

ارزیابی کارایی روش MPSIAC در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی و هیدروگرافی برای محاسبه

حجم آورد رسوبی سد مسجدسلیمان

فاطمه ذاکری حسینی

دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

خلیل رضایی

استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران

محمود شفاعی بجنستان

استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۳۰

khalil.rezaei@yahoo.com

چکیده

فرسایش و هدر رفت خاک یکی از عوامل اصلی در آلودگی محیط زیست، کاهش حاصلخیزی خاک، رسوب مواد در آبراهه‌ها، کانال‌های آبیاری و رودخانه‌ها، کاهش ظرفیت مخازن سدها و کاهش عمر آن‌ها، وقوع سیل و مسدود شدن راه‌ها می‌باشد. روش‌های متعددی برای برآورد فرسایش و رسوب در کشورهای مختلف ارائه شده است که هر کدام از آن‌ها تعدادی از فاکتورها و عوامل مؤثر در این پدیده را در نظر می‌گیرد. این مطالعه به ارزیابی عملکرد روش‌های هیدرولوژیکی مانند USBR، FAO، روش ژئومورفولوژی مبتنی بر مدل MPSIAC در محیط GIS و مقایسه نتایج آن‌ها با نتایج هیدروگرافی سد به عنوان یک روش مشاهداتی پرداخته است. بر اساس نتایج حاصل از مدل میزان رسوبدهی حوضه مشرف به سد مسجدسلیمان با روش‌های فوق محاسبه و نتایج نشان داد که با توجه به نزدیکی برآورد مدل MPSIAC به نتایج هیدروگرافی سد این روش از دقت قابل قبولی در مقایسه با سایر روش‌ها در محاسبه آورد رسوبی برخوردار می‌باشد. لذا می‌توان از این روش به عنوان جایگزینی با دقت قابل قبول در زمان‌هایی که به سرعت در محاسبه آورد رسوبی نیاز است یا برای زیر حوضه‌های فاقد آمار رسوب و همچنین با توجه به هزینه‌های بالای هیدروگرافی در سدها استفاده نمود.

کلمات کلیدی: آورد رسوبی، روش‌های هیدرولوژیکی، سد مسجدسلیمان، GIS، MPSIAC

مقدمه

های مربوط به بهره‌برداری از منابع آب و خاک، عدم وجود آمار به ویژه در حوضه‌های کوچک است به طوری که در مدیریت حوضه‌های آبخیز و تدوین برنامه‌های حفاظتی کارشناسان و بهره‌برداران آن را با مشکل مواجه می‌سازد. جهت تخمین و برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه‌های فاقد آمار روابط تجربی ابداع شده است. یکی از این روابط مدل MPSIAC می‌باشد که در بسیاری از حوضه‌های آبخیز کشور کارایی دارد. این مدل در ایران برای نقاط مختلف توسط (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۰) بکار گرفته شده است. با در نظر گرفتن این هدف، تمامی مراحل بکارگیری مدل مذکور به کمک GIS انجام شده است (Solaimani et al., 2009; Tangestani, 2006). هدف اصلی از این مطالعه این است که در ابتدا فاکتورهای قابل استفاده در مدل اصلاح‌شده پسیاک استخراج شده و سپس با استفاده از GIS و تهیه نقشه پهنه‌بندی فرسایش به برآورد توان رسوب‌زایی منطقه مورد مطالعه پرداخته شود. سپس حجم آورد رسوبی با استفاده از منحنی سنج به روش‌های USBR و FAO و حد وسط دسته‌ها محاسبه گردد، در نهایت حجم رسوب حاصل از این روش‌ها با نتایج آخرین هیدروگرافی مخزن سد به

فرسایش و حمل رسوبات در حوضه‌های رسوبی و رسوب‌گذاری در مخازن سدها باعث کوتاه شدن عمر مفید سدها می‌شود و بنابراین مطالعه فرآیندهای مؤثر در آن اهمیت دارد (Grams and Schmidt, 2005). از سویی سالانه حجم بسیار زیادی از رسوبات به حالت‌های مختلف از بالادست حوضه‌ها حرکت کرده و از حوضه خارج می‌گردد و باعث می‌شود خسارات بسیار زیادی به طبیعت و انسان‌ها وارد گردد. این رسوبات می‌توانند از منشأهای مختلف باشند (Renschler and harbor, 2002). در مطالعات حوضه‌های رسوبی و بخصوص تولید و حمل رسوبات و با توجه به حجم بالای داده‌های مورد بررسی، به ابزاری نیاز است که بتواند کلیه مراحل اجرای مدل‌ها آسان‌تر، دقیق‌تر و سریع‌تر صورت گیرد. میزان فرسایش سازندهای زمین‌شناسی و حمل رسوبات توسط عوامل حمل و نقل به حوضه‌های رسوبی، یکی از پارامترهای تعیین کننده ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و اختصاات تجمع و جابجایی مجدد توده‌های رسوبی است (Vente and Poesen, 2005; Brown et al. 2009; Sui et al., 2009). یکی از مشکلات اساسی برای تخمین میزان فرسایش و رسوب به منظور برنامه‌ریزی

استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، داده‌های ماهواره‌ای و برداشت‌های زمینی تهیه گردید، سپس با استفاده از آمار و گردآوری اطلاعات، لایه‌های مورد نظر ترسیم و در مدل مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای Landsat oli8 استفاده گردید، نوع داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده Geotif می‌باشد و نوع فایل‌های مورد استفاده Geo data base می‌باشند که با روش Weight Over Laye محاسبات نرم‌افزاری صورت گرفت. این لایه‌ها به ترتیب در بخش بحث و نتایج ارائه و نتایج در همان بخش ذکر شده است.

این مدل دارای ۹ عامل می‌باشد که محاسبه هرکدام از آن‌ها بر اساس فرمول‌های مندرج در (جدول ۱) می‌باشند و نحوه محاسبه و اجرای آن در نرم‌افزار در ذیل بیان شده است.

عامل زمین‌شناسی (y_1)

به لحاظ ساختاری منطقه مورد مطالعه در زاگرس چین‌خورده واقع شده بنابراین ساختارهای زمین‌شناسی آن نیز از این زون تبعیت می‌کند. مهمترین عارضه ساختاری موجود در منطقه تاقدیس آسماری است، این چین‌خوردگی سازند آسماری و توالی زیرسطحی آن در منطقه آسماری تاقدیس نامتقارن و مایل را بوجود آورده است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۵). از نظر سنگ‌شناسی سازند آسماری با سن الیگومیوسن، در مقاطع زیر سطحی مورد مطالعه عمدتاً شامل آهک و دولومیت با میان لایه‌های نازک مارنی و انیدریت بوده که به طور هم‌شیب در بین رسوبات سازند پابده در زیر و نهشته‌های تبخیری سازند گچساران در بالا قرار گرفته است (دهقان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). به طور کلی بر اساس بررسی‌های انجام‌شده سازندهای قابل‌رؤیت در محدوده مورد مطالعه، به ترتیب از قدیم به جدید شامل: سازند پابده، سازند آهکی آسماری (الیگو میوسن)، سازند گچی و مارنی گچساران (میوسن)، سازند آهکی- مارنی میشان (میوسن)، سازند ماسه‌سنگی- مارنی آغاچاری به همراه بخش لهربری (میوسن پلیوسن)، سازند کنگلومرایی بختیاری (پلیوسن) و نهشته‌های آبرفتی- کواترن می‌باشند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۵). مساحت سازندهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه بر حسب هکتار و در صد سازندها در (جدول ۱) نشان داده شده است.

برای محاسبه این فاکتور پس از جداسازی نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲، الف) با توجه به امتیازات تعریف شده بر اساس سنگ‌شناسی هر کدام از سازندهای زمین‌شناسی و بازدید صحرائی مطابق جدول (۲) در محیط GIS از امتیاز ۱ برای سست‌ترین سازند تا امتیاز ۱۰ برای سخت‌ترین آن‌ها داده شد (شکل ۲، ب) (Shrestha, 2002).

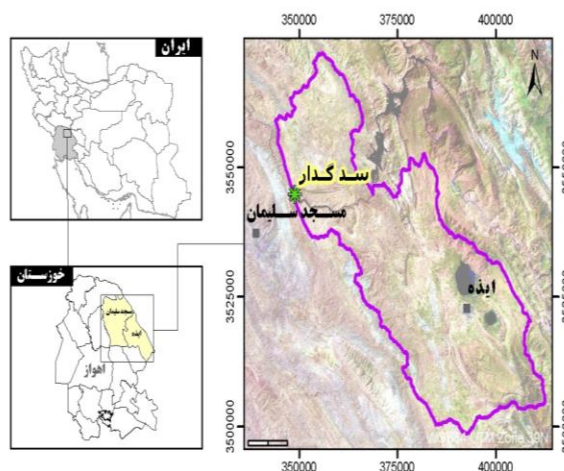
عامل خاک‌شناسی (y_2)

در روش MPSIAC برای تعیین عامل خاک از رابطه (جدول ۲) استفاده می‌شود. در این رابطه K عامل فرسایش‌پذیری خاک در فرمول جهانی فرسایش می‌باشد که در این تحقیق بر اساس درصد رس، سیلت، ماسه، مواد آلی موجود در ساختمان خاک تعیین و با قرارگیری در فرمول (۱) نشان داده شده در جدول (۲) در محیط GIS برای تمام منطقه محاسبه گردید (شکل ۳).

عنوان دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری آورد رسوبی مقایسه گردید. منطقه مورد مطالعه در شمال استان خوزستان قرار دارد که دربرگیرنده حوضه آبخیز مشرف به سد مسجده سلیمان می‌باشد. این حوضه بین طول‌های جغرافیایی 30° و 26° تا 49° تا 48° و 44° و 49° عرض‌های جغرافیایی 33° و 1° تا 17° و 21° واقع می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی سد مسجده سلیمان (گذار لندر) که به عنوان خروجی حوضه در نظر گرفته شده است در استان خوزستان و در 160 کیلومتری شمال شرق اهواز و در $25/5$ کیلومتری شمال شرقی شهر مسجده سلیمان بر روی رودخانه کارون در 26 کیلومتری پایین دست سد شهید عباسپور (کارون ۱) احداث شده است. (شکل ۱) موقعیت حوضه مورد مطالعه را در استان خوزستان و ایران نشان می‌دهد. مساحت حوضه آبریز مسجده سلیمان 195094 هکتار می‌باشد. منشأ رسوبات ورودی به مخزن سد از رودخانه شور، رودخانه مرغاب، سد کارون ۱ و شاخه‌های کوچک فرعی در میان حوضه بین سد مسجده سلیمان و سد عباسپور می‌باشد. این سد در رشته‌کوه‌های زاگرس با متوسط ارتفاع 625 متر واقع شده است. انحراف معیار مدل ارتفاعی منطقه برابر 531 می‌باشد که نشان دهنده پستی و بلندی بسیار زیاد ارتفاعی محدوده ساختگاه سد می‌باشد و پارامتر ارتفاعی در جهت شمال شرقی، افزایش می‌یابد. متوسط درجه حرارت در سال محدوده ساختگاه سد، در حدود $25/5$ درجه سانتی‌گراد، مرطوب‌ترین ماه‌های سال، آذر و دی و خشک‌ترین ماه‌ها خرداد، تیر و مرداد می‌باشند. زمان تمرکز برای سد مسجده سلیمان 10 ساعت می‌باشد.

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سد مسجده سلیمان (سدگذار لندر)



روش کار

در این مطالعه از مدل تجربی MPSIAC در محیط GIS استفاده شد. همچنین از روش‌های هیدرولوژیکی FAO, USBR, و میانگین دسته‌ها برای محاسبه میزان آورد رسوب استفاده شد و در نهایت نتایج با مقادیر بدست آمده از هیدروگرافی سدها به عنوان دقیق‌ترین روش محاسبه حجم رسوب مقایسه گردید. در ابتدا برای محاسبه لایه‌های مورد نیاز مدل با

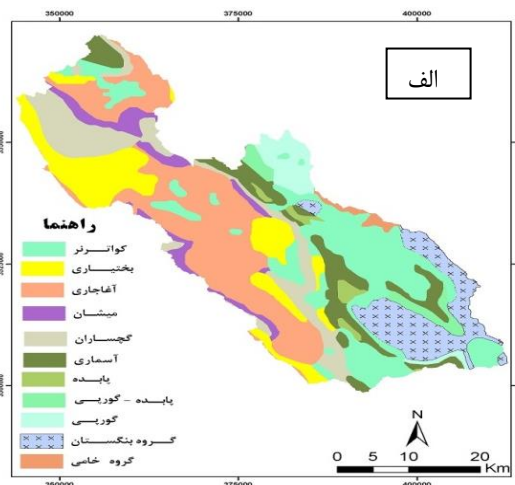
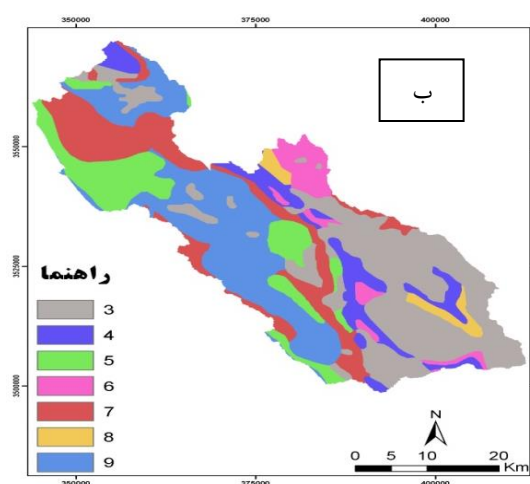
جدول ۱. عوامل مؤثر بر فرسایش و روش محاسبه نتایج در مدل MPSIAC (رفاهی، ۱۳۸۷)

ردیف	تشریح شاخص عوامل	رابطه	عوامل
۱	زمین شناسی سطحی	$Y_1=X_1$	$X_1 =$ حساسیت سنگ‌ها به فرسایش (0-10)
۲	خاک شناسی	$X_2=16.67K$	K عامل فرسایش پذیری خاک در معادله جهانی فرسایش
۳	اقلیم	$X_3=0.2P_2$	X_3 میزان بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله برحسب mm
۴	رواناب	$X_4=0.006R+10QP$	Q_p دبی ویژه پیک برحسب $m/s/km$ ، R ارتفاع رواناب برحسب mm
۵	توپوگرافی	$X_5=0.33S$	S شیب متوسط برحسب درصد
۶	پوشش سطح زمین	$X_6=0.2P_b$	P_b درصد زمین‌های لخت و بدون پوشش
۷	کاربری اراضی	$X_7=20-0.2P_c$	X_7 درصد تاج پوشش گیاهی
۸	فرسایش سطحی	$X_8=0.25SSF$	X_8 امتیاز عامل سطحی خاک (SSf) در روش مدیریت زمینی آمریکا (BLM)
۹	فرسایش خندقی	$X_9=1.67SSF_g$	X_9 امتیاز عامل هفتم مدل (BLM)

$$R = X_1 + 16.67K + 0.2P_2 + 0.006R + 10QP + 0.33S + 0.2P_b + 20 - 0.2P_c + 0.25SSF + 1.67SSF_g$$

جدول ۲. مساحت سازندهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه بر حسب هکتار و در صد سازندها

ردیف	نام سازند	مساحت سازند در محدوده مورد مطالعه (هکتار)	درصد پوشش سازند	ردیف	نام سازند	مساحت سازند در محدوده مورد مطالعه (هکتار)	درصد پوشش سازند
۱	کواترنر	۴۰۱۷۷	۲۱	۷	پابده	۲۶۶۲	۱
۲	بختیاری	۲۴۷۵۶	۱۳	۸	پابده گورپی	۴۳۷۳	۲
۳	آغاچاری	۴۵۹۷۳	۲۴	۹	گورپی	۷۴۱۷	۴
۴	میشان	۸۸۴۶	۵	۱۰	بنگستان	۱۹۲۹۹	۱۰
۵	گچساران	۲۳۱۰۴	۱۲	۱۱	خامی	۱۵۵۲	۱
۶	آسماری	۱۶۹۳۴	۹	۱۲	مجموع	۱۹۵۰۹۴	۱۰۰



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه (الف) و نقشه امتیاز عامل زمین‌شناسی (ب) در حوضه آبریز مورد مطالعه

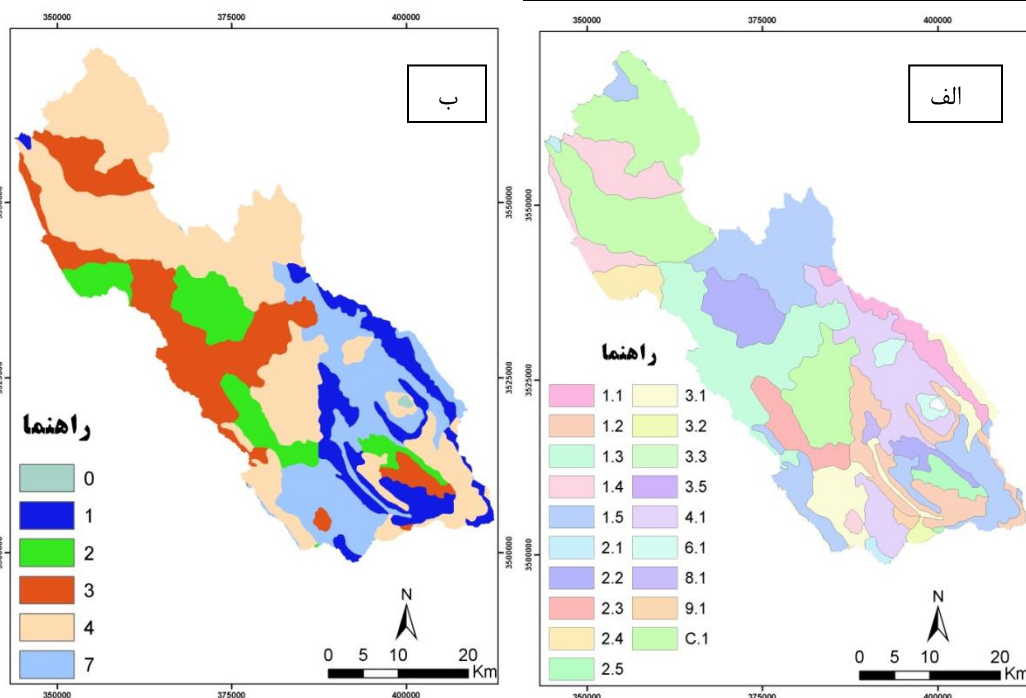
عامل آب و هوا (y_3)

برای تعیین عامل آب و هوا که جایگاه ویژه‌ای در تعیین میزان رسوب دارد از رابطه جدول (۱) استفاده گردید که در آن P_2 مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دوساله برحسب میلی‌متر می‌باشد. برای به دست آوردن مقدار بارش شش ساعته با دوره بازگشت دو ساله از داده‌های منحنی شدت، مدت و

فراوانی استفاده گردید که در این مطالعه پس از محاسبه داده‌های بارش ۶ ساعته در ۴ ایستگاه باران‌سنجی که در محدوده مورد مطالعه قرار دارند. سپس مقادیر مذکور در نرم‌افزار ARC GIS وارد شد. محل این ایستگاه‌ها در جدول (۳) و جانمایی آن‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول ۳. مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی در حوضه مورد مطالعه و میزان بارش با دوره بازگشت دو ساله

ردیف	نام ایستگاه	X	Y	بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دوساله
۱	لالی	۳۱۹۶۲۳	۳۵۸۱۳۵۶	۴۵/۴
۲	شور اندیکا	۳۴۸۵۷۸	۳۵۴۴۹۹۳	۴۸/۴
۳	سد کارون	۳۶۵۴۱۲	۳۵۵۰۷۱۷	۴۵
۴	ایذه	۳۸۷۲۹۷	۳۵۲۲۷۷۲	۵۰/۱
۵	بتوند	۳۲۲۳۱۶	۳۵۴۱۹۶۳	۲۷/۴
۶	پل شالو	۴۱۸۲۷۲	۳۵۱۴۶۹۲	۵۳/۵۹



شکل ۳. نقشه خاک‌شناسی منطقه (الف) نقشه خاک‌شناسی امتیازدهی شده (ب) در محدوده مورد مطالعه

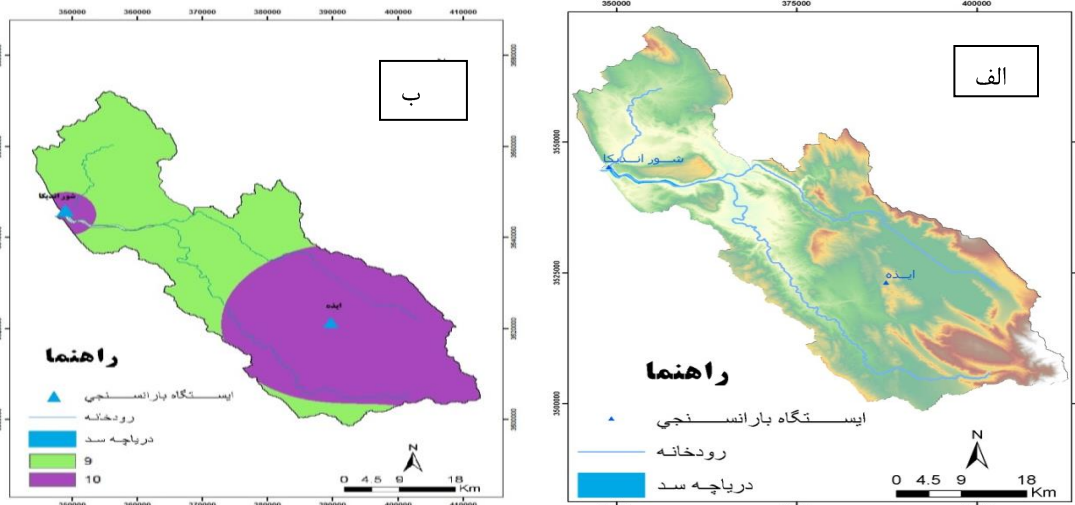
هواشناسی شکل (۵ الف) محاسبه شد. سپس مقادیر محاسبه شده در نرم افزار وارد شده، امتیاز لایه محاسبه و نتایج در شکل (۵ب) نشان داده شده است.

عامل توپوگرافی (y_5)

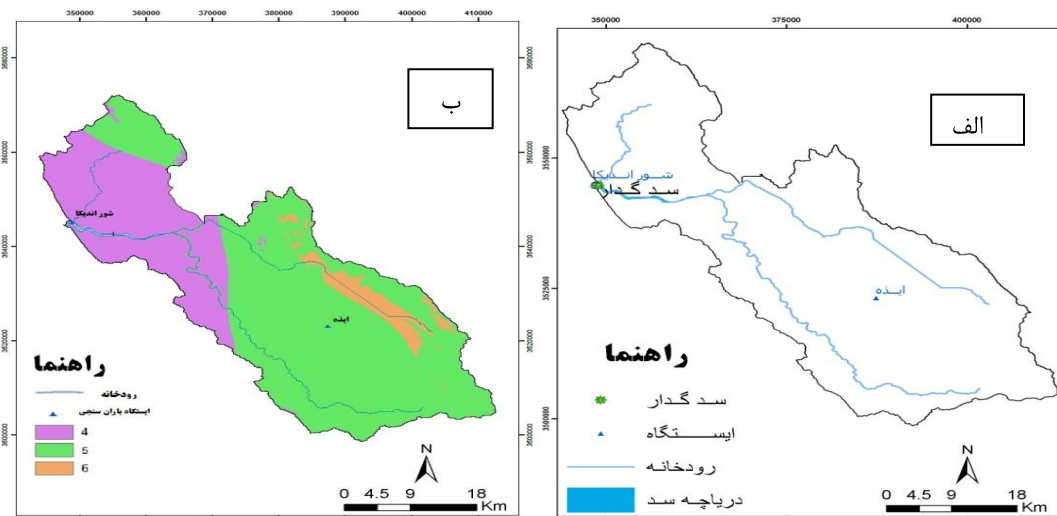
عامل توپوگرافی بر اساس شیب منطقه محاسبه می‌شود. برای بدست آوردن شیب منطقه مورد مطالعه از لایه DEM استفاده شد شکل (۶ الف) و با اعمال فرمول جدول (۱) در محیط GIS فاکتور شیب منطقه محاسبه و در شکل (۶ب) نشان داده شد.

عامل رواناب (y_4)

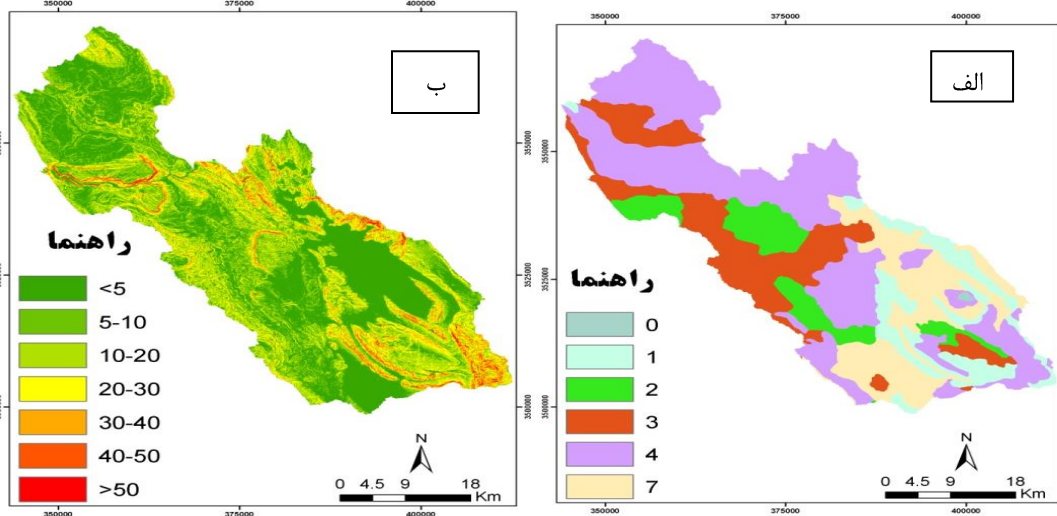
در روش MPSIAC برای برآورد امتیاز عامل رواناب رابطه جدول (۱) استفاده شد. که در این رابطه ارتفاع رواناب سالانه بر حسب میلی‌متر را با R و دبی ویژه پیک بر حسب متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع را با QP نشان داد شده است. نقشه امتیاز عامل رواناب با توجه به محاسبه ارتفاع رواناب سالانه که با استفاده از فرمول‌های محاسباتی برای دبی ویژه پیک و محاسبه ارتفاع رواناب سالانه با استفاده از مقادیر CN و بارش دریافتی از ایستگاه‌های آب و



شکل ۴. جانمایی (الف) ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه و نقشه (ب) عامل آب و هوا



شکل ۵. جانمایی ایستگاه‌های هیدرومتری (الف) و نقشه فاکتور رواناب (ب)



شکل ۶. عامل توپوگرافی (الف) نقشه امتیازدهی شده (ب)

خاک، پوشش لاشبرگ، پوشش سنگی سطح زمین، قطعات سنگی تحکیم یافته، شیارهای سطحی، فرم آبراهه‌ها و فرسایش خندقی است. پس از امتیازدهی به هرکدام از عوامل در نقشه پایه با اعمال فرمول (جدول ۱) نقشه عامل فرسایش سطحی در محیط GIS مطابق (شکل ۹) تهیه گردید.

عامل فرسایش کانالی (y₉)

آخرین عامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در روش MPSIAC فرسایش رودخانه‌ای و انتقال رسوب می‌باشد. فاکتور فرسایش کانالی با استفاده از نمره نهایی فاکتور فرسایش خندقی در روش BLM محاسبه می‌شود (Aker, 1971). با اعمال فرمول جدول (۲) در محیط این فاکتور محاسبه گردید.

برآورد تولید رسوب سالیانه

پس از تعیین ۹ عامل در نظر گرفته شده در این مدل به منظور محاسبه مقدار آورد رسوب سالانه ابتدا با جمع مقادیر این عوامل در GIS مقدار درجه رسوب‌دهی به دست آمده (شکل ۱۰) و سپس با استفاده از فرمول (جدول ۱) میزان رسوب‌دهی سالانه بر حسب تن در هکتار مطابق فرمول (جدول ۱) به دست آمد که نتیجه در (شکل ۱۱ الف و ب) نشان داده شده است.

عامل پوشش سطح زمین (y₆)

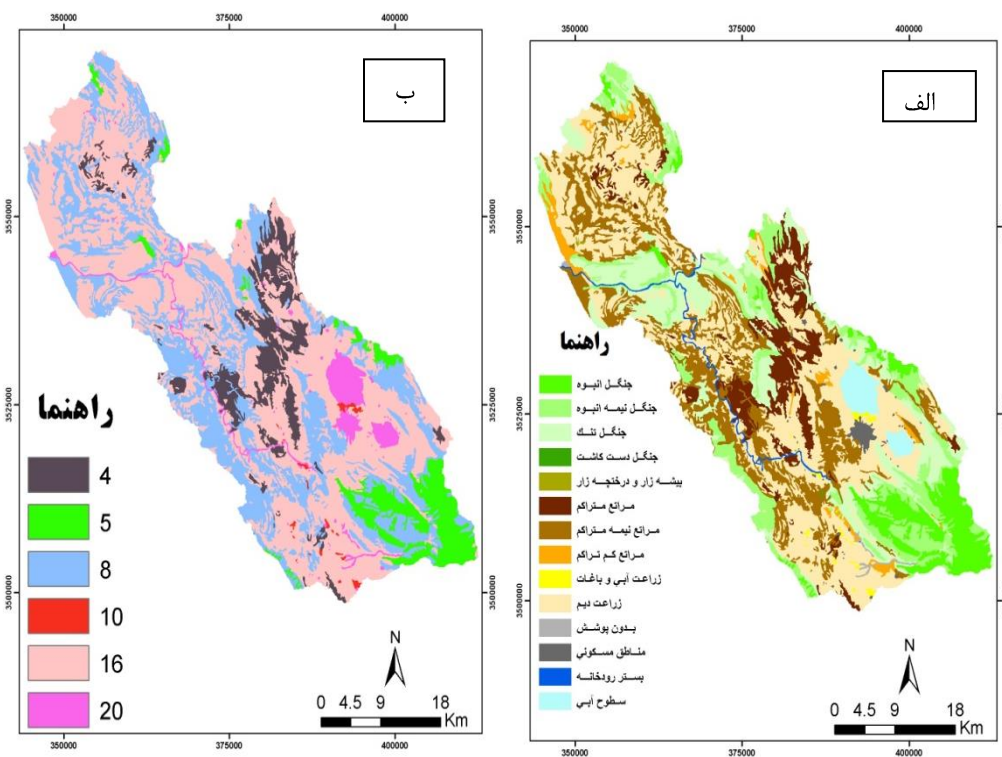
یکی دیگر از عوامل اصلی در این روش میزان پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه است. وجود پوشش گیاهی در هر منطقه سرعت جریان‌های سطحی را کاهش داده و سبب نفوذ بیشتر آب به داخل خاک می‌گردد. در نتیجه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش سیلاب‌های مخرب خواهد داشت (صابری و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به تراکم این پوشش امتیازهای متفاوتی به هر بخش تعلق گرفت و سپس با استفاده از فرمول (جدول ۱) در محیط GIS به محاسبه امتیاز عامل پوشش گیاهی پرداخته شد. نتیجه این محاسبات در (شکل ۷) نشان داده شده است.

عامل کاربری اراضی (y₇)

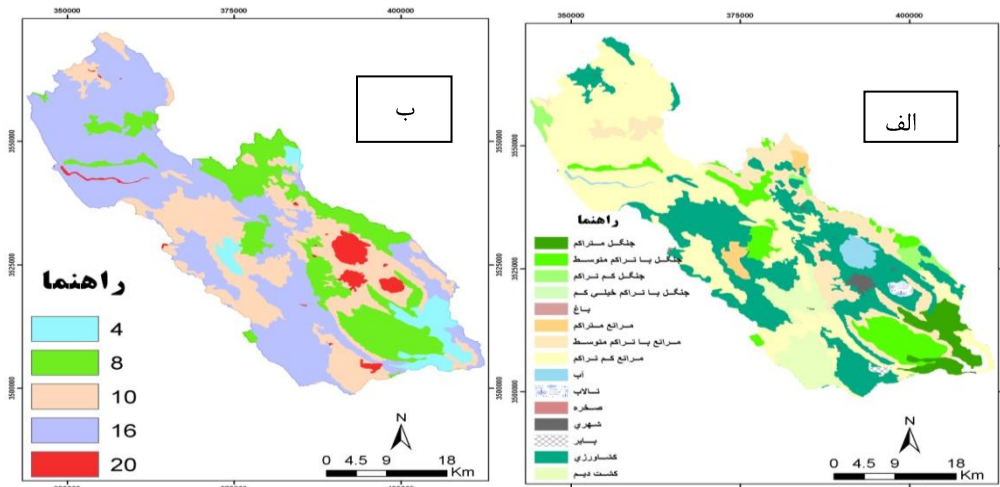
عامل دیگری که در این روش محاسبه می‌شود کاربری اراضی می‌باشد که با استفاده از فرمول جدول (۱) محاسبه می‌شود و PC تاج پوشش گیاهی بر حسب درصد را نشان می‌دهد که برای محاسبه آن از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. سپس با وارد کردن فرمول در محیط GIS مقدار عامل فاکتور کاربری اراضی محاسبه گردید (شکل ۸).

عامل فرسایش سطحی (y₈)

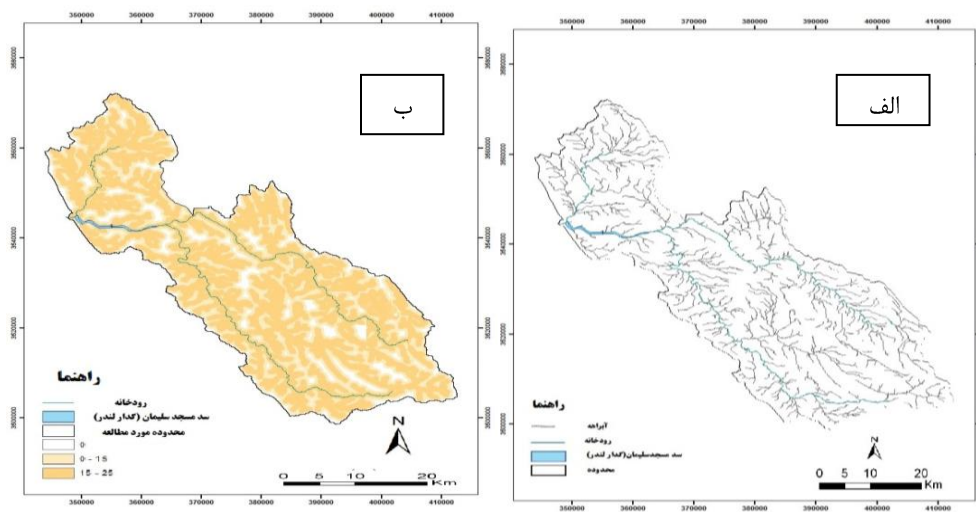
فاکتور فرسایش سطحی مبتنی بر روش اداره مدیریت اراضی آمریکا (BLM) می‌باشد که این روش خود دارای ۷ عامل مشتمل بر حرکت توده



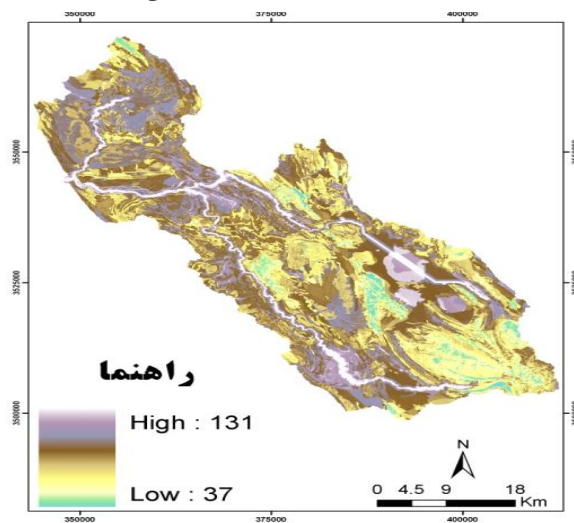
شکل ۷. الف) عامل پوشش سطح زمین (ب) نقشه امتیازدهی شده



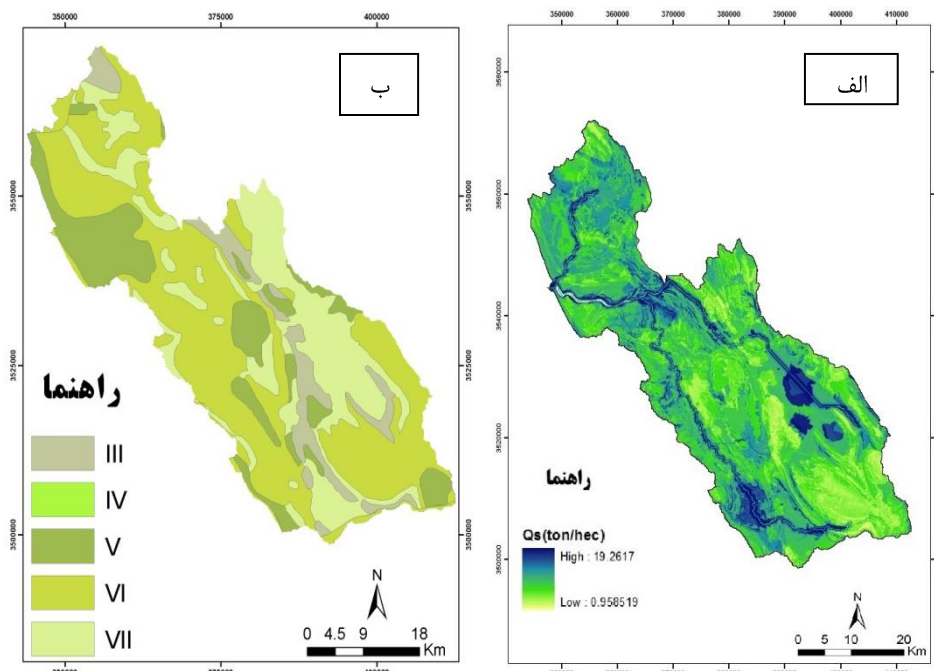
شکل ۸. (الف) نقشه کاربری اراضی (ب) نقشه امتیازدهی شده



شکل ۹. (الف) نقشه آبراهه‌های منطقه (ب) نقشه امتیازدهی عامل فرسایش آبراهه‌ای



شکل ۱۰. آورد رسوبی سالانه محدوده مورد مطالعه



شکل ۱۱. الف) امتیاز دهی شدت رسوب‌گذاری (ب) نقشه امتیاز دهی شده فرسایش

این منطقه مناسب می‌باشد (Najm et al., 2013). در این تحقیق بر اساس روش توضیح داده‌شده در بالا درجه رسوب‌دهی منطقه در کمترین مقدار برابر ۱۰ و بیشترین آن برابر ۶۸ و متوسط آن برابر ۳۸ محاسبه گردید و با مقایسه این مقادیر با اعداد جدول (۴) اکثر مناطق در کلاس III و IV قرار گرفتند. متوسط رسوب‌دهی حوضه مشرف به سد مسجدسلیمان برابر ۶/۷ تن در هکتار برآورد گردید. رسوب سالانه‌ای که در حوضه تولید می‌شود با استفاده از مدل MPSIAC برابر ۱/۳۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد گردید.

بار رسوبی برآورد شده از کل حوضه آبریز مشرف به سد مسجدسلیمان نسبت به نتایج هیدروگرافی سد که دقیق‌ترین روش مشاهدات مستقیم است، نزدیک بود که این نزدیکی نشانگر کارآرایی خوب این روش می‌باشد. هر چند که با توجه به فراوانی گسل‌ها و درزه‌ها در این منطقه و عدم نمره دهی به آن در این مدل احتمال خطا وجود دارد. اما با توجه به مقادیر متوسط در لایه-های محاسبه شده، بیشترین تأثیر به ترتیب اهمیت مربوط به لایه‌های شیب، استفاده از زمین، پوشش سطح زمین، آب و هوا، زمین‌شناسی، شیب و رواناب می‌باشد.

برای ترسیم منحنی سنجه (دبی-آب-دبی رسوب) از داده‌های دبی و رسوب به صورت یک گراف لگاریتمی که محور افقی آن نشان‌دهنده دبی و محور عمودی نیز بیانگر بار رسوبی برحسب تن در روز می‌باشد، استفاده می‌شود. در (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) منحنی سنجه ایستگاه‌های تنگ دولاب و مرغاب جلوگیر با دو روش USBR و FAO نشان داده شده‌اند.

برای محاسبه آورد رسوبی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، پس از جمع‌آوری داده‌های هم‌زمان دبی رسوب-دبی جریان به مدت ۲۰ سال از سال‌های آماری ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵ در ایستگاه‌های هیدرومتری مرغاب-جلوگیر و تنگ دولاب که از سرشاخه‌های ورودی به سد مسجدسلیمان می‌باشند استفاده شد و سپس برای محاسبه مقدار رسوب متوسط سالانه در این مطالعه از فرمول توانی منحنی سنجه برآورد رسوب که در آن دبی رسوب به دبی جریان عبوری در هر ایستگاه ارتباط داده می‌شود، استفاده شد (Harrison, 2000).

$$Q_s = a Q_w^b \quad (1)$$

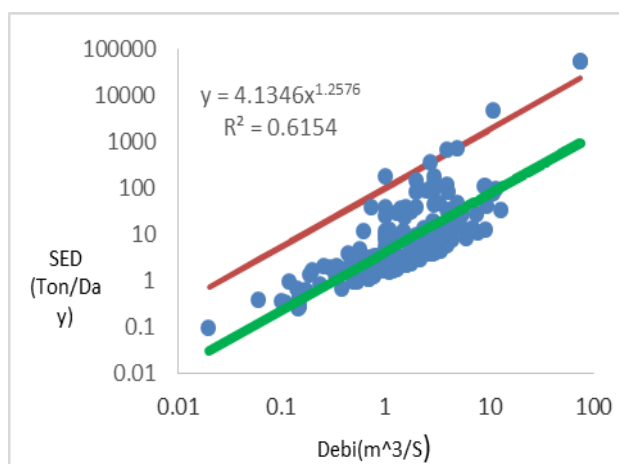
در این فرمول Q_s دبی رسوب بر حسب (ton/day) و Q_w دبی جریان برحسب (m^3/sec) و a و b پارامترهای ثابت می‌باشند. با داشتن دبی‌های روزانه جریان در طول دوره آماری مشخص و قرار دادن آن‌ها در فرمول توانی به دست آمده برای هر ایستگاه و سپس تقسیم مقدار حاصله بر طول دوره آماری دبی روزانه، مقدار متوسط بار رسوبی برای هر ایستگاه در کل سال محاسبه شد. در روش روابط همبستگی سالیانه جهت برآورد دبی رسوب ورودی به مخزن بر اساس مشاهدات هم‌زمان دبی رسوب و آب، برای هر سال منحنی‌های سنجه به دست آمد. در روش USBR آماده‌سازی منحنی سنجه رسوب شامل رسم تمام مقادیر اندازه‌گیری شده دبی رسوب در طی دوره آماری موجود در مقابل مقادیر متناظر دبی آب و ایجاد همبستگی با بیشترین ضریب همبستگی می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

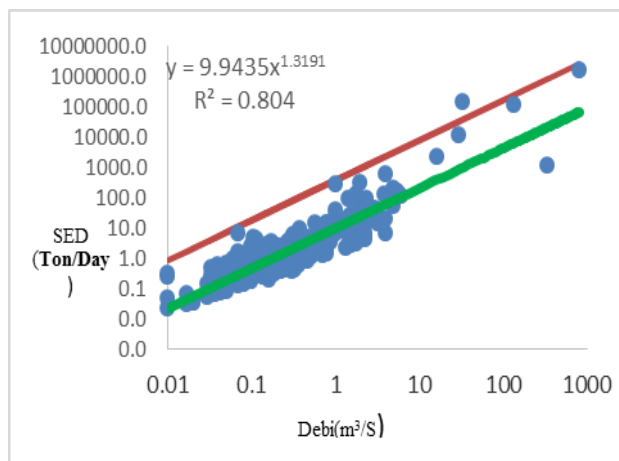
مدل MPSIAC اولین بار برای استفاده در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسعه داده شد و به همین دلیل با توجه به شرایط آب و هوایی ایران برای

جدول ۴. تعیین میزان رسوب سالانه و کلاس فرسایش خاک در روش MPSIAC

شدت رسوبدهی سالانه	میزان رسوب سالانه yield (m ³ /km ² /y)	شدت رسوبدهی	کلاس رسوبدهی
۱۰۰ >	۱۴۲۹ >	خیلی زیاد	V
۱۰۰-۷۵	۱۴۲۹-۴۷۶	زیاد	IV
۷۵-۵۰	۴۷۶-۲۳۸	متوسط	III
۵۰-۲۵	۲۳۸-۹۵	کم	II
۲۵ <	۹۵ <	جزئی	I



شکل ۱۲. منحنی دبی سنج به روش USBR ایستگاه هیدرومتری مرغاب - جلوگیر



شکل ۱۳. منحنی دبی سنج به روش USBR ایستگاه هیدرومتری تنگ دولاب

نتایج

مدل تجربی MPSIAC برای برآورد فرسایش و رسوب با توجه به شرایط آب و هوایی در خوزستان مناسب می‌باشد. از مدل تجربی MPSIAC می‌توان برای زیر حوضه‌های فاقد آمار رسوب و به عنوان جایگزینی نسبتاً قابل قبول به‌جای روش پرهزینه هیدروگرافی در سدها استفاده نمود. در مدل MPSIAC می‌توان از تصویر ماهواره‌ای، درصد تاج پوشش و زمین لخت را استخراج و برای عوامل پوشش زمین و کاربری اراضی استفاده نمود. این دو عامل در مدل MPSIAC از امتیاز بالایی (تا ۲۰) برخوردار می‌باشند. بنابراین ایجاد خطا در استفاده از تصویر ماهواره‌ای، خطای بالایی در برآورد کلی مدل ایجاد می‌نماید.

سپاسگزاری

از دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان تشکر و قدردانی می‌گردد.

حجم آورد رسوبی ایستگاه‌های مرغاب و تنگ دولاب به روش میانگین داده‌ها طبق برآورد با روش‌های USBR و FAO به ترتیب ۹۲۴/۹ و ۵۹/۳ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. که بیانگر این است که احجام محاسباتی بر اساس این روش‌های هیدرولوژیکی برآورد قابل قبولی برای این حوضه ندارد. فرسایش، توپوگرافی، کاربری اراضی، پوشش، میزان بارش (آب و هوا)، زمین‌شناسی، شیب و رواناب به ترتیب در تولید رسوب مؤثر بوده است. میزان رسوبدهی حوضه مشرف به سد مسجدسلیمان برابر ۶/۷ تن در هکتار برآورد گردید. که رسوب سالانه‌ای را که در حوضه تولید می‌شود با استفاده از مدل MPSIAC برابر ۱/۳۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد گردید. بر اساس نتایج هیدروگرافی سد مسجدسلیمان که در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۰ صورت گرفته میزان حجم رسوب‌گذاری سالانه در این سد ۱ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد که بیانگر کارایی این روش برای محدوده مورد مطالعه و همچنین با توجه به شرایط آب و هوایی مشابه این زیر حوضه در استان خوزستان می‌باشد.

منابع

- دهقان زاده، م. موسوی. م. آدابی. م. صادقی. ع؛ ۱۳۹۵؛ مطالعه محیط رسوب‌گذاری و چینه نگاری سکناسی سازند آسماری در میدین لالی، کارون و مسجدسلیمان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۹، ص ۹۸-۱۱۳.
- رفاهی. ح. ۱۳۸۷، فرسایش آبی و کنترل آن، دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۶۷۱ ص.
- رفیعی. ب، کماتی. ن، خدابخش. س، بزرگزاده. ع؛ ۱۳۸۹؛ اجرا و کالیبراسیون مدل تجربی MPSIAC توسط شرایط فیزیکی حاکم بر حوضه مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه بختیاری استان لرستان، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره چهاردهم، ص ۶۳-۷۱.
- رنگزن. ک، زراسوندی. ع، حیدری. ا؛ ۱۳۸۷؛ مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه پگاه سرخ گتوند- خوزستان با استفاده از تکنیک‌های GIS.RS، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، ص ۱۲۳-۱۳۶.
- صابری. ع، رنگزن. ک، مهبجوری. ر، کشاورزی. م؛ ۱۳۹۱، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تاق‌دیس کمستان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۶، ص ۱۱-۲۰.
- محمدی.ها. ش، پیروان. ح، موسوی حرمی. ر، فیض نیا. س، بیات. ر؛ ۱۳۹۰؛ بررسی میزان فرسایش و تولید رسوب حوزه آبخیز ایوانکی با استفاده از مدل‌های FSM، MPSIAC و ایستگاه رسوب سنجی، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۴، ص ۳۱-۴۸.
- میرزایی. ح، زراسوندی. ع؛ اورنگ. م؛ ۱۳۹۵، تأثیر زمین‌شیمیایی مخازن نفتی آسماری بر منابع آب کارستی مسجدسلیمان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۸، ص ۱-۱۴.
- Aker, A., 1971, Soil Surface Factors, Determination of erosion condition class, Bureau of Land Management, Department of Interior, USA, p: 7310-12.
- Brown, A.G., Carey, C., Erkens. G., Fuchs. M., Hoffmann. T., Macaire. J.J., oldenhauer. K.M., and Walling. D.E., , 2009, sedimentary records to sediment budgets: multiple approaches to cathment sediment flux, Geomorphology, v: 108, No:1-2, p: 35-47
- Grams. P.E., and Schmidt. J.C., 2005, Equilibrium or indeterminate. Where sediment Budgets fail: sediment mass balance and adjustment of channel form, Green River downstream for flaming Gorge Dam, Utah and Colorado: Geomorphology, V: 71., No:1, p: 156-181.
- Harrison. C. G., 2000, What factor control mechanical erosion rates, Int. J. Earth Sci, , V: 7, p :78-92.
- Najm. Z., Keyhani. N., Rezaei. Kh., Naeimi Nezamabad. A., Vaziri. S.H., 2013, Sediment Yield and Soil Erosion Assessment by Using an Empirical Model of MPSIAC for Afjeh & Lavarak Sub Watersheds, Iran, Earth Science. Vol: 2, No. 1, p: 14-22.
- Tangestani. M., 2006, Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran, Journal of Asian Earth Sciences, V: 27, p: 585-597.
- Renschler. C.S., Harbor. J., 2002, Soil erosion assessment tools form point to regional scales- the role of geomorphologists in land management research and implementation: Geomorphology, V: 7(2-4), p:189-209.

- Solamani. K., Modallaldoust. S., Lotfi. S., 2009, Investigation of land use changes on soil erosion process using geographical information system: International Journal of Environmental Science and Technology , V:6 No:3, P:415-424.
- Sui.J., He.Y., liu. C., 2009, Changes in sediment transport in kuye River in Loess Plateau in china, Internatinal Journal of Sediment Research, V:24 No:2, P: 201-213.
- Shrestha, M.N.,2002, Assessment of hydrological changes due to landuse modifications, Unpublished Ph.D thesis. Indian Institute of Technology, India.
- Vent. T.D., Poesen. J., 2005, Predicting soil erosion and sediment Yield at the basin scale: scale issue and semi-quantitative models, Earth- Science Riverws, v: 71, P: 95-125.