

بررسی نسبت تحویل رسوب (SDR) در حوضه رودخانه جاجرود

صیاد اصغری سراسکانرود - استادیار جغرافیا، دانشگاه ارومیه
مهدی فیض‌ا... پور - دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز
وحید محمدنژاد آروق* - استادیار جغرافیا، دانشگاه ارومیه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۴/۱۳

چکیده

پژوهش پیش رو، تحلیل علمی و تکنیکی از بررسی مدل‌های موجود و نتایج حاصل از آن در تعیین متوسط تحویل رسوب در دوره زمانی بلندمدت برای حوضه‌های متوسط‌مقیاس، واقع در حوضه رودخانه جاجرود به منظور تعیین مناسب‌ترین مدل برای برآورد نسبت تحویل رسوب در زیرحوضه‌های این رودخانه است. برای بررسی متوسط تحویل رسوب در دوره زمانی بلندمدت، به داده‌های آماری بارندگی و پارامترهای حوضه نیازمندیم. شاخص SDR شاخصی برای اندازه‌گیری واکنش حوضه به میزان فرسایش بالادست است. در این نوشتار از هفت مدل ونانی، سرویس حفاظت خاک آمریکا، مانرو و رنفرو، ویلیام و برنت، روتل و ویلیامز برای برآورد نسبت تحویل رسوب SDR استفاده شده است. در اکثر این مدل‌ها به پارامترهای مساحت، نسبت R/L، طول آبراهه اصلی و شیب حوضه برای محاسبه SDR از طریق روابط ارائه شده برای هر مدل نیاز است. مقادیر حاصل از این روابط برای تعیین بهترین مدل در تخمین نسبت تحویل رسوب با SDR واقعی مقایسه شده و مقادیر حاصل از تفاضل SDR واقعی و پیش‌بینی شده با توجه به کمترین میزان اختلاف، مدل مطلوب را معرفی می‌کند. نتایج بررسی مدل‌های مذکور نشان می‌دهد که از هفت زیرحوضه مطالعه شده، در چهار زیرحوضه فشم، میگون، امامه و افجه، مدل مانرو و رنفرو مطلوب‌ترین نتیجه را در برداشته است و در دو زیرحوضه آهار و کند، مدل روتل به نتیجه مطلوب دست‌یافته و تنها در زیرحوضه لوارک، مدل رنفرو مطلوب‌ترین نتیجه را در برآورد نسبت تحویل رسوب داشته است.

کلیدواژه‌ها: حوضه رودخانه جاجرود، مدل‌سازی، مقدار واقعی و پیش‌بینی‌کننده، نسبت تحویل رسوب.

مقدمه

کنترل مؤثر انتقال بار رسوب، جزء مهمی در مدیریت منابع طبیعی است. اطلاعات مربوط به تحویل رسوب در شناخت منبع و میزان تحویل رسوبات مفید بوده و برای مدل‌سازان اهمیت بسیاری دارد. از سوی دیگر، درک عوامل مؤثر بر فرسایش سطحی و فرایندهای مورفولوژیکی حوضه‌های آبریز، برای برآورد و پیش‌بینی رسوب ضروری است (Pak & Lee, 2012). موارد فوق در تدوین راهبردهای مربوط به کنترل فرسایش، برنامه‌ریزی سکونتگاه‌ها و دسترسی به مناطقی که در طولانی‌مدت پایدار هستند، مؤثر خواهد بود (Hajkowicz, et al, 2005). در حوضه‌های وسیع، اندازه‌گیری بار رسوبات به صورت پراکنده انجام می‌گیرد و اکثر زیرحوضه‌ها اندازه‌گیری نشده‌اند. بار رسوبی می‌تواند به صورت بارهای معلق در ستون آب و همچنین بارهای بستری تقسیم شود (Pelletier, 2012)، ضمن اینکه معمولاً در حوضه‌های وسیع، جمع‌آوری داده‌ها و احداث ایستگاه‌های رسوب‌سنجی با مشکلات فراوانی همراه است (Alatorre, et al, 2012). بنابراین در این مقیاس‌ها، مدل‌سازی مؤثرترین روش در تهیه اطلاعات ویژه برای تصمیم‌گیری‌های مدیریت محیطی به‌شمار می‌رود. مشاهدات نشان می‌دهد که برداشت رسوب از حوضه، به نسبت بزرگی، کمتر از میزان فرسایش خاک اندازه‌گیری شده از دامنه تپه‌ها است (Edwards, 1993). این امر نشان می‌دهد که بیشتر رسوب‌ها فقط فاصله کوتاهی را پیموده و سپس بر جای گذاشته می‌شوند (Parsons and Stromberg, 1998).

مدل‌سازی فرسایش خاک از طریق معادله جهانی خاک (USLE)، (Wischmeier and Smith, 1978)، میزان فرسایش خاک را در قطعات مشخص اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. بنابراین میزان فرسایش برآورد شده به وسیله USLE، بیشتر از آن چیزی است که در خروجی حوضه به دست می‌آید. نسبت تحویل رسوب SDR^۱ برای اصلاح میزان کاهش یافته فوق مورد استفاده قرار می‌گیرد. نسبت فوق، کسری از فرسایش ناخالصی است که از حوضه در فاصله زمانی مشخص انتقال یافته است و به‌طور قراردادی به صورت رابطه ۱ نشان داده می‌شود:

$$SDR = \frac{Y}{E} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه Y متوسط بار رسوبی سالانه در واحد سطح بوده و E متوسط فرسایش سالانه در واحد سطح است (Wallind, 1983, Richards, 1993).

رابطه ۱ فقط زمانی کاربرد دارد که Y میانگین برداشت سالانه رسوب در واحد سطح حاصل فرسایش شیاری و صفحه‌ای باشد؛ زیرا SDR در تفسیر انتقال رسوبات در نتیجه فرسایش ناخالص بالادست مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش برداشت رسوب از دیگر انواع فرسایش، مانند فرسایش گالی با موانعی روبه‌رو است. علت مشکل فوق در نظر نگرفتن متغیرهای رابطه ۱ است. براساس این تعریف، داده‌های حاصل از SDR در محدوده بین صفر تا یک قرار می‌گیرد که این داده‌ها، نشان‌دهنده طیفی از اتلاف رسوب‌ها در مواقع وقوع سیلاب تا ذخیره آنها در قسمت‌های خاص است. در اصل فرایند فوق یک عامل درجه‌بندی و مقیاس‌دهی است که مرتبط با رسوب‌های در دسترس و همچنین نهشته‌گذاری در شرایط مختلف است (Lane, 1997).

معیارهای تأثیرگذار در SDR شامل بارندگی، خصوصیات چشم‌انداز (پوشش گیاهی، توپوگرافی و خصوصیات خاک) و روابط میان آنها است. تشخیص روابط فوق مشکل بوده و از یک حوضه به حوضه دیگری متفاوت است. در نتیجه مطالعه روی SDR وابسته به روابط تجربی است. روشی که به‌طور گسترده در برآورد SDR استفاده می‌شود، بر پایه رابطه ۲ است:

$$SDR = \alpha A^{\beta} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه، A مساحت حوضه به کیلومتر مربع و α و β پارامترهای تجربی هستند. توان β نیز نمایشگر اطلاعات فیزیکی کلیدی در مورد فرایند حمل رسوبات حوضه بوده و نزدیک‌ترین رابطه را با فرایندهای بارندگی - رواناب دارد. بررسی‌های رگرسیونی نشان می‌دهد که توان β در محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۲۵ واقع شده و میزان SDR با مساحت حوضه کاهش می‌یابد.

داده‌های میدانی نشان می‌دهد که روابط بین SDR و تغییرات مساحت حوضه، در حوضه‌های مختلف واقع شده در سراسر جهان متفاوت است. با وجود این روابط تجربی فوق می‌تواند همراه‌کننده باشد. برای هر مساحتی از حوضه، SDR تجربی خاصی به دست می‌آید. در واقع نسبت تحویل رسوب، نمی‌تواند تنها به سطح زهکشی وابسته باشد. در این میان توپوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و شرایط کاربری که همه ارتباط نزدیکی با فرایندهای هیدرولوژیکی دارند نیز، مؤثر هستند. برای مثال، میزان SDR که از داده‌های تجربی حوضه جاجرود به دست آمده است، به دلیل تغییراتی که در این عوامل ایجاد می‌شود، دستخوش تغییر قرار می‌گیرد.

ناتوانی در برقراری ارتباط بین SDR و متغیرهای محیطی - اقلیمی، در استفاده از رابطه ۲ محدودیت ایجاد می‌کند. بنابراین سایر روابط تجربی بین SDR با متغیرهای فیزیوگرافی، داده‌هایی را ارائه می‌دهد که روابط بین این عوامل را محدود کرده و فقط برای محل‌های معینی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش متداول SDR، اغلب به داده‌های استخراجی وابسته است. برای تهیه این داده‌ها به وجود دوره طولانی اندازه‌گیری از برداشت رسوب در ایستگاه‌های واقع در جویبارها و برآورد فرسایش دامنه‌ها نیاز است. با وجود این، در بسیاری از حوضه‌ها برای انجام تحلیل‌های لازم، داده‌های کمی از برداشت رسوبات حوضه در دسترس است. اغلب، هر چقدر حوضه زهکشی بزرگتر باشد، واکنش حوضه به تغییرات بالادست رودخانه، بلندمدت‌تر از اندازه‌گیری‌های مقطعی است. به علاوه روش مبتنی بر تحلیل اندازه‌گیری برداشت رسوبات، نمی‌تواند عوامل تأثیرگذار را نسبت به سایر عوامل مولد فرسایش جداگانه بررسی کند که در نتیجه داده‌های استخراج شده از SDR می‌تواند همراه‌کننده باشد.

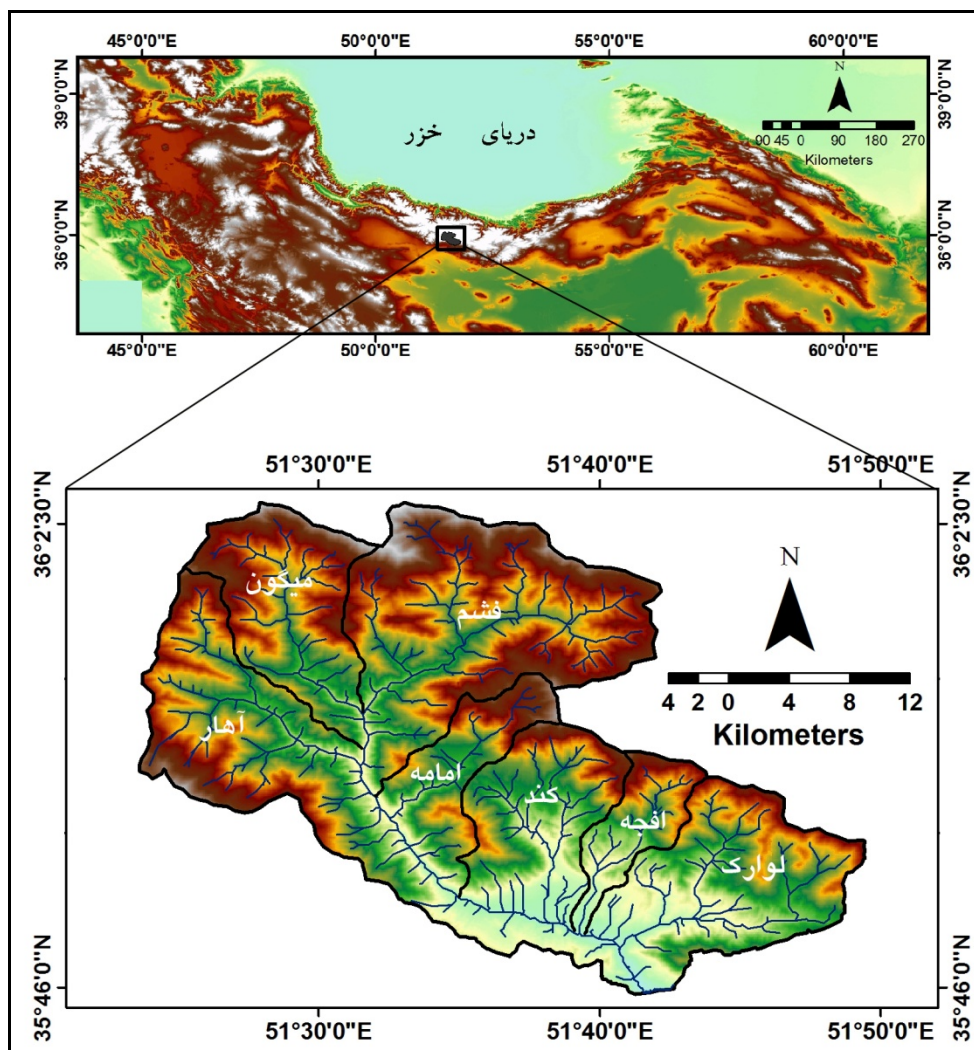
با توجه به پیچیده بودن میزان تحویل رسوب، اغلب روش‌های تعیین نسبت حمل و تحویل رسوب، بر پایه داده‌های محدود قابل اندازه‌گیری پایه‌گذاری شده‌اند؛ اما استفاده از چنین مدل‌هایی نیز، گاهی برآورد دقیق و قابل اطمینانی از نسبت تحویل رسوب با استفاده از تنها یک مدل، یا مدل‌های مبتنی بر یک عامل در مقیاس حوضه آبخیز به دست نمی‌دهد. هرچند تا کنون مدل‌های متعددی براساس عواملی چون شیب، مساحت و داده‌های هیدرولوژیکی برای برآورد نسبت تحویل رسوب ابداع شده است، اما چنین مدل‌هایی نیز محاسن و معایب خاص خود را دارند (Prosser and et al,

2001). بنابراین برآورد واقعی نسبت تحویل رسوب، زمانی امکان‌پذیر خواهد بود که مدل برآورد نسبت تحویل رسوب، همه عوامل مؤثر در ایجاد و تولید رسوب در یک حوضه را در نظر بگیرد. علاوه بر این، باید توجه داشت که امکان تعیین مقادیر کمی برای تمام عوامل مؤثر در تحویل رسوب در یک حوضه آبخیز، شدنی نیست. بنابراین در چنین مواردی باید وضعیت کیفی آنها بیان شود (همیشگی، ۱۳۸۵). با توجه به موارد گفته شده، برآورد واقعی نسبت تحویل رسوب بسیار مشکل بوده و در اغلب موارد به خاطر عوامل کنترلی متعدد امکان‌پذیر نیست.

روش‌های دیگری که برای پیش‌بینی تحویل رسوب و نهشته‌گذاری مدنظر قرار گرفته‌اند، مبتنی بر ظرفیت حمل رسوب بوده و نیازی نیست که SDR به دست آورده شود. گرچه اساس این روش‌ها بر فهم خصوصیات فیزیکی فرایند انتقال رسوب قرار دارد، اما استفاده از مدل‌های دیجیتالی (DEM) نیز برای بررسی جریان‌ها و رسوب‌ها، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. همچنین برای اندازه‌گیری متغیرهایی چون ضریب ظرفیت حمل رسوب، به جزئیات حمل رسوب یا داده‌های حاصل از رواناب تکیه شده است. برای کاربردهای بزرگ‌مقیاس، روش‌های فوق با دسترسی به ورودی‌های مدل و پارامترها محدود شده‌اند. پژوهش پیش رو، به بررسی و مدل‌سازی بلندمدت میانگین نسبت تحویل رسوب در تمام حوضه‌های رودخانه جاجرود می‌پردازد.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز جاجرود در شمال شرقی شهرستان تهران، بین طول ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی واقع شده است. حوضه کلی آبخیز جاجرود با مساحتی ۱۸۹۰ کیلومتر مربع از مناطق حفاظت‌شده سازمان حفاظت محیط زیست بوده و در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز مرکزی قرار گرفته است. از این مساحت، حدود ۷۱۰ کیلومتر مربع در بالادست سد لتیان و ۱۱۸۰ کیلومتر مربع در پایین دست سد لتیان واقع شده است. رودخانه جاجرود یکی از اصلی‌ترین رودخانه‌های تغذیه‌کننده سد لتیان و از رودهای مهم و حیاتی استان تهران است که از چشمه‌های متعدد و ارتفاعات خرسنگ، جانستون، سرکچال، دیزین، آهار، شکرآب، گرمابدره و چندین ارتفاع دیگر سرچشمه گرفته و از به هم پیوستن رودهای فشم، اوشان، لوارک، افجه و کندرود، شاخه اصلی جاجرود را تشکیل می‌دهد که این شاخه اصلی ۴۰ کیلومتر طول دارد. انتهای رودخانه در محل سرخه‌حصار، در جنوب شرقی تهران تقسیم می‌شود و در نهرهای حقابه جای گرفته و به مصرف آبیاری دشت ورامین می‌رسد. میانگین بارندگی در بخش‌های جنوبی حدود ۲۰۰ و در ارتفاعات شمالی حدود ۸۰۰ میلی‌متر است. در دوره پربابی و مواقع سیلابی، آب مازاد بر احتیاج از طریق مسیل شریف‌آباد به سمت کویر هدایت می‌شود. با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی حوضه رودخانه جاجرود، مقادیر آبدی در شاخه‌های اصلی و فرعی آن متغیر بوده، به علاوه با تغییر عواملی چون بارندگی، ساختار زمین، توپوگرافی و مصارف منطقه‌ای آب، تفاوت‌های قابل توجهی در آبدی آنها مشاهده می‌شود. شکل ۱ موقعیت حوضه رودخانه جاجرود را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه رودخانه جاجرود

مواد و روش‌ها

مدل‌های مورد استفاده در برآورد نسبت تحویل رسوب SDR

برای محاسبه نسبت تحویل رسوب با استفاده از مدل‌های برآورد نسبت تحویل رسوب، به مقادیر بار رسوبی تولید شده از یک حوضه آبخیز نیاز است. از آنجایی که امکان اندازه‌گیری نسبت تحویل رسوب امکان‌پذیر نیست، ناگزیر برای این امر، از مدل‌هایی بهره گرفته شده است. برای این کار، از یک سری عواملی که در مدل‌ها به کار برده شده، استفاده شده است. در اغلب این مدل‌ها، بایستی مساحت زیرحوضه‌ها (A) به کیلومتر مربع و مایل مربع، نسبت اختلاف ارتفاع (R) به طول آبراهه اصلی (L)، شیب آبراهه اصلی (SLP)، ضریب منحنی (CN) برآورد شود. در جدول ۱ متغیرهای مورد استفاده نشان داده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه جاجرود

ردیف	زیر حوضه	مساحت حوضه km^2	مساحت حوضه mm^2	طول آبراهه اصلی mm	نسبت اختلاف ارتفاع به طول آبراهه اصلی R/L	متوسط شیب حوضه SLP به درصد	اختلاف ارتفاع m
۱	فشم	۱۷۴.۳	۱۰۸.۳	۲۲/۵	۱۰۸.۳	۲۸	۲۰۹۰
۲	آهار	۱۲۰.۸	۷۵.۰۶	۱۷/۵	۷۵.۰۶	۲۶	۱۹۹۷
۳	میگون	۱۲۲	۷۵.۸	۱۸	۷۵.۸	۲۵	۲۲۲۰
۴	لوارک	۱۰۶	۶۵.۸۶	۱۷/۵	۶۵.۸۶	۲۵	۱۶۶۶
۵	امامه	۳۷.۲	۲۳.۱۱	۱۳/۵	۲۳.۱۱	۳۲	۲۰۹۲
۶	کند	۹۳.۳۵	۵۸	۱۴/۵	۵۸	۲۸	۲۲۹۲
۷	افجه	۴۰.۶	۲۵.۲۲	۱۳/۵	۲۵.۱۱	۲۴	۲۱۱۳

در این پژوهش برای برآورد نسبت تحویل رسوب از هفت مدل، رنفرو، ونانی، سرویس حفاظت خاک آمریکا، مانرو و رنفرو، ویلیام و برنت، روئل و ویلیامز استفاده شده است. در جدول ۲ مدل‌های مورد استفاده در محاسبات مربوط به SDR آورده شده است.

جدول ۲. مدل‌های مورد استفاده در محاسبات مربوط به SDR

شماره	مدل	رابطه
۱	رنفرو (۱۹۷۵) ^۱	$\log(SDR) = 1.7935 - 0.14191 \log(A)$
۲	ونانی (۱۹۷۵) ^۲	$SDR = 0.42 A^{-0.25}$
۳	سرویس حفاظت خاک آمریکا	$SDR = 0.417762A^{-0.34598} - 0.127097$
۴	مانفرو و رنفرو (۱۹۷۵) ^۳	$\log SDR = 0.294259 + 0.82362 \log (R/L)$
۵	ویلیام و برنت (۱۹۷۲) ^۴	$SDR = 0.627 SLP^{0.403}$
۶	روئل (۱۹۶۲) ^۵	$\log SDR = 4.5 - 0.23 \log 10 A - 0.51 \log (R/L) - 2.888l$
۷	ویلیامز (۱۹۷۷) ^۶	$SDR = 1.355 \times 10^{-11} (DA^{-0.0998})(ZL^{0.3629})(CN^{5.444})$

منبع: همیشگی (۱۳۸۵)

بعد از محاسبه میزان SDR هر زیر حوضه به وسیله مدل‌های هفت‌گانه، در مرحله بعدی میزان SDR محاسبه شده به وسیله مدل‌ها و SDR واقعی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. مبنای مقایسه در این پژوهش، اختلاف بین SDR

۱. A: مساحت حوضه برحسب کیلومتر مربع

۲. A: مساحت حوضه برحسب مایل مربع

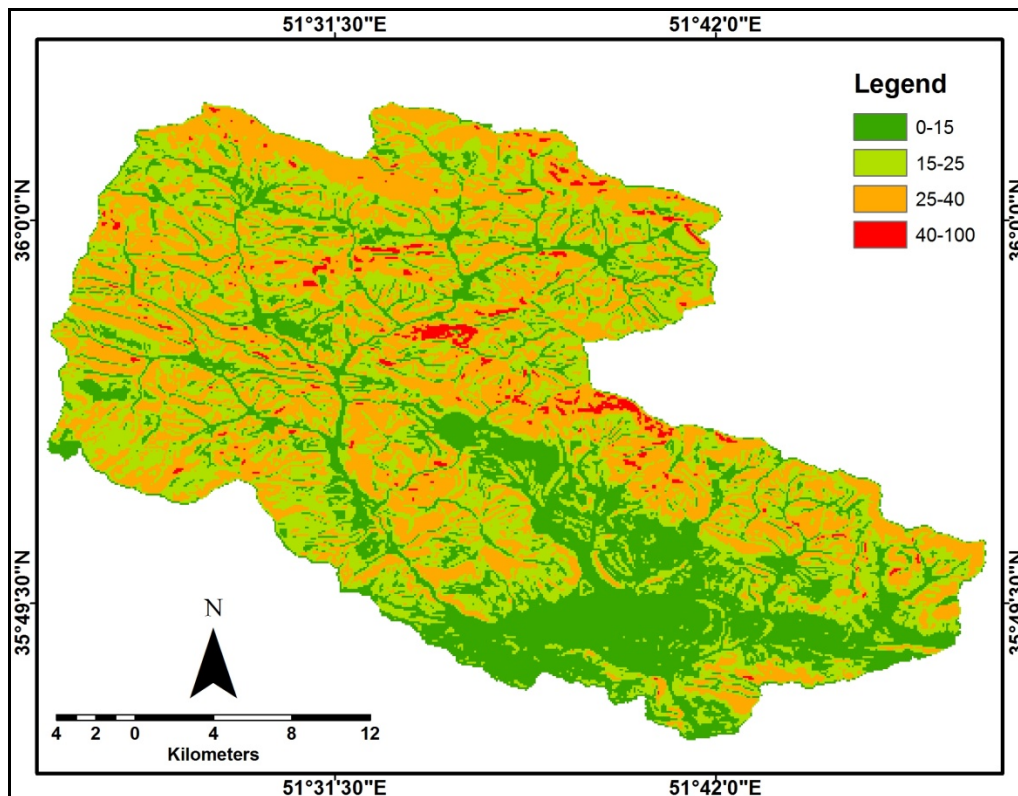
۳. L: طول آبخیز و R: اختلاف ارتفاع بلندترین و کم‌ارتفاع‌ترین نقاط آبخیز

۴. SLP: شیب آبراهه اصلی در حوضه آبخیز مورد نظر برحسب درصد

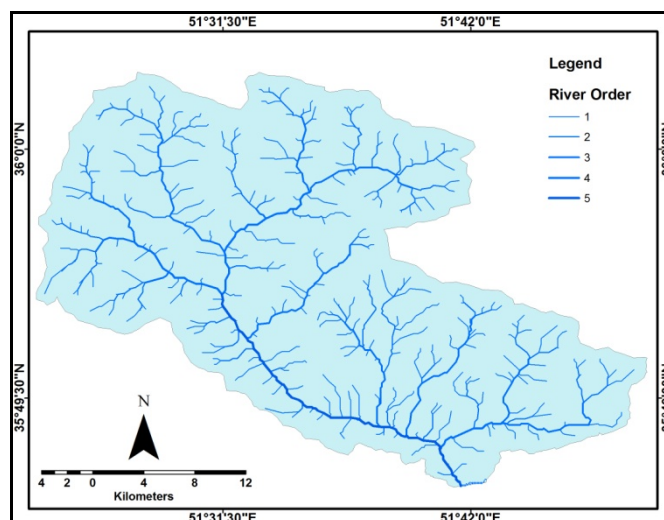
۵. A: مساحت حوضه به مایل مربع و $\frac{R}{L}$: نسبت پستی و بلندی به طول حوضه (مایل بر مایل مربع)

۶. DA: مساحت حوضه آبریز به کیلومتر مربع و ZL: نسبت $\frac{R}{L}$ کیلومتر در کیلومتر مربع و CN ضریب منحنی

واقعی و SDR محاسبه شده است. طبیعی است که مدلی که کمترین میزان خطا را داشته باشد، بهترین مدل در زیرحوضه‌ها انتخاب خواهد شد. از آنجاکه مدل‌های مورد استفاده، متغیرهای مختلف فیزیوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی را مورد استفاده قرار می‌دهند، ممکن است یک مدل در یک حوضه کمترین میزان خطا را داشته باشد، ولی در حوضه دیگری میزان ضریب خطا نسبت بزرگی باشد. در پژوهش حاضر برای از بین بردن این ضعف، مدل‌های مختلفی استفاده می‌شوند که متغیرهای متفاوت اقلیمی، هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی را مورد بررسی قرار داده‌اند، تا هم در بررسی میزان نسبت تحویل رسوب عوامل محدودی مورد نظر قرار نگرفته باشند و هم از همه پتانسیل عوامل مورد نظر به بهترین شکل ممکن استفاده شود. با آگاهی از گفته فوق، بدیهی است که نتایج هر یک از مدل‌ها نسبت به مدل‌های دیگر متفاوت خواهد بود که دلیل آن مربوط به این است که هر یک از مدل‌ها، متغیرهای متفاوت اقلیمی، فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی را مورد استفاده قرار می‌دهند و در این صورت ممکن است یک فاکتور در یک زیر حوضه عامل تعیین‌کننده در محاسبه نسبت تحویل رسوب SDR باشد، در حالی که در زیرحوضه دیگر نقش تعیین‌کننده‌ای نداشته باشد. پژوهش‌های انجام شده این مطلب را به اثبات می‌رساند.



شکل ۲. نقشه طبقات شیب حوضه



شکل ۳. شبکه رودخانه‌ای و رده‌بندی آن

یافته‌های پژوهش

در زیرحوضه فشم، مدل مانرو و رنفرو کمترین میزان خطا (۰/۰۸۸) را داشته است و نسبت به مدل‌های دیگر، نتیجه بهتری را نشان می‌دهد. در زیرحوضه آهار، مدل روئل کمترین میزان خطا (۰/۰۴) را داشته است و بنابراین برای این زیرحوضه، مناسب‌ترین مدل است. مقادیر نسبت تحویل رسوب زیرحوضه‌های دیگر نیز در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. میزان نسبت تحویل محاسبه‌شده برای زیرحوضه‌های جاجرود

SDR محاسبه شده	ویلیامز	روئل	ویلیام و برنت	مانرو رنفرو	سرویس حفاظت خاک آمریکا	ونانی	رنفرو	مدل زیرحوضه
۰.۳۷	۰.۰۳۳	۰.۲۵	۱.۵۸	۰.۲۸۲	۰.۰۹۷	۰.۲۳۳	۰.۱۶۸	فشم
۰.۳۵	۰.۰۳۲	۰.۳۱	۱.۳۳	۰.۲۹۸	۰.۱۰۶	۰.۲۴۴	۰.۱۷۵	آهار
۰.۴۲	۰.۰۳۱	۰.۳	۱.۶۱	۰.۳۶۴	۰.۱۰۵	۰.۲۴۴	۰.۱۷۵	میگون
۰.۴۸	۰.۰۳۵	۰.۲۹	۱.۳۴	۰.۲۸۳	۰.۱۱۰	۰.۲۴۸	۰.۱۷۷	لوارک
۰.۳۸	۰.۰۳۲	۰.۴۸	۱.۷۲	۰.۳۲۱	۰.۱۴۶	۰.۲۸۳	۰.۱۹۶	امامه
۰.۴۰	۰.۰۲۹	۰.۳۷	۱.۴۷	۰.۳۲۳	۰.۱۱۴	۰.۲۵۲	۰.۱۸۰	کند
۰.۳۷	۰.۰۳۲	۰.۵	۱.۵۳	۰.۳۲۲	۰.۱۴۳	۰.۲۸	۰.۱۹۷	افجه

در نسبت تحویل رسوب، عوامل فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی نیز تأثیرگذارند. یکی از متغیرهای مهم که در اکثر مدل‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد، مساحت حوضه به کیلومتر مربع و مایل مربع است. در مقادیر SDR واقعی، مشاهده می‌شود که زیرحوضه لوارک از بیشترین میزان تحویل رسوب به مقدار ۰/۴۸ برخوردار است، در حالی که این زیرحوضه بیشترین مساحت را ندارد. با توجه به این نکته مشخص می‌شود که در هر زیرحوضه و در مقادیر SDR، عوامل خاص فیزیوگرافی هیدرولوژیکی تأثیرگذار هستند. نسبت SDR ارتباط نزدیکی با فرسایش دارد و در این میان، لزوم توجه به میزان بارش لحظه‌ای و شیب حوضه اجتناب‌ناپذیر است. هدف از به‌کارگیری مدل‌های فوق، تعیین بهترین مدل در برآورد

SDR است. نسبت‌های تحویل رسوبی که از مدل‌های هفت‌گانه به‌دست آمده‌اند با SDR واقعی مقایسه می‌شوند. اختلاف بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده، کاربرد مدل فوق را نشان خواهد داد. در جدول مقادیر SDR واقعی و محاسبه‌شده و همچنین تفاضل بین آنها برای هفت زیرحوضه مورد بررسی، نشان داده شده است.

جدول ۴. محاسبه میزان تفاضل بین نسبت تحویل رسوب واقعی و مقادیر به‌دست آمده از مدل‌های هفت‌گانه

مدل	رنفرو	ونانی	سرویس حفاظت خاک آمریکا	مانر و رنفرو	ویلیام و برنت	رونل	ویلیامز	SDR محاسبه‌شده واقعی
SDR محاسبه‌شده فشم	۰.۱۶۸	۰.۲۳۳	۰.۰۹۷	۰.۲۸۲	۱.۵۸	۰.۲۵	۰.۰۳۳	۰.۳۷
مقادیر حاصل از تفاضل فشم	۰.۲۰	۰.۱۳۸	۰.۲۷۳	۰.۰۸۸	-۱.۲۱	۰.۱۲	۰.۳۳۷	-
SDR محاسبه‌شده آهار	۰.۱۷۵	۰.۲۴۴	۰.۱۰۶	۰.۲۹۸	۱.۳۳	۰.۳۱	۰.۰۳۲	۰.۳۵
مقادیر حاصل از تفاضل آهار	۰.۰۶۱	۰.۱۰۶	۰.۲۴۴	۰.۰۵۲	-۰.۹۸	۰.۰۴	۰.۳۱۸	-
SDR محاسبه‌شده میگون	۰.۱۷۵	۰.۲۴۴	۰.۱۰۵	۰.۳۶۴	۱.۶۱	۰.۳	۰.۰۳۱	۰.۴۲
مقادیر حاصل از تفاضل میگون	۰.۲۴۵	۰.۱۷۶	۰.۳۱۵	۰.۰۵۶	-۱.۱۹	۰.۱۲	۰.۳۸۹	-
SDR محاسبه‌شده لوارک	۰.۱۷۷	۰.۲۴۸	۰.۱۱۰	۰.۲۸۳	۱.۳۴	۰.۲۹	۰.۰۳۵	۰.۴۸
مقادیر حاصل از تفاضل لوارک	۰.۱۸۴	۰.۲۳۲	۰.۳۷	۰.۱۹۷	-۰.۸۶	۰.۱۹	۰.۴۴۵	-
SDR محاسبه‌شده امامه	۰.۱۹۶	۰.۲۸۳	۰.۱۴۶	۰.۳۲۱	۱.۷۲	۰.۴۸	۰.۰۳۲	۰.۳۸
مقادیر حاصل از تفاضل امامه	۰.۱۸۴	۰.۰۹۷	۰.۲۳۴	۰.۰۵۹	-۱.۳۴	-۰.۱	۰.۳۴۸	-
SDR محاسبه‌شده کند	۰.۱۸۰	۰.۲۵۲	۰.۱۱۴	۰.۳۲۳	۱.۴۷	۰.۳۷	۰.۰۲۹	۰.۴۰
مقادیر حاصل از تفاضل کند	۰.۲۲	۰.۱۴۸	۰.۲۸۶	۰.۰۷۷	-۱.۰۷	۰.۰۳	۰.۳۷۱	-
SDR محاسبه‌شده افجه	۰.۱۹۷	۰.۲۸	۰.۱۴۳	۰.۳۲۲	۱.۵۳	۰.۵	۰.۰۳۲	۰.۳۷
مقادیر حاصل از تفاضل افجه	۰.۱۷۳	۰.۰۹	۰.۲۲۷	۰.۰۴۸	-۱.۱۶	-۰.۱۳	۰.۳۳۸	-

جدول ۵. بهترین مدل برآورد رسوب با توجه به داده‌های حاصل از اختلاف میان SDR واقعی و میزان برآورد شده با توجه به مدل‌های هفت‌گانه در هر یک از زیر حوضه‌های رودخانه جاجرود

زیر حوضه	فشم	آهار	میگون	لوارک	امامه	کند	افجه
مدل مطلوب	مانرو ونفرو	روئل	مانرو ونفرو	رنفرو	مانرو ونفرو	روئل	مانرو ونفرو
میزان تفاضل	۰.۰۸۸	۰.۰۴	۰.۰۵۶	۰.۱۸۴	۰.۰۵۹	۰.۰۳	۰.۰۴۸

مشاهده می‌شود که در هفت زیرحوضه، در چهار مورد از آنها مدل مانرو و رنفرو مطلوب‌ترین نتیجه را دربر داشته و در دو زیرحوضه کند و آهار، مدل روئل نتیجه مطلوب را در پی داشته است و تنها در زیرحوضه لوارک، مدل رنفرو کمترین تفاضل را دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بررسی مدل‌های مورد استفاده در زیرحوضه‌های رودخانه جاجرود، مشاهده می‌شود که در چهار زیرحوضه مدل مانرو و رنفرو بهترین جواب را داشته و در سه زیرحوضه دیگر، مدل روئل بهترین نتیجه را داشته است. علت اینکه چرا مدل‌های فوق بهترین جواب را در بررسی میزان SDR در حوضه داشته است، به متغیرهایی برمی‌گردد که این دو مدل برای بررسی میزان SDR مورد توجه قرار می‌دهند. بدیهی است که هرچه متغیرهای بررسی شده به وسیله مدل‌ها به عامل فرسایش و رسوب نزدیکتر باشد، جواب‌هایی که از مدل به دست می‌آید به واقعیت نزدیکتر خواهد بود. گفتنی است که مدل‌های معرفی شده در این پژوهش، به منزله مناسب‌ترین مدل‌ها برای بررسی نسبت تحویل رسوب، قابل اشاعه به دیگر حوضه‌ها نخواهد بود؛ زیرا در حوضه‌های مختلف، نقش عوامل گوناگون در رده‌های اهمیت متفاوتی قرار دارند، ممکن است عاملی که در یک حوضه به عنوان عامل فعال در نسبت تحویل رسوب شناخته شده است، در حوضه دیگر عامل ثانوی یا کم‌اهمیتی تلقی شود. بنابراین واسنجی مدل‌ها در یک حوضه، میزان مناسب بودن یک مدل را مشخص خواهد کرد و همچنین باید دقت شود که مدل‌ها عموماً با توجه به خصوصیات ژنتیکی خود حوضه‌ها مورد توجه قرار گیرد. ویژگی‌های فیزیوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی یک حوضه، عامل تعیین‌کننده مطلوبیت یک مدل است. در چنین شرایطی است که مدل انتخابی مدلی مطلوب و قابل استفاده خواهد بود. نکته دیگر اینکه مطالعاتی از این دسته، زمانی موفقیت‌آمیز خواهد بود که داده‌های کافی برای بررسی میزان رسوب در یک منطقه موجود باشد. به‌طور مسلم، حوضه‌هایی که دارای ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، دبی‌سنجی و بارندگی باشند، نتایج قابل اطمینان‌تر و قابل اشاعه‌تری خواهند داشت.

منابع

اصغری، ص. (۱۳۸۷). ارزیابی توان سیل‌خیزی حوضه آبریز رودخانه جاجرود در ایجاد سیلاب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.

همیشگی، س. ص. (۱۳۸۵). ارزیابی چند مدل برآوردکننده نسبت تحویل رسوب و انتخاب مناسب‌ترین مدل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

Alatorre, L.C., Beguería, S., Lana-Renault, N., Navas, A., García-Ruiz, J.M., 2012, **Soil Erosion and Sediment Delivery in a Mountain Catchment under Scenarios of Land Use Change Using a Spatially Distributed Numerical Model**, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 16, PP. 1321–1334.

Edwards, K., 1993, **Soil Erosion and Conservation in Australia**, in: Pimentel, D. (Ed.), World Soil Erosion and Conservation, Cambridge.

Hajkovicz, S., Perraud, J.M., Dawes, W., DeRose, R., 2005, **The Strategic Landscape Investment Model: A Tool for Mapping Optimal Environmental Expenditure**, Environmental Modelling & Software, Vol. 20, No. 10, PP. 1251-1262.

Lane, L.J., Hernandez, M., Nichols, M., 1997, **Processes Controlling Sediment Yield from Watersheds as Functions of Spatial Scale**, Environmental Modelling & Software, Vol. 12, No. 4, PP. 355-369.

Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E., 1998, **The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a Dynamic Approach for Predicting Sediment Transport from Fields and Small Catchments**, Earth Surface Processes & Landforms, Vol. 23, No. 6, PP. 527-544.

Pak, J.H. and Heon Lee, J., 2012, **A Hyper-concentrated Sediment Yield Prediction Model Using Sediment Delivery Ratio for Large Watersheds**, Journal of Civil Engineering, Vol. 16, No. 5, PP. 883-891.

Parsons, A.J., Stromberg, S.G.L., 1998, **Experimental Analysis of Size and Distance of Travel of Unconstrained Particles in Inter Rill Flow**, Water Resources Research, Vol.34, No. 6, PP. 2377-2381.

Pelletier, J.D., 2012, **A Spatially Distributed Model for the Long-term Suspended Sediment Discharge and Delivery Ratio of Drainage Basins**, Journal of Geophysical Research: Earth Surface, Vol. 117, No. F2, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011JF002129/abstract>.

Prosser, L., Sivapalan, M. and Moran, C., 2001, **Modeling Sediment Delivery Ratio Based on Physical Principles**, Center for Water Research, The University of Western Australia.

Renfero, R. and Waldo, P., 1975, **Validations of Sediment Delivery Ratio Predictions Techniques**, Research Paper, pp: 95

Richards, K., 1993, **Sediment Delivery and the Drainage Network**, in: Beven, K., Kirkby, M.J. (Eds.), Channel Network Hydrology, Wiley, Chichester.

Sivapalan, M., Jothityangkoon, C., Menabde, M., 2002, **Linearity and Non-Linearity of Basin Response as a Function of Scale: Discussion of Alternative Definitions**, Water Resources Research, Vol. 38, No. 2, PP. 4/1 – 4/5.

Vonani, J., 1975, **Soil Erosion Prediction**, Newyork University, USA.

Walling, D.E., 1983, **The Sediment Delivery Problem**, Journal of Hydrology, Vol. 65, No. 1-3, PP. 209-237.

Williams, J.R. and Berndt, H.D., 1972, **Sediment Yield Prediction Based on Watershed**, Transactions of the ASABE, Vol. 20, No. 6, PP. 1100-1104.

Williams, J.R., 1977, **Sediment Delivery Ratios Determined with Sediment and Run off Models**, in: Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters, PP. 168-179, Available from: iaahs.info.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978, **Predicting Rainfall Erosion Losses**, the USDA Agriculture Handbook, United State Department of Agriculture.