

رسوب مزایا و کاستی‌هایی دارند که انتخاب یک روش به‌عنوان دقیق‌ترین رابطه امری دشوار است، اما اکثر تحقیقات انجام شده در داخل کشور حاکی از موفقیت نسبتاً خوب روش رنفرو نسبت به سایر روش‌ها است؛ البته تاکنون در کشور تحقیقات جامعی بر روی کلیه روابط ارائه شده صورت نگرفته است و این امر ضرورت وجود طرح‌های تحقیقاتی به‌منظور بررسی‌های جامع و کامل بر روی کلیه شیوه‌های محاسبه نسبت تحویل رسوب را بیان می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نسبت تحویل رسوب، خاک، رسوب، فرسایش، حوزه آبخیز

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از اجزای هر اکوسیستم و منبع مهم تولید غذا، نقش بسیار جدی در ادامه حیات بشر دارد، لذا ضرورت حمایت و حفاظت از خاک و جلوگیری از فرسایش آن، امری مبرهن و اقدامی الزامی است. فرسایش خاک و رسوب منتقل شده به آبراهه‌ها از مهمترین مشکلات محیطی و نگرانی‌ها در توسعه پایدار هستند. اگرچه فرایندهای فرسایش و رسوب به‌طور مفصل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند؛ اما مدل‌سازی ارتباط میان فرسایش سطح زمین و کل رسوب حاصله در خارج از عرصه غالباً دشوار است، که علت آن مشکلات همراه با مدل‌سازی یک سیستم پیوسته و هم‌چنین عدم وجود داده‌های دقیق و صحیح در مقیاس منطقه‌ای است. 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. بسیاری از مدل‌های منطقه‌ای برآورد فرسایش، تغییرپذیری مکانی رسوب رسیده به آبراهه را مورد بررسی قرار نمی‌دهند. بدین منظور باید از ضریب یا شاخصی برای تبدیل میزان فرسایش خاک به رسوب خارج شده از حوضه استفاده کرد که این شاخص به ضریب تحویل رسوب یا SDR مشهور است. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای بر روی نسبت تحویل رسوب انجام شده، اما نتایج متفاوتی نیز حاصل شده است؛ لذا هدف این پژوهش مرور و جمع‌آوری مطالعات گذشته تا اکنون است تا بتوان به این طریق با نگاهی جامع بهترین شیوه را جهت برآورد رسوب یافت و به این ترتیب گامی مهم در جهت مدیریت پایدار عرصه‌های طبیعی برداشت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که هر یک از روابط ارائه شده جهت برآورد نسبت تحویل

چکیده

خاک به‌عنوان یکی از اجزای هر اکوسیستم و منبع مهم تولید غذا، نقش بسیار جدی در ادامه حیات بشر دارد، لذا ضرورت حمایت و حفاظت از خاک و جلوگیری از فرسایش آن، امری مبرهن و اقدامی الزامی است. فرسایش خاک و رسوب منتقل شده به آبراهه‌ها از مهمترین مشکلات محیطی و نگرانی‌ها در توسعه پایدار هستند. اگرچه فرایندهای فرسایش و رسوب به‌طور مفصل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند؛ اما مدل‌سازی ارتباط میان فرسایش سطح زمین و کل رسوب حاصله در خارج از عرصه غالباً دشوار است، که علت آن مشکلات همراه با مدل‌سازی یک سیستم پیوسته و هم‌چنین عدم وجود داده‌های دقیق و صحیح در مقیاس منطقه‌ای است. 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. بسیاری از مدل‌های منطقه‌ای برآورد فرسایش، تغییرپذیری مکانی رسوب رسیده به آبراهه را مورد بررسی قرار نمی‌دهند. بدین منظور باید از ضریب یا شاخصی برای تبدیل میزان فرسایش خاک به رسوب خارج شده از حوضه استفاده کرد که این شاخص به ضریب تحویل رسوب یا SDR مشهور است. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای بر روی نسبت تحویل رسوب انجام شده، اما نتایج متفاوتی نیز حاصل شده است؛ لذا هدف این پژوهش مرور و جمع‌آوری مطالعات گذشته تا اکنون است تا بتوان به این طریق با نگاهی جامع بهترین شیوه را جهت برآورد رسوب یافت و به این ترتیب گامی مهم در جهت مدیریت پایدار عرصه‌های طبیعی برداشت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که هر یک از روابط ارائه شده جهت برآورد نسبت تحویل

۱- مربی پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری bayat@scwmri.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک و حفاظت خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

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 مرفولوژیکی حوضه‌های آبخیز، برای برآورد و پیش‌بینی رسوب ضروری است [۳۸].

بسیاری از مدل‌های منطقه‌ای برآورد فرسایش، تغییرپذیری مکانی رسوب رسیده به آبراهه را مورد بررسی قرار نمی‌دهند. بدین منظور باید از ضریب یا شاخصی برای تبدیل میزان فرسایش خاک به رسوب خارج شده از حوضه استفاده کرد که این شاخص به ضریب تحویل رسوب یا SDR^۱ مشهور است. در برخی موارد میانگین میزان فرسایش در سرتاسر حوزه آبخیز با معادله جهانی هدر رفت فرسایش^۲ (USLE) [۶۳] و نسخه تجدیدنظر شده آن^۳ (RUSLE) [۴۳] و نسبت تحویل رسوب برای تعیین رسوب حمل شده به آبراهه‌ها استفاده می‌شود [۱۵، ۶۰]. نسبت تحویل رسوب در جایی استفاده می‌شود که بیشتر رسوب تولیدی به وسیله فرسایش درون حوزه آبخیز انباشته می‌شود و تنها بخشی از آن به سیستم آبراهه خواهد رسید و از حوزه آبخیز خارج می‌شود. تعداد زیادی از معادلات رگرسیونی تجربی جهت پیش‌بینی نسبت تحویل رسوب از یک دامنه شیب به آبراهه تنها بر مبنای مساحت حوزه آبخیز توسعه یافته‌اند [۲۱، ۴۵، ۵۲، ۵۶].

پیشرفت‌های اخیر در مدل‌سازی عددی و قابلیت دسترسی به داده‌های مکانی در کاربری اراضی، خاک، پستی و بلندی و اقلیم، سبب شده‌اند تا نقشه‌های فرسایش خاک با وضوح بالا در مقیاس منطقه‌ای تولید شوند که اکثراً از مدل USLE و RUSLE استفاده می‌کنند [۲۵، ۳۲، ۵۳، ۵۴].

با پیشرفت در فناوری‌های رایانه‌ای، ویژگی‌های زمانی- مکانی فرسایش خاک به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌هایی از جمله معادله جهانی فرسایش خاک [۶۳]، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی^۴ (WEPP) [۲۰]، ابزار ارزیابی آب و خاک^۵ (SWAT) [۱۵]، مدل اروپایی فرسایش خاک (EUROSEM) [۳۷]، ابزار ارزیابی رسوب برای کنترل فرسایش موثر^۶ (SATEEC) [۳۱] و نمونه‌های مشابه، مدل‌هایی برای برآورد فرسایش خاک هستند که قابلیت بررسی توزیع مکانی فرسایش خاک را دارند.

نسبت تحویل رسوب نیز جهت بیان میزان رسوب حمل شده به خروجی حوزه آبخیز دارای اهمیت فراوان است. نسبت تحویل رسوب تحت تأثیر عواملی از جمله پتانسیل تولید رسوب حوضه، پستی و بلندی حوضه، مساحت حوزه آبخیز و بسیاری از عوامل دیگر است [۳۹].

نسبت تحویل رسوب درصدی از فرسایش ناخالص است که از یک حوزه آبخیز معین در یک زمان تمرکز مشخص منتقل می‌شود. نسبت تحویل رسوب یک فاکتور مقیاسی است که میزان فراهمی رسوب را در مقیاس مکانی بازگو می‌کند [۳۳].

از نظر جویان نسبت تحویل رسوب، نسبت میان رسوب تولیدی در آبراهه به فرسایش ناخالص از نقاط بالادست آبراهه در حوزه آبخیز است [۲۸]. نسبت تحویل رسوب یک پارامتر بدون بعد است که به‌طور قراردادی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$SDR = Y/E \quad (۱)$$

که در این رابطه Y میانگین رسوب سالانه در واحد سطح و E میانگین فرسایش سالانه در واحد سطح است [۴۴، ۵۷]. رسوب تولید شده غالباً کمتر از میزان فرسایش خاک از بالادست شیب در حوزه آبخیز است [۱۷، ۵۹]. که این نشان می‌دهد که بیشتر مواد فرسایش‌یافته پس از طی مسافت کوتاهی رسوب کرده و برجای می‌مانند [۴۰].

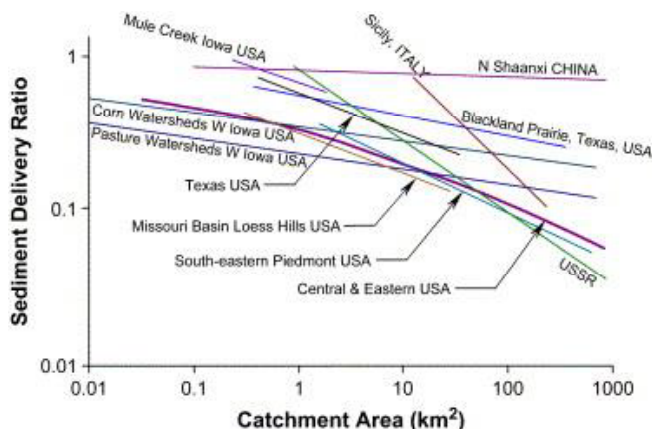
والینگ و وب [۵۷] حد پائین نسبت تحویل رسوب را ۵ درصد ذکر کرده‌اند که این مسئله اهمیت ذخیره رسوب در بخش‌های مختلف حوزه آبخیز را می‌رساند. [۵۸] والینگ به نقل از هادلی و شاون متذکر می‌شود که فقط ۳۰ درصد از مواد فرسایش‌یافته از سرشاخه‌های ۰/۵ تا ۵/۲ کیلومترمربعی به خروجی حوضه اصلی به مساحت ۱۲۴/۸ کیلومترمربع واصل شده است. وی به نقل از واد و هیدی نسبت رسوبدهی حوضه‌ها به فرسایش دامنه‌ها را در سطح ۱۰۵ منطقه کشاورزی بین ۰/۱ تا ۳۷/۸ درصد گزارش کرده‌است.

فاکتورهای مؤثر در نسبت تحویل رسوب شامل داده‌های هیدرولوژیکی (اساساً بارندگی)، ویژگی‌های زمین نما^۸ از جمله پوشش گیاهی، پستی و بلندی و ویژگی‌های خاکی و ترکیب اثر متقابل این فاکتورها در سطح اراضی می‌باشند [۴۴، ۵۷]. مثلاً در یک حوزه آبخیز با شیب تند، نسبت تحویل رسوب بزرگتری نسبت به حوزه آبخیز با شیب متوسط و کم دارد. یک حوزه آبخیز عاری از پوشش گیاهی و لخت، در مقایسه با حوضه مشابه ولی با پوشش جنگلی، نسبت تحویل رسوب بزرگتری دارد. به هر حال، تعدادی از پژوهشگران روندی را برای نسبت تحویل رسوب در مناطق مخصوصی نشان داده‌اند که متداول‌ترین روند برای نسبت تحویل رسوب، روندی است به نام منحنی نسبت تحویل رسوب^۹ که بر مبنای رابطه میان نسبت تحویل رسوب و سطح زهکشی بنا شده است [۵۶].

از دهه ۱۹۵۰ تعدادی محقق میان نسبت تحویل رسوب و سطح زهکشی رابطه برقرار کردند. یکی از روش‌های محاسبه نسبت تحویل رسوب که به گستردگی استفاده می‌شده‌است، معادله منتر [۳۴] و راتول [۴۵] است که یک معادله تجربی بر مبنای مساحت است، در زیر آمده:

- 1- Sediment Delivery Ratio
- 2- Universal Soil Loss Equation
- 3- Revised Universal Soil Loss Equation
- 4- Water Erosion Prediction Project
- 5- Soil and Water Assessment Tool
- 6- European Soil Erosion Model
- 7- The Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control

8. Landscape
9. SDR Curve



شکل ۱- رابطه میان نسبت تحویل رسوب با مساحت حوزه آبخیز در نقاط مختلف جهان [۲۳]

۴- والینگ [۶۱] از شیب کانال اصلی سیلاب برای پیش‌بینی نسبت تحویل رسوب استفاده کردند. مدل آنها به صورت رابطه (۶) نوشته می‌شود که در آن SLP در صد شیب کانال اصلی سیلاب است.

$$SDR = 0.627 SLP^{0.403} \quad (6)$$

۵- رنفرو [۴۲] که او هم میان نسبت تحویل رسوب با مساحت رابطه‌ای برقرار کرد:

$$\text{Log}(SDR) = 1.8768 - 0.14191 \text{Log}(25.9A) \quad (7)$$

که در آن SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوزه آبخیز بر حسب مایل مربع است.

۶- سرویس حفاظت خاک آمریکا [۴۹] نیز میان نسبت تحویل رسوب و مساحت رابطه‌ای را برقرار و ارائه کرد:

$$SDR = 0.5656 \text{AREA}^{-0.11} \quad (8)$$

در این رابطه AREA مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع و SDR نسبت تحویل رسوب است.

۷- رنفرو [۴۲] معادله مانر [۳۴] را که بر پایه ارتباط میان نسبت تحویل رسوب و مساحت بود توسعه داد. این مدل بر پایه رسوب حاصله در ۱۴ حوزه آبخیز در بلک لند پرایر^۱ در تگزاس بود که این مدل همبستگی بالایی میان نسبت تحویل رسوب و سطح زهکشی نشان داد ($R^2 = 0.92$)

$$\text{Log}(SDR) = 1.7935 - 0.14191 \text{Log}(A) \quad (9)$$

که در آن، SDR = نسبت تحویل رسوب به صورت درصد و A = مساحت حوزه آبخیز بر اساس کیلومتر مربع است.

۸- بویس [۱۶] میان نسبت تحویل رسوب و مساحت رابطه‌ای برقرار کرد:

$$SDR = 0.41 A_T^{-0.3} \quad (10)$$

که در آن SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوزه آبخیز بر اساس کیلومتر مربع است.

۹- همچنین بویس [۱۶] میان نسبت تحویل رسوب و مساحت حوزه آبخیز رابطه‌ای برقرار کرد:

$$SDR = \alpha A^\beta \quad (2)$$

که A مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع، α و β پارامترهای تجربی اند [۴۵].

مقدار توان β شامل اطلاعات فیزیکی درباره فرایند تولید رسوب حوزه آبخیز است که مرتبط با فرآیند بارندگی- رواناب است. روابط رگرسیونی که بر مبنای اندازه‌گیری رسوب بنا نهاده شده‌اند، نشان می‌دهند که میزان توان β اساساً بین ۰/۰۱ - الی ۰/۲۵ - است [۴۴، ۵۷]. طبق یکی از مطالعات بر روی توان β مشاهده شده که این توان با افزایش خشکی کاهش میابد [۳۸] همچنین فرو و میناکاپیلی [۱۹] مشاهده کردند که نسبت تحویل رسوب با افزایش سطح زهکشی کاهش می‌یابد. شکل (۱) رابطه میان نسبت تحویل رسوب و سطح زهکشی را در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد.

پس از معادله مانر و راثول محققان دیگری میان نسبت تحویل رسوب با مساحت و سایر عوامل ارتباط برقرار کردند که به ترتیب در زیر توضیح داده می‌شود:

مواد و روش‌ها

به منظور معرفی روش‌ها و روابط موجود در زمینه نسبت تحویل رسوب، با بررسی مجدد منابع در دسترس و اصل مقالات یا گزارشات، روش‌ها و روابط معرفی شده استخراج و همراه با توضیحات ضروری هر یک، در بخش مربوطه و به ترتیب زمان ارائه شد. سپس با بررسی منابع و گزارشاتی که معادلات مختلف SDR را بکار گرفته بودند، جمع‌بندی لازم انجام شد.

نتایج

۱- راثول [۴۵] میان نسبت تحویل رسوب و ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوضه رابطه برقرار کرد که این معادله به قرار زیر است:

$$\text{Log } SDR = 4.5 - 0.23 \text{Log}(A) - 0.5125 \text{Log}\left(\frac{R}{L}\right) + 2.788 \text{Log}(BR) \quad (3)$$

A، مساحت حوزه آبخیز بر حسب مایل مربع، $\frac{R}{L}$ = نسبت پستی و بلندی به طول حوزه آبخیز بر حسب مایل به مایل و BR معادل نسبت دو شاخه شدن یا ضریب دو شاخه شدن شبکه آبراهه‌های حوزه آبخیز است.

۲- مانر [۳۴] میان نسبت تحویل رسوب و مساحت حوزه آبخیز رابطه‌ای برقرار کرد که به صورت زیر است:

$$\text{Log}(SDR) = 1.8768 - 0.14191 \text{Log}(10A) \quad (4)$$

که در آن SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوزه آبخیز بر حسب مایل مربع است.

۳- سرویس حفاظت خاک آمریکا [۴۸] روشی را برای محاسبه نسبت تحویل رسوب بر مبنای مساحت ارائه نمود:

$$SDR = 0.332 A^{-0.2236} \quad (5)$$

که در آن SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوزه آبخیز بر اساس کیلومتر مربع است.

1. Blackland Prairie

$$SDR = 0.51 A^{-0.11} \quad (17)$$

که SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوزه آبخیز براساس کیلومتر مربع می باشد.

۱۶- مو و منگ [۳۶] بر مبنای ویژگی های ژئومورفولوژی حوزه آبخیز معادله ای را به شرح زیر ارائه کردند:

$$SDR = 1.29 + 1.37 \ln RC - 0.025 \ln A \quad (18)$$

A ، مساحت حوزه آبخیز (کیلومتر مربع) و RC = تراکم شبکه آبراهه به ویژه تراکم شیارها و خندق ها در حوزه آبخیز (کیلومتر بر کیلومتر مربع) می باشد.

۱۷- سرویس حفاظت خاک آمریکا [۵۱] جهت محاسبه نسبت تحویل رسوب که بر مبنای مساحت حوزه آبخیز است:

$$SDR = 0.417762 A - 0.134958 - 0.127097 \quad (19)$$

SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوزه آبخیز براساس مایل مربع است.

۱۸- والینگ [۵۶] پیشنهاد کرد که نسبت تحویل رسوب را از طریق نسبت های رس در رسوب و خاک محاسبه کنند و با استفاده از ویژگی های خاک حوزه آبخیز و هیدرولیک رسوب رابطه ای به دست آورد:

$$SDR = \frac{C_{soil}}{C_{sen}} \quad (20)$$

که در آن C_{soil} = درصد رس موجود در خاک حوزه آبخیز و C_{sen} = درصد میزان رس موجود در رسوب تولیدی می باشد.

۱۹- گاوریلوویچ [۲۲] مدلی به نام EPM را جهت اندازه گیری فرسایش و رسوب ارائه کرد. در این مدل برای رسیدن به میزان رسوب حوزه آبخیز، از ضریبی به نام ضریب رسوب دهی حوضه^۲ (RU) استفاده می کنند که می توان از حاصل ضرب RU در میزان فرسایش، مقدار رسوب را به دست آورد.

$$Ru = 4(P \times D)^{0.5} / L + 10 \quad (21)$$

که در آن: P = محیط حوضه به کیلومتر مربع، L = طول حوضه به کیلومتر، D = متوسط اختلاف سطح در حوضه به کیلومتر که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$D = D_{av} - D_0 \quad (22)$$

که در آن: D_{av} = ارتفاع متوسط حوزه آبخیز و D_0 = ارتفاع نقطه خروجی رودخانه است.

۲۰- لارنس [۳۰] نیز میان مساحت حوزه آبخیز و نسبت تحویل رسوب رابطه ای برقرار کرد:

$$SDR = A^{0.2} \quad (23)$$

که در این معادله SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوزه آبخیز بر حسب مایل مربع است.

۲۱- آرنولد [۱۵] و همکاران از مدل SWAT برای محاسبه نسبت تحویل رسوب استفاده کرد که به شرح زیر است:

$$SDR = [(q_p \div p_r)(0.78285 + 0.21716 Q/P)^{0.56}] \quad (24)$$

SDR ، نسبت تحویل رسوب، q_p = میزان رواناب اوج، p_r = میزان

$$SDR = 0.375 AREA^{-0.238} \quad (11)$$

در این رابطه $AREA$ مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع و SDR نسبت تحویل رسوب است.

۱۰- ونانی [۵۲] با استفاده از داده های ۳۰۰ حوضه در سطح جهان مدلی را به صورت تابع توانی مطرح کرد. این مدل میان نسبت تحویل رسوب و مساحت رابطه ای برقرار کرد که به نظر می رسد مدل کلی تری برای برآورد نسبت تحویل رسوب باشد.

$$SDR = 0.42 A^{-0.125} \quad (12)$$

که در آن SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوزه آبخیز براساس کیلومتر مربع است.

۱۱- ماتخلر و بویی [۳۵] روشی را برای محاسبه نسبت تحویل رسوب مبتنی بر مساحت و ویژگی های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه آبخیز ارائه کردند:

$$SDR = 0.488 - 0.006A + 0.01RO \quad (13)$$

که در آن A = مساحت حوزه آبخیز (مایل مربع) و RO = متوسط ارتفاع رواناب سالانه (اینچ) می باشند.

۱۲- رنفرو [۴۲] با توجه به مطالعات مانر در ۱۹۵۸ که نشان داده بود نسبت تحویل رسوب نسبت به سایر عوامل، همبستگی بیشتری با پستی و بلندی و بیشترین طول حوضه دارد که به صورت نسبت پستی و بلندی به طول (R/L) بیان می گردد، مدل را تغییر داده و مبتنی بر ویژگی های ژئومورفولوژی حوزه آبخیز نوشت. این مدل به شکل زیر است: ($R^2 = 0.97$)

$$\log SDR = 0.294259 + 0.82362 \log \left(\frac{R}{L} \right) \quad (14)$$

SDR = نسبت تحویل رسوب، R = اختلاف ارتفاع بین بلندترین و کم ارتفاع ترین نقطه حوزه آبخیز (متر) و L = طول حوزه آبخیز (متر) است.

۱۳- ویلیامز و برنت [۶۲] روشی را برای محاسبه نسبت تحویل رسوب بر مبنای مساحت و ویژگی های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه آبخیز ارائه نمود:

$$SDR = 1.366 \times 10^{-12} (A)^{-0.0998} \left(\frac{R}{L} \right)^{0.362} (CN)^{5.44} \quad (15)$$

که A = مساحت حوزه آبخیز بر حسب مایل مربع، $\frac{R}{L}$ = نسبت پستی و بلندی به طول حوزه آبخیز بر حسب مایل به مایل و CN = شماره منحنی می باشد.

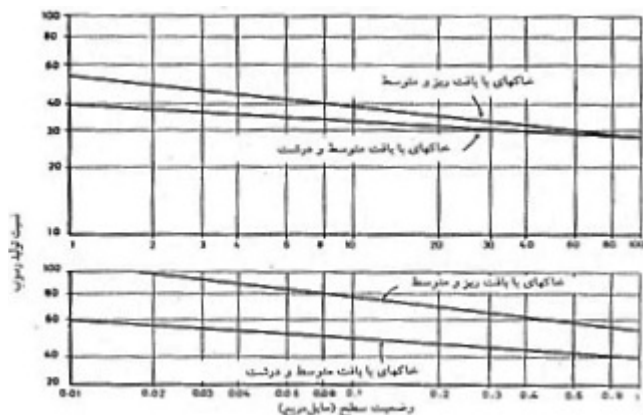
۱۴- روش مبتنی بر مدل $MUSLE$: در روش مدل $MUSLE$ ، نسبت تحویل رسوب مربوط به یک واقعه رگبار از رابطه زیر محاسبه می شود [۶۱].

$$D = 11.8 (Q \times q_p)^{0.56} \div R \times A \quad (16)$$

که در آن D نسبت تحویل رسوب، Q حجم رواناب (مترمکعب)، q_p دبی اوج رواناب (مترمکعب بر ثانیه) و A مساحت حوضه به هکتار می باشد.

۱۵- سرویس حفاظت خاک آمریکا [۵۰] براساس داده های بلکلند پرایر، نسبت تحویل رسوب را توسعه داد که تابعی توانی بر مبنای مساحت است:

1. Erosion Potential Method
2. Sediment Retention Coefficient



شکل ۳- نسبت تحویل رسوب در خاک‌هایی با بافت و مساحت مختلف [۸]

معادله به شرح زیر است:

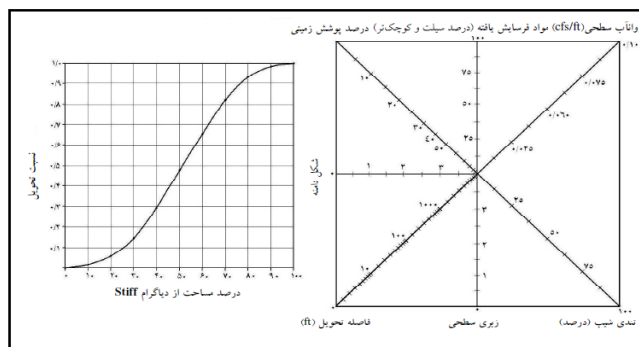
$$HSDR = \beta e^{(-\gamma t)} \quad (28)$$

HSDR، نسبت تحویل رسوب و t = زمان تمرکز حوضه، γ = ضریب، β = بخش کالیبراسیون که به عنوان بیشترین نسبت تحویل رسوب تفسیر کرده‌اند.

۲۶- روش مدل سرویس جنگل آمریکا: روش مدل سرویس جنگل آمریکا از دیاگرامی به صورت ارائه شده در شکل ۲ (راست) برای تخمین نسبت تحویل رسوب استفاده می‌کند که در آن نسبت تحویل رسوب تابعی از فاکتور رواناب، بافت مواد فرسایش یافته، درصد پوشش زمینی، شکل دامنه، فاصله تحویل از دامنه به آبراهه، زبری سطح و تندی شیب می‌باشد (صادقی و همکاران [۱۰] به نقل از هان [۲۳]). در نهایت نسبت تحویل رسوب نهایی برای رگبار از انتقال نسبت حاصل بین وسعت پل‌گون به وجود آمده از اتصال متغیرهای مختلف رگبار روی شکل (۲) (راست) و وسعت کل دیاگرام به شکل (۲) (چپ) برآورد می‌شود.

۲۷- رفاهی [۸] در کتاب خود شیوه‌ای را برای محاسبه نسبت تحویل رسوب معرفی کرده‌است. در این روش با استفاده از شکل (۳) که نسبت تحویل رسوب را بر حسب مساحت حوضه و بافت خاک نشان می‌دهد، نسبت تحویل رسوب برای هر یک از واحدهای هیدرولوژی محاسبه می‌گردد. رسوبات درشت بافت و یا رسوبات حاصل از فرسایش شیار و ورقه‌ای در مقایسه با رسوبات ریزدانه و یا حاصل از فرسایش کانالی، شانس بیشتری برای ته نشین شدن و یا در تله افتادن دارند. بنابر این DR ضریب تحویل رسوب درشت بافت حاصل از فرسایش کانالی نسبتاً کمتر از رسوب نرم (ریز) حاصل از فرسایش ورقه‌ای و شیار می‌باشد.

۲۸- پارک و همکاران [۳۹] معادله‌ای را به نام الگوریتم ژنتیک-نسبت تحویل رسوب (GA-SDR) توسعه دادند که از توان‌ها و ضرایبی تشکیل شده که شامل مساحت، شیب، شماره منحنی (CN) و داده‌های اندازه‌گیری شده در خروجی حوزه آبخیز است. این



شکل ۲- نمودار تعیین مساحت پل‌گون به سطح کل برای تخمین نسبت تحویل رسوب (راست) و نمودار تخمین نسبت تحویل رسوب در روش سرویس جنگل آمریکا (چپ)

اوج بارندگی، P = میزان بارندگی و Q = عمق رواناب است که همه واحدها برای بارندگی براساس میلی‌متر و برای رواناب براساس میلی‌متر بر ساعت است؛ اگرچه اینچ و اینچ بر ساعت هم می‌تواند استفاده شود.

۲۲- فرو [۱۹] اشاره کردند که نسبت تحویل رسوب می‌تواند با زمان تمرکز مرتبط باشد و این ارتباط می‌تواند به صورت زیر باشد:

$$SDR = e^{(-\gamma t)} \quad (29)$$

که در این معادله t = میانگین زمان تمرکز درون یک واحد مرفولوژیکی حوزه آبخیز، γ یک ضریب است و برای یک حوزه آبخیز مقداری ثابت است.

۲۳- سوايف و لیود [۴۷] براساس ویژگی‌های خاک حوزه آبخیز و هیدرولیک رسوب معادله‌ای ارائه کردند:

$$Z = 0.9004 - 0.134(Lnx) - 0.0465(Lnx)^2 - 0.00749(Lnx)^3 - 0.0399(Lny) + 0.0144(Lny)^2 + 0.00308(Lny)^3 \quad (26)$$

SDR، ضریب رسوبدهی، x = فاصله منبع تولید رسوب تا مسیر آبراهه اصلی انتقال رسوب (کیلومتر) و y = شیب مربوط به پهنه هریک از منابع تولید رسوب است ($x > 0$ و $y > 0$) می‌باشد.

۲۴- SWAT (۲۰۰۵) که بر مبنای مساحت و ویژگی‌های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوزه آبخیز است:

$$SDR = \frac{qp}{rep} \quad (27)$$

qp ، حداکثر عمق رواناب سطحی (میلی‌متر بر ساعت) و rep = مقدار بارش مازاد یا مساوی مقدار حداکثر بارش موثر (میلی‌متر بر ساعت) می‌باشد.

۲۵- پست و همکاران [۴۱] معادله‌ای را برای محاسبه نسبت تحویل رسوب به نام نسبت تحویل رسوب شیب دامنه‌ای (HSDR) که مدلی بر مبنای زمان تمرکز است را معرفی کردند. با فرسایش شیار و بین شیار مرتبط است و برای محاسبه ذرات نهشته شده ناشی از کاهش ظرفیت انتقال رسوب جریان‌های سطحی در سرتاسر بخش‌های با شیب زیاد (شانه شیب) استفاده می‌شود [۵۵]. این

معادله به قرار زیر است:

$$SDR = A \cdot AREA^B \times SLOPE^C \times CN^D \quad (29)$$

A, B, C و D ضریب و توان‌های معادله GA-SDR هستند. AREA مساحت حوزه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع، SLOPE متوسط شیب حوزه آبخیز بر حسب درصد، CN میانگین شماره منحنی حوزه آبخیز حوضه و SDR = نسبت تحویل رسوب است.

۲۹- غلامی و همکاران [۱۲] مدلی را ارائه کردند که با استفاده از متغیرهای دبی اوج، حجم رواناب و عامل فرساینده‌گی به‌دست آمده است:

$$SDR = 0.033 \times Q^{0.15} \times q_p^{0.95} \times R^{-1.25} \quad (30)$$

در این رابطه SDR = نسبت تحویل رسوب، Q = حجم رواناب بر حسب مترمکعب، q_p = دبی اوج رواناب بر حسب مترمکعب بر ثانیه، R = عامل فرساینده‌گی باران در معادله جهانی هدررفت خاک است. نتایج به‌دست آمده از این مدل‌سازی با ضریب تعیین ۹۸ درصد و خطای نسبی ۳۳ درصد دلالت بر این دارد که استفاده از متغیرهای دبی اوج، حجم رواناب و عامل فرساینده‌گی جهت برآورد نسبت تحویل رسوب مناسب هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

افسری [۶] در تحقیقی به مقایسه روش رنفرو (۱۹۷۵)، ونانی (۱۹۷۵)، خدمات حفاظت خاک آمریکا (۱۹۸۳)، لارنس (۱۹۹۶)، ویلیام و برنتز (۱۹۷۲)، رنفرو (۱۹۷۵) مبتنی بر ویژگی‌های ژئومورفولوژی، راثول (۱۹۶۲)، مو و منگ (۱۹۸۰)، ویلیامز (۱۹۷۷)، SWAT (۲۰۰۵)، ماتخلر و بوئی (۱۹۷۵)، سوايف و لیود (۲۰۰۲)، والینگ (۱۹۹۶) و ضریب رسوبدهی در مدل EPM (۱۹۸۸) در حوزه آبخیز خمین و مزلقان در استان مرکزی پرداختند. ایشان اظهار کردند که براساس نتایج حاصل، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش مو و منگ (۱۹۸۰) با اختلاف نسبی ۴/۱ درصد در حوزه آبخیز خمین با اقلیم خشک سرد تا نیمه خشک سرد و روش راثول (۱۹۶۲) با اختلاف نسبی ۶/۴ درصد در حوزه آبخیز مزلقان با اقلیم نیمه خشک سرد تا مرطوب سرد مناسب‌ترین روش‌ها در محاسبه نسبت تحویل رسوب جهت جایگزینی با روش مدل EPM هستند. این نتایج با یافته‌های قوهستانی (۱۳۸۸)، همیشگی (۱۳۸۵)، ابراهیمی (۱۳۸۵) و نورانی (۱۳۸۵) مطابق می‌باشد.

اسدی‌نلیوان و همکاران [۴] نسبت تحویل رسوب را با استفاده از معادلات رنفرو (۱۹۸۳)، رنفرو (۱۹۷۵)، رنفرو (۱۹۷۲)، مانر (۱۹۷۰)، برنت (۱۹۷۲)، خدمات حفاظت خاک آمریکا (۱۹۸۳)، خدمات حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۹)، ونانی (۱۹۷۵)، لارنس (۱۹۹۶) و ضریب رسوبدهی در مدل EPM (۱۹۸۸) در حوزه آبخیز قورچای واقع در استان گلستان محاسبه کردند. با توجه به نتایج به‌دست آمده برای تعیین نسبت تحویل رسوب در حوزه آبخیز قورچای روش رنفرو (۱۹۸۳) را به‌عنوان بهترین روش با توجه به پارامترهای آماری میانگین

حسابی، انحراف معیار و ضریب تغییرات معرفی کردند. اصغری سراسکانرود [۵] برای برآورد نسبت تحویل رسوب در زیرحوضه‌های رودخانه جاجرود از هفت مدل، رنفرو، ونانی، سرویس حفاظت خاک آمریکا، مانر و رنفرو، ویلیام و برنت، روثل و ویلیامز استفاده شده کرد. ایشان با توجه به نتایج اعلام کردند که در چهار زیرحوضه مدل مانرو و رنفرو بهترین جواب را داشته و در سه زیرحوضه دیگر، مدل روثل بهترین نتیجه را داشته است. علت اینکه چرا مدل‌های فوق بهترین جواب را در بررسی میزان نسبت تحویل رسوب در حوضه داشته است، به متغیرهایی برمی‌گردد که این دو مدل برای بررسی میزان نسبت تحویل رسوب مورد توجه قرار می‌دهند. بدیهی است که هرچه متغیرهای بررسی شده به‌وسیله مدل‌ها به عامل فرسایش و رسوب نزدیکتر باشد، جواب‌هایی که از مدل به‌دست می‌آید به واقعیت نزدیکتر خواهد بود.

ابراهیمی [۱] 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 مدل‌هایی که در آنها به جای عوامل مساحت، طول آبراهه اصلی و ارتفاع متوسط حوزه آبخیز از سطح دریا لحاظ شده، مدل‌های مناسب‌تری هستند. صابره‌میشگی [۹] با بررسی برخی مدل‌های برآورد رسوب در حوزه آبخیز لوارک واقع در حوزه آبخیز لتیان، گزارش داده است که به دلیل تجربی بودن تمامی مدل‌های ابداع و ارائه شده برای برآورد نسبت تحویل رسوب در مقیاس حوزه آبخیز، ضرورت دارد مناسب‌ترین روش از طریق آزمون و ارزیابی آنها در حوضه‌های آبخیز معرف، مشخص و معرفی شود.

صادقی و همکاران [۱۰] اختلاف روش‌های مبتنی بر روش‌های اصلاح شده رابطه جهانی فرسایش خاک، ابزار ارزیابی خاک و آب و سرویس جنگل آمریکا با مقادیر مشاهده‌ای نسبت تحویل رسوب درحوضه آبخیز چهل‌گری سد قشلاق را ارزیابی نمودند. نتایج ارزیابی بر تغییر زیاد نسبت تحویل رسوب اندازه‌گیری شده طی رگبارها از ۱/۲۶ تا ۸۴/۶۷ درصد و کارایی مختلف روش‌های یاد شده در تخمین نسبت تحویل رسوب درحوضه آبخیز مورد مطالعه دلالت داشته است.

پژوهش و همکاران [۷] مقایسه‌ای میان روش‌های مختلف محاسبه نسبت تحویل رسوب انجام دادند که میان پنج روش خدمات حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۱)، خدمات حفاظت خاک آمریکا (۱۹۸۳)، رنفرو (۱۹۷۵)، ونانی (۱۹۷۵) و والینگ (۱۹۸۳)، روش رنفرو (۱۹۷۵) با درصد خطای ۰/۲۲ بیشترین دقت و کمترین مقدار خطا را نسبت به روش‌های دیگر دارا است.

فیض‌نیا [۱۳] در پژوهشی تحت عنوان «بررسی حساسیت به فرسایش و رسوب‌زایی سازندهای زمین‌شناسی در حوضه آبخیز گرگان» از نسبت‌های مختلف تحویل رسوب برای تبدیل رسوب به فرسایش استفاده کردند. آن‌ها چند روش خدمات حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۱)، خدمات حفاظت خاک آمریکا (۱۹۸۳)، خدمات

حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۹)، لارنس (۱۹۹۶)، رنفرو (۱۹۷۲)، رنفرو (۱۹۷۵)، ونانی (۱۹۷۵) که بر مبنای مساحت حوزه آبخیز بودند را انتخاب کردند و به این نتیجه رسیدند که روش رنفرو (۱۹۷۵) عدد نزدیک به واقعیت را به دست می دهد.

آرخی [۳] در بررسی کاربرد GIS^۱ و RS^۲ در برآورد فرسایش و رسوب در حوضه بالادست سد ایلام از سه روش ونانی (۱۹۷۵)، بویس (۱۹۷۵) و خدمات حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۲) استفاده کردند. از آنجا که مقدار بار رسوب برآوردی با استفاده از روش خدمات حفاظت خاک آمریکا (۱۹۷۲) تقریباً نزدیک به مقدار بار رسوب ثبت شده در ایستگاه رسوب سنجی حوضه سد ایلام بود، از این رو، این روش به عنوان بهترین روش برای محاسبه نسبت تحویل رسوب انتخاب گردید و براساس آن، نقشه نسبت تحویل رسوب و بار رسوب تهیه شد.

کینسی هندرسون و پست [۴۱] تحقیقی راجع به ارزیابی تاثیر مقیاس بر HSDR در وینی کریک^۳ واقع در استرالیا انجام دادند. نتایج ایشان نشان داد که این مدل تنها در شبکه های ۲۵۰۰ متر مربعی (۵۰ × ۵۰ متر) کارایی زیادی دارد. در شبکه های ۵۰ تا ۱۰۰ متر این مدل کاربرد ندارد و در شبکه های بیشتر از ۱۰۰ متر برآورد نادرستی ارائه می دهد. بخش کالیبراسیون (β) نیز وابستگی شدیدی با اندازه شبکه نشان داد و ضریب γ مستقل از اندازه شبکه است.

پارک و همکاران [۳۹] از سیستم SATEEC نسخه ۱/۵ جهت تخمین فرسایش و رسوب استفاده کردند. آن ها از داده های سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴ جهت کالیبراسیون و از داده های سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ جهت اندازه گیری نسبت تحویل رسوب به روش GA-SDR و از دو پارامتر آماری ضریب تعیین^۴ (R^2) و شاخص کارایی ناش-ساتکلیف^۵ (NSE) جهت بررسی کارایی روش GA-SDR استفاده کردند. نتایج نشان داد که R^2 و NSE برای کالیبراسیون به ترتیب ۰/۷۲۱ و ۰/۷۲۰ و برای داده های اندازه گیری شده به ترتیب ۰/۹۰۶ و ۰/۸۸۱ بود، بنابراین استفاده از GA-SDR می تواند در مطالعات فرسایش و رسوب به طور موثری به کار گرفته شود.

جین و کوتباری [۲۶] معادله فرو و میناکاپیلی (۱۹۹۵) و فرو (۱۹۹۷) و فرو و سایرین (۱۹۹۸) را در مقیاس کوچک با استفاده از زمان تمرکز در هر نقطه از شبکه درون حوزه آبخیز آزمایشی شان مطالعه کردند و بیان کردند که این معادله برای بررسی تاثیر فاصله از آبراهه مفید است و با تغییر پوشش سطح و شیب در طول مسیر جریان تغییر می کند.

دلایل عدم موفقیت در دستیابی به یک معادله عمومی برای نسبت حمل رسوب، پیچیدگی فرایندهای حمل رسوب و روابط متقابل آنها با خصوصیات حوضه و فقدان بررسی های جامع در مورد

آن می باشند. بررسی هایی که تا به حال صورت گرفته اند بر پایه مقایسه مقدماتی تولید رسوب اندازه گیری شده و برآورد فرسایش خام می باشد که برآورد هر دو آنها با خطاها و عدم قطعیت های مهمی روبرو هستند عرب خدری و همکاران [۱۱] به نقل از والینگ [۵۸].

با وجود مشکلاتی که در ربط دادن تولید رسوب انتهای حوزه به فرسایش بالادست وجود دارد، اندازه گیری تولید رسوب در انتهای حوضه می تواند اطلاعاتی در مورد متوسط فرسایش در داخل حوضه فراهم کند. در صورتیکه برای دستیابی به چنین مقدار متوسطی از فرسایش، تعداد زیادی پلات یا سایر اندازه گیری های شبیه آن ضروری است عرب خدری و همکاران [۱۱] به نقل از والینگ [۵۸]. خاطر نشان می کند که رسوبات حمل شده به خارج از آبخیز بیشتر منعکس کننده تاریخچه اخیر فرسایش و حمل رسوب حوضه می باشد و نه وضعیت فعلی فرسایش؛ بنابراین حکایت کننده شرایط متعادل تری می باشند. در این ارتباط الیو و ریجر (۱۹۹۲) اعتقاد دارد که تولید رسوب انتهای حوضه اطلاعاتی در مورد متوسط دراز مدت فرسایش حوضه آبخیز به دست می دهد.

نتیجه ای که از این بحث ها می توان گرفت این است که تولید رسوب در یک دوره زمانی دراز مدت تقریباً نسبت ثابتی با متوسط فرسایش در همان دوره زمانی پیدا می کند. چون رسوباتی که موقتاً در بخش های مختلف حوضه به خصوص در بستر رودخانه ها ذخیره شده اند در دراز مدت دوباره حرکت کرده و به انتهای حوضه خواهند رسید. این در حالی است که بخشی از رسوبات نهشته شده به طور دائم باقیمانده و مجدداً به حرکت در نمی آیند.

با توجه به منابع و مقالات به نظر می رسد روش رنفرو (۱۹۷۵) بیشترین کاربرد و موفقیت را در سطح کشور داشته، هر چند نمی توان با قطعیت چنین نتیجه ای را پذیرفت. نتیجه بررسی های انجام شده نشان می دهد که هر چند موضوع ضریب تحویل رسوب به خصوص برای حوضه های فاقد آمار اهمیت جدی دارد ولی پژوهش جامع و کاملی بر روی آن در ایران انجام نشده و حتی در سطح جهانی نیز رهیافت و تفکر هماهنگی وجود ندارد. مهمترین مشکلات پیش رو در انجام چنین تحقیقاتی، نبود آمار و اطلاعات پایه صحیح، عدم امکان تعیین دقیق فرسایش و تنوع اقلیمی و ژئومورفولوژیک کشور است.

منابع

۱- ابراهیمی، ز. ۱۳۸۵. ارزیابی و واسنجی چند مدل برآورد نسبت تحویل رسوب "مطالعه موردی: حوزه آبخیز کورکورسر نوشهر، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.

۲- احمدی، ح. ۱۳۷۸. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.

۳- آرخی، ص. نیازی، ی. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE

1. Geographic Information Systems
2. Remote Sensing
3. Weany Creek
4. Determination Coefficient
5. Nash-Sutcliffe efficiency index

- 15- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment – part 1: model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34, 73–89.
- 16- Boyce, R. C. (1975). Sediment routing with sediment delivery ratios. In: *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*. US Dept. Agric. Publ. ARS-S-40, 61-65.
- 17- Edwards, K. (1993). Soil erosion and conservation in Australia. In: Pimentel, D. (Ed.). *World Soil Erosion and Conservation*, Cambridge, pp. 147–169.
- 18- Fangmeier, D.D. Elliot, W. J. Workman, S. R. Huffman, R. L. Schwab, G. O. (2006). *Soil erosion by water. Soil and Water Conservation Engineering*, 5th ed. Thomson Delmar Learning, New York. 134-158.
- 19- Ferro, V. and Minacapilli, M. (1995). Sediment delivery processes at basin scale. *Hydrological Sciences Journal*. 40, pp. 703-716.
- 20- Flanagan, D.C., Nearing, M.A., 1995. USDA–Water Erosion Prediction Project: Hillslope profile and watershed model documentation. NSERL Report No. 10. USDA–ARS National Soil Erosion Research Lab, West Lafayette, IN. 298 pp.
- 21- Foster, G. R. and Meyer, L. D. (1977). Soil erosion and sedimentation by water- an overview. *Procs. National Symposium on Soil Erosion and Sedimentation by Water*, Am. Soc. Of. Agr. Eng., St. Joseph, Michigan, 1-13.
- 22- Gavrilović, Z. (1988): The use of empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. In: White, W. R. (ed.), *International Conference on River Regime*; 411–422. Chichester.
- 23- Haan, C.T., Barfield, B.J. and Hayes, J.C., 1994. *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments*. Academic Press, USA, 588p.
- 24- Hua Lu, C.J. Moran, Ian P. Prosser. (2006). Modeling sediment delivery ratio over the Murray Darling Basin. *Environmental Modeling & Software*, Volume 21, Issue 9, pp. 1297-1308.
- 25- Jager, S., 1994. Modelling regional soil erosion susceptibility using the USLE and GIS. In: Rickson, R.J. (Ed.), *Conserving Soil Resources: European Perspectives*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 161–177.
- (مطالعه موردی: حوضه بالادست سد ایلام). *مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک*، جلد هفدهم، شماره دوم، ۲۷–۱.
- ۴- اسدی نلیوان، ا. محسنی ساروی، م. سور، ا. دسترنج، ع. طائی، س. ۱۳۹۱. تعیین مناسب ترین روش تجربی برآورد SDR با استفاده از مدل EPM و خصوصیات فیزیکی حوزه؛ مطالعه موردی حوزه آبخیزقورچای، استان گلستان. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، سال سوم، شماره ۱۰، ۲۸–۱۹.
- ۵- اصغری سراسکانرود، ص. فیض ا... پور، م. محمدنژاد آروق، و. ۱۳۹۲. بررسی نسبت تحویل رسوب در حوضه رودخانه جاجرود. *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، سال دوم، شماره ۱، ۷۸–۶۷.
- ۶- افسری، ر. قدوسی، ج. ۱۳۹۰. ارزیابی روشهای مختلف تخمین نسبت تحویل رسوب (SDR) تحت شرایط آب و هوایی مختلف (مطالعه موردی: حوزه های آبخیز استان مرکزی). *فصلنامه جغرافیایی طبیعی*، سال چهارم، شماره ۱۲.
- ۷- پژوهش، م. گرجی، م. طاهری، م. سرمیدان، ف. محمدی، ج و بروجنی، ح. ۱۳۹۰. اثر کاربری اراضی حوضه سد زاینده رود علیا در تولید رسوب با استفاده از GIS. *مجله پژوهش آب ایران*. سال پنجم. شماره هشتم. ص ۱۴۳–۱۵۲.
- ۸- رفاهی، ح. ۱۳۸۸. *فرسایش آبی و کنترل آن*. موسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- ۹- صابر همیشگی، س. م. ۱۳۸۵. ارزیابی چند مدل برآورد نسبت تحویل رسوب و انتخاب مناسب ترین مدل "مطالعه موردی: زیرحوزه آبخیز لواکرتیان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی تربیت مدرس.
- ۱۰- غلامی، ل. و خالدی، صادقی، س. ح. ر درویشان. مقایسه روش های برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوزه آبخیز چهل گزی سد قشلاق استان کردستان. *مجله علوم و صنایع کشاورزی*، ویژه آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱، ۱۵۰–۱۴۲.
- ۱۱- عرب خدری، م. خوجینی، ع. حکیم خانی، ش. چرخابی، ا. و تلوری، ع. ۱۳۸۴. برآورد رسوبدهی و تهیه نقشه تولید رسوب برای ایران. گزارش نهایی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- ۱۲- غلامی، م. صادقی، س. ح. درویشان، ع. ۱۳۸۸. مدل سازی برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوزه آبخیز چهل گزی بر اساس ویژگی های اقلیمی و هیدرولوژی. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. جلد شانزدهم. ۲۶۰–۲۵۳: (۲) ۱۶ ویژه نامه ۲.
- ۱۳- فیض نیا، س. دستورانی، ج. احمدی، ح. و قدوسی، ج. ۱۳۸۷. بررسی حساسیت به فرسایش و رسوبزایی سازندهای زمین شناسی در حوزه آبخیز گرگان. *نشریه منابع طبیعی ایران*، ش ۱، ص ۲۷–۱۳.
- 14- Alatorre, L.C. Beguería, S. García-Ruiz, J.M. 2010. Regional scale modeling of hillslope sediment delivery: A case study in the Barasona Reservoir watershed (Spain) using WATEM/SEDEM. *Journal of Hydrology*. 391: 109–123.

Ratio for Large Watersheds, Journal of Civil Engineering, Vol. 16, No. 5, PP. 883-891.

39- Park, Y. S., Kim, J., Kim, N., Kim, S., Jeon, J., Engel, B. A., Jang, W., and Lim, K. J., (2010). Development of New R, C. and SDR Modules for the SATEEC GIS System. Computers & Geosciences, 36(6), 726-734.

40- Parsons, A.J., Stromberg, S.G.L. (1998). Experimental analysis of size and distance of travel of unconstrained particles in interrill flow. Water Resources Research, 34, pp. 2377-2381.

41- Post, D. A. Kinsey-Henderson, A. E. Bartley, R. Hawdon, A. 2006. Deriving a spatially-explicit hillslope sediment delivery ratio model based on the travel time of water across a hillslope.

42- Renfro, G.W. (1975). Use of Erosion Equations and Sediment-Delivery Ratios for Predicting Sediment. Sediment Yield. ARS-S-40.

43- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Porter, J.P., 1991. RUSLE – revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation 46, 30-33.

44- Richards, K. (1993). Sediment delivery and the drainage network. K. Beven, M.J. Kirkby (Eds.), Channel Network Hydrology, Wiley, Chichester (1993), pp. 221-254.

45- Roehl, J.E. (1962). Sediment source areas, and delivery ratios influencing morphological factors. International Association of Hydrological Sciences, 59 (1962), pp. 202-213.

46- Shukran Sahaar, Ahmad. 2013. Erosion Mapping and Sediment Yield of The Kabul River Basin, Afghanistan. In partial fulfillment of the requirements For the Degree of Master of Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

47- Swift, Lloyd W. 2000. Equation to Dissipate Sediment from a Gridcell Downslope. U.S. Forest Service.

48- USDA-SCS, 1971. Sediment source, yields and delivery ratio. National Engineering hand book section (3) sedimentation.

49- USDA, 1972. Sediment Sources, Yields, and Delivery Ratios. National Engineering Hand book, Section 3 Sedimentation.

50- USDA, 1979. Sediment Sources, Yields, and Delivery Ratios. National Engineering Hand book, Section 3

26- Jain, M. and Kothiyari, U.C. 2000. Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS. Hydrol. Sci. J. 45(5), 771-786.

27- Julien, P. Y. (2002). "River Mechanics." Cambridge University Press, New York, pp. 31-78.

28- Julien, P.Y. (2010). Erosion and Sedimentation. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.

29- Kirkby, M. J and Morgan. R.P.C. (1980). Soil erosion. Chichester, New York. Bridesbane, Toronto, John Wiley & Sons Publications.

30- Larence, J. 1998. Sediment yield Estimation from a hydrographic survey a case study for the kremasta reservoir basin, Grece.

31- Lim, K.J., Sagong, M., Engel, B.A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K.S., 2005. GIS-based sediment assessment tool. CATENA 64, 61-80.

32- Lu, H., Gallant, J., Prosser, I.P., Moran, C., Priestly, G., 2001. Prediction of Sheet and Rill Erosion of the Australian Continent: Incorporating Monthly Soil Loss Distribution. Technical Report 13/01, CSIRO Land and Water, Canberra. <<http://www.clw.csiro.au/publications/technical2001/tr13-01.pdf>>.

33- Lu, H., Moran, C.J., Prosser, I.P., 2006. Modelling sediment delivery ratio over the Murray Darling Basin. Environmental Modelling and Software 21, 1297-1308.

34- Maner, S. B. (1962). Factors influencing sediment delivery ratios in the Blackland Prairie land resource area. US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Fort Worth, Texas, USA.

35- Mutchler, A. and J. Bowie, 1975. National Engineering Hand book, Section 3, Sedimentation

36- 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.

37- 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 and Landforms 23, 527-544.

38- Pak, J.H. and Heon Lee, J., 2012, A Hyper-concentrated Sediment Yield Prediction Model Using Sediment Delivery

- 59- Wasson, R.J., L.J. Olive, C. (1996). Rosewell. Rates of erosion and sediment transport in Australia. D.E. Walling, R. Webb (Eds.), *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*, pp. 139–148 (IAHS Publication No. 236).
- 60- Williams, J.R., 1975. Sediment routing from agricultural watersheds. *Water Resources Bulletin* 11, 965–974.
- 61- Williams, J.R., 1977. Sediment Delivery Ratios Determined with Sediment and Runoff Models. *Proceedings Symposium on Erosion and Solid Matter Transport in Inland Water*. IAHS Publication, No. 122: 168-179.
- 62- Williams, J.R., Berndt, H.D., 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 6, 1100–1104.
- 63- Wischmeier, W. H., and Smith, D.D., (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses- A Guide to Conservation Planning*. U.S. Department of Agriculture Handbook No. 537.
- Sedimentation.
- 51- USDA, 1983. *Sediment Sources, Yields, and Delivery Ratios*. National Engineering Hand book, Section 3 Sedimentation.
- 52- Vanoni, V.A., 1975. *Sedimentation engineering*, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices, No. 54.
- 53- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 2000. *Soil Erosion Risk Assessment in Europe*. European Soil Bureau, Joint Research Centre, EUR 19044 EN, 34p.
- 54- Van Rompaey, A., Govers, G., Waumans, T., Van Oost, K., Poesen, J., Desmet, J., 2000. *A Regional Soil Erosion Risk Map for Flanders, Belgium*, @WEL, vol. 3, pp. 1–6.
- 55- Vigliak, O. Borselli, L. Newham, L.T.H. McInnes, J. Roberts, A.M. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology* 138 (2012) 74–88.
- 56- Walling, D.E., 1983. The sediment delivery problem. I. Rodriguez-Iturbe and V.K. Gupta, *Scale Problems in Hydrology*. *J. Hydrology.*, 65: 209–237.
- 57- Walling, D.E., Webb, B.W., 1983. Patterns of sediment yield. In: Gregory, K.J. (Ed.), *Background to Palaeohydrology*. John Wiley & Sons Ltd, pp. 69–100.
- 58- Walling, D.E., 1994. Measuring sediment yield from river basins. In: R. Lal (Ed), *Soil erosion research methods*. Soil and water conservation society publ., 2nd Edition, pp. 39-83.

*Abstract***Review of Research Conducted on the Sediment Delivery Ratio**R. Bayat¹ and Sh. Moradi²

Recived: 2014.05.10 Accepted: 2014.09.28

Soil is a component of each ecosystem and it has more important role in human survival, therefore, there is necessity for soil protection. Soil erosion and sediment are important environmental problems and concerns in sustainable development. Although most erosion and sediment deposition processes have been studied in detail, but modeling and making a link between on-site soil erosion and total sediment yield at the outlet of a catchment are often hard because of the difficulties associated with modeling of a cascading system, and also because of the lack of detailed input data at regional scales. Effective control of sediment transport is important component in management of natural resource. Knowledge on delivery ratio is useful in recognition of the resources and the amount of sediment load; also it's more important for model developers. Most regional erosion estimation models do not consider the spatial variability of sediment supply to streams. Therefore, we should use an index such as sediment delivery ratio. Since, extensive research has been conducted on the sediment delivery ratio, but different results have been shown. The aim of this paper is to collect and review past studies on SDR since now, because we can choose the best way to estimate sediment load and we can provide more effective actions for management of natural resources. Results showed that each method has advantage and disadvantage, and it's difficult to choose one way for estimates delivery ratio. But most research in Iran showed that Renfro (1975) method is better than others. Of course, all researches havn't been conducted on all methods and this subject suggest necessity of planning for the projects on sediment delivery ratio methods.

Keywords: Erosion, Sediment, Sediment delivery ratio, Soil, watershed.

1. Academic Staff of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. Corresponding Author Email :bayat@scwmri.ac.ir

2. Msc. Student of physic and soil conservation, Faculty of Agriculture, University of Tehran.