Evaluation of the Effects of Climate Change and Land Use on Snow Reserves and Ecosystem Services in the Karaj Watershed

Abulfazl Tayebi [a] , **Ahmad Nohegar** [b*], **MohammadJavad Amiri** [c]

[a] *PhD student, Department of Environment planning, Kish International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.*
[b] *Professor, Department of Disaster Engineering, Education and Environmental Systems, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.*
[c] *Asistant Professor, Department of Disaster Engineering, Education and Environmental Systems, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.*

Research Full Paper

Article History (Received: 2024/05/10 Accepted: 2024/07/8)

Extended abstract

1- Introduction

The watershed of the Karaj River, which is located in the southern of the Middle Alborz Mountain range in the north of the city of Karaj, is the source of water supply for the urban settlements of Karaj, Tehran and satellite towns, industrial towns, agriculture and environmental ecosystems of the regions. It is downstream. Amir Kabir Dam, which is one of the reservoirs for drinking water and supplying electricity to the megacities of Karaj and Tehran, is built on the Karaj River. If there is a change in the amount of water, snow storage or its land cover, it can severely affect the life of the downstream environmental and human ecosystems. In order to deal with these conditions, the situation of the Karaj watershed's snow reserves should be known. The land use map should be prepared with proper accuracy so that the ecosystem services that exist in this basin can be identified based on it. If the climatic condition and ecosystem services are estimated, a suitable strategic strategy for watershed management can be formulated. Therefore, the main goal of this current research is to evaluate and understand the changes in snow deposits and land use in the Karaj watershed in the last 30 years and the effect of these changes on the ecosystem services of this basin.

2- Methodology

By implementing the support vector machine (SVM) algorithm, the land use map for 1990 and 2020 was prepared. Considering the mountainous nature of the basin and the absence of urban or rural settlements, land use was classified into four classes: cold mountain pastures, water area, snow area and gardens. After preparing basic maps of land use and snow cover, the changes in ecosystem services provided by the Karaj watershed were quantified and compared in 1990 and 2020. InVEST software was used to calculate ecosystem services and the obtained maps were drawn in ArcGIS pro software.

3- Results

The results showed that in the last 20 years (2000-2020), about 6312 hectares of snow deposits in the Karaj watershed have melted and left the basin as runoff. From 1990 to 2020, about 14,640 hectares of cold mountain pastures have been reduced, but about 1,189 hectares have been added to the area of urban gardens. The results of the quantification of ecosystem services showed that the bad quality of ecosystem services increased by more than 15 thousand hectares in 2020, and the same amount of good quality of the ecosystem was reduced, that these changes are related to the conversion of pasture lands and bush vegetation to It is an urban garden. Also, about 113,313 tons of carbon deposition has been reduced over the past 30 years, the main reason for which is the conversion of pastures and groves to urban gardens. Therefore, it can be concluded that the conversion of pastures

* **Corresponding Author:** Nohegar@ut.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

and groves in the valleys of the Karaj River into man-made urban gardens and tourist attractions has reduced the ecosystem services of the Karaj watershed in the past 30 years.

4- Discussion & Conclusions

The reduction of pastures, bushes and cold woodlands in the Alborz mountains in the Karaj watershed and the increase of urban gardens and tourist centers lead to a decrease in the quality of the ecosystem and also to a decrease in the amount of carbon sequestered by natural pastures and groves. In such a way that during the last 30 years, about 104,826 tons of carbon sequestration has been reduced, which is caused by these land use changes. On the other hand, the good quality of ecosystems has also decreased by about 15,167 hectares and has turned into bad ecosystem quality. Therefore, it can be concluded that the land use changes and climate changes that happened during the last 30 years lead to a decrease in the services that the environmental ecosystems of the Karaj watershed can provide and cause environmental sustainability.

Key Words: Climate Change, Karaj Watershed, NDSI, Ecosystem Services, Carbon Sequestration.

Cite this article: Tayebi , A., Nohegar , A., & Amiri, M. (2025). Evaluation of the Effects of Climate Change and Land Use on Snow Reserves and Ecosystem Services in the Karaj Watershed. *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2025; 15 (1):66-82*. http//doi.org/ 10.61186/jeer.15.1.66

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/ 10.61186/jeer.15.1.66
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

ارزیابی اثرهای تغییراقلیم و کاربری‌های اراضی بر ذخایر برفی و خدمات اکوسیستمی در حوضهٔ آبخیز کرج

ابوالفضل طیبی : *دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط زیست، گروه محیط زیست، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، تهران*
احمد نوحه‌گر*: *استاد گروه مهندسی سوانح، آموزش و سیستم‌های محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران*
محمدجواد امیری: *استادیار گروه مهندسی سوانح، آموزش و سیستم‌های محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۸)
DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.1.66

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی محیط‌زیستی اثر تغییرات آب‌وهوایی و کاربری اراضی بر ذخایر برفی و خدمات اکوسیستمی در حوضه آبخیز کرج انجام شد. ابتدا تصاویر لندست سنجنده‌های TM، ETM و OLI برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ تهیه شد. شاخص NDSI بر روی تصاویر اعمال شد و پهنه‌های برفی استخراج گردید. نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ با اعمال الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM) بر روی تصاویر لندست به‌دست آمد. برای بررسی نقش تغییر اقلیم و تغییرات کاربری اراضی بر خدمات اکوسیستمی منطقه در بخش ترسیب کربن و تخریب سرزمین از نرم‌افزار InVEST و ArcGIS pro استفاده شد. نتایج نشان داد که در بیست‌سال اخیر (۲۰۰۰-۲۰۲۰) حدود ۶۳۱۲ هکتار از ذخایر برفی حوضه آبخیز کرج ذوب شده و به‌صورت رواناب از حوضه خارج شده است. از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، حدود ۱۴,۶۴۰ هکتار از مراتع سرد کوهستانی کاسته شده است، اما حدود ۱,۱۸۹ هکتار بر وسعت باغ‌شهری‌ها افزوده شده است. نتایج کمّی‌سازی خدمات اکوسیستمی نشان داد که کیفیت بد خدمات اکوسیستمی در سال ۲۰۲۰ بیش‌از ۱۵ هزار هکتار افزایش یافته است و همین مقدار از کیفیت خوب اکوسیستم کاسته شده است که این تغییرات مربوط به تبدیل اراضی مرتعی و پوشش گیاهی بوته‌ای به باغ‌شهری‌ها است. همچنین حدود ۱۱۳,۳۱۳ تُن ترسیب کربن در طی ۳۰ سال گذشته کاهش یافته است که دلیل اصلی آن تبدیل کاربری مرتعی و درختزار و به باغ‌شهری‌ها است. پس می‌توان نتیجه گرفت که تبدیل مراتع و درختزارها در دره‌های رودخانه کرج به باغ‌شهری‌های انسان‌ساخت و مراگز گردشگری، باعث کاهش خدمات اکوسیستمی حوضه آبخیز کرج در ۳۰ سال گذشته شده است.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، حوضهٔ کرج، شاخص NDSI، خدمات اکوسیستم، ترسیب کربن.

* **نویسندهٔ مسئول:** *nohegar@ut.ac.ir*

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]
[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

۱ـ مقدمه

میانگین دمای هوا طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ حدود ۱/۰۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ میلادی افزایش پیدا کرده است. روند افزایش دما ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و فعالیت‌های انسانی است و گاز مونوکسید کربن و متان بیشترین اثرگذاری را در افزایش دمای هوا داشته‌اند (Masson-Delmotte et al, 2021). تغییرات آب و هوایی که عمدتاً با افزایش دمای هوا، افزایش آنومالی بارش‌ها، کاهش پهنه‌های برفی، افزایش رطوبت مطلق هوا، افزایش ساعات آفتابی و تبخیر و تعرق شناخته می‌شود، منجر به تغییراتی در رژیم هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز شده است. گزارش ششم ارزیابی هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم نشان می‌دهد که از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۹ امواج گرمایی در خاورمیانه و آسیای میانه افزایش بسیار شدیدی داشته است؛ رژیم بارندگی در این منطقه از جهان تغییر کرده و تعداد بارش‌های سنگین و سیلابی افزایشی با درجه ضعیف بوده است؛ خشکسالی‌های کشاورزی افزایش شدیدی داشته است. در این گزارش، پدیده‌های اقلیمی برای سال‌های آینده نیز بر اساس سناریوهای SSP پیش‌بینی شده است و نشان می‌دهد که دمای سطح زمین و امواج گرمایی افزایش پیدا می‌کند؛ رژیم بارندگی تغییر کرده و بارش‌های سنگین و سیلاب‌های رودخانه‌ای افزایش می‌یابد (Das and Umamahesh, 2022)؛ خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی و اکولوژیکی افزایش می‌یابد؛ طوفان‌های گردوغباری و بادهای توفنده افزایش پیدا خواهد کرد؛ بارش‌های برفی و پرومافروست کاهش زیادی خواهد داشت؛ آتش‌سوزی ناشی از امواج گرمایی افزایش زیادی خواهد داشت؛ امواج دریایی، فرسایش ساحلی، سیلاب ساحلی و بالا آمدگی سطح دریا افزایش خواهد یافت (Wang et al., 2023)؛ انتشار مونوکسیدکربن؛ متان و تابش خورشیدی نیز افزایش خواهد یافت (Yamanoshita, 2019). این تغییرات در پدیده‌های آب و هوایی و محیطی آغازگر تغییرات در پوشش اراضی، حیات، اجزاء و نظم اکوسیستم‌ها می‌باشد.

افزایش دمای هوا و کاهش بارش‌های برفی موجب کاهش گسترهٔ برفی کوهستان‌ها می‌شود که منبع اصلی تغذیهٔ آب در حوضه‌های آبخیز است. با کاهش گسترهٔ برفی کوهستان‌ها و تسریع ذوب برف‌ها در اوایل بهار در نواحی نیمه خشک جهان، موجب خارج شدن آب از حوضه آبخیز شده و در تابستان که عملاً بارشی اتفاق نمی‌افتد، آب در اختیار موجودات زنده نیست و منجر به حذف تدریجی موجودات ضعیف در برابر کم‌آبی می‌شود (Klein et al., 2016). تغییر در رژیم بارش‌ها که در نواحی خشک و نیمه خشک طی سال‌های اخیر به صورت تأخیر در بارش‌های پاییزه، کاهش بارندگی زمستانه و افزایش بارش‌های رگباری بهاره است، موجب خارج شدن آب از دسترس گیاه می‌شود و پوشش گیاهی حوضه آبخیز تحت تأثیر آنومالی بارندگی قرار گرفته و آب قابل دسترس آن به‌شدت کاهش می‌یابد که موجب آشفتگی در اکولوژی گیاهی و حذف گیاهان ضعیف می‌شود (Van Vliet et al., 2016). حذف پوشش‌های گیاهی عواقب بسیار بدی برای محیط‌زیست دارد که موجب افزایش فرسایش و حذف خاک، کاهش نفوذ برف و بارش و کاهش زمان تأخیر و افزایش تولید رواناب و سیلاب، همچنین باعث کاهش ذخیره کربن در محیط می‌شود (McLaughlin et al., 2017). امواج گرمایی باعث افزایش تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاه می‌شود و با توجه به اینکه تغییر اقلیم موجب کاهش آب قابل دسترس گیاه شده است، این شرایط باعث به خطر افتادن اکولوژی گیاهی در منطقه می‌شود (Dieleman et al., 2015). بارش‌های سیلابی و رودخانه‌ای موجب افزایش فرسایش و حذف خاک، از بین بردن پوشش گیاهی و

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

خروج آب مورد نیاز اکوسیستم به‌ویژه در نواحی پایین دست حوضه می‌شود (Miller and Hutchins, 2017). این شرایط منجر به کاهش خدمات اکوسیستمی حوضه آبخیز می‌شود.

پوشش اراضی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای موثر بر خدمات اکوسیستمی عرضه شده توسط منابع طبیعی بوده و نوع کاربری اراضی هر منطقه کمیت و کیفیت عرضهٔ خدمات اکوسیستمی وابسته را تنظیم و تعیین می‌کند، به‌گونه‌ای که الگوی نامناسب کاربری اراضی می‌تواند علاوه بر تخریب پناهگاه‌ها و زیستگاه‌های حیات‌وحش، منجر به هدر رفت شدید آب، خاک و مواد غذایی شده و در نهایت تخریب عرصه‌های طبیعی را در پی داشته باشد (Wei et al., 2007). هرگونه تغییر در کاربری اراضی می‌تواند منجر به تغییر در تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی در یک منطقه شود. این در حالی است که در چند دههٔ اخیر تغییرات کاربری اراضی در دنیا، روند رو به رشدی داشته و سبب تخریب زیست‌بوم‌ها شده است و اثرات جبران‌ناپذیری بر کمیت و کیفیت خدمات عرضه شده توسط اکوسیستم‌های طبیعی وارد آورده است (Song and Deng, 2017).

افزایش جمعیت، افزایش مصرف مواد غذایی و انرژی، سطح توقعات مردم و همچنین گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، منجر به تدوین سیاست‌های کلان اقتصادی شده است که این مسائل تغییرات گسترده‌ای را در نحوهٔ استفاده از اراضی به‌وجود آورده است که به‌صورت مستقیم بر خدمات اکوسیستمی هر منطقه در مقیاس‌های حوضه آبخیز و منطقه‌ای تأثیر گذاشته و توان اکوسیستم‌ها در عرضهٔ خدمات را به‌شدت کاهش داده است (Lang et al., 2017). اکوسیستم‌ها منشاء تولید و عرضهٔ کالاها و خدمات وسیعی برای جوامع انسانی است که یکی از عناصر مهم برای تأمین رفاه اقتصادی به‌شمار می‌رود (Kieslich and Salles, 2021).

خدمات و کالاهای اکوسیستمی دارای انواع متفاوتی از ارزش‌های اکولوژیکی، اقتصادی و فرهنگی می‌باشند که ویژگی مشترک همهٔ آنها تنوع و تعدد چشمگیر آنهاست (Aryal et al., 2021). اما اکوسیستم‌ها دارای ظرفیت و توانی بوده که افزایش برداشت منابع و خدمات بیش از ظرفیت آنها، اجزای اکوسیستم را دچار اختلال می‌نماید (Daily, 1997). افزایش جهانی رفاه اقتصادی، افزایش و تغییر ساختارهای جمعیتی و همچنین تغییرات اقلیمی باعث افزایش برداشت منابع و خدمات از اکوسیستم‌ها شده که در نتیجه، تخریب منابع را به همراه دارد (Levin et al., 2020).

تغییر در پوشش اراضی سطحی از قبیل تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی و ساخت و ساز انسانی، تبدیل مراتع به اراضی بایر و یا به اراضی انسان‌ساخت، موجب تخریب سرزمین و اکوسیستم می‌شود. اراضی جنگلی دارای ارزش‌های اکوسیستمی متعددی همچون ذخیره کربن، تولید اکسیژن، تلطیف هوا، جلوگیری از فرسایش و حفاظت از خاک، تولید آب و غذا هستند. وقتی که اراضی جنگلی تغییر نموده و به اراضی کشاورزی، مرتعی و یا انسان‌ساخت شود، از ارزش خدمات اکوسیستمی آن کاسته می‌شود (Pohjanmies et al., 2017). اراضی مرتعی و بوته‌ای نیز دارای ارزش‌های محیطی زیادی هستند که حذف و از بین رفتن آن‌ها موجب کاهش خدمات اکوسیستمی می‌شود (Tolessa et al., 2017).

وقوع خشکسالی و بحران آبی، رشد بی‌رویه ساخت و سازهای انسانی، گرمایش جهانی و عدم مدیریت صحیح محیط‌زیستی، موجب تخریب اکوسیستم و سیمای سرزمین می‌شود که می‌توان به کاهش ذخیره کربن، کاهش تولید آب و مواد غذایی، حذف خاک و فرسایش اشاره نمود.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

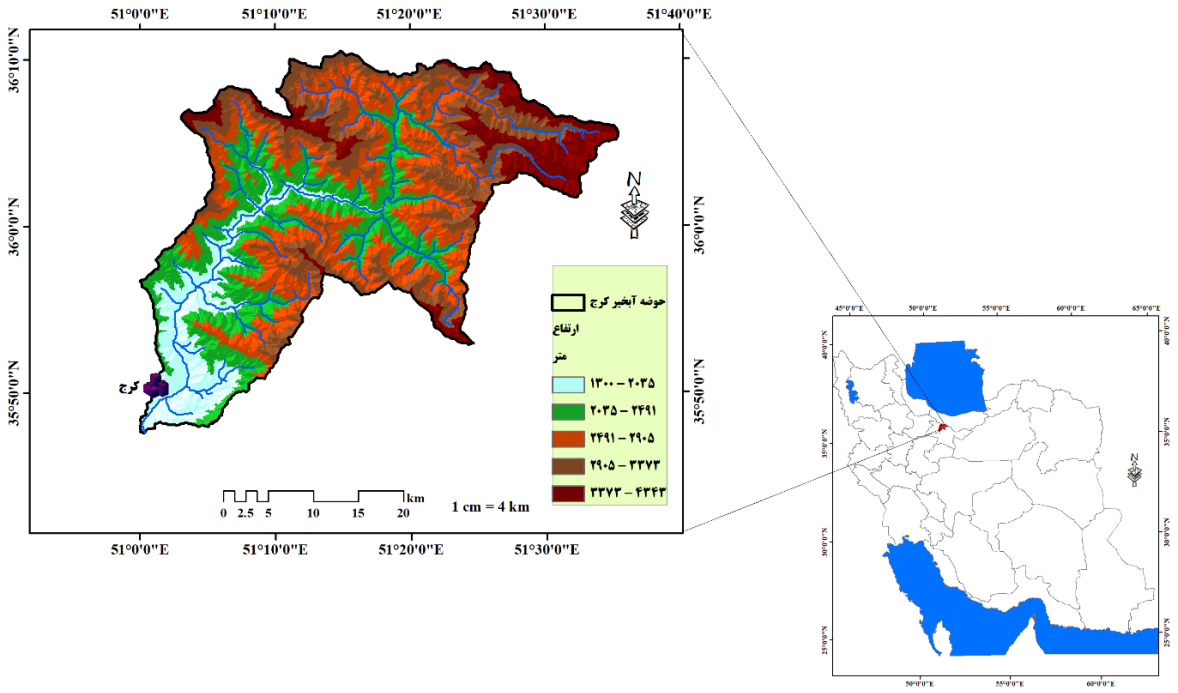
حوضه آبخیز رودخانه کرج که در کوهپایه‌های جنوبی رشته کوه البرز میانی در شمال شهر کرج قرار دارد، منشاء تأمین آب شرب سکونتگاه‌های شهری کرج، تهران و شهرک‌های اقماری، شهرک‌های صنعتی، کشاورزی و اکوسیستم-های محیطی مناطق پایین دست است. سد امیر کبیر که یکی از مخازن آب شرب و تأمین برق کلان‌شهرهای کرج و تهران است، بر روی رودخانه کرج احداث شده است. حدود ۵۴ هزار هکتار از منطقه حفاظت شده البرز مرکزی نیز در این حوضه آبخیز قرار دارد. اگر تغییری در میزان آب، ذخیرهٔ برفی و یا پوشش اراضی آن ایجاد شود، می‌تواند حیات اکوسیستم‌های محیطی و انسانی پایین دست را به شدت تحت تأثیر قرار بدهد. متأسفانه تغییرات آب و هوایی، وقوع دوره‌های طولانی خشکسالی، برداشت بی رویه از منابع آبی و همچنین تغییر در پوشش اراضی حوضه آبخیز روزخانه کرج منجر به مشکلاتی از قبیل کاهش ذخیره آب سد امیر کبیر، تضعیف اکوسیستم‌های حساس در منطقه حفاظت شده و تولید آب و برق در نواحی پایین دست شده است. برای مقابله با این شرایط و برنامه‌ریزی محیط‌زیستی جهت جلوگیری از مشکلات پیشرو در آینده، بایستی وضعیت ذخایر برفی حوضه آبخیز کرج شناخته شود. نقشه کاربری اراضی با دقت مناسب تهیه شود تا بتوان بر مبنای آن، خدمات اکوسیستمی که در این حوضه وجود دارد شناسایی کرد. در صورت برآورد وضعیت اقلیمی و خدمات اکوسیستمی، می‌توان استراتژی راهبردیِ مناسبی برای مدیریت حوضه آبخیز تدوین نمود. بنابراین هدف اصلی این پژوهش حاضر، ارزیابی و شناخت تغییرات ذخایر برفی و کاربری اراضی حوضه آبخیز کرج در ۳۰ سال گذشته و اثر این تغییرات بر خدمات اکوسیستمی این حوضه است.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

حوضــه آبریز کرج در محدودهٔ عرض‌های ´۵۷ °۳۵ تا ´۱۰ °۳۶ شــمالی و ´۳ °۵۱ تا ´۳۵ °۵۱ طول شرقی واقع شده‌است (شــکل ۱). این حوضــه، یکی از زیرحوضــه‌های دریاچه نمک در فلات مرکزی ایران است که در شمال استان البرز و قسمت‌های زیادی از آن در کوهستان البرز قرار دارد. پایین‌ترین نقطهٔ حوضه در ارتفاع ۱۳۰۰ متر در شهر کرج است و مرتفع‌ترین نقطهٔ آن بر اساس لایه رقومی SRTM، ۴۳۴۳ متر ارتفاع دارد. مساحت حوضه نیز ۱۰۹۷ کیلومتر مربع است. از نظر ژئومورفولوژی ســاختمانی، این حوضه در هر واحد البرز مرتفع قرارگرفته‌است. رودخانهٔ کرج که حاصل اتصال ســرشاخه‌های البرز مرکزی است، مهم‌ترین رودخانهٔ این حوضه است که با احداث سد امیرکبیر، از منابع آبی آن برای تأمین آب شرب و برق‌آبی کرج و تهران استفاده می‌شود.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضهٔ آبخیز کرج در کوهستان البرز

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

در این پژوهش از داده‌های خاک، پوشش گیاهی و تصاویر ماهواره‌ای به شرح جدول ۱ استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ در فصل زمستان با پوشش ابری کمتر از ۱۰ درصد برای استخراج برف استفاده گردید. همچنین تصاویر ماهواره‌ای لندست ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ در فصل تابستان برای استخراج کاربری اراضی بدون پوشش ابری استفاده گردید.

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در پژوهش

داده	رزولیشن / ماهیت	کاربرد	منابع داده‌ها
بافت خاک	نقطه‌ای	ترسیب کربن	نقشهٔ واحدهای اراضی (نویسندگان)
لایهٔ رقومی SRTM	۳۰ متر	کاربری اراضی	earthexplorer.usgs.gov
تصاویر ماهوارهٔ لندست	۳۰ متر	استخراج برف و کاربری اراضی	

پردازش تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش جهت استخراج پهنه‌های برفی و کاربری اراضی صورت گرفت. بنابراین تصاویر ماهواره‌ای به دو بخش مجزا تقسیم شد: الف) تصاویر لندست فصل زمستان برای استخراج برف؛ ب) تصاویر لندست فصل تابستان برای استخراج کاربری اراضی.

استخراج برف

ابتدا با عملیات پیش‌پردازش، خطای ناشی از اعوجاج تصاویر و ارتعاشات رادیومتریک حذف شد. دلیل پیش‌پردازش تصاویر این است که استخراج برف با شاخص NDSI با استفاده از رفتار طیفی پیکسل‌های تصویر انجام می‌شود، به‌همین دلیل تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری یک از ضروریات است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]
[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

پس از تصحیحات، شاخص NDSI برای استخراج برف بر روی تصاویر لندست اعمال شد. برف بازتابش بالا در طیف مرئی و بازتابش پایین در ناحیه فروسرخ دارد. اجرای فرمول (۱) بر روی تصویر لندست، باعث جداسازی برف از دیگر کاربری‌ها می‌شود. مقدار عددی این شاخص بین ۱+ تا ۱- است که مثبت آن بیان‌گر وجود برف و منفی بیان‌گر عدم وجود برف است. آستان‌گذاری ۰/۵+ دقت جداسازی برف را بیشتر می‌کند و در این پژوهش از این آستانه استفاده شد. این شاخص بر روی تصاویر لندست سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ اعمال و پهنه‌های برفی استخراج شد.

رابطهٔ ۱

$$NDSI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

استخراج کاربری اراضی

برای استخراج کاربری‌های اراضی نیز از تصاویر لندست سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ استفاده گردید. برای تهیه نقشه کاربری اراضی، از نرم‌افزار تحت وب گوگل‌ارث انجین (GEE) و کدنویسی فرمول‌ها استفاده گردید. ابتدا نقاط آموزشی برای کاربری‌های موجود از روی تصاویر استخراج گردید.

با اجرای الگوریتم ماشین بُردار پشتیبان (SVM) نقشه کاربری اراضی برای سال ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ تهیه گردید. با توجه به کوهستانی بودن حوضه و عدم وجود سکونتگاه‌های شهری و یا روستایی، کاربری در چهار کلاس مراتع سرد کوهستانی، پهنه آبی، پهنه برفی و باغات طبقه‌بندی شد.

خدمات اکوسیستم

در این پژوهش، پس از تهیه نقشه‌های پایه کاربری اراضی و پوشش‌های برفی، تغییرات خدمات اکوسیستمی که حوضه آبخیز کرج ارائه می‌دهد، در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ میلادی کمّی‌سازی و مقایسه گردید. از نرم‌افزار InVEST برای محاسبه خدمات اکوسیستمی استفاده گردید و نقشه‌های به‌دست آمده در نرم‌افزار ArcGIS pro ترسیم گردید.

خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن

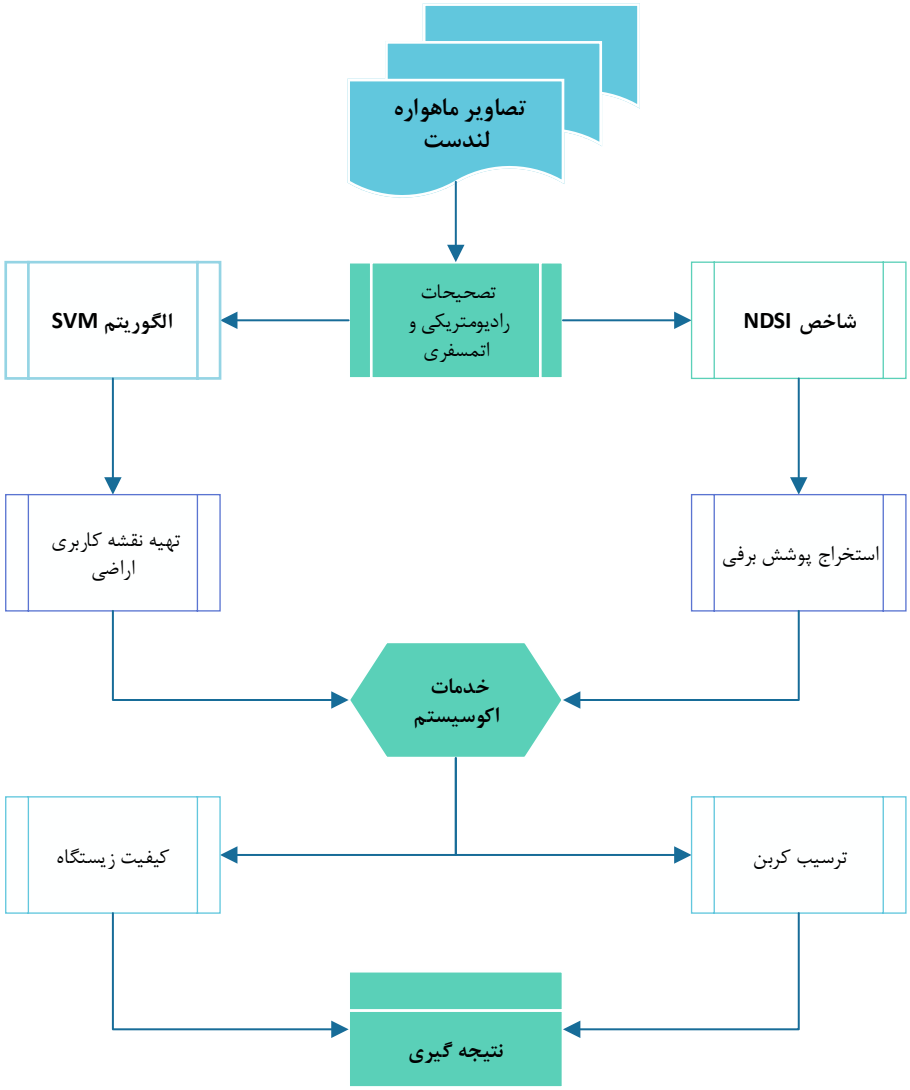
ذخیره کربن نقش زیادی در بهبود محیط‌زیست دارد و هرچه در یک حوضه ترسیب کربن توسط اجزای محیط بیشتر باشد، اکوسیستم آن سالم‌تر است و نقش مثبتی در بهبود وضعیت آب‌وهوایی خواهد داشت. ترسیب کربن در چهار بخش شامل: زیست توده بالازمینی، زیست توده زیرزمینی، لایه معدنی خاک و ماده آلی لاشبرگ انجام می‌شود. مجموع کربن ذخیره شده در این مخازن بر اساس نقشهٔ کاربری اراضی انجام می‌شود. زیست توده بالازمینی شامل گیاهان زنده به‌ویژه درختان و بوته‌های طبیعی؛ زیست توده زیرزمینی شامل ریشه گیاهان است؛ لاشبرگ شامل اجزای آلی خاک است. با وارد کردن نقشه کاربری اراضی به مدل، پتانسیل ذخیرهٔ کربن در هر کاربری محاسبه می‌شود و نقشهٔ نهایی ذخیره کربن در کل محاسبه می‌شود. در این پژوهش نقشه‌های کاربری سال ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ جهت شناسایی تغییرات ترسیب کربن وارد مدل شد و ترسیب کربن به‌دست آمد.

خدمت اکوسیستمی کیفیت اکوسیستم

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

هرچه کاربری‌های اراضی طبیعی به‌ویژه جنگل، مرتع و بوته‌زار در حوضه بیشتر باشد، کیفیتی که اکوسیستم دارد و خدماتی که ارائه می‌دهد، بهتر از اکوسیستم‌هایی است که دارای اراضی انسان‌ساخت مانند شهر و روستا، کشاورزی، اراضی شور و بیابانی می‌باشد. برای محاسبهٔ کیفیت زیستگاه‌های اکوسیستمی، از نرم‌افزار InVEST استفاده شد. ورودی آن شامل نقشه کاربری اراضی و نقشه‌های منابع تهدید یا خطر است. فایل پیکسلی (رستری) منبع تهدید و نقشه کاربری اراضی وارد مدل شده و کیفیت اکوسیستم و خطری که آنها را تهدید می‌کند، محاسبه می‌شود. در این پژوهش، منبع تهدید برای اکوسیستم‌های کوهستانی حوضه آبخیز کرج، توسعه باغ‌شهری‌های انسان‌ساخت در دره‌های باریک و هموار رودخانه کرج است که فایل رستری آن به همراه نقشه کاربری اراضی (سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰) وارد نرم‌افزار شد. سپس مدل، محاسبات مربوط به کیفیت اکوسیستم را محاسبه نموده و خروجی آن به صورت نقشه فازی صفر تا یک است که هر چه به یک نزدیک باشد، بیان‌گر کیفیت خوب و نزدیک به صفر، کیفیت بد اکوسیستم و خطر تخریب زیستگاه است.



شکل ۲: نمودار مراحل انجام پژوهش

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

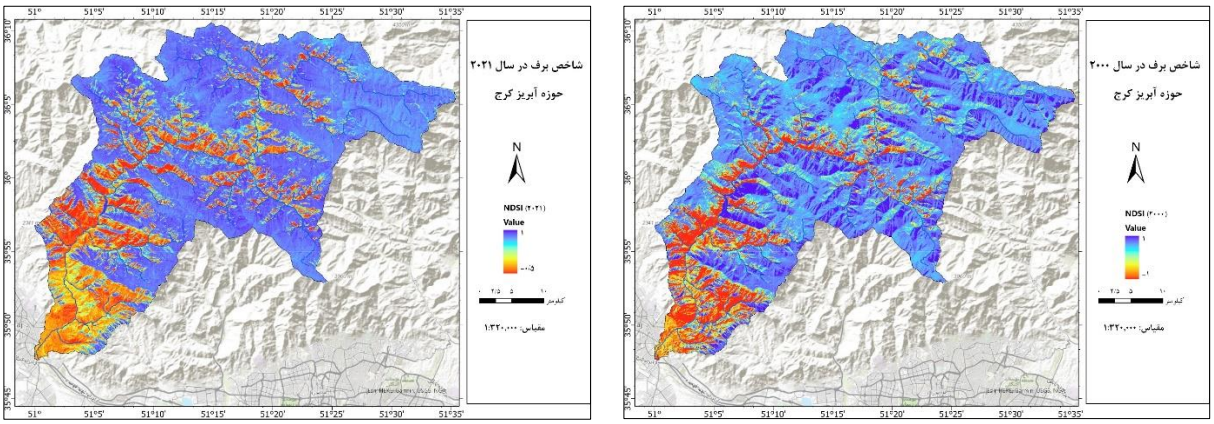
۴- یافته‌ها

نتایج اســتخراج پهنه‌های برفی با شــاخص NDSI بر روی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که در طی ۲۰ سال (۲۰۰۰-۲۰۲۰) حدود ۶۳۱۲ هکتار از پهنه‌های برفی حوضــه آبخیز کرج از بین رفته اســت. بیشترین روند کاهشی برف در ۱۰ سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ بوده است که خشکسالی‌های این دهه دلیل اصلی این کاهش برف است. کاهش برف در دامنه‌های شــیب‌دار منتهی به درهٔ باریک رودخانه کرج اتفاق افتاده است (شکل). دلیل اصلی وقوع سیلاب‌های رودخانه کرج نیز همین ذوب‌شدن‌های ذخایر برفی حوضه آبخیز کرج است که در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ شدت زیادی داشته است.

جدول ۱: تغییرات ذخایر برفی حوضه آبخیز کرج در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ (برحسب هکتار)

سال	مساحت	تغییرات مساحت
۲۰۰۰	۹۱۹۲۲	-
۲۰۰۵	۸۸۳۳۹	-۳۵۸۳
۲۰۱۰	۸۶۸۱۴	-۱۵۲۵
۲۰۱۵	۸۱۲۲۵	-۵۵۸۹
۲۰۲۰	۷۷۵۷۵	-۳۶۵۰
۲۰۲۰-۲۰۰۰	۶۳۱۲	-۶۳۱۲

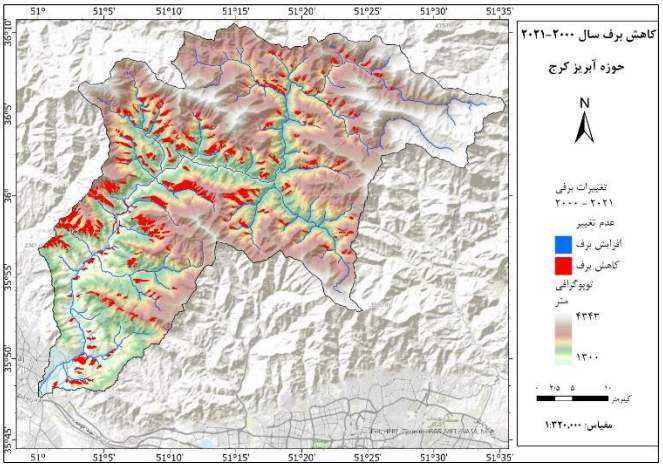
نتایج اســتخراج پهنه‌های برفی با شــاخص NDSI بر روی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که در طی ۲۰ سال (۲۰۰۰-۲۰۲۰) حدود ۶۳۱۲ هکتار از پهنه‌های برفی حوضــه آبخیز کرج از بین رفته اســت. بیشترین روند کاهشی برف در ۱۰ سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ بوده است که خشکسالی‌های این دهه دلیل اصلی این کاهش برف است. کاهش برف در دامنه‌های شــیب‌دار منتهی به درهٔ باریک رودخانه کرج اتفاق افتاده است (شکل). دلیل اصلی وقوع سیلاب‌های رودخانه کرج نیز همین ذوب‌شدن‌های ذخایر برفی حوضه آبخیز کرج است که در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ شدت زیادی داشته است.



شکل ۲: استخراج پوشش‌های برفی حوضه آبخیز کرج با شاخص NDSI در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]



شکل ۲: تغییرات ذخایر برفی حوضه آبخیز کرج در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰

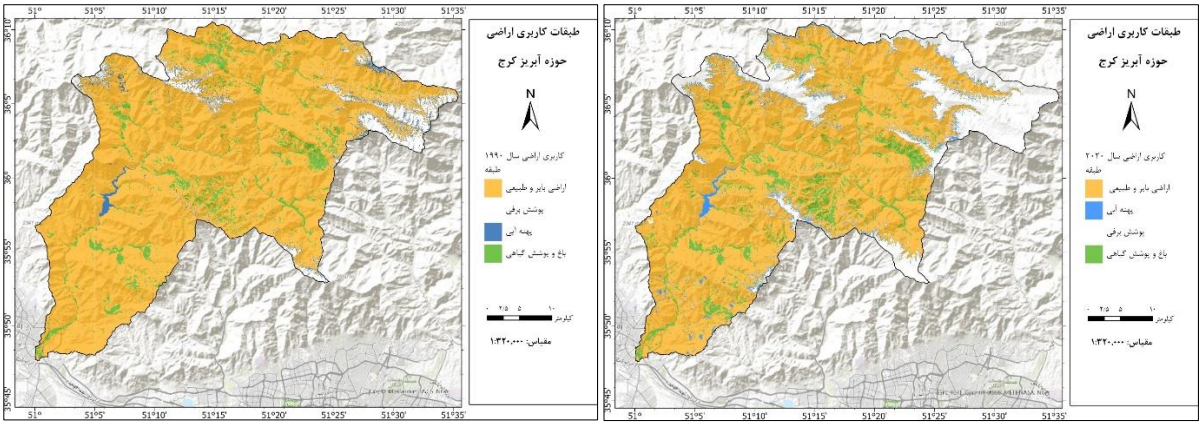
نتایج بررسی کاربری اراضی در حوضه آبخیز کرج در طی ۳۰ سال (۱۹۹۰-۲۰۲۰) نشان داد که تغییراتی در کاربری‌ها صورت گرفته است و عمدتاً مربوط به تبدیل مراتع سرد در دره‌های باریک و هموار سواحل رودخانه کرج به باغ‌شهری‌های انسان‌ساخت است. اگرچه تصاویر در تابستان اخذ شده است، اما بازهم پهنه‌های برفی در کوهستان‌های مرتفع وجود دارد. مساحت باغات در دره‌های کرج در سال ۱۹۹۰ حدود ۷۹۰۲ هکتار بود، اما در دهه ۲۰۰۰ روند کاهشی شدیدی داشت، ولی این کاهش مربوط به باغات درون دره‌های کرج نبود، بلکه مربوط به پوشش گیاهی متراکم در دامنه‌های کم‌شیب بود که قابلیت جداسازی از باغات در تهیه نقشه کاربری نبود، چون‌که بازتاب طیفی آنها شبیه به باغات بود و به همین دلیل این درختان متراکم با باغات در یک طبقه قرار گرفت. در شکل (۴-۲۳) نیز نمایان است که تغییرات مربوط به پوشش‌های گیاهی متراکم در دامنه‌های کم‌شیب بوده است، باغات تغییری نداشته است. اما در سال ۲۰۲۰ بر مساحت باغات در کف دره‌های کرج افزوده شد و می‌توان گفت اغلب دره‌های هموار به زیرکشت باغات رفته است و باغ‌شهری ایجاد شده است. این تغییر مربوط به تبدیل مراتع و درختزار پراکنده در دره‌های هموار کرج به باغات است ().

جدول ۲: تغییرات ذخایر برفی حوضه آبخیز کرج در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ (برحسب هکتار)

کاربری اراضی	۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۲۰	تغییرات از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰
مراتع کوهستانی	۹۴,۰۹۹	۱۰۳,۶۷۴	۷۹,۴۵۹	-۱۴,۶۴۰
پهنه آبی	۳,۰۱۷	۱,۸۱۰	۳,۹۷۳	+۹۵۶
پهنه برفی	۴,۶۷۶	۰	۱۷,۱۷۹	+۱۲,۵۰۳
باغ و پوشش گیاهی متراکم	۷,۹۰۲	۴,۲۲۰	۹,۰۹۱	+۱,۱۸۹

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

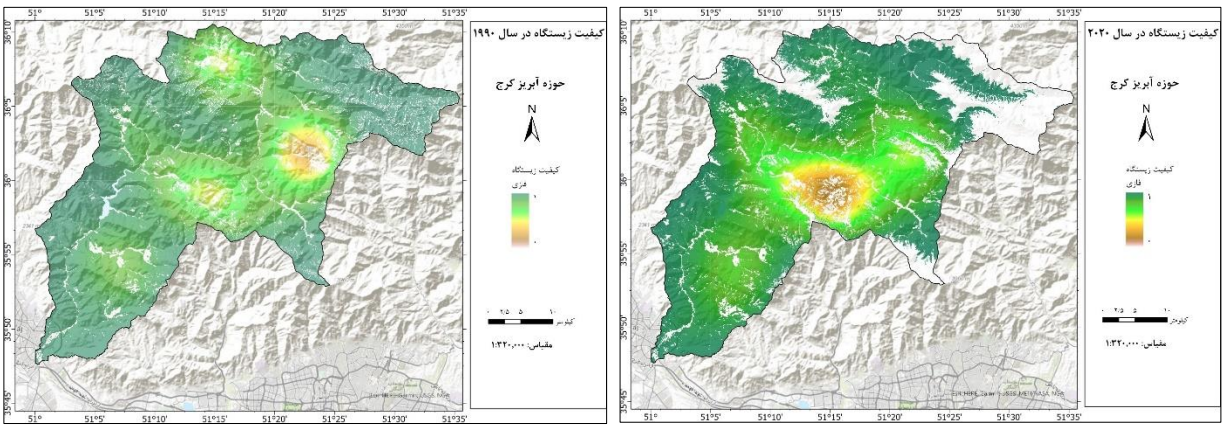


شکل ۴: نقشه‌های کاربری اراضی حوضه آبخیز کرج در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

نتایج بررسی کیفیت زیستگاه‌ها در اکوسیستم حوضه آبخیز کرج نشان داد که کیفیت‌ها به سه طبقهٔ کیفیت بد، کیفیت متوسط و کیفیت خوب دسته‌بندی می‌شود. کیفیت بد خدمات اکوسیستمی در سال ۲۰۲۰ افزایش زیادی داشته است. خدمات با کیفیت خوب بیش از ۱۵ هزار هکتار در سال ۲۰۲۰ به کیفیت بد تغییر یافته است. این تغییرات مربوط به تبدیل اراضی مرتعی و پوشش گیاهی بوته‌ای و درختزار پراکنده حوضه آبخیز کرج به باغ‌شهری‌ها در دره‌های هموار کرج و همچنین افزایش ساخت‌وساز شهر کرج در خروجی حوضه در مخروط‌افکنهٔ کرج در جنوب حوضه است. افزایش این کاربری‌های انسانی موجب کاهش کیفیت خوب اکوسیستم‌های حوضه آبخیز کرج در طی ۳۰ سال گذشته شده است (جدول ۳).

جدول ۳: تغییرات کیفیت زیستگاه‌ها در اکوسیستم حوضه آبخیز کرج در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ (برحسب هکتار)

کیفیت اکوسیستم	۱۹۹۰	۲۰۲۰	تغییرات از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰
کیفیت بد	۱۰,۷۸۱	۲۶,۱۵۸	+۱۵,۳۷۷
کیفیت متوسط	۱,۶۴۶	۱,۴۴۳	-۲۰۳
کیفیت خوب	۹۷,۲۶۷	۸۲,۱۰۰	-۱۵,۱۶۷



شکل ۵: نقشه‌های کیفیت زیستگاه‌های اکوسیستم حوضه آبخیز کرج در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

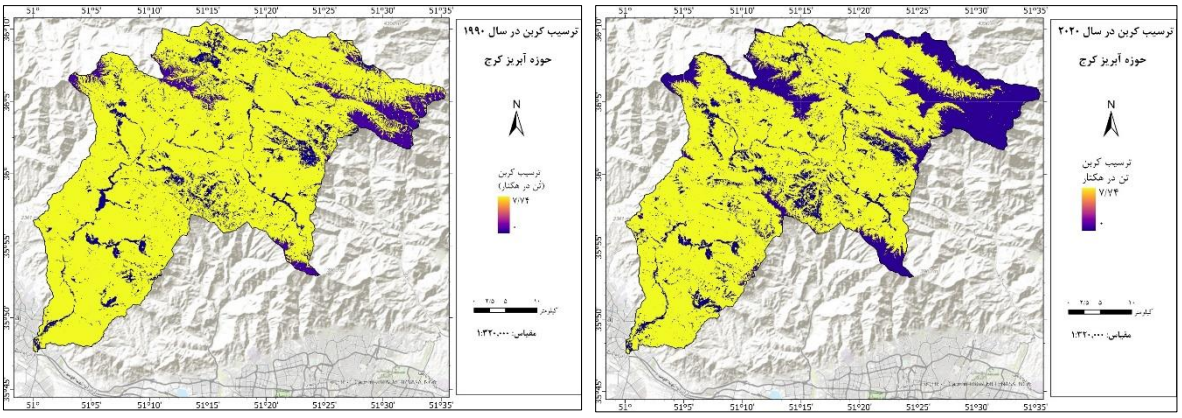
[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

نتایج در چهار طبقهٔ ترسیب کربن بر حسب تُن در هکتار محاسبه شد و برای هر طبقه، میزان کربنی که در کل حوضه آبخیز کرج ترسیب می‌شود نیز محاسبه شد (جدول ۴-۸). نتایج بیان‌گر این است که در سال ۱۹۹۰، کل کربنی که اکوسیستم‌ها و اجزای زنده و غیرزندهٔ حوضه ترسیب کردند، حدود ۷۴۲,۵۰۴ تُن می‌باشد. بیشترین میزان ترسیب در طبقهٔ ۷/۷۴ تُن در هکتار اتفاق افتاده است که ۹۴,۰۹۹ هکتار در حوضه آبخیز کرج وسعت دارند و این طبقه خود باعث ترسیب ۷۲۸,۳۲۶ تُن کربن شده است که حدود ۹۸ درصد از کل ترسیب در حوضه را به خود اختصاص داده است. این طبقه که ۷/۷۴ تُن در هکتار کربن ترسیب می‌کند، مربوط به طبقهٔ کاربری مراتع سرد کوهستانی در حوضه آبخیز کرج می‌باشد که نقشه توزیعی آن نیز در شکل (۴-۲۹) نشان داده شده است.

در سال ۲۰۲۰، کاربری اراضی تا حدودی نسبت به سال ۱۹۹۰ تغییر کرد و این تغییر باعث تغییراتی در میزان کربن ترسیب شده در حوضه آبخیز کرج شده است. در سال ۲۰۲۰ در طبقهٔ ۷/۷۴ تُن در هکتار، ترسیب کربن نسبت به سال ۱۹۹۰ حدود ۱۱۳,۳۱۳ تُن کاهش یافته است، چون‌که کاربری مراتع کوهستانی که ۷/۷۴ تُن در هکتار، کربن ترسیب می‌کنند، در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ کاهش یافته است و این خود منجر به کاهش ترسیب کربن در حوضه آبخیز کرج شده است. به طور کلی در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۰۴,۸۲۶ تُن کاهش ترسیب کربن اتفاق افتاده است (جدول).

جدول ۳: تغییرات کیفیت زیستگاه‌ها در اکوسیستم حوضه آبخیز کرج در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

طبقه (تُن در هکتار)	۱۹۹۰ (تُن)	۲۰۲۰ (تُن)	تغییرات از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ (تُن)
۰/۰۴	۳۱۶	۳۶۳	+۴۷
۰/۷۲	۲,۱۷۲	۱۲,۳۶۸	-۱۰,۱۹۶
۲/۵	۱۱,۶۹۰	۹,۹۳۲	-۱,۷۵۷
۷/۷۴	۷۲۸,۳۲۶	۶۱۵,۰۱۲	-۱۱۳,۳۱۳
مجموع	۷۴۲,۵۰۴	۶۳۷,۶۷۷	-۱۰۴,۸۲۶



شکل ۶: نقشه‌های ترسیب کربن در حوضه آبخیز کرج در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

در مناطقی که نیاز به استخراج پهنه‌های برفی با دقت بالاتر است، سنجنده‌هایی که تفکیک مکانی بهتری نسبت به سنجنده‌های ماهواره MODIS دارند، توانایی بیشتری داشته که یکی از مهم‌ترین ماهواره‌ها، LANDSAT بوده که توان تفکیک مکانی آن ۳۰ متر است و می‌تواند حتی در یک دامنهٔ کوهستانی و دره‌ها نیز پهنهٔ برفی را استخراج نماید. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های استخراج برف از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص NDSI است که به‌دلیل انعکاس پایین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص می‌تواند در تشخیص پوشش برف از سایر پدیده‌ها بسیار مفید باشد. در شبه‌جزیره برانزویک در جنوب پاتاگونیای آرژانتین، پژوهشگران برای استخراج پهنه‌های برفی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ از اعمال الگوریتم NDSI بر روی تصاویر MODIS استفاده نموده و نشان دادند که این شاخص توانایی استخراج پهنه‌های برفی را داشته و طی بازهٔ زمانی مربوطه، مساحت پهنه‌های برفی ۱۹ درصد کاهش یافته است (Aguirre et al., 2018). در جنوب مرکزی کوهستان بریتیش کلمبیا در آمریکا، پهنه‌های برفی با شاخص NDSI استخراج شد که نتایج نشان داد تصاویر LANDSAT قابلیت بهتری در شناسایی پهنه‌های برفی دارند، چون تصاویر MODIS به دلیل تفکیک مکانی پایین در نواحی سایه دارای خطاهای زیادی بوده و نمی‌تواند خروجی قابل قبولی داشته باشد (Mityók et al., 2018). در این پژوهش نیز شاخص NDSI به‌خوبی توانست پهنه‌های برفی کوهستان البرز در حوضه آبخیز کرج را از دیگر کاربری‌ها جدا کند. نتایج پژوهش نشان داد که پهنه‌های برفی حوضه آبخیز کرج در طی ۲۰ سال حدود ۶۳۱۲ هکتار کاهش یافته است. در شمال‌غربی ایران نیز بارش‌های برفی در تبریز و ارومیه روند معنادار کاهشی داشته است (Sabour and Mirmusavi, 2013).

تغییرات خدمات اکوسیستم ناشی از تغییر کاربری زمین یک شاخص مهم و اولیه هشدار تغییرات اکولوژیکی است؛ پژوهشی با هدف تجزیه و تحلیل اثرات کاربری زمین بر ارزش خدمات اکوسیستم در منطقه آفریقایی-آلپی کوه Guna، شمال‌غربی اتیوپی با طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از تصاویر لندست در سال های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۰ به صورت تصادفی انجام شد. نتایج گسترش زمین‌های زراعی در منطقه آفریقایی-آلپی کوه گونا را نشان داد. سایت مورد مطالعه بین سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۲۰ به میزان ۹,۷۸ ۱۰۶ دلار کاهش یافت. ارزش‌های خدمات تنظیم‌کننده برای بیشترین سهم، با بیش از ۴۲ درصد در تمام دوره‌ها و پس از آن ارزش‌های ارائه و پشتیبانی خدمات که به ترتیب بیش از ۲۹ درصد و ۱۳ درصد و خدمات فرهنگی کمترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند (Belay et al., 2022).

تجزیه و تحلیل جامع و کمی بهتر از پویایی زمانی-مکانی استفاده از زمین و پوشش در مناطق پست خشک اتیوپی برای بازسازی مناظر تخریب شده بسیار مهم است. پژوهشی با هدف تجزیه و تحلیل روند تغییرات کاربری زمین و تعیین ارزش خدمات اکوسیستم در منطقه Kwet اتیوپی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانی برای سه دوره ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ انجام شد. تجزیه و تحلیل کاربری زمین نشان داد که اراضی زیر کشت غالب‌ترین بوده که بیش از ۴۱ درصد از سطح مورد مطالعه را پوشش می‌دهد. جنگل‌ها افزایش خالص ۱۸,۲ درصدی را نشان دادند. بوته‌زار دومین بخش بزرگ را در تمام تجزیه و تحلیل کاربری زمین در کنار زمین‌های زیر کشت به خود اختصاص داد و کاهش خالص ۲۹,۲٪ را نشان داد. مرتع باز افزایش دوره‌ای را نشان داد. در طول ۲۰ سال گذشته، مساحت ساخته شده و زمین بایر به ترتیب ۱,۸۰ و ۱,۰۱ کیلومتر مربع در سال به طور مداوم رشد کرده‌اند. ارزش خدمات اکوسیستم از ۲,۳۷ میلیون دلار برای بوته‌زار در

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

سال ۱۹۹۵ تا ۲۲,۴۹ میلیون دلار برای زمین‌های جنگلی در سال ۲۰۰۸ متغیر بود. کل خدمات اکوسیستمی منطقه نیز به طور مداوم در دو دهه گذشته کاهش یافته است. (Tesfay et al., 2022). در پژوهش حاضر نیز اراضی باغی افزایش یافته و اراضی مرتعی و درختزارهای کوهستانی کاهش یافته‌اند و موجب کاهش خدمات اکوسیستمی در منطقه شده است که با نتایج این پژوهش نیز همسو است.

بوته‌زارها و مراتع نقش زیادی در نگهداشت خاک دارند، به‌گونه‌ای که ریشه‌های آنها طویل بوده و در خاک گسترش زیادی دارند. با جذب آب توسط ریشه‌ها و اتصال خاکدانه‌ها به ریشه، باعث می‌شود که خاکدانه‌ها شکل پایداری بگیرند (Rúa et al., 2016). از طرف دیگر، بوته‌ها با کاهش سرعت رواناب و افزایش نفوذ، موجب کاهش سیلابی شدن حوضه می‌شوند. بنابراین بوته‌ها و مراتع در جلوگیری از فرسایش و نگهداشت خاک نقش مثبتی دارند (Allison, 1973). اما با تبدیل آن به کشاورزی، عملاً نقش پایداری خاکدانه از بین رفته و با وقوع بارش، سیلاب به راه می‌افتد. پس می‌توان گفت که تبدیل بوته‌زار و اراضی مرتعی به زمین‌های زراعی، فرسایش خاک افزایش یافته و ظرفیت نگهداشت خاک کاهش می‌یابد.

بوته‌ها نقش زیادی در تثبیت و ترسیب کربن دارند؛ به‌گونه‌ای که با دریافت دی اکسید کربن و تبدیل آن به کربوهیدرات موجب رشد اندام‌های بوته می‌شود و به طویل شدن ریشه نیز کمک می‌کند. اما با تبدیل آن به زمین کشاورزی و برداشت سالانهٔ محصول، عملاً کربنی تثبیت نمی‌شود و این باعث کاهش ترسیب کربن در منطقه می‌شود. در زمین‌های باغی، حجم زیادی از آب برای تولید محصول مصرف می‌شود و آب از اکوسیستم خارج می‌شود، اما در بوته‌زارها، آب برای زیستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد و در چرخه اکوسیستم نقش مثبتی دارد. در زمین‌های باغی به دلیل استفاده از مواد شیمیایی و صنعتی، خاک به شدت آلوده می‌شود و تخلیهٔ پساب و ضایعات کشاورزی به رودخانه، منجر به آلودگی محیط‌زیست و اکوسیستم‌ها می‌شود (Gregory, 2007).

کاهش ذخایر برفی، وقوع تغییر اقلیم در طی ۳۰ سال منجر به تغییراتی در اکوسیستم‌های محیطی حوضه آبخیز کرج شده است. برای تجزیه و تحلیل این تغییرات، خدمات اکوسیستمی که تحت تاثیر تغییراقلیم و تغییر کاربری‌های انسانی هستند، در حوضه آبخیز کرج در این پژوهش بررسی و محاسبه شد و مقدار عددی آنها در هر نقطه از حوضه به دست آمد. در طی سی سال گذشته، مساحت کاربری‌ها تغییراتی داشته است که اغلب آنها مربوط به تبدیل مراتع و درختزارهای پراکنده در دره‌های هموار و باریک رودخانه کرج به باغ‌شهری‌های انسانی است که حدود ۱,۱۸۹ هکتار از این مراتع به باغ‌شهری و مراکز گردشگری تبدیل شده است. این تغییر کاربری‌ها منجر به تغییر در خدماتی شده است که اکوسیستم‌های محیطی ارائه می‌دهند. کاهش مراتع، بوته‌زارها و درختزارهای سرد کوهستانی البرز در محدوده حوضه آبخیز کرج و افزایش باغ‌شهری‌ها و مراکز گردشگری منجر به کاهش کیفیت اکوسیستم و همچنین کاهش میزان کربنی است که توسط مراتع و درختزارهای طبیعی ترسیب می‌شود؛ به‌گونه‌ای که در طی ۳۰ سال گذشته، حدود ۱۰۴,۸۲۶ تُن کاهش ترسیب کربن اتفاق افتاده است که ناشی از همین تغییرات کاربری اراضی است. از طرفی کیفیت خوب اکوسیستم‌ها نیز حدود ۱۵,۱۶۷ هکتار کاهش یافته و به کیفیت بد اکوسیستم تبدیل شده است. بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که تغییرات کاربری اراضی و تغییرات اقلیمی اتفاق افتاده در طی ۳۰ سال گذشته منجر به کاهش خدماتی است که اکوسیستم-های محیطی حوضه آبخیز کرج می‌توانند ارائه دهند و باعث پایداری محیط‌زیست شوند.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

منابع

1. Aguirre, F., Carrasco, J., Sauter, T., Schneider, C., Gaete, K., Garín, E., & Casassa, G., 2018. Snow cover change as a climate indicator in Brunswick Peninsula, Patagonia. *Frontiers in Earth Science*, 6, 130.
2. Allison, F. E. (1973). Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier.
3. Aryal, K., Ojha, B. R., & Maraseni, T. (2021). Perceived importance and economic valuation of ecosystem services in Ghodaghodi wetland of Nepal. *Land Use Policy*, 106, 105450.
4. Belay, T., Melese, T., & Senamaw, A. (2022). Impacts of land use and land cover change on ecosystem service values in the Afroalpine area of Guna Mountain, Northwest Ethiopia. *Heliyon*, *8*(12).
5. Daily, G. C. (1997). Introduction: what are ecosystem services. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*, 1(1).
6. Das, J., Umamahesh, N. V. (2022). Heat wave magnitude over India under changing climate: projections from CMIP5 and CMIP6 experiments. *International Journal of Climatology*, 42(1), 331-351.
7. Dieleman, C. M., Branfireun, B. A., McLaughlin, J. W., & Lindo, Z. (2015). Climate change drives a shift in peatland ecosystem plant community: implications for ecosystem function and stability. *Global change biology*, *21*(1), 388-395.
8. Gregory, P. (2007). Plant roots. John Wiley & Sons, Limited.
9. Kieslich, M., & Salles, J. M. (2021). Implementation context and science-policy interfaces: Implications for the economic valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 179, 106857.
10. Klein, G., Vitasse, Y., Rixen, C., Marty, C., & Rebetez, M. (2016). Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset. *Climatic Change*, *139*(3), 637-649.
11. Lang, Y., Song, W., & Zhang, Y. (2017). Responses of the water-yield ecosystem service to climate and land use change in Sancha River Basin, China. *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C, 101, 102-111.
12. Levin, L. A., Wei, C. L., Dunn, D. C., Amon, D. J., Ashford, O. S., Cheung, W. W., ... & Yasuhara, M. (2020). Climate change considerations are fundamental to management of deep-sea resource extraction. *Global change biology*, 26(9), 4664-4678.
13. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 2.
14. McLaughlin, B. C., Ackerly, D. D., Klos, P. Z., Natali, J., Dawson, T. E., & Thompson, S. E. (2017). Hydrologic refugia, plants, and climate change. *Global change biology*, *23*(8), 2941-2961.
15. Miller, J. D., & Hutchins, M. (2017). The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *12*, 345-362.
16. Mityók, Z. K., Bolton, D. K., Coops, N. C., Berman, E. E., & Senger, S., 2018. Snow cover mapped daily at 30 meters resolution using a fusion of multi-temporal MODIS NDSI data and Landsat surface reflectance. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 44(5), 413-434.
17. Pohjanmies, T., Triviño, M., Le Tortorec, E., Mazziotta, A., Snäll, T., & Mönkkönen, M. (2017). Impacts of forestry on boreal forests: An ecosystem services perspective. *Ambio*, *46*(7), 743-755.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]

18. Rúa, M. A., Antoninka, A., Antunes, P. M., Chaudhary, V. B., Gehring, C., Lamit, L. J., ... & Hoeksema, J. D. (2016). Home-field advantage? Evidence of local adaptation among plants, soil, and arbuscular mycorrhizal fungi through meta-analysis. *BMC Evolutionary Biology*, 16, 1-15.
19. Sabour, L., Mirmusavi, S.H. (2013). Studying the trend of changes in snowfall in the northwestern region of Iran. *Geography and Environmental Planning* , *25* (3), 119-136. [In Persian].
20. Song, W., & Deng, X. (2017). Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China. *Science of the Total Environment*, 576, 705-719.
21. Tesfay, F., Kibret, K., Gebrekirstos, A., & Hadgu, K. M. (2022). Land use and land cover dynamics and ecosystem services values in Kewet district in the central dry lowlands of Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(11), 801.
22. Tolessa, T., Senbeta, F., & Abebe, T. (2017). Land use/land cover analysis and ecosystem services valuation in the central highlands of Ethiopia. *Forests, Trees and Livelihoods*, *26*(2), 111-123.
23. Van Vliet, M. T., Wiberg, D., Leduc, S., & Riahi, K. (2016). Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Climate Change*, *6*(4), 375-380.
24. Wang, A., Tao, H., Ding, G., Zhang, B., Huang, J., & Wu, Q. (2023). Global cropland exposure to extreme compound drought heatwave events under future climate change. *Weather and Climate Extremes*, 40, 100559.
25. Wei, W., Chen, L., Fu, B., Huang, Z., Wu, D., & Gui, L. (2007). The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *Journal of hydrology*, 335(3-4), 247-258.
26. Yamanoshita, M. (2019). IPCC Special Report on Climate Change and Land. Institute for Global Environmental Strategies.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-17]

[DOI: 10.61186/jeer.15.1.66]