



اولویت بندی مناطق بحرانی تولید رسوب حوزه آبخیز سد فریمان با استفاده از مدل SWAT

فرزانه ناصری^۱، محمود آذری^{۲*}، محمدتقی دستورانی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
^۲ استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد،
^۳ استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
*پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.azari@um.ac.ir

چکیده

کاهش فرسایش و کنترل رسوب موجود در حوزه‌های آبخیز نیاز به شناسایی مناطق مستعد رسوب و اجرای صحیح اقدامات آبخیزداری می‌باشد. لازمه برنامه‌ریزی درست، کسب اطلاعات از میزان بار رسوب تولیدی از حوضه‌ها و شناسایی حوضه‌های بحرانی می‌باشد. تعیین مقدار رسوب حوضه و توزیع مکانی آن با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی در عمل با چالش جدی مواجه است. امروزه استفاده از مدل‌سازی و مدل‌های هیدرولوژیکی، ابزاری مفید برای شناسایی مناطق مستعد فرسایش است. هدف اصلی این تحقیق شناسایی و اولویت‌بندی مناطق بحرانی حوزه آبخیز سد فریمان با شاخص‌های مختلف می‌باشد. در این مطالعه، از مدل هیدرولوژیکی SWAT برای اولویت‌بندی مناطق بحرانی تولید رسوب استفاده شد. آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل، با استفاده از نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم SUFI-2 انجام گردید. نتایج تحقیق بیانگر کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رسوب با دقت مناسب می‌باشد به طوری که ضریب نشت‌ساز تکلیف دبی ماهانه برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۸۵ و برای رسوب ماهانه در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۷۶ به دست آمد. بررسی توزیع مکانی شاخص‌های رسوب نشان داد که زیرحوضه‌های بحرانی با اولویت بالا در مناطق بالادست حوضه قرار دارند. علاوه بر این در برخی از شاخص‌ها، زیرحوضه‌های میانی حوضه که دارای کاربری زراعت می‌باشند نیز رسوب‌دهی بالایی دارند. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به عنوان راهنمایی در جهت برنامه‌ریزی اقدامات حفاظت آب و خاک به مدیران حوزه آبخیز کمک کند.

واژگان کلیدی: بار رسوب معلق، روش‌های هدف‌گذاری، فرسایش خاک، مدیریت موثر حوزه آبخیز.

مقدمه

آگاهی از وضعیت فرسایش و رسوب بخش‌های مختلف حوزه آبخیز از جمله بخش‌های ضروری در مدیریت حوزه‌های آبخیز می‌باشد. ارزیابی و کنترل بار رسوب معلق به عنوان یکی از مهمترین نگرانی‌های مربوط به کیفیت آب در حوضه‌های بزرگ می‌باشد، به ویژه در حوضه‌هایی که سد در پایین دست آن‌ها احداث می‌شود (Saghafian et al, 2012). از طرفی، شناخت منبع تولید رسوب و تشخیص سهم هر یک از منابع رسوب برای تعیین فعالیت‌های مدیریتی حوزه آبخیز در راستای راه‌کارهای کنترل فرسایش و رسوب و حفاظت خاک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (نصرتی، ۱۳۹۰). مطالعات مختلف نشان داده است که علاوه بر انتخاب اقدام مناسب حفاظتی در عرصه آبخیز، منطقه اجرای آن در حوضه نقش موثری در کاهش رسوب و رواناب خروجی از حوضه دارد این بدین معنی است که کارایی اقدامات حفاظتی و بهترین اقدامات مدیریتی وابسته به مکان اجرا می‌باشد (Giri et al, 2012). با توجه به اینکه اجرای اقدامات حفاظت خاک و آبخیزداری در کل سطح حوزه آبخیز از لحاظ





اقتصادی و اجرایی توجیه ندارد، همواره شناسایی و تعیین اهمیت نسبی منابع رسوب و و رواناب به عنوان مناطق بحرانی^۱ در حوزه آبخیز حائز اهمیت بوده است. در همین راستا، تعیین مناطق بحرانی فرسایش و رسوب و اولویت بندی اراضی به منظور اعمال مدیریت ضروری می باشد، تحقیقات مختلف از جمله (Busteed et al, 2009)، نشان داده است که بسیاری از مواقع تنها بخش کوچکی از یک حوزه آبخیز می تواند مقدار نامتناسبی از بار رسوب کل حوضه را تولید کند. لذا با شناسایی مناطق بحرانی در حوزه آبخیز امکان اجرای اقدامات حفاظتی در سطح محدود با کارایی بیشتر و کاهش هزینه ها امکان پذیر می باشد (Giri et al, 2012). روش های مختلفی برای شناسایی مناطق بحرانی فرسایش و تولید رسوب وجود دارد، اما روشی مناسب است که سریع، نسبتاً دقیق و اقتصادی باشد و علاوه بر این ها بتواند عوامل و فرآیندهای اصلی موثر بر فرسایش و انتقال رسوب و برهم کنش آن ها در سطح حوضه را در نظر بگیرد. امروزه استفاده از مدل سازی و مدل های هیدرولوژیکی، ابزاری مفید برای شناسایی مناطق مستعد فرسایش است (Koch and Grünwald, 2009). مدل SWAT^۲ یکی از مدل های هیدرولوژیکی نیمه فیزیکی و نیمه توزیعی است که در سال های اخیر کاربرد گسترده ای داشته است. روش های متعددی برای تعیین مناطق موثر در دبی، رسوب و آلاینده ها در سطح حوزه آبخیز ارائه شده است که با توجه به هدف و معیار قرار گرفتن سطح حوضه و یا رودخانه در مقیاس حوضه و زیرحوضه نتایج مختلفی را ارائه می کند. شاخص اثر غلظت^۳ شاخص اثر بار کل رسوب^۴، شاخص رسوبدهی حوضه^۵، شاخص رسوبدهی در واحد سطح^۶، شاخص توپوگرافی^۷، شاخص رسوبدهی^۸ و روش پاسخ واحد^۹ از آن جمله می باشد. تعدادی از پژوهشگران (Mishra et al, 2007؛ Pandey et al, 2009 و Daggupati et al, 2009)، با استفاده از مدل SWAT و ملاحظه تاثیر پوشش و کاربری های موجود بر رواناب و رسوب زیرحوضه های متفاوت، منابع فرسایشی از نظر مکانی و زیرحوضه های بحرانی را شناسایی نمودند و آن را برای اولویت بندی اقدامات کنترلی و مدیریتی حوضه های مورد مطالعه خود به کار بردند.

در پژوهشی، (آذری و همکاران، ۱۳۹۰)، به منظور اولویت بندی زیرحوضه های حوزه آبخیز جعفرق در کنترل سیلاب از تلفیق مدل HEC-HMS و HEC-RAS در GIS استفاده کردند و میزان مشارکت زیرحوضه های مختلف را تعیین نمودند. برای اولویت بندی از روش حذف متوالی زیرحوضه های مختلف استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که ۶۶/۱۶ درصد کاهش دبی اوج و ۶۵/۹۸ درصد کاهش حجم سیلاب برای دوره بازگشت ۲۰ سال، متعلق به ۴ زیرحوضه بالادست و میانی بوده و یکی از زیرحوضه های نزدیک به خروجی حوضه اولویت نخست در تولید و مشارکت سیلاب عهده دار بوده است. (زارع گاریزی و همکاران، ۱۳۹۵) با هدف شناسایی و اولویت بندی مناطق بحرانی تولید رسوب حوضه قره سو استان گلستان به شبیه سازی فرسایش و انتقال رسوب با استفاده از مدل SWAT پرداختند. چهار شاخص رسوبدهی در واحد سطح، غلظت رسوب، بار رسوب و شاخص کلی بر اساس خروجی های مدل تعریف و تحلیل شد. نتایج نشان داد که زیرحوضه های بحرانی از نظر شاخص رسوبدهی در واحد سطح در مناطق بالادست حوضه، زیرحوضه های حساس از نظر غلظت رسوب در مناطق میانی حوضه و زیرحوضه های حساس از نظر بار رسوب عمدتاً در پایین دست قرار دارند. (عارفی اصل و همکاران، ۱۳۹۲) با هدف تعیین مناطق بحرانی تولید رسوب در حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان از مدل SWAT استفاده نمودند. نتایج نشان داد ۱۴/۶۴ درصد از اراضی حوضه در اراضی دیم واقع در شیب های ۵۰-۸ درصد قرار دارند. این اراضی با متوسط رسوب بیش از ۲۵ تن در هکتار در سال بحرانی ترین وضعیت تولید رسوب در حوضه را داشتند. بنابراین در اولویت مدیریت و انجام اقدامات حفاظتی قرار گرفتند. (Saghafian et al, 2012) با هدف اولویت بندی زیرحوضه های حوضه قرسو از مدل SWAT و روش پاسخ واحد استفاده

¹ Critical Source Area

² Soil and Water Assessment Tool

³ Concentration Impact Index (CII)

⁴ Load Impact Index (LII)

⁵ Load per Subbasin Area Index (LPSAI)

⁶ Load per Unit Area Index (LPUAI)

⁷ Topographic Index

⁸ Sediment Yield Index

⁹ Unit Response Approach



کردند. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های ۲،۳،۴ و ۱۶ بیشترین تولید رواناب و رسوب را دارند با توجه به این نتایج عنوان داشتند که برنامه‌ریزی کنترل رسوب باید به طور عمده بر روی زیرحوضه ۴ متمرکز شود. (Busteed et al, 2009) با استفاده از مدل SWAT به تعیین مناطق بحرانی از نظر میزان تولید رسوب و فسفر در حوضه ویستر در ایالت اوکلاهما آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد که حدود ۸۵ درصد از آلاینده‌های حوضه تنها از ۱۰ درصد مساحت آن می‌باشد. (White et al, 2009) از مدل SWAT برای شناسایی مناطق بحرانی، از نظر میزان رسوب و فسفر کل در ۶ حوضه آبخیز در اوکلاهما استفاده کردند. نتایج نشان داد که ۵ درصد از مساحت این ۶ حوضه، ۵۰ درصد از سهم کل رسوبات و ۳۴ درصد بار فسفر را ایجاد نموده است. مقدار آلاینده از این مناطق بحرانی بیش از ۴ برابر بیشتر از متوسط مقدار آلودگی‌ها از مناطق کشاورزی در حوضه مورد مطالعه بوده است.

با توجه به سوابق پژوهش شناسایی مناطق بحرانی موثر در رسوب حوضه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این در حالی است که پاسخ شاخص‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد، لذا انتخاب شاخص مناسب یک ضرورت می‌باشد. از این رو هدف از این مطالعه شناسایی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی حوضه سد فریمان با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی و شاخص‌های مختلف می‌باشد.

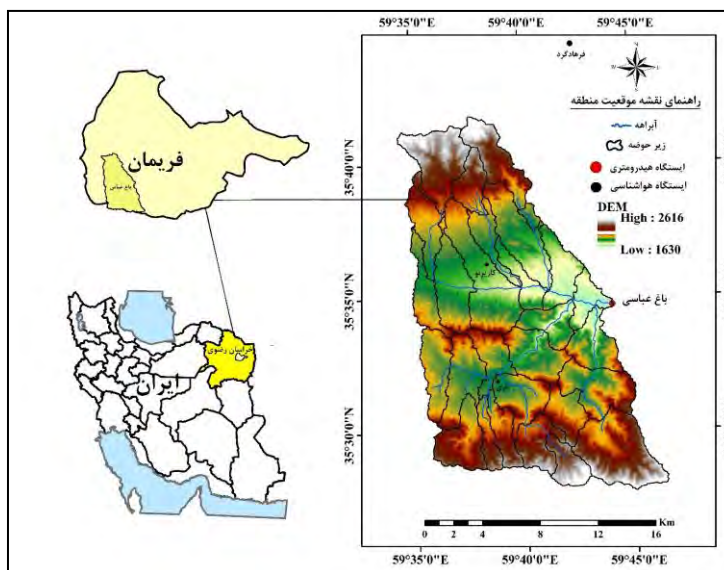
روش تحقیق

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد فریمان با وسعت ۲۷۸/۸ کیلومترمربع در استان خراسان رضوی قرار دارد. اقلیم حوضه بر اساس روش دومارتن، سرد و نیمه‌خشک و متوسط بارندگی ۲۶۲/۹۲ میلی‌متر در سال می‌باشد. با توجه به گزارشات منابع طبیعی حوضه سد فریمان، از جمله حوضه‌های با شدت فرسایش‌پذیری متوسط تا بالا می‌باشد. جدول ۱، مشخصات فیزیوگرافی حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و شکل ۱ نیز نقشه موقعیت حوزه آبخیز سد فریمان در استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات فیزیوگرافی حوضه مورد مطالعه

طول آبراهه اصلی (km)	شیب متوسط حوضه (%)	ارتفاع حوضه (m)			مساحت (km ²)
		حداکثر	متوسط	حداقل	
۲۳/۵۵	۱۶/۹۲	۲۶۱۶	۲۱۲۳	۱۶۳۰	۲۷۸/۸



شکل ۱. نقشه موقعیت حوزه آبخیز سد فریمان در استان خراسان رضوی



مدل SWAT

مدل SWAT، برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز پیچیده و وسیع در دوره‌های طولانی کاربرد دارد. کوچکترین واحد کاری در این مدل، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی^۱ می‌باشد. هر یک از این واحدها ترکیب منحصربه‌فرد از کاربری زمین، خاک و شیب در زیرحوضه می‌باشد (Arnold et al, 1998؛ Alansi et al, 2009). بخش‌های اصلی مدل SWAT شامل، هیدرولوژی، هواشناسی، فرسایش خاک، مواد مغذی، دمای خاک، رشد گیاه، آفت‌کش‌ها، مدیریت کشاورزی و روند جریان رودخانه می‌باشد (Arnold et al, 2012). فرآیندهای هیدرولوژیکی در مدل SWAT به دو مرحله زمینی^۲ و آبی^۳ تقسیم می‌شوند. مرحله زمینی مربوط به فرآیندهای سطح حوضه و ورود آب، رسوب و عناصر شیمیایی به آبراهه اصلی هر زیرحوضه است و مرحله آبی به روندیابی جریان رسوبات بالادست در آبراهه می‌پردازد (Gassman et al, 2007؛ Neitsch et al, 2011). برای روندیابی جریان دو روش ضریب ذخیره متغیر^۴ و ماسکینگام^۵ در مدل تعریف شده است. به‌منظور برآورد تبخیر و تعرق نیز سه پرستلی-تیلور^۶، پنمن-مانتیث^۷ و هارگریوز^۸ در مدل ارائه شده است (Neitsch et al, 2005).

برای شروع کار با مدل SWAT، ابتدا مدل ارتفاع رقومی^۹ به افزونه Arc SWAT 2012 در نرم‌افزار Arc GIS 10.3.1 معرفی شد و با تعریف آستانه ۴۵۰ هکتار، مرز حوضه و زیرحوضه‌ها تعیین گردید. با تعیین محل ایستگاه هیدرومتری باغ‌عباسی به عنوان خروجی حوضه، ۲۸ زیرحوضه تفکیک گردید. در مرحله بعد، به‌منظور تعیین واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی حوضه، نقشه خاک در ۲۰ طبقه، نقشه کاربری اراضی حوضه با ۴ طبقه (زراعت آبی، زراعت دیم، مرتع، مسکونی و روستا) و نقشه شیب با ۵ طبقه (۵-، ۰-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰)، به مدل معرفی شد. داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی ناری، کاریزنو، فرهادگرد و بکاول و دمای بیشینه و کمینه ایستگاه تبخیرسنجی فرهادگرد نیز به مدل معرفی گردید. در نهایت مدل SWAT برای دوره (۲۰۰۰-۱۹۹۱) اجرا شد. علت انتخاب این دوره، عدم اجرای اقدامات آبخیزداری و داشتن شرایط و رفتار طبیعی حوضه بوده است. در این مطالعه سه روش، شماره منحنی، هارگریوز و ماسکینگام به ترتیب برای محاسبه رواناب سطحی، تبخیر و تعرق و روندیابی جریان در رودخانه استفاده گردید. در شکل ۲، نقشه آبراهه و زیرحوضه‌ها مورد مطالعه نشان داده شده است.

به‌منظور آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی SWAT، از الگوریتم نیمه‌خودکار SUFI-2 (Yang et al, Yesuf et al, 2016) استفاده گردید. این الگوریتم، برای ارزیابی عدم قطعیت از دو معیار P-factor و R-factor استفاده می‌کند. P-factor معرف درصد داده‌های مشاهده‌ای است که در محدوده باند عدم قطعیت (95PPU) قرار گرفته است و R-factor نسبت عرض باند 95PPU به انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد (Abbaspour, 2011). به‌منظور آنالیز حساسیت، با توجه به منابع مختلف (Arabi et al, 2004؛ Abbaspour et al, 2015؛ Arnold et al, 2012)، اقدام به انتخاب پارامترهای موثر بر دبی و رسوب در منطقه مورد مطالعه گردید. سپس آنالیز حساسیت به روش کلی بر روی ۳۰ پارامتر انتخاب شده برای دبی و ۱۴ پارامتر برای رسوب انجام شد و پارامترهای حساس مشخص گردید، پس از آن، واسنجی و اعتبارسنجی مدل با مقادیر دبی و رسوب ماهانه انجام گردید. به‌منظور ارزیابی مدل SWAT از شاخص‌های آماری معیار نش‌ساتکلیف^{۱۰} و ضریب تعیین^{۱۱} استفاده گردید. ضریب تعیین نشان‌دهنده همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده می‌باشد و مقدار بهینه این شاخص آماری ۱۰۰ درصد است. مقدار ضریب نش‌ساتکلیف، از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است. هر چه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، مدل از کارایی بالاتری برخوردار است (Moriassi et al, 2007؛ Nash and Sutcliffe, 1970).

¹ Hydrologic Response Units (HRUs)

² Land Phase

³ Water Phase

⁴ Variable Storage

⁵ Muskingum

⁶ Priestley-Taylor

⁷ Penman-Monteith

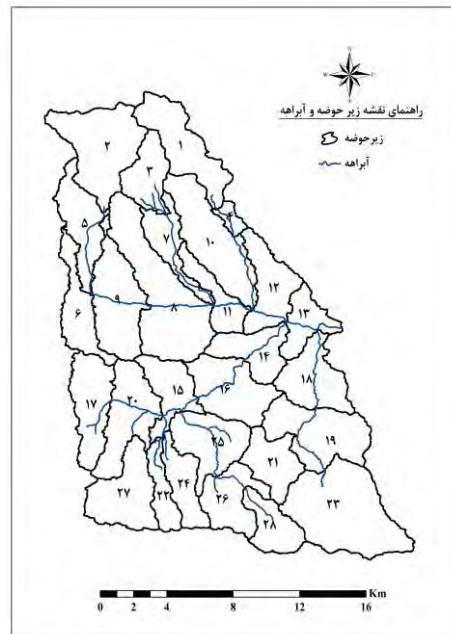
⁸ Hargreaves

⁹ Digital Elevation Model (DEM)

¹⁰ Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient (NSE)

¹¹ Coefficient of Determination (R²)





شکل ۲- نقشه آبراهه و زیرحوضه‌های حوضه مورد مطالعه

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی تولید رواناب و رسوب

در این تحقیق، به منظور شناسایی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی تولید رسوب، پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT برای دوره‌های مورد نظر، از خروجی‌های مدل برای بررسی تغییرات مکانی تولید رسوب در حوضه استفاده گردید. بدین منظور از شاخص‌های مختلف شامل اثر غلظت رسوب (CII)، شاخص اثر بار کل رسوب (LII)، شاخص بار رسوب در واحد سطح زیرحوضه (LPUAI) استفاده گردید. شاخص اثر غلظت رسوب مناطق و زیرحوضه‌های با اولویت بالا را بر اساس غلظت رسوب یا آلاینده‌ها در رودخانه خروجی از زیرحوضه تعیین می‌کند. این شاخص رسوب خروجی از زیرحوضه و همچنین زیرحوضه‌های بالادست را در اولویت بندی لحاظ می‌کند. در شاخص اثر بار کل رسوب معیار اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها میزان کل رسوب خروجی در محل آبراهه یا رودخانه می‌باشد. این شاخص نیز میزان رسوب کل زیرحوضه‌های بالادست را در اولویت بندی در نظر می‌گیرد. در روش شاخص بار رسوب در واحد سطح زیرحوضه، اولویت بالا به زیرحوضه‌هایی تعلق می‌گیرد که میانگین مقدار آلاینده یا رسوب در واحد سطح بیشتر باشد. در این روش معیار اولویت‌بندی مقدار رسوب در هر زیرحوضه بوده که در شناسایی مناطق حساس حوضه می‌تواند مفید باشد. پس از شناسایی زیرحوضه‌های بحرانی، با استفاده از روش Jenks این زیرحوضه‌ها در سه طبقه کم، متوسط و زیاد اولویت‌بندی شدند.

یافته‌ها

نتایج آنالیز حساسیت نشان داد ۱۲ پارامتر برای دبی و ۷ پارامتر برای رسوب از حساسیت بیشتری برخوردارند. جدول ۲ معیارهای ارزیابی مدل را نشان می‌دهد. دقت شبیه‌سازی با استفاده از شاخص ارزیابی نش‌ساتکلیف، دبی ماهانه برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۸۵ و برای رسوب ماهانه در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۷۶ به‌دست آمده است که نشان می‌دهد مدل دارای همبستگی مناسبی بوده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده با تحقیقات مشابه بیانگر نزدیک بودن آماره‌های به‌دست آمده با سایر پژوهش‌ها می‌باشد (Phomcha et al, 2011؛ Baffaut and Sadeghi, 2010؛ Teshager, 2016؛ Briak et al, 2016؛ Hosseini et al, 2012؛ Mahzari et al, 2016؛ Duan et al, 2009). با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲ و طبقه‌بندی (Moriassi et al, (2007، مقدار ضریب‌نش ساتکلیف بین ۰/۷۵ تا ۱ در طبقه "خیلی



خوب"، ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ در طبقه "خوب" و ۰/۵۰ تا ۰/۶۵ در طبقه "قابل قبول" قرار دارد. بر طبق این طبقه‌بندی، شبیه‌سازی در ایستگاه باغ‌عباسی برای دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در طبقات "خیلی خوب و خوب" قرار می‌گیرد.

جدول ۲. معیارهای ارزیابی مدل SWAT برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی

متغیر	دوره	دوره آماری	NS	R^2	P_factor	R_factor
دبی	واسنجی	۱۹۹۷-۱۹۹۱	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۵۴	۰/۶۳
	اعتبارسنجی	۲۰۰۰-۱۹۹۸	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۵۳	۰/۳۸
رسوب	واسنجی	۱۹۹۵-۱۹۹۱	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۴۲	۱/۸۴
	اعتبارسنجی	۲۰۰۰-۱۹۹۸	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۴۴	۱/۴۱

نتایج شاخص‌های مختلف برای رسوب

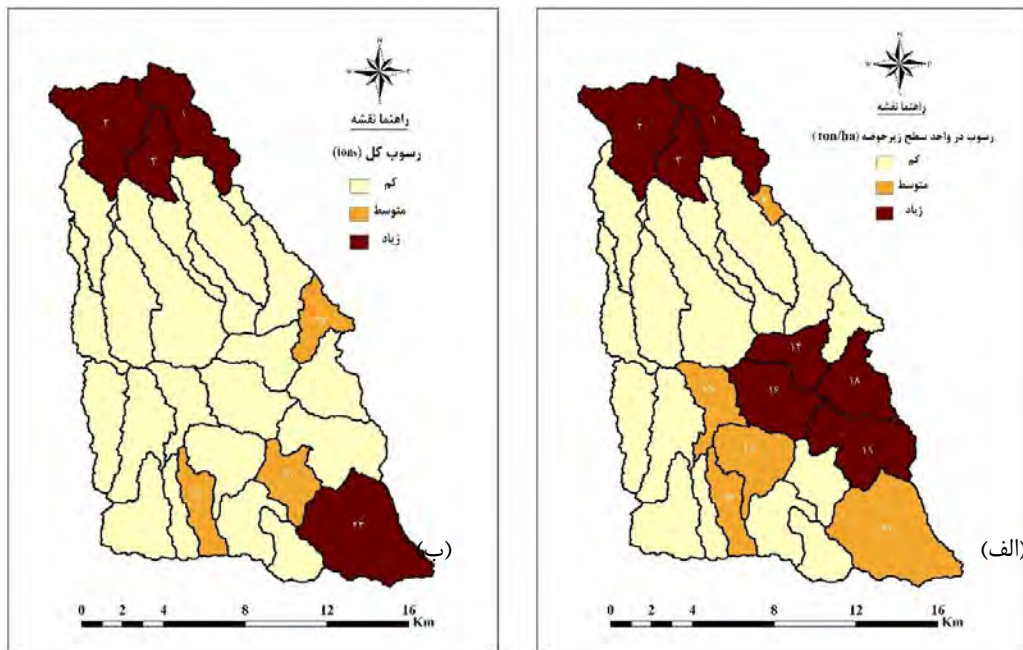
شاخص اثر بار کل رسوب

میزان رسوب بر اساس شاخص اثر بار کل رسوب در زیرحوضه‌های مختلف متفاوت می‌باشد، مقدار آن از ۳۶۵ تن در زیرحوضه ۷ تا ۹۹۱۶۰ تن در زیرحوضه ۲ متغیر می‌باشد. در شکل ۳ (الف) زیرحوضه‌های مختلف از نظر رسوب کل خروجی در سه طبقه کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص در زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳ و ۲۳ می‌باشد و زیرحوضه‌های ۱۳، ۲۱ و ۲۲ در طبقه متوسط قرار گرفته‌اند. سایر زیرحوضه‌ها با توجه به این شاخص در طبقه با حساسیت کم قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد از وضعیت خوبی برخوردارند. شکل ۴ میزان رسوب در هر یک از زیرحوضه‌های حوضه سد فریمان بر اساس شاخص اثر بار کل رسوب را نشان می‌دهد.

شاخص بار رسوب در واحد سطح زیرحوضه

میزان رسوب بر اساس شاخص اثر بار رسوب در واحد سطح زیرحوضه‌های مختلف نیز متفاوت می‌باشد، مقدار این شاخص از ۲ تن در همکنار در زیرحوضه‌های ۲۷ و ۲۸ تا ۶۹ تن در هکتار در زیرحوضه ۱ متغیر می‌باشد. بر اساس این شاخص، زیرحوضه‌های ۱۸، ۱۶، ۱۴، ۳، ۲، ۱۹ و ۱۹ در طبقه با اولویت بالا قرار گرفته‌اند و زیرحوضه‌های ۲۵، ۲۴، ۲۳، ۱۵، ۴ در طبقه با اولویت متوسط قرار گرفته‌اند. در شکل ۳ (ب) اولویت زیرحوضه‌های مختلف با استفاده از این شاخص نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ (ب) زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۳ در مناطق مرتفع با شیب زیاد و مرتعی حوضه قرار دارند و ۴ زیرحوضه منتهی به خروجی حوضه با توجه به شاخص رسوب در واحد سطح، زراعت کاربری غالب آن‌ها می‌باشد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص در زیرحوضه‌های ۱۸، ۱۶، ۱۴، ۳، ۲، ۱۹ و ۱۹ و زیرحوضه‌های ۲۳، ۲۱، ۳ و ۲۴ در طبقه با اولویت متوسط و کمترین مقدار در دیگر زیرحوضه‌ها می‌باشد. شکل ۴ و ۵ به ترتیب میزان رسوب در هر یک از زیرحوضه‌های حوضه سد فریمان بر اساس شاخص اثر بار کل رسوب و بار رسوب در واحد سطح زیرحوضه را نشان می‌دهد.





شکل ۳. اولویت بندی زیر حوضه های بحرانی حوضه سد فریمان بر اساس شاخص اثر بار کل رسوب (الف) و شاخص رسوب در واحد سطح زیر حوضه (ب)



شکل ۴. میزان رسوب در هر یک از زیر حوضه های حوضه سد فریمان بر اساس شاخص اثر بار کل رسوب

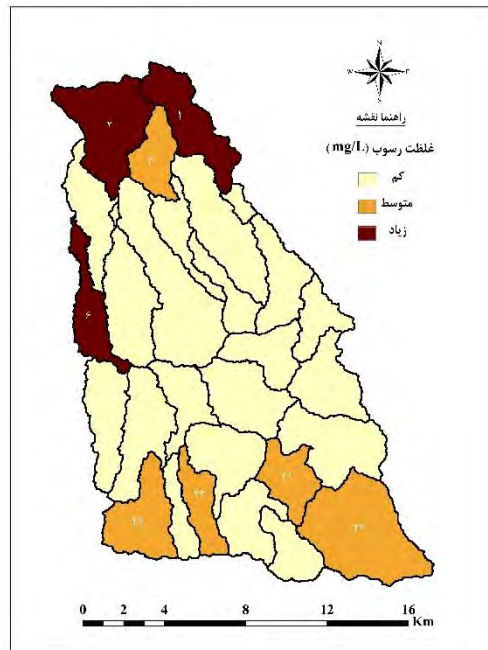


شکل ۵. میزان رسوب در هر یک از زیر حوضه های حوضه سد فریمان بر اساس شاخص بار رسوب در واحد سطح زیر حوضه



شاخص اثر غلظت رسوب

میزان رسوب بر اساس این شاخص در حوضه‌های مختلف متفاوت می‌باشد، به گونه‌ای که از ۶۷ میلی‌گرم در لیتر در زیرحوضه ۷ تا ۶۶۴۳ میلی‌گرم در لیتر در زیرحوضه ۱ متغیر می‌باشد. بر اساس این شاخص، سه زیرحوضه اطراف حوضه (زیر حوضه‌های ۱، ۲ و ۶) در طبقه با اولویت بالا قرار گرفته‌اند. از این سه زیرحوضه، زیرحوضه‌های ۱ و ۲ در مناطق مرتفع و مرتعی حوضه قرار دارند و زیر حوضه ۶ زراعت دیم کاربری غالب آن می‌باشد. در شکل ۶ اولویت زیرحوضه‌های مختلف با استفاده از این شاخص نشان داده شده است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص در زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۶ و زیر حوضه‌های ۲۱، ۲۳، ۲۴ و ۲۷ در طبقه با اولویت متوسط می‌باشد. شکل ۷ میزان رسوب در هر یک از زیرحوضه‌های حوضه سد فریمان بر اساس شاخص اثر غلظت رسوب را نشان می‌دهد.



شکل ۶. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه سد فریمان بر اساس شاخص غلظت رسوب حوضه



شکل ۷. میزان رسوب در هر یک از زیرحوضه‌های حوضه سد فریمان بر اساس شاخص اثر غلظت رسوب



بحث و نتیجه گیری

نتایج اولویت بندی زیرحوضه های بحرانی

مطابق با نتایج تمامی شاخص ها برای رسوب، زیرحوضه های ۱۹، ۱۸، ۱۶، ۱۴، ۳، ۶، ۲ و ۲۳، بیشترین تولید رسوب را داشته اند. در اکثر این زیرحوضه ها کاربری غالب مراتع با وضعیت فقیر تا متوسط بوده است، همچنین استفاده غیراصولی از مراتع، پتانسیل مناطق بالادست در تولید رواناب باعث غالب شدن عامل شیب نسبت به پوشش گیاهی شده و باعث تشدید فرسایش و تولید مقادیر بالای رسوب در این زیرحوضه ها شده است در همین راستا (Omani et al, 2007)، بیان کرده اند که بیشترین نواحی فرسایشی، اراضی با شیب تند هستند، اما نواحی با وسعت زیاد نیز وجود دارد که به دلیل حذف پوشش گیاهی طبیعی و تبدیل دیمزارهای مرتعی به کشت دیم، چرای بیش از حد، تحت تاثیر فرسایش تشدید می شود. جنس خاک غالب در این زیرحوضه ها از نوع sandy loam می باشد و در اغلب زیرحوضه ها گروه هیدرولوژیکی D گروه غالب خاک مناطق با اولویت بالا بوده است. شیب قسمت های مختلف اکثر این زیرحوضه ها بیشتر از ۲۰ درصد می باشد. در زیرحوضه ۶، فعالیت های نامناسب کشاورزی به ویژه زراعت دیم منجر به رسوب دهی بالای این زیرحوضه شده است. فرسایش خاک در مناطق با خاک های سنگین با مقدار رس زیاد و با ظرفیت نفوذپذیری پایین، شیب بیش از ۲۵ درصد، بیشتر از سایر مناطق می باشد. در این تحقیق شرایط حاکم بر زیرحوضه های شناسایی شده با اولویت بالا، چنین شرایطی بوده است. از این رو، دارای رسوب دهی بالایی می باشد. در رابطه با این موضوعات، مولا و فوله (۲۰۰۹)، نشان دادند که مناطق کشاورزی بالادست حوضه، ۱۴ درصد از کل بار رسوب سالانه را تشکیل می دهد، در این تحقیق نیز سهم زیادی از تولید رسوب مربوط به زیرحوضه های بالادست حوضه می باشد. در پژوهشی دیگر (Tibebe and Bewket, 2011)، عنوان شده است که تولید رواناب سطحی و رسوب در بخش هایی از حوضه که دارای خاک رسی سنگین و با ظرفیت نفوذپذیری پایین در اراضی کشاورزی و همچنین شیب بیش از ۲۵ درصد بیشتر می باشد. در پژوهش (White et al, 2009)، نقش بسیار زیاد اراضی کشاورزی در افزایش رسوب و آلاینده های مواد مغذی در حوضه را بیان کرده اند. در برنامه های کنترل فرسایش و رسوب، شاخص بار کل رسوب بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. از این رو، هر گونه اقدام مدیریتی و حفاظتی به وسیله بخش های اجرایی بایستی به ترتیب در این زیرحوضه های بحرانی متمرکز شوند تا از تلفات بیشتر آب و خاک جلوگیری گردد.

در این تحقیق، با استفاده از مدل SWAT به شناسایی و اولویت بندی زیرحوضه های بحرانی از نظر تولید رواناب و رسوب پرداخته شد. با توجه به نتایج به دست آمده و اینکه سطح قابل توجهی از مساحت حوضه شامل اراضی با پوشش غالب مرتعی است، لذا لازم است که بخش اجرا در نواحی بحرانی با مدیریت پوشش گیاهی، روش های اصلاح و توسعه مراتع، در جهت کنترل و مدیریت منابع آب و خاک این زیرحوضه ها برنامه ریزی کرده و اقدامات مناسب بیولوژیکی و سازه ای را در زیرحوضه های بحرانی به ترتیب اولویت انجام دهد.

منابع

- آذری، محمود، صادقی، حمیدرضا و تلوری، عبدالرسول. ۱۳۹۰. ارزیابی تاثیر اقدامات آبخیزداری بر ویژگی های سیل با استفاده از تلفیق مدل های HEC-HMS و HEC_RAS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز جعفرق). مجله علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال پنجم. شماره ۱۵. ۷۲-۶۹.
- عارفی اصل، اکرم، نجفی نژاد علی، کیانی، فرشاد و سلمان ماهینی، عبدالرسول. (۱۳۹۲). تعیین مناطق بحرانی تولید رسوب در آبخیز چهل-چای استان گلستان با استفاده از مدل SWAT. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. جلد ۲۰. شماره ۵. ۲۰۵-۱۹۳.
- عرفانیان، مهدی، بیاضی، منصور، عبقری، هیراد و اسمعیلی عوری، اباذر. (۱۳۹۴). شبیه سازی ماهانه جریان و رسوب حوزه آبخیز نازلوچای با مدل SWAT و اولویت بندی نواحی تولید رسوب. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. جلد ۷. شماره ۴. ۵۶۲-۵۵۲.
- نصرتی، کاظم. (۱۳۹۰). منشایی رسوب بر اساس برآورد عدم قطعیت. مجله پژوهش آب ایران دوره پنجم، شماره ۹. ۶۰-۵۱.





- Abbaspour, K. C. 2011. SWAT calibration and uncertainty programs—a user manual. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag.
- Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., Klve, B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model, *Journal of Hydrology* 524: 733–752
- Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resource Association* 34 (1): 73–89.
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., & Kannan, N. 2012. SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4):1491-1508.
- Alansi, A. W., Amin, M. S. M., Abdul Halim, G., Shafri, H. Z. M., & Aimrun, W. 2009. Validation of SWAT model for stream flow simulation and forecasting in Upper Bernam humid tropical river basin, Malaysia. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6 (6): 7581-7609.
- Arabi, M., & Govindaraju, R. S. 2004. Impact of best management practices on water quality of two small watersheds in Indiana: Role of spatial scale. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory.
- Giri, S., Nejadhashemi, A. P., & Woznicki, S. A. 2012. Evaluation of targeting methods for implementation of best management practices in the Saginaw River Watershed. *Journal of environmental management*, 103, 24-40.
- Mishra, A., Kar, S., and Singh, V.P. 2007. Prioritizing Structural management by quantifying the effect of land use and landcover on watershed runoff and sediment yield. *Water Resour. Manag.* 21: 1899-1913.
- Omani, N. I. N. A., Tajrishy, M. A. S. O. U. D., & Abrishamchi, A. H. M. A. D. 2007. Modeling of a river basin using SWAT model and SUFI-2. *Proceeding 4th*.
- Pandey, V.K., Panda, S.N., Pandey, A., and Sudhakar, S. 2009. Evaluation of effective management plan for an agricultural watershed using AVSWAT model, remote sensing and GIS. *Environ. Geol.* 56: 993-1008.
- Daggupati, P., Sheshukov, A., Douglas Mankin, K.R., Barnes, P.L., and Devlin, D.L. 2009. Field-scale Targeting of cropland sediment yields using Arc SWAT. P 76-83, In: Twigg, K., C, Swyden and R, Srinivasan (eds), *Proceeding of the international SWAT conference*, Texas. A&M University.
- Busteed, P. R., Storm, D. E., White, M. J., & Stoodley, S. H. 2009. Using SWAT to target critical source sediment and phosphorus areas in the Wister Lake Basin, USA. *American Journal of Environmental Sciences*, 5(2), 156-163.
- Kim, J. G., Park, Y., Yoo, D., Kim, N. W., Engel, B. A., Kim, S. J., ... & Lim, K. J. 2009. Development of a SWAT patch for better estimation of sediment yield in steep sloping watersheds. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45(4), 963-972.
- Saghafian, B., Sima, S., Sadeghi, S., & Jeirani, F. 2012. Application of unit response approach for spatial prioritization of runoff and sediment sources. *Agricultural water management*, 109, 36-45.
- Phomcha, P., Wirojanagud, P., Vangpaisal, T., & Thaveevouthti, T. 2011. Suitability of SWAT model for simulating of monthly streamflow in Lam Sonthi Watershed. *Journal of Industrial Technology*, 7(2): 49-56.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. 2005. SWAT theoretical documentation version 2005. Grassland. Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Temple, Texas, USA.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., VanLiew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., & Veith, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transaction of the ASABE*, 50(3): 885–900.
- Nash, J. E., J. V. Sutcliffe .1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles, *J. Hydrol.* 10: 282–290.
- Mahzari, S., Kiani, F., Azimi, M., & Khormali, F. 2016. Using SWAT Model to Determine Runoff, Sediment Yield and Nitrate Loss in Gorganrood Watershed, Iran. *ECOPERSIA*, 4(2): 1359-1377.
- Hosseini, M., Ghafouri, A. M., M Amin, M. S., Tabatabaei, M. R., Goodarzi, M., & Abde Kolahchi, A. 2012. Effects of land use changes on water balance in Taleghan catchment, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(5): 1161-1174.
- Briak, H., Moussadek, R., Aboumaria, K., & Mrabet, R. 2016. Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3): 177-185.
- Duan, Z., Song, X., & Liu, J. 2009. Application of SWAT for sediment yield estimation in a mountainous agricultural basin. In *Geoinformatics, 2009 17th International Conference on* (pp. 1-5). IEEE.
- Baffaut, C., & Sadeghi, A. 2010. Bacteria modeling with SWAT for assessment and remediation studies: A review. *Transactions of the ASABE*, 53(5): 1585-1594.





- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G., 2007. The soil and water assessment tool: historic development, applications, and future research directions. *Trans. ASABE* 50 (4): 1211–1250.
- Tibebe, D., & Bewket, W. 2011. Surface runoff and soil erosion estimation using the SWAT model in the Keleta watershed, Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 22(6), 551-564.
- Koch, H., Grünwald, U., & Kaltofen, M. 2009. Anpassungsstrategien für die Wasserbewirtschaftung an den globalen Wandel im Einzugsgebiet der Spree.
- Teshager, A. D., Gassman, P. W., Secchi, S., Schoof, J. T., & Misgna, G. 2016. Modeling agricultural watersheds with the soil and water assessment tool (SWAT): Calibration and validation with a novel procedure for spatially explicit hrus. *Environmental management*, 57(4): 894-911.
- White, M. J., Storm, D. E., Busted, P. R., Stoodley, S. H., & Phillips, S. J. (2009). Evaluating nonpoint source critical source area contributions at the watershed scale. *Journal of environmental quality*, 38(4), 1654.
- Yang J, Reicher P, Abbaspour KC, Xia J and Yang H, (2008). Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chao he Basin in China. *Journal of Hydrology* 358 (1–2):1-23.
- Yesuf, H. M., Melesse, A. M., Zeleke, G., & Alamirew, T. (2016). Streamflow prediction uncertainty analysis and verification of SWAT model in a tropical watershed. *Environmental Earth Sciences*, 75(9): 806.





Prioritizing the Critical Source Areas of Sediment Yield in Fariman Dam Watershed Using SWAT Model

Farzaneh Naseri¹, Mahmood Azari^{2*}, Mohammad Taghi Dastorani³

¹ Master's degree in Watershed Management, Faculty of Natural Resources-Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Assistant Professor, Faculty of Natural Resources-Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Mashhad, Iran

³ Professor, Faculty of Natural Resources-Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Mashhad, Iran

*Corresponding Author [Email: m.azari@um.ac.ir](mailto:m.azari@um.ac.ir)

Abstract

Erosion and sediment yield control in watersheds require decision making and proper implementation of watershed management practices. Suitable planning needs information regarding the amount of sediment load produced by the basins and the identification of critical source areas. Determining watershed sediment yield and its spatial distribution using hydrologic models is a useful tool for identifying areas susceptible to erosion. The main objective of this study is to identify and prioritize the critical source areas of Fariman dam watershed based various indices using the SWAT model. Sensitivity analysis, calibration and validation of the model were performed using SWAT-CUP software and the SUFI-2 algorithm. Nash Sutcliff efficiency coefficient for calibration period was 0.75 and 0.85, and for validation period was 0.75 and 0.76 for monthly discharge and sediment yield, respectively. Results indicated that the SWAT model is capable in simulating runoff and sediment yield of Fariman dam watershed. The spatial distribution of sediment revealed that high priority sub-basins were mainly located in upstream, also in some indices, the mid-stream sub-basins, which are highly cultivated had a higher priority. The results of this study can be used as a guideline for planning water and land conservation measures for watershed management.

KeyWords: Suspended Sediment Yield, Targeting Methods, Soil Erosion, Effective Watershed Management.

