

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

عطا صافری: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
عطالله کاویان: استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران *
حیدر میرزایی: دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران
مرتضی صدر: کارشناس گروه مرتع و آبخیزداری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران
محمدحسین فرهودی: دانش‌آموخته 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 حوضه آبخیز متفاوت از لحاظ اقلیم و ویژگی‌های فیزیکی در ایران مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه شامل حوضه آبخیز بابلرود استان مازندران (معرف اقلیم مرطوب و پر باران شمال کشور)، حوضه آبخیز بنادک سادات استان یزد (معرف اقلیم گرم و خشک ایران مرکزی) و حوضه 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 حوضه‌های آبخیز و فرسایش برآورد شده توسط مدل EPM در هر حوضه، 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، سوائف و لیود و SWAT (۲۰۰۵) با حداقل اختلاف نسبی به ترتیب ۲/۲۹، ۳/۳۳ و ۷/۲۱ درصد در حوضه آبخیز بابلرود، روش‌های سوائف و لیود، روتل ۲ و N Shaanxi CHINA با حداقل اختلاف نسبی به ترتیب ۶/۸۷، ۸/۵۹ و ۱۵/۶۷ درصد در حوضه 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 حوضه آبخیز دهگلان، مناسب‌ترین روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در این تحقیق هستند.

واژه‌های کلیدی: بابلرود، بنادک سادات، دهگلان، نسبت تحویل رسوب.

مقدمه

غیرنقطه‌ای ۲ و همچنین در طراحی و ساخت سازه‌های آبی مانند سدها و مخازن به عنوان یک فاکتور اساسی مطرح است. بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز برای دستیابی به مدیریت صحیح

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

اراضی و حفظ کمیت و کیفیت آب و خاک از ضروریات اساسی محسوب می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از نسبت تحویل رسوب در حوضه‌های 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 حوضه 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 (موتوآ 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 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 حوضه‌های 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 حوضه‌های 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 حوضه‌های 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^۲ استوار بود. فرو و پورتو (۲۰۰۰) و فرناندز و همکاران (۲۰۰۳) مدل توزیعی تحویل رسوب به همراه مدل RUSLE^۳ را برای برآورد میزان رسوب سالانه به کار بردند. لو و همکاران (۲۰۰۳)، SDR را براساس اصول و قواعد فیزیکی (شبیه‌سازی خطی) دو منبع ذخیره رسوب در حوضه (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

1- Sediment Delivery Ratio

2- Universal Soil Loss Equation

3- Revised Universal Soil Loss Equation

حاصل از ارزیابی دو گروه از مدل‌های برآورد یا محاسبه نسبت تحویل رسوب در حوضه آبخیز کورسر- نوشهر با اقلیم معتدل مرطوب اظهار داشته است مدل‌هایی که در آنها بجای عامل مساحت، طول آبراهه اصلی و ارتفاع متوسط حوضه آبخیز از سطح دریا لحاظ شده مدل‌های مناسب هستند. دستورانی و همکاران (۱۳۸۵)، در برآورد نسبت تحویل رسوب در حوضه زیارت گلستان ضمن برآورد SDR به این نتیجه رسیدند که استفاده از روابط متکی بر مساحت حوضه دارای دقت کافی نیستند. نورانی (۱۳۸۵)، با ارزیابی چهار مدل از مدل‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در حوضه 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 حوضه آبخیز طالقان رود و سایر حوضه‌های آبخیز با شرایط اقلیمی مشابه است. صادقی و همکاران (۱۳۸۷)، اختلاف برخی از روش‌های مورد استفاده در برآورد نسبت تحویل رسوب برای رگبار شامل مدل MUSLE^۱، مدل مبتنی بر رواناب SWAT^۲ و روش سرویس جنگل امریکا با مقادیر مشاهده‌ای حاصل از نسبت مقادیر رسوب و فرسایش اندازه‌گیری شده به ترتیب در خروجی حوضه آبخیز و پلاتهای فرسایشی مستقر در سراب حوضه 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.

تصحیح اثر کاهش بار رسوبی در خروجی استفاده کردند. نتایج نشان داد که بار رسوبی حوضه‌ها 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 حوضه‌ها 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 حوضه‌ها مجموع رسوبی که به طور واقعی روی دامنه‌ها ته‌نشین 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 حوضه‌ای به حوضه دیگر تغییر می‌کند. طبق همین نتایج مقدار بار رسوبی تخمینی برای حوضه‌های با پتانسیل تحویل رسوب متوسط به SDR انتخابی حساسیت بالایی نشان می‌دهند. در ایران نیز، صابره‌میشگی (۱۳۸۵)، با بررسی برخی مدل‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در زیرحوضه لوارک در حوضه آبخیز لتیان- تهران، گزارش داده است که به دلیل تجربی بودن تمامی مدل‌های ارائه شده برای برآورد نسبت تحویل رسوب در مقیاس حوضه آبخیز ضرورت دارد مناسب‌ترین روش از طریق آزمون ارزیابی آنها در حوضه آبخیز معرفی مشخص و معرفی شود. راشکی (۱۳۸۵)، حوضه کهنوک خاش را برای برآورد SDR با استفاده از مدل توزیعی نرخ تحویل رسوب متوسط به سلول-هایی به ابعاد ۲۰ متر شبکه‌بندی و مقدار آن را ثابت برآورد کرد. ابراهیمی (۱۳۸۵)، با توجه به نتایج

1- Modified Universal Soil Loss Equation

2- Soil and Water Assessment Tool

خاک، حجم رواناب، دبی اوج، شیب حوضه 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 حوضه 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.

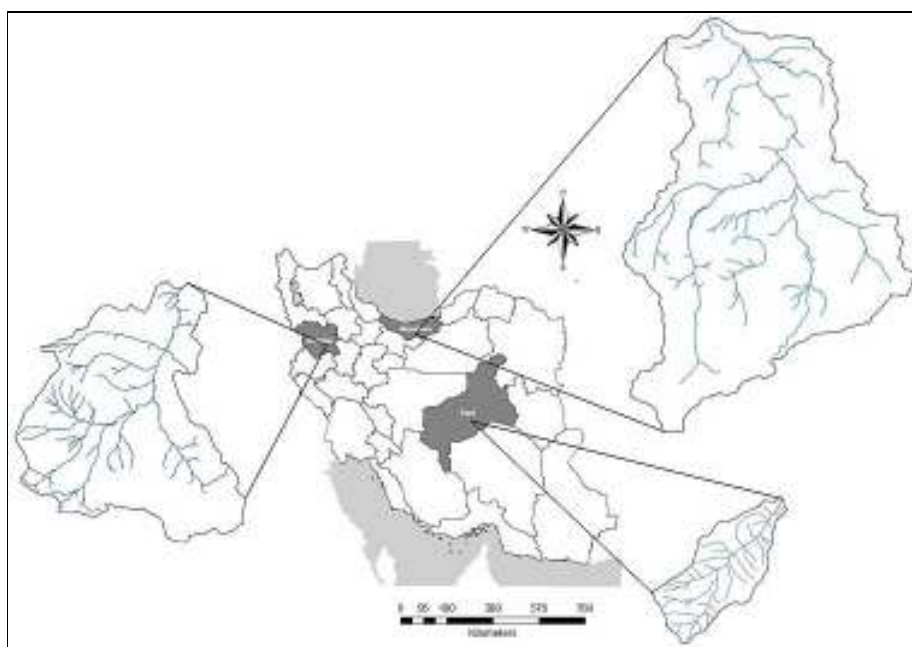
افسری و قدوسی (۱۳۹۰)، با ارزیابی روش‌های مختلف تخمین نسبت تحویل رسوب (SDR) تحت شرایط آب و هوایی مختلف، اقدام به بررسی ۱۳ روش برآورد نسبت تحویل رسوب، جهت مقایسه با روش محاسبه آن در مدل Erosion Potential Method در دو حوضه آبخیز خمین و مزلقان واقع در استان مرکزی نمودند، همچنین مقادیر فرسایش در دو حوضه مورد 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 حوضه‌های آبخیز خمین و مزلقان، مناسب‌ترین روش‌ها هستند.

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 حوضه، وضعیت پوشش گیاهی، نوع

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

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



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

WSP: فرسایش ویژه بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال، H: متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر، Z: ضریب شدت فرسایش، T: ضریب درجه حرارت.

ایستگاه‌های مطالعاتی و اندازه‌گیری رسوب مشاهده‌ای

در این تحقیق، از آمار ایستگاه‌های قران تالار (حوضه آبخیز بابلرود)، طزرجان (حوضه آبخیز بنادک سادات) و دهگلان (حوضه 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 حوضه بالادست و طول دوره آماری ارائه شده است.

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 و در سال ۱۹۹۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه توسط گالوریلوویچ ارائه شد (ضیایی و بهنیا، ۱۳۸۰). در این روش چهار مشخصه ضریب فرسایش حوضه آبخیز، ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش و شیب متوسط حوضه مورد بررسی قرار می‌گیرد. محاسبه میزان فرسایش بر اساس این روش به صورت رابطه ۱ ارائه گردیده است:

(۱)

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

جدول ۲- مشخصات اصلی ایستگاه‌های مورد استفاده

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (دقیقه - درجه)	عرض جغرافیایی (دقیقه - درجه)	ارتفاع (m)	مساحت حوضه آبخیز (km ²)	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 حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی پس از پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش منحنی سنج 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 حوضه 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 هستند:

الف- روش‌های مبتنی بر مساحت حوضه آبخیز:

۱- رنفرو (۱۹۷۵)

$$\text{Log (SDR)} = 1.7935 - 0.4191 \text{ Log(A)} \quad (۲)$$

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

۲- ونانی (۱۹۷۵)

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

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

۳- ونانی ۲ (۱۹۷۵)

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

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

۴- USDA (۱۹۷۵)

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

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع.

۵- وانونی (۱۹۷۵)

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

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع.

۶- سرویس حفاظت خاک آمریکا- SCS (۱۹۷۹)

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

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

۷- لارنس (۱۹۹۶)

$$\text{SDR} = \text{A} \cdot 0.2 \quad (۸)$$

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع.

۸- بویس (۱۹۷۵)

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

SDR: نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع.

ب- روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز:

۹- ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)

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

SDR: نسبت تحویل رسوب، SLP: شیب آبراهه اصلی که از مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌های مورد مطالعه استخراج و به کار گرفته شد.

۱۰- مانر (۱۹۵۸)

$$\text{Log SDR} = 2.94259 + 0.82362 \text{ Log(R/L)} \quad (۱۱)$$

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

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

پارامترهای فوق از مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌های مورد مطالعه استخراج و به‌کار گرفته شد.

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

۱۵- ماتخلر و بوئی (۱۹۷۵)

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

A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب مایل مربع، RO: متوسط ارتفاع رواناب سالانه بر حسب اینچ که از مطالعات هیدرولوژی حوضه‌های مورد مطالعه استخراج گردید.

۱۶- ویلیامز (۱۹۷۷)

$$SDR = 1.366 \times 10^{-12} (A) - 0.0998 \quad (17)$$

SDR 5.44 (CN) 0.362 (R/L): نسبت تحویل رسوب، A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب مایل مربع، R/L: نسبت پستی و بلندی به طول حوضه آبخیز بر حسب مایل بر مایل، CN: شماره منحنی.

پارامترهای مورد نیاز در رابطه فوق از مطالعات فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوضه‌های مورد مطالعه استخراج گردید.

۱۷- SWAT (۱۹۹۶)

$$SDR = \left[\frac{qp}{rp} \right] / (0.782845 + 0.217155 \frac{Q}{R}) \quad (18)$$

qp: دبی اوج رواناب بر حسب میلی‌متر بر ساعت، rp: اوج بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت، Q: مقدار

SDR: نسبت تحویل رسوب، R: اختلاف ارتفاع بین بلندترین و کم ارتفاع‌ترین نقاط حوضه آبخیز بر حسب متر، L: طول حوضه آبخیز بر حسب متر. پارامترهای R و L از مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌های مورد مطالعه استخراج و به‌کار گرفته شد. ۱۱- روئل (۱۹۶۲)

$$\text{Log}(SDR) = 4.5 - 0.23 \text{Log}(A) - 0.5125 \quad (12)$$

$$\text{Log}(R/L) - 2.788 \text{Log}(BR)$$

A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب مایل مربع، R/L: نسبت پستی و بلندی به طول حوضه آبخیز بر حسب مایل بر مایل، BR: نسبت دو شاخه شدن یا ضریب دو شاخه شدن شبکه آبراهه‌های حوضه آبخیز.

پارامترهای مورد نیاز در رابطه فوق از مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌های مورد مطالعه استخراج گردید.

۱۲- روئل ۲ (۱۹۶۲)

$$SDR = 1862 A^{0.23} (R/L) - 0.51 (B) - 2.79 \quad (13)$$

A: مساحت حوضه آبخیز بر حسب مایل مربع، R: اختلاف ارتفاع حداکثر و حداقل حوضه بر حسب متر، L: طول حوضه آبخیز بر حسب فوت، B: نسبت انشعابات.

تمامی پارامترهای مورد نیاز در این رابطه نیز از مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌های مورد مطالعه استخراج و به‌کار گرفته شد.

۱۳- مو و منگ (۱۹۸۰)

$$SDR = 1.29 + 1.37 \text{Ln} RC - 0.025 \text{Ln} A \quad (14)$$

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

پارامترهای مساحت حوضه و تراکم شبکه آبراهه از مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌های مورد مطالعه استخراج و در رابطه مذکور اعمال گردید.

۱۴- EPM (۱۹۸۸)

$$D = \frac{11.8(Q \times qp)^{0.54}}{R \times A} \quad (23)$$

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

پارامترهای موجود در رابطه فوق با استفاده از مطالعات هیدرولوژی و هوا و اقلیم حوضه‌های مورد مطالعه و همچنین روابط موجود به دست آمده است.

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

$$21 - \text{والینگ (۱۹۸۳)}$$

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

Csoil: درصد رس موجود در خاک حوضه آبخیز، Csed: درصد رس موجود در رسوب تولیدی.

پارامترهای فوق از مطالعات خاک‌شناسی و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف خاک در پروفیل‌های حفر شده در نقاط مختلف هر یک از حوضه‌های مورد مطالعه و نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های رسوب برداشت شده در سطح حوضه‌های مذکور محاسبه و به دست آمده است.

$$22 - \text{سویف و لیود (۲۰۰۲)}$$

$$Z = 0.9004 - 0.134(\ln x) - 0.0465(\ln x)^2 - 0.00749(\ln x)^3 - 0.0399(\ln y) + 0.0144(\ln y)^2 + 0.00308(\ln y)^3 \quad (25)$$

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 $y > 0$).

پارامترهای مورد نیاز در رابطه فوق طی بازدیدهای میدانی در حوضه‌های مورد مطالعه و استفاده از GPS، نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و نقشه‌های موجود محاسبه و استخراج گردید.

رواناب بر حسب میلی‌متر، R: مقدار بارندگی برای یک رگبار بر حسب میلی‌متر.

پارامترهای به‌کار رفته در رابطه فوق با استفاده از مطالعات هیدرولوژی و هوا و اقلیم و همچنین داده‌های نزدیکترین ایستگاه‌های هواشناسی موجود در مناطق مورد مطالعه به دست آمده است.

$$18 - \text{SWAT (۲۰۰۵)}$$

$$SDR = (qp/rep) \quad (19)$$

qp: حداکثر عمق رواناب سطحی بر حسب میلی‌متر بر ساعت، rep: مقدار بارش مازاد یا مساوی مقدار حداکثر بارش مؤثر بر حسب میلی‌متر بر ساعت.

پارامترهای رابطه فوق با استفاده از مطالعات هیدرولوژی و هوا و اقلیم حوضه‌های مورد مطالعه و همچنین روابط موجود و تبدیل واحدهای صورت گرفته، محاسبه و به دست آمده است.

$$19 - \text{غلامی و همکاران (۱۳۸۸)}$$

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

SDR: نسبت تحویل رسوب، Q: حجم رواناب بر حسب متر مکعب، qp: دبی اوج رواناب بر حسب مترمکعب بر ثانیه که از مطالعات هیدرولوژی حوضه‌های مورد مطالعه استخراج گردید، R: عامل فرساینده‌گی باران در معادله جهانی هدررفت خاک:

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

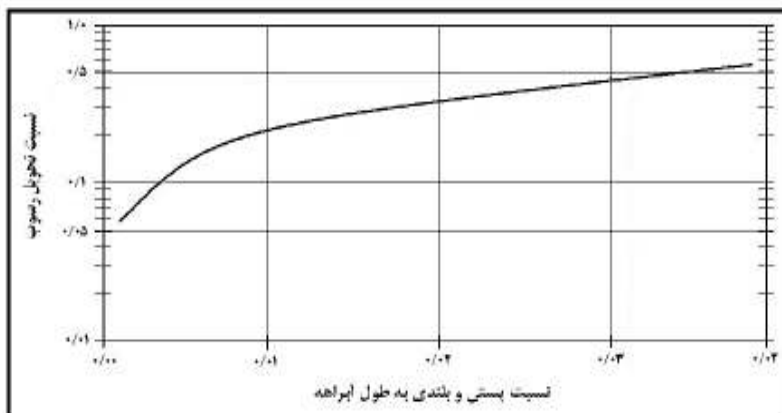
$$R = EI30/100 \quad (22)$$

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، I30: حداکثر شدت نیم ساعته رگبار بر حسب سانتی‌متر بر ساعت.

پارامترهای E و I30 با استفاده از روابط موجود و داده‌های شدت بارش در دسترس برای هر یک از حوضه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید.

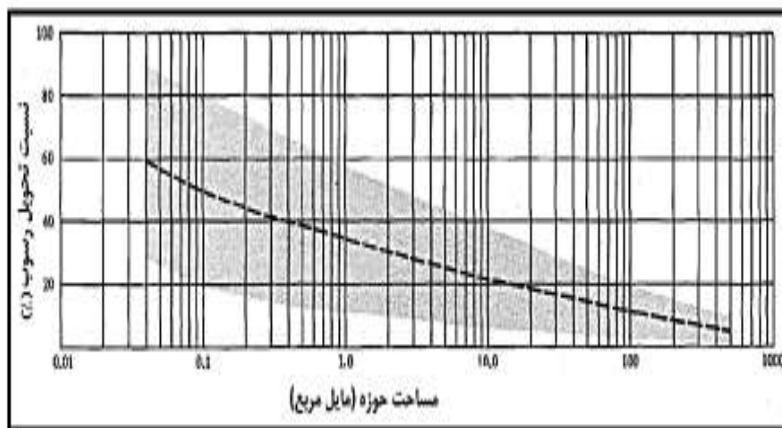
$$20 - \text{MUSLE (۱۹۷۷)}$$

ث- روش‌های گرافیکی برآورد نسبت تحویل رسوب: ۲۳- روش گرافیکی رنفرو (۱۹۷۵)



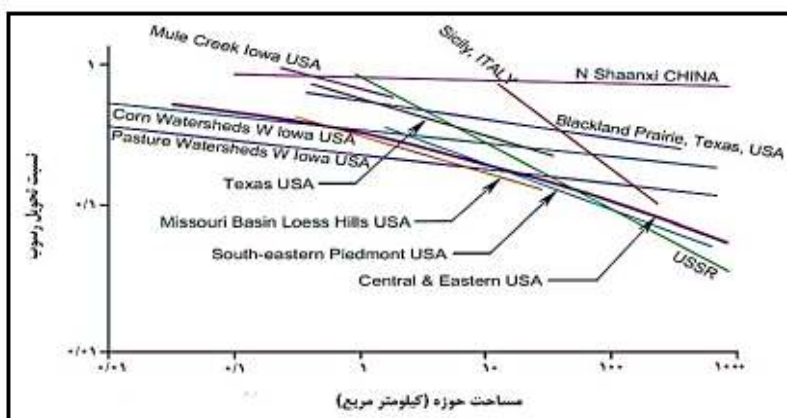
شکل ۲- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس نسبت پستی و بلندی به طول آبراهه (Renfro, 1975)

۲۴- روش گرافیکی USDA-SCS (۱۹۸۱)



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

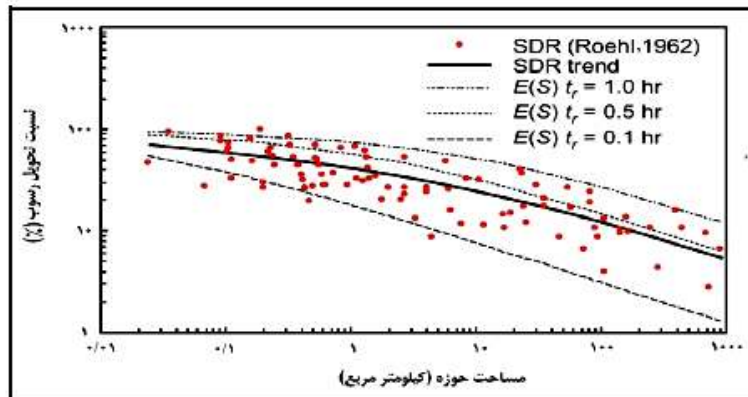
۲۵-۳۵- روش گرافیکی والینگ (۱۹۸۳) و فرو و میناکاپیلی (۱۹۹۵)



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

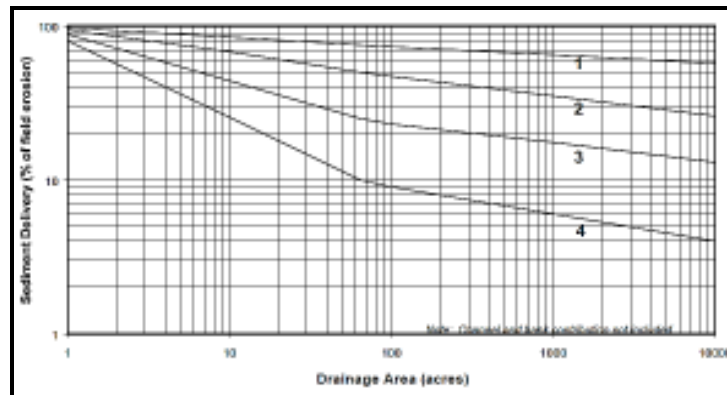
آسیا

۳۶-۳۹- روش گرافیکی روئل (۱۹۶۲)



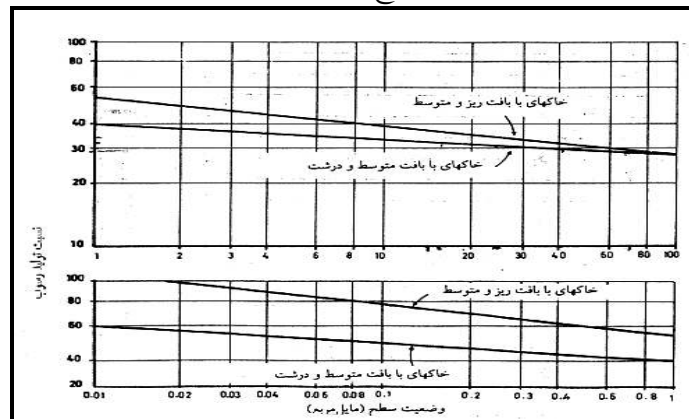
شکل ۵- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس مساحت حوزه بر حسب کیلومتر مربع و بارش مازاد (Roehl, 1962)

۴۳-۴۰- روش گرافیکی جانسون (۱۹۷۷)



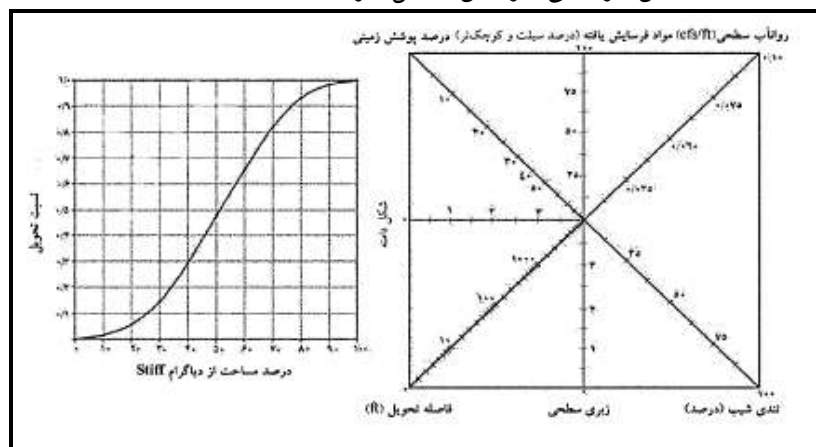
شکل ۶- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس سطح زهکشی بر حسب ایگر (Johnson, 1977)

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



شکل ۷- برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس سطح (مایل بر صد) 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)

های آبخیز مورد مطالعه و فرسایش برآوردی در هر حوضه، یک میزان شاخص SDR اندازه‌گیری و تعیین گردید. که نتایج حاصل در جدول ۳ نشان داده شده است. سپس ۴۵ روش مختلف برآورد نسبت تحویل رسوب در ۵ گروه متفاوت، برای هر حوضه اجرا گردید که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین با استفاده از مقادیر SDR برآورد شده، میزان رسوب تولیدی در هر حوضه 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.

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 حوضه استفاده گردید. اختلاف نسبی بین مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری به صورت رابطه ۲۶ که در زیر به آن اشاره شده است، به دست می‌آید:

$$\text{اختلاف نسبی} = \left| \frac{Q_o - Q_e}{Q_o} \right| * 100 \quad (26)$$

Q_o : مقادیر مشاهده‌ای، Q_e : مقادیر برآوردی.

نتایج

در مطالعه حاضر، ابتدا با استفاده از رسوب مشاهده‌ای در ایستگاه‌های واقع در خروجی هر یک از حوضه-

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

حوضه مورد مطالعه	رسوب مشاهده‌ای (ton/year)	فرسایش برآوردی (ton/year)	SDR اندازه‌گیری	طول حوضه (m)	تراکم آبراهه (km/km ²)	نسبت انشعاب
حوضه آبخیز بابارود	۷۱۰۲۵/۹۱۸	۲۱۰۶۰۶/۹۰۴	۰/۳۳۷	۳۶۵۲۰	۲/۱۳۹	۲/۱۹۸
حوضه آبخیز بنادک سادات	۶۹۶۰۰/۲۹۸	۸۵۶۴۸/۱۰۷	۰/۸۱۳	۱۱۸۱۰	۱/۷۲	۹/۷۲
حوضه آبخیز دهگلان	۱۰۵۱۸/۴۰۴	۴۸۴۹۵/۴۲۵	۰/۲۱۷	۲۷۴۴۰	۵/۰۱۷	۱/۹۰

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

روش‌های مورد استفاده	حوضه آبخیز بابارود	حوضه آبخیز بنادک سادات	حوضه آبخیز دهگلان
مقدار اندازه‌گیری شده	۰/۳۳۷	۰/۸۱۳	۰/۲۱۷
روش زنفرو (۱۹۷۵)	۰/۰۶۸	۰/۱۹۹	۰/۰۹۶
روش ونانی (۱۹۷۵)	۰/۲۱۷	۰/۲۹۸	۰/۲۴۱
روش ونانی ۲ (۱۹۷۵)	۰/۱۷	۰/۳۷۷	۰/۱۹۹

۰/۳۱۲	۰/۲۹۹	۰/۲۸۴	روش USDA (۱۹۷۵)	روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های ژئومورفولوژی
۰/۲۴	۰/۲۶۹	۰/۲۱۶	روش وانونی (۱۹۷۵)	
۰/۳۱۳	۰/۳۷۸	۰/۳۸۵	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	۰/۰۱۵	روش ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)	
۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶	روش مانر (۱۹۵۸)	
۰/۰۰۴	۰/۰۲۱	۰/۰۳۹	روش روتل (۱۹۶۲)	
۰/۸۲۵	۰/۷۴۳	۰/۵۶۷	روش روتل ۲ (۱۹۶۲)	
۰/۰۳۴	۰/۰۱۹	۰/۰۲۲	روش مو و منگ (۱۹۸۰)	
۰/۱۹	۰/۳۴۷	۰/۳۷۹	روش EPM (۱۹۸۸)	روش‌های مبتنی بر مساحت و ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی
۰/۰۱۳	۰/۴۳۱	۰/۵۳۷	روش ماتخلر و بونی (۱۹۷۵)	
۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	روش ویلیامز (۱۹۷۷)	
۰/۲۲۷	۰/۰۷۹	۰/۱۲۲	روش SWAT (۱۹۹۶)	
۰/۳۲۵	۰/۳۷۷	۰/۳۶۲	روش SWAT (۲۰۰۵)	
۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۰/۰۱۹	روش MUSLE	روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های خاک و رسوب
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 سوایف و لیود (۲۰۰۲)	
۰/۴۵	-	۰/۳۴۵	روش گرافیکی زنفرو (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	Sicily, ITALY	
۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۸۹	N Shaanxi CHINA	
۰/۵	۰/۵۵	۰/۱۴۲	Blackland Prairie, Texas, USA	بارش مازاد (روتل، ۱۹۶۲)
۰/۰۲۸	۰/۴۵	۰/۱۸	0.1 hr	
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 روتل (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 آمریکا (۱۹۹۴)	

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

حوضه آبخیز دهگلان	حوضه آبخیز بنادک سادات	حوضه آبخیز پابلود	روش‌های مورد استفاده	مقدار اندازه‌گیری شده	روش‌های مبتنی بر مساحت
۱۰۵۱۸/۴۰۴	۶۹۶۰۰/۲۹۸	۷۱۰۲۵/۹۱۸	روش زنفرو (۱۹۷۵)		
۴۶۵۵/۵۶۱	۱۷۰۴۳/۹۷۳	۱۴۳۲۱/۲۶۹	روش وانونی (۱۹۷۵)		
۱۱۶۷۸/۸۲۵	۲۵۶۰۳/۸۰۵	۴۵۶۲۱/۷۴۸	روش ونانی ۲ (۱۹۷۵)		
۹۶۵۰/۵۸۹	۳۲۳۴۵/۹۳۳	۳۵۸۰۳/۱۷۴	روش USDA (۱۹۷۵)		
۱۵۱۴۱/۹۷۱	۲۵۵۶۸/۲۴۸	۵۹۹۰۶/۶۳۸	روش وانونی (۱۹۷۵)		
۱۱۶۶۲/۶۵۱	۲۳۰۳۹/۳۴۱	۴۵۵۵۸/۵۵۴	روش سرویس حفاظت خاک (SCS) (۱۹۷۹)		
۱۵۱۶۰/۲۴۳	۳۲۳۸۵/۰۷۵	۵۹۹۷۸/۹۴۲	روش لارنس (۱۹۹۶)		
۱۴۰۶/۳۶۷	۱۷۹۸/۶۱	۷۳۷۱/۲۴۲			

۵۰۳۳/۲۴۸	۱۳۳۹۴/۰۵۶	۱۷۸۲۷/۹۰۹	روش بویس (۱۹۷۵)	روش‌های مبتنی بر ویژگیهای ژئومورفولوژی
۶۷۸/۹۳۶	۱۰۳۷/۷۷۷	۳۱۵۹/۱۰۴	روش ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)	
۸۲۴/۴۲۲	۱۶۲۷/۳۱۴	۳۳۶۹/۷۱۵	روش مانر (۱۹۵۸)	
۱۹۳۹/۸۱۷	۱۷۹۸/۱۰۳	۸۱۱۳/۶۶۹	روش روتل (۱۹۶۲)	
۴۰۰۰۸/۷۲۶	۶۳۶۵/۳۴۱	۱۱۹۴۱۴/۱۱۵	روش روتل ۲ (۱۹۶۲)	
۱۶۴۸/۸۴۵	۱۶۲۷/۳۱۴	۴۶۳۳/۳۵۲	روش مو و منگ (۱۹۸۰)	
۹۲۱۴/۱۳۱	۲۹۷۱۹/۸۹۳	۷۹۸۲۰/۰۱۷	روش EPM (۱۹۸۸)	روش‌های مبتنی بر مساحت و ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی
۶۱۸/۷۴۲	۳۶۸۹۷/۵۴۷	۱۱۳۰۹۵/۹۰۷	روش ماتنلر و بونی (۱۹۷۵)	
۴۰۲/۵۳۱	۷۵۴/۲۲۶	۹۴۳/۲۰۱	روش ویلیامز (۱۹۷۷)	
۱۱۰۲۸/۳۵۸	۳۸۴۹/۴۰۵	۲۵۲۲۰/۳۸۹	روش SWAT (۱۹۹۶)	
۱۵۷۷۷/۸۷۸	۲۳۷۱۱/۰۰۲	۷۶۱۴۳/۰۵۷	روش SWAT (۲۰۰۵)	
۱۱/۱۸۱	۲۵۳۶/۸۸۸	۳۹۹۴/۷۴۹	روش MUSLE	
۶۸۰/۱۲	۱۲۰/۶۲۵	۱۱۰۴۱/۵۱۹	روش غلامی و همکاران (۱۳۸۸)	روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های خاک و رسوب
۶۳۰/۴۴۱	۹۴۲/۱۲۹	۲۳۳۷/۸۸۹	روش والینگ (۱۹۸۳)	
۴۲۸۲۹/۲۹۹	۶۴۸۱۷/۱۲۱	۷۳۳۹۳/۰۸۹	روش سویاف و لیود (۲۰۰۲)	
۲۱۸۲۳/۴۴۱	-	۷۲۶۵۹/۳۸۲	روش گرافیکی رنفر (۱۹۷۵)	
۶۷۸۹/۳۵۹	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	
۱۴۵۴۸/۶۳۸	۳۲۵۴۶/۲۸۱	۲۵۲۷۲/۸۲۹	Texas USA	
۱۳۵۷۸/۷۱۹	۲۲۳۶۸/۵۰۸	۲۶۳۲۵/۸۶۳	Pasture Watersheds W Iowa USA	
۱۹۳۹۸/۱۷	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 Shaansi CHINA	
۲۴۲۴۷/۷۱۳	۴۷۱۰۶/۴۵۹	۲۹۹۰۶/۱۸	Blackland Prairie, Texas, USA	
۱۳۵۷/۸۷۲	۳۸۵۴۱/۶۴۸	۳۷۹۰۹/۴۴۳	0.1 hr	بارش مازاد (روتل، ۱۹۶۲)
۷۷۵۹/۲۶۸	۹۲۴۹/۹۹۶	۲۱۰۶۰/۶۹	0.5 hr	
۱۴۵۴۸/۶۳۸	۱۰۷۰۶۰/۱۳	۴۲۱۲۱/۳۸۱	1 hr	
۶۷۸۹/۳۵۹	۹۰۷۸/۶۹۹	۱۴۷۴۲/۴۸۳	روش گرافیکی روتل (۱۹۶۲)	
۱۳۵۷۸/۷۱۹	۲۸۲۶۳/۸۷۵	-	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 حوضه مورد مطالعه

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

۸۱/۵۶	۹۷/۴۲	۸۸/۴۴	روش روتل (۱۹۶۲)	ژئومورفولوژی
۹۹/۹۹	۸/۵۹	۶۸/۱۳	روش روتل 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 ماتخلر و بونی (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)	روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های خاک و رسوب
۹۴/۰۱	۹۸/۶۵	۹۶/۱۵	روش والینگ (۱۹۸۳)	
۹۹/۹۹	۶/۸۷	۳/۳۳	روش سویاف و لیود (۲۰۰۲)	
۹۹/۹۹	-	۲/۲۹	روش گرافیکی رنفرو (۱۹۷۵)	
۳۵/۴۵	۷۵/۳۹	۷۱/۸۳	روش گرافیکی USDA-SCS (۱۹۸۱)	
۵۸/۵۱	۶۰/۶۳	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	۷۵/۸۸	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	۶۰/۷۷	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 (روتل، 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 روتل (۱۹۶۲)	
۲۹/۰۹	۵۹/۳۹	-	روش گرافیکی مبتنی بر سطح و بافت خاک - رفاهی (۱۳۸۵)	
-	۳۰/۴۷	-	1	روش گرافیکی جانسون (۱۹۷۷)
-	۶۷/۴۱	-	2	
-	۸۳/۳۹	-	3	
-	۹۵/۰۸	-	4	
۷۶/۹۵	۸۷/۶۹	۸۸/۱۴	روش گرافیکی سرویس جنگل امریکا (۱۹۹۴)	

فرسایش، با استفاده از ابزار و مدل‌های موجود امری ضروری به نظر می‌رسد (جهان‌سیر، ۲۰۰۱؛ شرس‌ستا، ۲۰۰۱). فاکتوری تجربی که در تبدیل فرسایش و رسوب به یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبت تحویل رسوب یا SDR است. نسبتی از فرسایش ایجاد شده که انتقال یافته و در جایی دیگر ترسیب می‌شود، نسبت تحویل رسوب نامیده می‌شود که این نسبت با استفاده از یکسری روابط تجربی که موضوع بحث این تحقیق است، برآورد می‌گردد و با استفاده از آن می‌توان هریک از دو مقوله فرسایش و یا تولید

بحث

برای اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و همچنین کاهش رسوبدهی ضرورت دارد که حجم کل بار رسوبی و شدت فرسایش‌پذیری ارزیابی و برآورد گردد و عوامل مؤثر در فرسایش و تولید رسوب شناسایی گردند تا در انتخاب راهکارهای مناسب جهت کنترل فرسایش و حفظ منابع طبیعی بتوان تصمیم مناسبی اتخاذ نمود (علیزاده، ۱۹۸۹). لذا تحلیل و برآورد میزان فرسایش و رسوب و ارائه راهکارهای مدیریتی با توجه به روند فزاینده

تحقیقات و مطالعات گسترده محققین بسیاری بوده که ماحصل نتایج تحقیقات خود را در قالب یکسری گراف‌ها ارائه نموده و با استفاده از آنها می‌توان میزان SDR را برآورد نمود. در بیشتر این گراف‌ها عامل سطح حوضه به عنوان متغیر مورد نیاز جهت محاسبه SDR به کار گرفته شده است. در این تحقیق، پس از مرور منابع فراوان و بررسی روابط مختلف موجود در تحقیقات صورت گرفته در سرتاسر جهان، ۴۵ روش برآورد میزان SDR، گردآوری و مورد استفاده قرار گرفت. هدف از این کار و انجام تحقیقات گسترده در این رابطه، بررسی و تعیین روش‌های دقیق و مناسب برای شرایط اقلیمی مختلف در ایران بوده و سعی گردید حتی‌الامکان از حداکثر روابط و روش‌های موجود و قابل اجرا در ایران استفاده گردد. این مهم به منظور کمک و تسهیل در انجام تحقیقات و مطالعات در زمینه فرسایش و رسوب و پیشنهاد روش‌های دقیق‌تر و مناسب‌تر برآورد فاکتور نسبت تحویل رسوب با توجه به شرایط و مناطق مختلف ایران صورت گرفته است.

در مطالعه حاضر، نتایج کار از طریق مقایسه تطبیقی و محاسبه مقادیر اختلاف نسبی، ارزیابی شده و در نهایت برای هر نوع اقلیم و هر حوضه مورد مطالعه، روش‌های مناسب‌تر با حداقل اختلاف نسبی نسبت به مقدار SDR شاخص، تعیین و مشخص گردید. مناطق انتخاب شده جهت انجام این تحقیق دارای شرایط اقلیمی متفاوتی بوده و هریک در نقطه‌ای از گستره ایران پهناور شامل شمال، غرب و ایران مرکزی قرار دارند. هر سه حوضه مورد مطالعه دارای ایستگاه رسوب‌سنجی و داده‌های دراز مدت رسوب تولیدی بوده که جهت تعیین میزان SDR شاخص به منظور ارزیابی روابط مختلف، مورد استفاده قرار گرفت.

رسوب را که در یک رابطه کسری قرار دارند، محاسبه نمود. به عبارتی، نسبت تحویل رسوب از تقسیم میزان رسوب به میزان فرسایش به دست می‌آید که با داشتن مقدار عددی نسبت تحویل رسوب و یکی از مقادیر صورت (رسوب) یا مخرج (فرسایش) کسر مذکور، می‌توان دیگری را برآورد نمود و در برنامه‌های مدیریتی و اجرایی و مطالعات فرسایش و رسوب لحاظ و مورد استفاده قرار داد.

در تحقیق حاضر، ۴۵ روش برآورد نسبت تحویل رسوب، در ۵ گروه طبقه‌بندی شده و در ۳ نوع اقلیم متفاوت در ایران اجرا و مورد ارزیابی واقع شد. این ۵ گروه شامل روش‌های مبتنی بر مساحت حوضه که تنها بر اساس فاکتور مساحت و گستردگی حوضه میزان SDR را برآورد می‌نماید، روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوضه نظیر طول حوضه، شیب آبراهه، اختلاف ارتفاع حوضه، تراکم شبکه آبراهه و نسبت انشعاب حوضه، روش‌های مبتنی بر مساحت و ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوضه که عوامل بیشتری را نسبت به دو گروه قبل مورد بررسی قرار داده و علاوه بر مساحت حوضه و خصوصیات فیزیوگرافی، پارامترهایی نظیر شماره منحنی، مقدار باران، فرساینده‌گی باران، ارتفاع رواناب، دبی و حجم رواناب در رابطه‌های آنها دخیل است، روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های خاک حوضه و هیدرولیک رسوب که فقط خصوصیات خاک حوضه نظیر درصد رس موجود در خاک و رسوب و یا ویژگی‌های هیدرولیکی انتقال رسوب را جهت برآورد و محاسبه میزان SDR مدنظر قرار می‌دهد و روش‌های گرافیکی و ترسیمی است. ابزار موجود جهت برآورد و محاسبه SDR در روش‌های گرافیکی و ترسیمی، گراف‌ها و نمودارهای ترسیم شده حاصل از

همچنین، اطلاعات، نقشه‌ها و داده‌های لازم و کافی برای هر سه حوضه در دسترس بوده و جهت اجرای روابط مختلف برآورد نسبت تحویل رسوب به کار گرفته شدند. میزان SDR اندازه‌گیری شده به عنوان شاخص ارزیابی در حوضه‌های آبخیز بابلرود، بنادک سادات و دهگلان به ترتیب ۰/۳۴، ۰/۸۱ و ۰/۲۲ به دست آمد، به عبارتی دیگر، در حوضه‌های آبخیز بابلرود، بنادک سادات و دهگلان به ترتیب ۳۴، ۸۱ و ۲۲ درصد فرسایش ایجاد شده در سطح حوضه به رسوب تبدیل و به رودخانه‌ها و آبراهه‌های موجود در حوضه تحویل و منتقل شده است. همچنین، یافته‌های حاصل از اندازه‌گیری میزان SDR شاخص در سه منطقه مورد مطالعه حاکی از آن بود که نسبت تحویل رسوب به رودخانه‌ها و آبراهه‌ها و خروج آن از حوضه در منطقه گرم و خشک ایران مرکزی بیشتر از دیگر مناطق مورد بررسی بوده و با در نظر داشتن اینکه مساحت حوضه مورد مطالعه در این منطقه کمتر از سایر مناطق است اما میزان فرسایش ایجاد شده و تحویل رسوب در آن در مقایسه با دیگر حوضه‌ها بسیار بیشتر بوده که این مقدار نسبت به حوضه‌های آبخیز بابلرود و دهگلان به ترتیب حدود ۳ و ۴ برابر است. به بیانی دیگر، مسیل‌ها و آبراهه‌های موجود در مناطق گرم و خشک و بیابانی که تنها در مواقعی از سال فعال و دارای جریان هستند، بار رسوبی بیشتری را در مقایسه با آبراهه‌ها و رودخانه‌های مناطق شمالی و غرب کشور با خود حمل نموده و از گل‌آلودگی بیشتری برخوردار هستند. همچنین، میزان بارندگی در این منطقه نسبت به سایر مناطق مورد بررسی، بسیار کم و محدود بوده، اما محدود بارش‌های به وقوع پیوسته در آن منجر به ایجاد فرسایش و تولید رسوب بیشتری در مقایسه با دیگر مناطق می‌شود که از جمله

عوامل دخیل در این موضوع، می‌توان به وضعیت فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی خاص آن و یا حساسیت به فرسایش سازندهای زمین‌شناسی آن اشاره نمود. علاوه بر این، پوشش گیاهی نامناسب و محدود و یا عدم پوشش گیاهی و لخت بودن خاک در سطح حوضه موجب گردیده که سطح بیشتری از خاک در معرض فرسایش قرار گرفته و در اثر یک واقعه بارندگی هرچند کوتاه، سیلاب‌های چشمگیری به وقوع پیوسته و فرسایش و جابجایی رسوب بیشتری را به دنبال داشته باشد. پس از منطقه گرم و خشک ایران مرکزی، نسبت تحویل و انتقال رسوب در منطقه مرطوب و معتدل شمال کشور بیشتر از منطقه نیمه-خشک و سرد غرب کشور بوده که از دلایل این امر می‌توان به پرباران بودن منطقه شمالی کشور و بارندگی بیشتر در مقایسه با منطقه غربی کشور و نیز مساحت بیشتر حوضه آبخیز بابلرود نسبت به حوضه آبخیز دهگلان اشاره نمود. زیرا که سطح بیشتر، سهم بیشتری در تولید رسوب داشته و هرچه سطح حوضه و به عبارت دیگر پهنه تولید رسوب بیشتر باشد به تبع آن رسوب بیشتری تولید و در خروجی حوضه عرضه می‌گردد. دیگر عوامل تأثیرگذار در کاهش نسبت تحویل رسوب در منطقه غربی کشور در مقایسه با شمال کشور، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی، جنس سازند و ساختار کوهستانی حوضه مورد مطالعه است. کوهستان‌های صخره‌ای در منطقه مورد مطالعه در غرب کشور تقریباً عاری از خاک بوده و بخش قابل توجهی از سطح منطقه را به خود اختصاص داده، در نتیجه میزان فرسایش آبی خاک در این‌گونه مناطق کمتر و سهم اندک و ناچیزی را در تولید و تحویل رسوب دارا هستند.

ارتفاع حوضه، طول حوضه و نسبت انشعابات شبکه آبراهه حوضه و همچنین خصوصیات هیدرولیکی رسوب، مقدار SDR را برآورد می‌کنند کارایی بهتری داشته و از دقت بالاتری برخوردار هستند. در نهایت، برای مناطق مختلف مورد مطالعه در این تحقیق می‌توان روابطی را جهت برآورد SDR به کار بست که عوامل فوق‌الذکر در هر منطقه را در روابط و معادلات خود مدنظر قرار داده‌اند.

همچنین، چیزی که در هر سه منطقه مورد مطالعه کاملاً مشهود بوده، کارایی مناسب روش‌های گرافیکی و ترسیمی در برآورد میزان SDR است که این نشان می‌دهد می‌توان به نتایج این روش‌ها اکتفا نمود و از آنها به منظور برآورد SDR در شرایط ایران بهره جست.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در حوضه آبخیز بابلرود واقع در شمال کشور، روش گرافیکی رنفرو (۱۹۷۵) با اختلاف نسبی ۲/۲۹٪، روش سوايف 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 حوضه 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 حوضه آبخیز بنادک سادات واقع در ایران مرکزی، روش‌های سوايف و لیود (۲۰۰۲)، روتل 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

روش‌های مختلف برآورد نسبت تحویل رسوب در تحقیق حاضر، شامل ۸ رابطه مبتنی بر مساحت حوضه، ۶ رابطه مبتنی بر ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوضه، ۶ رابطه مبتنی بر مساحت و ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوضه، ۲ رابطه مبتنی بر ویژگی‌های خاک حوضه و هیدرولیک رسوب و ۲۳ رابطه گرافیکی و ترسیمی است که نتایج حاصل از اجرای آنها نشان داد که در شمال کشور روش‌هایی که عوامل نسبت پستی و بلندی حوضه به طول آبراهه، ارتفاع رواناب، مقدار بارش مازاد، فاصله منبع تولید رسوب تا آبراهه اصلی و شیب پهنه‌های تولید رسوب را در نظر می‌گیرند از دقت و کارایی بهتری در مقایسه با سایر روش‌ها برخوردار هستند. با توجه به اینکه شکل زهکشی و شبکه آبراهه در سازندهای مختلف و مناطق مختلف، متفاوت بوده لذا نوع شبکه زهکشی و شرایط هیدرولوژیکی مناطق شمالی کشور و همچنین شرایط اقلیمی آن تأثیر بسزایی در میزان نسبت تحویل رسوب داشته و در نتیجه روش‌هایی که این عوامل و شرایط را مدنظر داشته، می‌توانند میزان SDR دقیق‌تر و مناسب‌تری را برای مناطق شمالی کشور برآورد و ارائه نمایند. با توجه به یافته‌های تحقیق حاضر در غرب کشور، متغیرهایی نظیر مساحت حوضه، دبی رواناب، مقدار رواناب و مقدار بارندگی در تعیین مقدار SDR تأثیر بسزایی داشته و روش‌هایی که این عوامل ملاک برآورد آنها بوده و در روابط خود آنها را منظور داشته‌اند، از اختلاف نسبی کمتری نسبت به مقدار شاخص برخوردار بوده و دارای دقت بیشتری هستند.

در بخش ایران مرکزی و در حوضه آبخیز بنادک سادات نیز روش‌هایی که بر مبنای خصوصیات فیزیوگرافی حوضه شامل مساحت حوضه، اختلاف

گردند. همچنین در حوضه آبخیز دهگلان واقع در غرب کشور، روش‌های SWAT (۱۹۹۶)، Central & Eastern USA و ونانی ۲ (۱۹۷۵)، با اختلاف نسبی به ترتیب ۰/۴/۸۵٪، ۰/۷/۷۹٪ و ۰/۸/۲۵٪ روش‌های مناسب جهت برآورد نسبت تحویل رسوب در حوضه مورد مطالعه و مناطق با شرایط اقلیمی مشابه (نیمه خشک و سرد) هستند.

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 ۰/۲/۲۹٪ در حوضه آبخیز بابلرود با اقلیم معتدل و مرطوب، روش سوايف 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 ۰/۶/۸۷٪ در حوضه 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 ۰/۴/۸۵٪ در حوضه آبخیز دهگلان با اقلیم نیمه خشک و سرد، مناسب‌ترین روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در این تحقیق هستند. 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 حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه و سایر حوضه‌ها 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 حوضه‌های آبخیز و اقلیم 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 حوضه 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 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 حوضه‌های 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

تحویل رسوب رگبار در حوضه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق استان کردستان، علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱.

صابر همیشگی، سید محمد، 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، حجت‌اله، بهنیا، عبدالکریم، ۱۳۸۰. اصول مهندسی آبخیزداری، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع) مشهد، ۵۴۸ ص.

علیزاده، امین، ۱۳۶۸. فرسایش و حفاظت خاک، انتشارات آستان قدس رضوی، ۸۷۰ ص.

غلامی، لیلا، صادقی، سید حمیدرضا، خالدی درویشان، عبدالواحد، ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب متوسط با روش مستقیم در حوضه آبخیز چهل‌گزی سد قشلاق، چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه تربیت مدرس.

غلامی، لیلا، صادقی، سید حمیدرضا، خالدی درویشان، عبدالواحد، ۱۳۸۹. مدل‌سازی برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوضه آبخیز چهل‌گزی بر اساس ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژی، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۶، ۹:۲.

نورانی، سیده نرگس خاتون، ۱۳۸۵. ارزیابی چهار روش برآورد نرخ تولید رسوب (SDR) به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

Arnold, J. G., Williams, JR., Srinivasan, R. and King 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.

هیدرولوژی حوضه آبخیز، نسبت به ارائه مدل‌های با دقت و کارایی مناسب جهت برآورد SDR اقدام گردد.

منابع

ابراهیمی، زهرا، ۱۳۸۵. ارزیابی و واسنجی چند مدل برآورد نسبت تحویل رسوب مطالعه موردی در حوضه آبخیز کورکورسر نوشهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
افسری، روح‌اله، قدوسی، جمال، ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف تخمین نسبت تحویل رسوب (SDR) تحت شرایط آب و هوایی مختلف (مطالعه موردی: حوضه-های آبخیز استان مرکزی)، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال چهارم، شماره ۱۲.

جهان‌سیر، رضا، ۱۳۸۰. بررسی تأثیر عوامل خطر فرسایش خاک (عوامل مدل FAO) در میزان فرسایش با استفاده از GIS در حوضه آبخیز زیارت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

دستورانی، محمد جواد، قلی‌نژاد، اسماعیل، سلاجقه، علی، دستورانی، محمد تقی، ۱۳۸۵. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد نسبت تحویل رسوب در حوضه آبخیز زیارت، اولین همایش ملی- دانشجویی مرتع، آبخیز و بیابان، دانشگاه تهران.

رفاهی، حسینیقلی، ۱۳۸۵. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۶۷۱ ص.

راشکی، علیرضا، 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: حوضه آبخیز کهنوک خاش)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۸۰ ص.

صادقی، سید حمیدرضا، غلامی، لیلا، خالدی درویشان، عبدالواحد، ۱۳۸۷. مقایسه روش‌های برآورد نسبت

- 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.
- Sheresta, M.K., 2001. Soil erosion modeling using remote sensing and GIS, Case study of Jhikhu Khola watershed, Nepal.
- 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.
- Vanoni, V.A., 1975. Sedimentation Engineering, Manual and Report No. 54. American Society of Civil Engineers, New York, N.Y.
- 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
- 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 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*,