



The effect of agricultural and conservation management on surface runoff and sediment load in Dashte Bozorg catchment using the ArcSWAT model

Lida Vasel¹ | Ahmad Farrokhian Firouzi² | Ataallah Khademalrasoul³

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: lvasel@stu.scu.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: a.farrokhian@scu.ac.ir

3. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: a.khademalrasoul@scu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 12, 2022

Revised: Jan. 31, 2023

Accepted: Feb. 5, 2022

Published online: Feb. 20, 2022

Keywords:

Agricultural management,
Conservation management,
Contouring,
Sediment,
Terracing.

ABSTRACT

Prioritizing critical source areas and using the best management practices, including agricultural and conservation management, are effective methods to reduce erosion in catchments. The main objective of this research was to evaluate the impact of agricultural and conservation management on surface runoff and sediment yields in Dashte Bozorg catchment, Khuzestan, Iran using the ArcSWAT model. The data was collected in 2021. The Sequential Uncertainty Fitting was applied for Calibration and validation. The model was calibrated from 2004 to 2015 and validated from 2016 to 2021 for surface runoff. Furthermore, calibration and validation of sediment yields were performed for the statistical periods of 2004-2013 and 2014-2019, respectively. The performance of the model was evaluated by four objective functions (NS, R2, BIAS, and RSR). The model was then applied to predict critical source areas for sediment yields and surface runoff. Agricultural management practices in four crop rotation scenarios ("wheat-wheat", "wheat-rice-wheat-mung bean-wheat", "rice-mung bean-wheat" and "wheat-potato-tomato"), residue management scenarios (No residue and 50 percent of the residue) and three tillage scenarios (conservation tillage, no-tillage, and conventional tillage) were evaluated. Conservation management scenarios were focused on contouring, strip cropping, terracing, vegetated filter strip, and the grassed waterway scenarios (width of 5 and 10.4 meters). The sensitivity analysis showed that ALPHA_BF (Baseflow alpha factor) and RCHRG_DP (Deep aquifer percolation fraction) parameters were identified as the most effective base flow parameters. The objective function values (NS, R2, BIAS, and RSR) were 0.7, 0.72, 3.7, and 0.55 for surface runoff during calibration, and 0.74, 0.75, 2.1, and 0.51 during the validation period, respectively. These results indicated that the ArcSWAT model performed well in estimating surface runoff but was not satisfactory for sediment yields. Collecting sediment data only during floods resulted in large uncertainty in the input data, and the uncertainty in the inputs produced a large uncertainty in the 95 Percent Prediction Uncertainty (95PPU) bands. Subcatchments 5 and 17 were critical source areas for surface runoff and subcatchments 4, 9, 14, and 16 were also identified as critical source areas for sediment in the catchment. The application of agricultural management practices showed that the cultivation of wheat for three consecutive years increased surface runoff and sediment loss under no-tillage and Conservation tillage. The result of conservation management scenarios indicated that the difference in the width of the grassed waterway had no significant effect on reducing the sediment load. The terracing and vegetated filter strip scenarios were more effective than the other conservation scenarios on sediment reduction. The findings of this study showed that the application of conservation management scenarios can significantly reduce sediment yields compared to agricultural management. It is also recommended to avoid continuous cultivation of the same crop as much as possible.

Cite this article: Vasel, L., Farrokhian Firouzi, A., & Khademalrasoul, A. (2023). The effect of agricultural and conservation management on surface runoff and sediment load in Dashte Bozorg catchment using the ArcSWAT model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (12), 2809-2824. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352402.669409>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352402.669409>

اثر مدیریت‌های زراعی و حفاظتی بر جریان‌های سطحی و بار رسوب در حوضه آبریز دشت بزرگ با استفاده از مدل ArcSWAT

لیدا واصل^۱ | احمد فرخیان فیروزی^۲ | عطااله خادم الرسول^۳^۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: l-vasel@stu.scu.ac.ir^۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: a.farrokhan@scu.ac.ir^۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: a.khademalrasoul@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۱

واژه‌های کلیدی:

تراس‌بندی،

رسوب،

کنتوربندی،

مدیریت حفاظتی،

مدیریت زراعی.

اولویت‌بندی مناطق بحرانی و استفاده از بهترین شیوه‌های مدیریتی از جمله مدیریت کشاورزی و حفاظتی، روش‌های موثری برای کاهش فرسایش در حوضه‌های آبریز هستند. این روش‌ها مزیتی برای مدیران و سرمایه‌گذاران برای جلوگیری از زیان‌های اقتصادی و مدیریت ریسک محسوب می‌شوند. در پژوهش حاضر، از مدل ArcSWAT برای ارزیابی تأثیر مدیریت کشاورزی و حفاظتی بر رواناب سطحی و بار رسوب در حوضه آبریز دشت بزرگ در استان خوزستان استفاده شد. گردآوری داده‌ها در سال ۲۰۲۱ انجام شد. واسنجی و اعتبارسنجی جریان سطحی به ترتیب برای دوره‌های آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ انجام شد. همچنین بار رسوب برای دوره‌های آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ و واسنجی و برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ اعتبارسنجی گردید. سناریوهای تناوب، مدیریت بقایا و خاک‌ورزی به عنوان سناریوهای مدیریت زراعی و سناریوهای تراس‌بندی، کنتوربندی، نوارهای بافر گیاهی، کشت نواری و آبراهه چمنی به عنوان سناریوهای مدیریت حفاظت اعمال شدند. نتایج ضرایب نش- ساتکلیف و تعیین برای واسنجی جریان سطحی ماهانه ۰/۷ و ۰/۷۲ و برای اعتبارسنجی ۰/۷۴ و ۰/۷۵ بدست آمد. این ضرایب برای هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی بار رسوب رضایت‌بخش نبود. اما مدل کارایی مناسبی در اولویت‌بندی مناطق بحرانی و شبیه‌سازی سناریوهای مدیریتی نشان داد. تفاوت در عرض آبراهه چمنی اثر معنی‌داری بر کاهش بار رسوب نداشت. سناریوهای تراس‌بندی و بافر گیاهی میزان رسوب را در سطح حوضه به ترتیب ۷۶ و ۶۲/۵ درصد کاهش دادند و موثرترین سناریو شناخته شدند. بطور کلی نتایج نشان داد که اعمال سناریوهای حفاظتی می‌تواند میزان بار رسوب را تا حد قابل توجهی کاهش دهد.

استناد: استناد: واصل، لیدا؛ فرخیان فیروزی، احمد؛ و خادم الرسول، عطااله. (۱۴۰۱). اثر مدیریت‌های زراعی و حفاظتی بر جریان‌های سطحی و بار رسوب در حوضه آبریز دشت بزرگ با استفاده از مدل ArcSWAT. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۱۲)، ۲۸۰۹-۲۸۲۴.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352402.669409>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352402.669409>

مقدمه

فرسایش خاک از عوامل اصلی تهدید امنیت غذایی بشر است. این پدیده علاوه بر اثراتی که بر ویژگی‌های خاک می‌گذارد زیان‌های اقتصادی متعددی مانند کاهش عملکرد گیاهان زراعی را نیز در پی دارد (Biggelaar et al., 2003). هدررفت خاک می‌تواند در اثر اشکال مختلف فرسایش رخ دهد که بسته به نوع کاربری اراضی، پوشش خاک، اقلیم و شیب منطقه می‌تواند شدت‌های متفاوتی داشته باشد. از سویی عوامل تحت کنترل بشر و نوع مدیریت اجرایی در مزارع، مانند نوع خاک‌ورزی در زمین‌های زراعی و یا نوع اقدامات مهندسی شیب^۱ نیز می‌تواند در تشدید و یا کاهش فرسایش خاک موثر باشد (Verheijen et al., 2009). رسوبات حاصل از فرسایش خاک می‌توانند حامل بسیاری ذرات، مانند ذرات کربن آلی و آفت‌کش‌ها باشند که این مسئله خود عامل دیگری در تهدید سلامت اکوسیستم است (Issaka and Ashraf, 2017). در همین زمینه مطالعات انجام شده نشان داده است که فرسایش خاک سهم قابل توجهی در از دست دادن کربن آلی خاک^۲ دارد. بطوریکه با افزایش فرسایش خاک، میزان کربن آلی موجود در خاک کاهش می‌یابد و نهایتاً منجر به غنی‌سازی^۳ رسوبات حاصل از فرسایش می‌شود (Wei et al., 2017; Liu et al., 2021). فرسایش خاک علاوه بر حرکت و جابه‌جایی کربن آلی خاک، بر حرکت آلاینده‌ها و عناصر غذایی نیز موثر است (Peri et al., 2022). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در حوضه‌های آبریز علاوه بر تامین نیاز غذایی بشر، سلامت سیستم‌های زیست محیطی نیز باید در نظر گرفته شود چرا که در آینده، با افزایش جمعیت و افزایش تقاضا، فشار بر روی زمین‌های کشاورزی جهت تولید بیشتر، افزایش می‌یابد و این مسئله سبب افزایش روزافزون آلاینده‌های زیست محیطی می‌گردد. بنابراین استفاده از رویکردهای مدیریتی مناسب که علاوه بر حفظ عملکرد، امنیت غذایی و سلامت محیط زیست را تامین کند، ضروری است (Mueller et al., 2012).

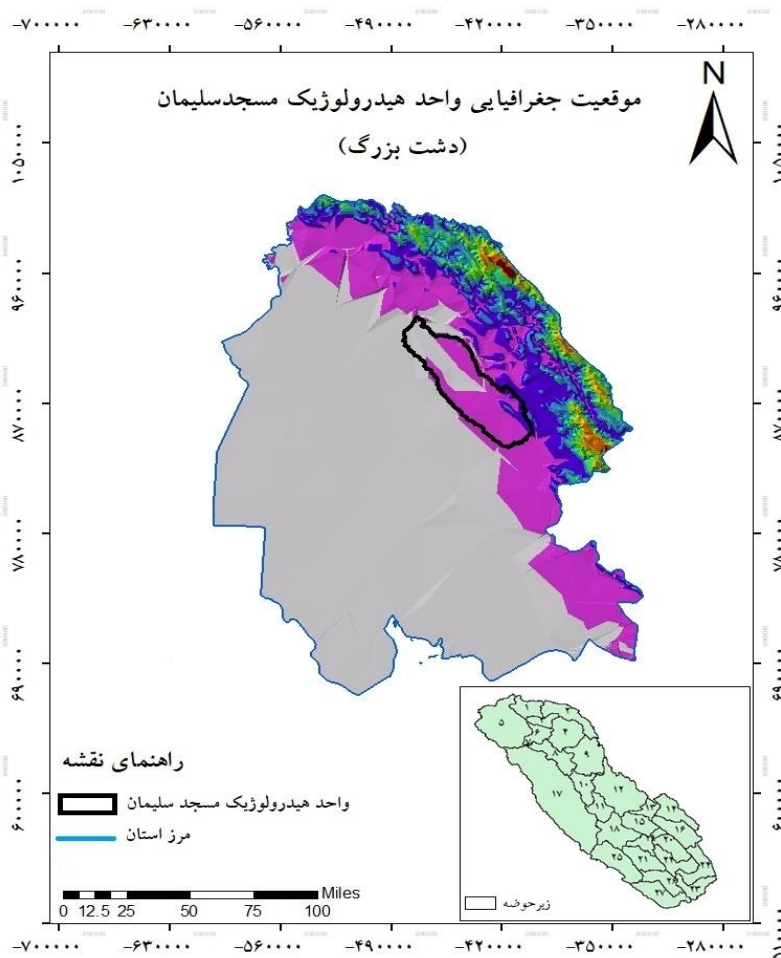
از گذشته تا کنون اقدامات مختلفی در جهت مدیریت کشاورزی و زیست محیطی صورت گرفته است. پژوهش‌ها نشان داده است که اجرای شیوه‌های مدیریت زراعی مانند حفظ بقایا در سطح خاک و اقدامات بدون خاک‌ورزی، تلفات خاک را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد (Prosdociami et al., 2016; Nearing et al., 2017). شیوه‌های مدیریت حفاظت^۴ که از دیرباز مورد توجه قرار گرفته‌اند، تاثیر بسزایی بر کنترل فرسایش خاک دارند. استفاده از این شیوه‌ها می‌تواند تا ۸۰ درصد فرسایش را کاهش دهند و از سویی با تاثیر بر کاهش رواناب، سبب بهبود سلامت خاک گردند (Du et al., 2022). مدل ArcSWAT^۵ ابزاری با قابلیت برآورد پارامترها، اولویت‌بندی مناطق بحرانی و شبیه‌سازی بهترین شیوه‌های مدیریتی^۶ متناسب با منطقه مورد مطالعه است. این مدل می‌تواند دبی، رسوب و پارامترهای کیفی را در حوضه‌های آبریز شبیه‌سازی نماید (Ang and Oeurng, 2018; Engebretsen et al., 2019). در پژوهش‌های انجام شده در ایران، کاربرد بهترین شیوه‌های مدیریت اغلب بر روی منابع آلاینده غیرنقطه‌ای انجام شده است که در این میان می‌توان به مطالعات (Mahmoudi et al., 2019) اشاره نمود. با این حال، مطالعات اندکی از جمله Rezazadeh et al. (2018) مبنی بر بررسی سناریوی نوار بافر گیاهی بر کاهش بار رسوب، انجام شده است که نتایج خوبی را نیز به دنبال داشته است. López-Ballesteros et al. (2019) با استفاده از مدل ArcSWAT به بررسی اثر بهترین شیوه‌های مدیریتی بر بار رسوب و آلاینده‌های غیرنقطه‌ای پرداختند و دریافتند که استفاده از این شیوه‌ها تا حد قابل توجهی میزان رسوب‌دهی حوضه را کاهش می‌دهد و مدل ArcSWAT می‌تواند به خوبی این شیوه‌ها را شبیه‌سازی کند. (Leh et al., 2018) با استفاده از مدل ArcSWAT به ارزیابی هفت شیوه مدیریتی و اثر آن‌ها بر جریان، بار رسوب و عناصر غذایی پرداختند. یافته‌های این محققان بیانگر کاهش جریان، بار رسوب و بار عناصر غذایی در خروجی حوضه و زیرحوضه‌ها بود. (Uniyal et al., 2020) در بررسی اثر بهترین شیوه‌های مدیریتی بر جریان و بار رسوب مشاهده کردند که شیوه‌های سازه‌ای و حفاظتی، اثربخشی بیشتری در کنترل فرسایش در مناطق بحرانی دارند و کاربرد این روش‌ها می‌تواند بر جریان‌های سطحی اثر کاهشی و بر پارامترهای جریان پایه، تغذیه آب‌خوان و نفوذ، اثر افزایشی داشته باشد. (Risal and Parajuli, 2022) با بررسی بهترین شیوه‌های مدیریت با استفاده از مدل ArcSWAT نوارهای بافر گیاهی را به عنوان یک روش حفاظتی، موثرترین روش در مقایسه با روش‌های زراعی بر کاهش بار رسوب و عناصر غذایی دانستند. با توجه به اینکه مقایسه شیوه‌های مدیریت زراعی و حفاظتی توسط مدل ArcSWAT کمتر

1. Slope engineering
2. Soil organic carbon (SOC)
3. Enrichment
4. Conservation management practices
5. Soil and water assessment tool
6. Best management practices (BMPs)

مورد مطالعه قرار گرفته است و این موضوع به‌ویژه در زمینه تناوب، استفاده از آبراهه‌های چمنی، مدیریت بقایا و خاک‌ورزی پر رنگ‌تر است. لذا در این مطالعه اثر بهترین شیوه‌های مدیریتی در زمینه مدیریت زراعی و حفاظتی بر جریان‌های سطحی و بار رسوب در حوضه آبریز دشت بزرگ مورد ارزیابی قرار گرفته است.

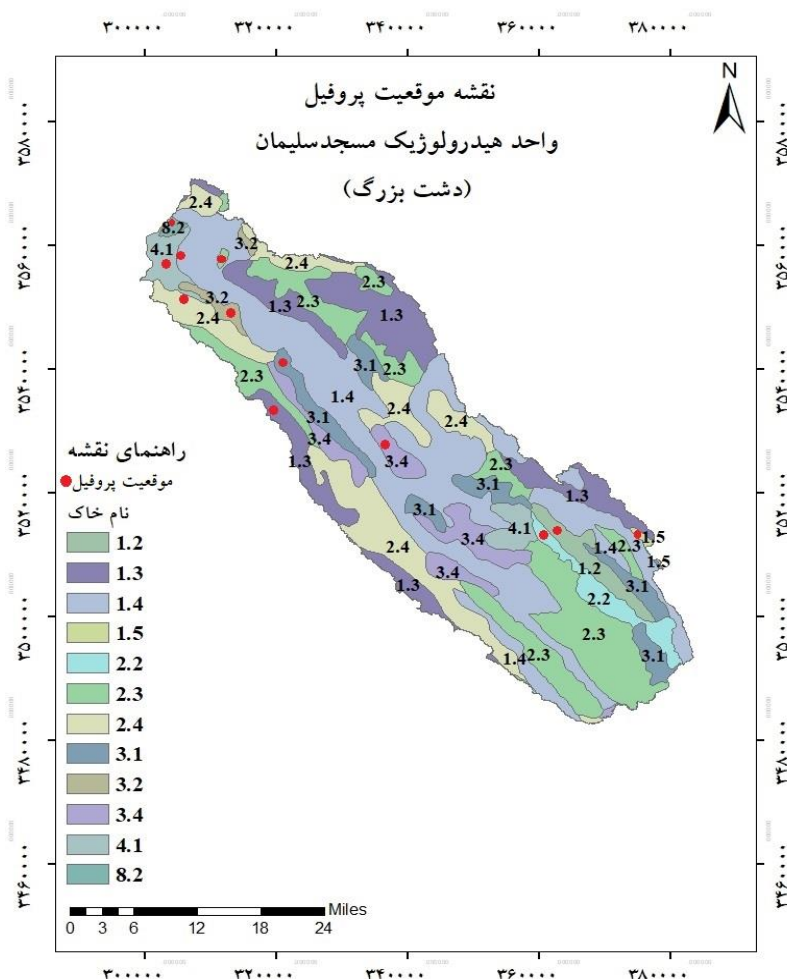
مواد و روش‌ها

واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان (حوضه دشت بزرگ) دارای مساحت ۲۵۶۴/۹۶ کیلومتر مربع در محدوده طول جغرافیایی $00^{\circ} 49'$ تا $48^{\circ} 49'$ طول شرقی و $28^{\circ} 31'$ تا $10^{\circ} 32'$ عرض شمالی در استان خوزستان واقع شده است (شکل ۱). این حوضه متشکل از دو رودخانه شور و بهلول است که در نهایت با بهم پیوستن این دو رودخانه و تشکیل رودخانه شور به رودخانه کارون می‌پیوندد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان

به منظور شبیه‌سازی جریان‌های سطحی و هدررفت رسوب، از نقشه رقومی ارتفاعی با اندازه سلولی ۳۰ متر در ۳۰ متر، نقشه کاربری اراضی بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و اطلاعات بارش و حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه از ایستگاه‌های بتوند، مسجدسلیمان، درخزین، گلگیر، شوشتر، گتوند و اندیکا استفاده شد. نقشه خاکشناسی بر مبنای اجزای واحد اراضی و حفر ۱۲ پروفیل (یک پروفیل در هر واحد اراضی) تهیه شد (شکل ۲). در نهایت نمونه‌های خاک حاصل از پروفیل‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید.



شکل ۲. موقعیت پروفیل‌ها در واحد اجزای اراضی

به منظور واسنجی و اعتبارسنجی جریان‌های سطحی و رسوب از داده‌های گردآوری شده توسط سازمان آب و برق خوزستان استفاده شد. داده‌ها در سال ۲۰۲۱ جمع‌آوری گردید. داده‌های جریان سطحی از سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ برای گرم کردن مدل استفاده شدند. داده‌های مشاهده‌ای سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۵ برای واسنجی و ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ برای اعتبارسنجی جریان سطحی مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های مشاهده‌ای رسوب از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ برای گرم کردن، ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ برای واسنجی و سال‌های باقیمانده ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ برای اعتبارسنجی استفاده شدند. مراحل واسنجی و اعتبارسنجی توسط الگوریتم SUFI-2 در بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP انجام شد. اولویت‌بندی مناطق بحرانی جریان‌های سطحی و رسوب انجام شد و سناریوهای مدیریت زراعی شامل ۴ سناریوی تناوب (گندم-گندم-گندم)، (گندم-برنج-گندم-ماش-گندم)، (گندم-ماش-گندم)، (برنج-ماش-گندم) و (گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی)، سناریوی مدیریت بقایا در دو سناریوی بدون بقایا و ۵۰ درصد بقایا (۱/۷۵ تن در هکتار)) و سناریوهای خاک‌ورزی حفاظتی^۱، بدون خاک‌ورزی^۲ و خاک‌ورزی معمولی^۳ (شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و ماله) شبیه‌سازی گردید. سناریوهای مدیریت حفاظت شامل کنتوربندی، کشت نواری تا شیب ۲۰ درصد، تراس‌بندی (شیب‌های ۸-۰، ۲۰-۸ و ۳۰-۲۰ درصد)، بافرهای گیاهی با مساحتی معادل با مساحت آبراهه در هر زیرحوضه اعمال شدند. سناریوی آبراهه چمنی با دو عرض ۵ و ۱۰/۴ متر و عمق ۰/۲ متر در میانگین شیب پنج درصد شبیه‌سازی شدند.

1. Conservation tillage
2. No-tillage
3. Conventional tillage

نتایج و بحث

تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر جریان‌های سطحی

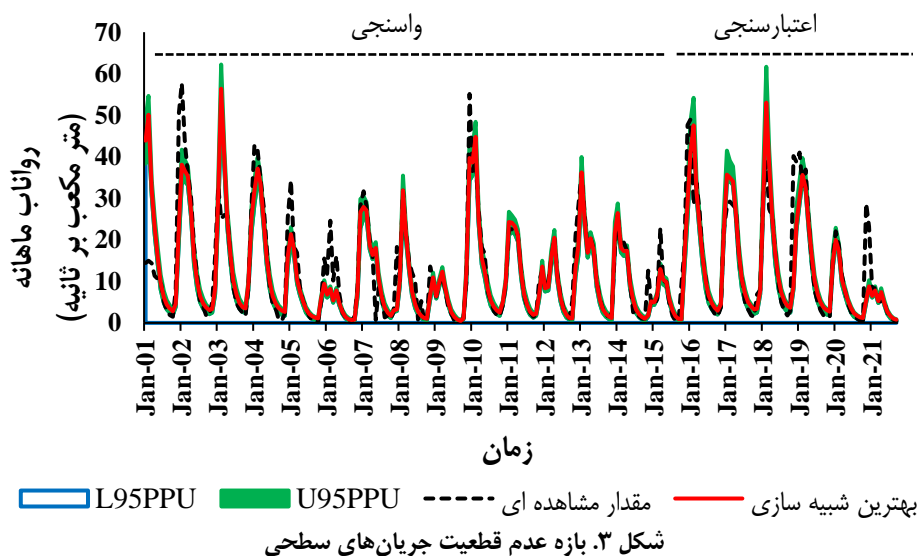
با توجه به اهمیت پارامترها در واسنجی مدل، ابتدا فرآیند آنالیز حساسیت برای پارامترهای موثر بر جریان انجام شد. در این فرآیند ابتدا پارامترها با روش One-at-a-time (LH-OAT) به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند. بیشترین حساسیت در این فرآیند، در پارامتر CN_2 مشاهده گردید اما با وجود اثر برخی پارامترها بر مدل، حساسیتی در آنها مشاهده نشد. به همین دلیل در مرحله دوم پارامترها با روش Global بررسی شدند تا اثر متقابل پارامترها بررسی گردد. تعداد ۲۵ پارامتر موثر بر جریان در حوضه شناسایی شدند و پارامتر CN_2 بیشترین حساسیت را به جریان‌های سطحی در هر دو روش تحلیل حساسیت نشان داد. همچنین پارامترهای ALPHA_BF (ثابت کاهش جریان پایه) و RCHRG_DP (ضریب نفوذ آب‌خون) به عنوان موثرترین پارامترهای جریان پایه شناسایی شدند که با یافته‌های Rouhani et al. (2009) مطابقت دارد.

واسنجی و اعتبارسنجی جریان سطحی

در مرحله واسنجی، در مجموع ۱۲۰۰ شبیه‌سازی در سه تکرار با اصلاح پارامترها تا دستیابی به مقادیر بهینه پارامترها انجام شد. مقادیر اولیه و بهینه پارامترها در جدول ۱ آورده شده است. همچنین در مرحله اعتبارسنجی، ۳۰ درصد داده‌ها از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص‌های ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج حاصل از جریان ماهانه در مرحله واسنجی در محدوده خوب و در مرحله اعتبارسنجی در محدوده خیلی خوب ارزیابی شد. شاخص‌های R^2 ، NS و BIAS به ترتیب در مراحل واسنجی (۰/۷۲، ۰/۷ و ۳/۷) و اعتبارسنجی (۰/۷۵، ۰/۷۴ و ۲/۱) بدست آمدند که بیانگر عملکرد بالای مدل در شبیه‌سازی جریان سطحی می‌باشد و با مطالعات Liu et al. (2022) و Ayele et al. (2021) مطابقت دارد.

بررسی بازه ۹۵ درصد جریان‌های سطحی

مطابق با شکل ۳ مقادیر ماهانه جریان شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در بازه ۹۵ درصد بیانگر این است که بیشترین عدم قطعیت، در جریان‌های اوج رخ داده است و ضعف مدل در شبیه‌سازی جریان‌های اوج، عمدتاً در فواصل ماه‌های دسامبر تا فوریه می‌باشد. با این حال مقدار خیلی کمی عدم قطعیت در جریان‌های پایه نیز مشاهده می‌شود. اگرچه در پژوهش Abbaspour et al. (2007) وجود عدم قطعیت‌های بزرگتر در جریان پایه را ناشی از سال‌های خشک و ایجاد جریان‌های جانبی بیشتر در این سال‌ها و اهمیت کمتر پارامترهای آب زیر زمینی در سال‌های خشک دانستند، با این وجود عدم قطعیت در شرایط خشک در این حوضه منجر به عدم قطعیت بزرگی در شبیه‌سازی جریان پایه نشد.



شکل ۳. بازه عدم قطعیت جریان‌های سطحی

جدول ۱. مقادیر اولیه و بهینه پارامترهای موثر بر جریان‌های سطحی

نام پارامتر	مقادیر اولیه		مقادیر بهینه	
	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه
CN2.mgt	۱۰	-۱۰	-۲/۱۱	-۵/۲۸
ALPHA_BF.gw	۱	۰	۰/۹۸	۰/۹
REVAPMN.gw	۵۰۰	۰	۲۰/۱/۹	۱۱۷/۳۷
SMFMN.bsn	۲۰	۰	۴/۶	۲/۳۳
SMTMP.bsn	۲۰	-۲۰	۱/۹۷	-۳/۸۳
GW_REVAP.gw	۰/۲	۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۰۲
LAT_TTIME.hru	۱۸۰	۰	۵۹/۷۹	۴۳/۷۹
OV_N.hru	۳۰	۰/۰۱	۷/۷۹	۲/۸۵
TIMP.bsn	۱	۰	۰/۶۳	۰/۴۵
SOL_AWC.sol	۰/۷	-۰/۵	۰/۲۱	۰/۰۷
GW_DELAY.gw	۵۰۰	۰	۳۴۷/۸۳	۲۴۴/۳۵
HRU_SLP.hru	۱۰	۰	۹/۸۵	۹/۵۵
CH_N2.rte	۰/۳	-۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۰۹
CANMX.hru	۳۰	۰/۰	۳۰/۰۰	۲۶/۹۹
SOL_BD.sol	۰/۵	-۰/۵	۰/۵۰	۰/۴۵
EPCO.hru	۱	۰	۰/۷۹	۰/۶۹
SOL_K.sol	۴/۸	-۰/۸	۱/۲	۱/۱
GWQMN.gw	۵۰۰۰	۰	۴۴۹۱/۰۱	۲۷۰۷/۰۷
RCHRG_DP.gw	۱	۰	۰/۷۷	۰/۵۵
SURLAG.bsn	۲۴	۰/۰۱	۱۳/۵۹	۱۰/۴۵
MSK_CO1.bsn	۱۰	۰	۷/۳۴	۵/۳۹
SLSUBBSN.hru	۱۵۰	۱۰	۱۴۳/۳	۱۱۹/۵
CH_K2.rte	۵۰۰	-۰/۰۱	۱۴۵/۲۸	۴۵/۶۳
SFTMP.bsn	۲۰	-۲۰	-۸/۰۵	-۱۴/۷۷
ESCO.hru	۱	۰	۰/۳۳	۰/۱۹

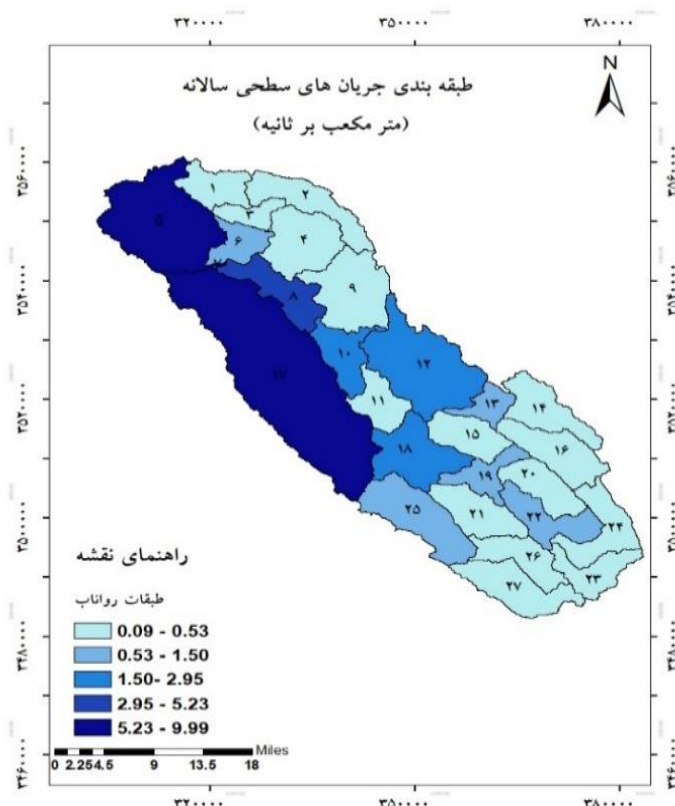
جدول ۲. شاخص‌های ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی جریان‌های سطحی در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی

مراحل	R ²	NS	R-factor	P-factor	BIAS	RSR
واسنجی	۰/۷۲	۰/۷	۰/۲۲	۰/۶۳	۳/۷	۰/۵۵
اعتبارسنجی	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۲۳	۰/۶۴	۲/۱	۰/۵۱

تعیین مناطق بحرانی جریان‌های سطحی در زیرحوضه‌های واحد هیدرولوژیک مسجده سلیمان

میانگین سالانه جریان، بدست آمده از مدل ArcSWAT برای هر زیرحوضه در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل، جریان‌های سطحی به ۵ کلاس (خیلی کم، کم، متوسط، شدید و خیلی شدید) طبقه‌بندی شده‌اند. زیرحوضه‌های ۵، ۷، ۸ و ۱۷ با تولید جریان‌های سطحی بیش از ۳ متر مکعب بر ثانیه به عنوان مناطق بحرانی شناسایی شدند. نتایج شبیه‌سازی بیانگر این است که زیرحوضه‌های ۵ و ۱۷ که در برگیرنده شاخه اصلی رودخانه هستند، بیشترین مقدار جریان‌های سطحی در سطح حوضه را ایجاد کرده‌اند. یکی از دلایل ایجاد جریان بیشتر در این دو زیرحوضه، وجود مراتع با پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد که با نتایج Zhang et al. (2020) مطابقت دارد. ایشان بیان داشتند که تراکم و نوع پوشش گیاهی اثر قابل توجهی بر میزان جریان‌های سطحی در حوضه دارد. با این حال با توجه به وجود پوشش ضعیف در اغلب مناطق حوضه، عوامل دیگری نیز در این مسئله دخیل هستند. نتایج Bosch et al. (2010) نشان می‌دهد که دشت‌ها، اغلب تحت تاثیر جریان آب زیرزمینی قرار می‌گیرند. بنابراین بر اساس این مطالعه و وجود ۱۰ حلقه چاه فعال، سه دهانه چشمه و یه دهانه قنات موجود در دشت‌های این منطقه و نیز یافته‌های Sun et al. (2016) احتمال تبادل آب زیرزمینی و رودخانه نیز وجود دارد که منجر به ایجاد رواناب بیشتر در این دو زیرحوضه شده است. زیرحوضه‌های قسمت میانی، غربی و شمال غربی حوضه دارای کمترین ارتفاعات می‌باشند بررسی اطلاعات مدل نشان می‌دهد که این زیرحوضه‌ها دریافت کننده جریان‌های سطحی از ارتفاعات زیرحوضه‌های شرق و

جنوب شرق حوضه هستند و جریان بیشتر در زیرحوضه‌های میانی، غربی و شمال غربی را رقم می‌زنند.



شکل ۴. تعیین مناطق بحرانی جریان‌های سطحی (متر مکعب بر ثانیه) توسط مدل ArcSWAT در زیرحوضه‌های واحد هیدرولوژیک مسجد سلیمان (دشت بزرگ)

واسنجی و اعتبارسنجی رسوب خروجی از حوضه

واسنجی رسوب خروجی از حوضه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای رسوب در ایستگاه آب‌سنجی دشت بزرگ برای سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اینکه داده‌های گردآوری شده از سازمان آب و برق خوزستان فقط شامل میزان رسوب در زمان سیلاب می‌باشد و داده‌ها به صورت روزانه یا ماهانه ثبت نشده است، ضرایب بدست آمده از واسنجی رسوب کل حوضه در محدوده ضعیف برآورد شد که دلیل آن عدم قطعیت بزرگ در داده‌های ورودی می‌باشد و عدم قطعیت ورودی‌ها منجر به عدم قطعیت بزرگی در باند ۹۵ درصد گردید. اگرچه برآورد مقادیر پارامترها در نرم افزار SWAT-CUP به علت نامناسب بودن داده‌برداری امکان‌پذیر نیست و شاخص‌های ارزیابی حاصل از واسنجی مدل همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نتایج ضعیفی را در برآورد پارامترها ارائه کرده است، اما با توجه به نتایج بدست آمده و تایید صحت دیگر ورودی‌ها و پیش‌بینی مدل از جریان رودخانه، می‌توان گفت پیش‌بینی مدل ArcSWAT در شبیه‌سازی منطقه دارای اعتبار است. مشابه با این نتایج Rostamian et al. (2008) نتایج ضعیفی را در برآورد رسوب مشاهده کردند. ایشان عملکرد ضعیف مدل را ناشی از پراکندگی و عدم دقت داده‌ها دانستند.

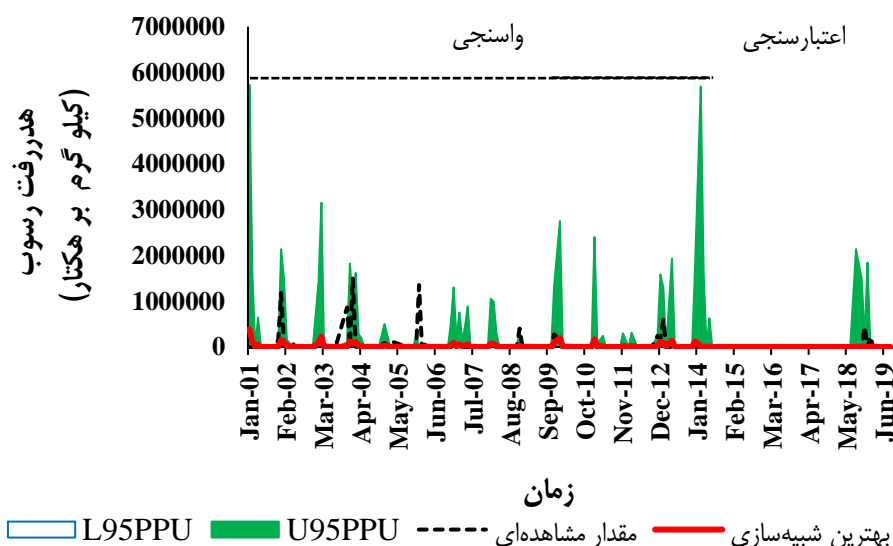
جدول ۳. شاخص‌های ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی رسوب خروجی از حوضه در دوره واسنجی

مراحل	R ²	NS	R-factor	P-factor	BIAS	RSR
واسنجی	۰/۰۳	۰/۰۰	۱/۵۲	۰/۱۵	۵۹/۰	۱/۰۰
اعتبارسنجی	۰/۰۰	-۰/۰۸	۶/۱۶	۰/۰۰	۹۳/۰	۱/۰۴

بررسی بازه ۹۵ درصد رسوب خروجی از حوضه

بررسی بازه ۹۵ درصد برای رسوب خروجی از حوضه در شکل ۵ نشان می‌دهد که برخی پیک‌ها در مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر شبیه‌سازی

شده مغایرت دارد. با توجه به اینکه پیک‌های مشاهده شده مربوط به رخدادهای سیلابی هستند و داده‌برداری در روزهای پیشین و پسین این رخدادهای انجام نشده است، عدم تشخیص رفتار پارامتر توسط مدل مورد انتظار است.



شکل ۵. بازه عدم قطعیت رسوب خروجی از حوضه

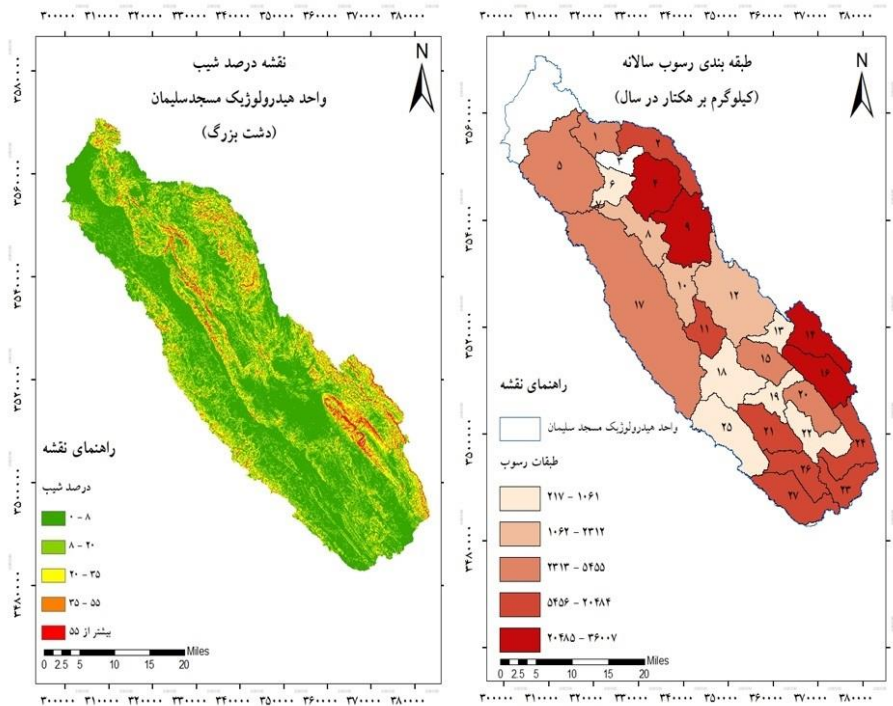
تعیین مناطق بحرانی هدررفت رسوب در زیرحوضه‌های واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان

رسوب سالانه بر اساس کیلوگرم بر هکتار در سال برای هر زیرحوضه برآورد گردید. شکل ۶ بیانگر حداکثر بار رسوب در بخش شمال شرقی و جنوب شرقی حوضه می‌باشد. وجود تشکیلات فرسایش‌پذیر و مناطق کوهستانی با شیب‌های تند از دلایل تولید رسوب بیشتر در این نواحی است. مناطق جنوب شرقی شامل زیرحوضه‌های ۱۴ و ۱۶ اغلب متشکل از کوه‌های با ارتفاع کم و کوه‌های مرتفع با قله تیز هستند. جنس این سازندها اغلب از نوع مارن‌های گچی، آهکی، سیلتی، کنگلومرا و شیل است و میزان رسوب برآورد شده توسط مدل در این نواحی در محدوده ۲۰۴۸۵ تا ۳۶۰۰۷ کیلوگرم بر هکتار در سال می‌باشد. همچنین زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۹ دارای تشکیلات به شدت فرسایش‌پذیر از نوع مارن‌های قرمز و خاکستری گچی و سیلتی می‌باشند و همانطور که در شکل ۶ (نقشه درصد شیب) مشاهده می‌گردد این چهار زیرحوضه دارای شیب‌های بیش از ۲۵ درصد هستند. نتایج مشابهی توسط Karakoyun and Kaya (2022) گزارش شده است. ایشان بیان داشتند که نوع خاک و شیب زمین از عوامل اثرگذار در رسوب‌دهی حوضه هستند و افزایش شیب به بیش از ۲۵ درجه، رسوب‌دهی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. یافته‌های Dutta and Sen (2018) نیز این نتایج را تایید می‌کند. در پژوهش مشابهی، Yuan and Forshay (2020) دریافته‌اند که مناطق پست و دارای ارتفاعات کمتر رسوب‌دهی کمتری دارند در حالی که بیشترین میزان تولید رسوب در مناطق با ارتفاعات زیاد رخ می‌دهد. همچنان که در شکل ۶ مشاهده می‌شود مناطق میانی، غربی و شمال غربی حوضه به علت قرار گرفتن در ارتفاعات کمتر، رسوب کمتری تولید کرده‌اند.

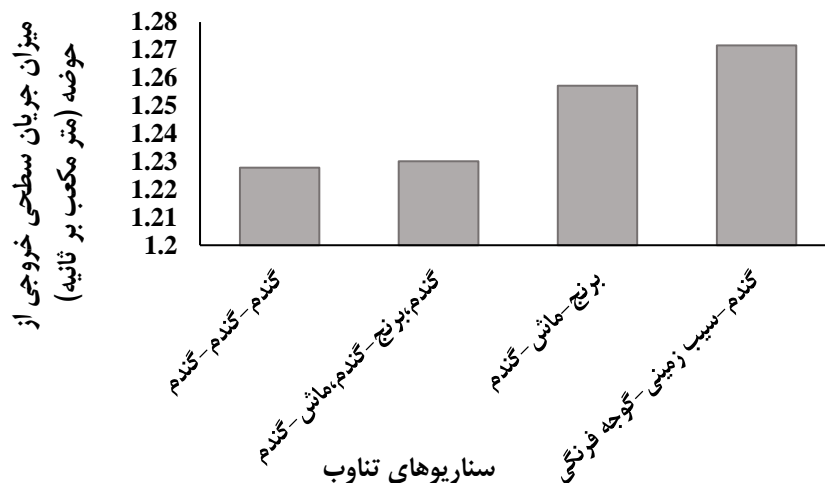
بررسی اثر تناوب بر جریان‌های سطحی

اثر تناوب‌های رایج در حوضه بر میزان جریان‌های سطحی خروجی از حوضه در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود اثر تناوب بر میزان جریان خروجی از حوضه در تناوب‌های گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی و برنج-ماش-گندم بیشتر از کشت پیایی گندم و کشت دو محصول برنج و ماش بلافاصله پس از گندم است. با توجه به اینکه کشت گوجه فرنگی در واحد هیدرولوژیک مسجدسلیمان در اسفند ماه انجام می‌شود، زمین در بخش مهمی از سال که بارندگی در آن رخ می‌دهد بدون پوشش گیاهی باقی می‌ماند و این شرایط منجر به ایجاد جریان‌های سطحی بیشتری می‌شود. نتایج مشابهی توسط Ullrich and Volk (2009) گزارش شده است. ایشان دریافته‌اند که مدل ArcSWAT حساسیت زیادی نسبت به مدت زمان حضور پوشش گیاهی و برهنگی خاک دارد و عدم حضور پوشش گیاهی در ماه‌های پر باران می‌تواند منجر به ایجاد جریان‌های سطحی بیشتر گردد. در تناوب برنج-ماش-گندم نیز محصول برنج در آبان ماه برداشت شده و زمین تا زمان کشت گیاه ماش در خرداد ماه برهنه می‌ماند. بنابراین کاهش پوشش گیاهی در هنگام بارش

منجر به ایجاد جریان‌های سطحی بیشتر در حوضه می‌شود. از سویی شرایط اشباع در کشت برنج و فشرده‌سازی و گل‌خرابی خاک شرایط ایجاد جریان‌های سطحی را فراهم می‌کند. مطابق با این نتایج، مطالعات Kumar et al. (2016) نشان داد که کشت برنج و شرایط اشباع منجر به ایجاد جریان‌های سطحی بیشتر در حوضه می‌شود.



شکل ۶. تعیین مناطق بحرانی رسوب سالانه (کیلوگرم بر هکتار در سال) توسط مدل ArcSWAT و نقشه درصد شیب در زیرحوضه‌های واحد هیدرولوژیک مسجد سلیمان (دشت بزرگ)

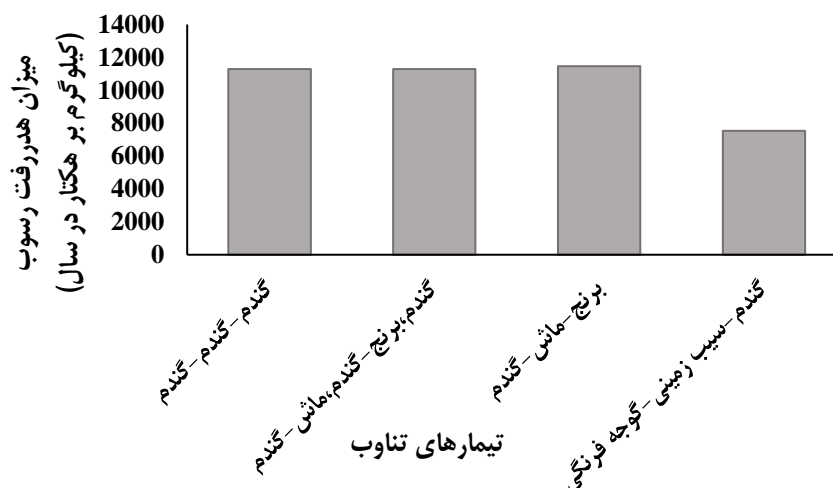


شکل ۷. اثر تناوب‌های رایج در حوضه بر میزان جریان‌های سطحی

بررسی اثر تناوب بر میزان رسوب کل خروجی از حوضه

میانگین سالانه رسوب در تناوب‌های مختلف در شکل ۸ نشان می‌دهد که تناوب گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی علی‌رغم ایجاد جریان‌های سطحی بیشتر، میزان رسوب کمتری ایجاد می‌کند. دلیل ایجاد رسوب کمتر در این تناوب، افزایش ناهمواری سطح زمین در اثر ایجاد جوی و پشته می‌باشد که منجر به افزایش نفوذ جریان‌های سطحی در مناطق شیب‌دار می‌شود (Nyawade et al., 2018). با توجه به اینکه مدل ArcSWAT زبری و ناهمواری خاک را نیز در نظر می‌گیرد و از سویی کشت در حوضه مورد مطالعه، اغلب در مناطق شیب‌دار

و عمدتاً در شیب کمتر از ۸ درصد انجام می‌شود، بنابراین ایجاد ناهمواری در خاک سبب کاهش رسوب شده است. ایجاد رسوب بیشتر در تناوب‌های دارای کشت برنج به علت خاک‌ورزی در شرایط مرطوب می‌باشد که منجر به گل‌خرابی خاک می‌گردد. مطابق با این مطالعه، Himanshu et al. (2019) گزارش کردند که تناوب گیاهان لگوم مانند بادام زمینی و سویا اثر بیشتری بر کاهش رسوب نسبت به تناوب دو گیاه از دسته غلات (برنج و ذرت) دارد که از دیگر دلایل رسوب بیشتر در کشت برنج و گندم در تناوب است. با این حال علت پیش بینی جریان‌های سطحی کمتر توسط مدل نسبت به تناوب گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی، کشت تابستانه برنج می‌باشد.

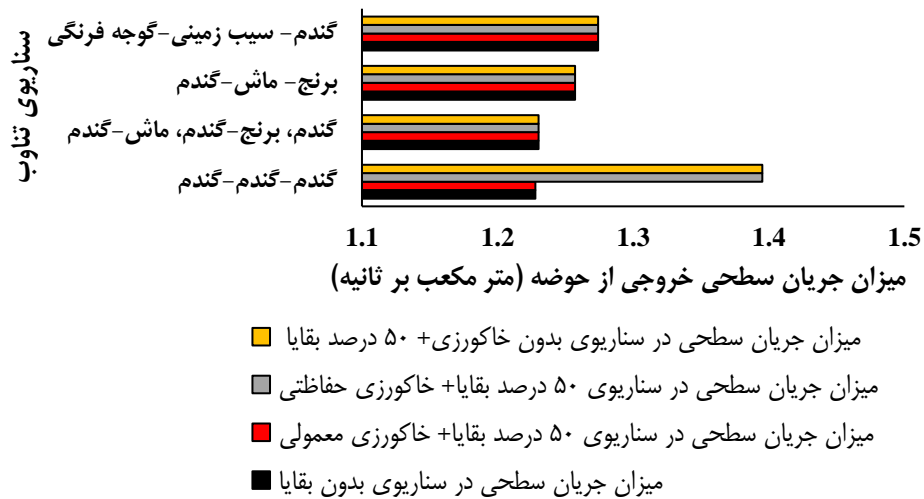


شکل ۸. اثر تناوب بر میزان رسوب کل خروجی از حوضه

بررسی اثر مدیریت بقایا و خاک‌ورزی بر میزان جریان‌های سطحی و هدررفت رسوب

مدیریت بقایا در سطح ۵۰ درصد (۱/۷۵ تن در هکتار) در چهار کشت رایج به همراه اثر سه سناریوی خاک‌ورزی معمولی، خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی انجام شد. اثر مدیریت بقایا و نوع خاک‌ورزی در چهار تناوب بر جریان‌های سطحی در شکل ۹ آورده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود افزودن بقایا به تنهایی تأثیر چندانی بر نتایج نداشته است. شکل ۹ نشان می‌دهد که سناریوی بدون خاک‌ورزی و سناریوی استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در کشت سه سال گندم نه تنها باعث کاهش جریان‌های سطحی نشده است بلکه جریان‌های سطحی را ۱۳/۶ درصد افزایش داده است. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی در مناطقی با ضریب رواناب بالا، می‌بایست با احتیاط بیشتری و با توجه به نوع تناوب اجرایی در منطقه انجام شود. دیگر سناریوهای تناوب، اثری بر جریان‌های سطحی خروجی از حوضه مورد مطالعه نشان دادند.

بررسی سناریوهای مدیریت بقایا و خاک‌ورزی بر میزان هدررفت رسوب (شکل ۱۰) نشان داد که میزان هدررفت رسوب در سیستم تک کشتی گندم برای سناریوی بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی، ۱/۱ درصد افزایش داشته است و فقط تناوب «گندم، برنج-گندم، ماش-گندم» در هر دو سناریوی خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی و تناوب «گندم-سیب زمینی-گوجه فرنگی» در سناریوی بدون خاک‌ورزی به ترتیب ۰/۱، ۰/۱ و ۰/۰۱ درصد کاهش نشان دادند. اگرچه مطالعات میدانی Pavei et al. 2021 کاهش فرسایش خاک در زمین‌های تحت خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی معمولی را در شرایط مزرعه نشان می‌دهد، پژوهش Mbonimpa et al. (2012) نوع تناوب بکاررفته همراه با خاک‌ورزی حفاظتی را عامل افزایش یا کاهش هدررفت رسوب می‌داند. مطالعات Mbonimpa et al. (2012) نشان داد که شبیه‌سازی کشت‌های پایایی با یک نوع گیاه سبب افزایش تلفات رسوب می‌شود که با مطالعه حاضر مطابقت دارد. بطور کلی سناریوهای خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی نسبت به سناریوهای بدون بقایا و خاک‌ورزی معمولی به همراه ۵۰ درصد بقایا، کاهش چندانی در هدررفت رسوب نشان ندادند. در پژوهش مشابهی، Woznicki et al. (2011) بیان کردند که نتایج حاصل از روش‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی با توجه به مقیاس مطالعه، متفاوت است و نتایج در سطح حوضه تغییرات ناچیزی را در مقایسه با نتایج در سطح مزرعه نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به اینکه نتایج این پژوهش در سطح حوضه ارائه شده است، ناچیز بودن تغییرات رسوب مورد انتظار است.



شکل ۹. اثر مدیریت بقایا و نوع خاکورزی در تناوب‌های مختلف بر میزان جریان‌های سطحی



شکل ۱۰. اثر مدیریت بقایا و نوع خاکورزی در تناوب‌های مختلف بر میزان هدررفت رسوب

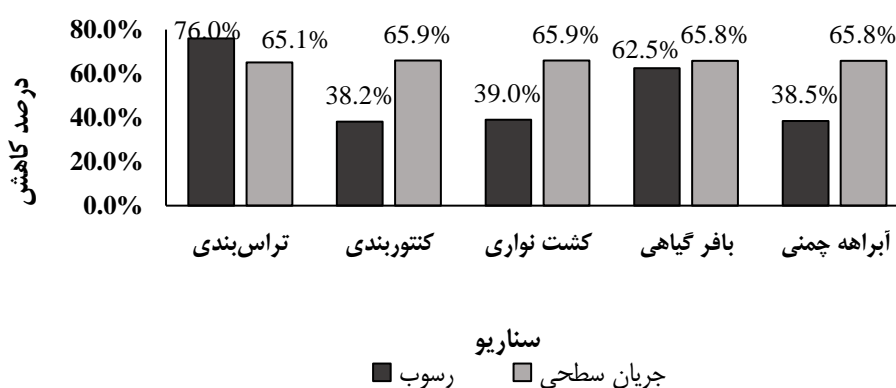
بررسی روش‌های حفاظتی

ارزیابی روش آبراهه چمنی با دو عرض ۵ و ۱۰ متر نشان داد که اختلاف در عرض آبراهه چمنی در حوضه دشت بزرگ، تفاوتی در میزان کاهش جریان‌های سطحی و رسوب نداشت و هر دو سناریو در مقایسه با سناریوی بدون اقدامات مدیریتی، به یک اندازه جریان سطحی و رسوب را کاهش دادند (شکل ۱۱). نتایج شبیه‌سازی آبراهه چمنی، کاهش ۳۸/۵ درصدی در میزان رسوب و ۶۵/۸ درصدی را در جریان سطحی نشان می‌دهد. از دیدگاه مقایسه، نتایج Nepal and Parajuli (2022) اثر آبراهه چمنی بر کاهش رسوب را تا ۴۴ درصد و مطالعات Fiener and Auerswald (2006) کاهش رواناب و رسوب را تا بیش از ۸۵ درصد تایید می‌کند. با این حال، نتایج Fiener and Auerswald (2006) بیشترین کاهش را بر میزان رسوب در مقایسه با رواناب نشان می‌دهد که عکس یافته‌های مطالعه حاضر می‌باشد.



شکل ۱۱. مقایسه دو سناریوی آبراهه چمنی با عرض ۵ و ۱۰ متر

نتایج شبیه‌سازی پنج سناریوی حفاظتی در شکل ۱۲ بیانگر اثرگذاری بیشتر روش ترانس‌بندی (۷۶ درصد) و پس از آن روش بافرهای گیاهی (۶۲/۵ درصد) در کاهش رسوب خروجی از حوضه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین کمترین اثر را سناریوهای کنتوربندی و آبراهه چمنی به ترتیب با ۳۸/۲ و ۳۸/۵ درصد کاهش رسوب داشته است. با توجه به اینکه ۴۵/۸ درصد از حوضه را نواحی با شیب ۰ تا ۸ درصد و ۳۳/۹۷ درصد حوضه را نواحی با شیب ۸ تا ۲۰ درصد تشکیل می‌دهند، تحت کشت بودن این نواحی، سبب تشدید فرسایش در این مناطق شده است به همین دلیل روش ترانس‌بندی، بیش از سایر سناریوها اثرگذار بوده است. کاهش جریان سطحی تفاوت معنی‌داری را بین سناریوها نشان نداد. مشابه با نتایج این مطالعه، رضازاده و همکاران (۱۳۹۷) دریافتند که روش نوارهای بافر گیاهی در مقایسه با دیگر روش‌های مدیریتی اثرگذاری بیشتری بر کاهش بار رسوب دارد. همچنین مطالعات Yang et al. (2009) نشان داد که ترانس‌های انحراف جریان می‌توانند میزان رسوب را تا ۵۶ درصد کاهش دهند. اثرگذاری بیشتر سناریوی ترانس‌بندی در مقایسه با آبراهه‌های چمنی نیز در مطالعه Gathagu et al. (2018) تایید شده است. مطالعات مشابهی توسط Rafiei Emam et al. (2017) گزارش شده است که نشان می‌دهد استفاده از روش ترانس‌بندی اثر قابل توجهی بر کاهش رواناب و رسوب دارد و این کاهش برای رسوب بیش از رواناب می‌باشد.



شکل ۱۲. درصد کاهش جریان‌های سطحی و رسوب پس از اعمال عملیات حفاظتی

نتیجه‌گیری

در بررسی بازه ۹۵ درصد برای جریان‌های سطحی، عدم قطعیت بسیار کمی مشاهده شد درحالی‌که در بازه ۹۵ درصد بار رسوب، به دلیل داده‌برداری در زمان وقوع سیلاب، عدم قطعیت بالایی در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مشاهده گردید. نتایج اولویت‌بندی نواحی بحرانی رسوب، تولید بیشتر رسوب را در بخش شمال شرقی و جنوب شرقی حوضه نشان داد که بیانگر وجود تشکیلات فرسایش‌پذیر در این بخش از حوضه می‌باشد.

مدت زمان حضور پوشش گیاهی و عدم حضور پوشش گیاهی در تناوب در زمان بارش، سبب ایجاد جریان‌های سطحی بیشتر در حوضه گردید. گیاهان دارای کشت جوی و پشته‌ای به علت ایجاد ناهمواری در خاک، علی‌رغم ایجاد جریان‌های سطحی بیشتر، میزان رسوب کمتری تولید کردند. تناوب‌های دارای کشت برنج به علت خاک‌ورزی در حالت مرطوب و تخریب خاک و به دلیل استفاده دو گیاه از دسته غلات در تناوب، بار رسوب بیشتری تولید کردند.

کشت سه سال پی‌پی گندم تحت سناریوی بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی میزان جریان‌های سطحی را ۱۳/۶ درصد و میزان هدررفت رسوب را ۱/۱ درصد افزایش داد. بنابراین استفاده از این سناریوها بسته به نوع تناوب و ضریب رواناب منطقه می‌تواند اثرات مثبت یا منفی داشته باشد. سناریوهای ترانس‌بندی و بافر گیاهی بیش از سایر سناریوهای حفاظتی بر کاهش رسوب اثرگذار بودند. همچنین مقایسه سناریوهای حفاظتی و زراعی، بیانگر برتری سناریوهای حفاظتی در مقایسه با سناریوهای زراعی می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز جهت تأمین هزینه مورد نیاز این تحقیق که قسمتی از قرارداد پژوهانه به شماره SCU.AS99.97 می‌باشد، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

رضازاده، محمد سهیل؛ بختیاری، بهرام؛ عباسپور، کریم و احمدی، محمدمهدی. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی رواناب، رسوب و تخییر-تعرق با استفاده از سناریوهای مدیریتی برای کاهش بار رسوب با استفاده از مدل SWAT. *مجله علوم و مهندسی آب/خیزداری ایران*، ۱۲(۴۰)، ۵۰-۴۱. محمودی، یعقوب. دلاور، مجید؛ ایمانی، سمیه و محمودی، امیر. (۱۳۹۸). بهینه‌سازی نوع و موقعیت مکانی اقدامات مدیریتی به‌منظور کنترل بار مواد مغذی ورودی به پیکره‌های آبی مطالعه موردی: حوضه دریاچه زریبار. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۰(۴)، ۹۹۰-۹۷۷.

REFERENCES

- Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., & Srinivasan, R. (2007). Model ing hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT, *Journal of Hydrology*, 333, 413– 430. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.014>
- Ang, R., & Oeurng, C. (2018). Simulating streamflow in an ungauged catchment of Tonlesap Lake Basin in Cambodia using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. *Water Science*, 32(1), 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.12.002>
- Ayele, G.T., Kuriqi, A., Jemberrie, M.A., Saia, S.M., Seka, A.M., Teshale, E.Z., Daba, M.H., Ahmad Bhat, S., Demissie, S.S., Jeong, J., & Melesse, A.M. (2021). Sediment Yield and Reservoir Sedimentation in Highly Dynamic Watersheds: The Case of Koga Reservoir, Ethiopia. *Water*, 13(23), 3374. <https://doi.org/10.3390/w13233374>
- Biggelaar, C. D., Lal, R., Wiebe, K., Eswaran, H., Breneman, V., & Reich, P. (2003). The Global Impact of Soil Erosion on Productivity: II: Effects on Crop Yields and Production Over Time. *Advances in Agronomy*, 81, 49–95. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)81002-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)81002-7)
- Bosch, D. D., Arnold, J. G., Volk, M., & Allen, P. M. (2010). Simulation of a Low-Gradient Coastal Plain Watershed Using the SWAT Landscape Model. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 53(5), 1445-1456. (doi: 10.13031/2013.34899)
- Du, X., Jian, J., Du, C., & Stewart, R. D. (2022). Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2), 188–196. <https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2021.08.001>
- Dutta, S., & Sen, D. (2018). Application of SWAT model for predicting soil erosion and sediment yield. *Sustain. Water Resources Management*. 4, 447–468. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0127-2>
- Engelbrechtsen, A., Vogt, R. D., & Bechmann, M. (2019). SWAT model uncertainties and cumulative probability for decreased phosphorus loading by agricultural Best Management Practices. *CATENA*, 175, 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.004>
- Fiener, P., & Auerswald, K. (2006). Seasonal variation of grassed waterway effectiveness in reducing runoff and sediment delivery from agricultural watershed in temperate Europe. *Soil and Tillage Research*, 87(1), 48-58. Doi: 10.1016/j.still.2005.02.035
- Gathagu, J.N., Sang, J. K., & Maina, C.W. (2018). Modelling the impacts of structural conservation measures on sediment and water yield in Thika-Chania catchment, Kenya. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.12.007>
- Himanshu, S.K., Pandey, A., Yada, B., & Gupta, A. (2019). Evaluation of best management practices for sediment and nutrient loss control using SWAT model. *Soil & Tillage Research*, 192, 42-58. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.016>
- Issaka, S., & Ashraf, M. A. (2017). Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/24749508.2017.1301053>
- Karakoyun, E., & Kaya, N. (2022). Hydrological simulation and prediction of soil erosion using the SWAT model in a mountainous watershed: a case study of Murat River Basin, Turkey. *Journal of Hydroinformatics*, 24 (6), 1175. doi: 10.2166/hydro.2022.056
- Kumar, S., Singh, A. & Shrestha, D.P. (2016). Modelling spatially distributed surface runoff generation using SWAT-VSA: a case study in a watershed of the north-west Himalayan landscape. *Model. Earth Systems and Environment*. 2, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0249-9>
- Leh, M. D. K., Sharpley, A. N., Singh, G., & Matlock, M.D. (2018). Assessing the impact of the MRBI program in a data limited Arkansas watershed using the SWAT model. *Agricultural Water Management*, 202, 202-219.
- Liu, M., Han, G., & Li, X. (2021). Contributions of soil erosion and decomposition to SOC loss during a short-term paddy land abandonment in Northeast Thailand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 321,

107629. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2021.107629>

- Liu, Y., Xu, Y., Zhao, Y., & Long, Y. (2022). Using SWAT Model to Assess the Impacts of Land Use and Climate Changes on Flood in the Upper Weihe River, China. *Water*, 14(13), 2098. <https://doi.org/10.3390/w14132098>
- López-Ballesteros, A., Senent-Aparicio, J., Srinivasan, R., & Pérez-Sánchez, J. (2019). Assessing the Impact of Best Management Practices in a Highly Anthropogenic and Ungauged Watershed Using the SWAT Model: A Case Study in the El Beal Watershed (Southeast Spain). *Agronomy*, 9(10), 576.
- Mahmoudi, Y., Delavar, M., Imani, S., & Mohammadi, A. (2019). Optimization of Type and Location of the Management Practises to Contorol Nutrient Loads into the Water Bodies, Case Study: Lake Zrebar Basin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(4), 977-990. doi: 10.22059/ijswr.2018.264038.667993. (In Persian)
- Mbonimpa, E. G., Yuan, Y., Mehaffey, M. H., & Jackson, M. A. (2012). SWAT Model Application to Assess the Impact of Intensive Corn-farming on Runoff, Sediments and Phosphorous loss from an Agricultural Watershed in Wisconsin. *Journal of Water Resource and Protection*, 4(7), 423-431. DOI: 10.4236/jwarp.2012.47049.
- Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., Ray, D. K., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 494(7419), 254–257. <https://doi.org/10.1038/nature11420>
- Nearing, M. A., Xie, Y., Liu, B., & Ye, Y. (2017). Natural and anthropogenic rates of soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2), 77–84. <https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2017.04.001>
- Nepal, D., & Parajuli, P.B. (2022). Assessment of Best Management Practices on Hydrology and Sediment Yield at Watershed Scale in Mississippi Using SWAT. *Agriculture*, 12, 518. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040518>
- Nyawade, S.O., Karanja, N.N., Gachene, C.K.K., Schulte-Geldermann, E., & Parker, M.L. (2018). Effect of potato hilling on soil temperature, soil moisture distribution and sediment yield on a sloping terrain. *Soil & Tillage Research*, 184, 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.06.008>
- Pavei, D. S., Panachuki, E., Salton, J. C., Sone, J. S., Alves Sobrinho, T., Valim, W. C., & Oliveira, P. T. S. (2021). Soil physical properties and interrill erosion in agricultural production systems after 20 years of cultivation. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 45, e0210039. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20210039>
- Peri, P. L., Lasagno, R. G., Chartier, M. P., Roig Junent, F. A., Rosas, Y. M., & Martínez Pastur, G. J. (2022). Soil Erosion Rates and Nutrient Loss in Rangelands of Southern Patagonia. In *The Encyclopedia of Conservation*. edited by DellaSala, D. A., Goldstein, M. I. Elsevier. 9, 102-110.
- Prosdocimi, M., Tarolli, P., & Cerdà, A. (2016). Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 161, 191–203.
- Rafiei Emam, A., Kappas, M., Linh, N.H.K., & Renchin, T. (2017). Hydrological Modeling and Runoff Mitigation in an Ungauged Basin of Central Vietnam Using SWAT Model. *Hydrology*, 4(1), 16. <https://doi.org/10.3390/hydrology4010016>
- Rezazadeh, M.S., Bakhriari, B., Abbaspour, K., & Ahmadi M. M. (2018). Simulation of Runoff, sediment and evapotranspiration through management scenarios to reduce sediment load using SWAT model. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*; 12(40), 41-50. <http://jwmsei.ir/article-1-492-fa.html>. (In Persian)
- Rouhani, H., Willems, P., & Feyen, J. (2009). Effect of watershed delineation and areal rainfall distribution on runoff prediction using the SWAT model. *Hydrology Research*, 40(6), 505–519. <https://doi.org/10.2166/nh.2009.042>
- Risal, A., & Parajuli, P.B. (2022). Evaluation of the Impact of Best Management Practices on Streamflow, Sediment and Nutrient Yield at Field and Watershed Scales. *Water Resources Management*, 36, 1093–1105.
- Rostamian, R., Jaleh, A., Afyuni, M., Mousavi, F., Heidarpour, M., Jalalian, A., & Abbaspour, K. C. (2008). Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran, *Hydrological Sciences Journal*, 53(5), 977-988. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.5.977>
- Sun, X., Bernard-Jannin, L., Garneau, C., Volk, M., Arnold, J. G., Srinivasan, R., Sauvage, S., & Sánchez-Pérez, J. M. (2016). Improved simulation of river water and groundwater exchange in an alluvial plain using the SWAT model. *Hydrological Processes*, 30, 187-202. <https://doi.org/10.1002/hyp.10575>
- Ullrich, A., & Volk, M. (2009). Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the



- impact of alternative management practices on water quality and quantity. *Agricultural Water Management*, 96(8), 1207-1217. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.010>
- Uniyal, B., Jha, M.K., Verma, A.K., & Anebagilu, P.K. (2020). Identification of critical areas and evaluation of best management practices using SWAT for sustainable watershed management. *Science of The Total Environment*, 744, 140737. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140737>
- Verheijen, F. G. A., Jones, R. J. A., Rickson, R. J., & Smith, C. J. (2009). Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94(1-4), 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.02.003>
- Wei, S., Zhang, X., McLaughlin, N. B., Chen, X., Jia, S., & Liang, A. (2017). Impact of soil water erosion processes on catchment export of soil aggregates and associated SOC. *Geoderma*, 294, 63–69.
- Woznicki, S. A., Nejadhashemi, A. P., & Smith, C. M. (2011). Assessing Best Management Practice Implementation Strategies under Climate Change Scenarios. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 54(1), 171-190. (doi: 10.13031/2013.36272)
- Yang, Q., Meng, F. R., Zhao, Z., Chow, T.L., Benoy, G., Rees, H.W., & Bourque, C.P. A. (2009). Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream water and sediment yields at a watershed level using SWAT model. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132(1/2), 23-31.
- Yuan, L., & Forshay, KJ. (2020). Using SWAT to Evaluate Streamflow and Lake Sediment Loading in the Xinjiang River Basin with Limited Data. *Water*, 12(1), 39. <https://doi.org/10.3390/w12010039>.
- Zhang, H., Wang, B., Liu, D.L., Zhang, M., Leslie, L.M., & Yu, Q. (2020). Using an improved SWAT model to simulate hydrological responses to land use change: A case study of a catchment in tropical Australia. *Journal of Hydrology*, 585, 124822. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124822>.