

ارزیابی فرسایش و رسوب‌دهی در حوزه آبخیز کرج با استفاده از مدل هیدروفیزیکی

اکرم میرزائی^۱، استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

ضیاءالدین شعاعی، استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

نادر جلالی، مربی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

علیرضا اسلامی، کارشناس ارشد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۰۲/۳۰

دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۰۹/۱۲

چکیده

در اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش در حوزه آبخیز کرج، به‌منظور جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه، لازم است ابتدا مناطق حساس به فرسایش در آن شناسایی و اولویت‌بندی شوند. با توجه به‌وجود سد کرج در این حوزه و مسئله کاهش عمر مفید آن، در این تحقیق از مدل هیدروفیزیکی برای به‌کارگیری عوامل اصلی فرسایش و نیز امکان برآورد نسبتاً دقیق وضعیت فرسایش و رسوب، بدون نیاز به بررسی‌های گسترده و زیاد میدانی استفاده شده است. مقایسه مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ورودی سد با مقدار رسوب برآورد شده از طریق این مدل، بیان‌گر دقت آن در تعیین پتانسیل رسوب‌دهی هر یک از زیرحوضه‌ها است. در بررسی نقش عوامل به‌کار گرفته شده در این مدل بر فرسایش و تولید رسوب، تجزیه و تحلیل عاملی به‌وسیله نرم‌افزار SPSS بر روی متغیرهای دخیل در مدل بر اساس معیار ریشه پنهان، ماتریس همبستگی و ماتریس دوران متعامد صورت گرفته که نشان می‌دهد متغیرهای مساحت و شیب حدود ۳۵/۵ درصد و متغیرهای فرسایش، بارندگی و پوشش گیاهی نیز به‌ترتیب ۲۷/۹، ۱۸ و ۱۰/۹ درصد از تغییرات رسوب را تخمین می‌زنند. در واقع مجموعه این عوامل، بیشینه ۹۲ درصد از تغییرات رسوب زیرحوضه‌ها را پوشش می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، پتانسیل رسوب‌دهی، حفاظت خاک، دقت برآورد، ماتریس همبستگی

مقدمه

منشاء رسوبات کواترنری و خاک‌های تشکیل شده بر روی سطح زمین، سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌های بالادست این نهشته‌ها است (شعاعی، ۱۳۸۰). به‌طوری که رسوبات بادزن آبرفتی کرج نیز حاصل فرسایش سازندهای زمین‌شناسی حوضه بالادست آن است که مطالعات رسوب‌شناسی نیز آن را تأیید میکند (مهدوی، ۱۳۷۸). این تخریب و فرسایش امری طبیعی است، اما تشدید آن در اثر کاربری‌های غیر اصولی می‌تواند موجب تلفات خاک و افزایش تولید رسوب شود که با توجه به‌وجود سد کرج در این حوضه منجر به کاهش عمر مفید آن شود. بنابراین، ضرورت دارد نقش عوامل مؤثر بر فرسایش سازندهای زمین‌شناسی این حوضه بررسی شود و با شناسایی حوضه‌های حساس به فرسایش اقدامات لازم برای مقابله با فرسایش صورت گیرد. دستیابی به اهداف ذکر شده با توجه به گسترده‌گی حوزه آبخیز کرج ضرورت استفاده از یک مدل تجربی مناسب را نشان می‌دهد که ضمن عملی بودن از دقت لازم نیز برخوردار باشد و در شرایط و مکان‌های مختلف مورد واسنجی قرار گرفته باشد.

جزایری و ماجدی (۱۳۶۰) گزارشی تحت عنوان مدل هیدروفیزیکی بررسی پتانسیل رسوب‌دهی بر اساس دانش و تجربیات خود و با استفاده از منابع خارجی در سمینار علوم زمین در سازمان زمین‌شناسی ارائه کردند. در این گزارش

^۱ mirzaie-akram@yahoo.com

به چگونگی استفاده از عوامل هیدروفیزیکی به منظور تعیین پتانسیل رسوبدهی زیرحوضه اشاره شده است. چند سال بعد این مدل با مشورت مهندسين مشاور مهتاب قدس در حوضه انتهای خاوری قزل اوزن مورد استفاده قرار گرفت. این منطقه به ۲۸ زیرحوضه تقسیم و در هر زیرحوضه به‌طور جداگانه ضریب رسوبدهی، درصد پتانسیل رسوبدهی و در نهایت نقشه پتانسیل رسوبدهی حوضه تهیه شد (جزایری، و ساجدی، ۱۳۶۸).

صمدی (۱۳۷۵) در استفاده از این مدل در حوزه آبخیز میان‌کوه نتیجه گرفت که روش هیدروفیزیکی برای برآورد رسوب مناسب است و برای تعیین شدت فرسایش، روش ژئومورفولوژی مناسب‌تر است. اعظمی‌راد (۱۳۷۷) با استفاده از این مدل درصد رسوبدهی حوزه آبخیز سد کارده را بر آورد نمود و نتیجه گرفت مقدار رسوب برآورد شده با این مدل نزدیک به مقدار محاسبه شده در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه کارده است. در تحقیق دیگر به‌وسیله رحمتی (۱۳۷۹) نتایج بررسی پتانسیل رسوبدهی حوضه‌های فرعی حوضه نوزیان با استفاده از این مدل، با نتایج حاصل از برآورد رسوبدهی و با استفاده از مدل پسیاک که قبلاً به‌وسیله سایر محققین انجام شده بود، هم‌خوانی قابل قبولی داشت.

هدف از این تحقیق، استفاده از روش تجربی هیدروفیزیکی برای اولویت‌بندی حوضه‌های فرعی، حوزه آبخیز کرج (تا ورودی سد کرج) از نظر حساسیت به فرسایش و تعیین درصد رسوبدهی آن‌ها با استفاده از عوامل مؤثر بر فرسایش و تولید رسوب است.

مواد و روش‌ها

اساس کار مدل هیدروفیزیکی مقایسه وضعیت هیدروفیزیکی حاکم در زیرحوضه‌های یک حوضه و ارتباط آن با پتانسیل رسوبدهی در این مناطق است. در این مدل ابتدا ضریب رسوبدهی (CSY^1) برای کلیه زیرحوضه‌ها با فرض یکسان بودن ضریب تأثیر کلیه عوامل مؤثر از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (احمدی، ۱۳۷۶).

$$CSY = A.R.E.V.P \quad (1)$$

که در آن، A عامل وسعت (کیلومتر مربع)، R عامل شیب (درصد)، E عامل قابلیت فرسایش بر اساس اعداد قابلیت فرسایش و مساحت تحت پوشش آن‌ها، V عامل پوشش گیاهی با توجه به درصد پوشش و مساحت تحت پوشش آن‌ها، و P عامل هیدرولوژیکی بر اساس متوسط بارندگی سالیانه حوضه است. با استفاده از ضریب رسوبدهی، درصد پتانسیل رسوبدهی هر حوضه فرعی نسبت به رسوبدهی کل حوزه آبخیز از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\%Sy_x = \frac{(CSY)}{(CSY)_{total}} \times 100 \quad (2)$$

برای به‌کارگیری مدل هیدروفیزیکی مراحل زیر انجام شده است (در تهیه نقشه‌ها و محاسبات مورد نیاز از امکانات GIS² به‌وسیله نرم‌افزار ILWIS³ استفاده شده است).

- محدوده حوضه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ گاجره، تجریش، ناحیه، آسارا، کرج و تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه تعیین شده است و بر اساس انشعاباتی که به رودخانه کرج منتهی می‌شود، به ۲۱ زیرحوضه تا ورودی سد کرج (ایستگاه سیرا) تقسیم شده است.
- برای ارزیابی و تعیین کمیت عوامل مؤثر در فرسایش، در چارچوب مدل هیدروفیزیکی به‌شرح زیر اقدام شده است.

¹ Coefficient of Sediment Yield

² Geographic Information Systems

³ Integrated Land and Water Information System

عامل وسعت: در حوزه‌های آبخیز وسیع، احتمال اختلال در حمل مواد رسوبی مانند به تله افتادن رسوب و ته‌نشینی رسوب، به‌مراتب بیش از امکان آن در حوزه‌های کوچک است و نیز احتمال پوشش کامل یک‌سان رگبار در سطح یک حوزه کوچک، به‌مراتب بیش از احتمال آن در یک حوزه وسیع است. لذا رابطه میان وسعت حوزه با رسوب‌دهی آن یک رابطه نسبی است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحقیقات انجام شده، جدول تجربی تعیین ضریب تناسب وسعت، برای استفاده در این گونه مطالعات پیشنهاد شده است (احمدی، ۱۳۷۶). در حوزه‌های وسیع مقدار S نزدیک به 0.6 و در حوزه‌های کوچک مقدار S نزدیک به یک است. با توجه به چگونگی تعیین ضریب تناسب وسعت، عامل وسعت برای کلیه زیرحوضه‌ها از طریق معادله زیر محاسبه شده است.

$$A = a^s \quad (3)$$

در منطقه مورد مطالعه نسبت زیرحوضه‌های شماره ۶، ۱۱ و ۱۸ به کوچک‌ترین زیرحوضه شماره ۲۱ تقریباً بیش از پنج است. لذا ضریب تناسب 0.9 برای حوزه‌های فرعی ۶، ۱۱ و ۱۸ و برای سایر زیرحوضه‌ها ضریب تناسب یک اعمال شده و عامل سطح تعیین شده است.

جدول ۱- جدول تجربی ضریب تناسب وسعت (S)

| ضریب تناسب وسعت | نسبت اختلاف وسعت حوزه‌های فرعی |
|-----------------|--------------------------------|
| ۱ | ۱ به ۵ |
| ۰.۹ | ۱ به ۲۰ |
| ۰.۸ | ۱ به ۵۰ |
| ۰.۷ | ۱ به ۱۰۰ |
| ۰.۶ | ۱ به بیش از ۱۰۰ |

عامل توپوگرافی (شیب): وضعیت توپوگرافی سطح زمین عامل بسیار مؤثری در رسوب‌دهی حوزه‌ها به‌شمار می‌رود. در این مدل برای تعیین عامل توپوگرافی (R) از رابطه زیر استفاده شده است.

$$R = H / L \quad (4)$$

که در آن، R نسبت پستی و بلندی یا شیب عمومی حوزه، H بیشینه اختلاف ارتفاع در یک حوزه و L بیشینه طول حوزه است.

در این مدل، عامل مؤثر توپوگرافی در رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز در حقیقت شیب عمومی حوزه است. برای محاسبه مقدار H ، اختلاف ارتفاع بین بلندترین نقطه در حوزه آبخیز و پایین‌ترین نقطه که معمولاً نقطه خروجی آب‌های سطحی حوزه است در نظر گرفته می‌شود. منظور از بیشینه طول حوزه آبخیز، طول‌ترین خط مستقیمی است که دو نقطه از محدوده حوزه آبخیز را به یک‌دیگر متصل می‌کند. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ذکر شده، استفاده از امکانات GIS، نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM^1) تهیه شد و عامل توپوگرافی با استفاده از رابطه فوق به‌دست آمد.

عامل فرسایش (E): با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران نقشه سنگ‌شناسی تهیه شده است. با توجه به جنس و ویژگی‌های طبیعی آن‌ها و با استفاده از روش فیض نیا (۱۳۷۴) برای هر واحد سنگ‌شناسی طبقه‌بندی فرسایشی از یک (سنگ‌های مقاوم) تا ده (سنگ‌های سست و ضعیف) تعلق گرفته و با استفاده از رابطه زیر مقدار عامل قابلیت فرسایش برای هر یک از حوزه‌های فرعی محاسبه شده است.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n en_i}{A} \quad (5)$$

¹ Digital Elevation Model

که در آن، E عامل قابلیت فرسایش، A مساحت هر یک از حوضه‌های فرعی بر حسب کیلومتر مربع، e کمیت قابلیت فرسایش مربوط به هر یک از واحدهای زمین‌شناسی و a مساحت تحت پوشش هر یک از واحدهای زمین‌شناسی (کیلومتر مربع) است.

عامل پوشش گیاهی: پوشش گیاهی عامل بسیار مؤثری در فرسایش حوزه آبخیز محسوب می‌شود. زیرا پوشش گسترده گیاهان، سطح زمین را در مقابل فرسایش محافظت می‌نماید و مانع جا به جایی رسوبات به وسیله آب‌های سطحی می‌شود. تأثیر پوشش گیاهی به پارامترهای متعددی مانند پراکنش، تراکم، نوع و فصل پوشش و نحوه توزیع گیاهان بستگی دارد. تحقیقات محققین مختلف در این زمینه کم و بیش نشان می‌دهد که موثرترین پارامتر پوشش گیاهی در رسوبدهی حوزه‌های آبخیز، پارامتر تراکم گیاهی بوده، در حقیقت پارامترهای دیگر در اغلب موارد تنها دارای اثرات جانبی هستند (جزایزی و ماجدی، ۱۳۶۰). در این روش برای محاسبه عامل پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI به‌عنوان بهترین شاخص از لحاظ همبستگی با پوشش گیاهی (Huete, ۱۹۸۸) و بر اساس تقسیم‌بندی Gomes (۱۹۹۵) نقشه پوشش گیاهی تهیه و در هفت طبقه از پنج تا ۵۰ درصد تراکم، طبقه‌بندی شده است.

پس از تعیین مساحت تحت پوشش هر یک از آن‌ها، میانگین پوشش گیاهی هر زیرحوضه محاسبه شده است. با در نظر گرفتن این‌که پوشش گیاهی دارای اثر معکوس در رسوبدهی حوضه‌ها است، عامل پوشش گیاهی با استفاده از رابطه زیر برای هر زیرحوضه به دست آمده است.

$$V = A \frac{1}{\sum_{n=1}^n V_n n a_n} \quad (6)$$

که در آن، V عامل پوشش گیاهی، A وسعت حوضه‌های فرعی (کیلومتر مربع)، V_n درصد تراکم پوشش گیاهی به دست آمده از تصویر ماهواره‌ای و a_n وسعت مناطق با درصد مختلف تراکم پوشش گیاهی است.

عامل هیدرولوژیکی: مهم‌ترین عامل هیدرولوژیکی مؤثر در رسوبدهی حوزه‌های آبخیز نزولات جوی و جریان‌های سطحی است. در این مدل برای تعیین کمیت مؤثر عامل نزولات جوی صرفاً میانگین بارندگی سالیانه در نظر گرفته شده است. تحقیقات مختلف نشان داده که در یک دوره طولانی مانند یک دوره یک‌ساله قسمت اعظم تأثیر نزولات جوی در تولید و حمل رسوبات مربوط به مقدار نزولات بوده، پارامترهای دیگر، تنها می‌توانند به‌طور عملی و در کوتاه مدت، دارای اثرات احتمالی محسوس باشند (جزایزی و ماجدی، ۱۳۶۰).

تأثیر جریان‌های سطحی در رسوبدهی حوزه‌های آبخیز به دو پارامتر شدت جریان و دبی بستگی دارد. این دو پارامتر نیز خود به دو عامل نزولات جوی و وضعیت فیزیکی حوزه آبخیز متکی است. با توجه به اینکه نزولات جوی و وضعیت فیزیکی حوزه جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و کمیت مؤثر آن‌ها در مدل منظور شده، لذا احتساب مجدد تأثیر جریان‌های سطحی در تعیین رسوبدهی مناطق مختلف حوضه، لزومی نداشته، در نتیجه عامل هیدرولوژیکی مورد استفاده در این مدل، تنها به میانگین بارش سالیانه محدود شده است. به این ترتیب، با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های قلعه حسن‌خان (قدس)، علی‌شاه‌عوض (شهریار)، کرج، سرخاب، کندوان نقشه طبقات بارندگی تهیه شده، بر اساس این نقشه، میانگین بارش سالیانه حوضه‌های فرعی به دست آمده است. با استفاده از عوامل ذکر شده، رابطه (۱) و (۲) ضریب رسوبدهی (CSY) و درصد رسوبدهی ($/SY_x$) هر یک از زیرحوضه‌ها تا ورودی سد کرج محاسبه شده است.

اگر رسوبدهی حوضه اصلی یا کمینه رسوبدهی یکی از زیرحوضه‌ها از طریق اندازه‌گیری مستقیم در اختیار باشد، با استفاده از درصد رسوبدهی ($/SY$) می‌توان رسوبدهی هر یک از زیرحوضه‌ها را بر آورد کرد. با مقایسه میزان رسوب اندازه‌گیری شده با میزان رسوب محاسبه شده از طریق مدل مذکور، می‌توان دقت این مدل را در برآورد پتانسیل رسوبدهی بررسی نمود. با توجه به این‌که بار معلق، قسمت عمده بار کل رسوب را تشکیل می‌دهد (Walling, ۱۹۹۴)، بر اساس دبی‌های رسوب لحظه‌ای و دبی جریان لحظه‌ای اندازه‌گیری شده از ایستگاه‌های

هیدرومتری و رسوب‌سنجی واقع در ایستگاه سیرا به وسیله سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) طی سال‌های ۱۳۴۲ تا ۱۳۷۲ مقدار رسوب معلق، با استفاده از روش منحنی سنج رسوب حدواسط دسته‌ها (حکیم‌خانی، ۱۳۷۷) محاسبه شده است. با احتساب ۲۰ درصد بار معلق به‌عنوان بار بستر، مقدار کل بار رسوبی حوزه آبخیز کرج (میرزایی، ۱۳۸۱) تا ورودی سد کرج، طی یک دوره سی‌ساله و میانگین سالیانه آن به‌دست آمده است.

برای بررسی نقش عوامل به‌کار گرفته شده در این مدل بر تولید رسوب و تعیین مؤثرترین متغیرها به‌عنوان متغیرهای مستقل، بر روی عوامل توپوگرافیک شیب (R) و مساحت (A)، عامل پوشش گیاهی (V)، قابلیت فرسایش (E) و عامل بارندگی (P) به‌روش آزمون تجزیه و تحلیل عاملی^۱ با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده است. در این آزمون با توجه به شاخص KMO^2 که شاخصی برای مقایسه ضرایب همبستگی ساده و جزئی بر روی کلیه متغیرهاست و نیز مقادیر ریشه پنهان^۳ و ماتریس دوران متعامد^۴، عوامل مؤثر مستقل انتخاب شده‌اند. پس از تعیین عوامل مستقل، رابطه رگرسیونی چندگانه^۵ آن‌ها با متغیر وابسته رسوب ویژه، به‌روش ورد^۶ استخراج شده است.

نتایج و بحث

با محاسبه عوامل مؤثر در مدل هیدروفیزیکی و ضریب رسوب‌دهی (CSY)، درصد رسوب‌دهی ($\%SY_x$) هر یک از حوضه‌های فرعی تا ورودی سد کرج به‌دست آمده است (جدول ۲).

جدول ۲- محاسبه درصد رسوب‌دهی و مقدار رسوب ویژه در هر یک از زیرحوضه‌های بالادست سد کرج (ایستگاه سیرا)

| ردیف | عامل وسعت A (km^2) | عامل توپوگرافی R | عامل بارندگی P (mm) | عامل تراکم پوشش گیاهی V (%) | عامل قابلیت فرسایش E | درصد رسوب‌دهی sy (%) | مقدار رسوب محاسبه شده t | رسوب ویژه $(t/km^2/y)$ |
|------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| ۱ | ۴۷/۳۳ | ۰/۱۹۲ | ۷۷۶ | ۰/۱۲۰ | ۵/۰۱ | ۹/۸۹ | ۶۴۳۹۳/۹۷ | ۱۳۶۰/۵۳ |
| ۲ | ۲۶/۴۹ | ۰/۱۶۶ | ۷۳۰ | ۰/۰۸۳ | ۳/۱۷ | ۱/۹۷ | ۱۲۸۲۶/۷ | ۴۸۴/۲ |
| ۳ | ۲۷/۵۱ | ۰/۱۷۲ | ۸۱۲ | ۰/۰۹۷ | ۳/۳۶ | ۲/۹۲ | ۱۹۰۱۳/۱۷ | ۶۹۰/۱۰ |
| ۴ | ۱۷/۳۶ | ۰/۱۸۲ | ۶۶۲ | ۰/۱۳۸ | ۴/۳۷ | ۲/۹۴ | ۱۹۱۴۲/۳۹ | ۱۱۰۲/۶۷ |
| ۵ | ۴۶/۳۵ | ۰/۱۴۷ | ۷۰۳ | ۰/۱۴۹ | ۴ | ۷/۱۶ | ۴۶۶۱۸/۸۹ | ۱۰۰۵/۸۰ |
| ۶ | ۸۵/۴۰ | ۰/۱۲۶ | ۷۱۶ | ۰/۱۳۶ | ۴/۶۳ | ۱۱/۳۲ | ۷۳۷۰۴/۷۳ | ۸۶۲/۴۴ |
| ۷ | ۱۶/۶۳ | ۰/۱۸۸ | ۶۹۵ | ۰/۱۰۳ | ۳/۸۲ | ۱/۹۹ | ۱۲۹۵۶/۹۲ | ۷۷۹/۱۲ |
| ۸ | ۱۲/۹ | ۰/۲۴۱ | ۷۹۵ | ۰/۰۹۳ | ۴/۸۴ | ۲/۵۹ | ۱۶۸۶۳/۵۳ | ۱۳۰۷/۲۵ |
| ۹ | ۴۲/۳۲ | ۰/۱۲۳ | ۶۲۹ | ۰/۲۳۵ | ۳/۴۳ | ۶/۱۵ | ۴۰۰۴۲/۷۶ | ۹۴۶/۱۹ |
| ۱۰ | ۱۷/۸۴ | ۰/۱۲۶ | ۱۰۰۲ | ۰/۳۷۷ | ۳/۵۴ | ۷/۰۱ | ۴۵۶۴۲/۳۴ | ۲۵۵۸/۴۲ |
| ۱۱ | ۶۹/۵۴ | ۰/۰۹۷ | ۹۳۸ | ۰/۱۵۷ | ۳/۴۴ | ۷/۹۷ | ۵۱۸۹۲/۸۲ | ۷۴۶/۲۲ |
| ۱۲ | ۲۰/۴۶ | ۰/۲ | ۹۱۴ | ۰/۱۹ | ۲/۳۳ | ۳/۸۶ | ۲۵۱۳۳/۵۳ | ۱۲۲۸/۳۷ |
| ۱۳ | ۱۸/۴ | ۰/۲۵۳ | ۷۵۱ | ۰/۱۴۱ | ۳/۵۹ | ۴/۱۲ | ۲۶۸۲۵/۳۹ | ۱۴۵۷/۹۰ |
| ۱۴ | ۳۶/۴۵ | ۰/۲۳۳ | ۷۳۶ | ۰/۱۶۸ | ۳/۰۷ | ۷/۵۲ | ۴۸۹۶۲/۸۶ | ۱۳۴۳/۲۸ |
| ۱۵ | ۴۱/۹۲ | ۰/۱۸۸ | ۶۲۸ | ۰/۲۰۲ | ۲/۹۸ | ۶/۹۵ | ۴۵۲۵۱/۵۸ | ۱۰۷۹/۴۷ |
| ۱۶ | ۲۶/۲۷ | ۰/۱۸۸ | ۷۰۲ | ۰/۱۰۳ | ۴/۰۳ | ۳/۳۵ | ۲۱۸۱۱/۹ | ۸۳۰/۲۹ |
| ۱۷ | ۲۵/۷۷ | ۰/۱۴۱ | ۶۶۸ | ۰/۱۶۸ | ۲/۰۶ | ۱/۹۶ | ۱۲۷۶۱/۵۹ | ۴۹۵/۲۱ |
| ۱۸ | ۵۴/۸۶ | ۰/۱۳۲ | ۷۵۸ | ۰/۰۷۷ | ۳/۴۸ | ۳/۴۳ | ۲۲۳۳۲/۷۹ | ۴۰۷/۸ |
| ۱۹ | ۳۱/۲۳ | ۰/۱۶۲ | ۸۰۵ | ۰/۰۷۳ | ۳/۲۶ | ۲/۲۶ | ۱۴۷۱۴/۹۰ | ۴۷۱/۱۷ |
| ۲۰ | ۳۲/۸۶ | ۰/۱۷۴ | ۷۵۲ | ۰/۰۹۲ | ۲/۶۵ | ۲/۴۴ | ۱۵۸۸۶/۸۸ | ۴۸۳/۴۷ |
| ۲۱ | ۱۶/۵۰ | ۰/۱۶۵ | ۷۱۱ | ۰/۱۰۰ | ۴/۶۶ | ۲/۱ | ۱۳۶۷۳/۱۴ | ۸۲۸/۶۷ |

¹ Factor analysis

² Kaiser Meyer-Olkin Measure

³ Eigen value

⁴ Rotated component matrix

⁵ Multiple regression

⁶ Word method

با استفاده از روش منحنی سنج رسوب حد واسط دسته‌ها، مقدار رسوب معلق $۱۶۲۷۷۵۴۷/۹۱$ تن محاسبه شده که با احتساب ۲۰ درصد آن به‌عنوان بار بستر، مقدار کل بار رسوبی حوزه آبخیز کرج تا ورودی سد، طی یک دوره سی‌ساله $۱۹۵۳۳۰۵۷/۴۹$ تن و میانگین سالیانه آن $۶۵۱۱۰۱/۹۱$ تن بوده است. این مقدار رسوب از ۲۱ زیرحوضه واقع در بالای سد کرج حاصل شده است. به‌طور متوسط با توجه به مساحت زیرحوضه‌های فوق که $۷۱۴/۴۶$ کیلومتر مربع است، میزان رسوب تولید شده در هر کیلومتر مربع $۹۱۱/۳۲$ تن در سال است. مقدار رسوب‌دهی محاسبه شده با استفاده از مدل هیدروفیزیکی در حوضه‌های فوق $۶۵۰۴۵۰/۶۸$ تن در سال و میانگین رسوب سالیانه آن‌ها $۹۱۰/۴۰$ تن در کیلومتر مربع است.

تجزیه و تحلیل عاملی بر روی متغیرهای پنج‌گانه دخیل در مدل هیدروفیزیکی، بر اساس معیار ریشه پنهان، ماتریس همبستگی و ماتریس دوران متعامد، نشان‌داد که متغیرهای مساحت و شیب که در واقع بیان‌گر ویژگی هندسی و توپوگرافی زیرحوضه‌ها هستند، به‌عنوان یک عامل در تولید رسوب نقش دارند (جدول ۳). با توجه به همبستگی بین این دو متغیر، انتخاب یکی از این دو در تبیین تولید رسوب کفایت می‌کند. این متغیرها در واقع حدود $۳۵/۵$ درصد از تغییرات رسوب را نشان می‌دهند (جدول ۴). متغیرهای قابلیت فرسایش، بارندگی و پوشش گیاهی نیز به‌عنوان دیگر عوامل مستقل، هر یک به‌ترتیب $۲۷/۹$ ، ۱۸ و $۱۰/۹$ درصد از تغییرات متغیر وابسته رسوب را تخمین می‌زنند. در واقع مجموعه این عوامل بیشینه، تا ۹۲ درصد از تغییرات رسوب زیرحوضه‌ها را پوشش می‌دهند.

جدول ۳- ماتریس وزنی عاملی دوران یافته بر روی متغیرهای پنج‌گانه زیرحوضه‌ها

| اجزای وزنی عاملی دوران یافته بر روی متغیرهای پنج‌گانه زیرحوضه‌ها | | | | متغیرهای پنج‌گانه |
|--|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | |
| $-۰/۱۳۱$ | $-۲/۵۴ \times ۱۰^{-۲}$ | $۰/۹۸۵$ | $۱/۲۳ \times ۱۰^{-۲}$ | قابلیت فرسایش (E) |
| $۰/۹۶۲$ | $۰/۲۰۲$ | $-۰/۱۴۱$ | $۹/۳۳ \times ۱۰^{-۲}$ | پوشش گیاهی (V) |
| $۰/۱۹۲$ | $۰/۹۷۹$ | $-۳/۵۷ \times ۱۰^{-۲}$ | $۳/۰۹ \times ۱۰^{-۲}$ | بارندگی (P) |
| $-۴/۳۱ \times ۱۰^{-۲}$ | $-۵/۵۴ \times ۱۰^{-۲}$ | $۰/۱۴۲$ | $۰/۸۹۷$ | مساحت (A) |
| $-۰/۱۸۲$ | $-۰/۱۱$ | $۰/۱۳۸$ | $-۰/۸۶۳$ | توپوگرافی (شیب) (R) |

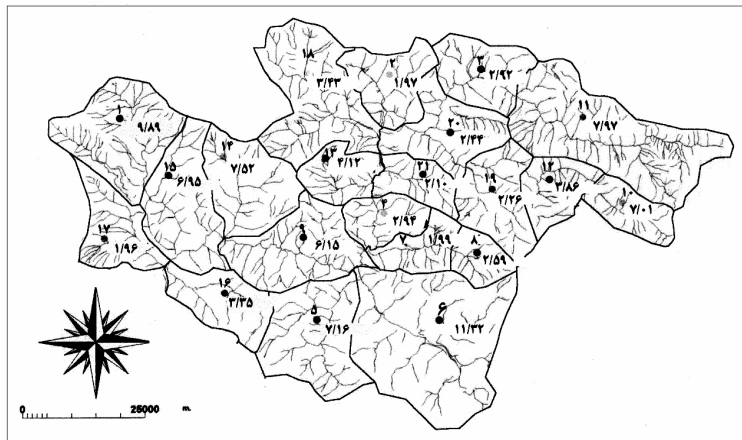
جدول ۴- مقادیر ریشه پنهان ماتریس و درصد واریانس عوامل

| عامل | ریشه پنهان ماتریس همبستگی | درصد واریانس | درصد تجمعی واریانس |
|------|---------------------------|--------------|--------------------|
| ۱ | $۱/۷۷$ | $۳۵/۴۸$ | $۳۵/۴۸$ |
| ۲ | $۱/۳۹$ | $۲۷/۹۱$ | $۶۳/۳۹$ |
| ۳ | $۰/۹۰۰$ | $۱۸/۰۰$ | $۸۱/۴$ |
| ۴ | $۰/۵۴۸$ | $۱۰/۹۶$ | $۹۲/۳۶$ |

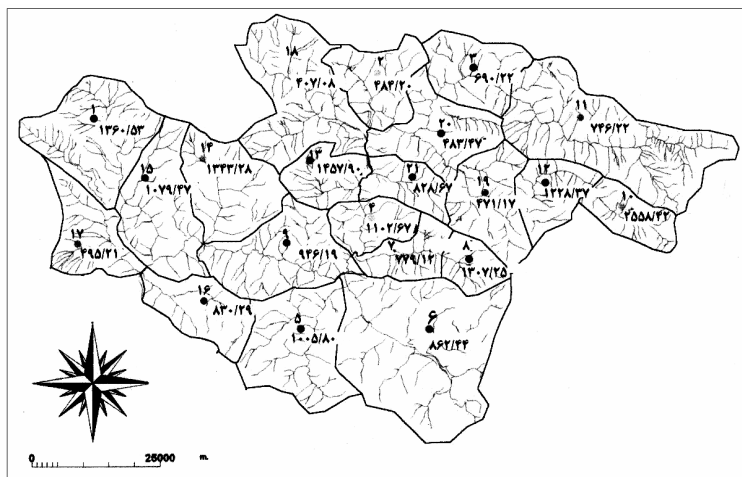
نتیجه تحلیل رگرسیونی و بررسی همبستگی عوامل مستقل با رسوب ویژه، با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره نشان‌داد که عامل‌های قابلیت فرسایش، پوشش گیاهی، توپوگرافی (شیب) و در نهایت عامل بارندگی در سطح معنی‌داری کم‌تر از یک درصد، با متغیر وابسته رسوب ویژه همبستگی بالایی دارند. به‌عبارتی در طی مراحل ورود متغیرها و میزان تأثیر هر یک از آن‌ها در تبیین تغییرات رسوب ویژه، عامل مساحت زیرحوضه‌ها رابطه معنی‌داری با رسوب ویژه نداشته، در این میان عامل توپوگرافی (شیب) نقش مؤثرتری ایفا نموده است.

مقایسه مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ورودی سد کرج ($۶۵۱۱۰۱/۹۱$ تن در سال) با مقدار رسوب محاسبه شده با استفاده از مدل هیدروفیزیکی ($۶۵۰۴۵۰/۶۸$ تن در سال) بیان‌گر دقت بالای این مدل در برآورد پتانسیل رسوب‌دهی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز کرج است. زیرا مقدار رسوب واقعی اندازه‌گیری شده در ورودی سد کرج $۶۵۱/۲۳$ تن در

سال، از میزان رسوب برآورده شده به وسیله مدل هیدروفیزیکی بیش تر است که با توجه به وسعت حوزه آبخیز کرج، این مقدار چشم گیر نیست. تحلیل آماری فوق نشان می دهد که عوامل به کار گرفته شده از عوامل اصلی فرسایش و تولید رسوب است و در مدل به درستی انتخاب شده اند.



شکل ۱- نقشه مقدار درصد رسوبدهی در هر یک از زیر حوزه های بالای سد کرج (ایستگاه سیرا)



شکل ۲- نقشه مقدار رسوب ویژه در هر یک از زیر حوزه های بالای سد کرج (ایستگاه سیرا)

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ح. ۱۳۷۶. ژئومورفولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران.
۲. اعظمی راد، م. ۱۳۷۷. بررسی پتانسیل رسوبدهی در حوزه آبخیز سد کارده با استفاده از روش هیدروفیزیکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
۳. جزایری، ب. و م. ماجدی. ۱۳۶۰. بررسی پتانسیل رسوبدهی مناطق مختلف حوزه آبریز با استفاده از یک مدل هیدروفیزیکی. گزارش ارائه شده به سمینار علوم زمین سازمان زمین شناسی کشور.
۴. جزایری، ب. و م. ساجدی. ۱۳۶۸. بررسی پتانسیل رسوبدهی در مناطق مختلف حوزه آبریز قسمت انتهایی خاوری رودخانه قزل اوزن. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۱، گروه جغرافیایی بنیاد پژوهش های اسلامی آستان قدس رضوی.
۵. حکیم خانی، ش. ۱۳۷۷. ارائه مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس عوامل مؤثر بر رسوبدهی معلق حوزه های آبخیز دریاچه ارومیه. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیز داری، دانشکده منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران.
۶. رحمتی، ع. ۱۳۷۹. بررسی پتانسیل رسوبدهی در حوزه های فرعی رودخانه سرخاب کشور (حوزه نوزیان) آبخیز دز با استفاده از مدل هیدروفیزیکی. مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش و رسوب دانشگاه لرستان، خرم آباد.
۷. شعاعی، ض. ۱۳۸۰. ارزیابی هوازدگی، خصوصیات ژئوتکنیکی و برآورد حساسیت فرسایش پذیری خاک ها و سنگ ها با استفاده از تعیین نسب کانی های معرف. پژوهش و سازندگی شماره ۵۳، صفحه ۷۸-۷۴.

۸. صمدی، م. ۱۳۷۵. بررسی فرسایش و رسوب با روش هیدروفیزیکی و روش ژئومورفولوژی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیز داری، دانشکده منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران.
۹. فیض نیا، س. ۱۳۷۴. مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران. مجله منابع طبیعی ایران شماره ۴۷، صفحه ۴۵-۵۷.
۱۰. میرزایی، ا. ۱۳۸۱. رسوب شناسی، محیط رسوبی و رسوبزایی رسوبات کواترنری حوزه آبریز کرج. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
۱۱. مهدوی، م. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم). انتشارات دانشگاه تهران.
12. Gomes , F.P. 1995. Erosion in estabilidad en la cuenca de (Rio patana al pujarra alta almeria). Instituto de estabios almeriense. P74.
13. Huete , A.R. 1988. A soil adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 295-309.
14. Walling, D.E. 1994. Measuring sediment from river basins. In: R. Lal (ed). Soil Erosion Research Methods. Soil Conservation Society, PP.39-83.

Evaluation of sediment yield in Karaj basin by Hydro-physical model

Akram Mirzaei¹, Assistant Professor, Department of Geology, Sciences and Researched Unit, Islamic Azad University, Iran

Ziaoddin Shoaei, Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Nader Jalali, Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Alireza Eslami, Scientific Board, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 02 December 2010

Accepted: 19 May 2009

Abstract

In this research, Hydro-physical model was used for estimating of potential sediment yield in sub- basin of Karaj watershed. In this model limited field survey is required and five main factors as vegetation cover, rainfall, erosion ability, topography and area were used. The results of comparison made between the observed sediment yields in the gauged station of Siera with the estimation made by the model were highly correlated. Factor analysis by SPSS software was used for determining the role of those factors on erosion and sediment yield. The results showed those factors covered about 92% of sediment changing in sub-basins.

Key words: Hydro-physical model, Preference, Sediment yield potential, Estimation accuracy, Correlation matrix

¹ mirzaie-akram@yahoo.com