

## The Impact of Climate Change on Watershed Runoff and Sedimentation Using SWAT and WEPP Models (Case Study: Dehbar Basin)

HAMED HEIDARY<sup>1</sup>, MOHAMMED MUSAVI BAYGI<sup>1\*</sup>, KAZEM ESMAILI<sup>1</sup>, AND ALI GOLKARIAN<sup>2</sup>

1. Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2. Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(Received: Aug. 24, 2019- Revised: Jan. 6, 2020- Accepted: Jan. 7, 2020)

### ABSTRACT

Climate change is one of the most important factors influencing the hydrological cycle. The present study investigate the impact of climate change on runoff and sedimentation of the Dehbar watershed for the next 30 years using statistical model, LARS-WG and conceptual hydrological model, SWAT and WEPP. First, LARS-WG model was calibrated to generate future meteorological data in the basin. Then, the HadGEM2 model with three scenarios; RCP8.5, RCP4.5 and RCP2.6 were used to downscale meteorological data for period of 2020 to 2050. The results indicate a decrease in rainfall and an increase in temperature on the horizon of 2050. Also, the results of SWAT model show the runoff variations for RCP8.5, RCP4.5 and RCP2.6 scenarios which are -22.16%, -17.93% and -17.34%, respectively, and for sedimentation variations which are -4.4%, +9.4% and +3.2%, respectively, relative to the base period. In the WEPP model by choosing the hillslop method and using downscaled results of RCP8.5, RCP4.5 and RCP2.6 scenarios, sediment variations were estimated -6.4%, +12.6%, and +4.8%, respectively, compared to the base period.

**Keywords:** Climate change, LARS-WG, Sedimentation, Runoff, HadGEM2.

---

\* Corresponding Author's Email: [Hamedheidary666@um.ac.ir](mailto:Hamedheidary666@um.ac.ir)

## اثر تغییر اقلیم بر رواناب و رسوب حوضه با استفاده از مدل‌های SWAT و WEPP (مطالعه موردی: حوضه دهبار)

حامد حیدری<sup>۱\*</sup>، محمد موسوی بایگی<sup>۱</sup>، کاظم اسماعیلی<sup>۱</sup>، علی گلکاریان<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷)

### چکیده

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر چرخه هیدرولوژیک می‌باشد. پژوهش حاضر تاثیر پدیده تغییر اقلیم را بر رواناب و رسوب حوضه آبخیز دهبار واقع در خراسان رضوی برای ۳۰ سال آینده و با کمک مدل آماری LARS-WG و ابزار ارزیابی آب و خاک SWAT و مدل پیش‌بینی فرسایش آبی WEPP مورد ارزیابی قرار می‌دهد. ابتدا به منظور تولید داده‌های هواشناسی دوره آتی در حوضه، مدل LARS-WG مورد واسنجی قرار گرفت و سپس از مدل HadGEM2 و سه سناریو RCP4.5، RCP5.5 و RCP2.6 برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های هواشناسی برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ استفاده شد. نتایج مدل LARS-WG حاکی از کاهش بارندگی و افزایش دما در افق ۲۰۵۰ می‌باشد. نتایج مدل SWAT نیز تغییرات رواناب را برای سناریوهای RCP4.5، RCP5.5 و RCP2.6 به ترتیب ۲۲/۱۶-، ۱۷/۹۳- و ۱۷/۳۴- درصد و تغییرات رسوب را به ترتیب ۴/۴-، ۹/۴+ و ۳/۲+ درصد نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. در مدل WEPP با انتخاب روش دامنه و استفاده از نتایج ریزمقیاس‌شده مدل گردش عمومی جو تحت سناریوهای RCP4.5، RCP5.5 و RCP2.6، تغییرات رسوب به ترتیب ۶/۴-، ۱۲/۶+ و ۴/۸+ نسبت به دوره پایه برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، LARS-WG، رسوب، رواناب، HadGEM2.

### مقدمه

ارزیابی پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای احتمالی آن بر فرآیندهای هیدرولوژیک حوضه، کمک فراوانی به حل چالش‌های مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در دوره‌های آتی خواهد کرد. اثر تغییر اقلیم به‌وسیله شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک با مدل فیزیکی و منابع بارش-رواناب مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌های هیدرولوژی چارچوبی را برای بررسی رابطه بین هواشناسی و مهندسی و مدیریت منابع آب فراهم می‌کنند. اهمیت این موضوع به حدی است که سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در سال ۱۹۸۷ بر لزوم تحقیق پیرامون تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب تاکید کرده است و پیرو آن در سال ۱۹۸۸، اجلاس جهانی بررسی مشکلات احتمالی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در استرالیا برگزار شد.

مدل LARS-WG یکی از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی هواشناسی است که با استفاده از بارش روزانه، تابش خورشیدی،

دمای بیشینه و دمای کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر، برای پیش‌بینی این پارامترها در آینده به کار می‌رود (Sanikhani *et al.*, 2013). مبنای مدل LARS-WG برای مدل-سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی (SED) می‌باشد. تحقیقات مختلفی در زمینه تغییر اقلیم صورت گرفته است که مواردی از آن به صورت زیر بیان می‌شود.

Modaresi *et al.* (2011) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه‌ها نشان دادند که سناریو B2 از مدل HadCM3 مناسب‌ترین سناریو و مدل برای حوضه آبریز گرگان‌رود می‌باشد و در ۳۰ سال آتی کاهش حجم سالانه آب رودخانه توسط این سناریو پیش‌بینی شده است. (Sanikhani *et al.*, 2013) برای پیش‌بینی تغییر اقلیم بر مبنای مدل‌های گردش عمومی جو (GCM<sup>۲</sup>) و بررسی اثرات آن بر رواناب حوضه از مدل LARS-WG استفاده کردند و کاهش بارش و افزایش دما را در افق ۲۰۵۵

\* نویسنده مسئول: Hamedheidary666@um.ac.ir

1. Semi-Empirical Distribution  
2. General Circulation Model

و نیمه توزیعی SWAT<sup>۲</sup> و مدل توزیعی WEPP<sup>۳</sup> در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب و رسوب حوضه دهبار استفاده شده است. مدل SWAT یک شبیه‌ساز هیدرولوژیکی، یک مدل پیوسته زمانی و نیمه توزیعی مکانی با پایه فیزیکی است که برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شد و از آن زمان به‌طور پیوسته در حال توسعه بوده است (Arnold et al., 1998; Neitsch et al., 2005). در این مدل، تنوع مکانی منطقه ابتدا با تقسیم حوضه آبخیز به زیرحوضه‌ها و سپس تقسیم زیرحوضه‌ها به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی<sup>۴</sup> (HRUs) بر اساس نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و نقشه طبقه‌های شیب، بیان شده و شبیه‌سازی فرآیند بارش و رواناب برای هر یک از این واحدها به صورت جداگانه انجام می‌شود (Alansi et al., 2009). در این مدل ترکیبات اصلی بر اساس معادلات فیزیکی و تجربی بوده و پارامترهای ورودی آن مقادیر متوسط روزانه بارندگی و دمای هوا است (Burns et al., 2004). مدل SWAT از معادله اصلاح‌شده جهانی فرسایش خاک (MUSLE<sup>۵</sup>) برای شبیه‌سازی فرسایش خاک و بار رسوب استفاده می‌کند و قابلیت ارائه نتایج در بازه‌های زمانی سالانه، ماهانه، روزانه و ساعتی را نیز دارا می‌باشد (Arnold et al., 1998). محققان متعددی در مطالعات خود از مدل SWAT استفاده کرده‌اند. (Golshan et al., 2016) در مقایسه با مدل IHACRES؛ (Goodarzi et al., 2012) در مقایسه با مدل‌های IHACRES و SIMHYD (Kliment et al., 2008)، AnnAGNPS و (Saleh and Du, 2004) در مقایسه با مدل HSPF، SWAT را در شبیه‌سازی رواناب و رسوب برتر دانستند. نتایج تحقیقات (Naseri et al., 2018) در حوضه آبخیز سد فریمان، (Kiani et al., 2017) حوضه تمر استان گلستان، (Hosseini et al., 2016) در حوضه قره‌سو استان کرمانشاه و (Mahzari et al., 2016) در حوضه رودخانه گرگان‌رود بیانگر کارایی خوب مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رسوب بود

در سال ۱۹۸۵ به دلیل ناکارآمدی مدل USLE<sup>۶</sup>، این مدل به تدریج از فرایند مطالعات حذف و در سال ۱۹۹۹ مدل WEPP در قالب یک برنامه نرم‌افزاری کاربرپسند به عنوان جایگزینی برای مدل جهانی فرسایش خاک توسعه پیدا کرد. WEPP به معنی پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی می‌باشد. مدل WEPP یک مدل کامپیوتری پیشرفته است که می‌تواند میزان فرسایش و رسوب را بر روی دامنه‌ها و در داخل آبراه‌ها و حوضه آبخیز برآورد کند

در حوضه آبریز آجی‌چای در استان آذربایجان شرقی گزارش دادند. (Taheri Tizro et al., 2018) با استفاده از مدل اقلیمی HadGEM2 و سناریوی RCP<sup>۱</sup>4.5 از گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم به ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب سطحی در منطقه تویسرکان پرداختند. نتایج ارزیابی به عملکرد خوب مدل در برآورد بارندگی و دما اشاره داشت و پیش‌بینی بارندگی در ۱۰ سال آینده (چشم‌انداز ۲۰۲۵-۲۰۱۶) نشان از کاهش بارندگی در بیشتر بخش‌های حوضه دارد. (Ahmadi et al., 2019) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش فصلی تا افق ۲۰۹۰ در مناطق سردسیر پرداختند. نتایج نشان داد که مدل HadGEM2-ES از بین مدل‌های HadGEM2-ES, BCC-CSM1.1, GFDL-ES, MIROC-ESM و GISS-E2-R از توانایی بالاتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، تغییر اقلیم بر توزیع زمانی-مکانی بارش مناطق سردسیر ایران تاثیر خواهد داشت و آینده‌ای با بارش کمتر و متغیر را نشان خواهد داد.

(Alexander and Arblaster, 2017) به بررسی بارش‌های حدی با استفاده از مدل‌های CMIP5 پرداختند و افزایش ناچیز بارش را در آینده میانی پیش‌بینی کردند. (Ishida et al., 2017) نیز نشان دادند که در منطقه کالیفرنیا شمالی بر اساس مدل‌های MIROC5، HadGEM2-ES و CCSM4 و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، بارش دوره آینده تغییرات کاهشی خواهد داشت. (Peng et al., 2017) با بررسی اثرات تغییر اقلیم در فلات لووس چین بر اساس سناریوهای واداشت تابشی نتیجه گرفتند که بارش در آینده میانی افزایش خواهد بود ولی در آینده دور با کاهش و عدم قطعیت بیشتری همراه خواهد شد. تحقیقات برخی از محققین در داخل کشور نیز نشان می‌دهد که بارش در دوره آینده کاهش خواهد داشت (Daneshfaraz, 2011; Abbasi et al., 2015; Goudarzi et al., 2015; Razzaghpour, 2014).

فرسایش خاک یکی از مهمترین مسائل زیست‌محیطی است که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. فرسایش خاک فرآیندی است که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک عوامل مختلفی مانند باد، آب، نیروی ثقل، یخچال و انسان به مکانی دیگر حمل می‌شوند (Esmaili and Abdollahi, 2010). به ذرات حمل‌شده و تجمع‌یافته نیز رسوب گفته می‌شود. در این تحقیق از مدل هیدرولوژیکی نیمه فیزیکی

۴. Hydrologic Response Units

۵. Modified Universal Soil Loss Equation

۶. Universal Soil Loss Equation

1. Representative Concentration Pathways

۲. Soil and Water Assessment Tool

۳. Water Erosion Prediction Project

(*et al.*, 2003). از آنجا که تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر میزان رسوب و رواناب خروجی حوضه دهبار مورد مطالعه قرار نگرفته است لذا هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی مطلب مذکور در دوره آتی (با چشم‌انداز ۳۰ سال آینده) با استفاده از مدل‌های WEPP و SWAT می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز دهبار در شهرستان طرنبه-شاندیز قرار دارد که در بخش طرنبه و در ۱۰ کیلومتری غرب مشهد و در جنوب شهر طرنبه واقع شده است. روستاهای کلاته آهن و دهبار در داخل این حوضه قرار دارند. وسعت حوضه دهبار مشهد ۱۱۵/۷۳ کیلومتر مربع است. مختصات جغرافیایی محدوده مطالعات بر اساس طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۲۴ دقیقه و ۱۳ ثانیه و ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه و ۴۴ ثانیه است. شکل (۱) موقعیت حوضه آبخیز دهبار را نشان می‌دهد. متوسط بارندگی سالانه حوضه دهبار ۳۴۲/۵ میلی‌متر و بیشترین بارندگی ماهانه حوضه مربوط به اسفند ماه می‌باشد. این دارای متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۰/۹، متوسط حداقل درجه حرارت سالانه ۴/۷، متوسط حداکثر درجه حرارت سالیانه ۱۷، حداقل دمای مطلق سالیانه ۲۲/۸- و حداکثر دمای مطلق سالیانه ۳۹/۱ درجه سانتیگراد می‌باشد.

برای انجام مطالعات هواشناسی حوضه، از ایستگاه باران-سجی حصار که در خروجی حوضه مورد مطالعه قرار دارد؛ برای تعیین پارامترهای بارش و از ایستگاه تبخیرسنجی زشک که از نظر ارتفاعی و بعد مسافت مشابه منطقه بود، در مطالعات حرارتی و تعیین پارامترهای مورد نیاز دیگر به عنوان معرف منطقه استفاده شده است.

در این تحقیق از نسخه ۶ مدل LARS-WG و نسخه دوم مدل محیطی جهانی مرکز همدلی (HadGEM2) و سه سناریو RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 از گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد. برای بررسی عملکرد نتایج شبیه‌سازی در این مدل از آزمون‌های آماری کولموگروف اسمیرنوف (K-S)، T و F استفاده می‌شود. این آزمون‌ها بر اساس این فرض هستند که داده‌های هواشناسی مشاهده‌شده و تولیدشده، نمونه‌های تصادفی از توزیع‌های موجود می‌باشند. این آزمون‌ها فرض صفر را بررسی می‌کنند. فرض صفر به این معنی است که هر دو توزیع مشابه هستند و اختلاف معنی‌داری ندارند. در این مطالعه تغییرات متغیرها در افق ۲۰۵۰ نسبت به دوره مبنا (۲۰۱۴-۱۹۷۹) مورد

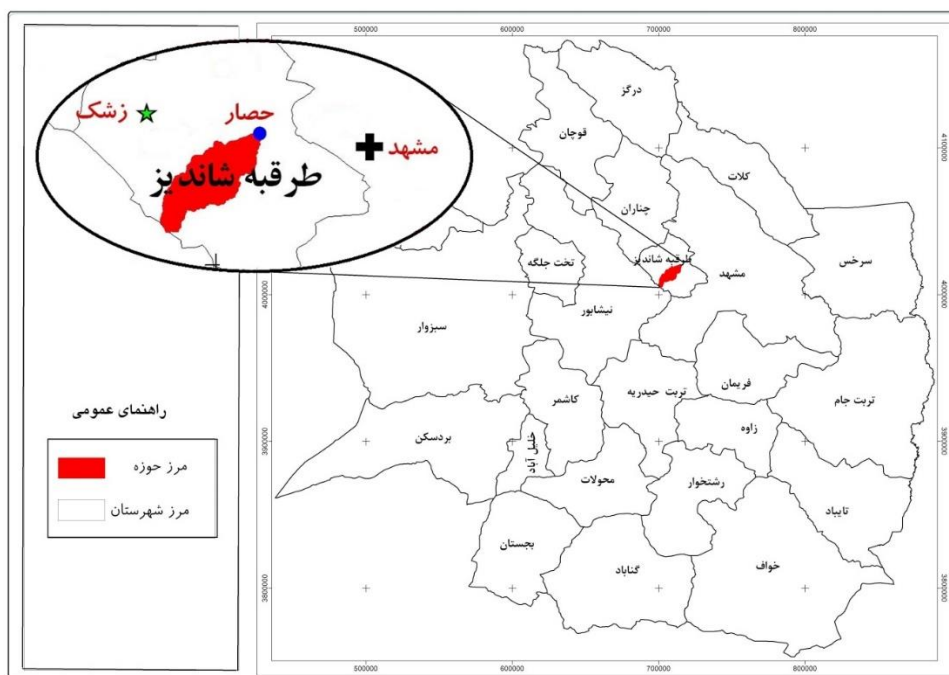
(WEPP, 1995). (Khaleghpanah *et al.* (2018) به بررسی کارایی مدل WEPP در برآورد هدررفت خاک در حوضه خامسان کردستان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل WEPP هدر رفت خاک ناشی از رخدادهای طبیعی را در دامنه‌های مرتعی دارای مقادیر قابل توجهی جزء سنگی، به میزان قابل قبولی پیش-بینی می‌کند. (Tulabi *et al.* (2015) به ارزیابی کارایی مدل WEPP در برآورد رسوب حوضه در منطقه سولاچای در اردبیل پرداختند. در این تحقیق مقدار رسوب ویژه در هر یک از سه حالت دامنه، حوضه آبخیز و مسیرهای جریان محاسبه شد و نتایج نشان داد که مقادیر برآورد رسوب در حالت‌های دامنه و حوضه آبخیز به مقادیر رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر می‌باشد. (Ahmadi *et al.* (2008) به برآورد فرسایش و رسوب به سه روش حوضه آبخیز، دامنه و مسیر جریان در حوضه بار-اریه نیشابور پرداختند. نتایج نشان داد که دو روش دامنه و مسیر جریان به عدد مشاهده‌ای نزدیکتر بوده و برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه نسبت به روش حوضه آبخیز مناسب‌تر می‌باشند.

(Shen *et al.* (2009) به مقایسه دو مدل WEPP و SWAT در برآورد میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز ژانگ جیا چونگ پرداختند. نتایج نشان داد که برآورد فرسایش خاک در هر دو مدل قابل قبول می‌باشد ولی مدل WEPP نتایج بهتری به دست می‌دهد. (Defersha *et al.* (2012) به مقایسه دو مدل WEPP و EROSION 3D در برآورد رسوب و رواناب حوضه رودخانه مارا در کنیا پرداختند. نتایج نشان داد که هر دو مدل، ابزارهای مفیدی برای برآورد رواناب و رسوب در مقیاس حوضه آبخیز می‌باشند. (Tulabi (2013) به مقایسه دو مدل WEPP و EPM در برآورد میزان فرسایش خاک و رسوب‌دهی در حوضه سولاچای استان آذربایجان غربی پرداخت. نتایج نشان داد که مقدار رسوب برآوردشده با استفاده از مدل WEPP به مقدار رسوب مشاهده‌ای نزدیکتر بوده و این مدل کارایی بیشتری نسبت به مدل EPM در برآورد رسوب دارد. (Pajooresh (2016) به مقایسه کارایی مدل WEPP و MPSIAC در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب حوضه گوجان چال نمد استان چهارمحال و بختیاری با مقدار رسوب مشاهده‌ای پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل WEPP با داشتن ۲۱ درصد خطای نسبی در برآورد رسوب دارای خطای کمتری نسبت به مدل MPSIAC با ۷۲ درصد خطای-باشد لذا مدل WEPP کارایی بهتری در برآورد رسوب منطقه مورد مطالعه دارد.

حوضه دهبار بزرگترین زیر حوضه تامین‌کننده آب بند گلستان می‌باشد که به علل مختلف مانند کاربری اراضی اشتباه و شیب زیاد همواره در معرض فرسایش است (Mousavi Herami

WEPP معرفی شد.

بررسی قرار گرفت. سپس داده‌های پیش‌بینی‌شده تحت سه سناریو RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 به مدل‌های SWAT و



شکل ۱- موقعیت حوضه دهبار و ایستگاه‌های حصار و زشک در استان خراسان رضوی مدل LARS-WG

سری‌های زمانی ماهانه رواناب و رسوب حوضه دهبار در ایستگاه هیدرومتری حصار برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ شبیه‌سازی شد.

### مدل WEPP

پارامترهای مورد نیاز برای اجرای مدل WEPP شامل نقشه توپوگرافی<sup>۳</sup>، خصوصیات خاک، عوامل اقلیمی، مدیریت اراضی و پوشش گیاهی می‌باشد. اطلاعات توپوگرافی توسط نرم‌افزار GeoWEPP به مدل وارد می‌شود. برداشت و مطالعه نیمرخ خاک در این مدل به صورت افق‌های ژنتیک و تا عمق ۱/۸ متر بود. برای ساخت ابزار<sup>۴</sup> اقلیم از نرم‌افزار CLIGEN استفاده شد. اطلاعات مربوط به ابزار اقلیم از ایستگاه تبخیرسنجی زشک به دست آمد. ابزار مدیریت اراضی شامل مجموعه‌ای از شیوه‌های مدیریتی و خصوصیات گیاه و روش‌های خاک‌ورزی مورد استفاده در منطقه است. مدل WEPP در سه حالت حوضه آبخیز، دامنه و مسیره‌های جریان میزان رسوب را برآورد می‌کند. پس از اجرای مدل WEPP و انتخاب بهترین روش برآورد رسوب توسط مدل، داده‌های ریزمقیاس‌شده دما و بارش تحت سه سناریو RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 به مدل WEPP معرفی و مقدار رسوب ویژه برای روش منتخب پیش‌بینی شد.

### مدل SWAT

برای آماده‌سازی و اجرای مدل SWAT از نقشه و اطلاعات مدل ارتفاع رقومی، خاک، کاربری اراضی، داده‌های هیدرولوژیک و هواشناسی استفاده شد. در ابتدا مدل ارتفاع رقومی به افزونه ArcSWAT 2012.10 در نرم‌افزار ArcGIS 10.3.1 معرفی شد و با اضافه کردن یک خروجی در محل ایستگاه هیدرومتری حصار، حوضه دهبار به ۱۰ زیر حوضه تفکیک شد. با توجه به موجود بودن داده‌های مربوط به بار رسوب روزانه بین سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۷۹، از داده‌های سال ۱۹۸۱ الی ۲۰۰۹ برای واسنجی و از سال ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۴ برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. در این مطالعه سه سال قبل از دوره انتخاب‌شده برای واسنجی مدل یعنی سال-های ۱۹۸۱-۱۹۷۹ به عنوان دوره گرم‌کردن انتخاب و مدل از سال ۲۰۱۴-۱۹۸۱ اجرا شد (Arnold et al., 1993; Eckhardt et al., 2003). به منظور آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبار سنجی مدل SWAT، از الگوریتم نیمه خودکار SUFI-2 استفاده شد (Yang et al., 2008; Yesuf et al., 2016). در این پژوهش جهت ارزیابی شبیه‌سازی‌های مدل از دو شاخص آماری ضریب تعیین<sup>۱</sup> و معیار نش-سانکلیف<sup>۲</sup> بهره گرفته شد. سپس با معرفی سری-های روزانه دما و بارش ریزمقیاس‌شده توسط مدل LARS-WG تحت سه سناریو RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 به مدل SWAT،

3. Topography Map  
4. File

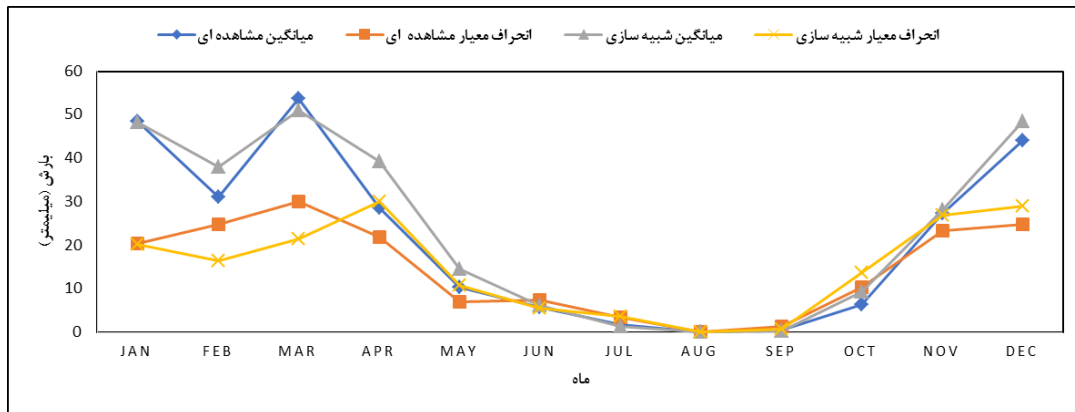
1. Coefficient of Determination (R2)  
2. Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient (NSE)

## نتایج و بحث

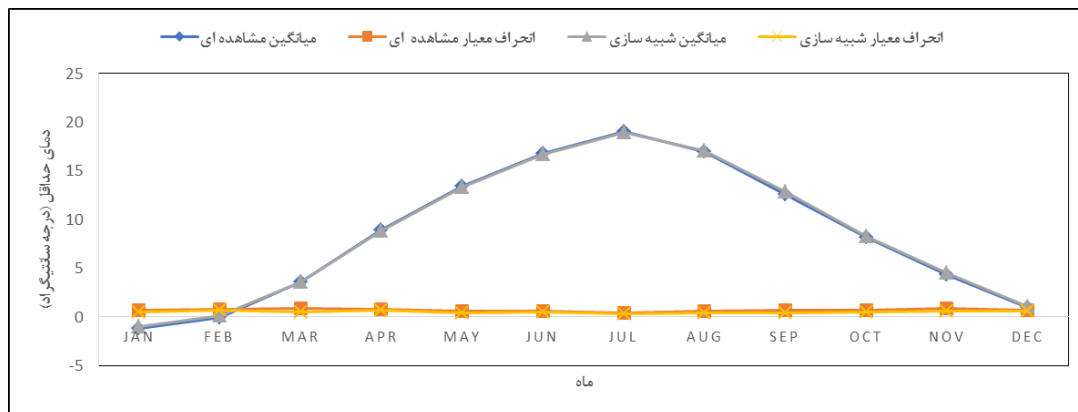
### نتایج مدل LARS-WG

برای تأیید روند ریز مقیاس نمایی، نمودارهای میانگین و انحراف معیار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG6 در

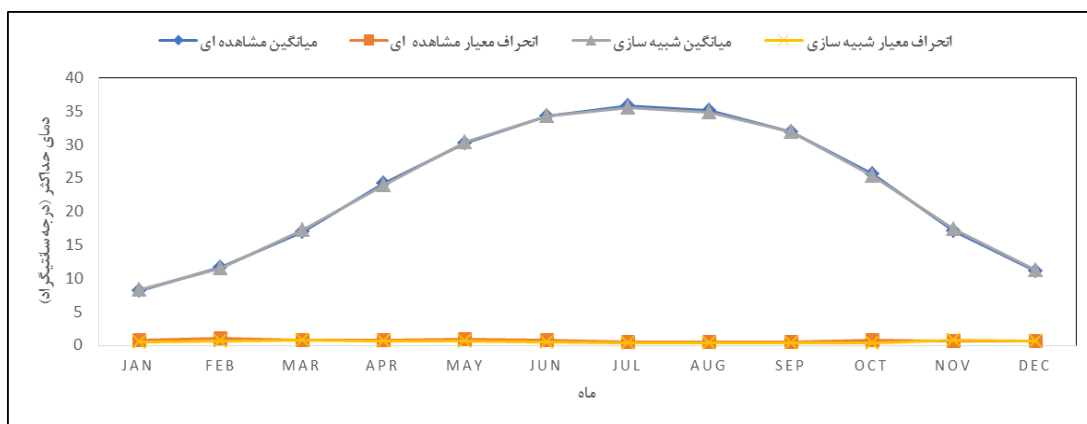
دوره آماری ۱۹۷۹-۲۰۱۴ مربوط به متغیرهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در مقیاس ماهانه در شکل‌های (۲، ۳ و ۴) ارائه شده است. همچنین مقادیر P-Value حاصل از آزمون t برای پارامترهای فوق الذکر در جدول (۱) قابل مشاهده است.



شکل ۲- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش ماهانه



شکل ۳- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداقل ماهانه



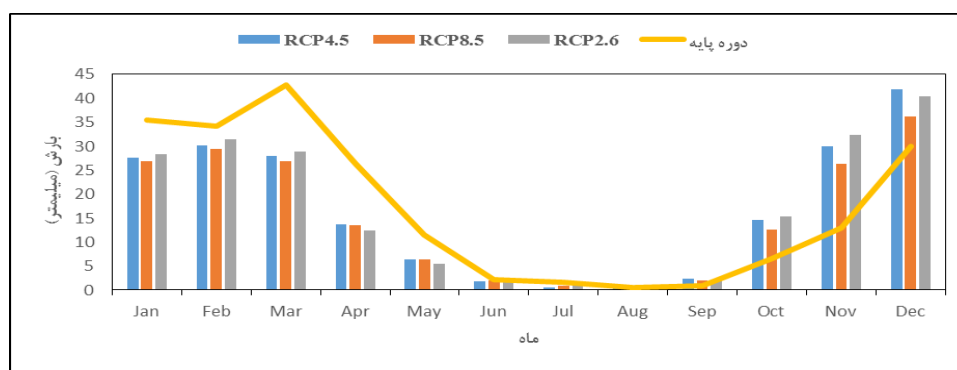
شکل ۴- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداکثر ماهانه

جدول ۱- مقادیر P-Value حاصل از آزمون t برای مقایسه میانگین‌های ماهانه بارش و حداقل دمای شبیه‌سازی و مشاهده شده

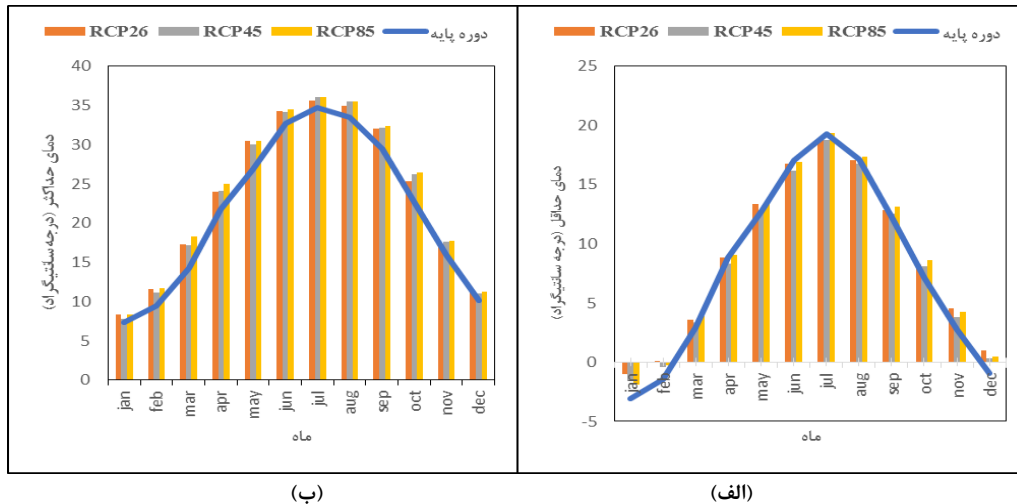
ماه												پارامتر
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
۰/۱۴۶	۰/۷۶۳	۰/۶۶۰	۰/۱۰۸	۰/۱۷۰	۰/۷۲۱	۰/۶۴۶	۰/۷۷۹	۰/۱۷۶	۰/۳۱۵	۰/۸۹۴	۰/۱۸۸	بارش (میلی‌متر)
۰/۱۴۱	۰/۳۰۴	۰/۹۵۲	۰/۶۱۸	۰/۷۹۵	۰/۹۶۵	۰/۱۸۱	۰/۷۱۷	۰/۱۵۹	۰/۸۴۹	۰/۲۳۶	۰/۷۴۳	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)
۰/۱۸۰	۰/۷۱۲	۰/۲۳۲	۰/۱۶۲	۰/۵۲۸	۰/۷۱۵	۰/۱۶۶	۰/۱۶۳	۰/۹۹۲	۰/۱۵۲	۰/۱۴۱	۰/۱۹۸	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)

RCP4.5 و RCP2.6) در افق ۲۰۵۰ را در هفت ماه ابتدای سال کمتر از میزان بارش ماهانه در دوره پایه نشان می‌دهد ولی برای پنج ماه دوم سال افزایش بارش مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج تمامی سناریوهای مدل اقلیمی، میزان بارش افت خواهد کرد. از این رو به نظر می‌رسد ترسالی طولانی‌مدت در منطقه رخ ندهد بلکه در بیشتر سال‌ها خشکسالی بدون تغییر و یا با تغییرات قابل چشم‌پوشی دیده شود. کاهش بارندگی و برهم خوردن توزیع زمانی بارش در نتایج (Modaresi et al., 2011). Sanikhani et al. (2013). al. (2018). Taheri Tizro et al. (2019). Ahmadi et al. (2019) نیز دید می‌شود. در تحقیقاتی نظیر Farmanbar et al. (2018) و Kaboosi and Kordjazi (2017) افزایش بارندگی نیز گزارش شده است. این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت ویژگی‌های فیزیکی و اقلیمی حوضه‌های مورد مطالعه باشد. در شکل (۶) نیز اختلاف دما در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ تحت سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. با توجه به این اشکال، به طور کلی پیش‌بینی می‌شود که در افق ۲۰۵۰ دما به طور متوسط نسبت به دوره پایه افزایش یابد.

با توجه به شکل (۲)، مقادیر میانگین بارش شبیه‌سازی- شده، انطباق خوبی با مقادیر مشاهداتی دارند و بیشترین اختلاف مربوط به ماه‌های فوریه و آوریل می‌باشد. در خصوص مقادیر انحراف معیار بارش‌های ماهانه نیز بیشترین اختلاف به ماه‌های فوریه و مارس تعلق دارد. میانگین دمای حداقل شبیه‌سازی شده نیز تطابق خیلی خوبی با مقادیر مشاهداتی دارد (شکل ۳). همچنین برای دمای حداکثر نیز روندی مشابه دمای حداقل دیده می‌شود که در شکل (۴) کاملاً مشهود است. انطباق بیشتر مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده دما نسبت به مقادیر بارش به علت ماهیت پیوسته بودن عامل دما می‌باشد. در جدول (۱)، هیچ اختلاف معنی‌داری بین میانگین داده‌های دما و بارش تولید شده و داده‌های مشاهداتی وجود ندارد و مدل LARS-WG به خوبی توانسته است میانگین‌های دما و بارش را شبیه‌سازی کند. به طور معمول برای این آزمون سطح اطمینان ۵ درصد در نظر گرفته شده است، بنابراین برای  $P \geq 0.05$  می‌توان فرض صفر را پذیرفت. شکل (۵) نیز بارش ماهانه در تمامی سناریوها (RCP8.5،



شکل ۵- میانگین بارش ماهانه در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ به ازای سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه



شکل ۶- میانگین (الف) دمای حداقل و (ب) دمای حداکثر در سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ به ازای سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه

جدول (۲) نشان داده شده است. در این جدول درجه تاثیر پارامترهای مهم در شبیه سازی دبی و رسوب خروجی از زیر حوضه ها با مقادیر P-Value و T-Stat مشخص شده است. هر متغیر که مقدار قدر مطلق T-Stat بیشتری داشته و همچنین مقدار P-Value آن نزدیک صفر باشد، تاثیر بیشتری بر روی دبی و رسوب دارد.

### واسنجی و اعتبار سنجی مدل SWAT

برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در ابتدا با استفاده از نرم افزار SWAT\_CUP پارامترهایی که تاثیر بیشتری بر دبی و رسوب خروجی از حوضه داشتند، مشخص شدند. آنالیز حساسیت بر روی ۲۷ متغیر برای دبی و ۱۴ متغیر برای رسوب انجام شد. نتایج حاصل از انجام تحلیل حساسیت برای رواناب و رسوب در

جدول ۲- نتایج تحلیل آنالیز حساسیت مدل و مقادیر T-Stat و p-Value مربوط به پارامترهای منتخب رواناب و رسوب

نام پارامتر	توضیحات	واحد	T-Stat	P-Value
r_CN2.mgt	شماره منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی	بدون بعد	۵/۲۷	۰/۰۰
v_SMFMX.bsn	عامل ذوب برف در ۲۱ جولای	میلی متر بر درجه در روز	۴/۴۴	۰/۰۰
v_ALPHA_BF.gw	ضریب عکس العمل جریان آب زیرزمینی	بدون بعد	۳/۸۸	۰/۰۰
r_USLE_K(1).sol	عامل فرسایش پذیری خاک (K) در USLE	بدون بعد	۲/۷۶	۰/۰۰
v_CH_N2.rte	ضریب مانینگ آبراهه اصلی	بدون بعد	۲/۶۸	۰/۰۱
v_PRF.bsn	ضریب تصحیح میزان پیک رسوب در روندیابی کانال اصلی	بدون بعد	۱/۹۳	۰/۰۵
v_SPCON.bsn	پارامتر خطی برای محاسبه حداکثر مقدار رسوب	بدون بعد	۱/۸۹	۰/۰۶
v_ESCO.hru	ضریب تصحیح تبخیر از خاک	بدون بعد	۱/۵۱	۰/۱۶
v_SPEXP.bsn	نمای رابطه انتقال رسوب	بدون بعد	۱/۴۷	۰/۱۳
r_OV_N.hru	ضریب مانینگ برای جریان سطحی	بدون بعد	۱/۴۵	۰/۱۵
v_TIMP.bsn	ضریب تاخیر دمای توده برف	بدون بعد	۱/۳۵	۰/۱۸
r_SOL_AwC(1).sol	ظرفیت آب قابل دسترس خاک در لایه سطحی	میلی متر آب بر میلی متر خاک	۱/۳۳	۰/۲۷
v_CH_K2.rte	هدایت هیدرولیکی آبراهه اصلی	میلیمتر بر ساعت	۰/۸۶	۰/۳۹
r_SOL_K(1).sol	هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در لایه سطحی	میلیمتر بر ساعت	۰/۸۲	۰/۴۲
v_GW_DELAY.gw	زمان تاخیر نفوذ آب به سطح ایستابی	روز	۰/۷۳	۰/۴۷

پس از آن، مدل با داده های دبی و بار رسوب ماهانه ایستگاه هیدرومتری حصار واسنجی و اعتبارسنجی شد. نتایج این بخش در جدول (۳) ارائه شده است. پس از اطمینان از کارایی مدل، داده های ریزمقیاس شده توسط مدل LARS-WG تحت سه

سناریو RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 به مدل SWAT معرفی شد. شکل های (۷ و ۸) نشان دهنده افزایش رواناب و رسوب در پنج ماه انتهای سال نسبت به نیمه اول می باشد. نتایج نشان دهنده کاهش رواناب و افزایش رسوب برای سناریوهای RCP4.5 و



(۴) درصد تغییرات رواناب و رسوب در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر سه سناریو اقلیمی مشاهده می‌شود.

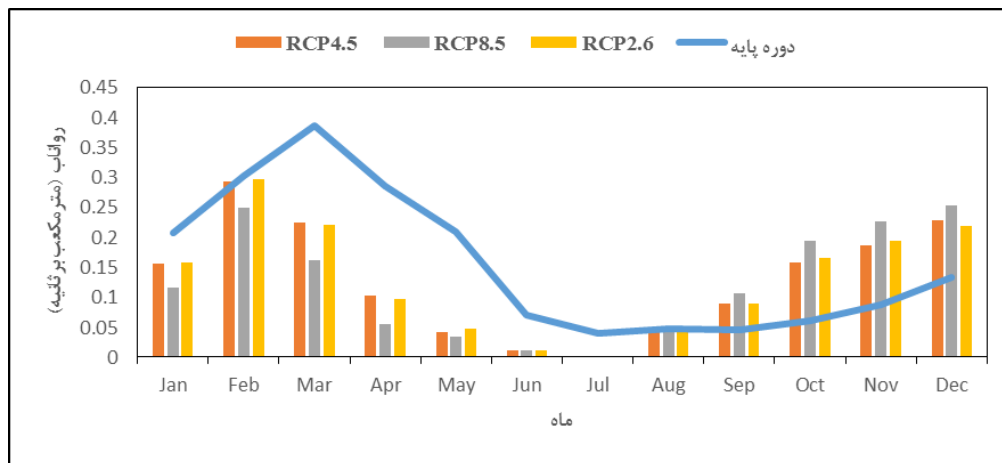
RCP2.6 در دوره آتی نسبت به دوره پایه می‌باشد. برای سناریو RCP8.5 کاهش رواناب و رسوب پیش‌بینی شده است. در جدول

جدول ۳- معیارهای ارزیابی مدل SWAT برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی

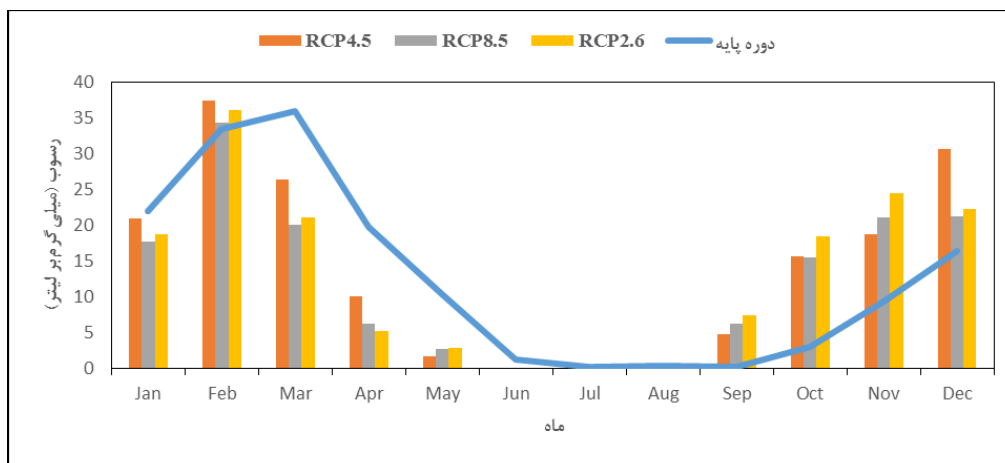
متغیر	دوره	دوره آماری	NSE	R <sup>2</sup>	P-Factor	R-Factor
رواناب	واسنجی	۱۹۸۱-۲۰۰۹	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۶۸	۰/۴۵
	اعتبار سنجی	۲۰۱۰-۲۰۱۴	۰/۶۸	۰/۹۲	۰/۵۷	۰/۲۸
رسوب	واسنجی	۱۹۸۱-۲۰۰۹	۰/۶۲	۰/۸۹	۰/۴۱	۱/۵۴
	اعتبار سنجی	۲۰۱۰-۲۰۱۴	۰/۷۱	۰/۸۷	۰/۴۵	۱/۳۱

جدول ۴- میزان درصد تغییر میانگین رواناب و رسوب دوره آتی نسبت به دوره پایه

متغیر	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
رواناب	-۱۷/۳	-۱۷/۹	-۲۲/۱۶
رسوب	۳/۲	۹/۴	-۴/۴



شکل ۷- میانگین رواناب ماهانه دوره پایه و دوره آتی



شکل ۸- میانگین رسوب ماهانه دوره پایه و دوره آتی

رسوب در کنار کاهش رواناب می‌تواند به دلیل افزایش بارش‌های حدی در حوضه باشد. افزایش شدت بارش‌های حداکثر با وجود کاهش بارش سالانه در تحقیق Heidari and Khazaei (2018)

کاهش میزان رواناب که در نتیجه کاهش میانگین ماهانه بارندگی می‌باشد، توسط محققانی همچون Mansouri et al. (2015) و Naseri et al. (2016) نیز گزارش شده است. افزایش

نیز دیده می‌شود.

اصلاح شده استفاده شد. شکل (۹) نمودار سنج رسوب حوضه آبخیز دهبار را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، مقدار رسوب مشاهده‌ای ۲/۱۴ تن در هکتار در سال برای هر هکتار محاسبه شد.

مقایسه نتایج حاصل از سه حالت حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه با رسوب مشاهده‌ای حوضه آبخیز دهبار بیانگر این است که حالت دامنه به مقدار رسوب مشاهده‌ای (با ۱۲/۲ درصد اختلاف) نزدیک‌تر بوده و نتایج قابل قبول‌تری را ارائه می‌دهد. روش منتخب (Tulabi et al. (2015) دامنه و حوضه آبخیز و (Ahmadi et al. (2008) دامنه و مسیر جریان بوده است و در این مطالعه بعد از دامنه، روش مسیر جریان نزدیک‌ترین برآورد به داده‌های مشاهداتی را داشت. سپس با معرفی داده‌های ریزمقیاس شده توسط مدل LARS-WG تحت سه سناریو RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 به مدل WEPP، مقدار رسوب با روش دامنه برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ محاسبه شد (جدول ۹).

### برآورد رسوب با مدل WEPP

عوامل مورد نیاز مدل WEPP شامل اقلیم، خاک، مدیریت، توپوگرافی و آبراهه است. جدول‌های (۵ و ۶) به ترتیب نتایج آزمایشات انجام شده و متغیرهای محاسبه شده برای ابزار خاک می‌باشند. در جدول (۷) داده‌های مورد نیاز ابزار اقلیم که شامل اطلاعات بارندگی و دمای منطقه می‌باشد، مشاهده می‌شود. پس از آماده‌سازی سایر داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل WEPP در نهایت مقادیر فرسایش و رسوب به دست آمد. جدول (۸) نتایج محاسبات را نشان می‌دهد.

برای بررسی صحت پیش‌بینی‌های انجام شده، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری حصار (دوره آماری ۳۶ ساله) استفاده شد. اطلاعات این ایستگاه شامل داده‌های روزانه دبی (مترمکعب بر ثانیه) و داده‌های موردی رسوب (تن در روز) بود. برای ترسیم منحنی سنج رسوب از روش متوسط دسته‌ها با ضریب FAO

جدول ۵- عوامل اندازه‌گیری شده برای ابزار خاک

شماره پروفیل	عمق (میلی‌متر)	ماسه (%)	رس (%)	مواد آلی (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100gr)	سنگریزه (%)
	۲۵۰	۳۴	۲۸	۰/۷۵	۷/۶۸	۲۳
۱	۳۵۰	۳۸	۲۳	۰/۶۳	۶/۸۵	۲۵
	۵۵۰	۳۹	۲۳	۰/۶۱	۶/۷۱	۲۸
۲	۲۰۰	۴۸	۲۶	۰/۴۶	۵/۶۹	۴۵
	۴۰۰	۵۱	۲۰	۰/۳۹	۵/۲۰	۵۱
۳	۸۰	۶۲	۱۲	۰/۴۶	۵/۶۵	۳۲
	۲۸۰	۶۲	۱۰	۰/۱۲	۳/۳۲	۳۳
	۲۰۰	۳۸	۲۰	۱/۳۶	۱۱/۸۳	۳۵
۴	۵۰۰	۳۳	۲۵	۰/۸۹	۸/۶۳	۳۰
	۷۰۰	۳۵	۳۰	۰/۹۷	۹/۱۹	۳۲
۵	۱۰۰	۵۴	۲۴	۰/۴۸	۵/۸۲	۳۸
	۲۲۰	۵۹	۲۲	۰/۳۲	۴/۷۲	۴۶
۶	۴۲۰	۴۶	۱۴	۰/۹۳	۸/۸۷	۴۰
	۷۸۰	۴۸	۱۵	۰/۸۸	۸/۵۳	۴۴
	۳۰۰	۵۲	۱۸	۰/۵۹۷	۶/۶۱	۴۳
۷	۵۰۰	۵۱	۲۹	۰/۵۲	۶/۱۱	۳۹
	۷۰۰	۳۶	۳۶	۰/۴۷	۵/۷۹	۲۱
۸	۱۷۰	۵۵	۲۶	۰/۷۱	۷/۴۰	۳۶
	۲۴۰	۴۵	۱۷	۰/۳۶	۴/۹۸	۴۲
۹	۲۱۰	۴۴	۱۹	۰/۶۳	۶/۸۳	۳۱
	۳۹۰	۳۹	۳۱	۰/۵۷	۶/۴۶	۲۳
۱۰	۲۳۰	۵۸	۱۷	۰/۷۶	۷/۷۲	۴۱
	۴۳۰	۳۷	۲۶	۰/۲۹	۴/۵۳	۳۷

جدول ۶- عوامل محاسبه شده برای ابزار خاک

شماره پروفیل	بافت خاک	آلبیدو (%)	سطح اشباع اولیه (%)	فرسایش پذیری بین شیاری (kg*s/m <sup>4</sup> )	فرسایش پذیری شیاری (s/m)	تنش برشی بحرانی (N/m <sup>2</sup> )	جریان هیدرولیکی موثر (mm/hr)
۱	Clay Loam	۰/۲۲	۲۷/۰۶	۱۶۴۵۶۵۸	۰/۰۰۱۵	۲/۱۲۳۳	۱۲/۵۸
۲	Clay Loam	۰/۳۷	۲۹/۴۴	۱۶۸۷۰۲۲	۰/۰۰۱۸	۲/۵۴۳۶	۱۳/۲۵
۳	Sandy Loam	۰/۳۲	۱۸/۹۷	۲۸۳۶۴۸۵	۰/۰۰۰۸	۳/۲۰۱۵	۲۳/۸۴
۴	Loam	۰/۱۵	۲۶/۰۵	۱۶۳۷۰۲۰	۰/۰۰۱۰	۱/۰۳۶۴	۱۵/۱۷
۵	Sandy Clay Loam	۰/۴۳	۲۰/۴۱	۳۱۶۷۰۷۶	۰/۰۰۱۳	۳/۵۱۷۸	۲۲/۱۹
۶	Loam	۰/۱۳	۲۴/۲۳	۱۶۵۴۷۶۶	۰/۰۰۱۱	۱/۵۸۴۲	۱۸/۴۸
۷	Loam	۰/۱۶	۲۵/۳۲	۱۶۱۰۴۰۰	۰/۰۰۷۰	۱/۰۲۵۸	۱۲/۷۸
۸	Sandy Clay Loam	۰/۳۹	۱۸/۱۵	۴۴۶۰۵۱۲	۰/۰۰۲۱	۴/۲۶۵۸	۲۰/۶۷
۹	Loam	۰/۱۲	۲۱/۵۹	۱۷۳۷۹۵۲	۰/۰۰۱۲	۱/۹۸۵۴	۱۵/۶۶
۱۰	Sandy Loam	۰/۳۵	۱۴/۸۷	۲۵۴۹۵۷۸	۰/۰۰۰۵	۲/۹۵۸۷	۲۲/۹۱

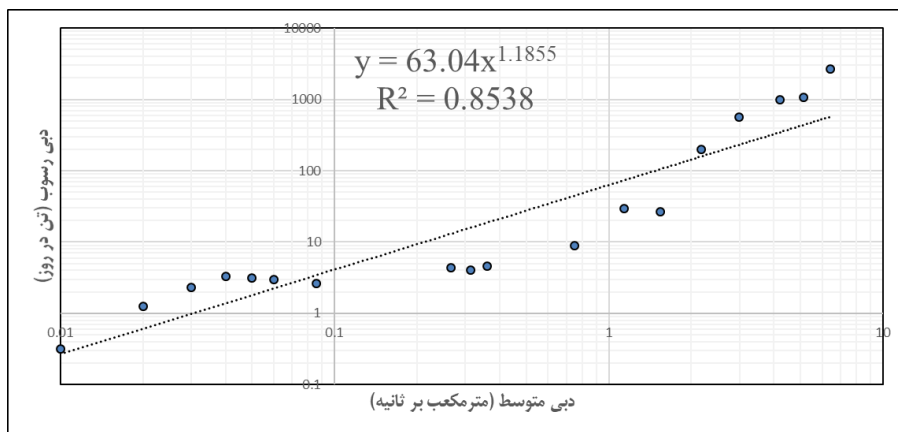
جدول ۷- عوامل محاسبه شده برای ابزار اقلیم

پارامتر	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
A	۱/۳۵	۱/۴۵	۲/۱۹	۱/۶۵	۱/۰۶	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۳۵	۰/۶۸	۱/۰۲
B	۰/۸۱	۱/۰۴	۱/۱۰	۱/۲۰	۰/۹۰	۰/۳۴	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۴۷	۰/۵۷	۰/۷۴
C	۰/۸۸	۱/۳۰	۰/۲۸	۱/۱۶	۱/۸۳	۳/۲۰	۲/۹۵	۱/۹۹	۲/۷۱	۱/۵۸	۱/۳۴	۰/۷۷
D	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۵۷	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۷۰	۰/۶۱	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۵۳
E	۰/۲	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۹
F	-۱۱/۲۶	-۹/۷۸	-۴/۶۴	۱/۶۲	۶/۷۴	۱۲/۳۰	۱۵/۲۱	۱۲/۵۴	۷/۱۰	۰/۵۷	-۳/۶۱	-۸/۳۸
G	۵/۴۴	۴/۸۳	۳/۵۳	۲/۷۸	۳/۴۸	۲/۸۵	۲/۳۱	۲/۹۷	۲/۵۶	۳/۴۰	۲/۸۲	۴/۱۵
H	۱۶/۱۳	۱۹/۰۹	۲۵/۰۸	۳۱/۲۴	۳۴/۷۷	۳۸/۴۶	۳۹/۲۳	۳۸/۲۹	۳۶/۰۸	۳۱/۵۱	۲۴/۵۸	۱۹/۲۶
K	۳/۵۱	۲/۶۶	۲/۹۷	۲/۲۱	۲/۲۰	۱/۷۱	۱/۶۹	۱/۷۳	۱/۹۷	۲/۵۱	۲/۹۵	۳/۲۳

A: میانگین بارش ماهانه (اینچ); B: انحراف معیار بارندگی ماهانه; C: ضریب چولگی بارندگی ماهانه; D: احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب; E: احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک; F: میانگین دمای حداقل (درجه سانتی گراد); G: انحراف معیار دمای حداقل; H: میانگین دمای حداکثر (درجه سانتی گراد) و K: انحراف معیار دمای حداکثر.

جدول ۸- آمار مشاهده‌ای رسوب و مقادیر برآورد شده توسط مدل WEPP

مشاهده‌ای	روش‌های مدل WEPP			پارامترها
	دامنه	مسیرهای جریان	حوضه آبخیز	
رسوب ویژه (t/ha/yr)	۲/۱۴	۱/۸۸	۲/۵۷	۰/۳۸
رسوب کل (t/yr)	۲۴۷۸۰/۴	۲۱۷۳۳/۱	۲۹۷۴۶/۹	۴۴۴۳/۲
قدر مطلق خطای نسبی	----	۱۲/۲	۲۰/۱	۸۲/۱



شکل ۹- منحنی سنجه رسوب حوضه آبخیز دهبار

جدول ۹- مقادیر برآورد شده توسط مدل WEPP در دوره آبی با روش دامنه

روش دامنه			پارامترها
RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	
۲/۲۴	۲/۴۱	۲/۰۰	رسوب ویژه (t/ha/yr)
۲۵۹۴۵/۱	۲۷۸۷۸/۰	۲۳۱۶۹/۷	رسوب کل (t/yr)
۴/۸	۱۲/۶	-۶/۴	درصد تغییر

نتایج حاصل از سه حالت موجود در مدل WEPP با رسوب مشاهده‌ای حوضه آبخیز دهبار، نشان‌دهنده این بود که روش دامنه به مقدار رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر است. با جایگذاری داده‌های خروجی مدل HadGEM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در مدل‌های SWAT و WEPP، برآورد رواناب و رسوب در افق ۲۰۵۰ انجام پذیرفت و در دو سناریوی RCP2.6 و RCP4.5 افزایش مقدار رسوب با وجود کاهش رواناب مشاهده شد. افزایش مقدار رسوب در نقطه خروجی حوضه علی-رغم کاهش بارندگی و رواناب، نشان‌دهنده بارش‌های کوتاه‌مدت با شدت زیاد بوده که باعث افزایش ایجاد شرایط سیلابی می‌شود. با قرارگیری حوضه دهبار در میان دو حوضه میان و جاغرق که تامین کنندگان آب بند گلستان هستند و تعمیم نتایج حوضه دهبار به این دو حوضه، بایستی راهکارهای مناسب جهت مقابله احتمالی و یا سازگاری با تغییر اقلیم مانند احداث بندهای گابیونی و رسوب‌گیر مورد بررسی قرار گیرد تا در صورت امکان اجرائی شوند.

### سیاس‌گذاری

بدین‌وسیله از نقطه نظرات سازنده داوران محترم که در ارتقای کیفیت مقاله نقش موثری ایفا کردند صمیمانه قدردانی می‌شود.

در مدل WEPP سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 دارای افزایش و سناریو RCP8.5 دارای کاهش مقدار رسوب است. نتایج این مدل همانند مدل SWAT نشان‌دهنده افزایش میزان بار رسوبی در افق ۲۰۵۰ می‌باشد. در پژوهش Wang *et al.* (2018) که در منطقه پر باران و سردسیر انجام گرفت، به افزایش بارندگی و کاهش میزان فرسایش اشاره شد لذا تفاوت اقلیم، کاربری اراضی، خاک و توپوگرافی، باعث ایجاد اختلاف در میزان فرسایش و رسوب در حوضه‌های متفاوت می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرات تغییر اقلیم بر رسوب و رواناب در حوضه دهبار در دوره ۲۰۲۰ الی ۲۰۵۰ مورد بررسی قرار گرفت. جهت ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی مدل HadGEM2 از نسخه ششم مدل آماری LARS-WG تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد و تغییرات بارندگی و درجه حرارت به عنوان دو متغیر معرف اقلیم بررسی شد. در کلیه سناریوها، دمای حداقل و دمای حداکثر در دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرد. از اثرات منفی افزایش دما، کاهش متوسط میزان بارندگی و همچنین تغییر زمان بارندگی از فصل‌های پر اهمیت بهار و زمستان به تابستان و پاییز می‌باشد. برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه آبخیز دهبار از مدل SWAT استفاده شد. واسنجی، آنالیز حساسیت و اعتبارسنجی این مدل در نرم‌افزار SWAT\_CUP انجام شد. همچنین مقایسه

## REFERENCES

- Abbasi, F., Habibi Nokhandan, M., Goli Mokhtari, L. and Malbousi, Sh. (2011). Climate Change Assessment over Iran in the Future Decades Using MAGICC-SCENGEN Model. *Journal of Physical Geography Research*, 42(72), 91-109. (In Farsi)
- Ahmadi, H., Fallah Ghalhari, Gh. and Baaghideh, M. (2019). Projection of Climate Change Impacts on Seasonal Precipitation in Iranian Cold Regions Based on Radiative Forcing Scenarios (RCP). *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(1), 177-196. (In Farsi)
- Ahmadi, H., Jafari, M., Golkarian, A., Abrisham, E. and Lafien, J. (2008). Estimating water erosion and sediment using WEPP model (Case study of Bar-Erieh Watershed, Neyshabur). *Pajouhesh & Sazandegi*, 75, 161-172. (In Farsi)
- Alansi, A. W., Amin, M. S. M., Abdul Halim, G., Shafri, H. Z. M. and 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.
- Alexander, L. V. and Arblaster, J. M. (2017). Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. *Weather and Climate Extremes*, 15(2017): 34-56.
- Arnold, J. G., Allen, P.M. and Bernhardt, G. (1993). A comprehensive surfacegroundwater flow model. *Journal of Hydrology*, 47-69.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. and 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.
- Burns, I. S., Scott, S., Levick, L., Hernandez, M., Goodrich, D. C., Semmens, D. J. and Kepner, W. G. (2004). Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA) – A GIS Based Hydrologic Modeling Tool, Documentation and User Manual Version 1.4. U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Research Service*, ARS-1446.
- Daneshfaraz, R. and Razzaghpour, H. (2014). Evaluation of Climate Change Impacts on Potential Evapotranspiration in the West Azerbaijan Province. *Journal of Geographical Space*, 14(46), 199-211. (In Farsi)
- Defersha, M. B., Melesse, A.M. and McClain, M. E. (2012). Watershed scale application of WEPP and EROSION 3D models for assessment of potential sediment source areas and runoff flux in the Mara River Basin, Kenya. *Catena*, 95, 63-72.
- Eckhardt, K., Breuer, L. and Frede, H. G. (2003). Parameter uncertainty and the significance of simulated land use change effects. *Journal of Hydrology*, 164-176.
- Esmaili, A. and Abdollahi, Kh. (2010). Watershed Management And Soil Conservation (2end ed). Mohaghegh Ardabili. (In Farsi)
- Farmanbar, Z., Delavar, M. and Imani Amir Abad, S. (2018). The Effects of Climate Change on Water Resources and Agricultural Systems in the Context of Regional Risk Assessment (Case Study: Lakes Basin Zeribar). *Iran-Water Resources Research*, 13(4), 75-88. (In Farsi)
- Golshan, M., Esmaeli Ouri, A., Shahedi, K. and Jahanshahi, A. (2016). Evaluation of the Efficiency of SWAT and IHACRES Models in Runoff Simulation of Khoramabad Basin. *Journal of Water and Soil Science*, 26(1/2), 29-42. (In Farsi)
- Goodarzi, M. R., Zahabioun, B., Masah Boani, A. and Kamal A. (2012). Comparison of performance of three hydrological models SWAT, IHACRES and SIMHYD in simulation of Ghareh Sou basin runoff. *Journal of Water Management and Irrigation*, 2(1), 25-40. (In Farsi)
- Goudarzi, M., Salahi, B. and Hoseini, A. (2015). Study on Effects of Climate Changes on Surface Runoff Changes Case Study: Urmia Lake Basin. *Journal of Eco hydrology*, 2(2), 175-189. (In Farsi)
- Heidari, M., Khazaei, M. R. (2018). Climate change impact assessment on extreme daily rainfalls in Kermanshah. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 7(2), 27-39. (In Farsi)
- Hosseini, M., Ghafouri, M., Tabatabaei, M., Nadergholi, E. and Zare Garizi, A. (2016). Estimation of hydrologic budget for Ghareh Sou watershed, Iran. *Journal of Ecopersia*, 4(3), 1455-1469.
- Ishida, K., Gorguner, M., Ercan, A., Trinh, T. and Kavvas, M. L. (2017). Trend analysis of watershed-scale precipitation over Northern California by means of dynamically downscaled CMIP5 future climate projections. *Science of the Total Environment*, 592, 12-24.
- Kaboosi, K. and Kordjazi, M. (2017). The effect of climate change on meteorological parameters and drought in Golestan province. *Iran-Water Resources Research*, 13(3), 205-213. (In Farsi)
- Khaleghpanah, N., Asadi, H., Shorafa, M., Gorji, M. and Davari, M. (2018). WEPP model efficiency in estimation of runoff and soil loss in stony rangelands of Khamesan watershed, Kurdistan. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(5), 1031-1042. (In Farsi)
- Kiani, F., Behtarinejad, B., Najafinejad, A. and Kaboli, R. (2017). Evaluation Theerosion and Sediment in Different land Uses of Tamer Watershed, Golestan Province Using SWAT Model. *Journal of Water and Soil*, 31(5), 1383-1395. (In Farsi)
- Kliment, Z., Kadlec, J. and Langhammer, J. (2008). Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi – empirical erosion models. *Catena*, 73, 286-299.
- Mahzari, S., Kiani, F., Khormali F. and Azimi, M.

- (2016). Using SWAT model to determine runoff, sediment yield and Nitrate loss in Gorganrood watershed, Iran. *Journal of Ecopersia*, 4(2), 1359-1377.
- Mansouri, B., Ahmadzadeh, H., Massah Bavani, A., Morid, S., Delavar, M. and Lotfi, S. (2015). Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources in Zarrinehrud Basin Using SWAT Model. *Journal of Water and Soil*, 28(6), 1191-1203. (In Farsi)
- Modaresi, F., Araghinejad, Sh., Ebrahimi, K. and Kholghi, M. (2011). Assessment of Climate Change Effects on the Annual Water Yield of Rivers: A Case Study of Gorganroud River, IRAN. *Journal of Water and Soil*, 25(6), 1365-1377. (In Farsi)
- Mousavi Herami, R., Mahbubi, A., Ghafuri, M. and Khanebad, M. (2003). Sedimentology and fine-scale studies downstream of Golestan Dam Basin, southwest of Mashhad. *Journal Of Science. University of Tehran*, 5(1). (In Farsi)
- Naseri, E., Shahidi, A. and Farzaneh, M. R. (2016). The Assesment of Climate Change on Run-off by SWAT Model. *Journal of Rainwater Catchment Systems*. 3(4), 27-38.
- Naseri, F., Azari, M. and Dastoorani, M. T. (2018). Simulation of Stream Flow and Sediment Yield in Fariman Dam Watershed Using SWAT Model and Genetic Algorithm. *Journal of Water and Soil*, 32(3), 447-462. (In Farsi)
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. and Williams, J. R. (2005). SWAT theoretical documentation version 2005. Grassland. Soil and Water Research Laboratory. *Agricultural Research Service*. Temple, Texas, USA.
- Pajoohesh, M. (2016). Comparison of efficiency MPSIAC and WEPP models with sediment observation to estimate the amount of soil erosion and sediment (Case study: gojan chal namad watershed Chaharmahal VA Bakhtyari province). *Geomorphological Research*, 4(4), 150-165. (In Farsi)
- Parajuli, P. B., Nelson, N. O., Frees, L. D. and Mankin, K. R. (2009). Comparison of AnnAGNPS and SWAT model simulation results in USDA-CEAP agricultural watersheds in south-central Kansas. *Hydrol. Process*, 23, 748-763.
- Peng, S., Ding, Y., Wen, Z., Chen, Y., Cao, Y. and Ren, J. (2017). Spatiotemporal change and trend analysis of potential evapotranspiration over the Loess Plateau of China during 2011- 2100. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233, 183-194.
- Saleh, A. and Du, B. (2004). Evaluation of SWAT and HSPF within BASINS program for the upper North Bosque River watershed in central Texas. *Transactions of the ASAE*, 47(4), 1039.
- Sanikhani, H., Dinpajoh, Y., Pouryusef, S., Ghavidel, S. Z. and Soltani, B. (2013). The Impacts of Climate Change on Runoff in Watersheds (Case Study: Ajichay Watershed in East Azerbaijan Province, Iran). *Journal of Water and Soil*, 27(6), 1225-1234. (In Farsi)
- Shen, Z. Y., Gong, Y. W., Li, Y. H., Hong, Q., Xu, L. and Liu, R. M. (2009). A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservoir Area. *Agricultural Water Management*, 96, 1435-1442.
- Taheri Tizro, A., Khodamoradpour, M. and Mashhadian, M. J. (2018). Evaluation of RegCM4 Regional Climate Model simulations for the land surface water budget components (A case study in Toyserkan plain, Hamedan province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(5), 1-24. (In Farsi)
- Tulabi, S. (2013). Modeling soil erosion and sediment yield with WEPP and EPM models in GIS (case study: Sulachai watershed - Ardabil). M.Sc. Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Farsi)
- Tulabi, S., Abedini, M. and Esmali Ouri, A. (2015). The Evaluation Efficiency of WEPP Model to Predict Sediment Yield in Sulachai Watershed-Ardabil. *Journal of Watershed Management Research*, 6(12), 184-192. (In Farsi)
- Wang, L., Cherkauer, K. A. and Flanagan, D. C. (2018). Impacts of Climate Change on Soil Erosion in the Great Lakes Region. *Water*, 10, 715.
- WEPP. (1995). USDA - Water Erosion Prediction Project, User Summary, <http://soils.ecn.purdue.edu:20002/~wepp/nser1.html>.
- Yang, J., Reicher, P., Abbaspour, K. C., 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. and Alamirew, T. (2016). Streamflow prediction uncertainty analysis and verification of SWAT model in a tropical watershed. *Environmental Earth Sciences*, 75(9), 806.