

## مقایسه و ارزیابی روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در سه اقلیم متفاوت ایران

عطا صفری: کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران  
عطالله کاویان: دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران\*  
محمدحسین فرهودی: کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران  
سعید کریمی: کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

وصول: ۱۳۹۱/۵/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۹، صص ۲۷۴-۲۵۵

### چکیده

نسبت تحویل رسوب یکی از معیارهای مهم مورد استفاده در تبدیل مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب به یکدیگر بوده که در بسیاری از موارد زمینه ساز استفاده بهینه از منابع مختلف است. در این تحقیق، ۴۵ روش برآورد نسبت تحویل رسوب، در سه حوزه آبخیز متفاوت از لحاظ اقلیم و ویژگی‌های فیزیکی در ایران مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه شامل حوزه آبخیز بابلرود استان مازندران (معرف اقلیم مرطوب و پر باران شمال کشور)، حوزه آبخیز بنادک سادات استان یزد (معرف اقلیم گرم و خشک ایران مرکزی) و حوزه آبخیز دهگلان استان کردستان (معرف اقلیم نیمه خشک و سرد غرب کشور) بوده که با استفاده از بار رسوبی مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در خروجی حوزه‌های آبخیز و فرسایش برآورد شده توسط مدل EPM در هر حوزه، یک میزان SDR شاخص تعیین گردید. با استفاده از درصد خطای مطلق و نسبی، روش‌های مختلف برآورد SDR مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روش گرافیکی رنفرو، سوايف و لیود و SWAT (۲۰۰۵) با حداقل اختلاف نسبی به ترتیب ۲/۲۹، ۳/۳۳ و ۷/۲۱ درصد در حوزه آبخیز بابلرود، روش‌های سوايف و لیود، روئل ۲ و N Shaanxi CHINA با حداقل اختلاف نسبی به ترتیب ۶/۸۷، ۸/۵۹ و ۱۵/۶۷ درصد در حوزه آبخیز بنادک سادات و روش‌های SWAT (۱۹۹۶)، Central & Eastern USA و ونانی ۲ با حداقل اختلاف نسبی به ترتیب ۴/۸۵، ۷/۷۹ و ۸/۲۵ درصد در حوزه آبخیز دهگلان، مناسب‌ترین روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در این تحقیق هستند. واژه‌های کلیدی: بابلرود، بنادک سادات، دهگلان، نسبت تحویل رسوب.

### مقدمه

بار رسوبی در تشخیص منابع آلودگی غیرنقطه‌ای و همچنین در طراحی و ساخت سازه‌های آبی مانند سدها و مخازن به عنوان یک فاکتور اساسی مطرح است.

کنترل بار رسوبی ورودی به منابع آبی یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد بررسی در مدیریت کیفیت آب است.

سیلاب‌ها شده است (نووتنی و اولم، ۱۹۹۴). از طرفی برای توسعه راهکارهای مدیریت خاک و کشاورزی پایدار، کاهش مقدار رسوبات در پایین‌دست رودخانه‌ها و تشخیص مناطق فرسایشی ضروری است. این نیازها موجب می‌شود که محققان در امر فرسایش و رسوب به مطالعه فرآیندهای تحویل رسوب در داخل حوزه‌های آبخیز و استفاده از مدل‌های توزیع یافته مکانی روی آورند (راشکی، ۲۰۰۶). تحقیقات و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه عوامل مؤثر و برآورد نسبت تحویل رسوب در حوزه‌های آبخیز صورت گرفته است که نهایتاً منجر به ارائه مدل‌های متعددی برای برآورد نسبت تحویل رسوب شده است. آگاهی از روش مناسب محاسبه نسبت تحویل رسوب (SDR) در حوزه‌های آبخیز از اهمیت ویژه‌ای در مباحث حفاظت خاک و آبخیزداری به ویژه برآورد مقادیر فرسایش و رسوب برخوردار است. یکی از چالش‌های مهم در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از چنین روش‌ها و یا مدل‌ها لزوم آگاهی از کارایی و میزان دقت آنها است.

مانر (۱۹۵۸)، ارزیابی SDR با استفاده از نسبت پستی و بلندی به طول آبراهه (R/L) را بهتر از سایر روش‌ها بیان نمود. هان و همکاران (۱۹۹۴)، تخمین تقریبی نسبت تحویل رسوب را به کمک مساحت در امریکا به شکل منحنی‌هایی ارائه دادند. تخمین فرسایش در این منحنیها بر مبنای USLE استوار بود. فرو و پورتو

بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز برای دستیابی به مدیریت صحیح اراضی و حفظ کمیت و کیفیت آب و خاک از ضروریات اساسی محسوب می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از نسبت تحویل رسوب در حوزه‌های آبخیز به منظور تبدیل مقادیر اندازه‌گیری و یا تخمینی رسوب به فرسایش خاک برای متخصصان حفاظت خاک و آب ضروری است. حال آن که عملکرد کلیه مدل‌های موجود و استناد به نتایج به دست آمده از آنها به دلیل تفاوت در فرآیند فرسایش خاک و تولید رسوب در آبخیز محل تهیه آنها همواره سؤال برانگیز بوده است (غلامی و همکاران، ۱۳۸۹).

بررسی منابع مختلف در موضوع نسبت تحویل رسوب و روش‌های برآورد آن نشان می‌دهند که این نسبت به طور کلی به دو روش مستقیم و غیرمستقیم برآورد می‌گردد (USDA-SCS، ۱۹۸۱). با توجه به اینکه بار رسوب معمولاً به طور مستقیم برای کل حوزه اندازه‌گیری نمی‌شود در نتیجه روش‌های غیرمستقیم از قبیل استفاده از مدل‌های نسبت تحویل رسوب برای تخمین آن تهیه شده‌اند که دقت عمل آنها بسیار متفاوت است (موتوا و کلیک، ۲۰۰۴). امروزه بسیاری از کشورهای جهان به وسیله تخریب اراضی ناشی از فرسایش خاک و رسوب‌گذاری در منابع آبی تهدید می‌شوند. این روند منجر به هدررفت توان تولید خاک، تخریب کیفیت آب و کاهش توان پیشگیری و مهار حوادث طبیعی از قبیل

صابرهمیشگی (۱۳۸۵)، با بررسی برخی مدل‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در زیرحوزه لوآرک در حوزه آبخیز لتیان- تهران، گزارش داده است که به دلیل تجربی بودن تمامی مدل‌های ارائه شده برای برآورد نسبت تحویل رسوب در مقیاس حوزه آبخیز ضرورت دارد مناسب‌ترین روش از طریق آزمون ارزیابی آنها در حوزه آبخیز معرف مشخص و معرفی شود. راشکی (۱۳۸۵)، حوزه کهنوک خاش را برای برآورد SDR با استفاده از مدل توزیعی نرخ تحویل رسوب متوسط به سلول‌هایی به ابعاد ۲۰ متر شبکه‌بندی و مقدار آن را ثابت برآورد کرد. ابراهیمی (۱۳۸۵)، با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دو گروه از مدل‌های برآورد یا محاسبه نسبت تحویل رسوب در حوزه آبخیز کورسر- نوشهر با اقلیم معتدل مرطوب اظهار داشته است مدل-هایی که در آنها بجای عامل مساحت، طول آبراهه اصلی و ارتفاع متوسط حوزه آبخیز از سطح دریا لحاظ شده مدل‌های مناسب هستند. دستورانی و همکاران (۱۳۸۵)، در برآورد نسبت تحویل رسوب در حوزه زیارت گلستان ضمن برآورد SDR به این نتیجه رسیدند که استفاده از روابط متکی بر مساحت حوزه دارای دقت کافی نمی‌باشند. نورانی (۱۳۸۵)، با ارزیابی چهار مدل از مدل‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در حوزه آبخیز طالقان رود با اقلیم نیمه خشک سرد به این نتیجه رسیده است که مدل ویلیامز- برنت، مناسب‌ترین مدل برای برآورد نسبت تحویل رسوب در حوزه آبخیز طالقان رود و سایر حوزه‌های آبخیز با شرایط اقلیمی

(۲۰۰۰) و فرناندز و همکاران (۲۰۰۳) مدل توزیعی تحویل رسوب به همراه مدل **RUSLE** را برای برآورد میزان رسوب سالانه به کار بردند. لو و همکاران (۲۰۰۳)، **SDR** را براساس اصول و قواعد فیزیکی (شبه‌سازی خطی) دو منبع ذخیره رسوب در حوزه (ذخیره دامنه‌ای و ذخیره شبکه کانالی) مدل کردند و مدل ساده‌ای برای حمل رسوب ارائه دادند. لو و همکاران (۲۰۰۶)، از نسبت تحویل رسوب برای تصحیح اثر کاهش بار رسوبی در خروجی استفاده کردند. نتایج نشان داد که بار رسوبی حوزه‌ها اغلب کمتر از فرسایش خاک اندازه‌گیری شده در پلات‌های دامنه‌ای است و این به دلیل آن است که مدل‌های فرسایش خاک از قبیل **USLE** شدت فرسایش خاک ناخالص در پلات‌ها را بیشتر از شدت‌های اندازه‌گیری شده در خروجی حوزه‌ها تخمین می‌زنند. کینل (۲۰۰۶)، برخی قضایای مرتبط با مدل‌سازی فرسایش و تحویل رسوب از دامنه‌ها را از جنبه کیفیت آب مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که در بسیاری از حوزه‌ها مجموع رسوبی که به طور واقعی روی دامنه‌ها ته نشین شده بسیار کمتر از مقادیر نشان داده شده توسط **SDR** است. راموس‌شارون و مکدونالد (۲۰۰۷)، در امریکا به این نتیجه رسیدند که بار رسوبی تخمین زده شده به وسیله **SDR** از حوزه‌ای به حوزه دیگر تغییر می‌کند. طبق همین نتایج مقدار بار رسوبی تخمینی برای حوزه‌های با پتانسیل تحویل رسوب متوسط به **SDR** انتخابی حساسیت بالایی نشان می‌دهند. در ایران نیز،

بررسی سوابق نشان می‌دهد که تنوع تحقیقات در زمینه SDR در دنیا از گذشته تا به حال مشهود بوده است اما در ایران، نسبتاً جدید و روش‌های متعدد تعیین SDR همزمان مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

روابط متعددی برای تخمین نسبت تحویل رسوب تهیه شده‌اند که نیاز به داده‌های ورودی متفاوتی از قبیل مساحت حوزه، وضعیت پوشش گیاهی، نوع خاک، حجم رواناب، دبی اوج، شیب حوزه و کانال و حتی متغیرهای بارش داشته و به همین دلیل دامنه استفاده و دقت آنها بسته به موجودیت داده‌ها، روش انتخابی و هدف مورد انتظار بسیار متغیر است (فرو و میناکاپیلی، ۱۹۹۵، هان و همکاران، ۱۹۹۴ و روئل، ۱۹۶۲).

هدف از تحقیق حاضر، بررسی و مقایسه ۴۵ روش مختلف برآورد نسبت تحویل رسوب در سه اقلیم متفاوت در حوزه آبخیز بابلرود (استان مازندران)، بنادک سادات (استان یزد) و دهگلان (استان کردستان) است. مواد و روش‌ها

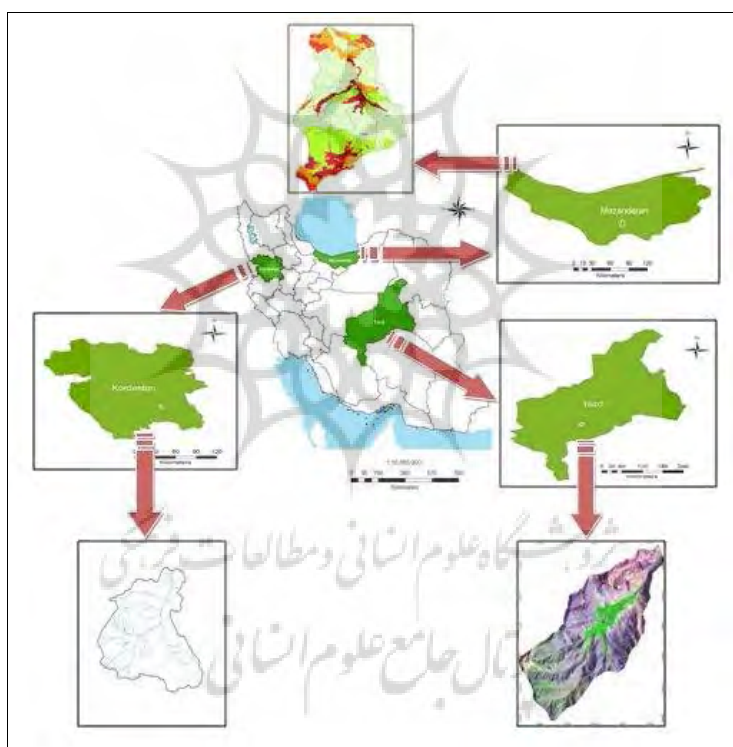
#### موقعیت مناطق مورد مطالعه

موقعیت جغرافیایی و برخی خصوصیات فیزیکی و اقلیمی هر یک از مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ و همچنین موقعیت آنها در ایران و استان در شکل ۱ نشان داده شده است.

مشابه است. صادقی و همکاران (۱۳۸۷)، اختلاف برخی از روش‌های مورد استفاده در برآورد نسبت تحویل رسوب برای رگبار شامل مدل MUSLE، مدل مبتنی بر رواناب SWAT و روش سرویس جنگل آمریکا با مقادیر مشاهده‌ای حاصل از نسبت مقادیر رسوب و فرسایش اندازه‌گیری شده به ترتیب در خروجی حوزه آبخیز و پلاتهای فرسایشی مستقر در سراب حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق را ارزیابی نمودند. نتایج ارزیابی ضمن تأکید بر تغییر زیاد نسبت تحویل رسوب اندازه‌گیری شده طی رگبارها از ۱/۲۶ تا ۸۴/۶۷ درصد، بر کارایی بیشتر مدل MUSLE با ضریب همبستگی ۹۷/۸ درصد دلالت داشته است. افسری و قدوسی (۱۳۹۰)، با ارزیابی روش‌های مختلف تخمین نسبت تحویل رسوب (SDR) تحت شرایط آب و هوایی مختلف، اقدام به بررسی ۱۳ روش برآورد نسبت تحویل رسوب، جهت مقایسه با روش محاسبه آن در مدل EPM در دو حوزه آبخیز خمین و مزلقان واقع در استان مرکزی نمودند، همچنین مقادیر فرسایش در دو حوزه مورد مطالعه با استفاده از مدل EPM برآورد گردید که نتایج حاصل نشان داد که روش مو و منگ (۱۹۸۰) و روش روئل (۱۹۷۷) به ترتیب با داشتن حداقل اختلاف نسبی در حوزه‌های آبخیز خمین و مزلقان، مناسب‌ترین روش‌ها هستند.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و خصوصیات فیزیکی و اقلیمی حوزه‌های مورد مطالعه

حوزه مورد مطالعه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مساحت (km <sup>2</sup> )	متوسط بارندگی سالانه (mm)	متوسط دما (°C)	ارتفاع متوسط (m)	شیب متوسط (%)
حوزه آبخیز بابلرود	۵۵° ۳۸' تا ۵۲° ۵۵'	۳۶° ۲۱' تا ۳۶° ۲۲'	۵۱۷/۲۵	۸۲۱/۸	۱۵	۱۶۸۶	۳۴
حوزه آبخیز بنادک سادات	۵۴° ۱۰' تا ۵۴° ۱۴'	۳۱° ۳۱' تا ۳۱° ۳۶'	۳۹/۳۲	۳۱۳	۱۵/۶	۲۵۰۱/۸۶	۵۵/۹۲
حوزه آبخیز دهگلان	۴۷° ۲۱' تا ۴۶° ۲۵'	۳۴° ۹۷' تا ۳۵° ۱۹'	۲۲۱/۶۷	۵۰۵/۵	۹/۷	۲۲۵۰	۳۲/۵



شکل ۱- موقعیت هر یک از حوزه‌های مورد مطالعه در ایران و استان

و در سال ۱۹۹۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه توسط گالوریلویچ ارائه شد (ضیایی و بهنیا، ۱۳۸۰). در این روش چهار مشخصه ضریب فرسایش حوزه آبخیز، ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت

برآورد فرسایش خاک به روش EPM مدل EPM با استفاده از اطلاعات حاصل از قطعه زمین‌های فرسایشی و اندازه‌گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیقات در کشور یوگسلاوی سابق به دست آمد

درجه حرارت. ایستگاه‌های مطالعاتی و اندازه‌گیری رسوب مشاهده‌ای در این تحقیق، از آمار ایستگاه‌های قران تالار (حوزه آبخیز بابلرود)، طزرجان (حوزه آبخیز بنادک سادات) و دهگلان (حوزه آبخیز دهگلان) جهت تعیین مقادیر رسوب مشاهده‌ای استفاده گردید که در جدول ۲ مشخصات هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، مساحت حوزه بالادست و طول دوره آماری ارائه شده است.

سنگ و خاک به فرسایش و شیب متوسط حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرد. محاسبه میزان فرسایش بر اساس این روش به صورت رابطه ۱ ارائه گردیده است:

$$W_{sp} = T.H.Z^{3/2}.\pi \quad (1)$$

$W_{sp}$ : فرسایش ویژه بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال،  $H$ : متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر،  $Z$ : ضریب شدت فرسایش،  $T$ : ضریب

جدول ۲- مشخصات اصلی ایستگاه‌های مورد استفاده

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (دقیقه-درجه)	عرض جغرافیایی (دقیقه-درجه)	ارتفاع (m)	مساحت حوزه آبخیز (km <sup>2</sup> )	طول دوره آماری (سال)
۱	قران تالار	۵۲-۴۲	۳۶-۲۳	۵۵	۵۱۷/۲۵	۴۳
۲	طزرجان	۵۴-۱۴	۳۱-۳۶	۱۸۸۰	۳۹/۳۲	۱۹
۳	دهگلان	۴۷-۲۵	۳۵-۱۷	۱۸۲۰	۲۲۱/۶۷	۲۳

### برآورد نسبت تحویل رسوب

مقدار رسوب مشاهده‌ای هر یک از حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی پس از پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش منحنی سنجه رسوب محاسبه شد. با توجه به اینکه اندازه‌گیری مستقیم میزان فرسایش به صورت میدانی در سه منطقه مورد مطالعه عملاً ممکن نبود، لذا برآورد مقدار کمی فرسایش با استفاده از مدل EPM به عنوان مدل مناسب در این تحقیق صورت پذیرفت. سپس با محاسبه نسبت تحویل رسوب با استفاده از روش‌های مشروحه زیر، اقدام به ارزیابی آنها بر اساس روش مقایسه تطبیقی و اختلاف نسبی شد. لازم به ذکر است که ۴۵ روش مورد استفاده

در این تحقیق در ۵ گروه طبقه‌بندی شده و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی متفاوت در ایران و امکان دسترسی به داده‌ها و اطلاعات لازم، سه حوزه مذکور انتخاب و مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. روش‌های مورد بررسی در این تحقیق، شامل ۴۵ روش برآورد نسبت تحویل رسوب در ۵ گروه، به شرح زیر می‌باشند:

#### الف- روش‌های مبتنی بر مساحت حوزه آبخیز:

##### ۱- رنفرو (۱۹۷۵)

$$\text{Log (SDR)} = 1.7935 - 0.4191 \text{ Log(A)} \quad (2)$$

$SDR$ : نسبت تحویل رسوب،  $A$ : مساحت حوزه آبخیز بر حسب مایل مربع.

##### ۲- ونانی (۱۹۷۵)

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوزه آبخیز

بر حسب کیلومتر مربع.

ب- روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های ژئومورفولوژی

حوزه آبخیز:

۹- ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)

$$\text{SDR} = 0.627 (\text{SLP})^{0.403} \quad (۱۰)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب، SLP: شیب آبراهه اصلی.

$$\text{Log SDR} = 2.94259 + (۱۱) \quad (۱۹۵۸) \text{ مانر}$$

$$0.82362 \text{ Log}(R/L)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب، R: اختلاف ارتفاع بین

بلندترین و کم ارتفاع‌ترین نقاط حوزه آبخیز بر حسب

متر، L: طول حوزه آبخیز بر حسب متر.

۱۱- روئل (۱۹۶۲)

(۱۲)

$$\text{Log}(\text{SDR}) = 4.5 - 0.23 \text{ Log}(A) - 0.5125 \text{ Log}(R/L) - 2.788 \text{ Log}(BR)$$

A: مساحت حوزه آبخیز بر حسب مایل مربع، R/L:

نسبت پستی و بلندی به طول حوزه آبخیز بر حسب

مایل بر مایل، BR: نسبت دو شاخه شدن یا ضریب دو

شاخه شدن شبکه آبراهه‌های حوزه آبخیز.

۱۲- روئل ۲ (۱۹۶۲)

$$\text{SDR} = 1862 A^{0.23} (R/L)^{-0.51} (B)^{-2.79} \quad (۱۳)$$

A: مساحت حوزه بر حسب مایل مربع، R: اختلاف

ارتفاع حداکثر و حداقل حوزه بر حسب متر، L: طول

حوزه آبخیز بر حسب فوت، B: نسبت انشعابات.

۱۳- مو و منگ (۱۹۸۰)

$$\text{SDR} = 1.29 + 1.37 \text{ Ln RC} - 0.025 \text{ Ln A} \quad (۱۴)$$

$$\text{SDR} = 0.42 A^{-0.125} \quad (۳)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوزه آبخیز

بر حسب مایل مربع.

۳- ونانی ۲ (۱۹۷۵)

$$\text{SDR} = 43.4 A^{-0.1753} \quad (۴)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوزه آبخیز

بر حسب مایل مربع.

۴- USDA (۱۹۷۵)

$$\text{SDR} = 0.5656 A^{-0.11} \quad (۵)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوزه آبخیز

بر حسب کیلومتر مربع.

۵- وانونی (۱۹۷۵)

$$\text{SDR} = 0.4724 A^{-0.125} \quad (۶)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوزه آبخیز

بر حسب کیلومتر مربع.

۶- سرویس حفاظت خاک آمریکا - SCS (۱۹۷۹)

$$\text{SDR} = 0.51 A^{-0.11} \quad (۷)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوزه آبخیز

بر حسب مایل مربع.

۷- لارنس (۱۹۹۶)

$$\text{SDR} = A^{0.2} \quad (۸)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوزه آبخیز

بر حسب کیلومتر مربع.

۸- بویس (۱۹۷۵)

$$\text{SDR} = 0.3750 A^{-0.2382} \quad (۹)$$

## ۱۸- SWAT (۲۰۰۵)

$$SDR = (q_p / r_{ep}) \quad (19)$$

$q_p$ : حداکثر عمق رواناب سطحی بر حسب میلی‌متر بر ساعت،  $r_{ep}$ : مقدار بارش مازاد یا مساوی مقدار حداکثر بارش مؤثر بر حسب میلی‌متر بر ساعت.

## ۱۹- غلامی و همکاران (۱۳۸۸)

$$SDR = 0.033 \times Q^{0.15} \times q_p^{0.95} \times R^{-1.25} \quad (20)$$

$SDR$ : نسبت تحویل رسوب،  $Q$ : حجم رواناب بر حسب متر مکعب،  $q_p$ : دبی اوج رواناب بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $R$ : عامل فرساینده‌گی باران در معادله جهانی هدر رفت خاک:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (21)$$

$$R = EI_{30}/100 \quad (22)$$

$R$ : عامل فرساینده‌گی باران و رواناب بر حسب تن در متر بر هکتار در سانتی‌متر بر ساعت،  $E$ : انرژی جنبشی رگبار بر حسب تن در متر بر هکتار،  $I_{30}$ : حداکثر شدت نیم ساعته رگبار بر حسب سانتی‌متر بر ساعت.

## ۲۰- MUSLE (۱۹۷۷)

$$D = \frac{11.8(Q \times q_p)^{0.57}}{R \times A} \quad (23)$$

$D$ : نسبت تحویل رسوب،  $Q$ : حجم رواناب بر حسب متر مکعب،  $q_p$ : دبی اوج رواناب بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $R$ : عامل فرساینده‌گی باران و رواناب،  $A$ : مساحت حوزه بر حسب هکتار.

ت- روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های خاک حوزه آبخیز و هیدرولیک رسوب:

## ۲۱- والینگ (۱۹۸۳)

$$SDR = C_{soil} / C_{sed} \quad (24)$$

$A$ : مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع،  $RC$ : تراکم شبکه آبراهه بویژه تراکم شیارها و خندق‌ها در حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع.

## ۱۴- EPM (۱۹۸۸)

$$SDR = \frac{4\sqrt{P \times D}}{L + 10} \quad (15)$$

$P$ : محیط حوزه بر حسب کیلومتر،  $D$ : اختلاف ارتفاع حوزه که عبارت است از اختلاف ارتفاع متوسط حوزه با ارتفاع نقطه خروجی حوزه بر حسب متر،  $L$ : بزرگترین طول حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر.

پ- روش‌های مبتنی بر مساحت و ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه آبخیز:

## ۱۵- مانخلر و بوئی (۱۹۷۵)

$$SDR = 0.488 - 0.006 A + 0.01 RO \quad (16)$$

$A$ : مساحت آبخیز بر حسب مایل مربع،  $RO$ : متوسط ارتفاع رواناب سالانه بر حسب اینچ.

## ۱۶- ویلیامز (۱۹۷۷)

$$SDR = 1.366 \times 10^{-12} (A)^{-0.0998} (R/L)^{0.362} (CN)^{5.44} \quad (17)$$

$SDR$ : نسبت تحویل رسوب،  $A$ : مساحت حوزه آبخیز بر حسب مایل مربع،  $R/L$ : نسبت پستی و بلندی به طول آبخیز بر حسب مایل بر مایل،  $CN$ : شماره منحنی.

## ۱۷- SWAT (۱۹۹۶)

$$SDR = [(q_p / r_p) / (0.782845 + 0.217155 Q/R)]^{0.56} \quad (18)$$

$q_p$ : دبی اوج رواناب بر حسب میلی‌متر بر ساعت،  $r_p$ : اوج بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت،  $Q$ : مقدار رواناب بر حسب میلی‌متر،  $R$ : مقدار بارندگی برای یک رگبار بر حسب میلی‌متر.

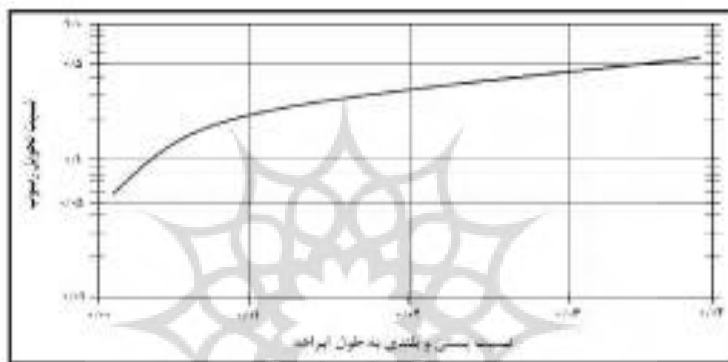


$C_{soil}$ : درصد رس موجود در خاک حوزه آبخیز،  $C_{sed}$ :  
 درصد رس موجود در رسوب تولیدی.  
 ۲۲- سوائف و لیود (۲۰۰۲)  
 (۲۵)  
 $Z$ : ضریب رسوب‌دهی،  $X$ : فاصله منبع تولید رسوب تا  
 مسیر آبراهه اصلی انتقال رسوب بر حسب کیلومتر،  $Y$ :  
 شیب مربوط به پهنه هر یک از منابع تولید رسوب  
 ( $x > 0$  و  $y > 0$ ).

$$Z = 0.9004 - 0.134(\text{Ln}x) - 0.0465(\text{Ln}x)^2 - 0.00749(\text{Ln}x)^3 - 0.0399(\text{Ln}y) + 0.0144(\text{Ln}y)^2 + 0.00308(\text{Ln}y)^3$$

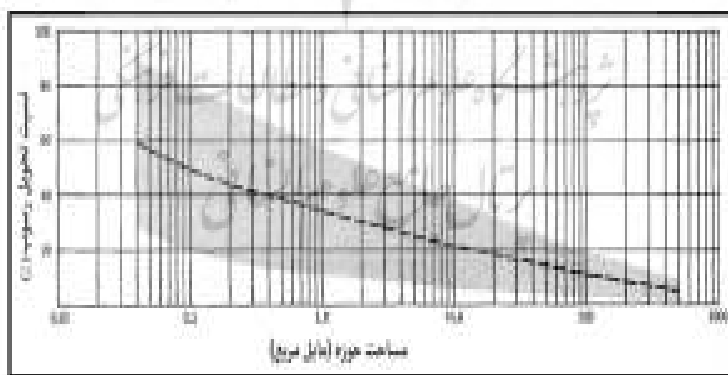
ث- روش‌های گرافیکی برآورد نسبت تحویل رسوب:

### ۲۳- روش گرافیکی رنفرو (۱۹۷۵)



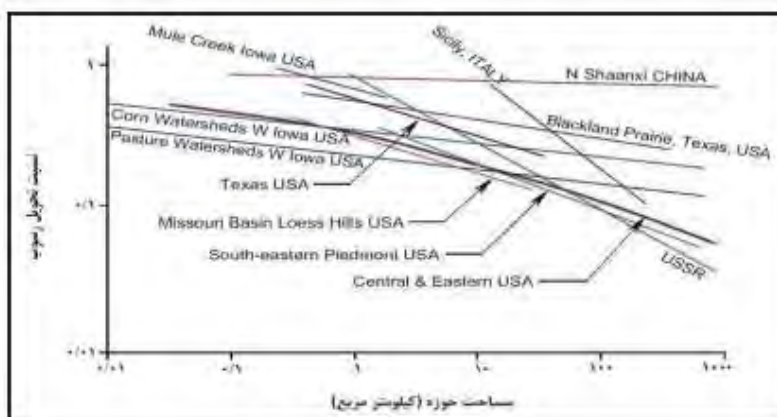
شکل ۲- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس نسبت پستی و بلندی به طول آبراهه (Renfro, 1975)

### ۲۴- روش گرافیکی USDA-SCS (۱۹۸۱)



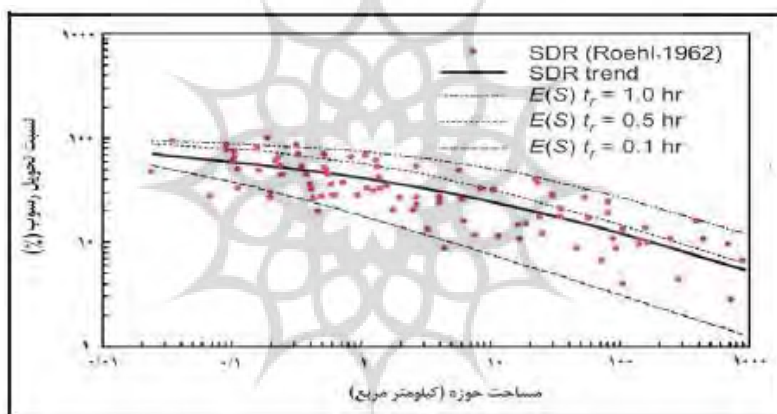
شکل ۳- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس مساحت حوزه بر حسب مایل مربع (USDA-SCS, 1981)

### ۲۵-۳۵- روش گرافیکی والینگ (۱۹۸۳) و فرو و میناکاپیلی (۱۹۹۵)



شکل ۴- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس مساحت حوزه بر حسب کیلومتر مربع در ایالات متحده امریکا، اروپا و آسیا

۳۶-۳۹- روش گرافیکی روئل (۱۹۶۲)



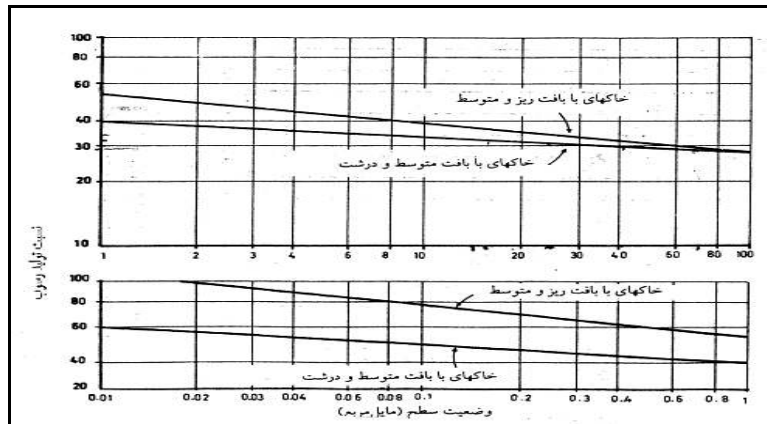
شکل ۵- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس مساحت حوزه بر حسب کیلومتر مربع و بارش مازاد (Roehl, 1962)

۴۰-۴۳- روش گرافیکی جانسون (۱۹۷۷)



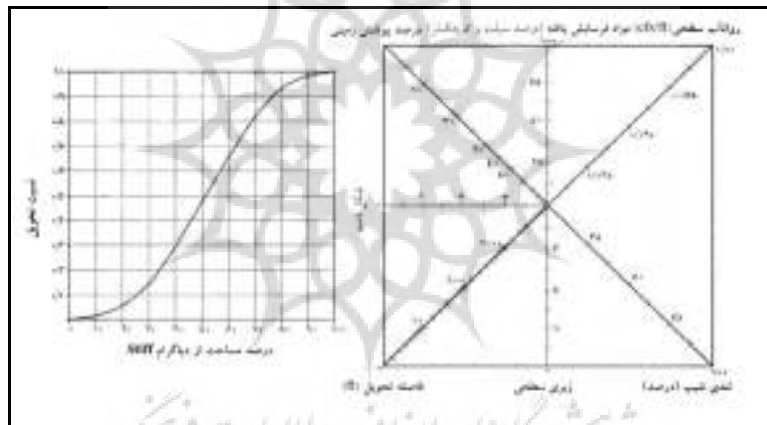
شکل ۶- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس سطح زهکشی بر حسب ایکر (Johnson, 1977)

## ۴۴- روش گرافیکی مبتنی بر سطح و بافت خاک حوزه (رفاهی، ۱۳۸۵)



شکل ۷- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس سطح (مایل مربع) و بافت خاک حوزه (رفاهی، ۱۳۸۵)

## ۴۵- روش گرافیکی سرویس جنگل امریکا (Haan, et al., 1994)



شکل ۸- دیاگرام تعیین مساحت پلی‌گون برای برآورد نسبت تحویل رسوب (راست) و دیاگرام برآورد میزان SDR (چپ)

$$(۲۶) \quad \text{اختلاف نسبی} = \left| \frac{Q_0 - Q_e}{Q_0} \right| * 100$$

$Q_0$ : مقادیر مشاهده‌ای،  $Q_e$ : مقادیر برآوردی.

## نتایج

در مطالعه حاضر، ابتدا با استفاده از رسوب مشاهده‌ای در ایستگاه‌های واقع در خروجی هریک از حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه و فرسایش برآوردی در هر حوزه، یک میزان شاخص SDR اندازه‌گیری و تعیین گردید.

## ارزیابی روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب

در این تحقیق، از روش اختلاف نسبی جهت مقایسه و ارزیابی نتایج حاصل از ۴۵ روش برآورد SDR با مقادیر شاخص و اندازه‌گیری شده SDR در هر حوزه استفاده گردید. اختلاف نسبی بین مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری به صورت رابطه ۲۶ که در زیر به آن اشاره شده است، بدست می‌آید:

تولیدی در هر حوزه برآورد شده و در جدول ۵ ارائه گردیده است. در نهایت، اختلاف نسبی بین نسبت تحویل رسوب برآورد شده و اندازه‌گیری شده محاسبه و در جدول ۶ نشان داده شده است.

که نتایج حاصل در جدول ۳ نشان داده شده است. سپس ۴۵ روش مختلف برآورد نسبت تحویل رسوب در ۵ گروه متفاوت، برای هر حوزه اجرا گردید که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین با استفاده از مقادیر SDR برآورد شده، میزان رسوب

جدول ۳- مقادیر رسوب، فرسایش و SDR اندازه‌گیری شده در حوزه‌های مورد مطالعه

نسبت انشعاب	تراکم آبراهه (km/km <sup>2</sup> )	طول حوزه (m)	SDR اندازه‌گیری	فرسایش برآوردی (ton/year)	رسوب مشاهده‌ای (ton/year)	حوزه مورد مطالعه
۲/۱۹۸	۲/۱۳۹	۳۶۵۲۰	۰/۳۳۷	۲۱۰۶۰۶/۹۰۴	۷۱۰۲۵/۹۱۸	حوزه آبخیز بابلرود
۹/۷۲	۱/۷۲	۱۱۸۱۰	۰/۸۱۳	۸۵۶۸۱/۰۷	۶۹۶۰۰/۲۹۸	حوزه آبخیز بنادک سادات
۱/۹۰	۵/۰۱۷	۲۷۴۴۰	۰/۲۱۷	۴۸۴۹۵/۴۲۵	۱۰۵۱۸/۴۰۴	حوزه آبخیز دهگلان

جدول ۴- مقادیر SDR برآورد شده با استفاده از روش‌های مختلف بکار رفته در سه حوزه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دهگلان	حوزه آبخیز بنادک سادات	حوزه آبخیز بابلرود	روش‌های مورد استفاده
۰/۲۱۷	۰/۸۱۳	۰/۳۳۷	مقدار اندازه‌گیری شده
۰/۰۹۶	۰/۱۹۹	۰/۰۶۸	روش رنفرو (۱۹۷۵)
۰/۲۴۱	۰/۲۹۸	۰/۲۱۷	روش ونانی (۱۹۷۵)
۰/۱۹۹	۰/۳۷۷	۰/۱۷	روش ونانی ۲ (۱۹۷۵)
۰/۳۱۲	۰/۲۹۹	۰/۲۸۴	روش USDA (۱۹۷۵)
۰/۲۴	۰/۲۶۹	۰/۲۱۶	روش وانونی (۱۹۷۵)
۰/۳۱۳	۰/۳۷۸	۰/۲۸۵	روش سرویس حفاظت خاک (SCS) (۱۹۷۹)
۰/۰۲۹	۰/۰۲۱	۰/۰۳۵	روش لارنس (۱۹۹۶)
۰/۱۰۴	۰/۱۵۶	۰/۰۸۵	روش بویس (۱۹۷۵)
۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۶۵	روش ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)
۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶	روش مانر (۱۹۵۸)
۰/۰۴	۰/۰۲۱	۰/۰۳۹	روش رونل (۱۹۶۲)
۰/۸۲۵	۰/۷۴۳	۰/۵۶۷	روش رونل ۲ (۱۹۶۲)
۰/۰۳۴	۰/۰۱۹	۰/۰۲۲	روش مو و منگ (۱۹۸۰)
۰/۱۹	۰/۳۴۷	۰/۳۷۹	روش EPM (۱۹۸۸)
۰/۰۱۳	۰/۴۳۱	۰/۵۳۷	روش ماتخلر و بوئی (۱۹۷۵)
۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	روش ویلیامز (۱۹۷۷)
۰/۲۲۷	۰/۰۷۹	۰/۱۲۲	روش SWAT (۱۹۹۶)
۰/۳۲۵	۰/۲۷۷	۰/۳۶۲	روش SWAT (۲۰۰۵)
۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۰/۰۱۹	روش MUSLE
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۵۲	روش غلامی و همکاران (۱۳۸۸)
۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	روش والینگ (۱۹۸۳)
۰/۸۸۳	۰/۷۵۷	۰/۳۴۸	روش سوايف و لیود (۲۰۰۲)
۰/۴۵	-	۰/۳۴۵	روش گرافیکی رنفرو (۱۹۷۵)

۰/۱۴	۰/۲	۰/۰۹۵	روش گرافیکی (USDA-SCS (۱۹۸۱)	
۰/۰۹	۰/۳۲	۰/۰۷۳	USSR	روش گرافیکی والینگ (۱۹۸۳)، فرو و میناکاپیلی (۱۹۹۵)
۰/۲	۰/۲۷	۰/۰۸۷	Central & Eastern USA	
۰/۱	۰/۲۵	۰/۰۷۸	South-eastern Piedmont USA	
۰/۰۹۸	۰/۲۲	۰/۰۸۱	Missouri Basin Loess Hills USA	
۰/۳	۰/۳۸	۰/۱۲	Texas USA	
۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۱۲۵	Pasture Watersheds W Iowa USA	
۰/۴۱	۰/۴	۰/۱۳۴	Corn Watersheds W Iowa USA	
۰/۳۸	۰/۵	۰/۱۳۲	Mule Creek Iowa USA	
۰/۱۵	۰/۶۵	۰/۰۹	Sicity, ITALY	
۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۸۹	N Shaanxi CHINA	
۰/۵	۰/۵۵	۰/۱۴۲	Blackland Prairie, Texas, USA	
۰/۰۲۸	۰/۴۵	۰/۱۸	0.1 hr	بارش مزاد (رونل، ۱۹۶۲)
۰/۱۶	۰/۱۰۸	۰/۱	0.5 hr	
۰/۳	۰/۱۲۵	۰/۲	1 hr	
۰/۱۴	۰/۱۰۶	۰/۰۷	روش گرافیکی رونل (۱۹۶۲)	
۰/۲۸	۰/۳۳	-	روش گرافیکی مبتنی بر سطح و بافت خاک - رفاهی (۱۳۸۵)	
-	۰/۵۶۵	-	1	روش گرافیکی جانسون (۱۹۷۷)
-	۰/۲۷۳	-	2	
-	۰/۱۳۵	-	3	
-	۰/۰۴	-	4	
۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۴	روش گرافیکی سرویس جنگل امریکا (۱۹۹۴)	

جدول ۵- مقادیر رسوب برآورد شده (تن در سال) بر اساس مدل EPM و روش‌های مختلف برآورد SDR

حوزه آبخیز دهگلان	حوزه آبخیز بنادک سادات	حوزه آبخیز بابلرود	روش‌های مورد استفاده	مقدار اندازه‌گیری شده
۱۰۵۱۸/۴۰۴	۶۹۶۰۰/۲۹۸	۷۱۰۲۵/۹۱۸	روش رنفرو (۱۹۷۵)	
۴۶۵۵/۵۶۱	۱۷۰۴۳/۹۷۳	۱۴۳۲۱/۳۶۹	روش ونانی (۱۹۷۵)	
۱۱۶۷۸/۸۲۵	۲۵۶۰۳/۸۰۵	۴۵۶۲۱/۷۴۸	روش ونانی ۲ (۱۹۷۵)	
۹۶۵۰/۵۸۹	۳۲۳۴۵/۹۳۳	۳۵۸۰۳/۱۷۴	روش USDA (۱۹۷۵)	
۱۵۱۴۱/۹۷۱	۲۵۵۶۷/۲۴۸	۵۹۹۰۶/۳۳۸	روش وانونی (۱۹۷۵)	
۱۱۶۶۲/۶۵۱	۲۳۰۳۹/۳۴۱	۴۵۵۵۷/۵۵۴	روش سرویس حفاظت خاک (SCS) (۱۹۷۹)	
۱۵۱۶۰/۲۴۳	۳۲۳۸۵/۰۷۵	۵۹۹۷۸/۹۴۲	روش لارنس (۱۹۹۶)	
۱۴۰۶۳۶۷	۱۷۹۸/۶۱	۷۳۷۱/۲۴۲	روش بویس (۱۹۷۵)	
۵۰۲۳/۲۴۸	۱۳۳۹۴/۰۵۶	۱۷۸۲۷/۹۰۹	روش ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)	
۶۷۸/۹۳۶	۱۰۲۷/۷۷۷	۳۱۵۹/۱۰۴	روش مانر (۱۹۵۸)	
۸۲۴/۴۲۲	۱۶۳۷/۳۱۴	۳۳۶۹/۷۱۵	روش رونل (۱۹۶۲)	
۱۹۳۹/۸۱۷	۱۷۹۸/۱۰۳	۸۲۱۳/۶۶۹	روش رونل ۲ (۱۹۶۲)	
۴۰۰۸/۲۲۶	۶۳۶۵/۳۴۱	۱۱۹۴۱۴/۱۱۵	روش مو و منگ (۱۹۸۰)	
۱۶۴۸/۸۴۵	۱۶۳۷/۳۱۴	۴۶۳۳/۳۵۲	روش EPM (۱۹۸۸)	
۹۲۱۴/۱۳۱	۲۹۷۱۹/۸۹۳	۷۹۸۲۰/۰۱۷	روش ماتخلر و بوئی (۱۹۷۵)	
۶۱۸/۷۴۲	۳۷۸۹۷/۵۴۷	۱۱۳۰۹۵/۹۰۷	روش ویلیامز (۱۹۷۷)	
۴۰۲/۵۳۱	۷۵۴/۲۲۶	۹۴۳/۲۰۱	روش SWAT (۱۹۹۶)	
۱۱۰۲۸/۳۵۸	۶۸۴۹/۴۰۵	۲۵۶۲۰/۳۸۹		

۱۵۷۷۷/۸۷۸	۲۳۷۱/۰۰۲	۷۶۱۴۳/۰۵۷	روش SWAT (۲۰۰۵)	فیزیوگرافی و هیدرولوژی
۱۱/۱۸۱	۲۵۳۶/۸۸۸	۳۹۹۴/۷۴۹	روش MUSLE	
۶۷۰/۱۲	۱۲۰/۶۲۵	۱۱۰۴۱/۵۱۹	روش غلامی و همکاران (۱۳۸۸)	
۶۳۰/۴۴۱	۹۴۲/۱۲۹	۲۷۳۷/۸۸۹	روش والینگ (۱۹۸۳)	روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های خاک و رسوب
۴۲۸۲۹/۲۹۹	۶۴۸۱۷/۱۲۱	۷۳۳۹۳/۰۸۹	روش سوایف و لیود (۲۰۰۲)	
۲۱۸۲۲/۴۴۱	-	۷۲۶۵۹/۳۸۲	روش گرافیکی زنفرو (۱۹۷۵)	
۶۷۸۹۳/۵۹	۱۷۱۲۹/۶۲۱	۲۰۰۰۷/۶۵۶	روش گرافیکی USDA-SCS (۱۹۸۱)	
۴۳۶۴/۵۸۸	۲۷۴۰۷/۳۹۴	۱۵۳۷۴/۳۰۴	USSR	روش گرافیکی والینگ (۱۹۸۳)، فرو و میناکاپیلی (۱۹۹۵)
۹۶۹۹/۰۸۵	۲۳۱۲۴/۹۸۹	۱۸۳۲۲/۸۰۱	Central & Eastern USA	
۴۸۴۹/۵۴۳	۲۱۴۱۲/۰۲۷	۱۶۴۲۷/۳۳۹	South-eastern Piedmont USA	
۴۷۵۲/۵۵۲	۱۸۸۴۲/۵۸۴	۱۷۰۵۹/۱۵۹	Missouri Basin Loess Hills USA	
۱۴۵۴۸/۶۲۸	۳۲۵۴۶/۲۸۱	۲۵۲۷۲/۲۹	Texas USA	
۱۳۵۷۸/۷۱۹	۲۲۲۶۸/۵۰۸	۲۶۳۲۵/۸۶۳	Pasture Watersheds W Iowa USA	
۱۹۳۹۹/۱۷	۳۴۲۵۹/۲۴۳	۲۸۲۲۱/۳۲۵	Corn Watersheds W Iowa USA	
۱۸۴۲۸/۲۶۲	۴۲۸۲۴/۰۵۴	۲۷۸۰۰/۱۱۱	Mule Creek Iowa USA	
۷۲۷۴/۳۱۴	۵۵۶۷۱/۲۶۹	۱۸۹۵۴/۶۲۱	Sicily, ITALY	
۴۱۲۲۱/۱۱۱	۸۰۵۰۹/۲۲۱	۱۸۷۴۴۰/۱۴۵	N Shaanxi CHINA	
۲۴۲۴۷/۷۱۳	۴۷۱۰۶/۴۵۹	۲۹۹۰۶/۱۸	Blackland Prairie, Texas, USA	
۱۳۵۷/۸۷۲	۳۸۵۴۱/۶۴۸	۳۷۹۰۹/۲۴۳	0.1 hr	بارش مازاد (روئل، ۱۹۶۲)
۷۷۵۹/۲۶۸	۹۲۴۹/۹۹۶	۲۱۰۶۰/۶۹	0.5 hr	
۱۴۵۴۸/۶۲۸	۱۰۷۰۶/۰۱۳	۴۲۱۲۱/۳۸۱	1 hr	
۶۷۸۹۳/۵۹	۹۰۷۸/۶۹۹	۱۴۷۴۲/۴۸۳	روش گرافیکی روئل (۱۹۶۲)	
۱۳۵۷۸/۷۱۹	۲۸۲۳۳/۸۷۵	-	روش گرافیکی مبتنی بر سطح و بافت خاک - رفاهی (۱۳۸۵)	
-	۴۸۳۹۱/۱۸	-	1	روش گرافیکی جانسون (۱۹۷۷)
-	۲۳۳۸۱/۹۳۳	-	2	
-	۱۱۵۶۲/۴۹۴	-	3	
-	۳۴۲۵/۹۲۴	-	4	
۲۴۲۴/۷۷۱	۸۵۶۴/۸۱۲	۸۴۲۴/۲۷۶	روش گرافیکی سرویس جنگل امریکا (۱۹۹۴)	

جدول ۶- اختلاف نسبی محاسبه شده بین SDR اندازه‌گیری (شاخص) و SDR برآوردی در سه حوزه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دهگلان	حوزه آبخیز بنادک سادات	حوزه آبخیز بابلرود	روش‌های مورد استفاده	مقدار اندازه‌گیری شده
۰	۰	۰	روش زنفرو (۱۹۷۵)	روش‌های مبتنی بر مساحت
۵۵/۷۴	۷۵/۵۱	۷۹/۸۴	روش ونانی (۱۹۷۵)	
۱۱/۰۳	۶۳/۲۱	۳۵/۷۷	روش ونانی ۲ (۱۹۷۵)	
۸/۲۵	۵۳/۵۳	۴۹/۵۹	روش USDA (۱۹۷۵)	
۴۳/۹۶	۶۳/۲۶	۱۵/۶۶	روش وانونی (۱۹۷۵)	
۱۰/۸۸	۶۶/۸۹	۳۵/۸۶	روش سرویس حفاظت خاک (SCS) (۱۹۷۹)	
۴۴/۱۳	۵۳/۴۷	۱۵/۵۵	روش لارنس (۱۹۹۶)	
۸۶/۶۳	۹۷/۴۲	۸۹/۶۲	روش بویس (۱۹۷۵)	
۵۲/۲۴	۸۰/۷۶	۷۴/۸۹	روش ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)	روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های ژئومورفولوژی
۹۳/۵۵	۹۸/۵۲	۹۵/۵۵	روش مانر (۱۹۵۸)	
۹۲/۱۶	۹۷/۶۶	۹۵/۲۶	روش روئل (۱۹۶۲)	
۸۱/۵۶	۹۷/۴۲	۸۸/۴۴		

۹۹/۹۹	۸/۵۹	۶۸/۱۳	روش رونل ۲ (۱۹۶۲)	
۸۴/۳۲	۹۷/۶۶	۹۳/۴۸	روش مو و منگ (۱۹۸۰)	
۱۲/۳۹	۵۷/۲۹	۱۲/۳۸	روش EPM (۱۹۸۸)	
۹۴/۱۲	۴۶/۹۹	۵۹/۲۳	روش ماتنخلر و بوئی (۱۹۷۵)	روش‌های مبتنی بر مساحت و ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی
۹۶/۱۷	۹۸/۹۲	۹۸/۶۷	روش ویلیامز (۱۹۷۷)	
۴/۸۵	۹۰/۱۶	۶۳/۹۳	روش SWAT (۱۹۹۶)	
۵۰/۰۰	۶۵/۹۳	۷/۲۱	روش SWAT (۲۰۰۵)	
۹۹/۸۹	۹۶/۳۶	۹۴/۳۸	روش MUSLE	
۹۹/۳۵	۹۹/۸۳	۸۴/۴۵	روش غلامی و همکاران (۱۳۸۸)	
۹۴/۰۱	۹۸/۶۵	۹۶/۱۵	روش والینگ (۱۹۸۳)	
۹۹/۹۹	۶/۸۷	۳/۳۳	روش سوائف و لیود (۲۰۰۲)	
۹۹/۹۹	-	۲/۲۹	روش گرافیکی رنفر (۱۹۷۵)	
۳۵/۴۵	۷۵/۳۹	۷۱/۸۳	روش گرافیکی USDA-SCS (۱۹۸۱)	
۵۸/۵۱	۶۰/۶۲	۷۸/۳۵	USSR	روش گرافیکی والینگ (۱۹۸۳)، فرو و میناکاپیلی (۱۹۹۵)
۷/۷۹	۶۶/۷۸	۷۴/۲	Central & Eastern USA	
۵۳/۸۹	۶۹/۲۴	۷۶/۸۷	South-eastern Piedmont USA	
۵۴/۸۲	۷۲/۹۳	۷۵/۹۸	Missouri Basin Loess Hills USA	
۳۸/۳۲	۵۳/۲۴	۶۴/۴۲	Texas USA	
۲۹/۰۹	۶۸/۰۱	۶۲/۹۳	Pasture Watersheds W Iowa USA	
۸۴/۴۲	۵۰/۷۸	۶۰/۲۷	Corn Watersheds W Iowa USA	
۷۵/۲	۳۸/۴۷	۶۰/۸۶	Mule Creek Iowa USA	
۳۰/۸۴	۲۰/۰۱	۷۳/۳۱	Sicily, ITALY	
۹۹/۹۹	۱۵/۶۷	۹۹/۹۹	N Shaanxi CHINA	
۹۹/۹۹	۳۲/۳۲	۵۷/۸۹	Blackland Prairie, Texas, USA	
۸۷/۰۹	۴۴/۶۲	۴۶/۶۳	0.1 hr	بارش مازاد (رونل، ۱۹۶۲)
۲۶/۲۳	۸۶/۷۱	۷۰/۳۵	0.5 hr	
۳۸/۳۲	۸۴/۶۲	۴۰/۶۹	1 hr	
۳۵/۴۵	۸۶/۹۶	۷۹/۲۴	روش گرافیکی رونل (۱۹۶۲)	
۲۹/۰۹	۵۹/۳۹	-	روش گرافیکی مبتنی بر سطح و بافت خاک - رفاهی (۱۳۸۵)	
-	۳۰/۴۷	-	1	روش گرافیکی جانسون (۱۹۷۷)
-	۶۶/۴۱	-	2	
-	۸۳/۳۹	-	3	
-	۹۵/۰۸	-	4	
۷۶/۹۵	۸۷/۶۹	۸۸/۱۴	روش گرافیکی سرویس جنگل امریکا (۱۹۹۴)	

### بحث و نتیجه‌گیری

مورد ارزیابی واقع شد. این ۵ گروه شامل روش‌های مبتنی بر مساحت حوزه، روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوزه، روش‌های مبتنی بر مساحت و

روش‌های مورد استفاده در این تحقیق، شامل ۴۵ روش برآورد نسبت تحویل رسوب، در ۵ گروه طبقه‌بندی شده و در ۳ نوع اقلیم متفاوت در ایران اجرا و

ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه، روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های خاک حوزه و هیدرولیک رسوب و روش‌های گرافیکی و ترسیمی است. نتایج کار از طریق مقایسه تطبیقی و محاسبه مقادیر اختلاف نسبی، ارزیابی شده و در نهایت برای هر نوع اقلیم و هر حوزه مورد مطالعه، روش‌های مناسب‌تر با حداقل اختلاف نسبی نسبت به مقدار SDR شاخص، تعیین و مشخص گردید. مقادیر SDR محاسبه شده توسط روش‌های مختلف در جدول ۴، مقادیر رسوب برآورد شده با استفاده از نتایج بدست آمده از روش‌های مذکور و فرسایش برآورد شده بر اساس مدل EPM در جدول ۵ و مقادیر اختلاف نسبی محاسبه شده بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقادیر برآوردی در جدول ۶ نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که در حوزه آبخیز بابلرود واقع در شمال کشور، روش گرافیکی رنفرو (۱۹۷۵) با اختلاف نسبی ۲/۲۹٪، روش سوایف و لیود (۲۰۰۲) با اختلاف نسبی ۳/۳۳٪ و روش SWAT (۲۰۰۵) با اختلاف نسبی ۷/۲۱٪ به ترتیب مناسب‌ترین روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در حوزه مذکور هستند. به عبارتی در مناطق با اقلیم مشابه (معتدل و مرطوب) می‌توان استفاده از این روش‌ها را برای برآورد نسبت تحویل رسوب و در نهایت تبدیل فرسایش و رسوب به یکدیگر، پیشنهاد نمود. در حوزه آبخیز بنادک سادات

واقع در ایران مرکزی، روش‌های سوایف و لیود (۲۰۰۲)، روئل ۲ (۱۹۶۲) و N Shaanxi CHINA با اختلاف نسبی به ترتیب ۶/۸۷٪، ۸/۵۹٪ و ۱۵/۶۷٪ مناسب‌ترین روش‌ها در منطقه مورد نظر تشخیص داده شد و برای سایر مناطق با اقلیم گرم و خشک نیز می‌توانند پیشنهاد گردند. همچنین در حوزه آبخیز دهگلان واقع در غرب کشور، روش‌های SWAT (۱۹۹۶)، Central & Eastern USA و ونانی ۲ (۱۹۷۵)، با اختلاف نسبی به ترتیب ۴/۸۵٪، ۷/۷۹٪ و ۸/۲۵٪ روش‌های مناسب جهت برآورد نسبت تحویل رسوب در حوزه مورد مطالعه و مناطق با شرایط اقلیمی مشابه (نیمه خشک و سرد) می‌باشند.

بطور کلی، بر اساس نتایج بدست آمده، روش گرافیکی رنفرو (۱۹۷۵) که نسبت پستی و بلندی به طول آبراهه (R/L) را در نظر می‌گیرد، با اختلاف نسبی ۲/۲۹٪ در حوزه آبخیز بابلرود با اقلیم معتدل و مرطوب، روش سوایف و لیود (۲۰۰۲) که فاصله منبع تولید رسوب تا مسیر آبراهه اصلی و شیب مربوط به پهنه منابع تولید رسوب را بررسی می‌کند، با اختلاف نسبی ۶/۸۷٪ در حوزه آبخیز بنادک سادات با اقلیم گرم و خشک و روش SWAT (۱۹۹۶) که دبی اوج رواناب، اوج بارندگی، مقدار رواناب و مقدار بارندگی برای هر رگبار را در نظر می‌گیرد، با اختلاف نسبی ۴/۸۵٪ در حوزه آبخیز دهگلان با اقلیم نیمه خشک و



اقلیمی است. که این می‌تواند به دلیل پارامترها و ورودی‌های مدل شامل فاصله منبع تولید رسوب تا آبراهه اصلی و شیب پهنه منابع تولید رسوب باشد. این موضوع نشانگر این است که مدل سوايف و لیود به درستی ارتباط بین پارامترهای مؤثر در تحویل رسوب به آبراهه را لحاظ نموده است.

روش SWAT (۱۹۹۶ و ۲۰۰۵) نیز که روشی مبتنی بر رواناب است در حوزه‌های آبخیز بابلرود و دهگلان، نتایجی مشابه ارائه نموده و با اختلاف نسبی بسیار کم نسبت به میزان شاخص آن، به عنوان یکی از روش‌های مناسب برآورد SDR معرفی گردیده است. در اینجا نیز می‌توان به تأثیر مناسب رواناب و بارندگی در نسبت تحویل رسوب اشاره کرد که روش SWAT این دو عامل مؤثر را بخوبی در نظر گرفته است.

در نهایت، پیشنهاد می‌گردد که با تحقیقات بیشتر در زمینه SDR و در نظر گرفتن جمیع عوامل مؤثر در آن از قبیل ویژگی‌های ژئومورفولوژی، فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه آبخیز، نسبت به ارائه مدل‌های با دقت و کارایی مناسب جهت برآورد SDR اقدام گردد.

#### منابع

ابراهیمی، ز.، ۱۳۸۵. ارزیابی و واسنجی چند مدل برآورد نسبت تحویل رسوب مطالعه موردی در حوزه آبخیز کورکورسر نوشهر، پایان‌نامه

سرد، مناسب‌ترین روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در این تحقیق می‌باشند. که نتایج حاصل، با یافته‌های مانر (۱۹۵۸)، لو و همکاران (۲۰۰۶)، ابراهیمی (۱۳۸۵) و صابرهمیشگی (۱۳۸۵) مطابقت دارد. بعلاوه، کاربرد روش مناسب برآورد نسبت تحویل رسوب و لحاظ نمودن سایر عوامل مؤثر بر فرآیند فرسایش و تولید رسوب و تعیین نحوه ارتباط صحیح آنها با یکدیگر در تخمین مناسب مقدار فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه و سایر حوزه‌ها به عنوان پیشنهادی برگرفته از تحقیق حاضر تأکید می‌گردد. همچنین با توجه به نتایج حاصل، کارایی و دقت مناسب روش‌های گرافیکی برآورد نسبت تحویل رسوب، بخصوص روش گرافیکی والینگ (۱۹۸۳) - فرو و میناکاپیلی (۱۹۹۵)، کاملاً محسوس بوده، که با توجه به سهولت اجرای آنها و نیاز به داده‌های بسیار ساده و قابل دسترسی، کاربرد و استفاده از این قبیل روش‌ها در حوزه‌های آبخیز و اقالیم مشابه پیشنهاد می‌گردد که با نتایج غلامی و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر، روش سوايف و لیود (۲۰۰۲) در دو حوزه آبخیز بابلرود و بنادک سادات، به عنوان روشی مناسب جهت برآورد نسبت تحویل رسوب تعیین و معرفی گردید که این بیانگر دقت و کارایی بالای روش و همچنین انعطاف‌پذیری مناسب آن در شرایط متفاوت فیزیکی و

قشلاق استان کردستان، علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱.

صابر همیشگی، س.م.، ۱۳۸۵. ارزیابی چند مدل برآورد نسبت تحویل رسوب و انتخاب مناسب‌ترین مدل (مطالعه موردی: زیر آبخیز لوراک- لیتان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

ضیائی، ح.ا.، و ع. بهنیا، ۱۳۸۰. اصول مهندسی آبخیزداری، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع) مشهد، ۵۴۸ ص.

غلامی، ل.، صادقی، س.ح.ر.، خالدی درویشان، ع.، ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب متوسط با روش مستقیم در حوزه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق، چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۰- غلامی، ل.، صادقی، س.ح.ر.، خالدی درویشان، ع.، ۱۳۸۹. مدل‌سازی برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوزه آبخیز چهل‌گزی بر اساس ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژی، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۶، ۹: (۲).

نورانی، س.ن.خ.، ۱۳۸۵. ارزیابی چهار روش برآورد نرخ تولید رسوب (SDR) به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز

کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

افسری، ر.، قدوسی، ج.، ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف تخمین نسبت تحویل رسوب (SDR) تحت شرایط آب و هوایی مختلف (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز استان مرکزی)، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۱۲.

دستورانی، ج.، قلی‌نژاد، س.، سلاجقه، ع.، دستورانی، ق.، ۱۳۸۵. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد نسبت تحویل رسوب در حوزه آبخیز زیارت، اولین همایش ملی- دانشجویی مرتع، آبخیز و بیابان، دانشگاه تهران.

رفاهی، ح.ق.، ۱۳۸۵. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۶۷۱ ص. راشکی، ع.، ۱۳۸۵. بررسی کارایی تلفیق مدل‌های

RUSLE و SEDD در برآورد توزیعی فرسایش و رسوب سالانه با استفاده از تکنیک زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کهنوک خاش)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۸۰ ص.

صادقی، س.ح.ر.، غلامی، ل.، خالدی درویشان، ع.، ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوزه آبخیز چهل‌گزی سد

- of watershed sediment yield. *Hydraul. Engng. Chinese Soc. Hydraul. Engng, Beijing, China.*
- Mutua, B., and Klik, A. 2004. Development of a Physically Based Model for Estimation of Spatial Sediment Delivery Ratio for Large Remote Catchments. *J. Spatial Hydrology*, 5: 2. 1-15.
- Novotny, V., and Olem, H. 1994. *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution.* Van Nostrand Reinhold, New York, New York, Pp: 72-85.
- Renfro, G.W., 1975. User of Erosion Equation and Sediment Delivery Ratio for Predicting Sediment Yield. In *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources*, Agricultural Resources Services, ARS-S-40, 33-45. US Dept. Agric., Washington, D.C.
- Roehl, J.W., 1962. Sediment Source Areas, Delivery Ratios and Influencing Morphological Land Resources, Oct. 1962. International Association. *Hydrologic Science Journal Publication.* pp 59.
- Ramos-Scharron, C.E., and MacDonald, L.H. 2007. Development and Application of a GIS-Based Sediment Budget Model, *J. Environ. Manag.* 84: 157-172.
- Rasheki, A. 2006. Study on Efficiency of RUSLE and SEDD Conjunction in Distribution Estimation of Erosion and Sediment by Using Geostatistics and GIS (Case Study: Kahnook Watershed, Khash). M.Sc. Thesis in Watershed Management Engineering, University Gorgan of Agric. Sci. and Natur. Resour. 80p.
- USDA-SCS., 1972. Sediment sources, yields, and delivery ratios. *National Engineering Handbook, Section 3 Sedimentation.*
- USDA., 1975. Sediment Sources, Yields, and Delivery Ratios. *National Engineering Handbook, Section 3 Sedimentation.*
- USDA-SCS., 1981. United States Department of Agriculture- Soil Conservation Service *Engineering Handbook, Section 3. Sedimentation.*
- Vanani, J., 1975. *Soil Erosion Prediction.* New York in *Irk P.* 210.
- طالقان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- Arnold, j. G., Williams, JR., Srinivasan, R. and Wking 1996. *The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) User Manual.* Temple. Tx.
- Boyce, R.C., 1975. Sediment routing with sediment delivery ratios. *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources USDA, ARS-S, 40:* 61-66.
- Ferro, V. and Minacapillia, M., 1995. Sediment Delivery Processes at Basin Scale. *Hydrologic Science Journal* 40(6): 703-718.
- Ferro, V. and Porto, P., 2000. Sediment Delivery Distributed (SEDD) Model, *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(4): 633-647.
- Fernandez, C., Wu, J.Q., McCool, D.K. and Stockle, C.O., 2003. Estimating Water Erosion and Sediment Yield with GIS, RUSLE and SEDD. *J., Soil Water Conservation*, 58, 128-136.
- Haan, C.T., Barfield, B.J. and Hayes, J.C., 1994. *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments*, Academic Press, INC., 588p.
- Johnson, H.P., 1977. Estimated sediment delivery for Landform Regions, March. 1988, International Association. *Hydrologic Science Journal Publication.* pp 15.
- Kinnell, P.I.A., 2006. Alternative Approaches for Determining the USLE-M Slope Length Factor for Grid Cells. *Soil Science Society of American Journal.* 605-1315.
- Lu, H., Moran, C.J., Prosser, I. and Sivapalan, M., 2003. Modelling Sediment Delivery Ratio based on Physical Principles. *Environmental Modelling & Software*, 35: 36-56.
- Lu, H., Moran, C.J. and Prosser, I., 2006. Modelling Sediment Delivery Ratio over the Murray Darling Basin. *Environmental Modelling & Software*, 21:1297-1308.
- Maner, S.B., 1958. Factors Affecting Sediment Delivery Rates in the Red Hills Physiographic Area, *Transaction of American Geophysics*, 39: 669-675.
- Mou, J., & Meng, Q., 1980. Sediment delivery ratio as used in the computation

- Vanoni, V.A., 1975. Sedimentation Engineering, Manual and Report No. 54. American Society of Civil Engineers, New York, N.Y.
- 35- Williams, J.R. and Brendet, A.D., 1972. Sediment Yield Computed with the Universal Equation. Proceeding of the American Society of Civil Engineers, 98(HY12), pp. 2087-2098.
- Walling, D.E., 1983. the Sediment Delivery Problem, Journal of Hydrology, 65: 209-237.
- Williams, J.R., 1977. Sediment Delivery Ratios Determined with Sediment and Runoff Models. Proceedings Symposium on Erosion and Solid Matter Transport in Inland Water. Int l. Assoc. Hydrological Science. No. 122, pp. 168-179





پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی