

ارزیابی روش‌های مختلف تخمین نسبت تحویل رسوب (SDR) تحت شرایط آب و هوایی مختلف مطالعه موردی: حوضه‌های آبخیز استان مرکزی

روح اله افسری*

دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

جمال قدوسی

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

در ایران بر اساس نتایج تحقیقات به عمل آمده در بسیاری از موارد، اختلاف نسبی بین مقادیر فرسایش و رسوب برآورد شده توسط مدل EPM با مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده بیشتر از ۱۰ درصد گزارش شده است. در تحقیق حاضر اقدام به بررسی ۱۳ روش برآورد نسبت تحویل رسوب، جهت مقایسه با روش محاسبه آن در مدل EPM جهت ارتقاء دقت مدل در دو حوضه آبخیز خمین و مزلقان واقع در استان مرکزی شده است، نتایج تحقیق نشان دهنده این است که روش مو و منگ^۱ (۱۹۷۷) و روش روئل^۲ (۱۹۷۷) به ترتیب با داشتن حداقل اختلاف نسبی در حوضه‌های آبخیز خمین و مزلقان، مناسب‌ترین روش‌ها هستند. بر این اساس توصیه می‌شود از روش محاسبه نسبت تحویل رسوب مو و منگ (۱۹۷۷)، در حوضه‌های آبخیز خشک و از روش روئل (۱۹۷۷)، در حوضه‌های آبخیز نیمه خشک ایران در صورت بکارگیری مدل EPM استفاده شود.

واژگان کلیدی: نسبت تحویل رسوب (SDR)^۳، آبخیزهای خشک و نیمه خشک، مدل EPM، حوضه آبخیز خمین، حوضه آبخیز مزلقان.

مقدمه

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. در ایران به دلایل مختلف از روش MPSIAC و مدل EPM بیشتر از سایر روش‌ها و مدل‌های دیگر جهت برآورد فرسایش و رسوب در مطالعات و طرح‌های آبخیزداری استفاده می‌شود. از آنجا

E-mail: Ali_Afsary@yahoo.com

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۸۶۶۷۲۸۹

1 - Mou and Meng

2 - Roehl

3 - Sediment Delivery Ratio

که در روش MPSIAC برآورد کمی فرسایش میسر نمی‌باشد، از این رو به طور معمول با انتخاب یکی از روش‌های محاسبه نسبت تحویل رسوب (SDR)، اقدام به محاسبه مقدار فرسایش بر اساس مقدار رسوب برآورد شده می‌شود. در مدل EPM که امکان برآورد کمی مقادیر فرسایش و رسوب وجود دارد با برآورد مقدار فرسایش و محاسبه نسبت تحویل رسوب بر اساس روش ارائه شده در مدل، اقدام به برآورد کمی رسوب می‌گردد. به این ترتیب در مورد روش MPSIAC به دلیل عدم دقت روش مورد استفاده که در شرح خدمات مطالعات طرح‌های تفصیلی - اجرائی آبخیزداری اقدام به معرفی و لزوم استفاده از آن شده (قدوسی، ۱۳۸۹) و در مدل EPM که یکی از محدودیت‌های آن عدم کارایی روش محاسبه نسبت تحویل رسوب (SDR) عنوان شده است (احمدی، ۱۳۷۴)، بررسی روش‌ها و مدل‌های محاسبه و برآورد نسبت تحویل رسوب (SDR) با تأکید بر شرایط اقلیمی به دلیل محدود بودن استفاده از روش MPSIAC به مناطق نیمه خشک و محدود بودن استفاده از مدل EPM به مناطق نیمه خشک سرد کوهستانی با متوسط حداقل دمای هوای کمتر از ۱۰- درجه سانتی‌گراد (قدوسی، ۱۳۸۹)، نشان دهنده‌ی این است که با توجه به تنوع اقلیم به ویژه در آبخیزهای بزرگ نمی‌توان از یک روش و یا مدل خاص جهت برآورد فرسایش و رسوب استفاده کرد، از سوی دیگر به دلایل بیان شده در مورد محاسبه نسبت تحویل رسوب ضرورت دارد اقدام به شناسایی و معرفی روش‌ها یا مدل‌هایی شود که ضمن برخورداری از ساختار مناسب دارای سازگاری لازم با شرایط اقلیمی در مقیاس حوضه آبخیز باشد. یکی از راه حل‌های رفع این مسئله، ارزیابی روش‌های موجود جهت برآورد نسبت تحویل رسوب در مقیاس حوضه آبخیز به منظور شناسایی و معرفی مناسب‌ترین روش محاسبه یا برآورد ضریب رسوبدهی تحت شرایط آب و هوایی (اقلیم) مختلف است.

بررسی سوابق پژوهشی مبین این است که گرین فیلد^۱ (۲۰۰۴)، با بررسی و ارزیابی چهار مدل مختلف محاسبه برآورد نسبت تحویل رسوب در آتلانتا - آمریکا به این نتیجه رسیده است که روش‌ها یا مدل‌های محاسبه یا برآورد نسبت تحویل رسوب مبتنی بر روابط ویژگی‌های مرفومتريک حوضه آبخیز در مقایسه با سایر روش‌ها دارای دقت بیشتری هستند. بارتولیک^۲ (۲۰۰۵)، با تقسیم بندی روش‌ها یا مدل‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در دو گروه آماری - تجربی و تعیینی - فیزیکی بر این نکته اشاره دارد که مدل‌های آماری - تجربی به دلیل نیاز به داده‌های کمتر و سهولت انجام محاسبات، از نظر کلی بر مدل‌های تعیینی - فیزیکی که به داده‌های ورودی بیشتری نیازمند هستند، ارجحیت دارند. صابر همیشگی، (۱۳۸۵)، با بررسی برخی مدل‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در زیر حوضه آبخیز لوارک واقع در حوضه آبخیز لتیان-تهران، گزارش داده است که به دلیل تجربی بودن تمامی مدل‌های ابداع و ارائه شده برای برآورد نسبت تحویل رسوب در مقیاس حوضه آبخیز، ضرورت دارد مناسب‌ترین روش از طریق آزمون و ارزیابی آن‌ها در حوضه‌های آبخیز معرف، مشخص و معرفی شود. ابراهیمی، (۱۳۸۵)، با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی دو گروه از مدل‌های برآورد یا محاسبه نسبت تحویل رسوب در حوضه آبخیز کورسر - نوشهر با اقلیم معتدل

1- Greenfield

2- Bartoholic

مرطوب، اظهار داشته است مدل‌هایی که در آن‌ها به جای عامل مساحت، طول آبراه اصلی و ارتفاع متوسط حوضه آبخیز از سطح دریا لحاظ شده، مدل‌های مناسب تری هستند. نورانی، (۱۳۸۵)، با ارزیابی هفت 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^۱ (۱۹۷۲)، مناسب ترین مدل برای برآورد نسبت تحویل رسوب در حوضه آبخیز طالقان رود و آبخیزهایی با شرایط اقلیمی مشابه می‌باشد.

به این ترتیب می‌توان بیان کرد که با توجه به وجود روش‌ها و مدل‌های متعدد موجود جهت برآورد نسبت تحویل رسوب (SDR)، انتخاب و استفاده بهینه و مناسب از آن‌ها باید مبتنی بر شرایط اقلیمی حاکم بر هر حوضه‌های آبخیز باشد. در این میان یکی از مهم ترین موارد که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته، انتخاب روش و یا مدل مناسب برای برآورد نسبت تحویل رسوب جهت استفاده در ترکیب و تلفیق با روش‌ها و مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب است که می‌تواند منجر به امکان برآورد مقادیر کمی فرسایش و یا رسوب در چنین مدل‌هایی شود. بر این اساس در تحقیق حاضر با توجه به محدودیت‌های مشخص شده برای مدل برآورد فرسایش و رسوب EPM که در آن اقدام به ارایه رابطه ای برای برآورد نسبت تحویل رسوب شده است، سعی بر بررسی دقت و کارایی روش مذکور با سایر روش‌ها و مدل‌های محاسبه و یا برآورد نسبت تحویل رسوب جهت رفع محدودیت مرتبط به این موضوع در مدل EPM با هدف افزایش دقت و کارایی این مدل شده است.

داده‌ها و روش‌ها

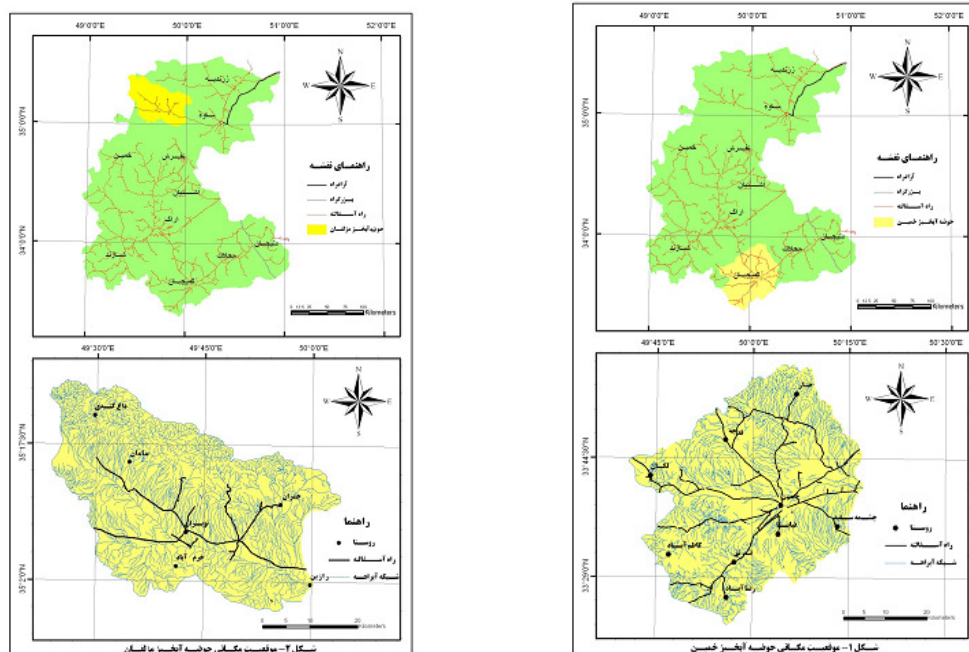
داده‌ها و مواد و متغیرهای مورد مطالعه

در انجام این تحقیق از اطلاعات مستخرج از منابع مختلف شامل کتب و مقالات علمی - پژوهشی، گزارش مطالعات انجام شده، آمار و اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی و رسوب سنجی، نقشه‌های پایه توپوگرافی، زمین شناسی و منابع اراضی و عکس‌های هوایی و نیز نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه‌های مرتبط با موضوع تحقیق استفاده شده است.

ابزارهای پژوهش

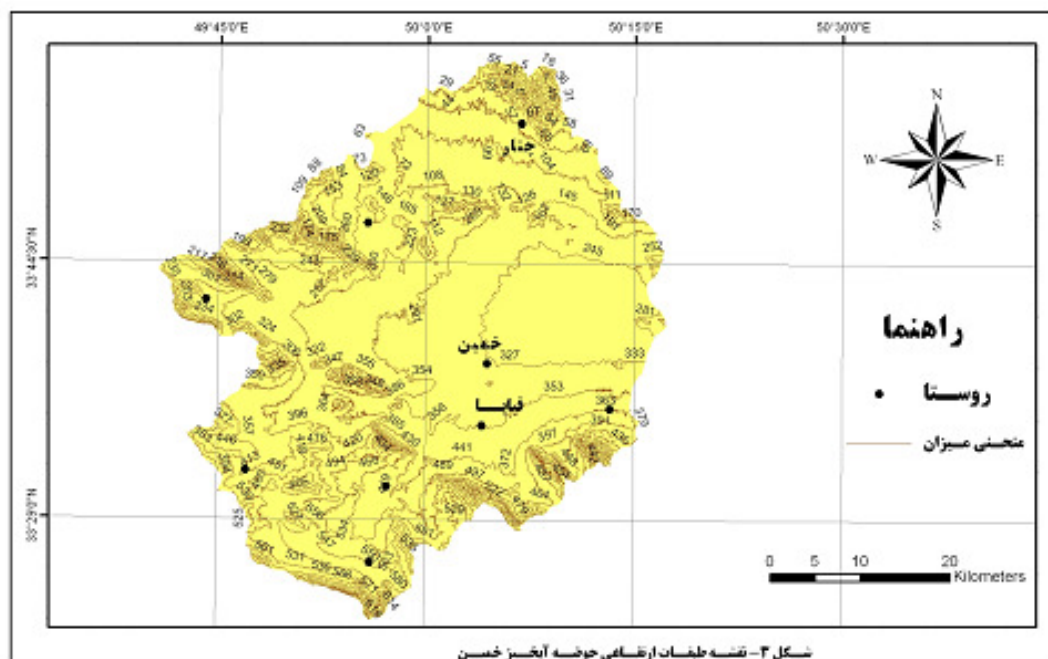
این تحقیق با توجه به لزوم در نظر گرفتن شرایط اقلیمی متفاوت به ترتیب در حوضه‌های آبخیز خمین و مزلقان با اقلیم خشک و نیمه خشک در محدوده‌های جغرافیایی ۴۰° و ۴۹° تا ۱۷° و ۵۰° طول شرقی و ۲۲° و ۳۳° تا ۵۶° عرض شمالی و ۲۲° و ۴۹° تا ۱۰° و ۵۰° طول شرقی و ۵۷° و ۳۴° تا ۲۵° و ۳۵° عرض شمالی با مساحت‌های ۲۰۷۵ و ۱۴۲۹ کیلومتر مربع در جنوب و شمال شرق استان مرکزی انجام شده است (شکل‌های ۱ و ۲). در اجرای عملیات میدانی و تجزیه و تحلیل داده‌ها به ترتیب شامل نمونه

برداری‌های میدانی، تدقیق داده‌ها شامل زمین شناسی، خاک، ویژگی‌های فیزیوگرافی در سازگاری و تطبیق با ساختار مدل‌ها یا روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب و پردازش داده‌ها از ابزار و ادوات فنی - مهندسی ذریع و بسته‌های نرم افزاری Spss و Arc-GIS استفاده شده است (شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶).

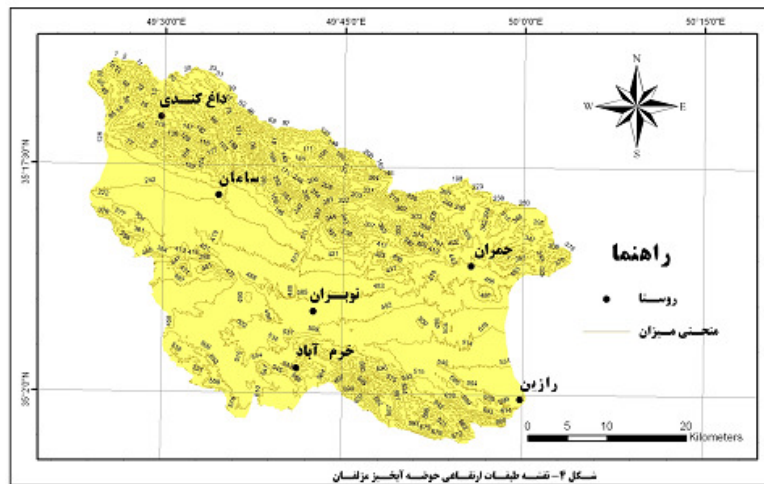


شکل ۲: موقعیت مکانی حوضه آبخیز مزلفان

شکل ۱: موقعیت مکانی حوضه آبخیز خمین

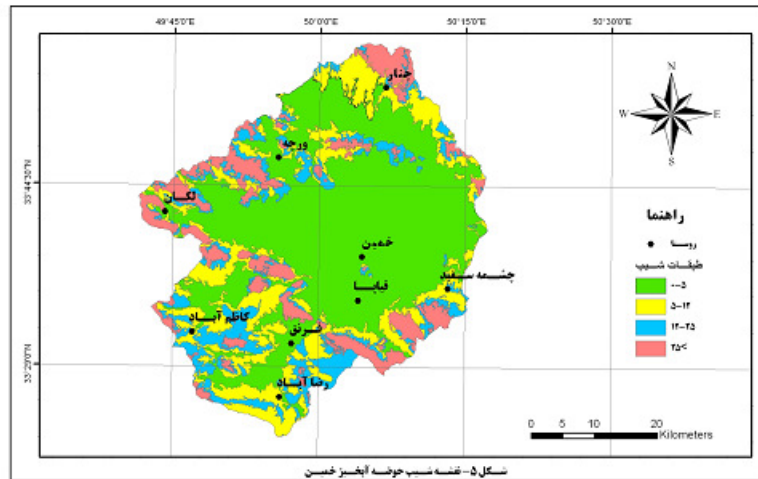


شکل ۳: نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز خمین



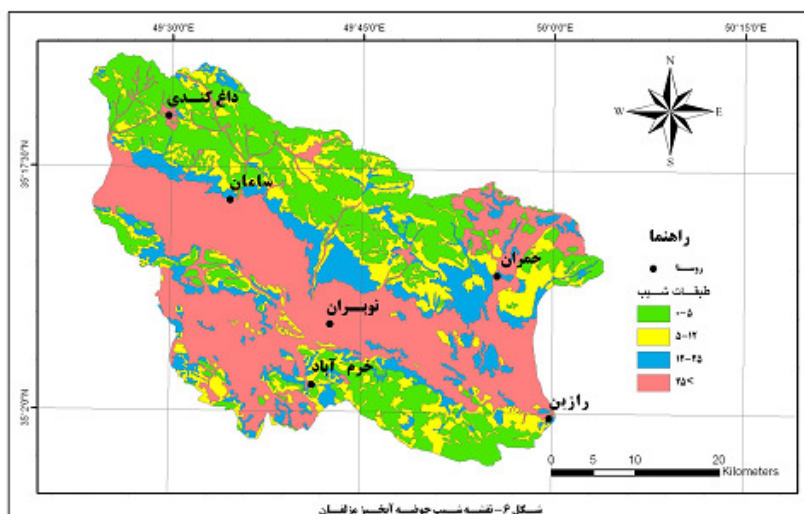
شکل ۴- نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز مزلفان

شکل ۴: نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز مزلفان



شکل ۵- نقشه شیب حوضه آبخیز خمین

شکل ۵: نقشه شیب حوضه آبخیز خمین



شکل ۶- نقشه شیب حوضه آبخیز مزلفان

شکل ۶: نقشه شیب حوضه آبخیز مزلفان

روش‌ها

در این تحقیق ابتدا اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی در تطبیق با روش‌های اقلیم شناسی دومارتن^۱ اصلاح شده و آمبرژه^۲ و تقسیم بندی حوضه‌های آبخیز استان مرکزی بر اساس نوع اقلیم شده است. سپس با توجه به وجود چهار گروه مختلف از روش‌ها و مدل‌های محاسبه و برآورد نسبت تحویل رسوب و انتخاب ۱۳ روش و مدل از بین آن‌ها براساس نتایج حاصل از ارزیابی‌های پیشین انجام شده در جهان و ایران اقدام به تکمیل و تدقیق اطلاعات مربوط به عوامل لحاظ شده در هر یک از روش‌ها و مدل‌ها از طریق بازدیدها و انجام مطالعات میدانی و انتخاب نقاط آزمایشی در هر مورد به روش نمونه برداری کاملاً تصادفی شده است. محاسبه مقدار رسوب ویژه هر یک از حوضه‌های آبخیز بر اساس داده‌های اندازه گیری شده در ایستگاه‌های رسوب سنجی پس از پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش میانگین دسته‌ها محاسبه شده است. برآورد مقدار کمی فرسایش ویژه با استفاده از مدل EPM به عنوان مدل مناسب معرفی شده برای حوضه‌های آبخیز نیمه خشک کوهستانی صورت گرفته و با محاسبه نسبت تحویل رسوب در دو حوضه آبخیز مورد مطالعه اقدام به ارزیابی آن‌ها بر اساس روش مقایسه تطبیقی و تغییرات نسبی شده است.

روش تجزیه و تحلیل

تجزیه و تحلیل داده‌ها در این تحقیق بر اساس روش تجزیه و تحلیل همبستگی از طریق ایجاد روابط رگرسیونی از یکسو و محاسبات مربوط به تغییرات نسبی جهت دستیابی و مشخص کردن مناسب ترین مدل‌ها یا روش‌های برآورد یا محاسبه ضریب رسوبدهی بر اساس اقلیم، صورت پذیرفته است. مدل‌ها یا روش‌های مورد بررسی محاسبه و برآورد نسبت تحویل رسوب در چهار گروه به شرح زیر می‌باشند:

گروه ۱- روش‌های مبتنی بر مساحت حوضه آبخیز :

$$\text{Log (SDR)} = 1/7935 - 0/4191 \text{ Log (A)} \quad \text{— رنفر و}^3 (1975),$$

که در آن:

SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت آبخیز بر حسب مایل مربع می‌باشد.

$$\text{SDR} = 0/42 A^{-0/125} \quad \text{— ونانی}^2 (1975)$$

در آن :

SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوضه آبخیز بر حسب مایل مربع است.

$$\text{SDR} = 0/51 A^{-0/11} \quad \text{— روش سرویس حفاظت خاک آمریکا}^3 (1979)$$

که در آن:

1- Demartonn

2- Amberje

1- Renfero

2- Vonani

3- United State of America Soil Conservation Service

SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت آبخیز بر حسب مایل مربع می باشد.

$$\text{SDR} = A^{.72} \quad \text{- لارنس}^1 (1996)$$

که در آن:

SDR = نسبت تحویل رسوب و A = مساحت حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر مربع است.

گروه ۲- روش های مبتنی بر ویژگی های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز :

$$\text{SDR} = 0.627 (\text{SLP})^{.403} \quad \text{- ویلیامز و برنت} (1972)$$

که در آن:

SDR = نسبت تحویل رسوب و SLP = شیب آبراهه اصلی می باشد.

$$\text{Log SDR} = .294259 + 0.82362 \text{Log} \left(\frac{R}{L} \right) \quad \text{- رنفرو} (1975)$$

که در آن:

SDR = نسبت تحویل رسوب، R = اختلاف ارتفاع بین بلندترین و کم ارتفاع ترین نقاط حوضه آبخیز (متر)

و L = طول حوضه آبخیز (متر) می باشد.

$$\text{Log SDR} = 4/5 - 0/23 \text{Log} (A) - 0/5125 \text{Log} \left(\frac{R}{L} \right) - 2/788 \text{Log}(BR) \quad \text{- روئل} (1962)$$

که در آن:

A = مساحت آبخیز بر حسب مایل مربع، $\frac{R}{L}$ = نسبت پستی و بلندی به طول آبخیز بر حسب مایل به مایل و

BR = نسبت دو شاخه شدن یا ضریب دو شاخه شدن شبکه آبراهه های حوضه آبخیز می باشد.

$$\text{SDR} = 1/29 + 1/37 \text{Ln RC} - 0/025 \text{Ln A} \quad \text{- مو و منگ} (1980)$$

که در آن:

A = مساحت حوضه آبخیز (کیلومتر مربع) و RC = تراکم شبکه آبراهه به ویژه تراکم شیارها و خندق ها در

حوضه آبخیز (کیلومتر بر کیلومتر مربع) می باشد.

گروه ۳- روش های مبتنی بر مساحت و ویژگی های فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوضه آبخیز:

$$\text{DR} = 0/488 - 0/006 A + 0/01 RO \quad \text{- ماتخلر و بوئی}^2 (1975)$$

که در آن:

A = مساحت آبخیز (مایل مربع) و RO = متوسط ارتفاع رواناب سالانه (اینچ) می باشد.

$$\text{SDR} = 1/366 \times 10^{-12} (A)^{-0.0998} \left(\frac{R}{L} \right)^{0.362} (\text{CN})^{5/44} \quad \text{- ویلیامز}^3 (1977)$$

که در آن:

SDR = نسبت تحویل رسوب، A = مساحت حوضه آبخیز بر حسب مایل مربع، $\frac{R}{L}$ = نسبت پستی و بلندی به

طول آبخیز بر حسب مایل به مایل CN = شماره منحنی می باشد.

1- Larens

2- Mutcher-Bowie

3- Williams

$$- \text{SWAT}(2005)^1 \text{ SDR} = \frac{q_p}{r_{ep}}$$

که در آن :

q_p = حداکثر عمق رواناب سطحی (میلی‌متر بر ساعت) و r_{ep} = مقدار بارش مزاد یا مساوی مقدار حداکثر بارش مؤثر (میلی‌متر بر ساعت) می‌باشد.

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

$$- \text{والینگ}^2 (1983) \text{ SDR} = C_{soil} / C_{sed}$$

که در آن:

C_{soil} = درصد رس موجود در خاک حوضه آبخیز و C_{sed} = درصد میزان رس موجود در رسوب تولیدی می‌باشد.

- سوايف و لیود³ (2002)

$$Z = 0/9004 - 0/134(\text{Ln}x) - 0/0465(\text{Ln}x)^2 - 0/00749(\text{Ln}x)^3 - 0/0399(\text{Ln}y) + 0/0144(\text{Ln}y)^2 + 0/00308(\text{Ln}y)^3$$

ه در آن:

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

نتایج

ویژگی‌های حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه

- نتایج حاصل از بررسی‌های به عمل آمده در زمینه ویژگی‌های حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه در تطبیق با ساختار روش‌ها و مدل‌های مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۱: ویژگی‌های توپوگرافی و فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه

نسبت انشعاب BR	فراوانی آبراهه درجه یک (درصد)	تراکم آبراهه (km)	شیب آبراهه اصلی (درصد)	مجموع طول آبراهه ها (km)	طول آبراهه اصلی (km)	ارتفاع متوسط از سطح دریا (m)	حداقل ارتفاع از سطح دریا (m)	حداکثر ارتفاع از سطح دریا (m)	پستی و بلندی	شیب متوسط (درصد)	طول حوضه آبخیز (km)	محیط (km)	مساحت (Km ²)	نام حوضه آبخیز
۴/۴۵	۱۲/۶۴	۰/۵۵	۱/۷	۳۴۲/۵	۳۸۷	۲۱۸۵	۱۸۳۰	۳۲۵۷	۰/۰۴۱	۹/۳	۳۵	۱۰۴	۲۰۷۵	خچین
۳/۵	۷/۵۵	۰/۴۴	۱/۰۵	۷۲۲/۵	۷۵	۱۹۵۱	۱۳۰۰	۲۹۸۶	۰/۰۲۳	۱۱/۹	۶۹/۷۵	۱۸۷/۵	۱۴۲۹	مزلقان

3- Soil and Water Assessment Tool

4- Walling

1- Swif and Liody

جدول ۲: مقادیر اندازه گیری شده دبی آب، رسوب، حجم کل آب و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز خمین و مزلقان

مساحت Km ²	متوسط بارندگی سالانه	رسوب ویژه (TonKm ⁻² yr ⁻¹)	رسوب کل Q _{st} (Ton)	حجم آب سالانه (m ³) Q	دبی رسوب Q _s (grlit ⁻¹)	دبی آب Q _w (litsec ⁻¹)	پارامتر حوضه آبخیز
۲۰۷۵	۲۱۷	۲۰۱/۵۸	۴۱۸۲۷۲/۰۵	۴۰۹۹۶/۸	۱۶۱/۱۴	۱/۳	خمین
۱۴۲۹	۳۳۵	۳۵۹/۰۸	۵۱۳۱۲۲/۲۶	۱۶۷۱۴۰/۸	۳۰۷۲/۳۵	۵/۳۱	مزلقان

- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه گیری شده دبی آب و رسوب ایستگاه‌های رسوب سنجی در حوضه‌های آبخیز خمین و مزلقان بر اساس روش میانگین دسته‌ها به ترتیب معادل ۴۱۸۲۷۲/۰۵ و ۵۱۳۱۲۲/۲۶ تن در سال است که برابر ۲۰۱/۵۸ و ۳۵۹/۰۸ تن در کیلو متر مربع در سال می‌باشد. این در حالی است که مقادیر رسوب ویژه برآورد شده با بکارگیری مدل EPM در دو حوضه آبخیز خمین و مزلقان به ترتیب معادل ۲۳۰/۹ و ۴۰۴/۲ تن در کیلو متر مربع در سال با مقادیر رسوب کل ۴۷۹۱۱۷/۵ و ۵۷۷۶۰۱/۸ تن در سال به دست آمده است. با در نظر گرفتن مقادیر تولید رسوب اندازه گیری و برآورد شده در حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه، نتیجه مقایسه تطبیقی مبتنی بر محاسبه اختلاف نسبی بین متوسط مقادیر کل رسوب اندازه گیری و برآورد شده سالانه، به ترتیب برای آبخیزهای خمین و مزلقان برابر با ۱۴/۵ و ۱۲/۶ در صد می‌باشد. با توجه به هدف تحقیق، نتیجه حاصل از برآورد نسبت تحویل رسوب بر اساس روش‌ها و مدل‌های مورد آزمون ۱۳ گانه (جدول ۳) و محاسبه متوسط رسوب سالانه حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه با بکارگیری مقادیر برآورد شده نسبت‌های تحویل رسوب (جدول ۴ و ۵)، نشان دهنده این است که روش‌های موومنگ و روئل به ترتیب با اختلاف نسبی ۴/۱ و ۶/۴ در صد در مقایسه با مقادیر برآورد شده نسبت‌های تحویل رسوب بر اساس روش ارایه شده در مدل EPM در حوضه‌های آبخیز خمین و مزلقان دارای کمترین اختلاف نسبی می‌باشند (جدول ۶).

جدول ۳: نتایج حاصل از برآورد مقادیر نسبت تحویل رسوب بر اساس روش‌های مورد آزمون

در حوضه‌های آبخیزهای خمین و مزلقان

روش SDR حوضه آبخیز	EPM (۱۹۸۸)	رفنو (۱۹۷۵)	ونانی (۱۹۷۵)	SCS (۱۹۸۳)	لارنس (۱۹۹۶)	ویلیامز بونت (۱۹۷۳)	ماترو رفنو (۱۹۷۵)	روئل (۱۹۶۲)	مو و منگ (۱۹۸۰)	ویلیامز (۱۹۷۷)	SWAT (۲۰۰۱)	ماتخرو بونی (۱۹۷۵)	سوائف و لیود (۲۰۰۰)	والنگ (۱۹۹۶)
خمین	۰/۵۴	۰/۳۹	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۷۷	۰/۱۴	۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۶۳	۰/۸۶
مزلقان	۰/۵۵	۰/۳۴	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۶۴	۰/۱۰	۰/۵۲	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۳۶	۰/۸۵

جدول ۴: نتایج مقایسه تطبیقی و اختلاف نسبی مقادیر رسوب مشاهده شده با مقادیر برآورد شده در حوضه آبخیز خمین

اختلاف نسبی (درصد)	اختلاف مطلق	رسوب کل (تن در سال)	رسوب مدل یا روش
۱۴/۵	۶۰۸۴۵/۴۵	۴۷۹۱۱۷/۵۰	EPM (۱۹۸۸)
۱۷/۳	۷۲۲۲۰/۵۵	۳۴۶۰۵۱/۵۰	رنفرو (۱۹۷۵)
۶۱/۸	۲۵۸۵۵۵/۹۵	۱۵۹۷۱۶/۱۰	ونانی (۱۹۷۵)
۴۹/۱	۲۰۵۳۱۷/۲۵	۲۱۲۹۵۴/۸۰	SCS (۱۹۸۳)
۵۳/۳	۲۲۳۰۶۳/۵۵	۱۹۵۲۰۸/۵۰	لارنس (۱۹۶۶)
۶۳/۳	۲۶۴۹۵۷/۷۵	۶۸۳۲۹/۸۰	ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)
۷۰/۳۰	۲۹۴۰۴۸/۴۵	۱۲۴۲۲۳/۶۰	مانر و رنفرو (۱۹۷۵)
۴/۵	۱۸۹۸۱/۸۵	۳۹۹۲۹۰/۲۰	روئل (۱۹۶۲)
۴/۱	۱۶۹۸۲۴/۸۵	۲۴۸۴۴۷/۲۰	مو و منگ (۱۹۷۷)
۹۷	۴۲۷۱۴۵/۱۵	۸۸۷۳/۱۰	ویلیامز (۱۹۷۷)
۴/۵	۱۸۹۸۱/۸۵	۳۹۹۲۹۰/۲۰	SWAT (۲۰۰۱)
۷۸/۸۰	۳۲۹۵۴۰/۹۵	۸۸۷۳۱/۱۰	ماتخلرو بوئی (۱۹۷۵)
۳۳/۶	۱۴۰۷۳۴/۱۵	۵۵۹۰۰۶/۲۰	سوایف و لیود (۲۰۰۰)
۸۲/۴	۳۴۴۸۱۵/۸۵	۷۶۳۰۸۷/۹۰	والینگ (۱۹۹۶)

جدول ۵: نتایج مقایسه تطبیقی و اختلاف نسبی مقادیر رسوب مشاهده شده با مقادیر برآورد شده در حوضه آبخیز مزلقان

اختلاف نسبی (درصد)	اختلاف مطلق	رسوب کل (تن در سال)	رسوب مدل یا روش
۱۲/۶	۶۴۴۷۹/۲	۵۷۷۶۰۱/۸۰	EPM (۱۹۸۸)
۳۰/۴	۱۵۶۰۶۴/۱	۳۵۷۰۵۸/۵۰	رنفرو (۱۹۷۵)
۶۱/۱	۳۱۳۵۸۹/۹	۱۹۹۵۳۲/۷۰	ونانی (۱۹۷۵)
۴۸/۸	۲۵۰۵۷۹/۶	۲۶۲۵۴۳/۰۰	SCS (۱۹۸۳)
۷۲/۶	۳۷۲۵۷۶/۷	۱۴۰۵۴۵/۹۰	لارنس (۱۹۶۶)
۳۰/۹	۱۵۸۹۸۷/۵	۶۷۲۱۱۰/۱۰	ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)
۷۹/۵	۴۰۴۱۰۵/۴	۱۰۵۰۱۷/۲۰	مانر و رنفرو (۱۹۷۵)
۶/۴	۳۲۹۶۶/۹	۵۴۶۰۸۹/۵۰	روئل (۱۹۶۲)
۶۵/۲۱	۳۳۴۵۹۳/۳۹	۱۷۸۵۲۹/۲۱	مو و منگ (۱۹۷۷)
۹۳/۹	۴۸۱۶۱۷/۴۰	۳۱۵۰۵/۲۰	ویلیامز (۱۹۷۷)
۶/۶	۳۳۹۷۴/۴	۴۷۹۱۴۸/۲۰	SWAT (۲۰۰۱)
۶۵/۲	۳۳۴۵۹۳/۳	۱۷۸۵۲۹/۳۰	ماتخلرو بوئی (۱۹۷۵)
۲۶/۳	۱۳۵۰۶۰/۷	۳۷۸۰۶۱/۹۰	سوایف و لیود (۲۰۰۰)
۷۳/۹	۳۷۹۵۲۳/۷	۸۹۲۶۴۶/۳۰	والینگ (۱۹۹۶)

جدول ۶: نتیجه محاسبه اختلاف نسبی کمتر از ۲۰ درصد بین مقادیر رسوب مشاهده شده با برآورد شده بر اساس روش‌ها یا مدل‌های مختلف محاسبه نسبت تحویل (مقادیر بر حسب درصد)

بیشترین اختلاف نسبی	رنفرو (۱۹۷۵)	EPM (۱۹۸۸)	SWAT (۲۰۰۱)	روئل (۱۹۷۷)	مومنگ (۱۹۷۷)	مدل حوضه آبخیز
روش یا مدل ویلیامز (۱۹۷۷) ۹۷	۱۷/۳	۱۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۱	خمین
روش یا مدل ویلیامز (۱۹۷۷) ۹۳/۹	>۲۰	۱۲/۶	۶/۶	۶/۴	>۲۰	مزلقان

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل، می‌توان نتیجه گیری کرد که روش مو و منگ (۱۹۷۷) با اختلاف نسبی ۴/۱ درصد در حوضه آبخیز خمین با اقلیم خشک سرد تا نیمه خشک سرد و روش روئل (۱۹۷۷) با اختلاف نسبی ۶/۴ درصد در حوضه آبخیز مزلقان با اقلیم نیمه خشک سرد تا مرطوب سرد مناسب ترین روش‌های جهت محاسبه نسبت تحویل رسوب هستند. بنابراین توصیه می‌شود در حوضه آبخیز خمین و حوضه‌های آبخیز دارای اقلیم مشابه از روش مو و منگ و در حوضه آبخیز مزلقان و حوضه‌های آبخیز دارای اقلیم مشابه از روش روئل در جایگزینی با روش ارایه شده در مدل EPM جهت افزایش دقت آن استفاده شود. شایان ذکر است که نتایج حاصل از این تحقیق در تطبیق با یافته‌های تحقیقاتی قوهستانی (۱۳۸۸)، همیشگی (۱۳۸۵)، ابراهیمی (۱۳۸۵) و نورانی (۱۳۸۵) می‌باشد، که در آن‌ها بر لزوم ارزیابی مدل‌های برآورد نسبت تحویل رسوب (SDR) در آبخیزهای مختلف کشور، از دیدگاه‌ها و جنبه‌های مختلف از جمله شرایط اقلیمی تأکید شده است.

منابع

- ۱- ابراهیمی، زهرا (۱۳۸۵): ارزیابی و واسنجی چند مدل برآورد نسبت تحویل رسوب مطالعه موردی در حوضه آبخیز کورکورسر نوشهر، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی استاد دکتر علی سلاجقه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- ۲- احمدی، حسن (۱۳۷۸): ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱، چاپ سوّم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- صابر همیشگی، س.م (۱۳۸۵): ارزیابی چند مدل برآورد نسبت تحویل رسوب و انتخاب مناسب‌ترین مدل: مطالعه موردی در زیر آبخیز لوارک- لتیان، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی استاد دکتر جمال قدوسی، دانشکده کشاورزی تربیت مدرس.

- ۴- فیض نیا، سادات، (۱۳۷۴): مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم‌های مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، صص ۹۵ تا ۱۱۵.
- ۵- قدوسی، جمال، (۱۳۸۹): مدل‌های فرسایش و رسوب، جزوه درسی دوره کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- ۶- محمدی، عبدالحسین، (۱۳۸۲): بررسی تغییرات زمانی رسوب در حوزه آبخیز دریاچه نمک، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر سادات فیض نیا، دانشگاه تهران.
- ۷- مهدوی، محمد، (۱۳۷۸): هیدرولوژی کاربردی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۸- مهدوی، محمد، (۱۳۷۸): هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۹- مرکز تحقیقات منابع آب تماب، (۱۳۸۸): بانک اطلاعات منابع آب سطحی.
- ۱۰- مهندسین مشاور رویان (۱۳۷۶): مطالعات فاز توجیهی حوضه آبخیز شاقو، معاونت آبخیزداری سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی، (صص ۳۳-۵۵).
- ۱۱- نورانی، سیده نرگس خاتون (۱۳۸۵): ارزیابی چهار روش برآورد نرخ تولید رسوب (SDR) به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش، مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر جمال قدوسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

- 12- Arnold, J. G., Williams, JR., Srinivasan, R. and Wking (1996): The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) User Manual. Temple, Tx.
- 13- Ferro, V. and D. Stefano, (2002): Sediment Delivery Process and Spatial Distribution of Caesium-137 in Small Sicilian Basin-Hydro.Processes. Vol. 12. Pp. 701-711.
- 14- Maner, B. (1958): Factors Affecting Sediment Delivery Rates in The Red Hills Physiographic Area. Am. Geophys. Union Trans. Vol. 34. Pp. 669-675.
- 15- Prosser, L., Sivaplan M. and Moran, C. (2001): Modeling Sediment Delivery Ratio Based on Physical Principles. Center of Nestern Australia. 1200.
- 16- Renfro R. and Waldo P. (1975): Validations of Sediment Delivery Ratio Predictions Techniques. Research. P 95.
- 17- Rohel, J. H. (1962): Sediment Source Areas, Delivery Ratios and Influencing Morphological Fastors. Commission and Land Erosion. Assn. Int. Hydro. Sci. Pub. No.
- 18- SCS/USD (1972): Sediment Sources, Yields and Delivery Ratios. National Engineer Hand Book Section (3) Sedimentation.
- 19- Vanani, J. (1975): Soil Erosion Prediction. New York in Irk P. 210.
- 20- Williams, J, R. (1977): Sediment Delivery Ratios Determined With Sediment and Run off Models. In: Erosion and Solid Matter Transport in Ireland Waters. Iahs. Aishpub. No (12).Pp 168-179.
- 21- Williams, J. R. and H. D. Bernat. (1972): Sediment Yield Prediction Based on Watershed Hydrology. Trans, The ASAE. Pp. 1100-1104.