کلی منابع، مخازن و خروجی‌های رسوب، بیان رسوب وسیله‌ای برای پاسخ جامع به درک روابط و اثرات متقابل جابه‌جایی، انتقال، ذخیره و تحویل رسوب می‌باشد [۱۶، ۲۰ و ۲۲]. بیان رسوب در حقیقت ارزیابی کمی از تولید رسوب و حرکت آن در واحدی از سیمای سرزمین^۳ است. این ارزیابی شامل

2. Eroded soil material
3. Landscape

1. Composite Fingerprinting

تعیین بخش‌های فرسایش و ذخیره مانند منابع و مخازن رسوب، فرآیندهای انتقال و تحویل رسوب شامل اتصال^۱ و نقل و انتقال رسوبات رودخانه‌ای و ارتباطات بین موارد گفته شده می‌باشد. به عبارتی ساده شده، بیان رسوب بیانی صورت حساب گونه از همه‌ی رسوبات ورودی، خروجی و ذخیره شده در یک واحد سیمای سرزمین یا معمولاً در مقیاس حوزه‌های آبخیز تعریف شده است [۵، ۱۱ و ۱۷]. از آنجایی که این مفهوم بیش‌تر در تهیه‌ی اطلاعات لازم برای فهم و تفسیر حرکت، تحویل، ذخیره و خروج رسوبات ریزدانه به‌کار می‌رود، لذا به‌عنوان وسیله‌ای قابل فهم برای بیان ارتباط بین فرسایش بالادست حوضه و بار رسوبی پایین‌دست آن و نقش ذخیره‌ی رسوبی به‌عنوان حلقه‌ی واسطه بین این دو تلقی می‌شود. در رابطه با بررسی بیان رسوب در سطح آزمایشگاهی در داخل کشور می‌توان به مطالعه‌ی خالدی درویشان [۱۲] اشاره کرد که میزان هدررفت خاک و خروج رسوب در فرسایش بین‌شیاری در کرت‌های یک در شش متر در شدت‌های بارندگی ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر در ساعت و در رطوبت‌های پیشین ۱۲، ۱۹، ۲۹، ۳۶ و ۴۴ درصد حجمی خاک برای هر سطح از شدت بارندگی را بررسی کرد. به‌صورت کلی نتایج ایشان نشان داد که مقدار متوسط ته‌نشست رسوب در شرایط متوسط رطوبتی خاک داخل کرت ۹۲، ۹۱، ۸۸ و ۸۴ درصد به‌ترتیب در شدت‌های بارندگی ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر در ساعت بوده است. این نتایج با اغماض از جزئیات مترتب بر آن‌ها، بیان‌گر اهمیت اجزای تشکیل‌دهنده‌ی بیان رسوب در بررسی آن می‌باشد، به‌طوری که در تمام موارد، رسوب خروجی بخش بسیار کمی از خاک حرکت یافته را تشکیل داده است و بخش قابل توجهی در داخل کرت‌ها به‌عنوان ذخیره‌ی رسوبی باقی‌مانده است. رسوب باقی‌مانده در سطح کرت در وقایع بعدی بارش می‌تواند در فرآیند بازتوزیع وارد چرخه‌ی انتقال و ترسیب مجدد شود که آگاهی از چگونگی رفتار آن نیازمند پژوهش‌های بیش‌تر و تعمیم نتایج آن به سطوح حوزه‌های آبخیز برای شبیه‌سازی درست رفتار تولید رسوب و بیان آن می‌باشد.

آبشار رسوبی

مفهوم آبشار رسوبی در واقع فرآیند انتقال رسوب در منابع مختلف سامانه‌های رودخانه‌ای را شامل می‌شود. به‌طوری که انتقال رسوب تولید شده از منابع تولید رسوب به مخازن رسوب را بیان می‌کند. بعضی از این مخازن رسوب مانند دشت‌های سیلابی و نواحی آبرفتی به‌عنوان مخازن ذخیره‌ی موقت رسوب هستند و می‌توانند به‌عنوان منابع رسوب ثانویه آبشار رسوبی برای مخازن نهایی رسوب مانند دریاچه‌ها، دلتاها، سواحل و مصب‌های رودخانه‌ای و فلات قاره‌ها محسوب شوند. طی سال‌های اخیر مفهوم آبشار رسوبی توجه بسیاری از متخصصان را به خود جلب کرده است به‌طوری که در این مورد می‌توان بررسی تاریخی حوضه‌های رسوبی و نهشته‌های

کواترنری از نظر زمین‌شناسان، بررسی نحوه‌ی انتقال آلودگی‌ها از نظر متخصصین علوم محیطی و مطالعه‌ی آبشار رسوبی آبخیزهای کوچک در مقیاس‌های زمانی کوتاه توسط ژئومورفولوژیست‌ها را نام برد. بر همین اساس موارد منجر به ورود رسوب به فرآیند آبشار رسوبی و مطرح شدن یک پدیده به‌عنوان آبشار رسوبی را می‌توان لغزش‌ها و ریزش‌های سنگی، مخروط‌های واریزه‌ای، مخروط افکنه‌ها، مخازن یا ذخیره‌های رسوبی در کمربندهای کوهستانی، کوه‌ها و مناطق فعال از نظر تکتونیکی، فرسایش آبکندی و تغییرات کاربری نام برد. به‌عنوان مثال تغییرات کاربری تأثیر زیادی در تشدید فرسایش و ایجاد آبشار رسوبی دارد و مطرح شدن پدیده‌های فرسایشی مانند آبکند و شیار به‌عنوان آبشار رسوبی را سبب می‌شود. رسوبات ریزدانه و معلق نیز بخش مهمی از فرآیند آبشار رسوبی هستند که با توجه به اهمیت آن‌ها در انتقال مواد غذایی و آلودگی‌ها می‌توانند در مقیاس نقطه‌ای یا مقطع یک رودخانه و یا در مقیاس یک آبخیز بزرگ مورد مطالعه قرار بگیرند [۲]. آبشار رسوبات معلق یا ریزدانه می‌تواند حتی سواحل اقیانوسی و یا حوزه‌های آبخیز با اندازه‌های کوچک تا بزرگ را در بر گیرد. به‌طور کلی از نظر مدیریت رسوب، هر بخش از آبخیز که در آن فرآیندهای مربوط به تولید و انتقال رسوب فعال باشد می‌تواند به‌عنوان آبشار رسوبی مطرح شود.

جمع‌بندی

برای رسیدن به درکی جامع و همه‌جانبه از وضعیت رسوب‌دهی و مدیریت رسوب حوزه‌های آبخیز و تعیین بیان رسوب باید همه‌ی فرآیندهای دخیل در تولید، انتقال و ترسیب رسوب مورد بررسی قرار گیرند. یکی از این فرآیندهای مهم ذخیره‌ی رسوبی و حجم رسوبی مربوط به آن است که در کشور توجه چندانی به آن نشده است. همان‌گونه که بیان شد ذخیره‌ی رسوبی به حدی مهم است که بعضاً مقداری برابر یا بیش‌تر از رسوب خروجی در مقیاس خاصی مانند واقعه‌ی بارندگی یا دوره‌ی زمانی خاصی چون ماه و فصل را به خود اختصاص می‌دهد. از طرفی با فهم تغییرات مکانی و زمانی ذخیره‌ی رسوبی می‌توان زمان‌های اوج شار رسوبی متناسب با دبی‌های زیاد و سیلابی را برای مدیریت سازه‌ها و به‌طور کلی مدیریت رسوب مدنظر قرار داد. در بیش‌تر آبخیزها رسوب زمان قابل توجهی را به‌صورت ذخیره سپری می‌کند و همین امر سبب کاهش تحویل رسوب از خروجی می‌شود ولی دبی و شرایط خاصی ممکن است رسوب ذخیره شده را در زمان و مکان خاصی مجبور به حرکت مجدد کند که از نگاه مدیریتی فهم و درک آن بسیار حیاتی خواهد بود.

به‌طور کلی بررسی ذخیره‌ی رسوبی از نظر شبیه‌سازی رفتار رسوبی حوزه‌های آبخیز مهم است زیرا ذخیره‌ی رسوبی سهم بسیار بالایی در فرآیندهای فرسایش و رسوب را شامل می‌شود. از سویی تغییرات مکانی و زمانی آن نیز در مقیاس ماهانه و سالانه به‌شدت متغیر است که درک صحیح از این مفاهیم و فرآیندها منجر به مدیریت صحیح

Estuarine, Coastal and Shelf Science, 47: 513-522.

7- Ferro, V. and Minacapilli, M. (1995). Sediment delivery processes at basin scale. Hydrological Sciences Journal, 40:703-717.

8- Florsheim, J.L., Pellerin, B.A., Oh, N.H., Ohara, N., Bachand, P.A. M., Bachand, S.M., Bergamaschi, B.A., Hernes, P.J. and Kavvas, M.L. (2011). From deposition to erosion: Spatial and temporal variability of sediment sources, storage, and transport in a small agricultural watershed. Geomorphology, 132(3-4): 272-286.

9- Franz, C., Makeschin, F., Weiß, H. and Lorz, C. (2014). Sediments in urban river basins: Identification of sediment sources within the Lago Paranoá catchment, Brasilia DF, Brazil - using the fingerprint approach. The Science of the Total Environment, 466-467: 513-23.

10- Fryirs, K. (2013). (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. Earth Surface Processes and Landforms, 38(1), 30-46.

11- Griensven, A. Van, Popescu, I., Abdelhamid, M. R., Marco, P., Beevers, L. and Betrie, G.D. (2013). Comparison of sediment transport computations using hydrodynamic versus hydrologic models in the Simiyu River in Tanzania. Physics and Chemistry of the Earth, 61-62: 12-21.

12- Khaledi Darvishan, A.V. (2013). Simulation of Runoff Generation and Soil Erosion Processes in Different Antecedent Soil Moisture Contents (PhD thesis, Tarbiat Modares University, in Persian).

13- Lopez-Tarazon, J.A., Batalla, R.J., Vericat, D. and Francke, T. (2012). The sediment budget of a highly dynamic mesoscale catchment: The River Isabena, Geomorphology, 138: 15-28.

14- Taleb Bidokhti, N., Shahoe, S., Behnia, A., Behboodi, F., Sadeghi, S.H.R., Malek, A. and Sharifi, F. (2003). A Glossary on Soil Erosion and Sediment, National Committee of Soil Erosion and Sediment, Associated with National Committee of Hydrology (UNESCO), pp 386 (In Persian).

سامانه بر اساس کنترل و تولید رسوب خواهد شد. به عنوان مثال در بعضی از کشورها با وجود اقدامات برای کاهش رسوب در بالادست آبخیزها، در چند سال اول به دلیل وجود رسوب ذخیره در سامانه رودخانه‌ها، انتقال رسوب هم‌چنان با شدت قبلی و بلکه بیش‌تر ادامه خواهد داشت. در این صورت مدیر آبخیز با اشراف به تولید این رسوب از ذخیره‌ی رسوبی آبراهه‌ها و به عبارتی شبیه‌سازی صحیح از رفتار سامانه به دلیل شناخت صحیح خصوصیات آن، قادر به توجیه آبخیزنشینان شرکت کننده و سرمایه‌گذاران در راستای تداوم اقدامات و اختصاص اعتبارات بیش‌تر خواهد شد. بدیهی است تسلط کامل بر مفاهیم و موضوعات مربوط به فرآیندهای تولید رسوب در سطح حوزه‌های آبخیز زمینه‌ساز درک بیش‌تر و جامع‌تر مسائل جاری در آبخیزها شده و زمینه‌های مدیریت صحیح منابع آب و خاک و افزایش بازدهی سرمایه‌گذاری‌ها را فراهم می‌کند. در همین راستا انجام مطالعات تکمیلی، توسعه‌ی مفاهیم مزبور به سطوح کارشناسی و حتی آموزش و پژوهش و تلاش در کاربرد عملی آن‌ها در برخی آبخیزهای نمونه‌ی کشور و جهت‌دهی مناسب برنامه‌ریزی‌ها در این خصوص از پیشنهادهای مشخص بررسی حاضر می‌باشد.

منابع

1- Alekseevskiy, N.I., Berkovich, K.M. and Chalov, R.S. (2009). Erosion, sediment transportation and accumulation in rivers, 23(2), 93-105.

2- Burt, T.P., Allison, R.G. (2010). Sediment Cascades: An Integrated Approach, John Wiley & Sons, 482 pp.

3- Collins, A. J., & Owens, P. N. (2006). Introduction to soil erosion and sediment redistribution in river catchments: measurement, modelling and management in the 21st century. Soil erosion and sediment redistribution in river catchments: measurement, modelling and management, 3-9.

4- Hickin E.J. (1995). Rive Geomorphology, Wiley, 255 p.

5- Estrany, J., Garcia, C., Walling, D. E. and Ferrer, L. (2011). Fluxes and storage of fine-grained sediment and associated contaminants in the Na Borges River (Mallorca, Spain). Catena, 87(3): 291-305.

6- Eyre, B., Hossain, S. and Mckee, L. (1998). A Suspended Sediment Budget for the Modified Subtropical Brisbane River Estuary, Australia,

- 23- Wallbrink, P.J., Murray A.S. and Olley J.M. (1998). Determining sources and transit times of suspended sediment in the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia, using fallout Cs137 and Pb210, *Water Resources Research*, 34: 879-887.
- 24- Walling, D.E., (1983). The sediment delivery problem. *Journal of Hydrology* 65: 209-237.
- 25- Walling, D.E. and Collins, A.L. (2008). The catchment sediment budget as a management Tool, *Environmental Science & Policy*, 2: 136-143.
- 26- Walling, D.E. Wilkinson, S.N. and Horowitz, A.J. (2011). Catchment Erosion , Sediment Delivery , and Sediment Quality. In: P. Wilderer (Editor), *Treatise on Water Science*. Oxford: Academic Press, pp. 305-338.
- 27- Walling, D.E., Collins, A.L., Jones, P. a., Leeks, G. J. L. and Old, G. (2006). Establishing fine-grained sediment budgets for the Pang and Lambourn LOCAR catchments, UK. *Journal of Hydrology*, 330: 126-141.
- 28- Williams, J.R. (1977). Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. In: *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters*, IAHS-AISH, Publ. No. 122: 168-179.
- 29- Zakeri, M.A. (2013). Temporal Variability of Wash and Bed Material Loads in Kojour River (Master Thesis of Tarbiat Modares University, In Persian).
- 15- Notebaert, B., Verstraeten, G., Govers, G. and Poesen, J. (2010). Catena Quantification of alluvial sediment storage in contrasting environments: Methodology and error estimation. *Catena*, 82(3): 169-182.
- 16- Owens, P.N. and Collins, A.J. (2006). Soil erosion and sediment redistribution in river catchments: Measurement, modelling and management. CAB International, Wallingford, pp. 328.
- 17- Puigdefabregas, J., Sole, A., Gutierrez, L., Barrio, G. and Boer, M. (1999). Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. *Earth-Science Reviews*, 48: 39-70.
- 18- Roehl, J.W. (1962). Sediment source areas, delivery ratios, and influencing morphological factors. Presented at IAHS Symposium on Land Resources, October. 1962. *Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ.* 59.
- 19- Sadeghi, S.H.R. 2010. Study and measurement of water erosion. Tarbiat Modares University Press, pp 199 (in Persian).
- 20- Sadeghi, S.H.R. and Najafi, S. (2015): Source Ascription for Fluvial Sediments in Watersheds (Concepts, Methods & New Technologies), Technology Development Council of Water, Drought Erosion and Environment, Iranian Student Book Agency, pp 256 (in Persian).
- 21- Slaymaker, O. (2003). The sediment budget as conceptual framework and management tool. *Hydrobiologia*, 494: 71-82.
- 22- Smith, H.G. and Dragovich, D. (2008). Geomorphology Sediment budget analysis of slope-channel coupling and in-channel sediment storage in an upland catchment, southeastern Australia, 101: 643-654.

**Abstract****Aaalysis of Governing Concepts Water Erosion, Sediment Yield and Transportation Processes in the Watersheds**Saeed Najafi¹ and Seyed Hamidreza Sadeghi²

Received: 2015/05/16 Accepted: 2016/04/08

Sediments are defined as loose particles of sand, clay, silt and other substances which are transported by water and finally deposited at the downstream of the watersheds water bodies. Sediments cover a wide range of diameters of transported particles. However, fine suspended sediments have been considered well due to their signifact relationship with transport of nutrients, tracers, heavy metals and other pollutants through river systems. Accordingly, undrestanding dominant processes of suspended sediment transportation in a watershed and authentic perception from the important related concepts such as sediment mobilization, sediment remobilization, sediment yield, sediment storage, sediment deposition, sediment redistribution, sediment budget and sediment cascades lead to handle problems of sediment associated pollutions and sediment management programmes. To this end, the present article tried to achieve the same appropriate undrestanding of aforesaid concepts and their processes importance and recall the importanc of holistic simulation of watersheds behavior in context of sediment management.

Keywords: *Comperhesive Watershed management, Fluvial systems, Sediment Modeling, Sediment Sink/Source, Sediment transportation*

1. PhD Student, Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor 46417-76489, Iran. e-mail: najafisaid65@yahoo.com

2. Professor (Corresponding Author), Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor 46417-76489, Iran. e-mail: sadeghi@modares.ac.ir