محیط زیست و مهندسی آب
شاپک : ۲۴۷۶-۳۶۸۳

Environment and
Water Engineering
ISSN: 2476-3683

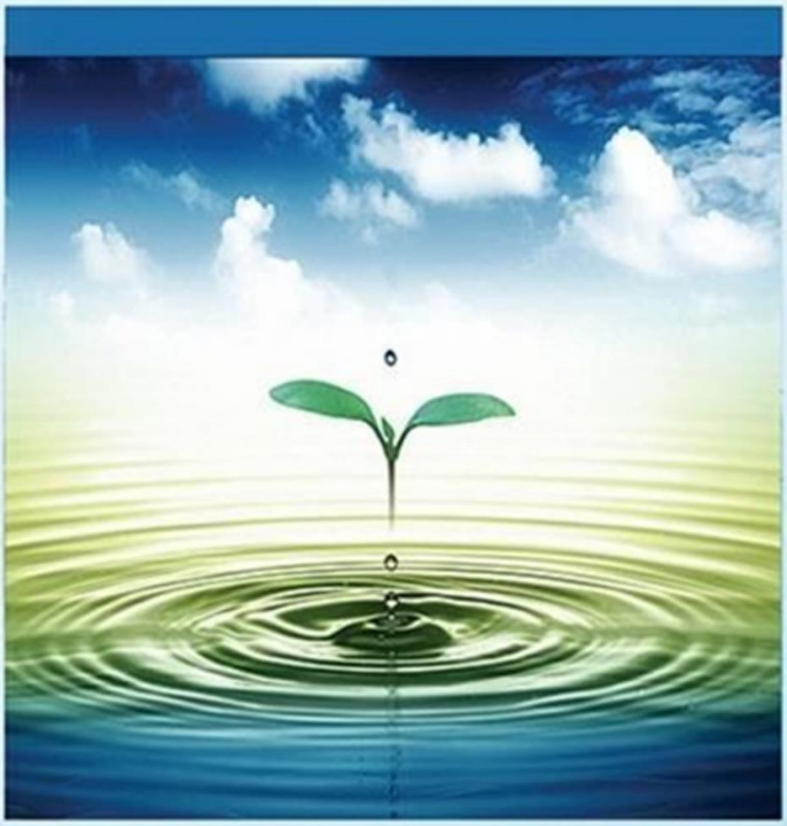
ارزیابی کارایی مدل MPSIAC برای برآورد رسوب حوزه آبخیز زریبار

حسین خالدیان و عطا امینی

دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۵۷۸- ۵۶۷

Vol. 7(4), Winter 2021, 567-578

DOI: 10.22034/JEWE.2021.263729.1492



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

Evaluation of the MPSIAC Model for Estimating Sediment in Zeribar Watershed

Khaledian, H. and Amini, A.

ارجاع به این مقاله:

خالدیان، ح. و امینی، ع. (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی مدل MPSIAC برای برآورد رسوب حوزه آبخیز زریبار. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۴، صفحات: ۵۷۸-۵۶۷.

Citing this paper: Khaledian, H. and Amini. A. (2021). Evaluation of the MPSIAC model for estimating sediment in Zeribar watershed. Environ. Water Eng., 7(4), 567–578. DOI: 10.22034/JEWE.2021.263729.1492

مقاله پژوهشی

ارزیابی کارایی مدل MPSIAC برای برآورد رسوب حوزه آبخیز زریبار

حسین خالدیان[۱*] و عطا امینی[۲]

[۱]مربی پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سنندج، ایران
[۲]دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سنندج، ایران

***نویسنده مسئول:** khaledian_h@scwmri.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۱۰/۰۵] **تاریخ بازنگری:** [۱۳۹۹/۱۲/۲۷] **تاریخ پذیرش:** [۱۳۹۹/۰۱/۰۸]

چکیده

یکی از مشکلات مهار فرسایش حوزه‌های آبخیز، کمبود داده‌های آماری برای برآورد دقیق میزان فرسایش و رسوب است. برآورد رسوب با استفاده از مدل‌های تجربی به‌دلیل سهولت استفاده امری رایج می‌باشد که تا حدودی کمبود داده‌های آماری را برطرف نموده است، اما دقت مدل‌های تجربی بستگی به شرایط و وضعیت محل موردبررسی دارد. هدف از این پژوهش بررسی کارایی مدل MPSIAC در حوزه آبخیز زریبار و تعیین میزان فرسایش در این حوضه بود. بدین منظور تعدادی بند رسوب‌گیر که حداقل ۱۰ yr از احداث آن‌ها سپری‌شده بود، انتخاب شدند. با اندازه‌گیری صحرایی، عمق و سطح مخزن رسوبات در پشت سازه‌ها، مشخص شد. با تهیه نقشه توپوگرافی مخزن در محیط نرم‌افزار SURFER، حجم رسوبات محاسبه شد. داده‌های ثبت‌شده با مقدار رسوب برآورد شده واحد هیدرولوژیکی بالادست بند رسوب‌گیر که با استفاده از مدل MPSIAC به‌دست‌آمد، مقایسه شد. بر اساس نتایج اندازه‌گیری مخازن، متوسط رسوب‌دهی ۱۰ واحد هیدرولوژیکی منتخب، برابر ۰/۳۸، حداقل رسوب ۰/۰۳ و حداکثر رسوب ۱/۱۸ $m^3/ha.yr$ به‌دست آمد. مقدار رسوب برآورد شده به‌وسیله مدل نیز به‌طور متوسط ۲/۰۲، حداقل ۰/۶۱ و حداکثر ۲/۹۶ $m^3/ha.yr$ محاسبه شد. نتایج آنالیز هر دو روش با استفاده از آزمون t جفتی نشان داد که اختلاف بین میانگین‌ها برای مقادیر رسوب‌دهی برآورد شده با استفاده از مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در سطح ۵٪ معنی‌دار نیست. کارایی و میانگین نسبی مجذور مربعات خطا (RMSE) نشان داد که مدل MPSIAC برای محل موردبررسی کارایی مناسبی نداشته و لازم است قبل از استفاده مورد واسنجی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: رسوب؛ زریبار؛ سد رسوب‌گیر؛ مدل تجربی MPSIAC

۱- مقدمه

موضوع مدیریت حوزه‌های آبخیز به‌منظور حفظ و بهره‌برداری و توسعه منابع آب اهمیت دارد. بررسی وضعیت فرسایش و رسوب از جمله موضوعات مهمی است که برای حفظ حوزه-های آبخیز موردتوجه پژوهش‌گران می‌باشد. در حوضه بابل رود (Shahiri et al. (2020 کاربرد مدل MPSIAC را بررسی و نشان دادند که ۲۰٪ اختلاف بین رسوب مشاهده‌ای ایستگاه رسوب‌سنجی و برآوردی مدل وجود دارد. Khaledian et al. (2017) از مدل MPSIAC در حوضه گاو رود در استان کردستان استفاده و نتایج مدل مذکور را با داده‌های مشاهداتی ایستگاه رسوب‌سنجی مورد ارزیابی قراردادند. در پژوهش دیگری که از مدل مذکور استفاده‌شد، Zarei et al. (2017) به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های فرسایش کانالی، پوشش و زمین‌شناسی بیش‌تری حساسیت و کاربری کم‌تری حساسیت را دارد. (Daneshafarz et al.(2017 در حوضه آیدوغموش با بررسی مدل MPSIAC به این نتیجه رسیدند که عوامل شیب و پوشش زمین بیش-ترین نقش را در رسوب خیزی حوضه داشته است. Shahab Arkhazloo et al. (2019) در حوضه آق‌گونی اردبیل مدل MPSIAC را با مدل Morgan Morgan Finney (MMF) مقایسه و نشان دادند که مدل MPSIAC برای برآورد فرسایش خندقی و مدلMMF برای برآورد فرسایش سطحی و شیاری بهتر عمل می‌کند. Najm et al. (2013) در حوضه‌های افجه و لوارک شرق تهران ضمن تأیید کارایی مدلMPSIAC برای شرایط مشابه، نتیجه گرفتند که متغیرهای زمین‌شناسی و فرسایش‌پذیری خاک بیشترین همبستگی را داشته‌اند. با مقایسه برآورد رسوب مدل‌های MPSIAC و EPM با رسوب‌سنجی مخازن بندهای کوچک در استان آذربایجان غربی، دقت مدلMPSIAC بیشتر ارزیابی‌شده است (Borooshke et al. 2015). همچنین Borooshke et al. (2018) ضمن بررسی مخازن ده بند رسوب‌گیر و مقایسه نتایج با برآورد مدل MPSIAC، نتیجه گرفتند که برآورد مدلMPSIAC به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر است. Feiznia and Hesami (2016) از طریق منشأیابی به بررسی وضعیت رسوب‌خیزی زریبار مریوان پرداخته و نتیجه گرفتند که تعدادی از واحدها از جمله واحدهایی در جنوب غربی حوضه بیش‌ترین نقش را در تولید رسوب ایفا نموده است. در برآورد رسوب حوضه‌های کوچک، نتیجه گرفته شد که مدل مورداستفاده برآورد خوبی با توجه به داده‌های مشاهده‌ای داشته است. در حوزه آبخیز بانرحمن ایلام نیز نتیجه مشابهی گرفته‌شد (Ebrahimi et al. 2019; Lashkarian et al. 2018).

نتایج بررسی شدت فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز گرمی چای استان اردبیل نشان داد که میزان فرسایش و تولید رسوب حدود پنج برابر بیش‌تر از میانگین کل رسوب تولیدی حوضه بود Bayrami et al. (2018). در حوضه گابریک Shojaei et al. (2017) با به‌کارگیری مدل‌های FSM و MPSIAC، نتیجه گرفتند که نتایج مدل FSM[1] با روش مستقیم مطابقت بیش‌تری دارد. Mousavi et al.(2017) نیز در حوزه آبخیز اوزرود برای رتبه‌بندی پتانسیل فرسایش و رسوب از مدل‌های FSM و MPSIAC استفاده کردند، نتیجه پژوهش نشان داد که هردو مدل مذکور کارایی یکسانی دارند. Ghavam et al. (2015) در مقایسه چند روش برای برآورد فرسایش و رسوب، مدلEPM را به‌عنوان مدل دقیق‌تر معرفی نمود. در پژوهش دیگری رابطه مشخصات اقلیمی با فرسایش خاک حوزه آبخیز دریاچه زریبار با به‌کارگیری مدل EPM بررسی و نتیجه گرفتند که میزان فرسایش در حوضه ton.ha ۱۸ است (Bayat et al. 2013). در پژوهشی با استفاده از گرانومتری و تحلیل‌های دانه-سنجی رسوبات، Rahimi et al. (2012) با استفاده از بررسی‌های میدانی شامل نمونه‌برداری از چهار لایه از یک مقطع عرضی واقع در شرق دریاچه زریبار و تجزیه‌وتحلیل رسوبات، مقدار زیاد حجم ماسه و کاهش مقدار سیلت و شواهد وجود محیط مورفوکلیماتیک گرم و خشک در زمان شکل‌گیری این لایه‌ها و متعاقب آن کاهش سطح دریاچه را تأیید کردند. این نتایج با مطالعات Maghsodi et al. (2013) که روند متوسط رسوب‌گذاری دریاچه زریبار را ۰/۹۵ mm/yr محاسبه کردند، همخوانی دارد. Anonymous (1995) با ارزیابی و مطالعه لیمنولوژیک دریاچه زریبار بر طبق آمار و اطلاعات سنجش بار معلق آب دریاچه، اعلام

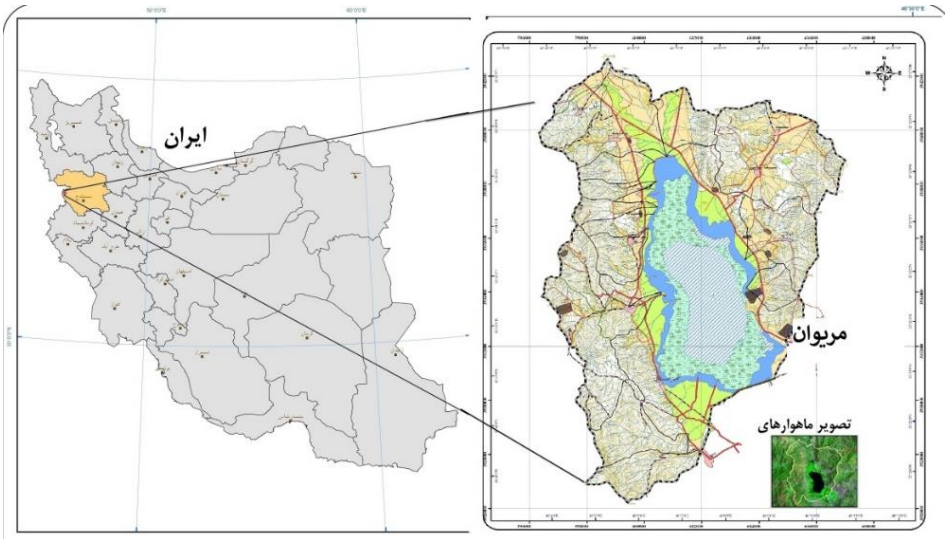
[1]Factorial Scoring Model

نمونه که سالیانه ۰/۱۵ cm از عمق دریاچه کاسته می‌شود. Kavian et al. (2013) نیز در حوزه آبخیز سرخ‌آباد استان مازندران از سه مدل استفاده کرده و بر طبق نتایج مقدار رسوب مشاهده‌ای در پشت‌بندهای موجود در منطقه موردمطالعه ۳۹۱ton/km^2 در سال به‌دست‌آمده و میزان رسوب برآورد شده با استفاده از مدل‌هایPSIAC، EPM، و ESM به‌ترتیب ۶۱۱، ۲۳۹ و ton/km^2.yr ۲۸۰ بوده است. همچنین درصد خطای نسبی محاسبه‌شده برای مدل‌های فوق، به‌ترتیب معادل ۲۲، ۳۶ و ۵۰٪ محاسبه شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مدل EPM به‌دلیل درصد خطای نسبی کم‌تر نسبت به سایر مدل‌های مورداستفاده، کارایی بهتری در برآورد فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز سرخ‌آباد داشته است. در پژوهشی مشابه در استان سمنان Hashemi et al. (2010) نتیجه گرفتند که مدل MPSIAC برای مناطق موردبررسی کارایی ندارد. هرچند در بیش‌تر پژوهش‌های انجام‌شده، نتایج مدل MPSIAC قابل‌قبول گزارش‌شده است، اما با توجه به ماهیت مدل‌های تجربی، ضرورت دارد تا متغیرها و ضرایب مدل MPSIAC نیز برای شرایط هر محل بررسی شوند. در این پژوهش نخست آورد مقدار رسوب با اندازه‌گیری مستقیم در حوضه دریاچه زریبار برآورد شد و سپس نتایج مدلMPSIAC با نتایج رسوبات اندازه‌گیری شده به روش مستقیم به‌منظور ارزیابی کارایی مدل، تطبیق داده شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

برای اجرای این پژوهش، حوزه آبخیز دریاچه زریبار در شمال غربی استان کردستان با مساحت حدود۱۵۸ km^2 انتخاب شد. این حوضه به‌صورت بسته است و در مواردی که حجم آب ورودی بیش‌تر از حد معمول و ظرفیت دریاچه باشد، رواناب مازاد در قسمت جنوبی تخلیه می‌شود. دریاچه با سطحی معادل۲۴۴۹ ha و محیطی برابر با ۲۷ km در بخش مرکزی حوضه با امتداد تقریباً شمالی- جنوبی قرارگرفته است. این حوضه از شمال به حوضه قزلچه سو از غرب به مرز عراق و از جنوب شرقی به شهر مریوان ختم می‌شود. از لحاظ اقلیمی، به روش دمارتن، جزو مناطق مرطوب و در تقسیم‌بندی آمبرژه منطقه‌ای مرطوب سرد می‌باشد. میزان بارندگی سالیانه حوضه حدود ۷۴۳mm و متوسط دمای سالیانه بر اساس آمار ایستگاه مریوان ۱۳/۶ °C است. پوشش گیاهی اغلب حوضه را جنگل‌های بلوط و همچنین مساحتی در حدود۲۲۵۰ ha را اراضی کشاورزی و باغات و قلمستان‌ها تشکیل داده است. از لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی عمده نواحی غربی حوضه از واحدهای متراکم و فیلیت‌های کرتاسه همچنین شیل‌ها و باندهای سنگی آهکی تشکیل‌شده است (Anonymous 2008). البته نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم شامل تناوبی از مخروطه افکنه‌ها، نهشته‌های رودخانه‌ای، زمین‌های زراعتی و پادگانه‌های آبرفتی نیز دیده می‌شود. موقعیت حوضه موردمطالعه در شکل (۱) آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت کلی حوزه آبخیز زریبار

Fig. 1 Location of Zaribar Watershed

۲-۲- رسوب‌سنجی مخازن

برای برآورد میزان رسوب انباشته‌شده در پشت سدهای رسوب‌گیر به طریق کار میدانی و ژئومتری، ابعاد سازه‌های احداث‌شده شامل ارتفاع سازه از کف بستر، طول تاج سازه، طول رسوب‌گذاری در مسیر آبراهه اندازه‌گیری و مقدار حجم رسوب ذخیره‌شده برآورد شد. بدین منظور ابتدا نقشه گسترش رسوبات نهشته شده در مخازن سدها از طریق نقشه‌برداری تعیین و ابعاد هر مخزن مشخص و سپس شبکه‌بندی انجام شد. ابعاد شبکه در این پژوهش برحسب مساحت مخزن رسوب، از شبکه‌های با ابعاد ۲ تا ۳ m متغیر بود. برای مخزن بزرگ ابعاد ۳×۳ m تعیین شد. در این مخزن تعداد ۳۵ نقطه حفر و عمق رسوب جمع شده مشخص شد. در سایر بندها نیز از شبکه با ابعاد ۲×۲ از ۵ تا ۱۹ m جهت اندازه‌گیری عمق استفاده شد. برای اندازه‌گیری عمق رسوبات، به‌دلیل کوهستانی بودن اکثر مناطق محل پژوهش که مشکل تردد ادوات برای به‌کارگیری چاله‌کن وجود داشت، از ابزار-های دستی و برای قسمت‌های زیرین از آگر استفاده شد در شکل (۲) شبکه‌بندی چاله‌کنی (گمانه) و استفاده از آگر دستی برای به‌دست آوردن عمق و حجم رسوبات جمع‌شده نشان داده‌شده است. در مرکز تقریبی مخزن رسوب، اولین گمانه ایجاد و سپس از طریق فواصل مشخص گمانه‌های بعدی حفر شدند. از نقاط گمانه، لایه نقطه‌ای و از آن DEM تهیه شد. سپس موقعیت دقیق سازه‌ها بر روی نقشه تعیین و سطح اثر هر سازه ترسیم شد. با استفاده از روش محاسبه رسوبات و نیز نرم‌افزار SURFER ابعاد شبکه‌بندی و عمق اندازه‌گیری شده رسوبات در مخزن هر بند رسوب‌گیر به لایه سه‌بعدی تبدیل و سپس حجم رسوبات محاسبه شد. نرم‌افزار SURFER قابلیت رسم سه‌بعدی پروفیل را دارا می‌باشد و میزان حجم را به‌دست می‌دهد. وزن مخصوص ظاهری و حقیقی نمونه‌ها با استفاده از استوانه‌های مخصوص (تین) و نمونه‌برداری و سپس آنالیز نمونه‌های رسوبات و خشک‌کردن در آون در محیط آزمایشگاه، محاسبه شدند.

۲-۲- برآورد رسوب با استفاده از مدل MPSIAC

برای تعیین میزان رسوب به لایه‌های اطلاعاتی جهت واردکردن نتایج آن‌ها به مدل استفاده شد. نقشه‌ها با استفاده از ابزارهای تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و عملیات میدانی تهیه شدند. با تلفیق این لایه‌های اطلاعاتی و بهره‌گیری از جدول امتیازبندی عوامل مدل MPSIAC، امتیاز عوامل نه‌گانه موردنیاز مدل تعیین شدند(Borooshke et al. 2018) . سپس از جمع ۹ فاکتور مؤثر بر رسوب‌دهی حوضه، میزان رسوب‌دهی و با توجه به آن، کلاس (رده) رسوب‌دهی مشخص شد. برای تعیین فاکتور فرسایش‌پذیری خاک، از امتیاز خاک در سطح هر زیر حوضه و در بالادست بندها استفاده شد. امتیاز اقلیم از منحنی‌های شدت، مدت، فراوانی برای تعیین بارندگی شش‌ساعته با دوره بازگشت دوساله استفاده‌شده است (Anonymous 2008).

شکل ۲- انجام رسوب‌سنجی در مخازن رسوب: الف- شبکه‌بندی مخزن رسوب ب- حفر پروفیل با اوگر

Fig. 2 View of sediment measurements in sediment reservoirs: a) Sediment reservoir networking and b) Manually drilled holes

امتیاز زمین‌شناسی از جدول اصلاح‌شده Peyrowan and (Shariat Jafari 2013) استفاده شد. برای تعیین تأثیر (امتیاز) عامل رواناب در روش PSIAC از رابطه (۱) استفاده شد.

$$x_4 = 0.03\ R + 50Q_p \qquad (۱)$$

که، X_4 ارتفاع رواناب سالانه (mm) و Q_P دبی پیک ویژه برحسب $m^3/s.km^2$ است. امتیاز عامل توپوگرافی، از نقشه شیب مستخرج از DEM، محاسبه شد. امتیاز عامل لیتولوژی، از نقشه زمین‌شناسی کشور برای محل موردمطالعه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، امتیاز عامل شکل حوضه با استفاده از مطالعات فیزیوگرافی حوضه و ضریب تراکم به دست آمد.

جدول۱- عوامل مؤثر در مدل MPSIAC (Mohamadiha et al. 2011)

Table 1 Effective factors in MPSIAC model (Mohamadiha et al. 2011)

Row	Effective factors	Equation	Factor describtion
1	Geology	Y1 =X1	Y1 =Geologic erosion index
2	Soil	X2=16/67 K	K= Soil erodibility factor
3	Climate	X2=0/2P2	P2 = 6h precipitation -2 year return period
4	Run off	X4=0/006R+10QP	R= Run off, Qp = Annual peak discharge
5	Topography	X5=0/33 S	S = Average slope
6	Land cover	X6=0/2 Pb	Pb = Bare groun(percent)
7	Land use	X7=0/2 Pc	Pc =Canopy cover (percent)
8	Surface Erosion	X8=0/25 SSF	SSF = Sum factors in BLM method
9	Gully erosion	X9=1/67 SSFg	SSFg =Gully erosion in BLM method

امتیاز عامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی با استفاده از تهیه نقشه پوشش گیاهی به‌صورت وزنی تعیین شد. امتیاز عامل فرسایش خندقی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی و امتیاز فرسایش رودخانه‌ای از طریق نمره نهایی فرسایش خندقی عامل سطحی خاک در روش BLM[1] به دست آمد. امتیاز فرسایش سطحی براساس امتیاز هفت عامل در روش BLM مشخص شدند. پس از تعیین امتیاز مربوط به هر فاکتور، مجموع نمرات هفت فاکتور را در نظر گرفته و با احتساب درصد وزنی وسعت هر واحد، نمره نهایی محاسبه شد. در جدول (۱) عوامل تعیین امتیاز مدل ارائه‌شده است (Mohamadiha et al. 2011).

۲-۳-ارزیابی کارایی مدل MPSIAC

به‌منظور ارزیابی کارایی مدل، از آزمون‌های آماری از جمله میانگین نسبی ریشه مربعات خطا[2](RRMSE) و آماره Nash and Sutcliff (1970) استفاده شد. با محاسبه خطای آزمایش یا واریانس خطا و مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای مخازن و رسوب برآورد شده مدل و اطمینان از صحت و نرمال بودن داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. خطای نسبی از رابطه (۲) محاسبه شد (Van Rompaey and etal. 2001)

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i - p_i)^2}}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}Q_i} \qquad (۲)$$

که، n تعداد داده‌ها، O_i مقدار رسوب مشاهده‌شده و P_i مقدار رسوب برآورد شده است. دامنه تغییرات RRMSE از صفر تا بی‌نهایت است و مقدار آن هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل بیش‌تر است. ضریب کارایی مدل ME[3] از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - Q_{imean})^2} \qquad (۳)$$

که، Q_{mean} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده رسوب است. پس از محاسبه آماره‌های فوق و تعیین حدود اعتماد مدل، برای ارزیابی دقت آن، مقادیر رسوب محاسبه‌شده و اندازه‌گیری شده در بالادست بندها مقایسه و مقدار همبستگی آن‌ها با استفاده از رابطه رگرسیون R^2 به‌دست آمد. هرچه ضریب همبستگی بزرگ‌تر باشد، بیانگر دقت بیش‌تر مدل است. همچنین برخی پارامترهای آماری داده-های رسوب از جمله میانگین[4]، میانه، انحراف معیار[5]، ضریب تغییرات (CV)[6]، چولگی[7]، کشیدگی[8]، دامنه[9]، حداقل، حداکثر و خطای استاندارد میانگین[10] داده‌ها محاسبه شدند. چولگی نشان‌دهنده میزان عدم تقارن توزیع احتمالی است. اگر داده‌ها نسبت به میانگین متقارن باشند، چولگی برابر صفر خواهد بود. چولگی در حقیقت معیاری از وجود یا عدم

[1]Bureau of Land Management
[2]Relative Root Mean Square Error
[3]Mean Error
[4] Average
[5] Standard Deviation
[6] Coefficient of Variation
[7] Skewness
[8] Kurtosis
[9] Range
[10] Standard error of the mean

تقارن تابع توزیع می‌باشد. برای یک توزیع کاملاً متقارن چولگی صفر و برای یک توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر بالاتر چولگی مثبت و برای توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر کوچک‌تر مقدار چولگی منفی است. کشیدگی نیز نشان‌دهنده ارتفاع یک توزیع و معیاری از بلندی منحنی در نقطه ماکزیمم است که برای توزیع نرمال برابر ۳ می‌باشد. کشیدگی مثبت یعنی قله توزیع موردنظر از توزیع نرمال بالاتر و کشیدگی منفی نشانه پایین‌تر بودن قله از توزیع نرمال است (Johnson et al. 2001). خطای استاندارد میانگین نیز از تقسیم انحراف معیار بر تعداد نمونه‌ها محاسبه و نشان می‌دهد که میانگین داده‌ها در محدوده‌ی چه دامنه‌ای از میانگین نمونه قرار دارد. سپس آزمون مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون تی جفتی برای تعیین رابطه معنی‌دار بودن یا نبودن داده‌های مشاهداتی و محاسباتی انجام شد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- نتایج محاسبه رسوب

پس از بررسی عوامل نه‌گانه مؤثر در تولید رسوب در روش MPSIAC، مجموع امتیاز این نه لایه برای هر واحد هیدرولوژیکی به‌دست آمد. برای برآورد حجم رسوبات مشاهده‌ای، از روش رسوب سنجی مخازن سدهای رسوب‌گیر که در روش کار تشریح شد، استفاده شد. نتایج محاسبه رسوب در جدول (۲) ارائه‌شده است.

جدول۲- نتایج محاسبه رسوب با استفاده از اندازه‌گیری مخازن رسوب و مدل MPSIAC

Table 2 the amount of sediment production using sediment measurement in reservoirs f check dams and MPSIAC model

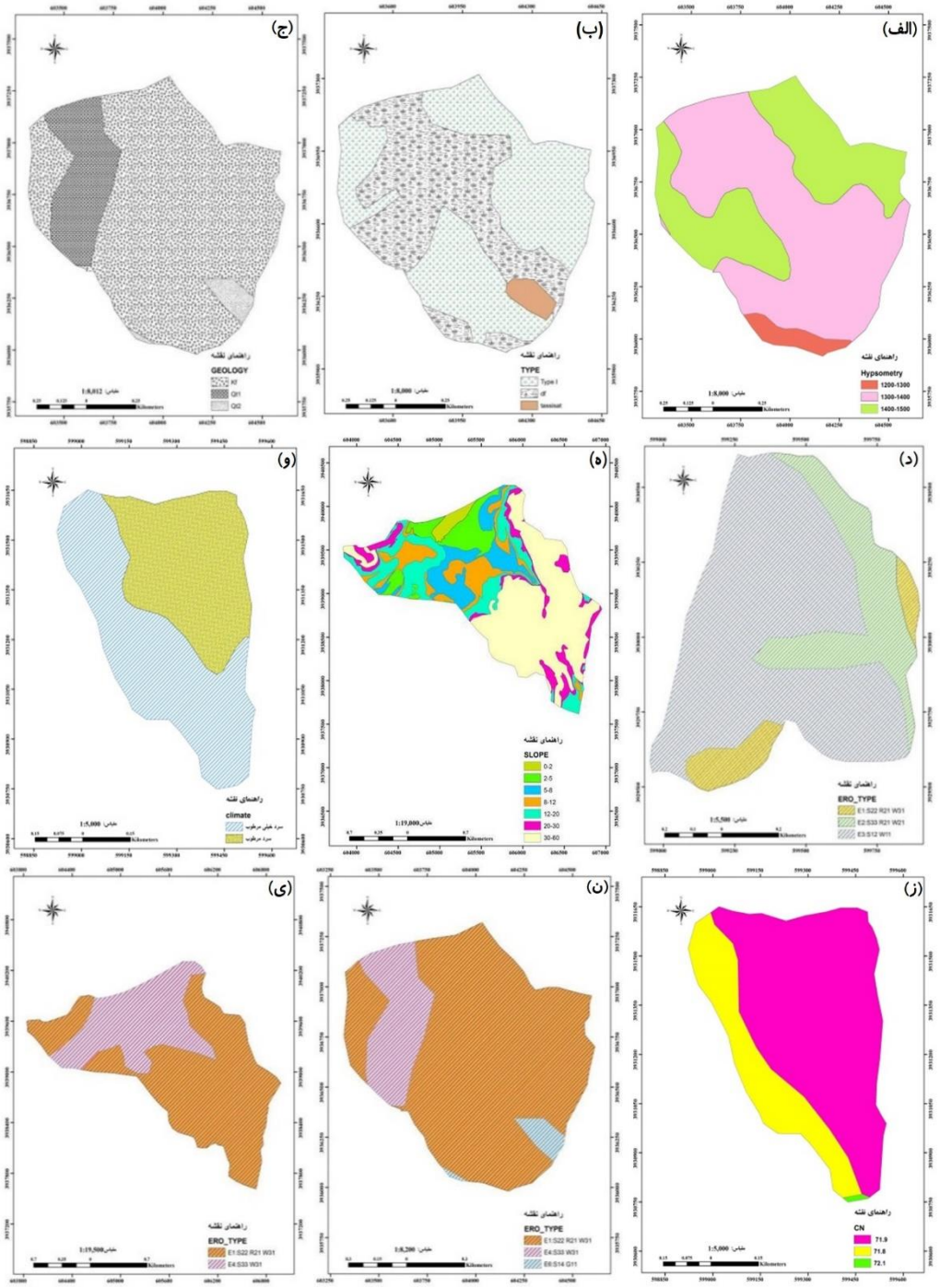
Sub basin	Sub basin Area (ha)	Duration (year)	Bulk Density (gr/cm^3)	Measured sediment ($m^3/ha.yr$)	Predicted sediment ($m^3/ha.yr$)
Kanisanan	18.1	11	1.1	0.25	1.24
Dolash	72.4	13	1.04	0.5	1.98
Daratfe1	36.8	13	1.1	0.184	1.34
Daratfe2	2.4	13	1.3	0.28	1.24
Mohamade	369.7	14	1.1	0.41	2.71
Saif1	0.7	14	1.1	0.35	2.71
Saif2	24.8	14	1.2	0.3	2.71
Saif3	20.5	14	1.0	0.29	2.71
Kolan	116.8	22	1.2	1.18	2.96
Saife Sofla	116.2	22	1.15	0.03	0.61

جدول (۲) نشان می‌دهد که با اندازه‌گیری رسوب مخازن بندهای رسوب‌گیر، واحد هیدرولوژیکی کولان بیش‌ترین میزان رسوب و واحد هیدرولوژیکی سیف سفلی کم‌ترین میزان رسوب را داشته است. بر طبق نتایج مدل مورداستفاده، برای واحدهای هیدرولوژیکی کولان و سیف سفلی به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار رسوب برآورد شده است. در شکل (۳) نقشه برخی لایه‌های اطلاعاتی واحدهای هیدرولوژیکی که برای محاسبه میزان رسوب در محیط GIS، به‌عنوان نمونه‌هایی از لایه‌های اطلاعاتی تهیه‌شده که در این پژوهش تهیه‌شده‌اند، از جمله نقشه شیب، نقشه لیتولوژی، نقشه عامل رواناب، نقشه پوشش گیاهی و نقشه فرسایش، آورده شده است.

۳-۲- تحلیل آماری و کارایی مدل

نتایج تحلیل آماری بر روی مقادیر مشاهداتی در جدول (۳) نشان داده‌شده است. این جدول نشان می‌دهد که متوسط رسوب اندازه‌گیری مخازن برای ۱۰ واحد هیدرولوژیکی موردبررسی، برابر ۰/۳۸ $m^3/ha.yr$ و انحراف استاندارد داده‌ها ۰/۳۵ می‌باشد. نتایج بر طبق مدل MPSIAC نیز متوسط رسوب برآورد شده ۲/۰۲ ، حداقل رسوب برآوردی ۰/۶۱ و حداکثر رسوب برآوردی ۲/۹۶ $m^3/ha.yr$ می‌باشد. انحراف استاندارد داده‌ها ۰/۲۷ محاسبه شد. همچنین چولگی داده‌ها

برای مقادیر مشاهداتی برابر ۲/۲، که نشان‌دهنده نرمال بودن داده‌ها می‌باشد. این مقدار برای داده‌های برآوردی ۱/۵۴- به دست آمد که تا حدودی حاکی از برآورد زیاد در جهت منفی است. ضریب تغییرات برای داده‌های مدل ۴/۱ و برای داده‌های مشاهداتی نیز ۸/۴ به‌دست آمد. مقایسه آمار و ارقام ذکرشده فوق حاکی از اختلاف داده‌های مشاهداتی با داده‌های برآورد شده مدل است.



شکل ۳- لایه‌های اطلاعاتی واحدهای هیدرولوژیکی بر طبق مدل MPSIAC: الف-نقشه هیپسومتری کولان، ب- نقشه پوشش گیاهی سیف، ج- نقشه لیتولوژی کولان، د- نقشه فرسایش دولاش، ه- نقشه شیب محمده، و- نقشه اقلیم دره تفی، ز- نقشه رواناب دره تفی، ن- نقشه فرسایش سیف و ی-نقشه فرسایش محمده

Fig. 3 Sub-basin output maps using MPSIAC model: a) Kolan histohometric map, b) Saif land coer map, c) Kolan lithology map, d) Dolash erosion map, e) Mohamada slope map, f) Daratfe climate map, g) Daratfe runoff map, h) Saif erosion map and i) Mohamada erosion map

جدول۳- آمار به‌دست‌آمده از آنالیز مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی رسوب
Table 3 Statistical parameters of observed and predicted data

Parameters	Observed SSY (m^3/ha.yr)	Predicted SSY (ton/ha.yr)	Predicted SSY(m^3/ha.yr)	Observed SSY(t/ha.yr)
Average	0.38	0.43	2.02	2.26
Mean	0.77	0.33	2.34	2.38
Standard error of the mean	0.35	0.41	0.27	0.30
Standard deviation	0.32	0.37	0.84	0.95
CV	8.40	8.60	4.10	4.20
Skewness	2.20	2.80	-1.54	-1.3
Kurtosis	6.00	1.70	-0.44	-0.24
Range	1.15	1.38	2.35	2.85
Minimum	0.03	0.04	0.61	0.70
Maximum	1.18	1.42	2.96	3.75
No.	10	10	10	10

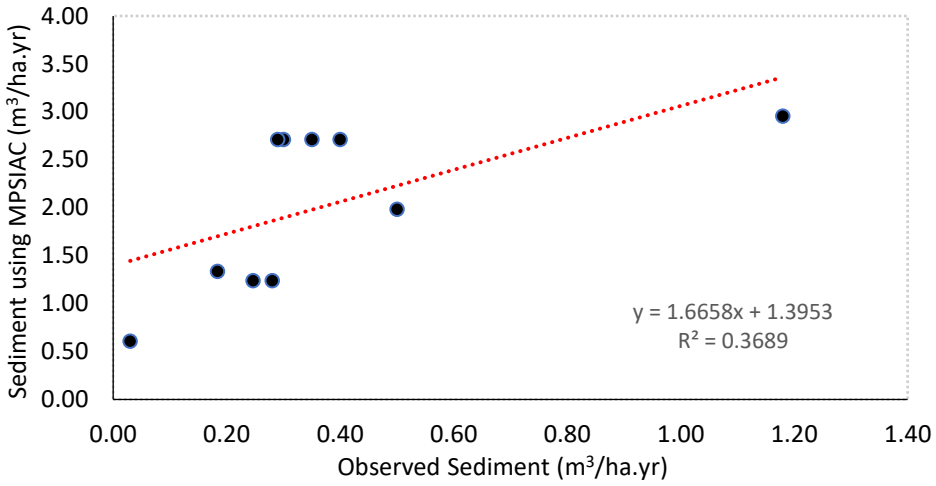
میانگین نسبی ریشه مربعات خطای برآورد مدل MPSIAC برای مقادیر حجمی رسوبات برابر ۰/۲۷ و برای مقادیر وزنی۰/۳ به‌دست آمد که با توجه به دامنه تغییرات نشانه کارایی مناسب مدل است. میانگین نسبی ریشه مربعات خطای برآورد مقادیر مشاهده‌ای برای مقادیر وزنی رسوبات برابر ۰/۳۵ و برای مقادیر حجمی ۰/۲۷ به‌دست آمد که با توجه به دامنه تغییرات نشانه کارایی مناسب روش مذکور است. برای بررسی میزان خطای برآوردها از معیارهای آماری استفاده شد که نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است.

جدول۴- نتایج محاسبه خطای نسبی و کارایی مدل MPSIAC
Table 4 Results of relative error and MPSIAC efficiency

Sub Basin	Observed values (m^3/ha.yr)	Predicted value (m^3/ha.yr)	ME
Kanisanan	0.25	1.24	4.03
Dolash	0.50	1.98	2.96
Daratfe1	0.184	1.34	6.28
Daratfe2	0.28	1.24	3.43
Mohamade	0.41	2.71	5.78
Saif1	0.35	2.71	6.74
Saif2	0.3	2.71	8.03
Saif3	0.29	2.71	8.35
Kolan	1.18	2.96	1.50
Saife Sofla	0.03	0.61	17.75
	Total		6.3

نتیجه ارزیابی مقدار رسوب برآورد شده با مدل MPSIAC حاکی از تخمین نسبتاً خوب مدل با خطای نسبی ۶/۳۰ است. در تمامی حوضه‌های موردبررسی، میزان خطا بالاتر از یک است. کمترین خطای نسبی مربوط به واحد کولان با ۱/۵۰ و بیش‌ترین خطای نسبی مربوط به واحد سیف سفلی با ۱۷/۷۵m^3/ha.yr است. مقدار ME برای مقادیر برآوردی رسوب‌دهی با مدل MPSIAC ، برابر ۰/۳۵۷ – به‌دست آمد که نشان می‌دهد این مدل از کارایی مناسبی برخوردار نیست. میانگین نسبی ریشه مربعات خطای برآورد مدل MPSIAC برای مقادیر حجمی رسوبات برابر m^3/ha.yr ۰/۴۷۱ به‌دست آمد که با توجه به دامنه تغییرات نشانه کارایی ضعیف مدل است. میانگین نسبی ریشه مربعات خطای برآورد مقادیر مشاهده‌ای برای مقادیر وزنی(ton/ha.yr) برابر ۰/۱۲ و برای مقادیر حجمی ۰/۹۷ به‌دست آمد. با استفاده از نتایج جدول فوق کارایی مدل تجربی MPSIAC برابر ۶/۳ می‌باشد و حاکی از اختلاف با ارقام اندازه‌گیری شده می‌باشد و کاربرد مدل MPSIAC برای محل پژوهش دارای کارایی نامناسب است. نتایج آنالیز آماری مقایسه مقادیر رسوب‌دهی واقعی واحدهای هیدرولوژیکی اندازه‌گیری شده از مخازن سدها و بندها با مقادیر برآورد شده مدل MPSIAC از طریق آزمون t جفتی نیز نشان داد که در سطح ۵٪، بین میانگین مقادیر حجمی و وزنی رسوب‌دهی برآوردهای مدل MPSIAC با مقادیر اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج محاسبه همبستگی رسوب برآوردی و مشاهده‌ای نشان داد که همبستگی (R^2=0.37) داده‌ها پایین و خطای استاندارد بالا (۱/۳۴) می‌باشد. همچنین آزمون t در سطح اعتماد ۹۵٪ اختلاف معناداری را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش با نتایج

Hashemi et al. (2010)، در استان سمنان همخوانی دارد و مدل MPSIAC برای مناطق موردبررسی کارایی مناسبی نداشته است. نمودار شکل(۳) نیز معادله به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد.



شکل۴- نمودار همبستگی رسوب مشاهده‌ای و برآوردی

Fig.4 Correlation of measured and estimated sediment data

شکل (۴) بیانگر ارتباط نسبتاً کم بین دو سری داده مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. در این پژوهش میزان فرسایش و تولید رسوب محاسبه‌شده به‌وسیلهٔ مدل MPSIAC، چند برابر بیش‌تر از میانگین کل رسوب تولیدی حوضه است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج Bayrami et al. (2018)، در حوزه آبخیز گرمی چای اردبیل و نتایج به‌دست‌آمده توسط Shojaei et al. (2017)، در حوضه گابریک مشابهت دارد. در حوضه زریبار نیز نتایج به‌دست‌آمده توسط Feiznia et al. (2016)، از طریق منشأیابی که واحد SK-Hf در جنوب غربی حوضه بیش‌ترین نقش را در تولید رسوب ایفا نموده، با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در محل پژوهش برای تعداد ۱۰ واحد هیدرولوژیکی و رسوب‌سنجی مخازن در خروجی بندهای رسوب‌گیر احداث‌شده که بیش از ده سال از سن آن‌ها سپری‌شده بود و مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با نتایج مدل MPSIAC، نتیجه گرفته شد که:

۱- حداقل رسوب اندازه‌گیری شده ویژه براساس رسوب سنجی برابر ۰/۰۳ $m^3/ha.yr$ برای واحد هیدرولوژیکی سیف سفلی با کاربری جنگلی و سنگ‌شناسی دگرگونی‌های درجه پایین فیلیت و حداکثر برابر ۱/۱۸ $m^3/ha.yr$ برای واحد هیدرولوژیکی کولان با کاربری زراعی و لیتولوژی، آبرفت میان‌کوهی به‌دست آمد.

۲- بر اساس مقدار رسوب برآورد شده از مدل MPSIAC، کم‌ترین مقدار رسوب ۰/۶۱ $m^3/ha.yr$ در سال برای آبخیز سیف سفلی و بیش‌ترین رسوب ۲/۹۶ $m^3/ha.yr$ برای آبخیز کولان اندازه‌گیری شد. هرچند دامنه تغییرات نتایج در دو حالت مذکور، برای واحدهای هیدورلوژیکی، متفاوت است، اما میانگین برای کل حوضه، حدود ۱۷/۷۴٪ است.

۳- میانگین رسوب مخازن سدها رسوب‌دهی آن‌ها، ۰/۳۷۶ و میانه آن ۲/۳۴ $m^3/ha.yr$ است. حداقل رسوب‌دهی، ۰/۶۱ و حداکثر آن برابر ۲/۹۶ $ton/ha.yr$ اندازه‌گیری شده که نشان‌دهنده تغییرات بالای رسوب‌دهی واحدهای هیدورلوژیکی می‌باشد.

۴- شاخص‌های آماری و آزمون مقایسه میانگین‌ها به‌روش t جفتی نشان داد که در سطح ۵٪، میانگین برآوردهای حجمی مدل MPSIAC با مقادیر اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌دار داشته و مقدار برآورد شده مدل، در محدوده قبول آزمون مذکور قرار نمی‌گیرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات و

آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان به خاطر تـأمین منابع مالی و امکانات لازم برای اجـرای ایـن طـرح پژوهشـی، همچنین از حمایت‌های معنوی همکاران محترم سپاسگزاریم.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های این پژوهش در متن مقاله ارائه‌شده اسـت. جزئیـات بیش‌تر از دادها در گزارش نهایی بـا همـین عنـوان، از طـرف نویسنده مسئول قابل‌دسترسی می‌باشد.

References

Alipour H., Khairkhahzarkesh M., Malekian A. and Gharachlo S. (2016). Estimation of erosion and sedimentation severity of Iver watershed using MPSIAC experimental method. J. Geogr. Develop., (8), 243-246 [In Persian].

Anonymous. (2008). Consulting Engineers sustainable Idepardazan. Detailed and executive studies of Zaribar Marivan watershed [In Persian].

Anonymous. (1995). Environmental protection of Kurdistan province. Report of evaluation and limnological studies of Zaribar Lake [In Persian].

Bayat, R., Ghermezcheshma, B. and Khaledian, H. (2013). Investigating the relationship between some climatic characteristics and soil erosion of Zarivar Lake. Proc.2013, The first hydrological conference of semi-arid regions, Sanandaj, Iran [In Persian].

Bayrami, B. and Talaei, R. (2018). Evaluation and zoning of erosion intensity and sediment production using MPSIAC model (Case study of Germichay watershed in Ardabil province). Proc.2018, 3rd Int. Conf. Soil Conservation and Watershed Management with a focus on Monitoring and evaluation of resources and their management in watersheds, Tehran, Iran [In Persian].

Borooshke, E. and Arabkhedri, M. (2015). Evaluation of MPSIAC and EPM empirical models in Western Azerbaijan Province based on sediment surveying behind small dams. J. Watershed Eng. Manag., 7(3), 265-273 [In Persian].

Borooshke, E. and Sokouti, R. (2018). Comparative efficacy of some empirical models to sediment yield in small catchments. J. Agri. Forest., 64 (2), 163-173.

Daneshafarz, R., Rahmati, M. and Akbari Moghanji, Q. (2017). Soil erosion and sediment mapping in Aidoghmoush watershed using MPSIAC model and GIS and RS technologies. J. Environ. Resour. Res., 5(1). 35-49.

Ebrahimi, N. (2019). Estimation of erosion and sediment production with MPSIAC model (Case Study: Banrahman Basin, Ilam Province), Proc. 2019, 14th Int. Conf. Watershed Management Science and Engineering of Iran with the focus on watershed management and comprehensive soil and water management, Urmiah, Iran [In Persian].

Feiznia, S. and Hesami, D. (2016). Determining the sediment yield of geological formation using sediment fingerprint (Case study: Kurdistan Zaribar Lake watershed). J. Environ. Water Eng., 2(3), 236 – 246.

Ghavam, M., Alboali, A. and Darerodi, M. (2014). Investigating the function and ability of experimental models in estimating erosion and sediment production. J. Geogr. Quart. Land, Geogr. Space., 12(48), 71-78 [In Persian].

Gusman, C. Y. (2012). Assessment of uncertainties of soil erosion and sediment yield estimates at two spatial scales in the upper Lobergat Basin. PhD Thesis, University of Barcelona. Barcelona, Spain. 236 pp.

Johnson, M. D., Gustafson, A., Andreassen, T. W., Lervik, L. and Cha, J. (2001). The evolution and future of national customer satisfaction index models. J. Econom. Psychol., 22(2), 217-245.

Khaledian, H. and Bayat, R. (2017). The Role of Watershed management projects in reducing erosion and sediment of watersheds. J. Environ. Water Eng., 3(3), 200– 213. [In Persian].

Kavian, A., Askarian R., Nateghi T., Jafarianjelodar Z. and Safari A. (2013). Evaluation of efficiency of PSIAC, FSM and EPM models in estimating rangeland sediment production (Case study: Sorkhabad watershed, Mazandaran Province). J. Geogra. Space, 14(48), 57-79 [In Persian].

Lashkarian, N. P., Arabkhedri, M. and Shadfar, S. (2018). Evaluation of EPM model results in sediment estimation of small basins. Proc.2018. 3rd Nat. Conf. Soil Conservation and Watershed Management with a focus on monitoring and evaluation of resources and their management in watersheds, Tehran [In Persian].

Maghsodi M., Jafarbiglo M. Rahimi A. (2013). Sedimentary evidence of climate change in Zarivar Lake during the Holocene. J. Nat. Geogra. Res., 46(1), 43-58 [In Persian].

Mousavi, S.M., Gholamnia, K., Mamsheli, M. R. and Roustaei, S.H. (2017). Combining FSM method and morphometric analysis in sub-basin ranking using RS and GIS techniques (Case study: Ozroud Basin). J. Echo. Hydrol., 4(1), 247-257[In Persian].

Peyrowan, H. R. and Shariat Jafari, M. (2013). Presentation of a comprehensive method for determining erodibility rate of rock units with a review on Iranian geology. J. Watershed Eng. Manage., 5(3).200-213 [In Persian].

Rahimi, A. and Rahimi, H. (2013). Study of geomorphological evidence of Zarivar Lake sediment changes using granometric analyzes. Proc. 4th Nat. Student Conference on Geography. Tehran [In Persian].

Hashemi, S. A. A. and Arabkhedri, M. (2010). Sediment measurement in reservoirs of small dams for evaluation of MPSIAC model in Semnan province. J. Watershed Eng. Manage., 2(1), 25-34.

Arkhazloo, S., Zahed, H. and Asghari, S. (2019). Comparison of two MPSIAC and MMF models in soil erosion mapping of Ardebil Agh Gouni watershed. J. Environ. Erosion Res., 34(9), 72-88.

Shahiri, T. E. and Afzalimehr, H. (2020). Estimation of annual erosion and sedimentation in Babolroud Catchment using MPSIAC model. J. Environ. Water Eng., 6(3), 192-205.

Shojaei, S. H., Nora, M. and Habibi, S. (2017). Estimation of sedimentation and erosion using MPSIAC and FSM experimental models and direct measurement method (Case study: Gabrik watershed, southeast of Iran). J. Environ. Erosion Res., 8(4), 82-100 [In Persian].

Mohamadiha, M., Peyrowan, H. R., Mousavi Harami, R. and Feiznia, S. (2011). Evaluation of soil erosion and sediment yield using semi quantitative models: FSM and MPSIAC in Eivaneki watershed and the sub basins (Southeast of Tehran/Iran). J. Am. Sci., 7 (7), 234-239.

Nash, J. E. and Sutcliff, J. V. (1970). River Flow Forecasting through Conceptual Models Part I-A Discussion of Principles. J. Hydrol., 10, 282-290.

Van Rompaey, A. J. J., Verstaeten, G., Van Oost, K., Govers, G. and Poesen, J. (2001). Modeling mean annual sediment yield using a distributed approach. J. Earth Surf. Process. Landform., 26,1221- 1236.

Zahra, N., Keyhani, N., Rezaei, K., Naeimi Nezamabad, A. and Vaziri, S. H. (2013) Sediment yield and soil erosion assessment by using an empirical model of MPSIAC for Afjeh and Lavarak sub-watersheds, Iran. J. Earth Sci., 2(1), 14-22.

Zarei, A. R. and Amiri, M. J. (2017). Evaluation of soil losses and sediment yield using MPSIAC model. J. Iran Agri. Res., 36(1). 111-116.

Research Paper

Evaluation of the MPSIAC Model for Estimating Sediment in Zaribar Watershed

Hossein khaledian[1*] and Ata Amini[2]

[1]Research Lecturer, Kurdistan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran`
[2]Assoc. Professor, Kurdistan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran

*Corresponding author**:** khaledian_h@scwmri.ac.ir

Received: December 25, 2020 **Revised:** March 17, 2021 **Accepted:** March 28, 2021

Abstract

One of the problems of watershed erosion control is the lack of sediment data to accurately estimate erosion and sediment yield. Sediment estimation using empirical models is common due to its ease of use, which has somewhat remedied the lack of statistical data, but it is essential to ensure the accuracy of models. To evaluate the efficiency of MPSIAC model in Zaribar watershed, a number of sediment check-dams that were at least ten years old, were selected. After determining the depth of sediments and preparing a map using surfer software, the volume of sediments in check-dam reservoirs was calculated and the results with the estimated sediment of the hydrological unit upstream of the check-dams obtained using the MPSIAC model, were compared. The results indicated that the average of observed data of ten selected hydrological units was 0.38, the minimum sediment was 0.03 and the maximum sediment was 1.18 m^3/ha.yr. The estimated amount of sediment in the model is an average of 2.02, a minimum of 0.61 and a maximum of 2.96 m^3/ha.yr. The results of analysis of both methods using paired t-test showed that the difference between the means for the sedimentation values estimated using the model with the measured values at the level of 5% is not significant. Also, determining the efficiency and RMSE showed that the MPSIAC model is not suitable in study area.

Keywords: Check Dam; MPSIAC Model; Sediment; Zeribar