جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱٤۰۰، دوره٤، شماره۱، صص۱٤٤-۱۲۷

بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش و سیل‌خیزی حوضه سقزچای قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی با استفاده از مدل *ArcSWAT*

فاطمه رحمتی*[۱]، محمد حسین رضایی مقدم[۲]، محمد رضا نیکجو

۱- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

frahmati67@yahoo.com

تاریخ دریافت:۱٤۰۰/۰۲/۱٦ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۲/۲۹

چکیده:

یکی از بلایای طبیعی که امروزه مردم را ازنظر جانی و مالی تهدید می‌کند سیلاب است، حوضه آبریز سقزچای که به سد شهید کاظمی می‌ریزد با توجه به گذشت حدود نیم‌قرن از احداث سد تغییرات زیادی را متحمل شده است. بنابراین به بررسی تغییرات و تأثیر آن بر فرسایش و سیل‌خیزی پرداخته شده است. شناسایی ویژگی‌های ژئومورفیک حوضه سقزچای قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی و همچنین میزان فرسایش حوضه قبل و بعد از احداث سد و مشخص کردن میزان تغییرات کاربری اراضی برافزایش یا کاهش پوشش گیاهی از اهداف این تحقیق است. در این پژوهش از داده‌های هیدرومتری، رسوب، خاک، تصاویر ماهواره‌ای قبل و بعد از احداث سد، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی استفاده شده است. پس از پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار *ENVI* نقشه‌های کاربری اراضی و *NDVI* تهیه و سپس داده‌ها وارد محیط *Arc GIS* شدند و نقشه‌های لازم و شاخص‌های فیزیوگرافی حوضه تهیه گردید، داده‌های خاک، دبی و رسوب و نقشه‌های رستری وارد نرم‌افزار *SWAT* گردید و داده‌های لازم برای شبیه‌سازی آماده گردید و پس از چهل بار شبیه‌سازی با *SWAT CUP* نتایج صحت سنجی و واسنجی رسوب ضریب راندمان نش – ساتکلیف ۰/٦٤ و مقادیر این ضرایب به ترتیب ۰/۷٦ و ۰/٦۸ می‌باشد و برای دبی دوره صحت سنجی راندمان نش – ساتکلیف ۰/٦۸ و مقادیر این ضرایب به ترتیب ۰/۸٦ و ۰/٦۷ بدست آمد که با توجه به میزان رسوب و دبی می‌توان گفت حوضه سیل‌خیز است، نزدیک بودن نتایج داده‌های مشاهده‌ای و شبیه سازی شده نشان می‌دهد مدل *SWAT* برای حوضه به خوبی پاسخگو است. درنهایت مشخص شد زمین‌های کشاورزی همراه با مراتع متراکم و مراتع به ترتیب با ۲/۱۳٤ و ۱۷/۱۹٤٤ کاهش و زمین‌های بایر و مناطق مسکونی به ترتیب ۱٦/٤٦ و ۲/۰۷۲۲ افزایش مساحت روبرو بوده‌اند.

کلمات کلیدی: سیل‌خیزی، کاربری اراضی، فرسایش، حوضه آبریز، سقز.

DOI: 10.22034/GAHR.2021.285039.1545

شاپا الکترونیکی: ۲٦٤٥-۳۸۵۱

مقدمه:

رودخانه‌ها سیستمی کاملاً پویا هستند که مشخصات موروفولوژیکی آن‌ها پیوسته در حال تغییر است. تغییر مورفولوژیکی رودخانه‌ها چه در قدیم و چه در زمان حال مشکلاتی برای انسان‌ها به وجود آورده است و بدون شک سیلاب به‌عنوان یک بلای طبیعی شناخته‌شده است که در عمل سیلاب هم ازنظر تلفات جانی و هم ازنظر خسارات مالی مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌شود. اهمیت سیلاب‌های شهری به دلیل آثار زیانباری که بر روی بافت شهری، سلامت انسانی و محیط‌زیست می‌توانند داشته باشند قابل‌تأمل و بررسی است. بی‌شک یکی از مهم‌ترین دلایل وقوع سیلاب و افزایش دبی سیلاب‌های مناطق شمالی ایران در دهه اخیر، تغییر کاربری اراضی[1] و عدم تناسب کاربری‌های فعلی با توانایی اراضی است. سیل پدیده‌ای طبیعی است و هر رودخانه بالقوه مستعد وقوع آن است، اما آنچه این پدیده را از حالت طبیعی خارج و به‌صورت بلا درمی‌آورد، دخالت انسان در طبیعت است. خسارات و خطرات ناشی از فرسایش جابجایی توده‌های خاک در حوضه‌های آبخیز از مهم‌ترین مسائل و مشکلاتی است که به‌طور همه‌جانبه احیاء آبخیزها را تحت تأثیر قرار داده است. شدت فرسایش و جابجایی توده‌های خاک تابعی از عوامل محیطی، طبیعی و زمین‌شناسی است و به اشکال مختلف موجب جدایی ذرات و جابجایی آن‌ها به‌سوی مناطق پست و کم ارتفاع می‌گردد (شریعت جعفری، ۱۳۷٦: ۱۲٤). شناسایی اصولی مناطق خطرساز و سیل‌خیز حوضه آبریز ازجمله مقدمات بسیار مهم در کنترل سیل و کاهش خسارات ناشی از آن محسوب می‌گردد. حوضه‌های سیل‌خیز در کل مناطق کشور وجود دارند که باید عواملی که در تجدید پذیری آن‌ها دخالت دارند شناسایی شود و موردبررسی قرار گیرند، حوضه‌های آبریز دائماً در حال تغییر هستند و سدهایی که بر روی این حوضه‌ها احداث می‌شوند باعث تغییر رفتار مورفولوژی آن‌ها می‌شود؛ و تحت تأثیر پارامترهای هیدرولوژیکی[2] و مورفولوژیکی[3] دچار تغییر می‌شوند. سیل علل مختلفی می‌تواند داشته باشد، یکی از دلایل جدید و چالش‌برانگیز قرن بیست‌ویک موضوع تغییرات کاربری اراضی هست، بررسی دقیق مجموعه عوامل زیست‌محیطی که زمینه‌ساز این حوادث هستند نشان می‌دهد که دخالت انسان در چرخه طبیعی آب از طریق تخریب پوشش گیاهی در عرصه‌های آبخیز ویژگی‌های وقوع این پدیده در ایران نیز شناخته‌شده است(*Loukas*,۲۰۰۰). به عبارتی طی نیم‌قرن اخیر ازنظر تعداد، حجم و خسارت، روند رو به افزایش داشته است و در طی چهل سال گذشته بیش از ۳۷۰۰ واقعه مهم سیل در کشور

[1] *Land use Changes*
[2] *Hydrological*
[3] *Morphological*

ثبت شده است که ۵۲ درصد آن مربوط به ۱۰ سال اخیر می‌باشد. تعداد سیل در دهه ۸۰-۱۳۷۰ حدود ۵ برابر دهه ٤٠-۱۳۳۰ بوده است. (شریفی و نوروزی، ۱۳۸۱)

قدوسی و همکاران (۱۳۹۳)، در مقاله‌ای تحت عنوان اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه آبریز آجی چای و ورودی آن به دریاچه ارومیه بیان کردند که از مدل مفهومی *SWAT* همراه اطلاعات زمینی ایستگاه‌های باران‌سنجی، دماسنجی، آب‌سنجی، ماهواره‌ای و نقشه‌های کاربری تهیه‌شده از منطقه به واسنجی و اعتبارسنجی مدل پرداختند. نتایج خروجی مدل با چهار نقشه کاربری اراضی حاکی از کاهش قابل‌توجه حجم آب خروجی از حوضه به میزان ۵۱ درصد و افزایش تبخیر و تعرق واقعی به میزان ۱۳ درصد طی این سال‌ها بود. فرخ زاده و همکاران (۱۳۹٤)، در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر میزان بار معلق با استفاده از مدل *SWAT* (مطالعه موردی: حوضه آبخیز یلفان- استان همدان) نتایج نشان داد که مدل *SWAT* از قابلیت خوبی برای شبیه‌سازی رسوب حوضه مذکور برخوردار است. زاهدی و همکاران (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای تحت عنوان شبیه‌سازی جریان زیرسطحی برای تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از مدل *SWAT* (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه دونگردرگز) با استفاده از مدل *SWAT* برای شبیه‌سازی بیلان آب و جریان زیرسطحی حوضه درونگر و واسنجی و اعتبارسنجی ضرایب همبستگی، همبستگی وزنی نش- ساتکلیف بیان کردند که شبیه‌سازی جریان زیرسطحی نشان می‌دهد که مناطق شمالی و جنوبی حوضه درونگر دارای جریان زیرسطحی بالاتری نسبت به مناطق مرکزی حوضه می‌باشد که این موضوع نشان‌دهنده آن است که این مناطق جهت احداث سد زیرزمینی نسبت به سایر مناطق استعداد بیشتری دارا می‌باشد. شفیعی مطلق و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای تحت عنوان بررسی تاثیر تغییرکاربری بر رواناب رودخانه مارون در ایستگاه ایدنک با استفاده ازداده‌های سنجش از دور و مدل*SWAT* به این نتیجه رسیده‌اند که مقایسه اثر گزینه‌های مدیریتی کاربری اراضی بر مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی و همچنین مقادیر مختلف رواناب نشان می‌دهد در منطقه سناریوی بدبینانه اتفاق افتاده با ادامه روند تخریبی در کاربری اراضی به سمت حالت قهقرایی، مقادیر مختلف رواناب افزایش و نفوذپذیری و آبگذری به آبخوان‌های سطحی و عمیق، کاهش می‌یابد. رضای مقدم و همکاران (۱۳۹۸)در مقاله‌ای برآورد میزان رواناب حوضه آبریز لنبران چای در استان آذربایجان شرقی: کاربرد مقایسه‌ای روش‌های واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل*SWAT* را بررسی کردند که نتایج حاصل مقایسه‌ی این دو روش نشان داده شده است که روش *SUFI-2* دارای الگوریتم موثری برای واسنجی و تعیین عدم قطعیت مدل در این حوضه است. با اطمینان بیشتری می‌توان از مدل*SWAT* واسنجی شده با الگوریتم *SUFI-2* در مدیریت منابع آب، کمی‌سازی سناریوهای تغییر اقلیم و تغییر کاربری در داخل حوضه استفاده

کرد. میرقاسمی و همکاران(۱۳۹۸) با مطالعه ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه‌ها بر میزان و شدت سیل (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی ارداک)، نتایج نشان داد که با تغییر بستر رودخانه به کاربری باغی و زراعی، دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب کاهش می‌یابد که نرخ این کاهش با افزایش دوره‌ی بازگشت سیلاب کمتر می‌شود؛ به‌طوریکه برای سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله در اثر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه، دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب به ترتیب ۳/۳ و ۲/٦ درصد کاهش را نشان می‌دهد. سرایی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای با عنوان اولویت بندی حوزه آبخیز سردآبرود از نظر سیل خیزی یا استفاده از مدل *SWAT* به این نتیجه رسیدند که با توجه به نتایج حاصل از مدل *SWAT* و تغییر *CN* برای هریک از زیرحوزه‌ها، زیر حوضه‌ی شماره ی ٦ با مقدار رواناب ۱۲۳/۰۵ رتبه اول و همچنین زیرحوضه‌ی شماره‌ی ۱۰ با مقدار ۱۲۲/۰۸٦ رتبه دوم را از نظر سیل خیزی دارا می‌باشد و زیرحوزه‌ی ۱ با مقدار ۱۲/۲۳ کم‌ترین مقدار تولید رواناب را دارا می‌باشد. پریرا و همکاران[1](۲۰۱٦)، در مقاله‌ای تحت عنوان شبیه‌سازی هیدرولوژیکی خاک در یک حوضه معمولی با آب‌وهوای گرمسیری پمبا با مدل *SWAT* بیان کردند که بینش‌های جدید هیدرولوژیکی برای منطقه که مقادیر حداکثر و حداقل جریان روزانه با زمان بازگشت متفاوت و حداقل جریان مرجع برای جریان آب شبیه‌سازی‌شده توسط *SWAT* مشاهده شد، به‌طور آماری از مقادیر مشاهده‌شده با توجه به *T-test* در سطح احتمال ۵٪. در ارزیابی اثرات تغییرات د ر استفاده از خاک، میانگین کاهش سالانه رواناب از ۱۳/٦، ۷/٤ و ٦/٦ میلی‌متر به ترتیب برای سناریوهای *S1*، *S2* و *S3* مشاهده شد. تام لوتس و همکاران[2] (۲۰۱۷)، در مقاله‌ای با عنوان عوامل تولید رواناب در حوضه دریاچه دونگتیگ بر اساس مدل *SWAT* و پیامدهای تغییرات پوشش زمین در سال‌های اخیر با استفاده از مدل *SWAT*، داده‌های بارندگی و نقشه‌های مربوطه، بیان کردند که رواناب سطحی و تبخیر و تعرق به‌طور عمده تحت شرایط بارندگی، پوشش زمین تعیین می‌کند، درحالی‌که جریان آب نیز به زاویه شیب زمین بستگی دارد. آخرین تغییر پوشش زمین نشان داده که افزایش در منطقه جنگلی در حوضه دونگتیگ، به‌خصوص در تمایلات شیب بالاتر است. این افزایش منجر به افزایش جریان آب در زمین و کم کردن سرعت واکنش کلی حوضه به بارش می‌شود. این تعادل ترشحات بین دوره با بارندگی بالا و پایین به کاهش سیل و شدت خشک‌سالی کمک می‌کند. چوتپنتارات و بونکاووان[3](۲۰۱۸) مقاله‌ای با عنوان تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر تخلیه حوزه و کیفیت آب در یک منطقه کشاورزی فشرده در تایلند مشاهده کردند که کالیبراسیون و اعتبارسنجی بلند مدت مدل *SWAT* (ابزار ارزیابی خاک و آب) بر روی

[1] *DONIZETE DOS R. PEREIRA et al*
[2] *Tom Lotz et al*
[3] *Chotpantarat ,Srilert . Boonkaewwan Satika*

داده‌های سال ۲۰۰۰–۲۰۱۳ انجام شد. تغییر کاربری زمین منجر به افزایش ۱۳–۴۹٪ در رواناب در حوضه و منجر به ۳۷–۴۲۷٪ افزایش عملکرد رسوب شد. میزان بار NO_3-N در قسمتهای بالایی و میانی منطقه مورد مطالعه دو برابر افزایش یافت ، در حالی که افزایش PO_{43}– از ۳۷ به ۳۷۷٪ متغیر بود ، که نشان دهنده افزایش زمین‌های کشاورزی و مناطق شهری است. نتیجه گرفته شده است که تغییر کاربری زمین با مقدار رواناب ، عملکرد رسوب و غلظت NO_3-N و PO_{43}– ارتباط نزدیک دارد. چن و همکاران[1](۲۰۱۹) در مقاله‌ای با عنوان تأثیرات تغییر کاربری اراضی و اثرات آب و هوایی بر جریان لس در فلات چین:متاآنالیز بیان کردند که کاهش جریان با ۰,۴۶ میلی متر در سال با متاآنالیز در تمام مطالعات موردی تخمین زده شد. برآورد شده است که تغییر کاربری اراضی ۶۳,۵۲٪ تأثیر در کاهش جریان دارد در حالیکه تغییرات آب و هوایی ۳۶,۴۸٪ از تأثیر را به خود اختصاص داده است. با استفاده از رگرسیون ، مشخص شد که یک منطقه افزایش دهنده آب و خاک با افزایش جریان روان ارتباط مثبت دارد. نتیجه می‌گیریم که در فلات چین لس ، جریان جریان روند کاهشی را نشان می‌دهد و بازسازی زمین دلیل اصلی این کاهش است. نعیم صدیق و همکاران[2](۲۰۲۰) به منظور کمی کردن تأثیرات تغییر پوشش زمین در کاربری زمین بر روی آب وتعادل در حوضه رودخانه بالا در پاکستان نشان داده شد که برخی از زیرحوضه‌ها ، به ویژه درقسمت شمالی منطقه مورد مطالعه ، افزایش WY را به دلیل افزایش منطقه پوشش برف به نمایش گذاشته است. به همین ترتیب ، افراط و تفریط سناریوهای استفاده از زمین نیز تأثیر قابل توجهی بر اجزای تعادل آب نشان داد. حوضه WY 38 میلی متر کاهش یافته است سال و ET حدود ۳۶ میلی متر در سال افزایش یافته است.

روش تحقیق

مدل $SWAT$ یک شبیه‌ساز هیدرولوژیکی، یک مدل زمان پیوسته و نیمه توزیعی مکانی با پایه فیزیکی است که توسط جف آرنولد[3]در سال ۱۹۹۹ برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه‌شده و از آن زمان به‌طور پیوسته درحال‌توسعه بوده است. در این مدل تنوع مکانی منطقه ابتدا با تقسیم آبخیز به زیرحوضه‌ها و سپس تقسیم زیرحوضه‌ها به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی، بر اساس نقشه خاک، کاربری اراضی و نقشه طبقات شیب، بیان‌شده و شبیه‌سازی فرآیند بارش و رواناب برای هر یک از این واحدها به‌صورت جداگانه انجام

[1] *Chen et al*
[2] *Saddique ,Naeem et al*
[3]. *Jeff Arnold*

می‌شود. این مدل برای انجام شبیه سازی از نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی، خصوصیات خاک، اطلاعات مدیریتی، سری زمانی داده‌های هواشناسی مشاهده شده و برخی

اطلاعات دیگر از خصوصیات آبخیز استفاده می‌کند. کوچک ترین واحد کاری در این مدل واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی است که حاصل ترکیب نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و طبقات شیب می باشد. فرآیندهای هیدرولوژیکی مدل عبارتند از: بارش، ذوب برف، ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، رواناب سطحی، نفوذپذیری، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی، جریان زیرسطحی و جریان آب زیرزمینی کم عمق و عمیق. مدل در تحقیقات متعددی در نقاط مختلف دنیا اجراشده و دقت شبیه سازی‌ها بر اساس خصوصیات منطقه و داده‌های موجود از ضعیف تا عالی متغیر بوده است، در مدل *SWAT* ابتدا از روی نقشه *DEM* حوضه آبریز اصلی به تعدادی زیرحوضه تقسیم می‌شود . سپس برمبنای نقشه‌های خاک و کاربری اراضی زیرحوضه‌ها نیز به واحدهای کوچک تری تقسیم می‌شوند که به هرکدام از این واحدها یک *HRU* می‌گویند.

مدل *SWAT* از معادله بیلان آبی به‌منظور شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی استفاده می‌نماید. معادله بیلان آبی هر *HRU* شامل تجمع (ذخیره) و تبخیر گیاهان، تعیین اثر بارش، ذوب برف، مبادله آب بین رواناب سطحی و لایه‌های خاک، نفوذ آب به داخل لایه‌های عمیق تبخیر و تعرق، جریان زیرسطحی و جریان زیرزمینی و ذخیره آب می‌شود. چرخه هیدرولوژیکی توسط مدل *SWAT* شبیه‌سازی می‌شود که بر اساس معادله بیلان زیر است:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - W_{seep} - E_a - Q_{gw})$$

SW_t رطوبت خاک mm و SW_o رطوبت پایه خاک mm و t زمان روز R_{day} مقدار بارش mm ، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی mm، E_a مقدار تبخیر و تعرق mm، W_{seep} میزان نفوذ آب از خاک به لایه‌های پایین‌تر mm و Q_{gw} مقدار رواناب زیرزمینی mm است.

شاخص **NDVI**[1] [1]

از نسبت‌های ۳ و ٤ سنجنده *TM* ماهواره لندست محاسبه می‌شود. تقسیم تصاویر بررسی شاخص گیاهی تفاضل شده *NDVI* در فواصل زمانی و تحلیل آن با روش مؤلفه‌های اصلی این شاخص به‌عنوان اختلاف شاخص سبزینگی نرمال شده است که این شاخص در سال ۱۹۷۳ توسط *Rouse* و همکاران ارائه شده است برای پی بردن به تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص *NDVI* در منطقه موردمطالعه در طی سال‌های

[1]. *Normalized Difference Vegetation Index*

۲۰۰۲-۱۹۸۹ تصاویر *NDVI* مربوط به این سال‌ها تهیه شد، سپس چون به ارزش‌های ۰ تا ۲۵۵ تبدیل گردید سپس با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اول و دوم تبدیل شوند که مؤلفه اول نشان‌دهنده عدم تغییرات و مؤلفه دوم نشان‌دهنده تغییرات است که به‌صورت زیر می‌باشد:

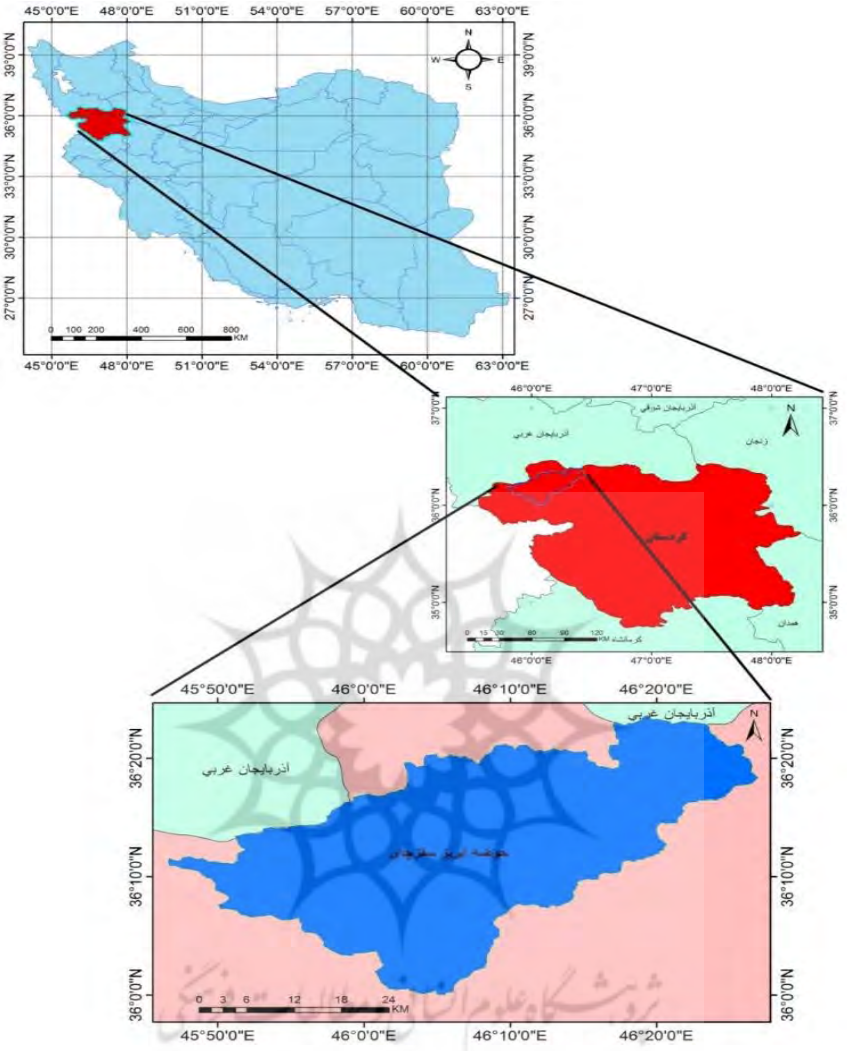
$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} = \frac{band\ ٤ - band\ ٣}{band\ ٤ + band\ ٣}$$

این شاخص وضعیت پوشش گیاهی را بر روی سطح زمین در مناطق وسیع نشان می‌دهد. پوشش گیاهی متراکم و نیز مناطق با لاش برگ و یا مناطقی که عاری از پوشش گیاهی هستند نیز به‌خوبی از طریق این شاخص قابل‌شناسایی هستند. ارزش عددی شاخص *NDVI* بین ۱- تا ۱ متغیر می‌باشد. ارزش‌های عددی مثبت مربوط به پوشش گیاهی متراکم و ارزش عددی صفر و مقادیر نزدیک به آن مربوط به مناطق بدون پوشش گیاهی است و محل‌های خیس و آب ارقام نزدیک به ۱- را دارا هستند و از طریق معادله *NDVI=(NIR-RED/NIR+RED)* محاسبه گردید.

یکی از مهم‌ترین داده‌های مورداستفاده در محیط‌های رودخانه‌ای داده‌های رسوبی در چند دوره زمانی است؛ که از این طریق می‌توان به تغییرات ویژگی‌های مورفولوژیک بستر رودخانه پی ببریم. همچنین شرایط رودخانه قبل از احداث سد و میزان سیل‌خیزی و فرسایش حوضه را با توجه به پارامترهای دخیل در این تغییرات مورد بررسی قرار دادیم. در این پژوهش با استفاده از داده ها و ابزارهای مورد استفاده که شامل مطالعات میدانی و کتابخانه ای و تهیه‌ی نقشه‌های کاربری اراضی، نقشه شیب و نقشه خاک که از *DEM* حوضه ی مورد مطالعه تهیه شده به عنوان ورودی مدل *Arc SWAT* و همچنین از داده‌های هواشناسی و اقلیمی برای واسنجی و صحت سنجی در مدل *SWAT CUP* از طریق *SUFI-2* در یک بازه زمانی ۲۰۰۰- ۲۰۱۶استفاده شده است. تصاویر ماهواری از ماهواره لندست ۸ و لندست ۵ با قدرت تفکیک ۳۰ متر در ۱۱ باند برای تهیه نقشه پوشش گیاهی برای سال های ۱۹۷۵ و ۲۰۱۶وهچنین از پنج روستا برای مشخص شدن نوع خاک حوضه، نمونه برداری شده بود تا ویژگی های خاک مانند ضریب هدایت الکتریکی قابل اشباع، خاک، بافت خاک، تخلخل خاک و غیره مشخص شود.

حوضه آبریز سقزچای یکی از شاخه‌های مهم زرینه‌رود می‌باشد. آب‌های قسمتی از شهرستان سقز را جمع‌آوری و به رودخانه زرینه و سپس دریاچه ارومیه می‌رساند، حوضه آبریز سقزچای با وسعت ۱۳۵۰ کیلومترمربع در بخش باختری حوضه آبریز زرینه‌رود قرارگرفته است و با مختصات جغرافیایی ´۵۹ °۳۵ تا ´۲۳ °۳۶ عرض شمالی و ´۲۷ °۴۵ تا ´۴۷ °۴۶ طول شرقی قرار دارد؛ که در شکل شماره ۱ آمده است، با توجه به خصوصیات فیزیوگرافی آن از توان سیل‌خیزی نسبتاً بالایی برخوردار است و دارای شیب متوسطی می‌باشد که باعث شدت

فرسایش و سیل‌خیزی در منطقه در حدود ۳۳/۰۱ می‌شود که میزان انرژی و فرسایش افزایش یافته و نفوذ و زمان پیمایش آب در حوضه کاهش می‌یابد و سیل‌خیزی افزایش پیدا می‌کند.



شکل (۱) نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

بحث و نتایج

نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی، نقشه شیب از *(DEM)* منطقه و داده‌های هواشناسی، در مدل *SWAT* که قابل اجرا در محیط *Arc GIS* می‌باشد؛ مرحله‌به‌مرحله در مدل فراخوانی شدند که حوضه مورد مطالعه به ۲۱ زیرحوضه و هر زیرحوضه به صورت همگن به ۲۹۸ واحد پاسخ هیدرولوژیکی *(HRU)* تقسیم گردید که برای هر زیرحوضه متوسط وزنی گرفته و با همدیگر جمع بسته شدند و در نهایت جریان کلی حوضه تا خروجی اصلی حوضه روندیابی گردید که تعداد این واحدها براساس تنوع خاکی، کاربری اراضی و توپوگرافی

منطقه و مقدار آستانه در نظر گرفته شده متغییر می‌باشد. استفاده از *(HRU)* اجرای شبیه‌سازی را آسان‌تر می‌کند، زیرا همه مناطق با خاک و کاربری اراضی یکسان درون واحد پاسخ جداگانه‌ای جایی گرفته‌اند. داده‌های هواشناسی که شامل حداقل و حداکثر درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و تشعشع خورشیدی در پایه زمانی روزانه ایستگاهای منتخب داخل و اطراف حوضه در مدل محاسبه شد. علاوه براین از ایستگاه سینوپتیک سقز به عنوان ایستگاه مبنا استفاده گردید که در جدول (۱) مشخصات آن‌ها نوشته شده است. در مدل *SWAT* برای تحلیل دقیق پارامترها و نتیجه‌گیری مطلوب از نرم‌افزار *SWAT CUP* استفاده می‌شود که در این مدل با استفاده از برنامه *SUFI2* برای آنالیز حساسیت واسنجی و اعتبارسنجی بهره گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
سقز	٤٦١٥٣٣	٣٦١٤٤٩	١٤٨٠
قبقلو	٤٦١٠١٠	٣٦١٠٣٠	١٥٩١
دره پنبه دان	٤٦١٩٢٧	٣٦١٦٤١	١٥٠٨

شبیه‌سازی در پایه زمانی ماهانه و طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ و سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱٦ انجام گرفت که دو سال اول ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ برای گرم کردن مدل اهمیت زیادی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی دارد زیرا شرایط اولیه بویژه رطوبت خاک در بسیاری از شرایط در حوضه نامشخص است. واسنجی مدل با استفاده از روش بهینه-سازی فراگیر[1]تکامل تصادفی جوامع *(SCE)*[2]روی پارامترهای حساس در مقیاس زمانی ماهانه در دوره زمانی سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ انجام شد که در جدول (۲) آمده است. دوره زمانی سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱٦ برای صحت سنجی مدل انتخاب گردید. همچنین برای ارزیابی کارای مدل از ضرایب همبستگی (R^2)، ضریب کارایی نش – ساتکلیف (E_{NS}) به صورت زیر استفاده گردید.که در آن $\bar{Q}_m$میانگین مقادیرمشاهداتی و $\bar{Q}_s$ میانگین مقادیر شبیه سازی شده است.

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s.i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s.i} - \bar{Q}_s)^2}$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{mi} - \bar{Q}_m)^2}$$

[1] *Global Method*
[2] *Shcuffled Complex Evolution*

جدول ۲- پارامترهای پایگاه داده مدل *SWAT* برای هر لایه خاک در حوضه آبریز سقزچای

ردیف	نام پارامتر	توضیحات	مقدار بهینه	حداقل مقدار	حداکثر مقدار
۱	*SOL_BD(1)*	چگالی خاک در حالت مرطوب	۰.۵۸	-۰,۵	۰,٦
۲	*SOL_K(۱)*	هدایت هیدرولیکی خاک	۰.۷۰	-۰,۸	۰,۸
۳	*ALPHA_BNK*	ضریب *a* آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال	۰.٦۸	۰,۰	۱,۰
٤	*ESCO*	ضریب تبخیر آب	۰.۹۸	۰,۸	۱,۰

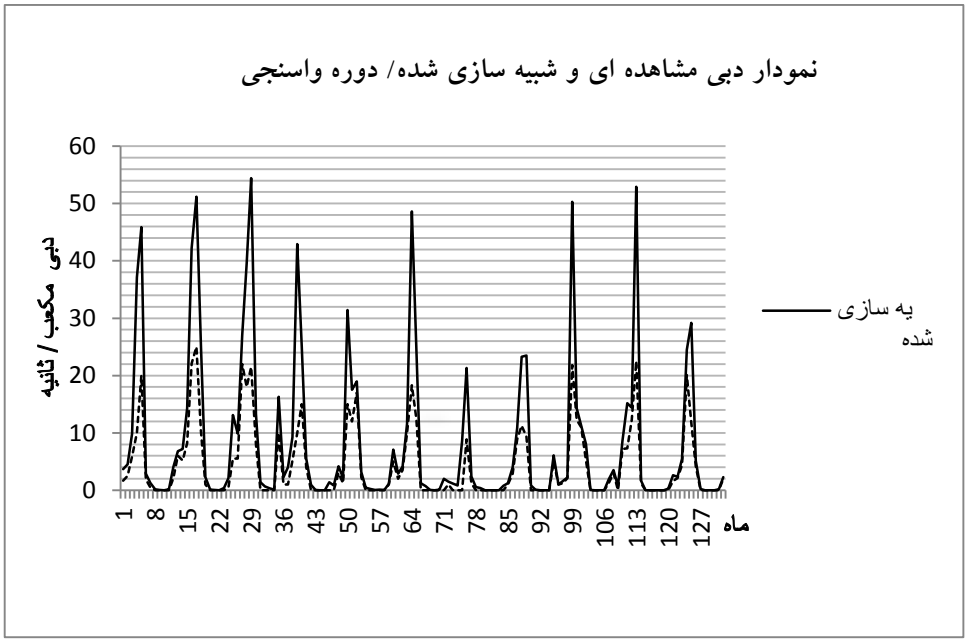
۱- شبیه‌سازی دبی خروجی در دوره واسنجی و صحت سنجی

شبیه‌سازی دبی ماهانه حوضه آبریز سقزچای در دوره واسنجی طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ و در دوره صحت‌سنجی طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱٦ نشان داد که مقدار ضریب تعیین برابر ۰/۸۷، ضریب راندمان نش – ساتکلیف ۰/٦۸ و مقادیر این ضرایب برای دوره صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۸٦ و ۰/٦۷ بدست آمدند. همچنین درجه عدم قطعیت ۹۵ درصد (۹۵□□□) مدل توسط دو فاکتور *p-factor* و *R- factor* محاسبه گردید که در جدول (۳) قرار داده شده است.

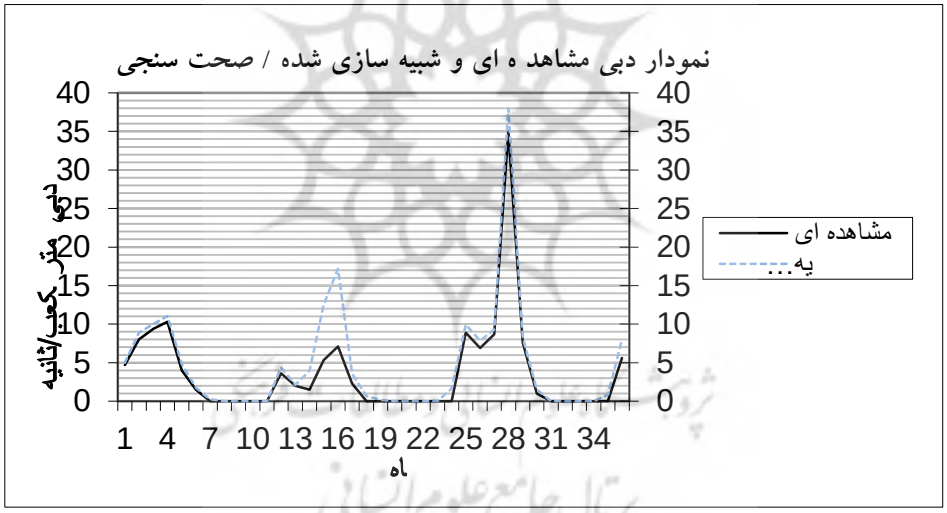
جدول۳- نتایج شاخص‌های ارزیابی برای واسنجی و صحت سنجی دبی

نام شاخص	واسنجی	صحت سنجی
NS	۰/٦۸	۰/٦۷
R^2	۰/۸۷	۰/۸٦
p-factor	۰/۰۷۸	۰/۰۸۹
R- factor	۱,۵	۲,۸

تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد در سطوح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد محاسبه گردید. مقدار *p-factor* بین ۱۰۰-۰ درصد متغیر است.. برای حوضه آبریز سقزچای در دوره واسنجی مقدار *p-factor*، ۰/۰۷۸ و *R- factor*، ۱,۵ می‌باشد. مقادیر این دو برای دوره صحت سنجی به ترتیب ۰/۰۸۹ و ۲/۸ بدست آمد که در جدول شماره(3) و نمودارهای (۱ و 2) ارائه گردیده.



نمودار ۱- دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده دوره واسنجی

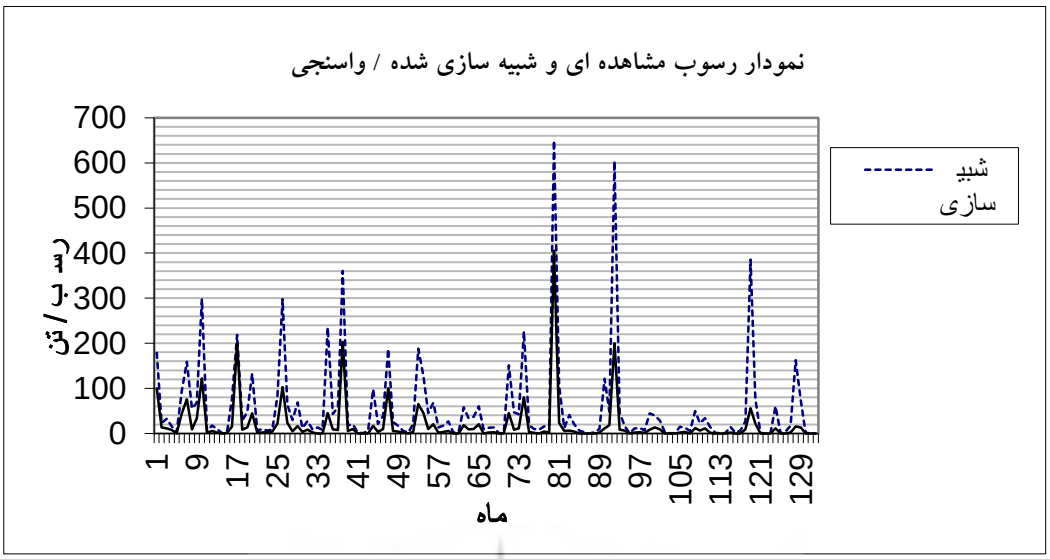


نمودار ۲- نمودار دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده / صحت سنجی

۲-شبیه‌سازی رسوب خروجی در دوره واسنجی و صحت‌سنجی

شبیه‌سازی رسوب ماهانه حوضه آبریز سقزچای در دوره واسنجی طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ و در دوره صحت سنجی طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱٦ نشان داد که مقدار ضریب تعیین برابر ۰/۷٤، ضریب راندمان نش – ساتکلیف ۰/٦٤ و مقادیر این ضرایب برای دوره صحت سنجی به ترتیب ۰/۷٦ و ۰/٦۸ بدست آمدند. همچنین مقدار *R- factor* برای دوره واسنجی برابر با ۱,۸ و *p-factor* برابر با ۰,۰۷۰ می‌باشد که در دوره

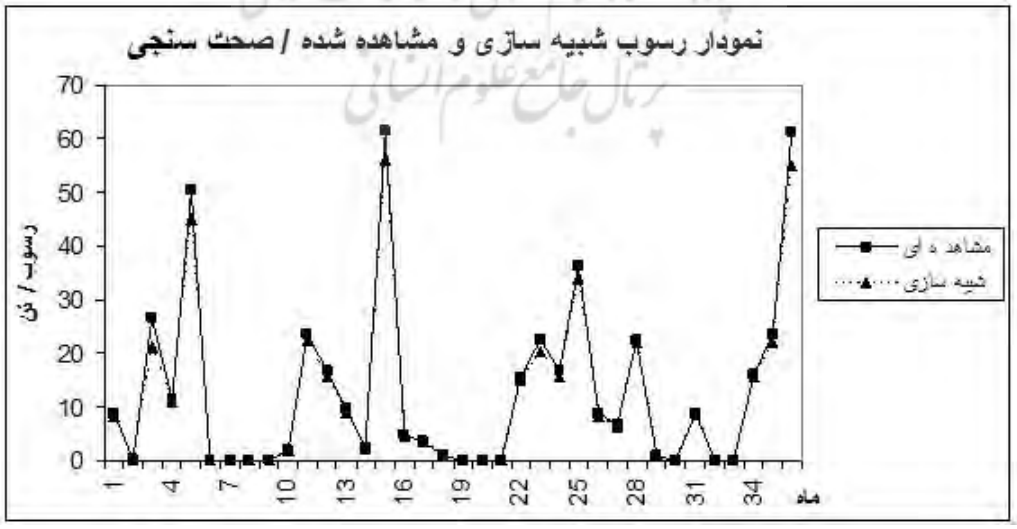
صحت سنجی به ترتیب برابر با ۰,۰۸٦ و ۲,۵ بدست آمد؛ که در نمودارهای شماره (۳و ٤) به همراه جدول شماره (٤) قابل مشاهده است.



نمودار ۳- نمودار رسوب شاهد و شبیه‌سازی دوره واسنجی

جدول٤- نتایج شاخص‌های ارزیابی برای واسنجی و صحت سنجی رسوب

نام شاخص	واسنجی	صحت سنجی
NS	۰/٦٤	۰/٦۸
R^2	۰/۷٤	۰/۷٦
p-factor	۰,۰۷۰	۰,۰۸٦
R- factor	۱,۸	۲,۵



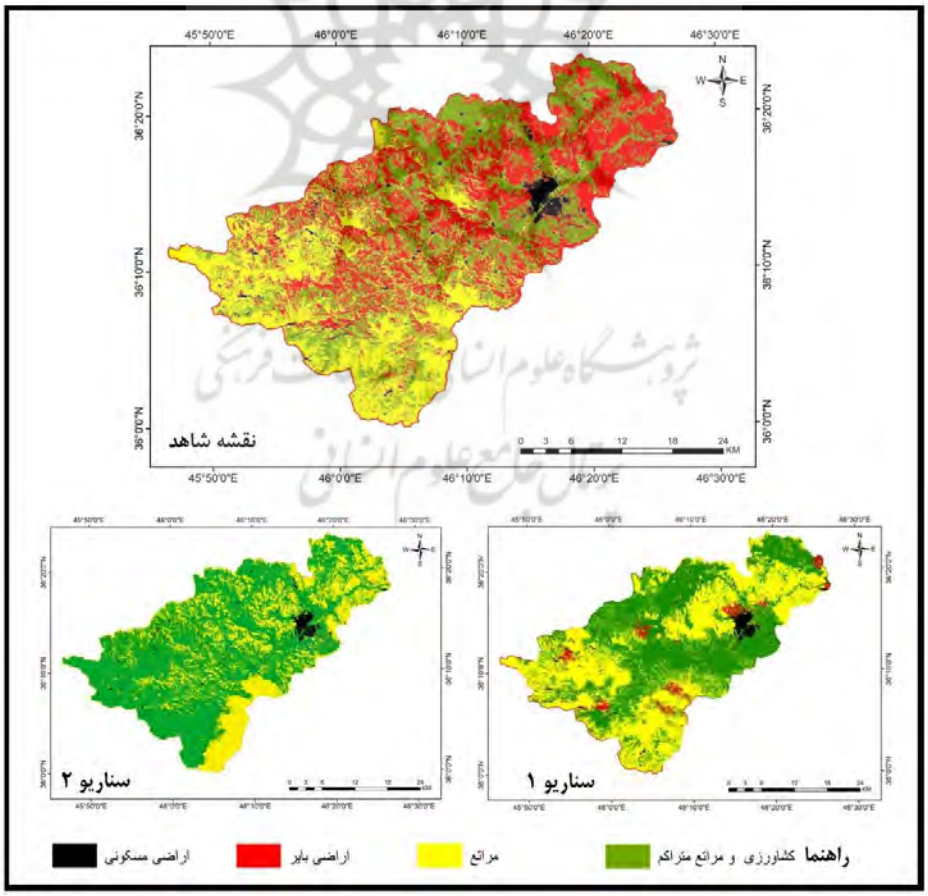
نمودار ٤- نمودار رسوب شبیه‌سازی و مشاهده‌شده صحت سنجی

۳-سناریوهای مختلف کاربری اراضی

اولین سناریو، سناریوی مثبت که با توجه به نقشه کاربری شاهد و با فرض تداوم حفاظت هیچ‌گونه تغییر کاربری اراضی اعمال نشده بود. در گرایش مثبت، مدیریت اراضی در جهت استعداد منطقه به صورت سناریوی خوش‌بینانه اراضی کشت گندم به اراضی مرتعی تبدیل گردید. در سناریوی منفی که سناریوی بدبینانه می‌باشد اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی و اراضی مسکونی با تراکم جمعیت متوسط تبدیل شده است؛ که در جدول شماره (۵) و شکل (۲) نقشه کاربری شاهد و سناریوهای با گرایش مثبت و منفی نشان داده شده است.

جدول ۵- درصد مساحت کاربری اراضی در نقشه شاهد و سناریوهای مختلف

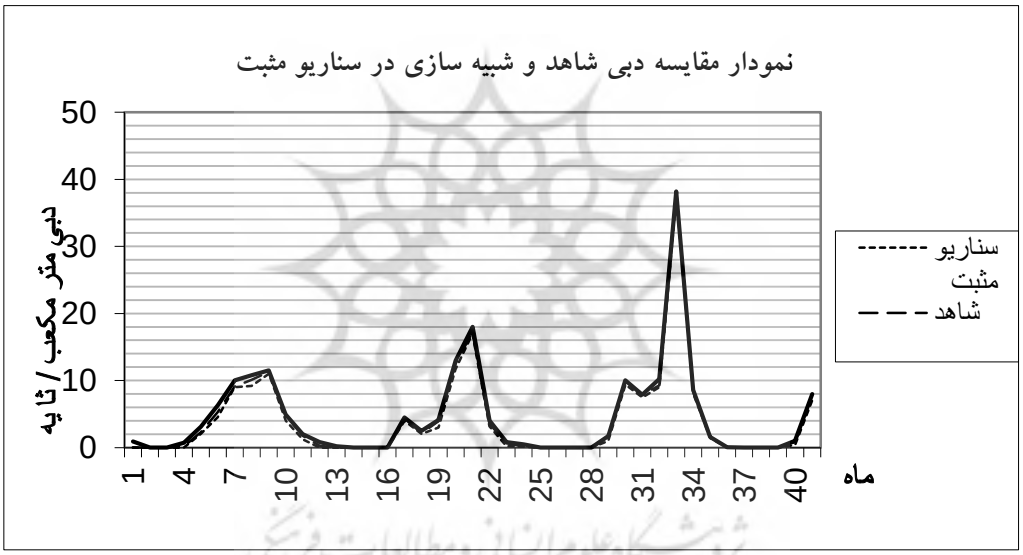
کاربری در مدل ***SWAT***	نوع کاربری در نقشه	مساحت شاهد	مساحت سناریو ۱	مساحت سناریو ۲
AGRC	اراضی کشاورزی	۳۳,۵۵۵	۳۳,٤۸۹	۵۳,۱٤۰
PAST	مرتع	۲۸,۰۱۱	٤٦,۸٦۸	۰
WWHT	اراضی زیر کشت گندم	۳۵,۷٦۳	۸,٤۸٤	۳۵
URMD	ناحیه مسکونی	۲,٦٦۹	۱۱,۸٦۰	۱۱,۸٦۰



شکل(۲) نقشه شاهد و سناریو های ۱ و ۲ حوضه آبریز سقزچای

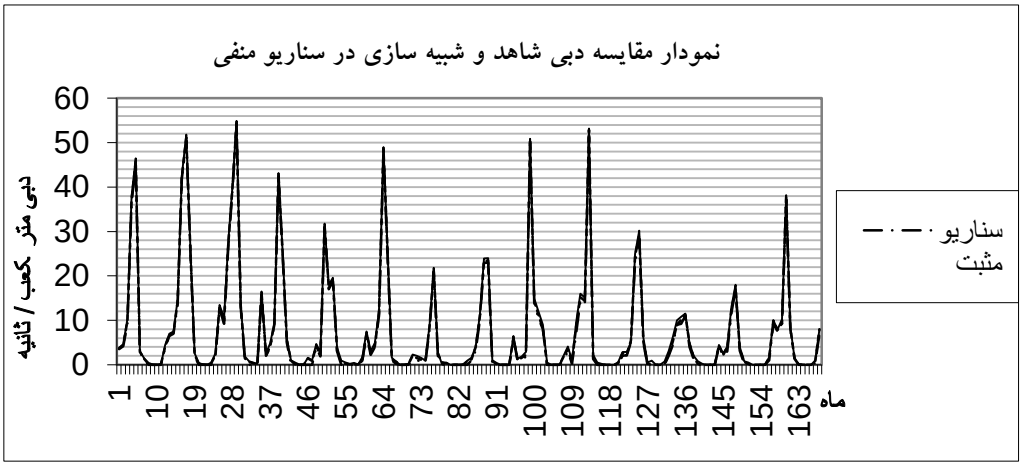
٤- شبیه‌سازی رواناب در سناریوهای مختلف کاربری اراضی

بعد از اطمینان از قابلیت مدل در شبیه‌سازی دبی حوضه آبریز سقزچای دو سناریوی کاربری اراضی در دو جهت گرایش مثبت و منفی به مدل معرفی و تغییرات رواناب خروجی مدل با رسم هیدروگراف مربوطه بررسی شد و در هر حالت رواناب شبیه‌سازی شده با شاهد مقایسه گردید. در سناریوی مثبت اراضی کشت گندم با مساحتی معادل ٤۲۱ کیلومتر مربع به اراضی مرتعی تبدیل شده است که در این سناریو میزان دبی کاهش یافته است ولی در سناریوی منفی با توجه به اینکه اراضی مرتعی با مساحت ۳۳۰ کیلومتر مربع به اراضی کشاورزی و مسکونی با تراکم جمعیت متوسط تبدیل شده است و باغات منطقه و بوته‌زارها هم به اراضی کشاورزی تبدیل شده‌اند، میزان دبی افزایش یافته است. در نمودارهای (۵ و ٦) رواناب شبیه‌سازی شده در هردو گرایش مثبت و منفی نشان داده شده است.



نمودار۵- نمودار مقایسه دبی شاهد و شبیه‌سازی در سناریو مثبت

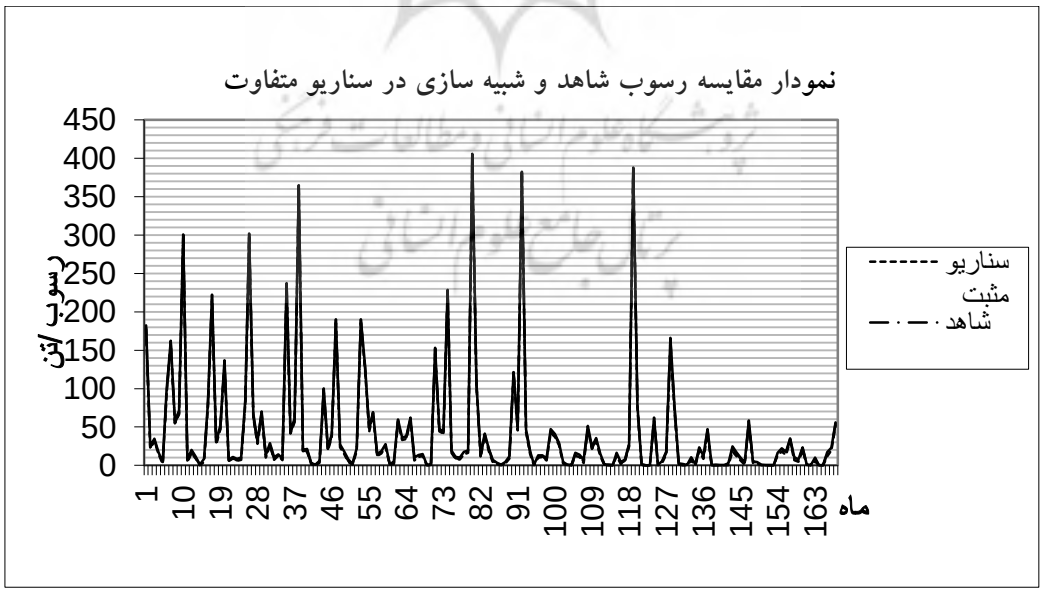
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



نمودار٦ – نمودار مقایسه دبی شاهد و شبیه‌سازی در سناریو مثبت

۳- شبیه‌سازی رسوب در سناریوهای مختلف کاربری اراضی

میزان رواناب شبیه‌سازی شده در دو سناریوی مثبت و منفی مقایسه شد که بر میزان دبی منطقه مورد مطالعه تأثیرگذار بوده است؛ در مورد شبیه‌سازی رسوب نیز در دو گرایش مثبت و منفی تغییرات افزایشی و کاهشی جزئی در میزان رسوب دیده می‌شود. که در نمودار(۷) آمده است. ولی همان‌طوری که در بالا اشاره شد برای رسیدن به نتایج مطلوب لازم است مطالعات جامع‌تری صورت گیرد.



نمودار۷- نمودار مقایسه رسوب شاهد و شبیه‌سازی در سناریو متفاوت

نتیجه گیری

تغییرات کاربری بسیار چشمگیری در مدت‌زمان ٤١ سال از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱٦ رخ‌داده است که موجب تغییرات زیادی در حوضه سقزچای شده به‌طوری‌که می‌توان گفت اگر بارش‌هایی همانند دهه‌های گذشته در حوضه رخ دهد موجب جاری شدن سیل خواهد بود. بااین‌حال مقصود اصلی محاسبه میزان تغییرات و تأثیر این تغییرات در کاربری اراضی بوده که با توجه به بخش یافته‌های تحقیق حاصل گشته است. در مدل *SWAT* با توجه به نقشه‌های خاک، کاربری ارضی و نقشه شیب به همپوشانی لایه‌ها پرداخته تا به مدیریت و کنترل حوضه‌های سیل‌خیز به بهترین نحو انجام گیرد که در این صورت از میزان رواناب کاسته شده و به نفوذپذیری اضافه خواهد شد. این مدل رضایت بخشی برای کنترل و کاهش سیل‌خیزی حوضه آبریز سقزچای است. در نرم‌افزار *SWAT CUP* نتایج پیشرفته نشان داد میزان دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در دوره‌های صحت سنجی و واسنجی باهم تطابق دارد که در دوره واسنجی میزان تغییرات دبی زیاد بوده که نشان از سیلابی بودن حوضه دارد؛ اما در دوره صحت سنجی دبی با تغییرات کمتری همراه بوده البته در فصل بهار میزان رواناب افزایش‌یافته که طبیعی است. در سناریوهای مطرح‌شده در گرایش مثبت بیش از ۵۰٪ مساحت حوضه به مراتع تبدیل می‌شود و باقی‌مانده زمین‌های بایر به مناطق مسکونی تبدیل شد که میزان رواناب کاهش‌یافته و بر نفوذپذیری افزوده شد که درنتیجه فرسایش به حداقل رسید که می‌توان با مدیریت صحیح از فرسایش و سیل‌خیزی حوضه می‌توان جلوگیری نمود. در سناریو منفی با توجه به اینکه اراضی مرتعی به کشاورزی و مسکونی تبدیل شد میزان دبی شبیه‌سازی‌شده افزایش یافت که باعث سیل‌خیزی بیشتر حوضه می‌شود.

در هر دو سناریو میزان دبی متغیر است و در فصولی از سال امکان سیل‌خیزی شدت می‌یابد که مدل پاسخگو نیست، اما می‌توان با کاشت بوته‌زارها و جنگل‌کاری خطر سیل‌خیزی را به حداقل رساند.

پیشنهاد

- با توجه به سیل‌خیز بودن حوضه سقزچای پیشنهاد می‌شود بستر رودخانه اصلی که از میان شهر می‌گذرد آماده‌سازی شده و بتن‌ریزی شده تا باعث جمع شدن موانع بر سر راه سیل‌های احتمالی شده و همچنین آب ورودی به خارج از بستر رودخانه سرریز نشود.
- با توجه به کاهش شدید مراتع و تبدیل‌شدن آن به اراضی بایر و همچنین کاهش تغییرات نوع کشت‌های کشاورزی پیشنهاد می‌گردد مراتع منطقه با تراس‌بندی و کاشت جنگل و سایر گیاهان قابل رشد در منطقه از فرسایش و سیلابی شدن بیش‌ازپیش جلوگیری شود.

- در صورت امکان با هدایت سیلاب‌های احتمالی و هدایت جریان آب نزولات جوی به مناطق با شیب کمتر و مسطح هم موجبات تبدیل آن زمین‌ها به اراضی کشاورزی را فراهم سازند هم از فرسایش بیشتر جلوگیر نمایند.
- می‌توان با کاهش چرای مرتعی دام‌ها، پوشش گیاهی را از کاهش بیشتر محفوظ و فرسایش را به حداقل رساند.

منابع

۱. رضائی مقدم، محمد حسین؛ حجازی، میر اسدالله؛ بهبودی، عبدالله؛ (۱۳۹۸)، برآورد میزان رواناب حوضه آبریز لنبران چای در استان آذربایجان شرقی: کاربرد مقایسهای روشهای واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل *SWAT*، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و یکم، پاییز ۱۳۹۸، صص ۵۹-۷۵.

۲. زاهدی، احسان؛ طالب، علی؛ طباطبایی، سیدعباس؛ رئیسی، آرزو؛ آسیایی، مجید؛ (۱۳۹۵)، شبیه‌سازی جریان زیرسطحی برای تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از مدل *SWAT* (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه درونگر درگز)، پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱٤، پاییز و زمستان ۱۳۹۵، صص ۲۰٦- ۲۱۵.

۳. سرایی، بهناز؛ طالبی، علی؛ مزیدی، احمد؛ پرویزی، سارا؛(۱۳۹۹)، در مطالعه ی با عنوان اولویت بندی حوزه ابخیز سردآبرود از نظر سیل خیزی با استفاده از مدل *SWAT*، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست وسوم،بهار۱۳۹۹، صص۸۵-۹۸.

٤. شریعت جعفری، محسن، (۱۳۷٦)، ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شیب‌های طبیعی مرکز پژوهش

۵. حفاظت آب‌وخاک، انتشارات سازه، ص ۱۲٤.

٦. شریفی فرود، نوروزی غلامرضا، (۱۳۸۱)، مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، کلید توسعه منابع زیستی، مجله جنگل و مرتع شماره ٥٦.

۷. شفیعی مطلق،خسرو؛ پرهمت،جهانگیر؛ صدقی، حسین؛ حسینی، مجید؛ (۱۳۹۷)، بررسی تأثیر تغییرکاربری بر رواناب رودخانه‌ی مارون در ایستگاه ایدنک با استفاده از داده‌های سنجش ازدور و مدل *SWAT*، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هفتم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۷،صص ۷۱-۸٦.

۸. فرخ‌زاده، بهنوش؛ ایلدرمی، علیرضا؛ عطاییان، بهناز؛ نوروزی، مهناز؛ (۱۳۹٤)، ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر میزان بار معلق با استفاده از مدل *SWAT* (مطالعه موردی: حوضه آبخیز یلفان- استان همدان)، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی دوره ۳، شماره ۱۹، پاییز ۱۳۹٤، صص ۲۸ – ٤٦.

۹. قدوسی، میثم؛ دلاور، مجید؛ مرید، سعید؛ (۱۳۹۳)، اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه آبریز آجی چای و ورودی آن به دریاچه ارومیه، تحقیقات آب‌وخاک ایران، دوره ٤٥، شماره۲ ، تابستان ۱۳۹۳ صص ۱۳۳-۱۲۳.

۱۰. میرقاسمی، سیدحمید؛ بانژاد، حسین؛ فرید حسینی، علیرضا؛(۱۳۹۸)، ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه‌ها بر میزان و شدت سیل (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی ارداک)،مطالعات جغرافیایی مناطق خشک دوره نهم، شماره سی و ششم، تابستان۱۳۹۸، صص ٤٤-٦۱.

11c,Srilert r Boonkaewwan Satika (2018) Impacts of land-use changes on Chotpantarat watershed discharge and water quality in a large intensive agricultural area in Thailand, Hydrological Sciences Journal Volume 63, 2018 - Issue 9.

12. Chen ,Hao. Fleskens, Luuk. Baartman, Jantiene. Wang ,Fei. Moolenaar, Simon. Ritsema, Coen (2019) Impacts of land use change and climatic effects on streamflow in the Chinese Loess Plateau: A meta-analysis, Science of The Total Environment,scitotenv.2019.134989.

۱۳. *dos R. Pereira, Donizete Demetrius D. da Silva Fernando F. Pruski Mauro A. Martinez, (2016)، Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT Model Part II: Simulation of hydrological variables and soil use scenarios، Journal of Hydrology: Regional ، v. 5، pp. 149-163.*

۱۴. *Loukas, A., L. Vasiliades, N. R. Dalezios., 2000. Flood producing mechanisms identification in southern British Cloumbia, Canada, Journal of Hydrology, Vol. 227، PP:218-235.*

۱۵. *Miller, S. N., W. G. Kepner, M. H. Mehaffey, M. Hernandez, D. C. Goodrich, R. C. Miller, D. T. Heggem, P. Miller, AND F. K. Devonald. Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. Journal of the american water resources association 38(4):915-929, (2002).*

16. Saddique ,Naeem. Mahmood, Talha. Bernhofer, Christian(2020) Quantifying the impacts of land use/land cover change on the water balance in the afforested River Basin, Pakistan, Environmental Earth Sciences (2020), pp. 2-13.

17. Tom Lotz a, b , Christian Opp c , Xun Hec (2017) Factors of runoff generation in the Dongting Lake basin based on a SWAT model and implications of recent land cover change Tom Lotz a, b, Christian Opp c , Xun He c Quaternary International xxx (2017) 1-9.