Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.14, Issue 44, June 2025

Analyzing the Threats of Climate Change and Land Use Changes on Increasing Flood Risk in the Shahrchay Drainage Basin

Tayebeh Irani[1], Hirad Abghari[2*], Ali Akbar Rasouli[3]

1. PhD graduate, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
2. *Corresponding Author*, Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
3. Professor Department Faculty of Science and Engineering, Macquarie University, Sydney, NSW, Australia.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 13 June 2024
Revised: 10 August 2024
Accepted: 23 September 2024

Keywords:
InVEST Model, Basic Knowledge Processing, Prediction, Markov Model, LARS- WG Model.

ABSTRACT

This study investigated the factors influencing flood proneness and predicted future flood risks in the Shahrchay watershed, located in West Azerbaijan Province, a sub-basin of the Urmia Lake watershed. Given population growth, social and economic development, and climatic changes due to global warming, flood damage in this region is increasing. This study aimed to identify the main factors affecting flood risk and predict the likelihood of future floods. To achieve the stated goal, first, for monitoring and evaluating land use changes in the last seven years, Sentinel2 images were used using an object-oriented method and image classification from the SVM algorithm, and for simulating future land use changes, the CA-MARKOV algorithm was used. Finally, runoff simulation using the InVEST model was introduced to the InVEST software from the variables of precipitation (for precipitation simulation, LARS-WG software, the CMIP6 climate model named ACCESS-CM2, and two scenarios SSP2-4.5 and SSP5-8.5), land use, hydrological soil group, and curve number related to the study watershed. The final results show that for 2016, 2023, and 2030, the southern side of the Shahrchay watershed has a very low flood potential. In the central part of the watershed, the potential for runoff production was medium and high. According to the prediction results for 2030, the maximum and minimum runoff production potentials were estimated with numerical values of 129.57 and 0 cubic meters, respectively. Therefore, runoff will increase in most parts of the Shahrchay watershed.

Cite this article: Irani, T. , Abghari, H. and Rasouli, A. A. (2025). Analyzing the Threats of Climate Change and Land Use Changes on Increasing Flood Risk in the Shahrchay Drainage Basin. Journal of Natural Environmental Hazards, 14(44). 105-126. DOI: 10.22111/jneh.2024.49039.2053

© Hirad Abghari
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.49039.2053

* Corresponding Author Email: h.abghari@urmia.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۴، تیر ۱۴۰۴

تحلیل تهدیدات تغییر اقلیم و تغییرکاربری اراضی بر افزایش ریسک سیلاب حوضه آبخیز شهرچای

طیبه ایرانی[۱]، هیراد عبقری[۲*]، علی اکبر رسولی[۳]

۱. فارغ التحصیل دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران
۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران (نویسنده مسئول)
۳. استاد گروه علوم محیطی، دانشگاه مک کواری، سیدنی، استرالیا

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰
تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۷/۰۲

واژه‌های کلیدی:
مدل InVEST، پردازش دانش پایه، پیش‌بینی ، مدل مارکوف، مدل LARS- WG.

چکیده

این پژوهش به بررسی عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی و پیش‌بینی ریسک سیلاب‌های آینده حوضه آبخیز شهرچای واقع در استان آذربایجان غربی یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداخته است. با توجه به رشد جمعیت، توسعه اجتماعی و اقتصادی و تغییرات آب‌وهوایی ناشی از گرمایش جهانی، خسارت‌های ناشی از سیلاب در این منطقه در حال افزایش است. هدف از این پژوهش، شناسایی عوامل اصلی موثر بر خطر سیل و پیش‌بینی احتمال وقوع سیلاب در آینده است. جهت دست‌یابی به هدف مطرح‌شده، نخست جهت پایش و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی ۷سال اخیر با استفاده از تصاویر Sentinel2 به روش شیءگرا و طبقه‌بندی تصاویر از الگوریتم SVM و جهت شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در آینده از الگورتیم CA-MARKOV استفاده شد. درنهایت شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل InVEST از متغیرهای بارش (جهت شبیه‌سازی بارش از نرم-افزار LARS- WG)، از مدل اقلیمی CMIP6 با نام ACCESS-CM2 و با استفاده از دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده شده است. کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک و شماره منحنی مربوط به حوضه آبخیز مورد مطالعه تهیه و به نرم‌افزار InVEST معرفی شد. نتایج نهایی نشان می‌دهد برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۳ و ۲۰۳۰ در ضلع جنوبی حوضه آبخیز شهرچای، پتانسیل خیلی کم و کم برخوردار است. این درحالی است که در قسمت مرکزی حوضه آبخیز پتانسیل تولید رواناب متوسط و بالا می‌باشد. طبق نتایج پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۰، پتانسیل تولید رواناب حداکثر و حداقل مقادیر رواناب با مقدار عددی ۱۲۹/۵۷ و ۰ مترمکعب برآورد شد. بنابراین، در اکثر بخش‌های حوضه آبخیز شهرچای رواناب افزایش خواهد یافت.

استناد: ایرانی، طیبه ، عبقری، هیراد و رسولی، علی اکبر . (۱۴۰۴). تحلیل تهدیدات تغییر اقلیم و تغییرکاربری اراضی بر افزایش ریسک سیلاب حوضه آبخیز شهرچای. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۴۴)، ۱۲۶-۱۰۵. DOI: 10.22111/jneh.2024.49039.2053

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© طیبه ایرانی، هیراد عبقری*، علی اکبر رسولی.

*- هیراد عبقری (نویسنده مسئول)
Email: h.abghari@urmia.ac.ir

مقدمه

تغییرات کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی دو عامل بسیار مهم تأثیرگذار بر محیط‌زیست و مخاطرات محیطی یک منطقه می‌باشند (کالانسا[1]، ۲۰۰۸). آگاهی از تغییرات کاربری زمین برای برنامه‌ریزی در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای حائز اهمیت است. پیش‌بینی این تغییرات می‌تواند در شناسایی فرآیندهای آتی زمین مفید باشد (آرمینتیراس[2] و همکاران، ۲۰۱۹)، برای شناخت الگوهای کاربری زمین و مکانیزم‌های پیچیده، مدل‌ها و تحلیل حالت‌های ممکن ابزار توانا هستند. برخی از این مدل‌های شبیه‌سازی می‌توانند در تصمیم‌گیری درباره شبیه‌سازی حالت‌های آینده کمک کنند. مدل‌های اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف ازجمله این مدل‌ها هستند (سامی و همکاران [3]، ۲۰۱۷). بنابراین شناخت اثرات این تغییرات بر هیدرولوژی به‌ویژه در مقیاس منطقه‌ای و محلی به‌منظور شناخت و درک تغییرات بالقوه منابع آب، کنش‌ها و حوادث مربوط به آب و ارائه پشتیبانی برای مدیریت آب منطقه‌ای بسیار حائز اهمیت است (چین[4] و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، شناخت و ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز اهمیت زیادی برای پیش‌بینی سیلاب و کاهش خطر دارد و برای برنامه‌ریزی، مدیریت و توسعه پایدار حیاتی است. تغییر کاربری زمین می‌تواند با افزایش ارتفاع در حوضه‌های آبخیز، افزایش ظرفیت سیلابی رودخانه‌ها و ارتفاع آب، بر حجم رواناب در رودخانه‌ها تأثیر بگذارد (میو و همکاران، ۲۰۱۷). وقوع رخدادهای حدی و الگوهای بارندگی نامنظم اغلب منجر به سیلاب‌های ناگهانی و محلی می‌شوند (مروزیک و پرزیبیلا[5]، ۲۰۱۳). سیل یکی از فاجعه‌های طبیعی که ناشی از شدت بارش‌های بالا است و باعث افزایش سریع جریان رودخانه و سیلاب می‌شود، هرچند سیل به عوامل زیادی بستگی دارد که مهم‌ترین عامل نتیجه رخداد بارش‌های سنگین و بسیار سنگین پیوسته بوده است. افزایش رخداد بارش سنگین در آینده منجر به افزایش خطر سیل شده و دسترسی به منابع آب را با مشکل مواجه می‌کند (زرین و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین مدل‌سازی و پیش‌بینی متغیّرهای هواشناسی ازجمله بارش اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی محیطی دارد (عاقلپور و نادی،۱۳۹۷). یکی از کاربردهای مهم مدل‌های اقلیمی پیش‌نگری تغییرات متغیرهای اقلیمی در آینده است. آگاهی داشتن از روند تغییرات این متغیرها در آینده کمک می‌کند که از نظر سازگاری و کاهش اثرات آنها اقدامات لازم انجام شود. بنابراین مهم است که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بتوانند در تدوین سیاست‌های کلان و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و میان‌مدت از نتایج این پیش‌نگری‌ها استفاده کنند. مدل‌های بسیاری برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی وجود دارد که ازجمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل‌هایCMIP اشاره کرد که یکی از جدیدترین مدل‌های آن سری ششم یا CMIP6 است (سرابی و همکاران، ۲۰۲۰). طی چند سال گذشته کشور ایران به‌صورت مستمر مخاطره سیل را در مناطق مختلف تجربه کرده است. مهم‌ترین عوامل وقوع آن را می‌توان تغییر الگوهای استفاده از اراضی، تخریب جنگل‌ها، سیستم ناکارآمد مدیریت سدها و رودخانه‌ها برشمرد (پناهی و همکاران، ۱۴۰۲). به‌صورت نمونه وقوع سیلاب در استان اذربایجان‌غربی به‌صورت سالیانه اتفاق افتاده است که در ادامه به چند مورد اشاره می شود: سیل فروردین‌ماه سال ۱۳۹۶ که آسیب جدی به زیرساخت های ۹۳ روستا وارد کرد، باعث کشته شدن چندین نفر و وارد آمدن خسارت مالی بالغ بر ۲۵۰

1 -Calanca
2 -Armenteras
3. Samie et al
4 - Chen
5 - Mrozik and Przybyła

میلیارد ریال شد. بر این اساس، مدل‌سازی رواناب در مناطق مختلف حائز اهمیت است که با استفاده از روش‌های از جمله استفاده از نرم‌افزار InVEST، مورد توجه محققان قرار گرفته است. ابزار مدل‌سازی InVEST برای اطلاع‌رسانی تصمیمات دربارهٔ مدیریت منابع طبیعی طراحی شده است و اطلاعاتی در مورد چگونگی تغییرات در اکوسیستم‌ها که احتمالا منجر به تغییر در منافع انسان‌ها می‌شود، ارائه می‌کند (زرندیان[1] و همکاران، ۲۰۲۳). مجموعه‌ای نرم‌افزاری از مدل‌ها با منبع باز است که توسط دانشگاه WWF[2] و Stanford و Nature Conservancy توسعه یافته و برای ارزشیابی خدمات و نقشه‌سازی ارائه‌شده توسط اکوسیستم خشکی و آبی به‌کار می‌رود (حقدادی و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین با تجزیه‌وتحلیل نتایج حاصل از مدل InVEST می‌توان اطلاعاتی در مورد تغییر کاربری زمین و سایر اهداف استفاده از زمین را ارزیابی نمود. مدل InVEST می‌تواند نگهداشت آب یعنی مقدار رواناب باقی‌مانده در هر پیکسل در مقایسه با حجم سیل را محاسبه کند. بنابر اهمیت این موضوع، در این پژوهش از نرم‌افزار InVEST برای بررسی سیل (حقدادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ زرندیان و همکاران، ۱۳۹۶) استفاده گردید. بنابر اهمیت روزافزون نگهداشت آب و رواناب از گذشته تا به امروز و فشار زیادی که در اثر تغییرات کاربری اراضی، افزایش جمعیت و تصمیمات مدیریتی بر منابع آب وارد می‌شود، (حقدادی و همکاران، ۱۳۹۷). پژوهش‌های مختلف داخلی و خارجی در زمینه ارزیابی تاثیر تغییرات کاربری زمین و اقلیم بر خطر سیلاب و خدمات اکوسیستم آب از روش‌ها و داده‌های متنوعی استفاده کرده‌اند. این مطالعات عموماً از مدل‌های تغییرات زمین، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و داده‌های ماهواره‌ای بهره برده‌اند. درحالی‌که مطالعات خارجی بیشتر بر ترکیب مدل‌های پیشرفته و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری سیل تمرکز داشته‌اند، مطالعات داخلی نیز با استفاده از نرم‌افزارها و مدل‌های مختلف به بررسی تغییرات مورفولوژیک و تولید آب پرداخته‌اند. هدف از این مطالعه شناسایی و پیش‌بینی مناطق مستعد سیلاب در سطح حوضه‌آبخیز شهرچای و نقش تغییر کاربری‌های اراضی در حفظ بارش و رواناب ایجادشده در سطح منطقه مورد مطالعه است. در طی سالیان متمادی محققان مختلف در ارتباط با این پژوهش، تا به حال در سراسر دنیا پژوهش‌های متفاوتی انجام داده‌اند. این پژوهش در استفاده از ترکیب چندین مدل و روش پیشرفته برای ارزیابی و پیش‌بینی خطر سیلاب در حوضه آبخیز شهرچای نهفته است. این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 و الگوریتم SVM به روش شیءگرا، تغییرات کاربری اراضی در سال‌های اخیر را با دقت بالا مورد بررسی قرار داده و با استفاده از الگوریتم CA-MARKOV، تغییرات آینده شبیه‌سازی شد. علاوه بر این، شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل InVEST و متغیرهای اقلیمی دقیق از مدل CMIP6 و سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 انجام شده است. این ترکیب نوآورانه از مدل‌ها و داده‌ها، دقت و قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌ها را افزایش داده و امکان شناسایی دقیق مناطق مستعد سیلاب و ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر حفظ رواناب و مدیریت بهتر منابع آب را فراهم می‌سازد. نتایج این پژوهش در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی شهری می‌تواند استفاده شود. با شناسایی دقیق مناطق مستعد سیلاب و ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر حفظ رواناب، مدیران و تصمیم‌گیران می‌توانند استراتژی‌های مؤثری برای کاهش خطر سیلاب و مدیریت بهتر منابع آب تدوین کنند. این اطلاعات می‌تواند در طراحی زیرساخت‌های مقاوم در برابر سیلاب، بهبود سیستم‌های زهکشی و توسعه برنامه‌های جامع مدیریت سیلاب

1 - Zarandian
2- World Wide Fund for Nature (WWF)

کمک کند (کواگلیولو[1] و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر این، این پژوهش می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مرتبط با توسعه پایدار و استفاده بهینه از زمین‌های شهری و روستایی در منطقه کمک کند، به‌طوری‌که تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی و شهرنشینی بر خطر سیلاب به حداقل برسد. در جدول (۱) به چند نمونه بارز در خارج از کشور و ایران اشاره می‌گردد.

جدول ۱: نمای کلی پیشینه پژوهش

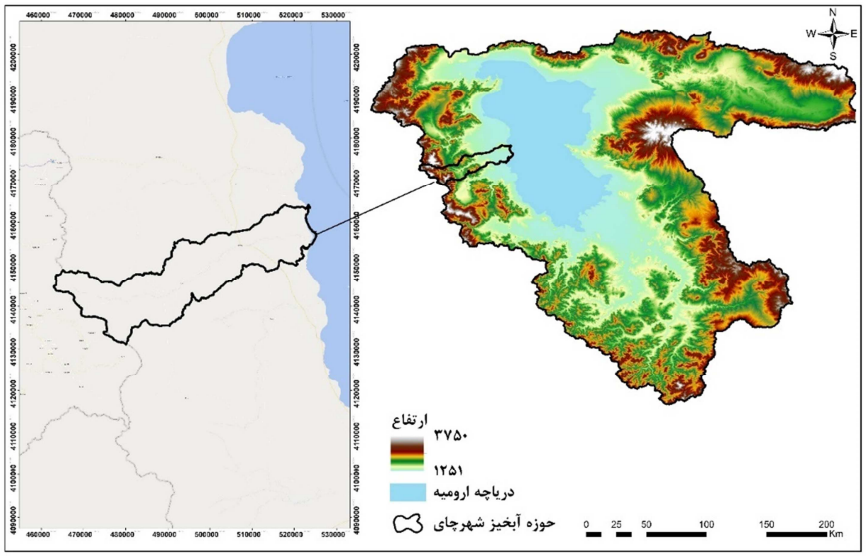
پژوهشگر	سال	شرح پژوهش
مطالعات خارج از کشور		
رشیدیان و همکاران	۲۰۲۴	مطالعه‌ای در حوضه آبخیز تالار، ایران، تغییرات کاربری و پوشش زمین را با استفاده از مدل تغییرات زمین پیش-بینی کرده و سپس تاثیر این تغییرات بر آسیب‌پذیری سیل را با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین بررسی کرده است. الگوریتم‌های مورد استفاده شامل شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون لجستیک، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان هستند. نتایج نشان داد که این الگوریتم‌ها قادر به تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری سیل در منطقه مطالعه هستند. این یافته‌ها می‌توانند در شهرها و حوضه‌های آبخیزی که با تغییرات کاربری و پوشش زمین و احتمال سیل روبرو هستند، مورد استفاده قرار گیرند.
هو و همکاران[2]	۲۰۲۴	مطالعه‌ای با استفاده از مدل‌های CA- Markov و FloodMap، تغییرات کاربری زمین و ریسک سیل در شهر چونگ‌کینگ را بررسی کرد. تا سال ۲۰۳۰، مناطق ساخت‌وساز و عمق غرقابی متوسط و بالا افزایش می‌یابد.
کوسی و همکاران[3]	۲۰۲۳	اثر کاربری زمین و تغییرات اقلیم بر خدمات اکوسیستم آب در یک حوضهٔ آبخیز در مراکش را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد تغییرات اقلیم بر عملکرد آب اثر بیشتری دارد.
وانگ و همکاران[4]	۲۰۲۲	تغییرات تولید آب در پاسخ به شهرنشینی را در یک منطقهٔ شهری در چین ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که بین شهرنشینی و عملکرد آب رابطهٔ مستقیم وجود دارد.
لی و همکاران[5]	۲۰۲۱	تأثیر تغییرات اقلیمی و کاربری زمین بر عملکرد آب در حوضهٔ رودخانهٔ زرد را مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد تغییرات کاربری اراضی منجر به افزایش این خدمت شده است.
آویلا-گارسیا و همکاران[6]	۲۰۲۰	تأثیر سیاست‌های جایگزین استفاده از زمین بر خدمات اکوسیستم آب در یک حوضهٔ آبخیز در مراکش را بررسی کردند.
تحقیقات داخل کشور		
مددی و همکاران	۱۴۰۳	مطالعه‌ای با استفاده از نرم‌افزارهایArcGIS 10.4.1 ، Envi 5.3 وIdrisiTerrSet و تصاویر ماهواره‌ای لندست، تغییرات مورفولوژیک رودخانه سفیدرود در مناطق ساحلی شمال کشور را پیش‌بینی کرد. با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، تغییرات محتمل در محیط رودخانه تا سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شد.
محمدیاری و همکاران	۱۴۰۲	عملکرد آب در کلانشهر کرج را مدل‌سازی و به اثر شهرنشینی بر عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب اشاره کردند.
توکلی و محمدیاری	۱۴۰۱	تولید آب در حوضه آبخیز سد ایلام را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد بین عرضه و تقاضای آب تعادل وجود دارد.
نیکوی و همکاران	۱۴۰۰	نقش خدمت تولید آب در تأمین منابع آب در دریاچهٔ ارومیه را بررسی و بیان کردند. این اکوسیستم سهم مهمی در تأمین منابع آب دارد.
شفیع زاده و زارع چاهوکی	۱۳۹۹	پژوهشی در حوضه آبخیز طالقان میانی انجام دادند. بر اساس نتایج، پوشش گیاهی نقش مهمی در تولید آب دارد

1. Quagliolo
2. Hou et al
3. Kusi et al
4. Wang et al
5. Li et al
6. Ávila-García et al

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

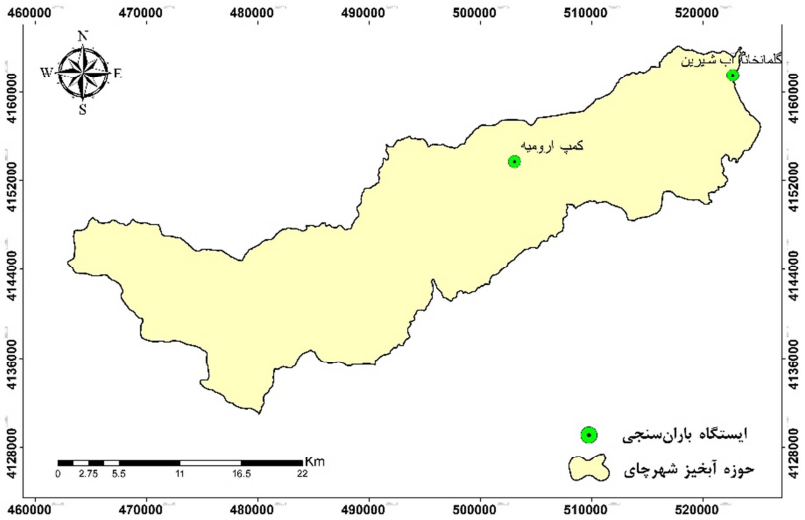
حوضه آبخیز شهرچای، در استان آذربایجان غربی واقع شده است. در مختصات جغرافیایی '۳۷°۱۹ تا '۳۷°۳۳ عرض شمالی و '۴۴°۳۵ تا '۴۵°۰۱ طول شرقی قرار دارد. این حوضه با وسعتی برابر با ۷۱۱ کیلومتر مربع، یکی از حوضه-های مستقل آبریز دریاچه ارومیه است. رودخانه شهرچای که در جنوب و جنوب غرب مرکز شهرستان ارومیه جریان دارد، از کوه‌های زرینه با ارتفاع ۳۱۰۰ متر، کمال با ارتفاع ۳۳۸۶ متر و زرینابوتان با ارتفاع ۳۳۶۹ متر سرچشمه می‌گیرد. این کوه‌ها در حدود ۴۴ کیلومتری جنوب غربی شهرستان ارومیه واقع شده اند. رودخانه شهرچای، پس از عبور از آبادی‌های متعددی ازجمله برده‌سور، سیلوانه، میرآباد، ملوری، جرمی، نوشان علیا و سفلی، پیرهادی، بند، بزوه، شهر ارومیه، آغچه قلعه، قره حسنلو، پشت گل، هسپستا، کشتیبان و قشلاق میرزا علی، در نهایت به دریاچه ارومیه می‌ریزد. این رودخانه به‌عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده آب شرب شهر ارومیه و حومه، آب کشاورزی مورد نیاز اراضی تحت پوشش و آب سد مخزنی شهرچای، بسیار مهم است. همچنین، با توجه به اینکه یکی از ورودی‌های مهم دریاچه ارومیه است، اهمیت بسیار زیادی دارد (صمدی، ۱۴۰۳). موقعیت محدوده مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱:موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز شهرچای- دریاچه ارومیه

مدل اقلیمی و سناریوهای پیش‌بینی بارش

بارش توسط سناریوهای اقلیمی پیش‌بینی می‌شود. ایستگاه‌های باران‌سنجی مورداستفاده، داخل حوضه آبخیز شهرچای در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲: نقشه ایستگاه باران‌سنجی حوضه آبخیز شهرچای

مجموعه مدل‌های برونداد اقلیمی، با هماهنگی بین سازمان‌های مختلف، برای استانداردسازی طراحی توزیع مدل‌های شبیه‌سازی‌شده و مدل‌های گردش عمومی جو استفاده می‌شود. در این پژوهش، از مدل اقلیمی CMIP6 با نام ACCESS-CM2 و با استفاده از دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده شده است. اطلاعات مربوط به این مدل از پایگاه داده‌ای به نام Climate4impact دریافت شده است. به‌منظور شبیه‌سازی بارش، از ایستگاه‌های نام برده بارن‌سنجی، استفاده گردید. آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی از سال ۱۳۴۵ تا سال ۱۴۰۰ برای پیش‌بینی بارش با استفاده از سناریوهای اقلیمی با مشخصات جدول (۲) استفاده گردید. بارش حوضه مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۳۰ با استفاده بارش سال ۱۹۶۶ تا ۲۰۲۱ با سناریوها SSP2-4.5 و SSP5-8.5 پیش‌بینی شد.

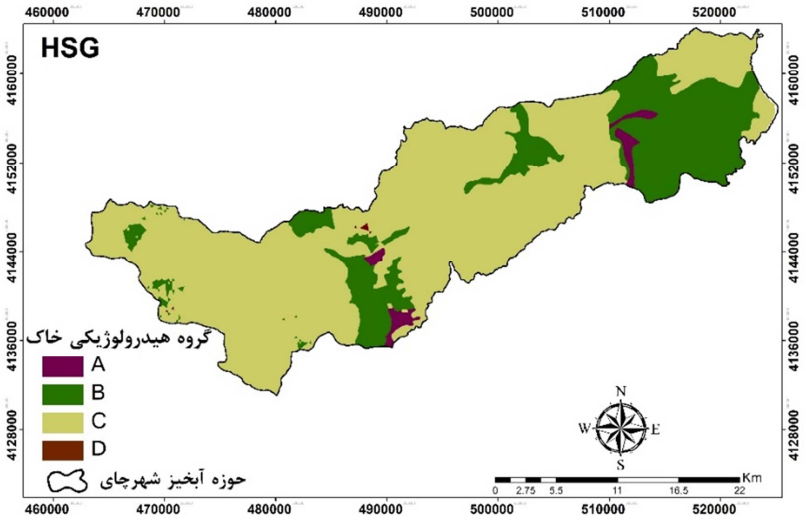
جدول ۲: خصوصیات مدل ACCESS-CM2

Model name	Resolution	Institution	Period of historical/future simulation	Simulated scenarios
ACCESS-CM2	192*145	CSIRO-ARCCSS; Commonwealth Scientific Research and Industrial Organization, and Bureau of Meteorology (Australia)	1985-2015&2015-2100	SSP2-4.5 SSP5-8.5

مدل‌سازی رواناب

کاهش خطر سیلاب شهری خطر سیلاب از منابع مختلفی سرچشمه می‌گیرد که شامل سیلاب رودخانه‌ای (یا فلویالی)، سیلاب ناشی از طوفان (یا شهری) و سیلاب ساحلی می‌باشد. زیرساخت‌های طبیعی می‌توانند در هر یک از این موارد نقش ایفا کنند. مرتبط با سیلاب ناشی از طوفان که تمرکز مدل کاهش خطر سیلاب InVEST می‌باشد،

زیرساخت‌های طبیعی بیشتر از طریق کاهش تولید روان‌آب، کاهش سرعت جریان سطحی و ایجاد فضا برای آب (در سیلاب‌دشت‌ها یا حوضه‌ها) عمل می‌کنند. مدل InVEST مقدار کاهش روان‌آب، یعنی میزان روان‌آب نگهداری‌شده به ازای هر پیکسل در مقایسه با حجم طوفان را محاسبه می‌کند. همچنین برای هر حوضه آبریز، پتانسیل آسیب اقتصادی را با همپوشانی اطلاعات در مورد پتانسیل گسترش سیلاب و زیرساخت‌های ساخته‌شده محاسبه می‌کند. سیلاب شهری به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات شهرها امروز مطرح می‌شود؛ زیرا تأثیرات آن توسط تغییرات آب-وهوایی و شهرنشینی تشدید می‌شود. مدل کاهش خطر سیلاب شهری پروژه سرمایه طبیعی (InVEST Urban Flood Risk Mitigation - UFRM)، که از سادگی و استحکام خود بهره‌مند است، معمولاً در پروژه‌های NASA DEVELOP برای کاهش بلایا، برنامه‌ریزی شهری و مسائل عدالت زیست‌محیطی استفاده می‌شود (Quagliolo و همکاران، ۲۰۲۱). برای مدل‌سازی رواناب از ابزار Urban Flood Risk Mitigation در نرم‌افزار InVSET از داده‌های بارش، کاربری اراضی، خاک و CN استفاده شد.



شکل ۳:نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک حوضه آبخیز شهرچای

کاربری اراضی

با هدف ارتقاء کمیت و کیفیت نقشه‌های کاربری‌اراضی در این پژوهش از تصاویرماهواره‌ای Sentinel2، با تفکیک مکانی ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع ۱۳ باند برای Sentinel2 استفاده گردید. اطلاعات تصاویر مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در مطالعه تغییر و پیش‌بینی کاربری

سال	ماهواره	تاریخ دریافت	تفکیک مکانی
2016	Sentinel2	2016.06.23	10,20,60m
2020	Sentinel2	2020.06.19	10,20,60m
2023	Sentinel2	2023.06.25	10,20,60m

تصاویر با استفاده از روش شیءگرایی و الگوریتم SVM طبقه‌بندی شدند و نقشه‌های کاربری اراضی برای ۳ دوره با روش شیءگرا استخراج گردید و مساحت کاربری‌ها طبقه‌بندی‌شده محاسبه گردید. در مرحله بعد، پیش‌بینی تغییرات کاربری به کمک مارکوف وCA مارکوف انجام شد.

گروه هیدرولوژیکی خاک

گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نشان‌دهنده رژیم آب‌دهی و رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبخیز در هنگام بارش هستند. در بخش‌های آبیاری و کشاورزی، اطلاعات بافت خاک اهمیت بالایی دارد. برای تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، از داده‌های بافت خاک استفاده شده است. در این پژوهش، نقشه‌های درصد رس، شن و سیلت برای استان آذربایجان‌غربی از سایت soilgrids.org دریافت و با استفاده از نرم‌افزار SAGA 2.1.1 ترکیب شدند تا نقشه بافت خاک شکل (۳) تهیه شود. سپس با روش‌های موجود، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به چهار دسته A ، B، Cو D استخراج گردید. با پیشروی از گروه A بهD ، میزان تولید رواناب خاک افزایش می‌یابد (مهدوی، ۱۳۹۲).

شماره منحنی

روش مورد استفاده در سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) که به‌عنوان شماره منحنی (CN) شناخته می‌شود، با درنظرگرفتن ویژگی‌های خاک، وضعیت هیدرولوژیکی زمین، کاربری اراضی و شرایط رطوبت قبلی خاک، میزان رواناب حاصل از بارش را در بخش‌های مختلف حوضه آبخیز تخمین می‌زند (مهدوی، ۱۳۹۲؛ حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). در این پژوهش، برای برآورد مقدار CN از نرم‌افزار CN Calculator استفاده شد. در نهایت با استفاده از این ورودی ها، مدل InVSET اجرا می‌شود و نقشه‌های ریسک سیلاب برای سال های ۲۰۲۳،۲۰۱۶ و ۲۰۳۰ تهیه می‌گردد.

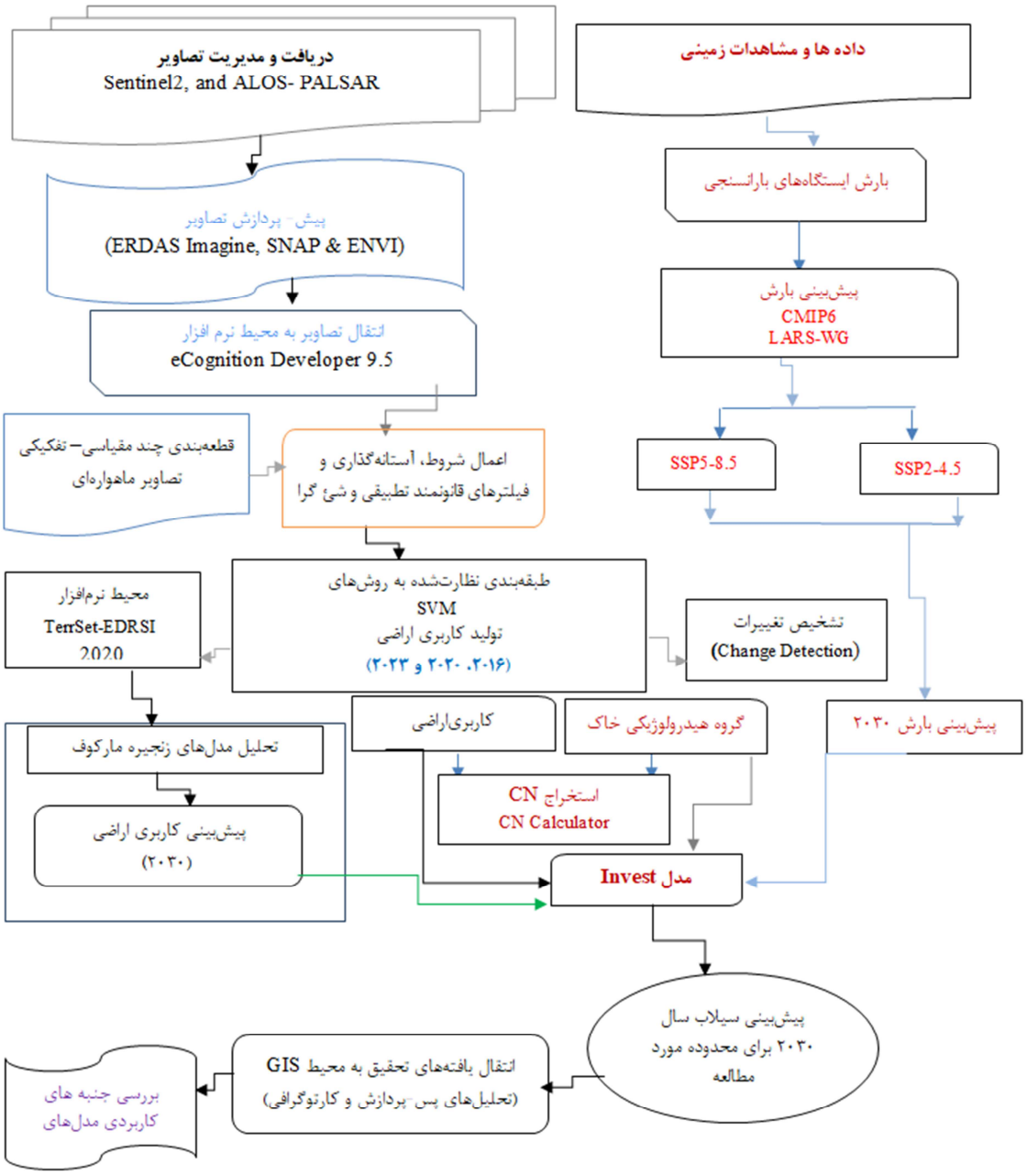
پیش‌بینی روند تغییرات با مدل زنجیره مارکوف

براساس توانایی الگوریتم تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، از این مدل برای پوشش سطح زمین و پیش‌بینی کاربری در آینده استفاده می‌شود. این مدل با تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال [1]، ماتریس مساحت انتقال [2]یافته و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد گردید. بسته به تعداد کاربری‌ها، ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال هرکدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد (Mirakhorlo and Rahimzadegan., 2018).

در شکل (۴) فلوچارت روش پژوهش ارائه شده است.

1 .Transition Probabilities

2. Transition Areas

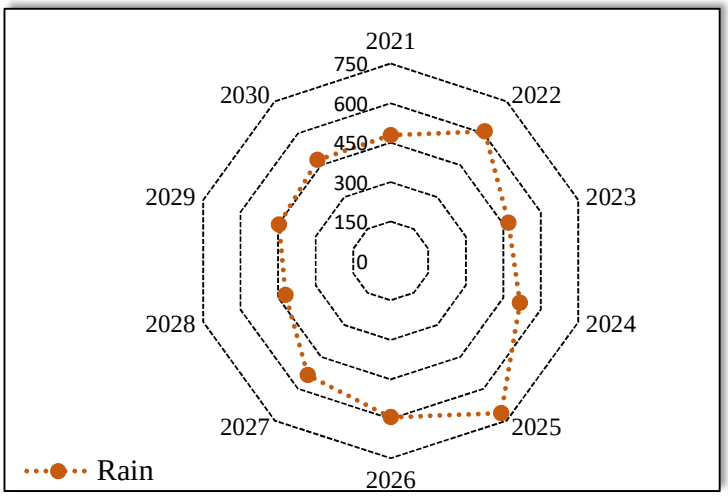


شکل ۴: فلوچارت روش پژوهش

نتایج و بحث

بارش یکی از پارامترهای مورد نیاز مدل InVSET می‌باشد که با استفاده از سناریوهای اقلیمی برای حوضه آبخیز شهرچای، محاسبه گردید. بارش حوضه مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۲۳ و۲۰۳۰ با استفاده بارش سال ۱۹۶۶ تا

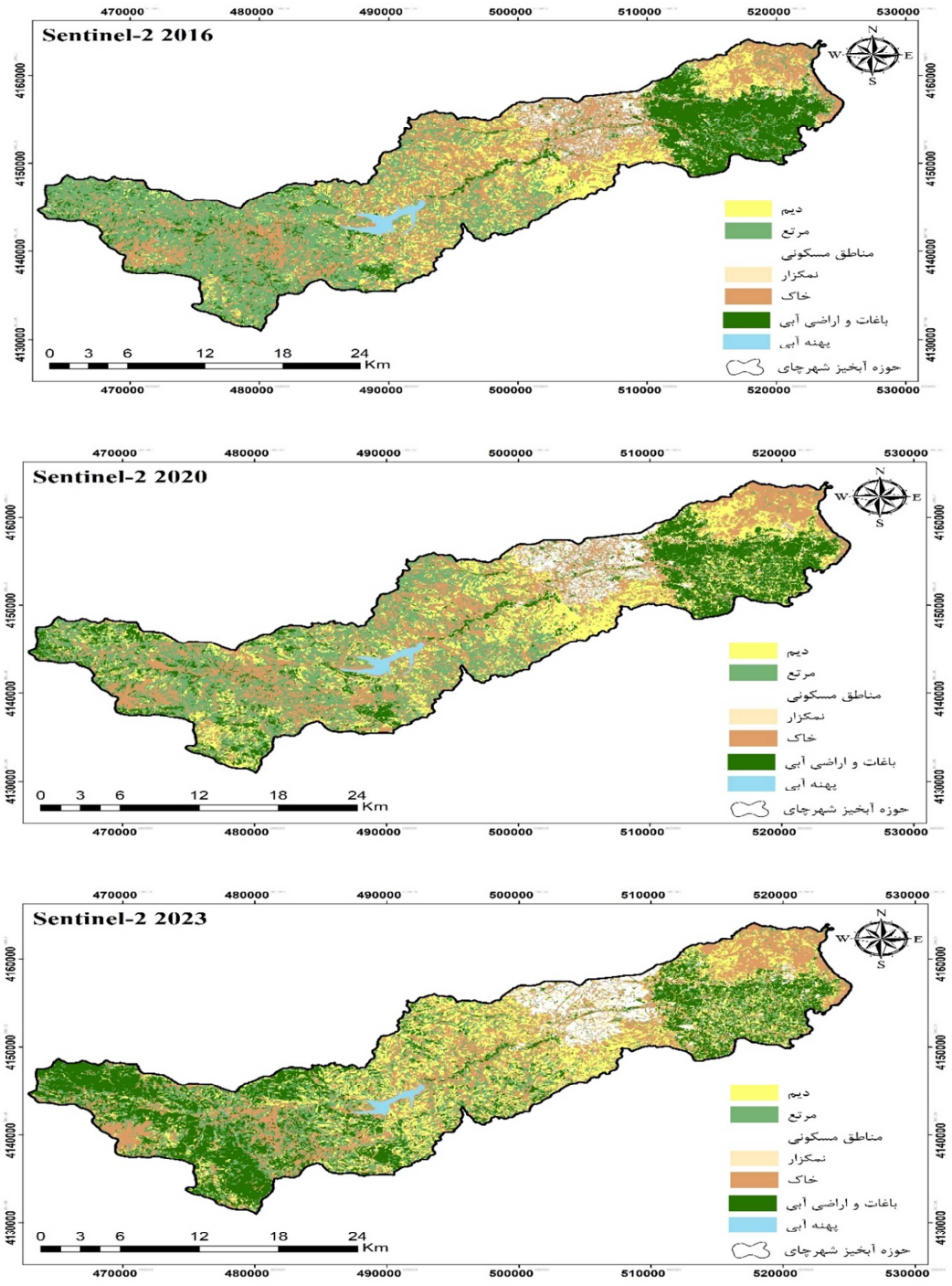
۲۰۲۱ با سناریوها SSP2-4.5 و SSP5-8.5 پیش‌بینی شد. باتوجه به اینکه هدف این پژوهش پیش‌بینی سیلاب است، نتایج سناریوSSP5-8.5 (بدبینانه) قابل‌قبول است که نتایج آن در شکل (۵) ارائه گردید است.



شکل ۵: بارش پیش‌بینی‌شده حوضه آبخیز شهرچای

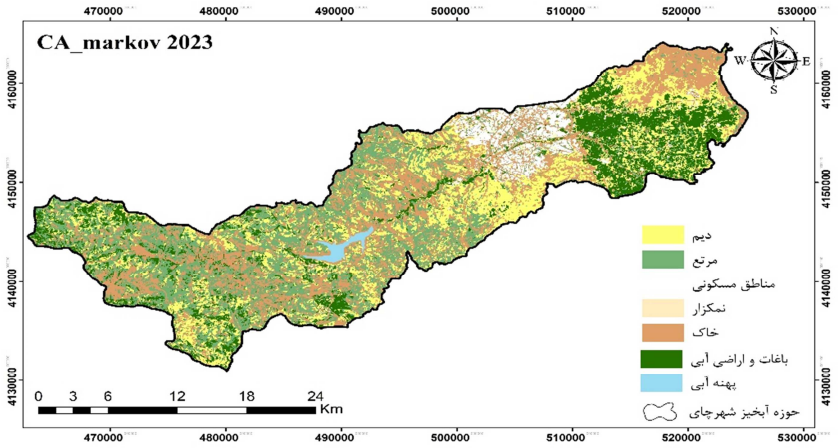
کاربری اراضی

طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش SVM در هفت طبقه پهنه آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی، نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۳ تهیه شد و مساحت هر کاربری محاسبه شد. نقشه کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۳ در شکل (۶) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۶، مساحت کاربری‌های پهنه آبی، خاک (اراضی کمتر از ۵٪ پوشش)، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک‌زار، مرتع و مناطق مسکونی به‌ترتیب ۷/۹۶، ۲۱۷/۰۵، ۱۱۱/۲۷، ۱۰۷/۲۱، ۰/۰۵، ۲۴۳/۵۲ و ۲۴/۵۹ کیلومتر مربع به‌دست آمد. در سال ۲۰۲۳ مساحت پهنه آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمکزار، مرتع و مناطق مسکونی به ترتیب ۵/۴۹، ۱۷۸/۳۳، ۱۸۵/۵۳، ۱۵۵/۳۸، ۰/۰۶، ۱۴۴/۱۶و ۴۱/۸۸ کیلومتر مربع به‌دست آمد.



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی برای سال‌های مورد بررسی در حوضه آبخیز شهرچای

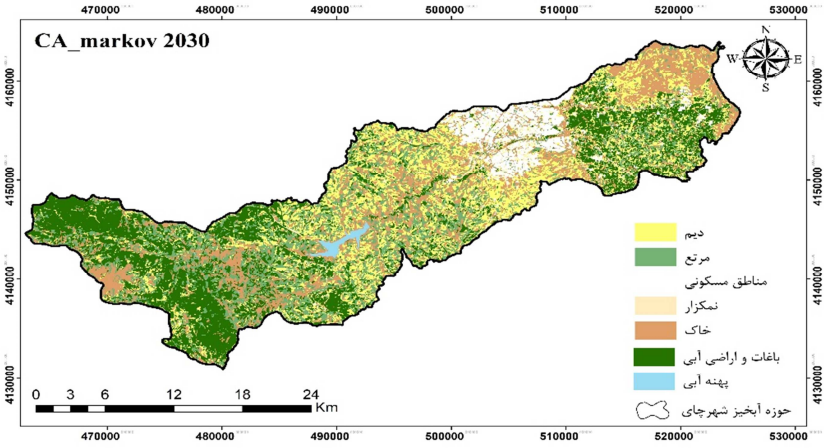
برای صحت‌سنجی نقشه طبقه‌بندی حوضه آبخیز شهرچای، سال ۲۰۲۳ با نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۳ مقایسه گردید. مقادیر Kno ، Klocation، Klocationstrata و مقادیر کاپای استاندارد Kstandard به‌ترتیب برابر با ۰/۹۶ درصد، ۰/۹۷ درصد، ۰/۹۷ درصد و ۰/۹۵ درصد به‌دست آمدند. با توجه به دقت بالای مدل در پیش‌بینی نقشه تغییرات سال ۲۰۲۳، نقشه تغییرات سال ۲۰۳۰ نیز استخراج گردید. نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۲۰۱۶ به‌عنوان تصویر پایه و تعداد دوره پنج سال به‌عنوان ورودی به مدل تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۳ شکل (۷) تهیه شد.



شکل ۷:نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از روش CA مارکوف سال ۲۰۲۳

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و انجام کنترل صحت و دقت، از مدل‌های مارکوف و CA مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات استفاده شد. دقت پیش‌بینی مدل CA مارکوف با ضریب کاپا سنجیده شد که مقدار این ضریب بین صفر و ۱ متغیر است و میزان دقت پیش‌بینی را نشان می‌دهد که در این پژوهش دقت ۰/۹۳ به‌دست آمد که هر چقدر مقدار آن نزدیک به یک باشد، نشان‌دهنده دقت بالای مدل می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج یرساو[1] و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای مدل‌سازی تغییرکاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات در منطقه ساحلی سو-شی-چانگ [2] کشور چین، ضریب کاپا برابر با ۰/۹۱ به‌دست آورد. بیانگر دقت بالای مدل CA مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده می‌باشد، مطابقت دارد . برای محاسبه ماتریس مساحت انتقال، ابتدا از مدل مارکوف تصاویر طبقه‌بندی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ استفاده شد تا ماتریس مساحت انتقال ایجادشده و به‌عنوان ورودی به مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی سال ۲۰۳۰ معرفی شود. فاصله زمانی بین دو تصویر ۷ سال و فاصله زمانی برای پیش‌بینی در سال ۲۰۳۰، نیز ۷ سال در نظر گرفته شد. نقشه کاربری پیش‌بینی‌شده سال ۲۰۳۰ به روش CA مارکوف ضریب کاپا ۰/۹۳ تهیه گردید که در شکل (۸) آمده است.

1. Yirsaw
2. Su-Xi-Chang



شکل ۸: نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی با استفاده از روش CA مارکوف سال ۲۰۳۰

آشکارسازی تغییرات برای درک تغییرات منطقه، گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۰، ۲۰۲۳ و ۲۰۳۰ به کیلومتر مربع و درصد هر کدام در جدول (۴) ارائه شده است.

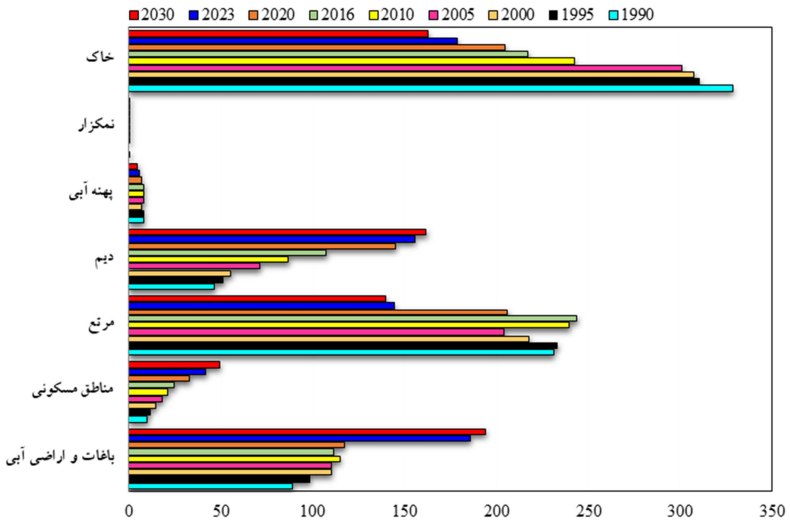
جدول ۴: مساحت کاربری اراضی به km^2

کاربری اراضی	مساحت (کیلومترمربع)			
	۲۰۱۶	۲۰۲۰	۲۰۲۳	۲۰۳۰
باغات و اراضی آبی	۱۱۱/۲۷	۱۱۶/۹۵	۱۸۵/۵۳	۱۹۳/۷۲
مناطق مسکونی	۲۴/۵۹	۳۲/۹۶	۴۱/۸۸	۴۹/۲۰
مرتع	۲۴۳/۵۲	۲۰۵/۷۲	۱۴۴/۱۶	۱۳۹/۵۳
دیم	۱۰۷/۲۱	۱۴۴/۹۴	۱۵۵/۳۸	۱۶۱/۵۸
پهنه آبی	۷/۹۶	۶/۵۳	۵/۴۹	۴/۵۳
نمکزار	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۵۸
خاک	۲۱۷/۰۵	۲۰۴/۴۶	۱۷۸/۳۳	۱۶۲/۵۵

براساس نتایج حاصل ازجدول (۵)، بیشترین تغییرات از کل مساحت منطقه، مربوط به کلاس اراضی باغات و اراضی آبی می‌باشد؛ به گونه‌ای که مساحت این کلاس ازkm^2 ۱۱۱/۲۷ در سال ۲۰۱۶ بهkm^2 ۱۸۵/۵۳ در سال ۲۰۲۳ رسیده است. به بیان دقیق‌تر مساحت کاربری خاک، آب و مرتع مقدار کاهشی و کاربری مناطق مسکونی، باغات و اراضی آبی و نمک‌زار مقدار افزایشی داشته است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۳۰ مساحت کاربری خاک، آب و مرتع کاهشی، و مساحت کاربری مسکونی، باغات و اراضی آبی و نمک‌زار افزایش یابد. در نهایت کاربری‌های باغات و اراضی آبی، مسکونی و نمک‌زار با مساحت ۱۵/۶۳٪، ۳/۴۶٪ و ۰/۰۱ ٪ کل مساحت در سال ۲۰۱۶ به ۲۷/۲۲٪، ۶/۹۱٪ و ۰/۰۸٪ کل مساحت در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. با نتایج پژوهش فتح‌الهی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی

که به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در شهرستان نکا پرداختند، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat استفاده شد. نتایج نشان داد که بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۶، اراضی جنگلی ۲۲۹۷ هکتار کاهش یافته و بیشترین تغییرات به تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی مربوط می‌شود. مدل‌سازی‌ها نیز نشان داد که تا سال ۲۰۳۰، مساحت جنگل کاهش یافته و اراضی کشاورزی و مناطق شهری افزایش می‌یابند، مطابقت دارد. براساس نتایج افزایش مساحت کاربری‌های کشاورزی در حوضه آبخیز شهرچای به‌خصوص دو کاربری باغات و کشاورزی آبی، باعث افزایش مصرف منابع آب خواهد شد. با نتایج روشنگر[1] و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی اثر تغییرات کاربری اراضی بر میزان مصرف آب کشاورزی در حوضه دریاچه ارومیه طی ۲۰ سال آینده با استفاده از زنجیره مارکوف بررسی نمودند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ و طبقه‌بندی آن‌ها با الگوریتم SVM، تغییرات الگوی کشت و منابع آب ورودی محاسبه گردید. سپس با استفاده از دو روش LCM و CA-MARKOV، تغییرات کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که مساحت کشاورزی آبی و باغ‌ها از ۱۴۵۰ و ۲۳۹۵ km^2 در سال ۲۰۰۰ به بیش از ۳۶۰۰ و ۱۶۵۰ km^2 در سال ۲۰۴۰ افزایش می‌یابد. این افزایش منجر به افزایش میزان آب مورد نیاز کشاورزی از Mm^3 ۱۵۰۰ در سال ۲۰۰۰ به بیش از Mm^3 ۴۱۰۰ در سال ۲۰۴۰ خواهد شد، مطابقت دارد. دلایل اصلی افزایش کاربری اراضی آبی و باغات، گرایش مردم به باغداری و درآمدهای حاصل از آن است. براساس پیش‌بینی مدل CA مارکوف، سطح کشاورزی آبی و باغات در نزدیکی منابع آبی و اراضی کشاورزی موجود افزایش می‌یابد. این امر به توسعه زراعت آبی و استفاده از روش‌های آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای برمی‌گردد. همچنین، علاقه مردم به داشتن باغ شخصی و کسب درآمد از محصولات باغی نیز از عوامل مهم در افزایش مساحت باغات است. نتایج این پژوهش با نتایج رسولی[2] و همکاران(۲۰۲۱)، در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱ و به‌کارگیری فن‌های پیشرفته شیءگرا، تغییرات کاربری و پوشش زمین (LU/LC) شناسایی و ارزیابی شدند. برای پیش‌بینی تغییرات LU از مدل زنجیره مارکوف و خودکار سلولی (CA) استفاده شد. نتایج نشان داد که جنگل‌ها و مراتع کاهش یافته‌اند، درحالی‌که زمین‌های بایر و رهاشده افزایش چشمگیری داشته‌اند. مدل با دقت کلی ۰/۹۵ و ضریب کاپای نزدیک به ۹۴٪، صحت بالای تغییرات نقشه‌های LU منطقه را تایید کرد، مطابقت دارد. روند تغییرات کاربری اراضی در شکل (۸) ارائه شده است.

1. Roushangar
2. Rasouli



شکل ۸: روند تغییرات کاربری اراضی به روش شی‌گرا

براساس نتایج حاصل از روند تغییرات در این پژوهش، بیشترین تغییرات کاربری مربوط به تبدیل کاربری مرتع و خاک به کل اراضی آبی و باغات، دیم و مسکونی را نشان می‌دهد که با نتایج بیرهانو[1] و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهشی بر روی حوضه آبریز گومارا در اتیوپی، مشاهده شد که طی ۲۹ سال گذشته مساحت مراتع کاهش و اراضی کشت شده افزایش یافته‌اند. این تغییرات منجر به کاهش حجم آب‌های جاری در این حوضه شده است، مطابقت دارد.

برای هر کدام از کاربری‌ها، مقدار CN در هر گروه هیدرولوژیکی خاک وکاربری اراضی مورد برآورد قرار گرفت و در جدول (۵) ارائه شد.

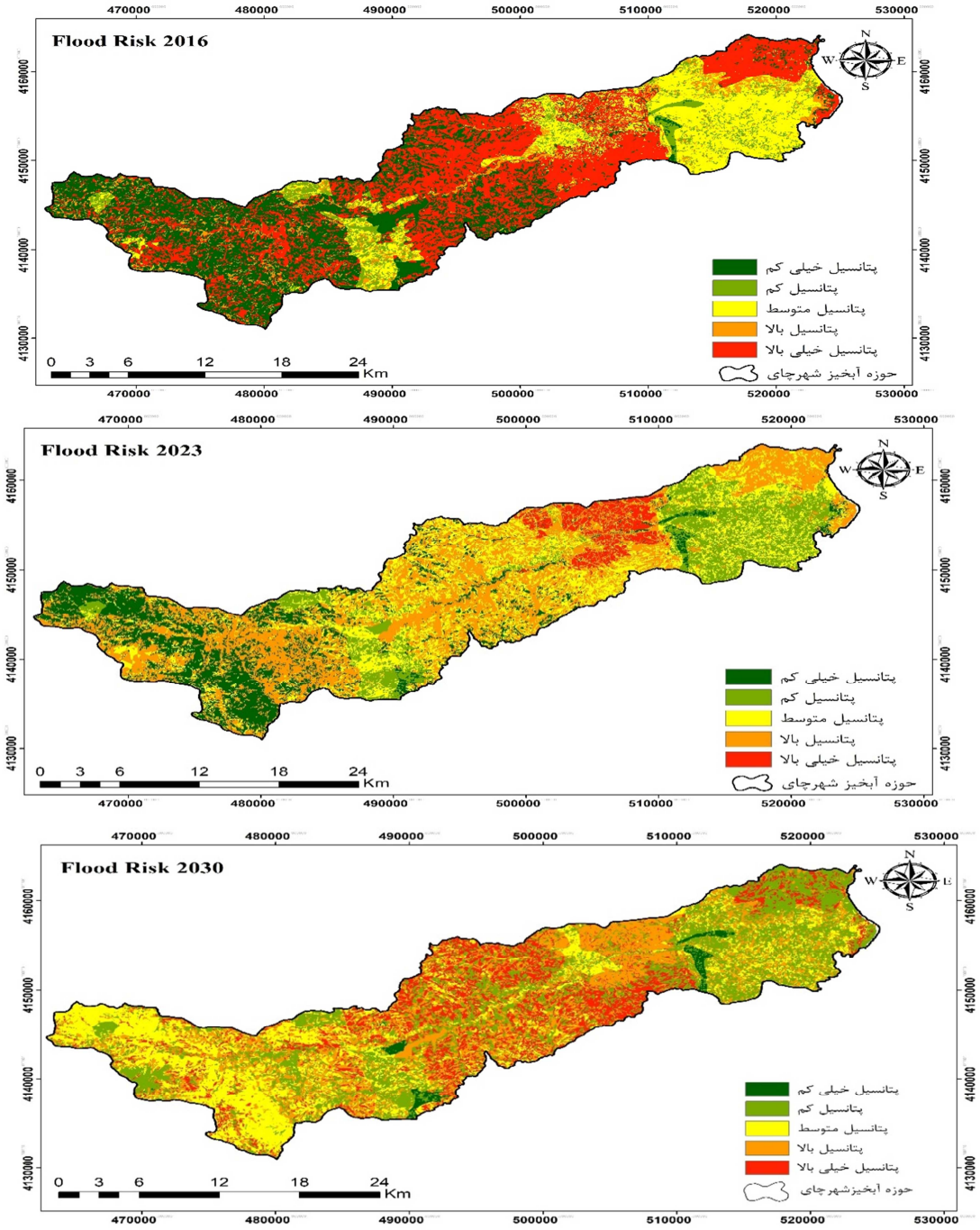
جدول ۵: مقادیر CN در کاربری‌های اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک

کاربری اراضی	CN-A	CN-B	CN-C	CN-D
زراعت دیم	۷۲	۸۱	۸۸	۹۱
اراضی آبی و باغات	۳۶	۶۴	۷۳	۷۹
نمکزار	۷۷	۸۶	۹۱	۹۲
مرتع	۳۹	۶۱	۷۴	۸۰
مسکونی	۸۱	۸۸	۸۹	۹۳

پس از تهیهٔ داده‌های ورودی مورد نیاز، مدل‌سازی تولید آب در نرم‌افزار.InVEST با استفاده کاربری اراضی، بارش، شماره منحنی و نقشه خاک برای سال‌های مورد بررسی اجرا شد. نقشه‌های ریسک سیلاب برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳ در نهایت نقشه‌ی پیش‌بینی ریسک سیلاب سال ۲۰۳۰ با استفاده از نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده سال

[1]. Birhanu

۲۰۳۰، بارش سال ۲۰۳۰ و شمار منحنی سال۲۰۳۰ شبیه‌سازی شد. نقشه‌های ریسک سیل برای حوضه آبخیز شهرچای در شکل (۹) ارائه شده است.



شکل۹: نقشه ریسک سیلاب سال‌های مورد بررسی حوضه آبخیز شهرچای

جدول ۶: تغییرات مقادیر رواناب در حوضه آبخیز شهرچای

سال	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	انحراف معیار
۲۰۱۶	۱۱۹/۵۴	۰	۴۰/۹۶	۳۳/۲۵
۲۰۲۳	۱۷۷/۲۱	۰	۳۷/۹۳	۲۳/۲۱
۲۰۳۰	۱۲۹/۵۷	۰	۵۹/۶۹	۳۵/۵۳

با توجه به جدول (۶) و شکل (۹) حداکثر و حداقل مقادیر رواناب برای سال ۲۰۱۶ با مقدار عددی ۱۱۹/۵۴ و صفر مترمکعب برآورد شد. همچنین طبق نتایج، بیشترین میانگین مقادیر رواناب سال ۲۰۳۰ (با مقدار عددی ۵۹/۶۹ مترمکعب) و کمترین در سال ۲۰۲۳ (با مقدار عددی ۳۷/۹۳ مترمکعب) به‌دست آمد. طبق شکل (۹) در ضلع جنوبی حوضه آبخیز شهرچای، پتانسیل خیلی کم و کم برخوردار است. این درحالی است که در قسمت مرکزی آبخیز برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۳ و ۲۰۳۰ پتانسیل تولید رواناب متوسط، بالا می‌باشد. طبق نتایج پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۰، پتانسیل تولید رواناب در اکثر بخش‌های آبخیز شهرچای کم و متوسط خواهد بود. جدول (۷) توزیع مساحت (کیلومتر مربع) مطابق با نتایج جدول (۷) از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۰ روند کاهشی در طبقه پتانسیل خیلی کم تجربه خواهد کرد. در سال ۲۰۲۳ طبقات پتانسیل بالا و خیلی بالا به‌ترتیب بیشترین و کمترین مساحت با مقادیر عددی ۲۶۸/۲۹ و ۳۰/۲۳ کیلومتر مربع به‌خود اختصاص دادند. بر اساس نتایج برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شد که بیشترین و کمترین مساحت متعلق به طبقات پتانسیل بالا و خیلی کم خواهد بود.

جدول ۷: توزیع مساحت km^2 طبقات مختلف ریسک سیلاب در حوضه آبخیز شهرچای

طبقات	۲۰۱۶	۲۰۲۳	۲۰۳۰
پتانسیل خیلی کم	۲۱۹/۶۷	۱۲۷/۸۱	۹/۲۹
پتانسیل کم	۴۸/۵۷	۱۰۳	۲۲۱/۰۹
پتانسیل متوسط	۱۲۵/۴۱	۱۸۰/۸۸	۱۷۲/۷۱
پتانسیل بالا	۴۷/۹۲	۲۶۸/۲۹	۱۸۷/۹۶
پتانسیل خیلی بالا	۲۶۸/۶۴	۳۰/۲۳	۱۱۹/۱۴

طبق نتایج پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۰، پتانسیل تولید رواناب در اکثر بخش‌های آبخیز شهرچای بالا خواهد بود. با توجه به وضعیت توزیع کاربری مختلف در سطح شهرچای برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی‌شده قسمت‌هایی که کاربری آن اراضی غیرطبیعی یا انسان ساخت می‌باشد، از پتانسیل تولید رواناب بالاتری هم برخوردار خواهند بود. برای تعیین میزان رواناب در حوضه آبخیز شهرچای، از نرم‌افزار InVEST استفاده شد. این مدل قادر است میزان آب را در نقاط مختلف تخمین بزند و نشان دهد که چگونه تغییر در الگوی استفاده از زمین میزان تولید آب و عملکرد آن در بخش‌های مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مدل InVEST یک مجموعه از مدل‌ها با منبع باز است که برای نقشه‌سازی و ارزیابی خدمات آبخیز استفاده می‌شود. این نرم‌افزار از لایه کاربری سرزمین و اطلاعات مدیریت سرزمین به همراه شرایط محیط زیستی به‌عنوان داده‌های ورودی توابع تولید و تولید خدمات اکوسیستمی استفاده می‌کند و به‌صورت مکانی پیش‌بینی می‌کند. مدل تولید آب در InVEST به‌دلیل کارایی و سادگی خود، در مطالعات زیادی

مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله ردهد[1] و همکاران (۲۰۱۶)، یانگ[2] و همکاران (۲۰۱۹)، باستولا[3] و همکاران (۲۰۱۹)، وانگ [4]و همکاران (۲۰۲۲) و رحمان[5] و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقات مختلف به مدل‌سازی تولید آب با استفاده از نرم‌افزار InVEST پرداختند. در ایران نیز پژوهشی و مطالعات زیادی در زمینه مدل‌سازی خدمات تولید آب با استفاده از نرم‌افزار InVEST صورت گرفته است. اسدالهی و همکاران (۱۳۹۴) در حوضه آبخیز گرگانرود، حق‌دادی و همکاران (۱۳۹۷) در حوضه آبخیز دلیچای و قابل‌نظام و همکاران (۱۴۰۱) در حوضه‌های آبخیز استان اردبیل با استفاد از مدل تولید آب در InVEST تولید آب را کمی کردند.

در نرم‌افزارInVEST نقشه‌های پیش‌بینی ریسک سیلاب، با استفاده کاربری اراضی سال۲۰۳۰، بارش سال ۲۰۳۰، شماره منحنی سال ۲۰۳۰ و نقشه خاک، حوضه آبخیز شهرچای شکل (۹) تهیه شدند. باتوجه به نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و شماره منحنی در محدوده مورد مطالعه جاهای که کاربری از نوع مسکونی، خاک و مرتع و گروه هیدرولوژیکی خاک C و D است، پتانسیل تولید رواناب بالا و در قسمت‌های که کاربری کشاورزی آبی و باغات، دیم است، پتانسیل تولید رواناب کم است. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج پژوهش رحمان و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تغییر در پیش‌بینی تولید آب در توده‌های شهری در دامنه‌های شمالی کوه‌های تیانشان بر اساس مدل InVEST-PLUS پرداختند. برای ارزیابی موثر نرخ تولید آب، مدل‌های PLUS و InVEST برای ارزیابی پویا تغییرات در تولید آب که در تراکم شهری در دامنه‌های شمالی کوه‌های تیانشان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ تحت سناریوهای مختلف تغییر کاربری زمین رخ می‌دهد، استفاده شد. نتایج نشان داد تغییرات در نرخ تولید آب ارتباط نزدیکی با تغییرات کاربری زمین دارد، مطابقت دارد و نتایج این بخش از پژوهش همچنین در ایران با نتایج پژوهش حقدادی و همکاران (۱۳۹۷)، املایی و همکاران (۱۴۰۰)، قابل نظام و همکاران (۱۴۰۱)، با توجه به توزیع کاربری مختلف، تولید رواناب متفاوتی دارند مطابقت دارد. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مدلInVEST برای برآورد تولید آب در اراضی با داده‌های محدود کارایی بالایی دارد و می‌توان از آن برای نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم و تصمیم‌گیری در مدیریت استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش پیش‌بینی ریسک سیلاب بود که با مدل InVSET انجام گردید. مدل عملکرد آب InVEST، یکی از مدل‌های گسترده استفاده در حوضه مدل‌سازی منابع آب است و نتایج قابل‌قبولی در زمینه مدیریت منابع آب ارائه می‌دهد. این مدل یک ابزار نرم‌افزاری بسیار قدرتمند است که توسط سازمان پژوهشی Natural Capital Project توسعه داده شده است. مدل InVEST قادر است تأثیرات تغییرات کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی بر منابع آب را برآورد کند. این مدل از داده‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژی، اقلیمی و کشاورزی استفاده می‌کند تا تحلیل‌های جامعی از سیستم‌های آبی را انجام دهد. با استفاده از این مدل، می‌توان اثرات تغییر کاربری اراضی بر آبخوان‌ها، جریان‌های

1. Redhead
2. Yang
3. Bastola
4. Wang
5. Reheman

سطحی، کیفیت آب، سیلاب و سایر جنبه‌های مربوط به منابع آب را برآورد نمود. مزیت اصلی InVEST نسبت به سایر مدل‌ها، استفاده از رویکرد چندمنظوره است که به مدیران و تصمیم‌گیران امکان می‌دهد تأثیرات مختلف تغییرات کاربری اراضی را بر منابع آب در نظر بگیرند. این مدل امکان تحلیل و بررسی سناریوهای مختلف مدیریتی را فراهم می‌کند و در ارائه راهکارهای بهینه برای مدیریت منابع آب به کمک تصمیم‌گیران موثر است. بنابراین، مدل عملکرد آب InVEST به‌عنوان یکی از مدل‌های پراستفاده در زمینه مدیریت منابع آب شناخته شده است و نتایج مطلوبی در این زمینه ارائه می‌دهد. درنهایت شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل InVEST از متغیرهای بارش، جهت شبیه‌سازی بارش از نرم‌افزار LARS- WG، از مدل اقلیمی CMIP6 با نام ACCESS-CM2 و با استفاده از دو سناریو SSP2-4.5 و SSP5-8.5 استفاده شد. بارش حوضه آبخیز شهرچای، برای سال‌های ۲۰۲۳ و۲۰۳۰ با استفاده بارش سال ۱۹۶۶ تا ۲۰۲۱ با سناریوها SSP2-4.5 و SSP5-8.5 پیش‌بینی شد. باتوجه به اینکه هدف این پژوهش پیش‌بینی ریسک سیلاب است، نتایج سناریو SSP5-8.5(بدبینانه) قابل‌قبول بود. در نهایت نتایج مربوط به سناریو بدبینانه حاکی از آن است که تعداد روزهای همراه با بارش سنگین در آینده نزدیک (۲۰۳۰) را نشان می‌دهد. کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک و شماره منحنی مربوط به حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه تهیه و به نرم‌افزار معرفی شد. در نرم‌افزار InVEST نقشه‌های پیش‌بینی ریسک سیلاب با استفاده کاربری اراضی سال۲۰۳۰، بارش سال ۲۰۳۰، شماره منحنی سال ۲۰۳۰ و نقشه خاک، حوضه آبخیز شهرچای، تهیه شدند. باتوجه به وضعیت توزیع کاربری مختلف و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شماره منحنی، ریسک سیلاب سال ۲۰۳۰ در محدوده مورد مطالعه، جاهای که کاربری از نوع مسکونی، خاک، مرتع و گروه هیدرولوژیکی خاک C و D است، تولید رواناب بالا و در قسمت‌های که کاربری کشاورزی آبی و باغات، دیم است، تولید رواناب کم است. نتایج این پژوهش تفاوت میزان ارائه تولید آب را در کاربری‌های اراضی مختلف نشان می‌دهد. باتوجه به اهمیت مشکلات موجود در تامین آب برای مردم ساکن در منطقه، فراهم‌سازی آب و با توجه به این موضوع که تولید آب در بالادست حوضه از پایین‌دست بیشتر است باید مدیریت و تصمیم‌گیری به گونه‌ای باشد که تولید آب در هر بخش با مقدار مورد نیاز منطقه مطابقت داشته باشد. مدل‌سازی و ارزیابی خدمات اکوسیستم و بررسی عوامل مؤثر بر تأمین آن ابزاری اساسی برای پژوهش‌های آینده است. این ابزار می‌تواند در تدوین استراتژی‌های راهبردی مرتبط با مزایای عملکرد اکوسیستم در تأمین نیازها و بهبود معیشت انسان و تنوع‌زیستی مورد استفاده قرار گیرد. در طی ۳۰ سال گذشته، مفهوم خدمات اکوسیستم توجه و پژوهش‌های زیادی را به خود جلب کرده است. بااین‌حال، برخی از مطالعات متمرکز بر تعداد محدودی از خدمات اکوسیستم بوده و بررسی تولید و تنظیم رواناب به‌عنوان یک مولفه‌ی اصلی به‌صورت کامل مورد توجه قرار نگرفته است. با توجه به اهمیت مسئله رواناب در سطح جهان و به‌خصوص در ایران، شناسایی عوامل، کنترل و حفاظت از مناطق قابلیت تولید رواناب از وظایف و اقدامات ملی مهمی است. به همین دلیل، انجام مطالعات گسترده و ارائه روش‌هایی برای ارزیابی کمی و پیش‌بینی خدمات اکوسیستم مبتنی بر خدمات تنظیمی رواناب، می‌تواند در اولویت‌بندی و طبقه‌بندی مناطق قابلیت تولید رواناب و تعیین راهبردهای مدیریتی و محافظتی مؤثری نقش داشته باشد.

منابع

اسدالهی، زهرا؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ میرکریمی، سیدحامد. (۱۳۹۴). مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک (مطالعه موردی: ناحیه شرقی حوضه آبخیز گرگانرود). پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۵(۳): ۶۱-۷۵.

املائی، زهرا؛ پورابراهیم، شراره؛ مخدوم، مجید. (۱۴۰۰). مدل‌سازی مکانی عرضه و تقاضای خدمت تولید آب سطحی در حوضه آبریز هراز. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۷۴(۳): ۴۷۵-۴۸۹.

حسین‌زاده، محمد مهدی؛ نصرتی، کاظم؛ ایمنی، سپیده. (۱۳۹۷). تعیین شماره منحنی و برآورد پتانسیل تولید رواناب حوضه آبخیز حصارک. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۵۱) : ۱۳۳-۱۵۰.

حقدادی، مهرناز؛ حشمتی، غلامعلی؛ عظیمی، مژگان. (۱۳۹۷). بررسی خدمت اکوسیستم تولید آب با استفاده از نرم‌افزار InVEST (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دلیچای). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۵(۴): ۲۷۵-۲۹۰.

زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ کدخدا، الهام. (۱۴۰۱). پیش‌نگری خشکسالی تحت سناریوهای SSP تا پایان قرن بیست‌ویکم، مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۷): ۱۴۹۹-۱۵۱۶.

شفیع‌زاده، مرجان؛ زارع چاهوکی، محمدعلی. (۱۳۹۹). مدل‌سازی خدمات تولید اکوسیستم (تولید آب) در حوزهٔ آبخیز طالقان میانی. اکوهیدرولوژی ایران، ۷(۲): ۴۱۱-۴۱۹.

صمدی، نرگس؛ رسولی، علی‌اکبر؛ ؛ مختاری، داود؛ ولیزاده کامران، خلیل. (۱۴۰۳). بررسی تغییرات پوشش برف حوضه‌های آبریز غربی دریاچه ارومیه از طریق بهینه‌سازی و همجوشی تصاویر سنتینل-۲ و لندست (۸ و ۹). جغرافیا و برنامه‌ریزی.

عاقلپور، پویا؛ نادی،مهدی. (۱۳۹۷). ارزیابی دقت مدل SARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی بلندمدت میانگین دمای ماهانه در اقلیم‌های متفاوت ایران. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۹(۳۵): ۱۱۳-۱۲۶.

فتح الهی رودباری، سیده معصومه؛ نصیراحمدی، کامران؛ خانمحمدی، مهرداد. (۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) مطالعه موردی: شهرستان نکا .اکوسیستمهای طبیعی ایران، ۹(۱): ۵۳-۶۹.

قابل‌نظام، ائلناز؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی عوری، اباذر؛ حزباوی، زینب. (۱۴۰۱). اهمیت خدمات اکوسیستم آبخیز با تاکید بر نقش تولید رواناب و کاهش فرسایش. انسان و محیط زیست، ۲۰(۳): ۱۳۷-۱۵۵.

مددی، عقیل؛ بابایی اولم، طیبه؛ قدرتی، علیرضا. (۱۴۰۲). پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی رودخانه سفیدرود با استفاده از Arc GIS. جغرافیا و مطالعات شهری و منطقه‌ای، ۱۲(۴۸): ۲۰-۳۳.

مهدوی، محمد. (۱۳۹۲). هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، ۴۳۷ صص.

نیکوی، فاطمه؛ پورابراهیم، شراره؛ جباریان امیری، بهمن؛ عرب ،داوودرضا. (۱۴۰۰).نقش خدمت اکوسیستمی تولید آب در تأمین منابع آب +حسابداری (WA) مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز دریاچهٔ ارومیه. اکوهیدرولوژی، ۸(۱): ۴۵ -۵۶.

Armenteras, D., Murcia, U., González, T. M., Barón, O. J., & Arias, J. E., (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. Global Ecology and Conservation, 17,1-13.

Ávila-García, D., Morató, J., Pérez-Maussán, A. I., Santillán-Carvantes, P., Alvarado, J., & Comín, F. A. (2020). "Impacts of alternative land-use policies on water ecosystem services in the Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello watershed, Mexico", Ecosystem Services, 45, 101179.

Bastola, S., Seong, Y. J., Lee, S. H & Jung, Y. (2019). Water yield estimation of the Bagmati basin of Nepal using GIS-based InVEST model. Journal of Korea Water Resources Association, 52(9), 637-645.

Birhanu, A., I. Masih. P. van der Zaag. J. Nyssen. & X. Cai. (2019). Impacts of land use and land cover changes on the hydrology of the Gumara catchment. Ethiopia, 4th International Conference on Ecohydrology. Soil and Climate Change, 109, 1-78.

Calanca, P. (2008). Climate change and drought occurrence in the Alpine region. Global and Planetary Changes,57:151-160.

Chen, Z., Huang, M., Zhu, D., & Altan, O. (2021). Integrating Remote Sensing and a Markov-FLUS Model to Simulate Future Land Use Changes in Hokkaido. Japan. Remote Sens, 13, 2621.

Hou, Y., & Wu, J. (2024). Land-Use and Habitat Quality Prediction in the Fen River Basin Based on PLUS and InVEST Models.

Kusi, K. K., Khattabi, A., & Mhammdi, N. (2023). "Evaluating the impacts of land use and climate changes on water ecosystem services in the Souss watershed, Morocco", Arabian Journal of Geosciences, 16(2), 126.

Li, G., Jiang, C., Zhang, Y., & Jiang, G. (2021). “Whether land greening in different geomorphic units are beneficial to water yield in the Yellow River Basin?”, Ecological Indicators, 120, 106926.
Mirakhorlo, M., S. & M. Rahimzadegan. (2018). Integration of SimWeight and Markov Chain to Predict Land Use of Lavasanat Basin. Numerical Methods in Civil Engineering,2(4), 1-9.
Moe, I. R., Kure, S., Januriyadi, N. F., Farid, M., Udo, K., Kazama, S., & Koshimura, S.(2017). Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia. Hydrological Research Letters, 11(2), 99-105
Mohammadyari, F., Zarandian, A., Mirsanjari, M. M., Suziedelyte Visockiene, J., & Tumeliene, E. (2023). “Modelling Impact of Urban Expansion on Ecosystem Services: A Scenario-Based Approach in a Mixed Natural/Urbanised Landscape”, Land, 12(2), 291.
Mrozik, K., Przybyła, Cz. 2013. Mała retencja w planowaniu przestrzennym, Poznań.
Panāhi, A., Jānbāz Ghoādi, G., Motavalli, S., & Khāledi, S. (2023). Measurement and Prediction of the Potential Occurrence of Floods Under Climate Change Conditions (Case study: Gorgānroud watershed). Geographical Studies of Coastal Areas Journal, 4(2), 45-61. doi: 10.22124/gscaj.2023.22411.1172
Quagliolo, C., Comino, E., & Pezzoli, A. (2021). Experimental flash floods assessment through urban flood risk mitigation (UFRM) model: the case study of Ligurian coastal cities. Frontiers in Water, 3, 663378.
Rashidiyan, M., & Rahimzadegan, M. (2024). Investigation and Evaluation of Land Use–Land Cover Change Effects on Current and Future Flood Susceptibility. Natural Hazards Review, 25(1), 04023049.
Rasouli, A.A., S. H. Safarov. M. Asgarova. E. S. Safarov & M. Milani. (2021). Detection and Mapping of Green-Cover and Landuse Changes by Advanced Satellite Image Processing Techniques; A Case Study: Azerbaijan Eastern Zangezur Economic Region. Azerbaijan AMEA-nın Biologiya və Tibb Elmləri Bölməsi Journal ,pp 1-19.
Redhead, J. W., Stratford, C., Sharps, K., Jones, L., Ziv, G., Clarke, D. & Bullock, J. M. (2016). Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. Science of the Total Environment, 569, 1418-1426.
Reheman, R., Kasimu, A., Duolaiti, X., Wei, B., & Zhao, Y. (2023). Research on the Change in Prediction of Water Production in Urban Agglomerations on the Northern Slopes of the Tianshan Mountains Based on the InVEST–PLUS Model. Water, 15(4), 776.
Roushangar, K., M. T., Aalami & H. Golmohammadi. (2022). Effect of Land Use Trends on the Amount of Agricultural Water Consumption in Urmia Lake Watershed in the Next 20 Years Using Markov Chain. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 12(2),115-131.
sarabi, M., Dastorani, M. T., & Zarrin, A. (2020). Investigating Impact of Future Climate Changes on Temperature and Precipitation Condition (Case Study: Torogh Dam Watershed, Mashhad). Journal of Meteorology and Atmospheric Science, 3(1), 63-83. doi: 10.22034/jmas.2021.278862.1129
Tavakoli, M. & Mohammadyari, F. (2022). “Modeling the spatial distribution of multiple ecosystem services in Ilam dam watershed, Western Iran: Identification of areas for spatial planning”, Urban Ecosystems, pp. 1-20.
Wang, S., Hu, M., Wang, Y., & Xia, B. (2022). “Dynamics of ecosystem services in response to urbanization across temporal and spatial scales in a mega metropolitan area”, Sustainable Cities and Society, 77, 103561.
Yang, D., Liu, W., Tang, L., Chen, L., Li, X & Xu, X. (2019). Estimation of water provision service for monsoon catchments of South China: Applicability of the InVEST model. Landscape and Urban Planning, 182, 133-143.
Yirsaw, E. Wu. W., X. Shi. H. Temesgeh & B. Bekele. (2017). Land use and land cover change modeling and the prediction of subsequent changes in ecosystem service values in a coastal area of China, The Su-Xi-Change region. Sustainability, 9 (7),1204.
Zarandian, A., Baral, H., Stork, N.E., Ling, M.A., Yavari, A.R., Jafari, H.R & Amirnejad, H. (2017). Modeling ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to the Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran. Land Use Policy,61, 487-500.
Zarandian, A., Mohammadyari, F., Mirsanjari, M. M., & Visockiene, J. S. (2023). “Scenario modeling to predict changes in land use/cover using Land Change Modeler and InVEST model: a case study of Karaj Metropolis, Iran”, Environmental monitoring and assessment, 195(2), 273.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Samadi, N., Rasouli, A. A., Mokhtari, D., & Valizadeh Kamran, Kh. (2024). Investigating snow cover changes in the western catchment areas of Lake Urmia through optimization and fusion of Sentinel-2 and Landsat images (8 and 9). Geography and planning. (In Persian).

Asadolahi Z, Salmanmahiny A, & Mirkarimi H.(2015). Modeling the Supply of Sediment Retention Ecosystem Service (Case study: Eastern Part of Gorgan-Rud Watershed). E.E.R. 5 (3):61-75. (In Persian).

Aghel poor, P., & Nadi, M. (2019). Evaluating SARIMA Model Accuracy in Modeling and Long-Term Forecasting of Average Monthly Temperature in Different Climates of Iran. Journal of Climate Research, 1397(35), 113-126. (In Persian).

Fatollahi. R. S., M. Khanmohamadi and K. Nasir Ahmadi. 2018. Modeling of land use changes with using of LCM model: Case study, Neka Township. Natural Ecosystems in Iran, 9(1): 53-69. (In Persian).

Zarrin, A., Dadashi-Roudbari, A., & Kadkhoda, E. (2022). Drought projection in the Urmia Lake basin under SSP Scenarios until the End of the 21st Century. Iranian Journal of Soil and Water Research, 53(7), 1499-1516. doi: 10.22059/ ijswr .2022.343700.669278. (In Persian).

Mahdavi, M. M. (2013). Applied Hydrology. Tehran University Press, Volume Two, 437 pages. . (In Persian).

hoseinzadeh M M, imeni S. Determining Curve Number and Estimating Runoff Yield In HESARAK Catchment. jgs 2018; 18 (51) :133-150. (In Persian).

Emlaei, Z., Pourebrahim, S., & Makhdoum, M. (2021). Spatial modeling of supply and demand for water yield service in the Haraz Watershed. Journal of Natural Environment, 74(3), 475-489. doi: 10.22059/jne.2022.327719.2253. (In Persian).

Qabel Nazam, Elnaz; Mostafazadeh, Rauf; Esmaeili Avari, Abdolrazagh & Hezbawi, Zeinab. (2022). The importance of watershed ecosystem services with an emphasis on runoff production and erosion reduction. Human and Environment, 20(3), 137-155. [In Persian] Retrieved from: https://sid.ir/paper/1040260/fa. (In Persian).

Nikooy, F., Pourebrahim, S., Jabbarian Amiri, B., & Arab, D. R. (2021). Investigating the Role of Water Yield Ecosystem Service in WA + Resource Base Sheet (Case of Urmia Lake Basin). Iranian Journal of Ecohydrology, 8(1), 45-56. doi: 10.22059/ije.2020.310365.1386. (In Persian).

Haghdadi, M., Heshmati, G. A., & Azimi, M. S. (2018). Assessment of Water yield service based on the InVEST tool (case study: Delichai watershed). Journal of Water and Soil Conservation, 25(4), 275-290. doi: 10.22069/jwsc.2018.13352.2800. (In Persian).

Shafizadeh, M., & Zare Chahouki, M. A. (2020). Modeling Ecosystem Production Services (Water Production) in Taleghan Middel Watershed. Iranian Journal of Ecohydrology, 7(2), 411-419. doi: 10.22059/ije.2020.287364.1196. (In Persian).

Madadi, A., Babaei olam, T., & Ghodrati, A. (2024). Forecasting Changes in the Morphology of Sefid Rood River Using Arc GIS. Journal of Geography, Urban and Regional Studies, 12(48), 20-33. (In Persian)

References (in English)

Armenteras, D., Murcia, U., González, T. M., Barón, O. J., & Arias, J. E., (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. Global Ecology and Conservation, 17,1-13.

Ávila-García, D., Morató, J., Pérez-Maussán, A. I., Santillán-Carvantes, P., Alvarado, J., & Comín, F. A. (2020). “Impacts of alternative land-use policies on water ecosystem services in the Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello watershed, Mexico”, Ecosystem Services, 45, 101179.

Bastola, S., Seong, Y. J., Lee, S. H & Jung, Y. (2019). Water yield estimation of the Bagmati basin of Nepal using GIS-based InVEST model. Journal of Korea Water Resources Association, 52(9), 637-645.

Birhanu, A., I. Masih. P. van der Zaag. J. Nyssen. & X. Cai. (2019). Impacts of land use and land cover changes on the hydrology of the Gumara catchment. Ethiopia, 4th International Conference on Ecohydrology. Soil and Climate Change, 109, 1-78.

Calanca, P. (2008). Climate change and drought occurrence in the Alpine region. Global and Planetary Changes,57:151-160.

Chen, Z., Huang, M., Zhu, D., & Altan, O. (2021). Integrating Remote Sensing and a Markov-FLUS Model to Simulate Future Land Use Changes in Hokkaido. Japan. Remote Sens, 13, 2621.

Hou, Y., & Wu, J. (2024). Land-Use and Habitat Quality Prediction in the Fen River Basin Based on PLUS and InVEST Models.

Kusi, K. K., Khattabi, A., & Mhammdi, N. (2023). “Evaluating the impacts of land use and climate changes on water ecosystem services in the Souss watershed, Morocco”, Arabian Journal of Geosciences, 16(2), 126.

Li, G., Jiang, C., Zhang, Y., & Jiang, G. (2021). “Whether land greening in different geomorphic units are beneficial to water yield in the Yellow River Basin?”, Ecological Indicators, 120, 106926.

Mirakhorlo, M., S. & M. Rahimzadegan. (2018). Integration of SimWeight and Markov Chain to Predict Land Use of Lavasanat Basin. Numerical Methods in Civil Engineering,2(4), 1-9.

Moe, I. R., Kure, S., Januriyadi, N. F., Farid, M., Udo, K., Kazama, S., & Koshimura, S.(2017). Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia. Hydrological Research Letters, 11(2), 99-105

Mohammadyari, F., Zarandian, A., Mirsanjari, M. M., Suziedelyte Visockiene, J., & Tumeliene, E. (2023). "Modelling Impact of Urban Expansion on Ecosystem Services: A Scenario-Based Approach in a Mixed Natural/Urbanised Landscape", Land, 12(2), 291.

Mrozik, K., Przybyła, Cz. 2013. Mała retencja w planowaniu przestrzennym, Poznań.

Panāhi, A., Jānbāz Ghoādi, G., Motavalli, S., & Khāledi, S. (2023). Measurement and Prediction of the Potential Occurrence of Floods Under Climate Change Conditions (Case study: Gorgānroud watershed). Geographical Studies of Coastal Areas Journal, 4(2), 45-61. doi: 10.22124/gscaj.2023.22411.1172

Quagliolo, C., Comino, E., & Pezzoli, A. (2021). Experimental flash floods assessment through urban flood risk mitigation (UFRM) model: the case study of Ligurian coastal cities. Frontiers in Water, 3, 663378.

Rashidiyan, M., & Rahimzadegan, M. (2024). Investigation and Evaluation of Land Use–Land Cover Change Effects on Current and Future Flood Susceptibility. Natural Hazards Review, 25(1), 04023049.

Rasouli, A.A., S. H. Safarov. M. Asgarova. E. S. Safarov & M. Milani. (2021). Detection and Mapping of Green-Cover and Landuse Changes by Advanced Satellite Image Processing Techniques; A Case Study: Azerbaijan Eastern Zangezur Economic Region. Azerbaijan AMEA-nın Biologiya və Tibb Elmləri Bölməsi Journal ,pp 1-19.

Redhead, J. W., Stratford, C., Sharps, K., Jones, L., Ziv, G., Clarke, D. & Bullock, J. M. (2016). Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. Science of the Total Environment, 569, 1418-1426.

Reheman, R., Kasimu, A., Duolaiti, X., Wei, B., & Zhao, Y. (2023). Research on the Change in Prediction of Water Production in Urban Agglomerations on the Northern Slopes of the Tianshan Mountains Based on the InVEST–PLUS Model. Water, 15(4), 776.

Roushangar, K., M. T., Aalami & H. Golmohammadi. (2022). Effect of Land Use Trends on the Amount of Agricultural Water Consumption in Urmia Lake Watershed in the Next 20 Years Using Markov Chain. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 12(2),115-131.

sarabi, M., Dastorani, M. T., & Zarrin, A. (2020). Investigating Impact of Future Climate Changes on Temperature and Precipitation Condition (Case Study: Torogh Dam Watershed, Mashhad). Journal of Meteorology and Atmospheric Science, 3(1), 63-83. doi: 10.22034/jmas.2021.278862.1129

Tavakoli, M. & Mohammadyari, F. (2022). "Modeling the spatial distribution of multiple ecosystem services in Ilam dam watershed, Western Iran: Identification of areas for spatial planning", Urban Ecosystems, pp. 1-20.

Wang, S., Hu, M., Wang, Y., & Xia, B. (2022). "Dynamics of ecosystem services in response to urbanization across temporal and spatial scales in a mega metropolitan area", Sustainable Cities and Society, 77, 103561.

Yang, D., Liu, W., Tang, L., Chen, L., Li, X & Xu, X. (2019). Estimation of water provision service for monsoon catchments of South China: Applicability of the InVEST model. Landscape and Urban Planning, 182, 133-143.

Yirsaw, E. Wu. W., X. Shi. H. Temesgeh & B. Bekele. (2017). Land use and land cover change modeling and the prediction of subsequent changes in ecosystem service values in a coastal area of China, The Su-Xi-Change region. Sustainability, 9 (7),1204.

Zarandian, A., Baral, H., Stork, N.E., Ling, M.A., Yavari, A.R., Jafari, H.R & Amirnejad, H. (2017). Modeling ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to the Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran. Land Use Policy,61, 487-500.

Zarandian, A., Mohammadyari, F., Mirsanjari, M. M., & Visockiene, J. S. (2023). "Scenario modeling to predict changes in land use/cover using Land Change Modeler and InVEST model: a case study of Karaj Metropolis, Iran", Environmental monitoring and assessment, 195(2), 273.