



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Web site:
<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 12
No. 4 (48)
Summer 2023

Received:
2023-01-11

Accepted:
2023-01-20

Pages: 43-57



Evaluation of the Hydrological Response of Kiwi Chai Catchment Area to Land Use Changes Using SWAT Model

Shirin Mahdavian¹, Batol Zeynali^{2*} and Bromand Salahi³

1)phd. Student of climatology, Faculty of Literature and Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

2)Associate Professor, Faculty of Literature and Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

3)Professor, Department of natural geography, Faculty of Literature and Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

*Corresponding author email: zeynali.b@uma.ac.ir

Abstract:

Introduction: Land use change has a direct impact on hydrological components and water resources and plays an important role in aggravating possible risks such as drought and floods. Therefore, it is necessary to investigate the effects of land use on water components such as runoff. Thus, in this study, the runoff condition of the Kiwi Chai Basin, one of the most important basins in Ardabil province, from an environmental point of view in terms of land use change is investigated using the SWAT model.

Methods: ArcGIS 10.1, Envi 5.1, and Ecognition software are used for data processing, classification, and analysis. Also, the method based on radiative transfer models, such as FLAASH, is used as the best method for atmospheric correction. Multiresolution algorithm is applied for segmentation and the nearest neighbor algorithm is used for classification. Then, educational samples are collected from the area using field visits and Google Earth satellite images and used to evaluate the accuracy and precision of the classification. At the end, the Thematic change dynamic detection method is applied in Envi5 to identify the changes that have happened over the years. The SWAT hydrological model is additionally used to investigate the effect of land use changes on the basin's runoff. After extracting the effective parameters in the basin's outlet, the model is calibrated and validated with SWAT-CUP software and SUFI-2 algorithm. Nash-Sutcliffe indices and coefficient of determination are used to evaluate the results of this stage.

Results: In this research, after applying object-oriented land classification, land use map in seven classes of Rainfed agriculture, irrigated agriculture, garden, forest, residential, pasture and water are provided. In the land use map of the basin, pasture cover is the dominant land use class; however, a significant decrease from 1224.18 square kilometers to 1046.59 square kilometers has been observed between 1987 and 2019. The values obtained for R-Factor, P-Factor, R2, NS indicators in the calibration period are, respectively, for Abgarm station (0.53, 0.47, 0.71, 0.69) and for Firozabad station (0.32, 0.3, 0.67, 0.64) and in the validation period, for Abgram station (0.09, 0, 0.62, 0.56) and for Firozabad station (0.13, 0, 0.53, 0.51), respectively. Based on this, the results obtained in the calibration and validation stage are evaluated as acceptable. The evaluation of the SWAT model's response to land use also shows that, on an annual scale, the amount of flow in Firozabad station has decreases from 3.08 to 2.81 cubic meters per second (-8.77percent) and in Abgarm station from 1.11 to 0.96 cubic meters per second (-13.51), which can be attributed to changes in land use, especially the change in the use of pastures and its conversion to rainfed agriculture, gardens, and forests.

Conclusion: The trend of land use changes in the basin between 1987 and 2019 has been accompanied by a decreasing trend in rainfed, pasture and water uses and an increasing trend in irrigated agriculture, garden, forest, and residential uses. The high value of the fit of the indicators used in the evaluation of the model indicates that the model has a good capability in simulating the runoff of the basin. Moreover, the model implemented for different land uses illustrates that the flow of the basin in both hydrometric stations in most of the months increase in the short term and decrease in the long term average with the land use change. Continuous land use change is becoming a serious threat to watersheds. Land use change should be controlled in catchment areas, and measures should be taken to stabilize land use change.

Keywords: Land use change, SWAT, modeling, remote sensing, Kiwi Chai basin



ارزیابی واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز کیوی چای به تغییرات

کاربری اراضی با استفاده از مدل SWAT

شیرین مهدویان^۱، بتول زینالی^{۲*} و برومند صلاحی^۳

(۱) دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

(۲) دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

(۳) استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: zeynali.b@uma.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: تغییر کاربری اراضی به صورت مستقیم بر روی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و منابع آبی تأثیرگذار است و نقش مهمی در تشدید خطرات احتمالی همچون خشکسالی و سیلاب دارد. لذا بررسی اثرات کاربری اراضی بر مؤلفه‌های آبی همچون رواناب امری ضروری است. از این رو در این مطالعه، وضعیت رواناب حوضه کیوی چای، یکی از مهم‌ترین حوضه‌های استان اردبیل، از نظر محیط زیستی در شرایط تغییر کاربری اراضی با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار گرفت.

روش پژوهش: برای پردازش، طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.1، Envi 5.1 و Ecognition استفاده شد. همچنین از روش مبتنی بر مدل‌های انتقال تابشی چون FLAASH به عنوان بهترین روش برای تصحیح اتمسفری استفاده شد. برای سگمنت‌سازی از الگوریتم Multiresolution و برای طبقه‌بندی از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی استفاده شد. سپس نمونه‌های تعلیمی از سطح منطقه با استفاده از بازدیدهای میدانی و تصاویر ماهواره Google Earth جمع‌آوری شد و برای ارزیابی صحت و دقت طبقه‌بندی بکار رفت. در انتها از روش تشخیص تغییرات (Thematic) change dynamic در Envi 5 برای شناسایی تغییراتی که طی سال‌ها اتفاق افتاده بود، استفاده شد. برای بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی روی رواناب حوضه نیز از مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده شد. بعد از استخراج پارامترهای مؤثر در حوضه خروجی مدل با نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم SUFI-2 واسنجی و اعتبارسنجی شد. برای ارزیابی نتایج این مرحله از شاخص‌های نش - ساتکلیف و ضریب تعیین استفاده شد.

یافته‌ها: در این پژوهش، پس از اعمال طبقه‌بندی اراضی به روش شیء‌گرا، نقشه کاربری اراضی در هفت کلاس؛ کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، باغ، جنگل، مسکونی، مرتع و آب تهیه گردید. در نقشه کاربری اراضی حوضه، پوشش مرتع، طبقه غالب کاربری زمین است؛ باین حال، کاهش قابل توجه از ۱۲۲۴/۱۸ کیلومتر مربع به ۱۰۴۶/۵۹ کیلومتر مربع بین سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹ مشاهده شده است. مقادیر پدست آمده برای شاخص‌های R-Factor, P-Factor, R², NS در دوره واسنجی به ترتیب برای ایستگاه آبگرم (۰/۶۹، ۰/۷۱، ۰/۴۷، ۰/۵۳) و برای ایستگاه فیروزآباد (۰/۶۴، ۰/۶۷، ۰/۳، ۰/۳۲) و در دوره اعتبارسنجی برای ایستگاه آبگرم به ترتیب (۰/۵۶، ۰/۶۲، ۰/۰۹، ۰) و برای ایستگاه فیروزآباد (۰/۵۱، ۰/۵۳، ۰/۱۳، ۰) است. بر این اساس نتایج به دست آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی قابل قبول ارزیابی شد. ارزیابی پاسخ مدل SWAT به کاربری زمین نیز نشان داد در مقیاس سالانه نشان می‌دهد که میزان جریان در ایستگاه فیروزآباد از ۳/۰۸ به ۲/۸۱ مترمکعب بر ثانیه (۸/۷۷- درصد) و در ایستگاه آبگرم از ۱/۱۱ به ۰/۹۶ مترمکعب بر ثانیه (۱۳/۵۱-) کاهش یافته است که علت آن را می‌توان ناشی از تغییرات کاربری اراضی بخصوص تغییر در کاربری مراتع و تبدیل آن به زراعت دیم و باغات و جنگل‌ها دانست.

نتایج: روند تغییرات کاربری اراضی حوضه بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ در کاربری‌های کشاورزی دیم، مرتع و پهنه‌های آبی با روند کاهشی و در کاربری‌های کشاورزی آبی، باغ، جنگل و مسکونی با روند افزایشی همراه بوده است. بالابودن مقدار برآزش معیارهای بکار رفته در ارزیابی مدل بیانگر این است که مدل قابلیت خوبی در شبیه‌سازی رواناب حوضه دارد. همچنین مدل اجرا شده برای کاربری‌های مختلف زمین نشان داد که جریان حوضه در هر دو ایستگاه هیدرومتری با تغییر کاربری اراضی در اکثر ماه‌ها در کوتاه مدت افزایش و در میانگین درازمدت کاهش می‌یابد. تداوم تغییر کاربری زمین در حال تبدیل شدن به یک تهدید جدی برای حوضه‌های آبریز است. تغییر کاربری اراضی باید در حوضه‌های آبریز کنترل شود و اقداماتی برای تثبیت تغییر کاربری زمین انجام شود.

کلید واژه‌ها: تغییر کاربری اراضی، SWAT، مدل‌سازی، سنجش‌ازدور، حوضه آبریز کیوی چای



مقدمه

سلامت و رفاه انسان، امنیت غذایی و تحولات صنعتی به تأمین آب کافی وابسته است، اما منابع آب تحت تأثیر پارامترهای زیادی قرار می‌گیرد. ایجاد رابطه بین این پارامترها تمرکز اصلی مدل‌سازی هیدرولوژیکی از شکل ساده آن (هیدروگراف واحد) تا مدل‌های نسبتاً پیچیده مبتنی بر معادلات جریان کاملاً دینامیکی است. یکی از پارامترهایی که بر کمیت آب جاری در یک حوضه آبریز تأثیر می‌گذارد، کاربری اراضی حوضه آبریز است (Getachew and Melesse, 2012). تغییر کاربری اراضی دارای یک‌روند اکولوژیکی جهانی غیرقابل‌انکار و قابل‌توجه است که به نوبه خود بر موجودیت آب تأثیر می‌گذارد (آگاروال^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). تغییرات کاربری اراضی که به طور ویژه حاصل فعالیت‌های انسانی است فرایندهای هیدرولوژیکی از قبیل تبخیر و تعرق، نفوذ، رواناب و همچنین تغییرات سطحی و زیرسطحی جریان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای تجسم اثرات آبی تغییر کاربری اراضی بر جریان رودخانه، داشتن درک درستی از اثرات تغییرات کاربری تاریخی زمین بر سیستم هیدرولوژیکی حوضه آبریز مهم است.

ماهیت پویای کاربری زمین ناشی از افزایش جمعیت، گسترش بخش کشاورزی و تغییرات آب‌وهوایی با سرعتی نگران‌کننده در دنیا رخ می‌دهد. گسترش و تشدید کشاورزی، رشد مناطق شهری و استخراج سایر منابع طبیعی احتمالاً در دهه‌های آینده برای برآوردن نیازهای جمعیت فزاینده تسریع خواهد شد. علاوه بر این، دامنه‌های کوهستانی و تند در برخی موارد بدون اقدامات حفاظتی در برابر فرسایش و تخریب زمین کشت می‌شود. از این‌رو، تشریح رابطه بین کاربری اراضی و وضعیت هیدرولوژیکی منطقه به ما این امکان را می‌دهد که بدانیم چگونه مقدار آب جاری به حوضه با تغییر کاربری زمین تغییر می‌کند؛ بنابراین، نیاز به تحقیقات علمی که تأثیر تغییرات کاربری اراضی را بر جریان ورودی حوضه مشخص کند، ضروری است. دانش تأثیر تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه آبریز، دولت‌های محلی و سیاست‌گذاران را قادر می‌سازد تا استراتژی‌های واکنش مؤثر و مناسب را برای به‌حداقل‌رساندن اثرات نامطلوب تغییر یا اصلاحات کاربری اراضی در آینده تدوین و اجرا کنند. از این‌رو، هدف اصلی این مطالعه شناسایی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه آبریز کیوی چای و پیشنهاد اقدامات اصلاحی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی پارامتر توزیع شده ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) و داده‌های موجود است. اهداف خاص این مطالعه عبارت‌اند از: (۱) ارزیابی تغییر کاربری اراضی حوضه آبریز در ۳۳ سال گذشته، (۲) بررسی کاربرد مدل SWAT برای حوضه آبریز کیوی چای و (۳) ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر روی جریان حوضه آبریز کیوی چای.

مواد و روش‌ها

حوضه رودخانه کیوی چای با مجموع مساحت ۸۲۷ کیلومترمربع یکی از حوضه‌های آبریز سفیدرود است که در مختصات ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز قره‌سو، از غرب به حوضه آبریز رودخانه قرنقو و از شرق به رشته‌کوه‌های تالش و از جنوب به حوضه آبریز رودخانه قزل‌اوزن محدود می‌شود. به‌طور کلی حوضه آبریز کیوی چای متشکل از رودخانه‌های اصلی به نام‌های هروآباد، آریاچای و کیوی چای هست که با جهت جنوب شرق - شمال غرب جریان یافته و پس از دریافت جریان رودخانه‌های فرعی سنگورچای و رودخانه گراز در ارتفاع ۸۶۰ متر از سطح دریا در بخش جنوب غربی از منطقه خارج و به رودخانه قزل‌اوزن تخلیه می‌گردد. میانگین بارندگی در این حوضه ۴۴۴ میلی‌متر بوده و ۸۶ تا ۹۴ درصد از مجموع بارندگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت رخ می‌دهد (Feyzolahpour Rajabi and, 2014). مرتفع‌ترین نقطه ارتفاعی به ۳۰۰۹ متر از سطح دریا در قله عجم داغ واقع در بخش خاوری و پست‌ترین محل با ارتفاع مطلق ۱۵۱۲ متر از سطح دریا مربوط به گلوگاه حوضه در بخش غربی حوضه هست. حضور کوه‌ها و تپه‌ها در بخش‌های وسیعی از اراضی حوضه آبریز کیوی چای موجب افزایش شیب و میزان پستی‌وبلندی اراضی گردیده است (Madadi et al., 2012). شکل ۱ موقعیت حوضه کیوی چای و ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی محدوده داخل و نزدیک حوضه استفاده شده و جدول ۱ مشخصات جغرافیایی آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی

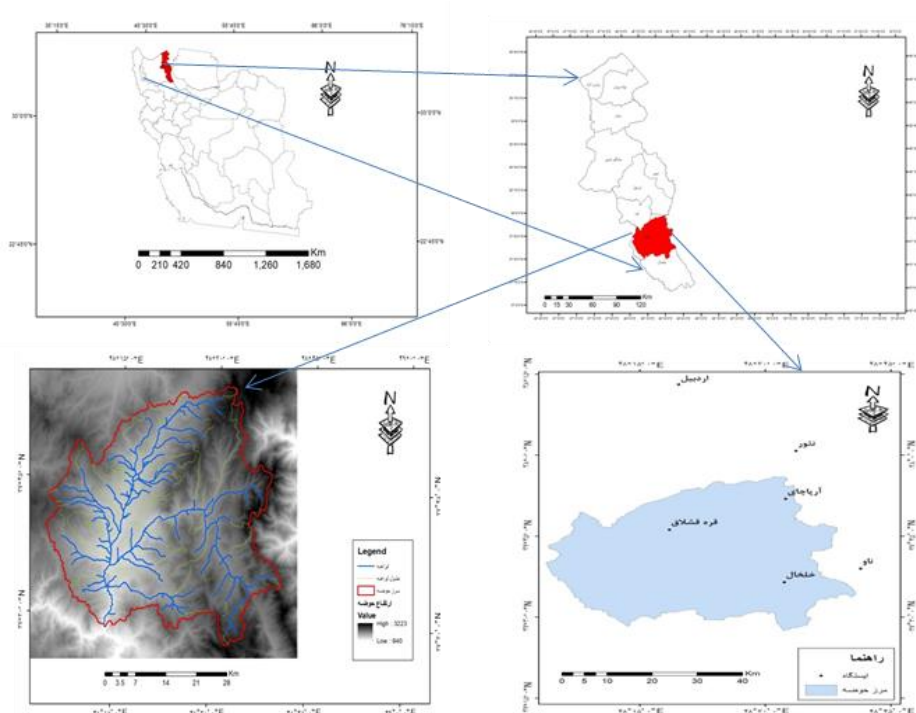
ردیف	نام ایستگاه	منطقه مورد مطالعه	
		ارتفاع	طول جغرافیایی
۱	اردبیل	۱۳۳۵/۲	۴۸،۳۲۸
۲	آریاچای	۲۴۸۰	۴۸،۵۴۱
۳	خلخال	۱۷۹۷/۴	۴۸،۵۳۸
۴	ناو	۱۰۰۰	۴۸،۶۰۹
۵	قره قشلاق	۱۳۸۰	۴۸،۳۰۹
۶	نئور	۲۵۰۳	۴۸،۵۶۱

مجموعه داده‌های اساسی که توسط مدل هیدرولوژیکی SWAT مورد نیاز است عبارت‌اند از:

نقشه مدل رقومی ارتفاع (Dem)

به‌منظور مدل‌سازی شرایط هیدرولوژیکی حوضه با مدل

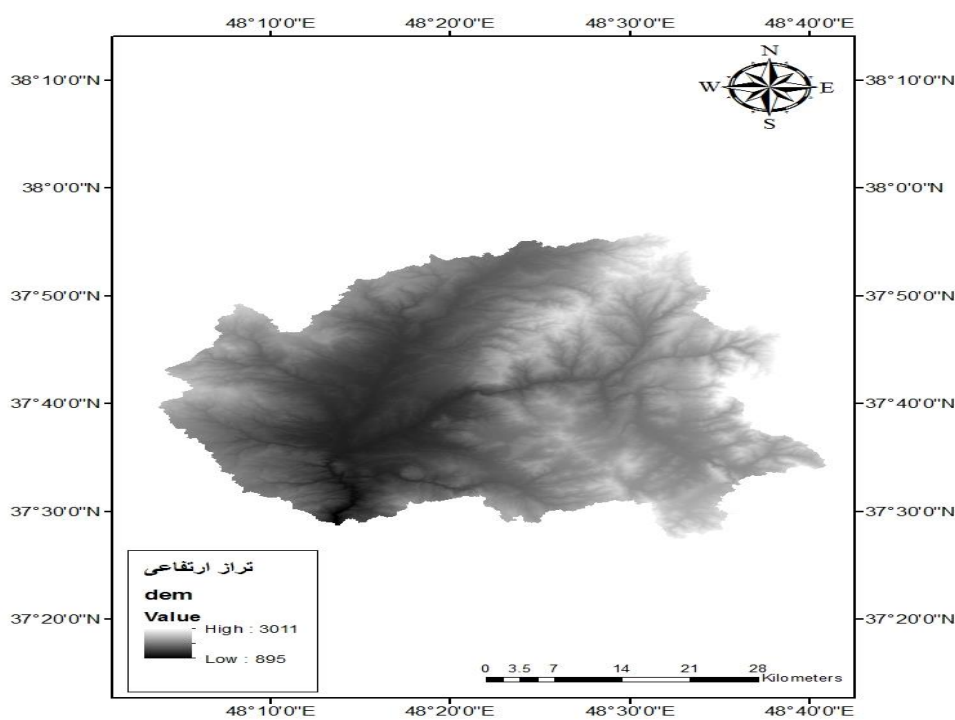
SWAT و از آنجایی که این نرم‌افزار تک‌بعدی نبوده، در جهت



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز کیوی چای در اردبیل و ایران و ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه‌های منطقه محدوده مورد مطالعاتی، با مشخص کردن موقعیت ایستگاه هیدرومتری در جهت تعیین خروجی استخراج می‌شود. در این پژوهش از نقشه DEM با دقت ۲۸ متر استفاده گردیده است (شکل ۲).

استخراج آبراهه‌ها، مسیر جریان رودخانه و تعیین زیر حوضه‌ها منطقه نیازمند نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) است. با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی و دستور کدنویسی برنامه که دربرگیرنده Arc Hydro است، خطوط جریان و



شکل ۲. نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه

کاربری زمین

نقشه‌های کاربری زمین با پردازش تصاویر Landsat TM,OLI با وضوح فضایی ۳۰ متر از سایت <http://earthexplorer.usgs.gov> استخراج گردید. طبقه‌بندی شیء‌گرا در نرم‌افزار Ecognition برای شناسایی کلاس‌های کاربری اصلی در حوضه آبریز مورد استفاده قرار گرفت. هفت کلاس اصلی شناسایی شد (شکل ۳). تغییرات کاربری اراضی برای حوضه آبخیز کیوی چای برای سال‌های مختلف ارزیابی شد.

نقشه خاک

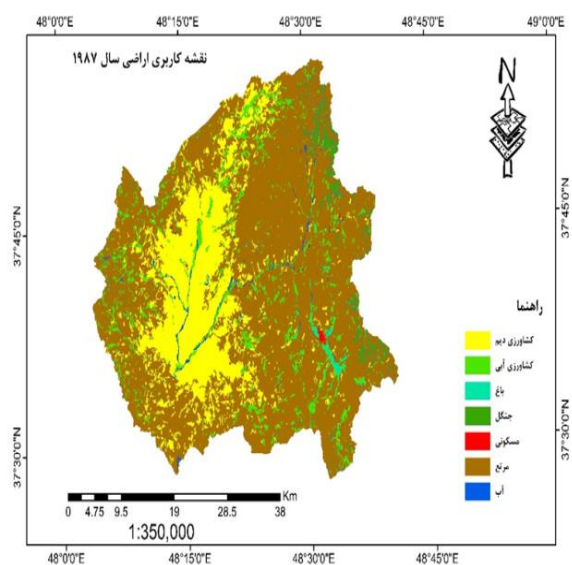
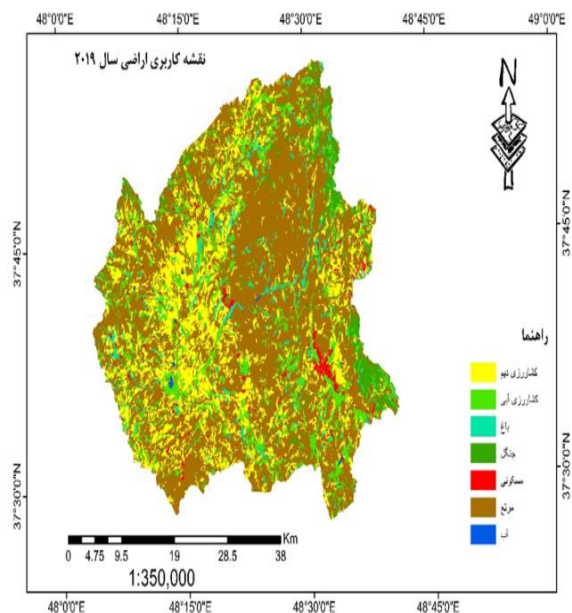
مدل SWAT به بافت خاک و خصوصیات فیزیکی شیمیایی، عمق و ساختمان خاک، عمق هر لایه خاک، مقدار شن و رس و سیلت، هدایت الکتریکی، کربن آلی، چگالی ظاهری و گروه‌های هیدرولوژیک خاک نیاز دارد. از این‌رو، معرفی یک نقشه خاک مناسب نقش مهمی در پیشبرد اهداف کار دارد. جزئیات خاک‌شناسی منطقه مطابق جدول ۲ ارائه شده است. به دلیل عدم دسترسی به این اطلاعات از نقشه خاک جهانی و اطلاعات توصیفی FAO برای منطقه مورد مطالعاتی استفاده گردیده است.

جدول ۲. اطلاعات توصیفی مورد نیاز در جهت تعریف خصوصیات خاک‌شناسی منطقه در SWAT

ردیف	نوع بافت خاک	توضیحات
۱	NLAYERS	تعداد لایه خاک
۲	HYDGRP	گروه هیدرولوژی بافت خاک
۳	SOL-ZMX	ماکزیمم عمق ریشه‌دوانی در خاک
۴	ANION-EXCEL	درصد تخلخل خاک فاقد آنیون
۵	SOL-CRK	حداکثر گنجایش شکاف پروفیل خاک
۶	TEXTURE	بافت خاک
۷	SOL-Z	عمق هر لایه خاک
۸	SOL-BD	چگالی حجمی مرطوب
۹	SOL-AWC	مقدار آب در دسترس
۱۰	SOL-K	هدایت هیدرولیکی اشباع
۱۱	SOL-CN	مقدار کربن آلی
۱۲	CLAY	مقدار رس
۱۳	SILT	مقدار سیلت
۱۴	SAND	مقدار ماسه
۱۵	ROCK	مقدار سنگ‌ریزه
۱۶	SOL-ALB	البیدو خاک
۱۷	USLE-K	فاکتور K در معادله USLE
۱۸	SOL-EC	هدایت الکتریکی

داده‌های هیدرومتری و هواشناسی

پژوهش حاضر بر روی یک ایستگاه سینوپتیک (خلخال) دو ایستگاه باران‌سنجی (آریاچای، قره قشلاق) واقع در حوضه آبریز کیوی چای و همچنین یک ایستگاه سینوپتیک (اردبیل) و دو ایستگاه باران‌سنجی نزدیک به حوضه (نور و ناو) جهت پوشش نیمه شمالی حوضه به دلیل عدم وجود ایستگاه با دوره آماری بلندمدت در داخل حوضه در این بخش، انجام شده است که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. همچنین از دو ایستگاه هیدرومتری آبگرم و فیروزآباد با مشخصات زیر برای بررسی رواناب حوضه کیوی چای استفاده شد. داده‌های اقلیمی از مرکز آب‌وهواشناسی اردبیل و داده‌های هیدرومتری از مرکز منابع آب اردبیل اخذ شدند.



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹

جدول ۳. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

نام ایستگاه	نام رودخانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	دوره آماری
آبگرم	هر و چای	۴۸.۴۰	۳۷.۵۸	۱۵۳۵	۱۹۹۹-۲۰۱۰
فیروزآباد	فیروزآباد چای	۴۸.۲۲	۳۷.۶۹	۱۱۵۰	۱۹۹۷-۲۰۱۰

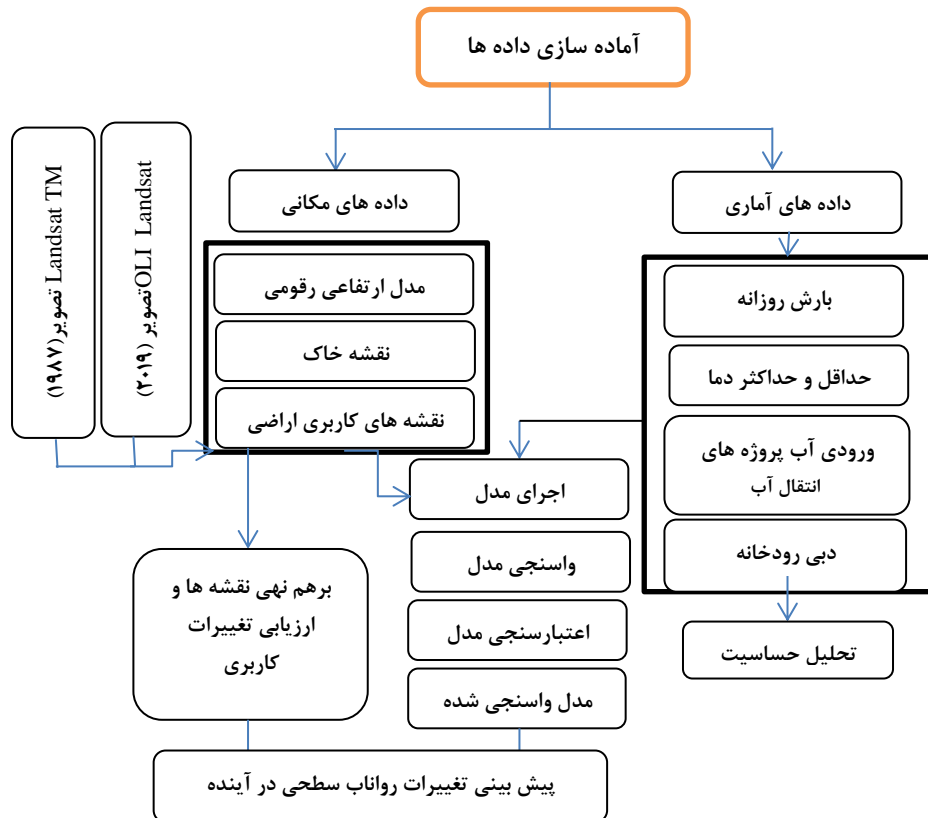
توصیف مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی حوضه آبخیز است که توسط وزارت کشاورزی ایالات متحده در دهه ۱۹۹۰ برای پیش‌بینی اثرات آب‌وهوا، الگوهای مختلف کاربری زمین، و شرایط خاک بر روی رواناب رودخانه طراحی شده است (Haleem et al., 2021). یک مدل زمانی پیوسته در مقیاس حوضه که در مرحله زمانی روزانه عمل می‌کند و برای پیش‌بینی تأثیر مدیریت بر عملکرد آب، رسوب و مواد شیمیایی کشاورزی در حوضه‌های آبریز اندازه‌گیری نشده طراحی شده است. این مدل مبتنی بر فیزیک، از نظر محاسباتی کارآمد و قادر به شبیه‌سازی مداوم در دوره‌های زمانی طولانی است. علاوه بر این، به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی هیدرولوژی حوضه و شبیه‌سازی اثر شیوه‌های مختلف مدیریتی زمین (مکانی، زمانی) بر کمیت و کیفیت آب و رسوب در حوضه‌های پیچیده باتوجه‌به شرایط مختلف اقلیمی و کاربری اراضی و نوع خاک در دوره‌های درازمدت استفاده شده است (Neitsch et al., 2011). مدل

SWAT با اتصال به نرم‌افزار GIS قابل استفاده است و می‌توان حجم زیادی از اطلاعات را در مقیاس‌های مختلف به‌عنوان ورودی برای آن در نظر گرفت. این مدل حجم وسیعی از داده‌های بارش، توپوگرافی، مرزهای حوضه آبریز و خصوصیات خاک و لایه زیرسطحی و کاربری اراضی و پوشش گیاهی، سیستم‌های انتقال رواناب و غیره جز ورودی آن است و برای شبیه‌سازی دبی روزانه رودخانه، برآورد رسوب روزانه کاربرد دارد (Arnold et al., 1999). مدل SWAT از معادله بیلان آب برای شبیه‌سازی به‌صورت زیر استفاده می‌کند:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

که در آن S_t محتوای نهایی آب خاک (میلی‌متر)، S_0 محتوای اولیه آب خاک (میلی‌متر)، t زمان (روز)، R_{day} مقدار بارندگی در روز i (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i (میلی‌متر)، W_{seep} مقدار آب گذری در پروفیل زیرین خاک در روز i (میلی‌متر)، Q_{gw} مقدار جریان پایه در روز i (میلی‌متر) را نشان می‌دهد. شکل زیر نمودار مدل‌سازی جریان توسط ArcSWAT را نشان می‌دهد.



شکل ۵. مراحل انجام مدل‌سازی و ارزیابی واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی

اجرای مدل SWAT

مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز کیوی چای با استفاده از ArcSWAT2012 انجام شد. SWAT حوضه را بر اساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) به زیرحوضه‌ها ترسیم می‌کند. مدل رقومی ارتفاع (DEM) به مدل وارد شد و زیر حوضه‌های تشکیل‌دهنده آن نیز مشخص گردید. با در نظر گرفتن حداقل سطح زهکش ۵۰۰ هکتار، برای ترسیم زیر حوضه‌ها، تعداد ۱۱۸ زیرحوضه ترسیم شد. در مرحله بعد با استفاده از نقشه‌های رستری خاک، کاربری اراضی و تعیین طبقات شیب، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی تعریف گردید. برای این کار دو نقشه از قبل آماده شده بودند. طبقات شیب نیز در همین مرحله در محیط ArcGIS تهیه شد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه چهار طبقه شیب ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۷۰ و بالاتر از ۷۰ در مدل تعریف گردید. همچنین برای بهبود شبیه‌سازی در نواحی کوهستانی (Bhatta et al., 2020) تعداد ۵ بازه ارتفاعی در هر زیرحوضه تعیین شد. در این مطالعه ۸۲۴ گروه پاسخ هیدرولوژیکی در نهایت ساخته شد. پس از آن داده‌های هواشناسی در بازه زمانی ابتدای سال ۱۹۹۴ تا انتهای سال ۲۰۱۷ به مدل داده شد و پارامترهای رطوبت نسبی، بارندگی، دمای حداقل و حداکثر، ساعات آفتابی و سرعت باد تعریف گردید. علاوه بر آن مشخصات فنی سدهای آبخیزداری نیز به مدل معرفی گردید. در انتها مدل اجرا شد و نتایج شبیه‌سازی به صورت ماهانه در پوشه خروجی ذخیره گردید. لازم به ذکر است که دو سال اول به عنوان دوره دست‌گرمی در مدل در نظر گرفته شد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

ایستگاه‌های هیدرومتری فیروزآباد و آبگرم برای واسنجی مدل انتخاب شد تا پارامترهای غالب جریان را با استفاده از swat-cup و الگوریتم sufi2 ارزیابی کند. واسنجی فرایندی است برای ارزیابی برازش بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای به دست آوردن مقادیر بهینه توابع هدف مانند کارایی نش - ساتکلیف (NSE)، ضریب تعیین (R^2)، خطای ریشه میانگین به نسبت انحراف استاندارد (RSR) و درصد اربیبی (PBIAS). برای RSR و PBIAS، بهینه‌ترین مقدار صفر است، در حالی که برای R^2 و NSE، ۱ است. مقدار R^2 از ۰ تا ۱ متغیر است. مقادیر نزدیک به ۱ بهترین نتایج را نشان می‌دهد، در حالی که بیشتر از ۰/۵ در محدوده قابل قبولی قرار دارد. پس از واسنجی، مدل برای داده‌های ماهانه از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۷ اعتبارسنجی شد.

ارزیابی کاربری زمین

از دو تصویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست ۵ (سال ۱۹۸۷) و سنجنده OLI لندست ۸ (سال ۲۰۱۹) در تاریخ‌های نزدیک به هم از نظر روز تصویربرداری در یک بازه زمانی ۳۳ ساله برای ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوضه کیوی چای استفاده شد تا اثرات اختلاف فصلی پوشش گیاهی به حداقل برسد. به منظور ارزیابی صحت و اصلاح هندسی نقشه‌های کاربری اراضی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شد. همچنین برای پردازش، طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.1، Envi 5.1 و Ecognition استفاده شد. خصوصیات تصاویر و نقشه مورد استفاده در جدول ۴ آمده است.

جدول ۲. تصاویر ماهواره‌ای و نقشه توپوگرافی مورد استفاده

نوع داده مورد استفاده	نام ماهواره	نام سنجنده	نام منطقه	تاریخ میلادی
تصویر ماهواره‌ای	لندست ۵	TM	کیوی چای	۱۹۸۷/۶/۲
نقشه توپوگرافی	لندست ۸	OLA	کیوی چای	۲۰۱۹/۶/۱۰
	-	-	استان اردبیل	۲۰۰۳

همچنین از روش مبتنی بر مدل‌های انتقال تابشی چون FLAASH به عنوان بهترین روش برای تصحیح اتمسفری استفاده شد. برای سگمنت سازی از الگوریتم Multiresolution و برای طبقه‌بندی از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی استفاده شد. همچنین با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات میدانی در بازه‌های زمانی انتخاب شده، به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی از بررسی تصاویر رنگی کاذب، خصوصیات طیفی پدیده‌ها، آرشیو Google Earth، عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی سنواتی و پژوهش‌های انجام شده استفاده شد. در نهایت هفت کلاس غالب کاربری اراضی مشتمل بر کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، باغ، جنگل، مسکونی، مرتع و آب تعیین شدند. سپس نمونه‌های تعلیمی از سطح منطقه با استفاده از بازبینی میدانی و تصاویر ماهواره Google Earth جمع‌آوری شد و برای ارزیابی صحت و دقت طبقه‌بندی بکار رفت.

در نهایت از معمول‌ترین عامل‌های برآورد دقت شامل دقت کل و ضریب کاپا برای برآورد دقت طبقه‌بندی استفاده شد. دقت کل با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$OA = \frac{1}{N} \sum p_{jj} \quad (2)$$

در این رابطه OA- دقت کلی، N- تعداد پیکسل‌های آزمایشی، جمع - عناصر قطر اصلی ماتریس خطا

جدول ۴. نتایج ارزیابی دقت تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۱۹

طبقه کاربری	دقت تولیدکننده %	دقت کاربر %	دقت کلی %	ضریب کاپا
کشاورزی دیم	۱۰۰	۹۹/۹۰	۹۱/۱	۰/۹۲
کشاورزی آبی	۱۰۰	۹۵/۲۲		
باغ	۹۹/۵۱	۱۰۰		
جنگل	۱۰۰	۱۰۰		
مسکونی	۱۰۰	۱۰۰		
مرتع	۱۰۰	۹۹/۹۸		
آب	۹۹/۳۶	۱۰۰		

انتخاب دقیق نمونه‌های آموزشی بر اساس نرم‌افزار Google Earth و آشنایی با منطقه مورد انتظار بود. به‌طور کلی، تصاویر Landsat 8 با سنسور OLI، بالاترین دقت تولیدکننده، کاربر و دقت کلی را در تمام طبقات کاربری زمین به نمایش می‌گذارد.

طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری زمین

در این پژوهش، پس از اعمال طبقه‌بندی اراضی به روش شیء‌گرا، نقشه کاربری اراضی در هفت کلاس؛ کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، باغ، جنگل، مسکونی، مرتع و آب تهیه گردید (شکل ۳). در نقشه کاربری اراضی حوضه، پوشش مرتع، طبقه غالب کاربری زمین است؛ با این حال، کاهش قابل توجه از ۱۲۲۴/۱۸ کیلومتر مربع به ۱۰۴۶/۵۹ کیلومتر مربع بین سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹ مشاهده شده است. در همین دوره مساحت کاربری کشاورزی آبی از ۱۳۷/۸۰ به ۳۸۸/۷۱ کیلومتر مربع، باغ از ۱۰/۴۸ به ۶۰/۹۷ کیلومتر مربع، جنگل از ۴۷/۳۵ به ۷۵/۴۷ کیلومتر مربع و نواحی مسکونی از ۳/۶۶ به ۳۲/۶۴ کیلومتر مربع افزایش یافته، در حالی که مساحت کشاورزی دیم از ۳۹۰/۴۰ به ۲۱۷/۰۴ کیلومتر مربع، کاربری مرتع از ۱۲۲۴/۱۸ به ۱۰۴۶/۵۹ کیلومتر مربع و آب از ۱۱/۳۲ به ۳/۷۷ کیلومتر مربع کاهش یافته است. جدول ۵ توزیع مساحت منطقه‌ای طبقات مختلف را بر حسب کیلومتر مربع ارائه می‌دهد.

ماتریس انتقال تغییر کاربری اراضی

جدول ۶۵ ماتریس‌های انتقال کاربری اراضی ۱۹۸۷ به ۲۰۱۹ را ارائه می‌دهد. در سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۹ (جدول ۶)، (۱۱/۶۲٪) ۲۱۱/۹۰ کیلومتر مربع از زمین‌های کشاورزی دیم به مرتع و (۱/۱۰٪) ۲۰/۰۱ به کشاورزی آبی تبدیل شده است. بیشترین انتقال کاربری اراضی، تبدیل کشاورزی دیم به مرتع با مقدار (۱۱/۶۲٪) ۲۱۱/۹۰ کیلومتر مربع است. قابل ذکر است که ۶۷/۳۷ کیلومتر مربع (۳/۶۹٪) از نواحی مسکونی بدون تغییر باقی‌مانده است. آب هم تا حد زیادی بدون تغییر باقی‌مانده است و فقط ۲/۳۱ کیلومتر مربع (۰/۰۷٪) به مرتع تبدیل شده است. قابل ذکر است که ۱۰۴۶/۵۹ کیلومتر مربع (۵۷/۳۸٪) از مرتع از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ تغییر کاربری داده است.

به دلیل ایرادات وارده بر دقت کل اغلب در تحقیقاتی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مدنظر است از شاخص اجرایی کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مورد توجه قرار می‌دهد. شاخص کاپا از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Kappa} = \frac{P_{00} - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad (۳)$$

که در آن P_{00} = درستی مشاهده شده، P_c = توافق مورد انتظار

تشخیص تغییرات کاربری اراضی

برای تعیین کمیت تغییرات زمانی و مکانی کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه، از یک روش شناسایی تغییر چند زمانه پس از طبقه‌بندی، استفاده شده است. یک روش خوب برای شناسایی تغییرات می‌بایست اطلاعات زیر را ارائه دهد: (الف) تغییر منطقه و میزان تغییر؛ (ب) توزیع فضایی انواع کاربری زمین تغییر یافته؛ (ج) تغییر مسیر انواع کاربری زمین و (د) ارزیابی صحت نتایج تشخیص تغییر (Haque and Basak, 2017). در این تحقیق، روش تشخیص تغییرات Thematic change dynamic در Envi برای شناسایی تغییراتی که طی سال‌ها اتفاق افتاده بود، اجرا شد. TCD به آمار تغییر متکی است که مسیر تغییر را برای هر کلاس کاربری زمین مشخص می‌کند. برای تشخیص تغییرات هر کلاس کاربری زمین به کلاس دیگر در دوره‌های داده شده، آمار تغییرات برای سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۹ محاسبه شد.

نتایج و بحث

ارزیابی دقت طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی

این بخش مقایسه نتایج صحت طبقه‌بندی را با استفاده از ماتریس خطا و آماره‌های مربوطه (صحت کلی، ضریب کاپا، دقت کاربر و تولیدکننده هر کلاس) ارائه می‌دهد. نتایج ارزیابی صحت محاسبه شده برای تصاویر طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹ در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. دقت کلی برای تصاویر ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹ به ترتیب ۸۲/۵٪ و ۹۱/۱٪ و ضرایب کاپا ۰/۹۰ و ۰/۹۲ به دست آمد. دقت طبقه‌بندی بالا به دلیل

جدول ۳. نتایج ارزیابی دقت تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۹۸۷

طبقه کاربری	دقت تولیدکننده %	دقت کاربر %	دقت کلی %	ضریب کاپا
کشاورزی دیم	۹۹/۵۱	۹۹/۵۱	۸۲/۵	۰/۹۰
کشاورزی آبی	۹۹/۸۶	۹۷/۶۴		
باغ	۹۷/۹۳	۹۸/۷۵		
جنگل	۹۶/۶۹	۹۹/۱۰		
مسکونی	۹۹/۶۹	۱۰۰		
مرتع	۹۹/۷۵	۸۷/۹۰		
آب	۹۷/۱۳	۱۰۰		

جدول ۵. توزیع مساحت کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹

کاربری اراضی	۱۹۸۷		۲۰۱۹	
	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد
کشاورزی دیم	۳۹۰/۴۰	۲۱/۳۹	۲۱۷/۰۴	۱۱/۹۰
کشاورزی آبی	۱۳۷/۸۰	۷/۵۵	۳۸۸/۷۱	۲۱/۳۱
باغ	۱۰/۴۸	۰/۵۷	۶۰/۹۷	۳/۳۴
جنگل	۴۷/۳۵	۲/۵۹	۷۵/۴۷	۴/۱۴
مسکونی	۳/۶۶	۰/۲۰	۳۲/۶۴	۱/۷۹
مرتع	۱۲۲۴/۱۸	۶۷/۰۷	۱۰۴۶/۵۹	۵۷/۳۹
آب	۱۱/۳۲	۰/۶۲	۳/۷۷	۰/۱۳
کل	۱۸۲۵/۲۱	۱۰۰	۱۸۲۵/۲۱	۱۰۰

جدول ۶. ماتریس انتقال تغییر کاربری زمین (کیلومتر مربع) از ۱۹۸۷ به ۲۰۱۹

کاربری اراضی	۲۰۱۹						
	کشاورزی دیم	کشاورزی آبی	باغ	جنگل	مسکونی	مرتع	آب
کشاورزی دیم	۱۵۰/۳۷(۸/۲۵)	۲۰/۰۱(۱/۱۰)	۰/۴۲(۰/۰۲)	۳/۰۴(۰/۱۷)	۰/۵۶(۰/۰۳)	۲۱۱/۹۰(۱۱/۶۲)	۲۳۹(۰/۱۳)
کشاورزی آبی	۴۲/۶۷(۲/۳۴)	۵۷/۸۲(۳/۱۷)	۷/۳۶(۰/۴۰)	۱۲/۵۵(۰/۶۹)	۰/۲۹(۰/۰۲)	۹۳/۷۷(۵/۱۴)	۲/۵۸(۰/۱۴)
باغ	۸/۴۸(۰/۴۶)	۱۷/۴۰(۰/۹۵)	۰/۹۲(۰/۰۵)	۲/۱۵(۰/۱۲)	۰/۰۵(۰)	۳۰/۷۰(۱/۶۸)	۱/۲۶(۰/۰۷)
جنگل	۰/۸۰(۰/۰۴)	۶/۴۴(۰/۳۵)	۰/۱۷(۰/۰۱)	۱۹/۸۴(۱/۰۹)	۰/۰۱(۰)	۴۸/۱۶(۲/۶۴)	۰/۰۵(۰)
مسکونی	۵/۶۱(۰/۳۱)	۳/۱۰(۰/۱۷)	۰/۷۶(۰/۰۴)	۰/۲۴(۰/۰۱)	۲/۲۹(۰/۱۳)	۲۰/۰۵(۱/۱۰)	۰/۵۷(۰/۰۳)
مرتع	۱۸۱/۲۲(۹/۹۴)	۳۲/۴۰(۱/۷۸)	۰/۸۱(۰/۰۴)	۹/۲۶(۰/۵۱)	۰/۴۴(۰/۰۲)	۸۱۸/۰۹(۴۴/۸۶)	۴/۳۵(۰/۲۴)
آب	۱/۲۴(۰/۰۷)	۰/۵۱(۰/۰۳)	۰/۰۲(۰)	۰/۰۴(۰)	۰(۰)	۰/۳۸(۰/۰۲)	۰/۱۲(۰/۰۱)
کل	۳۹۰/۳۹	۱۳۷/۶۹	۱۰/۴۷	۴۷/۱۳	۳/۶۵	۱۲۲۳/۰۵	۱۱/۳۲

اعداد داخل پرانتز درصد را نشان می‌دهد که به جمع کل هر کاربری زمین در سال ۱۹۸۷ اشاره دارد (ردیف‌ها)

واسنجی و اعتبارسنجی جریان رودخانه

هدف از واسنجی خروجی مدل SWAT در نرم‌افزار SWAT CUP به حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر خروجی-های شبیه‌سازی شده با آمار مشاهده‌ای ایستگاه است. یک مدل ابتدا از داده‌های ورودی اندازه‌گیری شده و یا پیش‌فرض مدل، استخراج می‌شود و سپس خروجی‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده‌ای واسنجی می‌شود. یکی از مسائلی که هنگام واسنجی این مدل‌ها پیش می‌آید عدم قطعیت در شبیه‌سازی است که به دلیل عدم قطعیت در ورودی‌های مدل، عدم قطعیت در مدل مفهومی (ساختار مدل) و عدم قطعیت در پارامترهای مدل ایجاد می‌شود. در این مدل‌ها همچنین، به دلیل تعدد پارامترهای مدل و اثر جبرانی یا تشدید پارامترها بر یکدیگر، اغلب چندین مجموعه پارامترهای کاملاً متفاوت می‌توانند به نتیجه مشابه و قابل قبول منتهی شوند (Lerat et al., 2020). برای این منظور با در دست داشتن آمار ماهانه ایستگاه‌های آبگرم و فیروزآباد در محدوده مورد مطالعاتی و انتخاب بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵ به عنوان دوره آماده‌سازی مدل یا اصطلاحاً WARM UP اقدام به واسنجی رواناب در دو

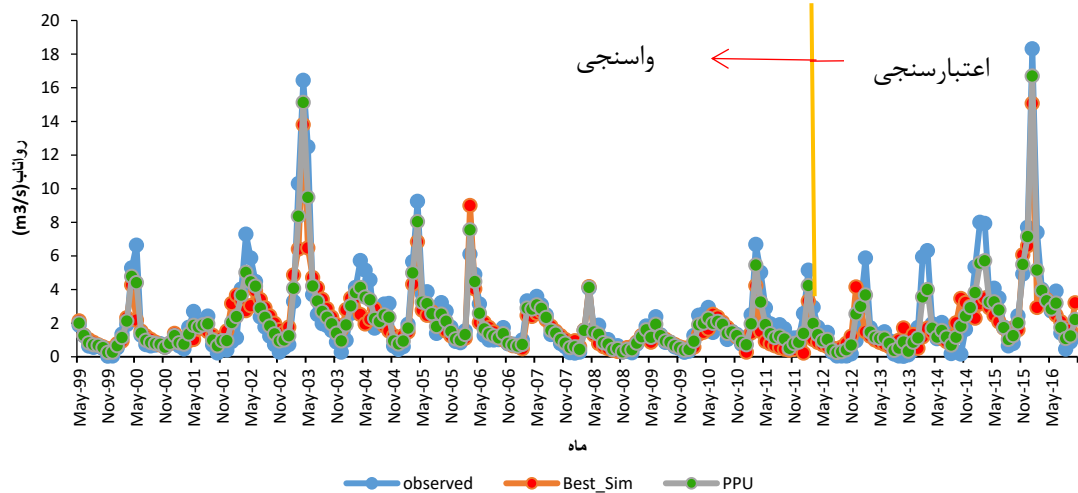
بازه زمانی (۱۹۹۹ تا ۲۰۱۰) و (۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰) گردید، فرایند واسنجی مدل با تجزیه و تحلیل حساسیت برای انتخاب پارامترهای حاکم بر رودخانه مشاهده شده دنبال شد. در مجموع ۳۲ پارامتر مؤثر برای واسنجی مدل انتخاب شدند که در جدول ۷ نشان داده شده است. سپس بعد از استخراج پارامترهای مؤثر بر رواناب اقدام به اعتبارسنجی آن در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۷ گردید و نتایج حاصله در جدول ۸ آورده شد. مقادیر بدست آمده برای شاخص‌های R-Factor, P-NS, R², Factor در دوره واسنجی به ترتیب برای ایستگاه آبگرم (۰/۶۹، ۰/۷۱، ۰/۴۷، ۰/۵۳) و برای ایستگاه فیروزآباد (۰/۶۴، ۰/۶۷، ۰/۳، ۰/۳۲) و در دوره اعتبارسنجی برای ایستگاه آبگرم به ترتیب (۰/۵۶، ۰/۶۲، ۰، ۰/۰۹) و برای ایستگاه فیروزآباد (۰/۵۱، ۰/۵۳، ۰، ۰/۱۳) است. بر این اساس نتایج به دست آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی قابل قبول ارزیابی شد. همچنین هیدروگراف و پراکندگی نقطه‌ای دیب مشاهداتی در مقابل دیب شبیه‌سازی در هر یک از بازه زمانی واسنجی و اعتبارسنجی در شکل‌های ۶ تا ۹ آورده شده است.

جدول ۷. پارامترهای حساس به رواناب رودخانه، مقادیر حداقل و حداکثر آنها

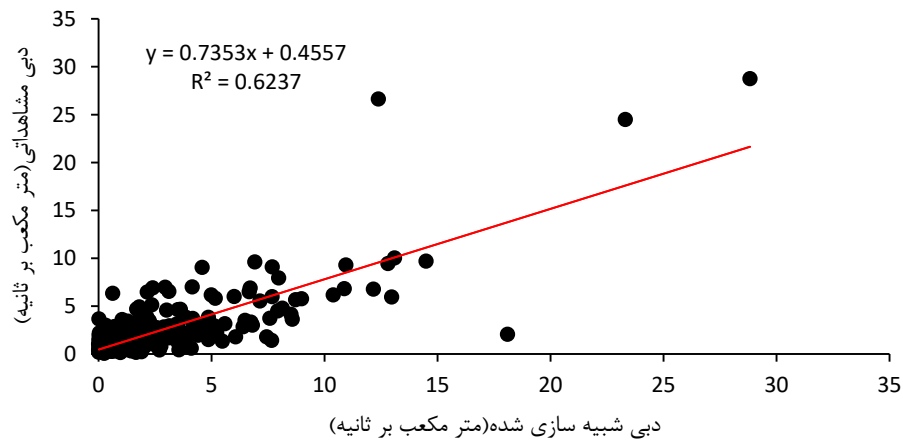
ردیف	پارامتر	معرفی پارامتر	حداقل	حداکثر
۱	Alpha_Bf	ضریب α آب زیرزمینی	۰	۱
۲	Alpha_Bnk	ضریب α آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال	۰	۱
۳	Canmx	آب نگه داشته شده توسط پوشش گیاهی یا همان برگاب (mm H2O)	۰	۱۰۰
۴	Ch_K2	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)	۰	۱۵۰
۵	Ch_N2	ضریب مانینگ برای رودخانه اصلی	۰	۱
۶	Cn2	شماره منحنی	۲۰	۹۰
۷	Esco	ضریب تبخیر خاک	۰	۱
۸	Epc0	فاکتور جبران نگهداشت گیاهی	۰	۱
۹	Gw_Delay	زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل لایه خاک به سطح آب زیرزمینی (روز)	۰	۵۰۰
۱۰	Gw_REVAP	ضریب تعیین نفوذ به آب زیرزمینی عمیق یا صعود مویبندی از سفره آب کم عمق	۰	۱.۵
۱۱	Gwqmn	حداقل عمق مورد نیاز سطح ایستایی در سفره های کم عمق برای وقوع جریان	۰	۵۰۰۰
۱۲	Gw_Spyld	ضریب تولید ویژه سفره کم عمق	۰	۰.۴
۱۳	Ov_N	ضریب مانینگ برای جریان سطحی	۰.۰۱	۳۰
۱۴	Rchrg_Dp	درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم عمق یا غیر محصور	۰	۱
۱۵	Revapmn	حداقل مقدار ذخیره آب در سفره که برای شروع تبخیر آب زیرزمینی از طریق (mm H2O) مویبندی لازم است	۰	۵۰۰
۱۶	Sftmp	(C °) متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف	-۵	۵
۱۷	Shallst	مقدار ذخیره سفره کم عمق در ابتدای شبیه سازی (mm H2O)	۰	۱۰۰۰
۱۸	Slope	HRU (m/m) شیب متوسط زمین در هر	۰	۰.۶
۱۹	Slsubbsn	HRU (M) متوسط طول شیب در هر	۱۰	۱۵۰
۲۰	Smfmn	mmH2O/°C-day نرخ ذوب برف در ۲۱ دسامبر	۰	۱۰
۲۱	Smfmx	mmH2O/°C-day نرخ ذوب برف در ۲۱ ژوئن	۰	۱۰
۲۲	Smtmp	(C °) دمای ذوب توده برف	۰	۲.۵
۲۳	Sol_AlB	ضریب آلبدوی خاک مرطوب	۰	۰.۲۵
۲۴	Sol_Awc	ظرفیت آب قابل دسترس خاک	۰	۱
۲۵	Sol_Bd	چگالی خاک در حالت مرطوب	۰.۹	۲.۵
۲۶	Sol_K	هدایت هیدرولیکی اشباع لایه های خاک (mm/hr)	۰	۲۰۰۰
۲۷	Sol_Z	عمق لایه های خاک (mm)	۰	۲۵
۲۸	Surlag	ضریب تأخیر رواناب	۱	۲۴
۲۹	Timp	فاکتور تأخیر دمای فشرده سازی برف	۰	۱
۳۰	Tlaps	نرخ تغییرات دما با ارتفاع در هر زیر حوضه (°C/km)	۰	۵۰
۳۱	CH-WDR	نسبت عرض به عمق رودخانه در هر زیر حوضه	۰	۱۰۰۰۰
۳۲	LAT-TTIME	زمان تأخیر رسیدن جریان های زیر سطحی به رودخانه در هر HRU	۰	۱۸۰

جدول ۸. نتایج حاصل از واسنجی و صحت سنجی ایستگاه های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه

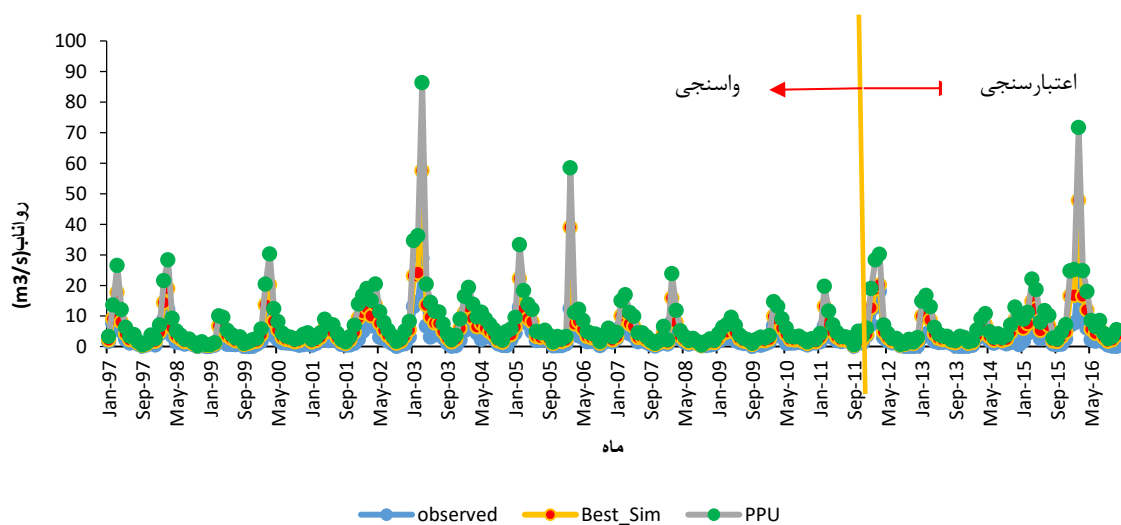
ردیف	ایستگاه	واسنجی				اعتبار سنجی			
		R2	NSE	P-FACTOR	R-FACTOR	R2	NSE	P-FACTOR	R-FACTOR
۱	آبگرم	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۶۲	۰/۵۶	۰	۰/۰۹
۲	فیروز آباد	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۳	۰/۳۲	۰/۵۳	۰/۵۱	۰	۰/۱۳



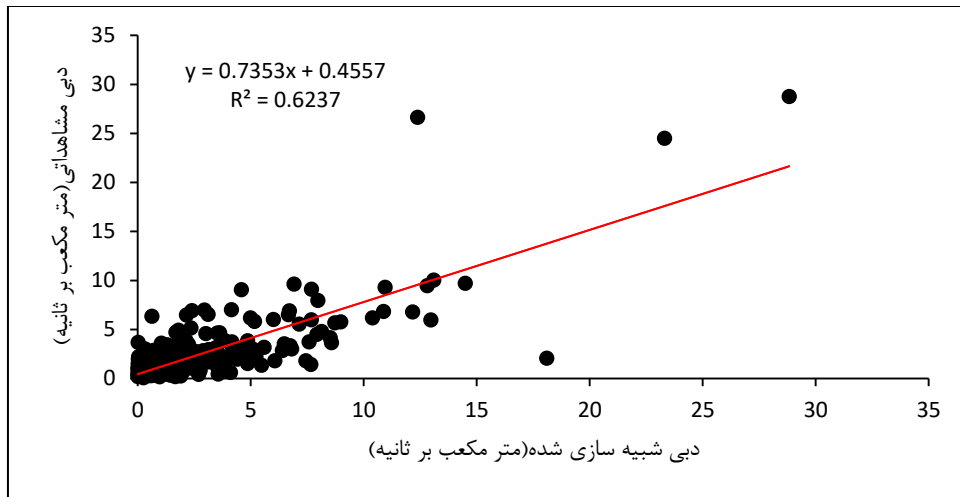
شکل ۶. مقایسه رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ماهانه در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی ایستگاه آبگرم



شکل ۷. پراکندگی نقطه‌ای دبی مشاهده‌ای در مقابل دبی شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی و اعتبارسنجی



شکل ۸. مقایسه رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ماهانه در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی ایستگاه فیروزآباد



شکل ۹. پراکندگی نقطه‌ای دبی مشاهده‌ای در مقابل دبی شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی و اعتبارسنجی

و همکاران، ۲۰۱۳) اشاره کرد که بیان داشتند تغییر کاربری اراضی در حوضه آبخیز رودخانه هویا^۴ در کره جنوبی تغییرات معنی‌داری را در تغییرات فصلی جریان رودخانه ایجاد کرده است. همچنین لاری^۵ و همکاران (۲۰۱۹) میزان تأثیر تغییر کاربری اراضی بر اجزای موازنه آب را با مدل SWAT بررسی کردند و در نتایجی مشابه نشان دادند که رشد مناطق شهری موجب افزایش مقاومت نفوذپذیری سطح خاک شده با افزایش مقدار رواناب همراه هست در مقابل جنگل‌کاری و ازدیاد حجم پوشش گیاهی موجب کاهش رواناب می‌شود. چمرآ و همکاران (۲۰۲۰) و ویسا^۶ و همکاران (۲۰۲۱) نیز در تحقیقی مشابه گزارش کردند که افزایش سطح زمین‌های زیر کشت می‌تواند عملکرد آب را تهدید کند، زیرا این نوع پوشش زمین موجب افزایش تبخیر و تعرق شده، رواناب سطحی را کاهش می‌دهد. همچنین بیان داشتند که توزیع مناسب مزارع و ترکیب مناسب پوشش جنگلی و دامنه شیب مناسب می‌تواند تأثیر مثبتی بر عملکرد کل آب حوضه داشته باشد. همچنین در تحقیقات ضیایی و همکاران (۱۴۰۰)، ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۶) و قدوسی و همکاران (۱۳۹۳) به کاهش رواناب خروجی در تغییرات کاربری اراضی با روند منفی اشاره شده است.

تأثیر تغییر کاربری اراضی روی جریان رودخانه

شکل ۴-۳۳ متوسط رواناب ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای دو ایستگاه هیدرومتری موجود در حوضه کیوی چای و جدول ۴-۱۹ مقدار رواناب ماهانه و درصد تغییرات آن را برای کاربری‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹ در حوضه آبریز نشان می‌دهد. باتوجه به شکل مذکور و جدول ۴-۱۹ ملاحظه می‌شود که تغییر در کاربری اراضی باعث تغییر در میزان رواناب در خروجی حوضه شده است. با تغییر کاربری اراضی به سال ۲۰۱۹، میانگین جریان ماهانه در ایستگاه فیروزآباد و آبگرم در ماه‌های (ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر) کاهش و در ماه‌های (آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، آگوست، سپتامبر، اکتبر) افزایش یافته است. با این وجود در مقیاس سالانه میزان جریان در ایستگاه فیروزآباد از ۳/۰۸ به ۲/۸۱ مترمکعب بر ثانیه (۸/۷۷- درصد) و در ایستگاه آبگرم از ۱/۱۱ به ۰/۹۶ مترمکعب بر ثانیه (۱۳/۵۱-) کاهش یافته است. باتوجه به اینکه در این مرحله از اجرای مدل تمام ورودی‌های مدل به جز کاربری اراضی ثابت در نظر گرفته شده است می‌توان این کاهش رواناب را ناشی از تغییرات کاربری اراضی بخصوص تغییر در کاربری مراتع و تبدیل آن به زراعت دیم و باغات و جنگل‌ها دانست. در رابطه با این تحقیق می‌توان به مطالعات مشابه (کیم^۳

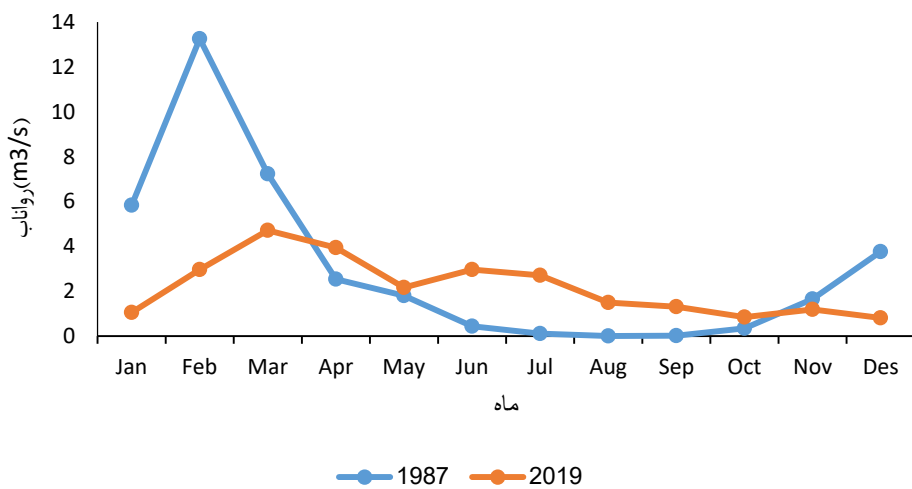
جدول ۹. مقادیر متوسط رواناب شبیه‌سازی شده برای کاربری‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹ و تغییرات نسبی آن

ماه	متوسط رواناب ماهانه برای کاربری ۱۹۸۷		متوسط رواناب ماهانه برای کاربری ۲۰۱۹		درصد تغییرات
	ایستگاه فیروزآباد	ایستگاه آبگرم	ایستگاه فیروزآباد	ایستگاه آبگرم	
ژانویه	۵/۸۳	۱/۷۴	۱/۰۵	۰/۶۳	-۶۳/۷۹
فوریه	۱۳/۲۵	۴/۳۰	۲/۹۷	۰/۸۵	-۸۰/۲۳
مارس	۷/۲۳	۲/۵۴	۴/۷۱	۱/۸۹	-۲۵/۵۹
آوریل	۲/۵۴	۱/۰۸	۳/۹۴	۱/۴۵	۳۴/۲۶
می	۱/۸۰	۱/۰۵	۲/۱۷	۱/۲۳	۱۷/۱۴
ژوئن	۰/۴۴	۰/۳۶	۲/۹۶	۱/۳۰	۲۶۱/۱۱

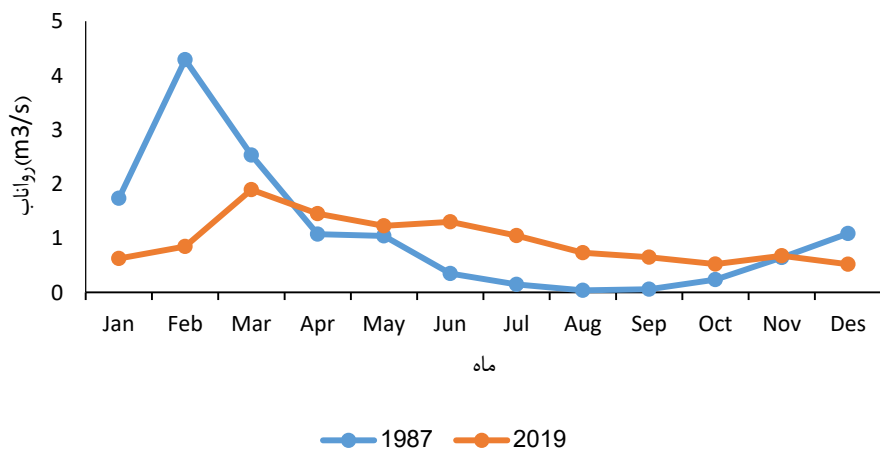
جدول ۹. مقادیر متوسط رواناب شبیه‌سازی شده برای کاربری‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۱۹ و تغییرات نسبی آن

ماه	متوسط رواناب ماهانه برای کاربری ۱۹۸۷		متوسط رواناب ماهانه برای کاربری ۲۰۱۹		درصد تغییرات
	ایستگاه فیروزآباد	ایستگاه آبگرم	ایستگاه فیروزآباد	ایستگاه آبگرم	
جولای	۰/۱۱	۰/۱۶	۲/۷۱	۱/۰۵	۵۵۶/۲۵
اوت	۰/۰۱	۰/۰۵	۱/۵۰	۰/۷۳	۱۳۶۰
سپتامبر	۰/۰۲	۰/۰۷	۱/۳۱	۰/۶۵	۸۲۸/۵۷
اکتبر	۰/۳۵	۰/۲۴	۰/۸۵	۰/۵۲	۱۱۶/۶۷
نوامبر	۱/۶۶	۰/۶۵	۱/۱۹	۰/۶۸	۴/۶۲
دسامبر	۳/۷۷	۱/۰۹	۰/۸۱	۰/۵۲	-۵۲/۳۹
سالانه	۳/۰۸	۱/۱۱	۲/۸۱	۰/۹۶	-۱۳/۵۱

فیروزآباد



آبگرم



شکل ۸. مقایسه متوسط رواناب ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی ایستگاه‌های هیدرومتری فیروزآباد و آبگرم

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی رواناب حوضه دارد همچنین مدل اجرا شده برای کاربری‌های مختلف زمین نشان داد که جریان حوضه در هر دو ایستگاه هیدرومتری با تغییر کاربری راضی در اکثر ماه‌ها در کوتاه مدت افزایش و در میانگین درازمدت کاهش می‌یابد. این امر را می‌توان ناشی از تغییرات کاربری اراضی بخصوص تغییر در کاربری مراتع و تبدیل آن به زراعت دیم و باغات و جنگل‌ها دانست. تداوم تغییر کاربری زمین در حال تبدیل شدن به یک تهدید جدی برای حوضه‌های آبریز است. تغییر کاربری اراضی باید در حوضه‌های آبریز کنترل شود و اقداماتی برای تثبیت تغییر کاربری زمین انجام شود. این مطالعه فقط جریان را شبیه‌سازی می‌کند، اما درک دینامیک رسوب در پاسخ به تغییر کاربری زمین و در نتیجه تأثیر آن بر مدیریت و بهره‌برداری حوضه برای مطالعات آینده مفید است. مقادیر پارامتر برای مدل کالیبره شده را می‌توان برای یک حوضه همگن پس از بررسی اعتبار این مقادیر برای حوضه جدید استفاده کرد. در نهایت، آموزش جامعه در مورد تأثیر شیوه‌های استفاده غیرقابل برنامه‌ریزی از زمین بر محیط‌زیست، منابع طبیعی و اکوسیستم از اهمیت بسیار بالایی برای پایداری آینده حوضه آب برخوردار است.

در این گزارش، داده‌های ماهواره‌ای با یک مدل هیدرولوژیکی برای ارزیابی اثرات تغییر کاربری زمین بر هیدرولوژی حوضه آبریز کیوی جای ادغام شد. استفاده از GIS و داده‌های سنجش‌ازدور برای شناسایی و تجزیه و تحلیل پویایی مکانی - زمانی کاربری زمین مفید است. پیشرفت قدرت محاسباتی و در دسترس بودن داده‌های مکانی و زمانی، مدل‌های منطقی آبی را به ابزارهای جذابی برای بررسی و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های حوضه‌ها و نحوه عملکرد فرایند هیدرولوژیکی حوضه تحت دینامیک کاربری متفاوت تبدیل کرده است. به‌ویژه در این مطالعه، مدل‌سازی هیدرولوژیکی ابزاری مفید برای بررسی برهم‌کنش‌های بین اجزای حوضه و تحلیل پاسخ هیدرولوژیکی به کاربری اراضی در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف است. بر اساس پژوهش صورت‌گرفته، نتایج زیر حاصل شد:

روند تغییرات کاربری اراضی حوضه بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ در کاربری‌های کشاورزی دیم، مرتع و آب با روند کاهشی و در کاربری‌های کشاورزی آبی، باغ، جنگل و مسکونی با روند افزایشی همراه بوده است. بالا بودن مقدار برازش معیارهای بکار رفته در ارزیابی مدل بیانگر این است که مدل قابلیت خوبی در

Reference:

- Agarwal, C., Green, GM, Grove, J M, Evans, T P and Schweik, CM. (2000): A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice. US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station General Technical Report NE-297.
- Arnold, JG, Srinivasan, R, Muttiah, RS and Allen, PM. (1999): Continental scale simulation of the hydrologic balance. J. Am. Water Resource Association, 1037-1051.
- Bhatta B., Shrestha S., Shrestha PK., and Talchabhadel R. 2020. Modelling the impact of past and future climate scenarios on streamflow in a highly mountainous watershed: A case study in the West Seti River Basin, Nepal. Science of the Total Environment. Elsevier B.V 740: 140156. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140156>. doi: 10.22034/hyd.2021.44819.1578
- Chemura, A., Rwasoka, D., Mutanga, O., Dube, T., & Mushore, T. (2020). The impact of land-use/land cover changes on water balance of the heterogeneous Buzi sub-catchment, Zimbabwe. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100292.
- Getachew H.E., and Melesse A.M. 2012. The Impact of Land Use Change on the Hydrology of the Angereb Watershed, Ethiopia. M. Melesse: The Impact of Land Use Change (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>)
- Kim, J., J. Choi, C. Choi, and S. Park. 2013. Impacts of changes in climate and land use/land cover under IPCC RCP scenarios on streamflow in the Hoeya River Basin, Korea. *Sci. Total Environ.* 2: 185-195
- Haleem, K., Khan, A. U., Ahmad, S., Khan, M., Khan, F. A., Khan, W., & Khan, J. (2021). Hydrological impacts of climate and land-use change on flow regime variations in upper Indus basin. In *Journal of Water and Climate Change* (Vol. 13, Issue 2, pp. 758-770). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.238>
- Haque M I, Basak R. 2017. Land cover change detection using GIS and remote sensing techniques: A spatio-temporal study on Tanguar Haor, Sunamganj, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 20 (2017) 251-263
- Larbi, I., Obuobie, E., Verhoef, A., Julich, S., Feger, K. H., Bossa, A. Y., & Macdonald, D. (2020). Water balance components estimation under scenarios of land cover change in the Veia catchment, West Africa. *Hydrological Sciences Journal*, 65(13), 2196-2209.
- Lerat, J.; Thyer, M.; McInerney, D.; Kavetski, D.; Woldemeskel, F.; Pickett-Heaps, C.; Shin, D.; Feikema, P. A robust approach for calibrating a daily rainfall-runoff model to monthly streamflow data. *J. Hydrol.* 2020, 591, 125129. [CrossRef]

- Maddi, Agil; Kind, Behnam; Ismali, Abazar. (2012). Landslide risk assessment and its zoning using LIM model and GIS technique in Givi Chai watershed, Ardabil. *Scientific Journal of Geography and Planning* 17(43), 307-326.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., and Williams, J. R. 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009: Texas Water Resources institute.
- Rajabi M , Feyzolahpour M . 2014. Zoning the Landslides of Givichay River Basin by Using Multi Layer Perceptron Model. *Geography And Development Iranian Journal*, 12(36), 161-180. doi: 10.22111/gdij.17160(In Persian).
- Rashtbari, M., & TALEAI, M. (2020). Prediction of Land Use Change and its Hydrological Effects Using Markov Chain Model and SWAT Model. *ENGINEERING JOURNAL OF GEOSPATIAL INFORMATION TECHNOLOGY*, 7(4), 41-59. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=746055>. [in Persian]
- Rezaei Moghaddam, M., Mokhtari, D., Samandar, N. (2022). Detection of the effect of land use change trends on discharge and sediment Simulated with SWAT model in Ojan Chay watershed. *Hydrogeomorphology*, 9(30), 24-1. doi: 10.22034/hyd.2021.42595.1557. [in Persian]
- Woyessa, Y. E., & Welderufael, W. A. (2021). Impact of land-use change on catchment water balance: a case study in the central region of South Africa. *Geoscience Letters*, 8(1), 1-10.
- Zeiaei, K., esmali, A., Mostafazadeh, R., Golshan, M. (2021). Assessing the effects of various land use change scenarios on runoff using SWAT model in the Ahl Iman watershed. *Hydrogeomorphology*, 8(27), 138-123.

یادداشت‌ها

¹Agarwal

²Soil and Water Assesment Tool

³Kim

⁴Hoeya

⁵Larbi

⁶Chemura

⁷Woyessa