University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Evaluation of the effects of land use changes on sediment retention ecosystem service in Golestan Province

Maryam Zolfaghari[1] | Abdolrassoul Salmanmahiny[2]✉ | Hamidreza Kamyab[3]

1. Department of Environmental Science, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mz.golemaryam@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Environmental Science, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rassoulmahiny@gmail.com
3. Department of Environmental Science, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: kamyab.hr@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 14 February 2024

Received in revised form 30 April 2024

Accepted 04 May 2024

Published online 31 August 2024

Keywords:

Ecosystem services,

InVEST model,

Land use,

Sediment Retention.

ABSTRACT

In recent times, the escalating exploitation resulting from population growth has altered land uses/land covers (LULC) and caused the overutilization of natural areas, leading to the decline in ecosystem services. This study aimed to explore the impacts of land use/land cover changes between 1984, 2000, 2010 and 2020 on sediment retention ecosystem service in Golestan Province. The required maps were created using different methods such as using satellite images and downloading from suitable sites. Effective management of land use relies on information obtained from these maps. In this study, the InVEST 3.11.0 software was utilized to create sediment retention ecosystem service maps and their changes over time based on land use changes. The findings revealed that forest areas exhibited the highest sediment retention rates among all land uses surveyed across the four evaluation years. Conversely, urban areas consistently showed the lowest sediment retention rates between 1984 and 2010, but in 2020, bare lands had the lowest amount of sediment retention. Comparing the four evaluation years, it was observed that sediment retention decreased from 1984 to 2000 and 2000 to 2010. However, total trend in sediment retention increased from 2010 to 2020 in Golestan province. The examination of sediment retention levels and their changes over time in response to land use/land cover alterations provides valuable insights for making informed management decisions to optimize land uses for maintaining and enhancing sediment retention.

Cite this article: Zolfaghari, M., Salmanmahiny, A., & Kamyab, H. (2024). Evaluation of the effects of land use changes on sediment retention ecosystem service in Golestan Province. *Journal of Natural Environment*, 77 (2), 203-225. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.372662.2650

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.372662.2650

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

ارزیابی اثر تغییرات کاربری اراضی بر خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در استان گلستان

مریم ذوالفقاری[۱] | عبدالرسول سلمان ماهینی[۲]✉ | حمیدرضا کامیاب[۲]

۱. گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ شیلات و علوم محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mz.golemaryam@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ شیلات و علوم محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rassoulmahiny@gmail.com
۳. گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ شیلات و علوم محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: kamyab.hr@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

کلیدواژه‌ها:
خدمات اکوسیستم،
کاربری اراضی،
مدل InVEST،
نگهداشت خاک.

چکیده

امروزه بهره‌برداری‌های بی‌رویهٔ ناشی از افزایش جمعیت، منجر به تغییرات پوشش/کاربری اراضی (LULC) و استفادهٔ بیش از اندازه از عرصه‌های طبیعی و کاهش خدمات اکوسیستمی شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تدثیرات تغییرات کاربری/پوشش‌های اراضی در طی سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰، بر خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در استان گلستان انجام شده است. نقشه‌های مورد نیاز با استفاده روش‌های مختلف مانند بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای و دانلود از سایت‌های مناسب تهیه شده است. مدیریت مؤثر کاربری اراضی بر اطلاعات به‌دست آمده از این نقشه‌ها متکی است. به‌منظور نقشه‌سازی خدمت منتخب اکوسیستم نگهداشت خاک و تغییرات آن براساس تغییرات کاربری اراضی در طی زمان، از نرم‌افزار InVEST 3.11.0 استفاده شد. نتایج نشان داد در هر چهار سال مورد ارزیابی با بررسی‌های جداگانه، کاربری جنگل دارای بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک در میان سایر کاربری‌های موجود بود. از سوی دیگر، کاربری مناطق شهری نیز در طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰، دارای کم‌ترین میزان نگهداشت خاک بود، اما در سال ۲۰۲۰، کاربری اراضی بایر کم‌ترین میزان نگهداشت خاک را دارا بود. با مقایسهٔ چهار سال مورد بررسی در این پژوهش مشخص گردید از سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۰۰ و از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰، کل نگهداشت خاک کاهش یافته است. درحالی‌که از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۰، کل نگهداشت خاک در استان گلستان افزایش یافت. با توجه به بررسی میزان و تغییرات نگهداشت خاک در طی زمان برپایهٔ تغییرات کاربری/پوشش اراضی، نتایج این پژوهش می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی جهت انتخاب بهترین کاربری‌ها در مکان درست جهت حفظ و افزایش نگهداشت خاک مؤثر باشد.

استناد: ذوالفقاری، مریم؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ و کامیاب، حمیدرضا (۱۴۰۳). ارزیابی اثر تغییرات کاربری اراضی بر خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در استان گلستان. *محیط زیست طبیعی*، ۷۷ (۲)، ۲۲۶-۲۰۳.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.372662.2650

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

کاربری/پوشش اراضی، عواملی مهم در مدیریت منابع طبیعی و بروز تغییرات در محیطزیست هستند (Zare *et al*., 2017). امروزه عوامل متعددی مانند رشد جمعیت انسانی را جزء مهم‌ترین عوامل در ایجاد تغییرات کاربری/پوشش اراضی می‌دانند. گسترش شهرها و مناطق مسکونی، صنعتی شدن، گسترش زمین‌های کشاورزی و جنگل‌زدایی از عوامل اصلی رشد جمعیت‌های انسانی هستند (Falahatkar *et al*., 2016). براساس یافته‌های Kamyab و Shabani (۲۰۱۹)، تغییرات کاربری اراضی، خدمات اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهند. ایجاد تغییرات در کاربری/پوشش اراضی منجر به‌تخریب و کاهش خدمات اکوسیستم خواهند شد. در پژوهش Rajabanshi و Das (۲۰۲۱)، خدمات اکوسیستمی، منافع متعددی هستند که انسان‌ها از اکوسیستم به‌دست می‌آورند. انواع خدمات اکوسیستم شامل فراهم‌سازی، تنظیمی، حمایت‌کننده و فرهنگی هستند. استان گلستان، به‌جهت برخورداری از جنگل‌ها و مراتع طبیعی، دارای خدمات متعدد و ارزشمند اکوسیستمی، از جمله نگهداشت خاک است. خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک، دسته‌ای از خدمات تنظیمی هستند که منجر به حفظ خاک و کنترل فرسایش می‌گردند. تعیین میزان نگهداشت خاک در بخش‌های مختلف سرزمین، جهت تصمیم‌گیری مدیران حائز اهمیت است. افزایش فرسایش و کاهش حاصلخیزی خاک، در اغلب کشورها و به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه، به یکی از چالش‌های اساسی تبدیل شده است. فرسایش خاک معمولاً در بلندمدت اتفاق می‌افتد. در ایران، مسئلهٔ فرسایش خاک، که منجر به بروز خسارات بسیاری مانند از دست رفتن عناصر غذایی خاک می‌گردد، مطرح است. در استان گلستان، شدت فرسایش از غرب به شرق افزایش می‌یابد. تغییرات کاربری/پوشش اراضی و به‌خصوص جنگل‌زدایی، به‌شدت بر فرسایش خاک تأثیرگذار هستند و باعث افزایش فرسایش و کاهش حفظ خاک و کاهش ظرفیت تولید خاک می‌گردند. همچنین، تبدیل زمین‌های جنگلی و مرتعی به زمین‌های کشاورزی و مسکونی، اکوسیستم‌های طبیعی را مختل کرده و منجر به افزایش فرسایش خاک، کاهش حاصلخیزی خاک و تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد. به‌منظور دست‌یابی به توسعهٔ پایدار و هدایت به‌سمت تعادل در یک اکوسیستم، بررسی تأثیر تغییرات کاربری بر میزان فرسایش خاک، ضروری است (Wang *et al*., 2012; Asadolahi *et al*., 2015; Heidarlou *et al*., 2019; Asadolahi and Norouzi Nazar, 2020; Amanpour *et al*., 2021). طبق نظر Amanpour و همکاران (۲۰۲۱)، تغییرات کاربری اراضی اکوسیستم‌های طبیعی، اثرات نامطلوبی بر ویژگی‌ها و ظرفیت تولید خاک دارد. کمی‌سازی خدمات قابل اندازه‌گیری اکوسیستم‌ها به‌وسیلهٔ نقشه‌های خدمات منتخب اکوسیستم و با هدف دستیابی به توسعهٔ پایدار، منجر به مدیریت بهتر این خدمات می‌گردند. این کار باعث شناسایی نواحی دارای عرضهٔ خدمات اکوسیستمی زیاد می‌گردد (Asadolahi *et al*., 2015; Zabihi *et al*., 2021). با توجه به اهمیت و توسعهٔ روزافزون خدمات اکوسیستم، نیاز به نرم‌افزارها و مدل‌هایی وجود دارد تا هم به کمک آن‌ها بتوان به نقشه‌سازی عرضهٔ مکانی خدمات اکوسیستم پرداخت و آنها را در اختیار تصمیم‌گیران مربوطه قرار داد و هم بتوان اثرات تغییر کاربری اراضی را بر روی این خدمات، بررسی نمود. نرم‌افزار InVEST که توسط پروژهٔ سرمایهٔ طبیعی[1] توسعه یافته است در این زمینه‌ها قابلیت دارد. این نرم‌افزار، دارای مدل‌های مختلف جهت محاسبهٔ خدمات اکوسیستم است. این مدل‌ها، نیازمند داده‌های ورودی کم‌تری نسبت به ابزارهای پیچیده‌تر هستند و توانایی شناسایی مناطقی را که سرمایه‌گذاری در آنها برای طبیعت مفید بوده و رفاه انسان‌ها را افزایش می‌دهند، را دارند (Sharp *et al*., 2018). بنابراین، مدیریت استفاده از کاربری‌ها و منابع طبیعی شهری به جهت حفظ خدمات اکوسیستم از تغییرات کاربری/پوشش اراضی و مخاطرات مورد نیاز است. به‌منظور تحقق این هدف، نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی جهت دست‌یابی به توسعهٔ پایدار تهیه می‌گردند (Askarian Omran and Pahlavani, 2015; Azimi Sardari *et al*., 2020). ساخت نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی نیازمند بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای است. داده‌های سنجش از دور به‌طور گسترده‌ای برای طبقه‌بندی پوشش زمین استفاده می‌شوند. انواع منابع داده‌های ماهواره‌ای مختلف مانند SPOT HRV، ETM+، Landsat TM، MODIS و NOAA AVHRR در طبقه‌بندی کاربری زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از روش‌های آنالیز داده‌های ماهواره‌ای، روش شبکهٔ عصبی مصنوعی است و یکی از رایج‌ترین روش‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی، پرسپترون چند لایه (MLP) است.

[1] https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest

تغییرات کاربری اراضی امروزه بخش جدایی‌ناپذیر زندگی انسان‌ها است و با توجه به این نکته که تخریب اراضی طبیعی، کاهش و از بین رفتن خدمات اکوسیستم مورد نیاز زندگی انسان‌ها و از دست رفتن منابع ضروری در طی زمان، از عوارض تغییرات کاربری/پوشش اراضی است، ضرورت انجام پژوهش حاضر آشکار می‌گردد.

پژوهش‌های بسیاری در زمینهٔ مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته است که در این زمینه می‌توان به مطالعات داخلی Azimi Sardari و همکاران (۲۰۲۰)؛ Afifi (۲۰۲۰)؛ Yousefi و همکاران (۲۰۲۰)؛ Mozaffar و Joneghani (۲۰۲۱) اشاره نمود و از جمله مطالعات خارجی در این زمینه Oñate-Valdivieso و Sendra (۲۰۱۰)؛ Geneletti (۲۰۱۳)؛ Leta و همکاران (۲۰۲۱)؛ Gharaibeh و همکاران (۲۰۲۰)؛ Kumar و همکاران (۲۰۱۶)؛ Heidarlou و همکاران (۲۰۱۹) هستند که از این میان Azimi Sardari و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعات داخل ایران به مدل‌سازی تغییرات کاربری و پیش‌بینی این تغییرات، با استفاده از شبکهٔ عصبی پرسپترون چند لایه و زنجیرهٔ مارکوف پرداختند که نتایج آن‌ها نشان‌دهندهٔ کاهش سطح اراضی جنگلی و مرتعی و افزایش مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی در طی سال‌های آتی است. مطالعات Mishra و همکاران (۲۰۱۴) و Regasa و همکاران (۲۰۲۱)، افزایش مناطق ساخته شده و زمین‌های کشاورزی در اثر تغییرات کاربری اراضی را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم جهت ارائه به تصمیم‌گیران برای برنامه‌ریزی سرزمین و بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر روی این خدمات، مطالعات متعددی به نقشه‌سازی خدمات چندگانهٔ اکوسیستم پرداخته‌اند. مطالعهٔ Kamyab و Shabani (۲۰۱۹)، به ارزش‌دهی خدمات اکوسیستم مربوط به بیوم‌های مختلف براساس داده‌های پوشش زمین پرداخته است که مشخص گردید مراتع و مناطق جنگلی، دارای بیش‌ترین ارائهٔ خدمات اکوسیستمی هستند. پژوهش Asadolahi و Norouzi Nazar (۲۰۲۰)، به کمی‌سازی خدمت کنترل فرسایش تحت تأثیر اقلیم پرداخته است. مطالعهٔ Asadolahi و همکاران (۲۰۱۵)، به مدل‌سازی خدمت نگهداشت خاک تحت تأثیر نقشهٔ کاربری اراضی پرداخته است. در مطالعهٔ Gomes و همکاران (۲۰۲۱)، اثرات آیندهٔ تغییرات کاربری اراضی بر خدمات اکوسیستم‌های زمینی را مورد بررسی قرار داده‌اند. پژوهش Kassas (۱۹۸۴)، بیان می‌کند فرسایش، تحت تأثیر نوع بهره‌برداری از اراضی قرار دارد. براساس مطالعهٔ Belay و Mengistu (۲۰۲۱)، گسترش کشت محصولات زراعی و از بین رفتن پوشش گیاهی باعث افزایش فرسایش خاک شده است. مطالعات Zhang و همکاران (۲۰۱۰) و Negese (۲۰۲۱)، نمونهٔ دیگری از بررسی اثر تغییرات کاربری بر میزان فرسایش است.

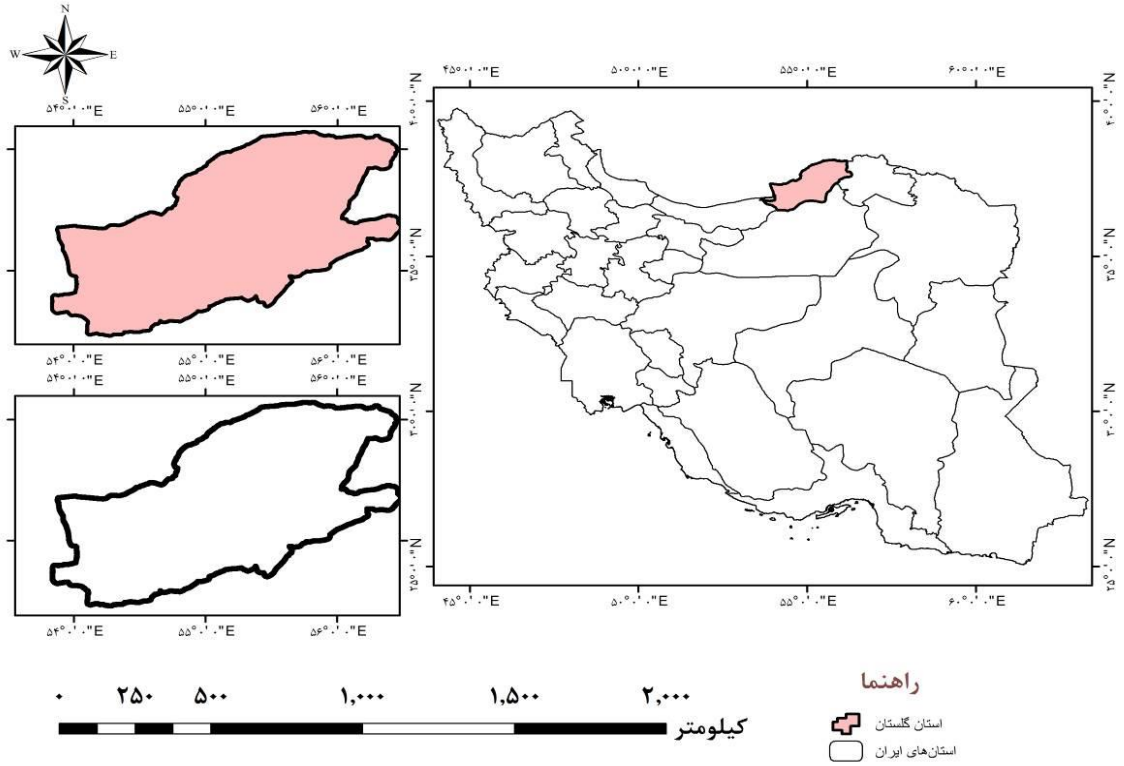
هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی تغییرات کاربری/پوشش اراضی در طی سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ و بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر وضعیت خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در استان گلستان است.

با توجه به اغلب مطالعات انجام شده مرتبط با پژوهش حاضر، کاربری‌های جنگل و مرتع دارای بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک هستند که با توجه به افزایش تأثیرات کاربری/پوشش اراضی خصوصاً در طی سال‌های آینده، شاهد کاهش چشم‌گیر سطح این دو کاربری و افزایش مناطق ساخته شده توسط انسان و زمین‌های کشاورزی خواهیم بود و در نتیجه، شاهد کاهش خدمات اکوسیستمی و به‌خصوص خدمت نگهداشت خاک خواهیم بود و در صورت عدم اصلاح استفاده از کاربری‌ها در آینده، خسارات جبران‌ناپذیری به خدمات ارزشمند اکوسیستم وارد خواهد شد. در پژوهش حاضر سعی شده با استفاده از بازهٔ زمانی مطالعاتی در چهار سال مختلف و با فواصل طولانی، تغییرات رخ داده در خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در استان گلستان به‌صورت دقیق مشخص گردند. همچنین، تغییرات بیش‌تری را به‌لحاظ استفاده از داده‌های با کیفیت بهتر و دقت بالاتر در این پژوهش، شاهد خواهیم بود. در ضمن، محدودهٔ مطالعاتی این پژوهش، محدوده‌ای بزرگ و در سطح یک استان است که می‌تواند تکمیل‌کنندهٔ مطالعاتی در این زمینه که در سطح محدوده‌های کوچک‌تر آبخیز هستند، بوده و در اخذ تصمیمات مهم مدیریتی مؤثر باشد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد مطالعه: استان گلستان با مساحت ۲۰۴۳۸/۳۱ کیلومتر مربع در شمال ایران قرار دارد و ۱/۳ درصد مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. این استان بین ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۷ دقیقه و ۶ ثانیه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۱ دقیقه و ۴ ثانیه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. استان گلستان، از شمال به کشور ترکمنستان،

از جنوب به استان سمنان، از شرق به استان خراسان شمالی و از غرب به استان مازندران و دریای خزر محدود می‌گردد (شکل ۱). استان گلستان به‌ترتیب در نواحی جنوبی، مرکزی و غربی و شمالی، دارای آب و هوای کوهستانی، معتدل مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک و خشک است. هرچه از سمت دریا به شرق و از جنوب به سمت شمال پیش می‌رویم، از رطوبت هوا کاسته و بر خشکی آن افزوده می‌گردد. مساحت پارک‌های طبیعی جنگلی، فضاهای سبز، ذخیره‌گاه‌های جنگلی و در نهایت جمع کل عرصه‌های جنگلی در این استان به‌ترتیب، ۸۰۶۱، ۴۰۵۴، ۳۵۱۹ و ۴۵۲۱۸۵ هکتار است. همچنین، مساحت جنگل‌ها، مراتع و پدیده‌های بیابانی در استان گلستان، به‌ترتیب ۴۱۸۳۸۵، ۸۶۲۸۲۵ و ۳۰۰۳۲۰ هکتار است (Statistical Yearbook of Golestan Province, 2021). با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی و جنس خاک‌ها، این استان از پوشش گیاهی متنوعی از قبیل جنگل انبوه، چمن‌زار و استپ برخوردار است (Golestan Governorate, 2014). تنوع زیستی غنی در سطوح گونه‌های حیات وحش (پستانداران، پرندگان، دوزیستان، خزندگان و حشرات) در استان گلستان وجود دارد (General Department of Environmental Protection of Golestan Province, 2019). بیش از ۲۳ درصد سطح استان گلستان را سه نوع خاک لس با ویژگی‌های رسوب‌شناسی و مشخصات ژئوتکنیکی متفاوت پوشانیده است. در این میان، حدود ۷۰ درصد از خاک‌های لسی استان، از نوع لس سیلتی هستند (Amanzadeh Seyed and Yazarlu, 2014).



شکل ۱- محدودهٔ مورد مطالعه

روش کار: در پژوهش حاضر، از بستهٔ نرم‌افزاری InVEST 3.11.0 استفاده شد. این نرم‌افزار یکی از بهترین مدل‌ها جهت نقشه‌سازی مکانی خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در سطح سلول و حوضهٔ آبخیز است. با توجه به اینکه خروجی‌های این مدل، همبستگی زیادی با مشاهدات دارد، بنابراین می‌توان گفت این مدل پتانسیل زیادی برای کمی کردن خدمات نگهداری رسوب دارد (Hamel *et al*., 2015). مدل‌های این بسته نرم افزاری، پس از جمع‌آوری و پیش‌پردازش داده‌های ورودی مورد نیاز توسط کاربر، در یک رابط ساده اجرا می‌شود و خروجی‌های مورد انتظار را ارائه می‌کند. در مدل نگهداشت خاک (SDR) در این نرم‌افزار، مقدار تلفات سالیانهٔ خاک در هر پیکسل در واحد تن در هکتار طبق رابطهٔ ۱ و براساس معادلهٔ جهانی تلفات خاک (USLE) محاسبه می‌شود، که در آن عوامل از نقشه‌های مختلف ارائه شده از منابع مختلف برای تعیین تلفات سالانه خاک استخراج می‌گردد. این یک مدل تجربی است که معمولاً برای برآورد پتانسیل از دست‌دادن خاک توسط آب از دامنهٔ تپه‌ها در مناطق وسیعی از زمین استفاده می‌شود.

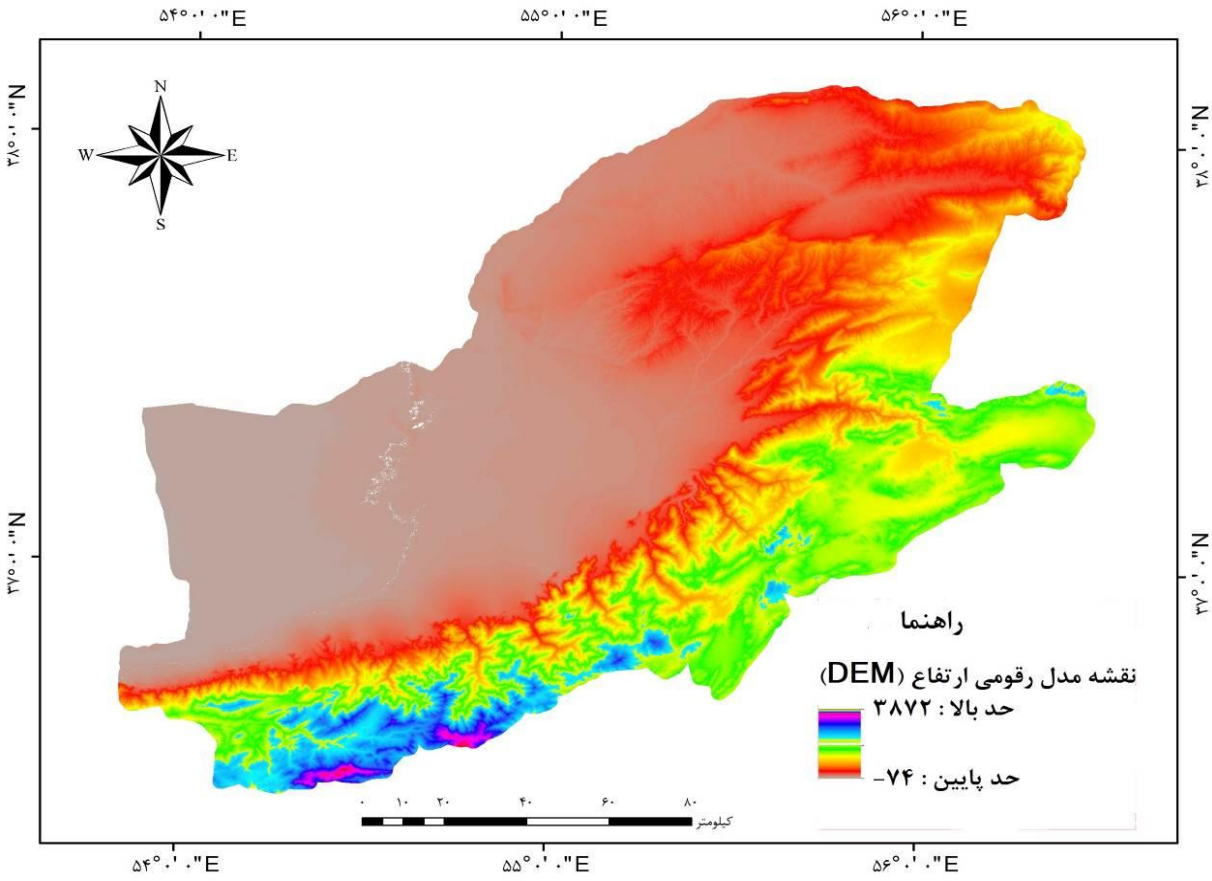
رابطهٔ ۱:

$$USLE = R \times K \times LS \times C \times P$$

در این معادله R: فرسایندگی باران، K: فرسایش‌پذیری خاک، LS: فاکتور شیب طول–گرادیان، C: عامل مدیریت محصول و P: عامل تمرین حمایتی است (Sharp *et al*., 2018; Marques *et al*., 2021).

نقشه‌های پایهٔ مورد نیاز در مدل: مدل رقومی ارتفاع (DEM)، فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک و کاربری/پوشش اراضی که در قالب رستری وارد مدل شدند. نقشهٔ محدودهٔ حوضه‌های آبخیز به‌صورت وکتوری وارد مدل شد. همچنین، نیاز به تهیهٔ یک جدول زیست‌فیزیکی با فرمت csv بود. جهت تهیهٔ داده‌های ورودی مورد نیاز به شیوهٔ زیر عمل گردید:

مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model): جهت دانلود نقشهٔ DEM منطقهٔ مورد مطالعه، ابتدا تصویر مورد نیاز از سایت Open Topography دانلود شد و سپس در نرم‌افزارهای مربوطه مانند نرم‌افزار ArcGIS 10.3 این نقشه در محدودهٔ مورد مطالعه استخراج گردید (شکل ۲).



شکل ۲- نقشهٔ مدل رقومی ارتفاع (DEM)

شاخص فرسایندگی باران (R): یک دادهٔ رستری، با مقدار شاخص فرسایش برای هر سلول است. این متغیر به‌شدت و مدت بارندگی در منطقهٔ مورد نظر بستگی دارد. هرچه شدت و مدت طوفان باران بیشتر باشد، پتانسیل فرسایش بیشتر است. شاخص فرسایش به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما در صورت عدم وجود آن، روش‌ها و معادلاتی برای کمک به ایجاد یک تصویر رستری با استفاده از داده‌های هواشناسی وجود دارد.

در نبود اطلاعات کافی، چندین مدل ساده برای ارزیابی فرسایش باران با استفاده از همبستگی بین فاکتور R و بارش ماهانه و سالانه پیشنهاد شده است (Renard and Freimund, 1994; Lee and Heo, 2011). از آنجا که داده‌های E و (I30) برای منطقهٔ مورد مطالعه در دسترس نیست، فاکتور R با استفاده از شاخص اصلاح شدهٔ فورنیر که توسط Arnoldus (۱۹۷۷ و ۱۹۸۰)، ساخته شده، است محاسبه گردید، که به‌صورت رابطهٔ زیر می‌باشد.

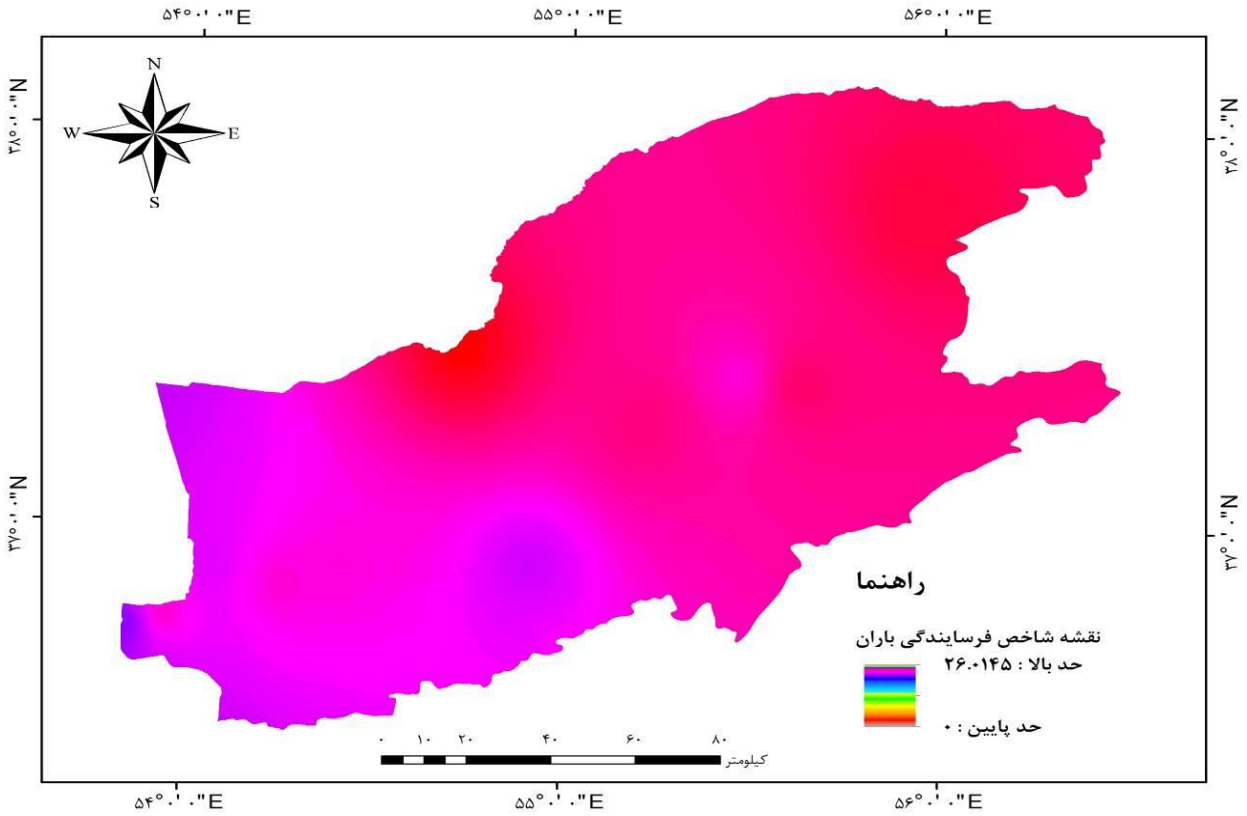
$$F=\frac{\sum_{i=1}^{12} pi^2}{\sum_{i=1}^{12} p}$$

در این رابطه، pi: متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه و p: متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است. در این مطالعه، با استفاده از معادله، شاخص فورنیر برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان محاسبه شد و سپس با جای‌گذاری شاخص فورنیر که توسط Renard و Freimund (۱۹۹۴) برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهادشده، مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌های شاخص برآورد خواهد شد.

اگر F< 55mm $\quad R\text{-factor} = (0.07397*F^{1.847})$

اگر F≥ 55 mm $\quad R\text{-factor} = (95.77-6.081*0.477*F^{2})$

در نهایت، با درون‌یابی شاخص R برای کل استان، لایهٔ مکانی فرسایندگی باران در محیط GIS تهیه گردید (شکل ۳). مقدار این شاخص در استان از ۰ تا ۲۶/۰۱۴۵ ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$) متغیر است.



شکل ۳- نقشهٔ شاخص فرسایندگی باران

شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K): یک دادهٔ رستر، با مقدار فرسایش‌پذیری خاک برای هر سلول است. فرسایش‌پذیری خاک (K) معیاری برای سنجش حساسیت ذرات خاک به جدا شدن و انتقال توسط بارندگی و رواناب است. برای محاسبهٔ این شاخص از رابطهٔ زیر استفاده شده است (Al Rammahi and Khassaf, 2018):

$$K_{usle} = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{orgc} \times f_{hisand}$$

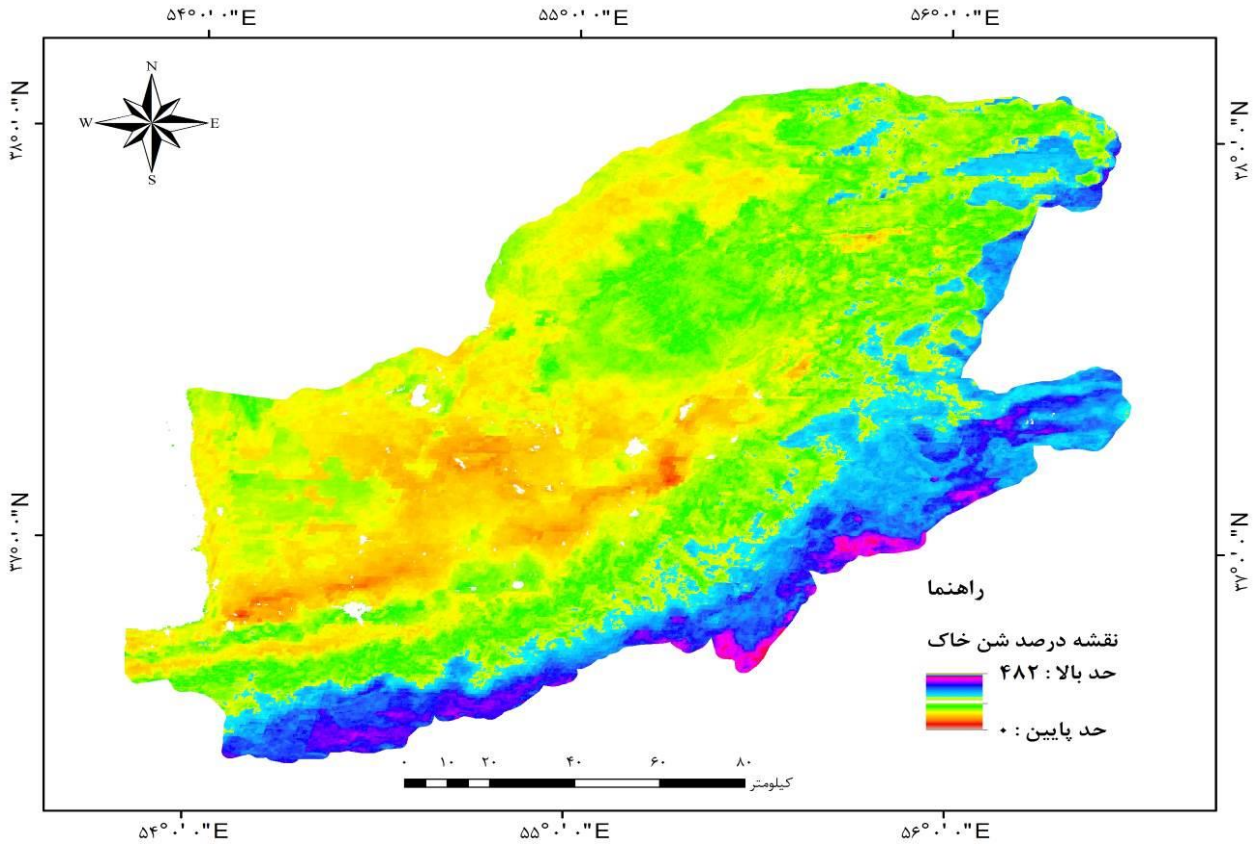
بخش‌های موجود در رابطهٔ فوق به‌صورت زیر قابل استخراج است:

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c+m_{silt}}\right)^{0.3}$$

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0.25\times orgC}{orgC+exp[3.75-2.95\times orgC]}\right)$$

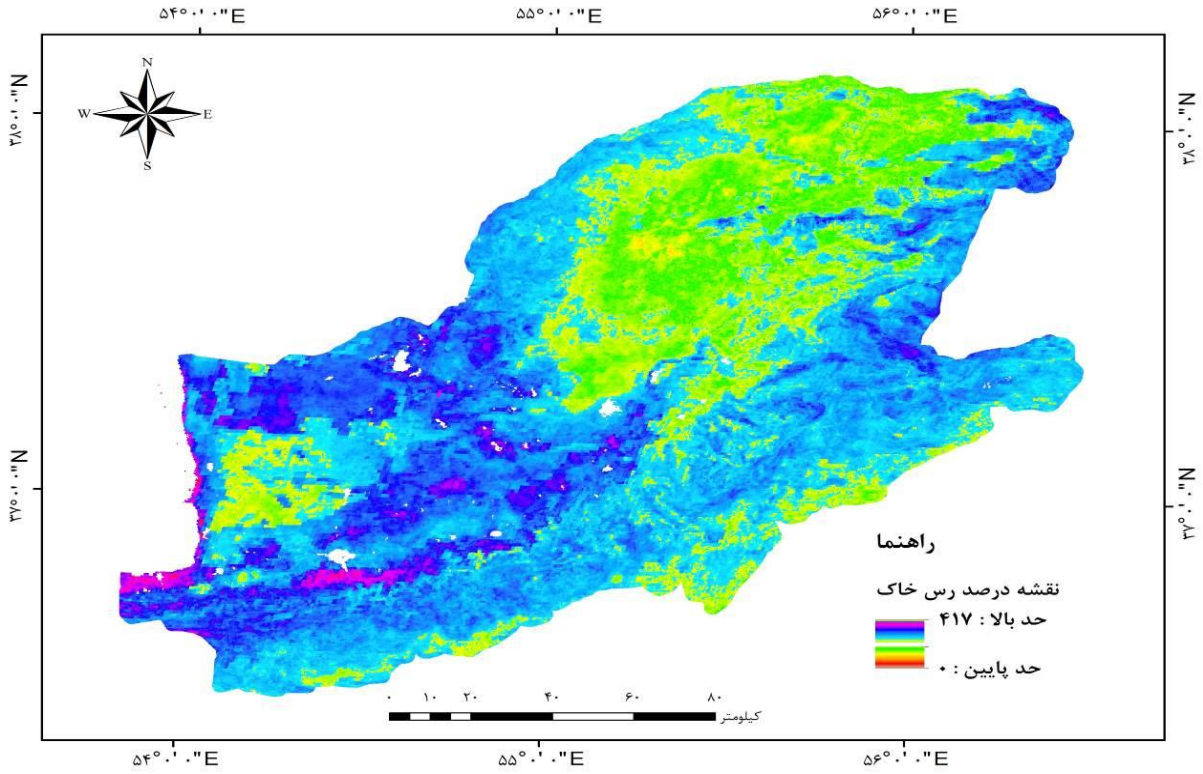
$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7\times\left(1-\frac{m_s}{100}\right)}{\left(1-\frac{m_s}{100}\right)+exp\left[-5.51+22.9\times\left(1-\frac{m_s}{100}\right)\right]}\right)$$

جهت استخراج هر کدام از شاخص‌های فوق نیاز به داده‌های مربوط به درصد شن (شکل ۴)، رس (شکل ۵)، سیلت (شکل ۶) و درصد مادهٔ آلی (شکل ۷) است. داده‌های مربوط به این متغیرها با استفاده از اطلاعات جهانی خاک در مقیاس مناسب تهیه گردید و پس از یکسان‌سازی با سایر پارامترهای مدل، در روابط بالا قرار داده شد تا در نهایت شاخص فرسایش‌پذیری خاک حاصل گردد (شکل ۸). مقدار شاخص فرسایش‌پذیری خاک در استان از ۰ تا ۰/۰۶۵۸۴۹۶ (Mg ha h ha-1 MJ-1 mm-1) متغیر است.

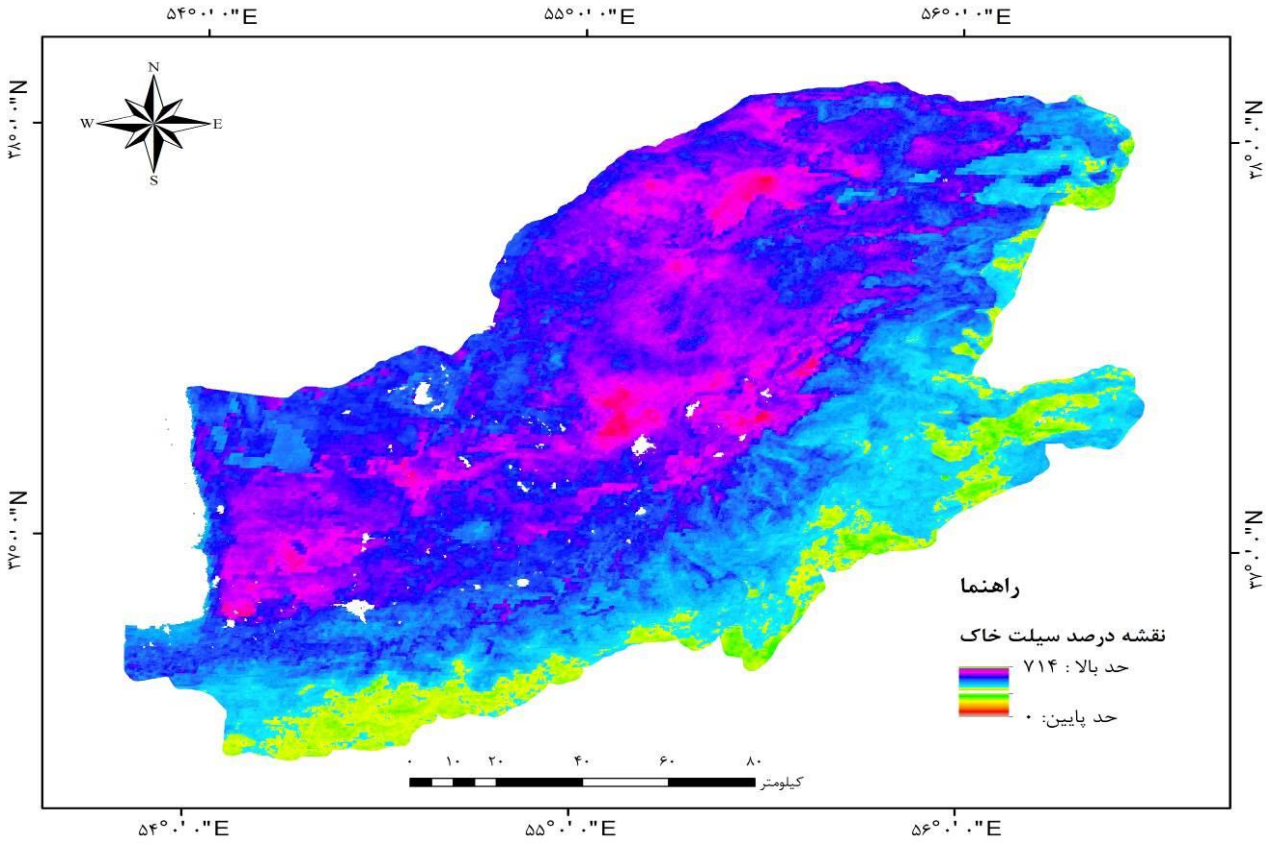


شکل ٤- نقشهٔ درصد شن خاک

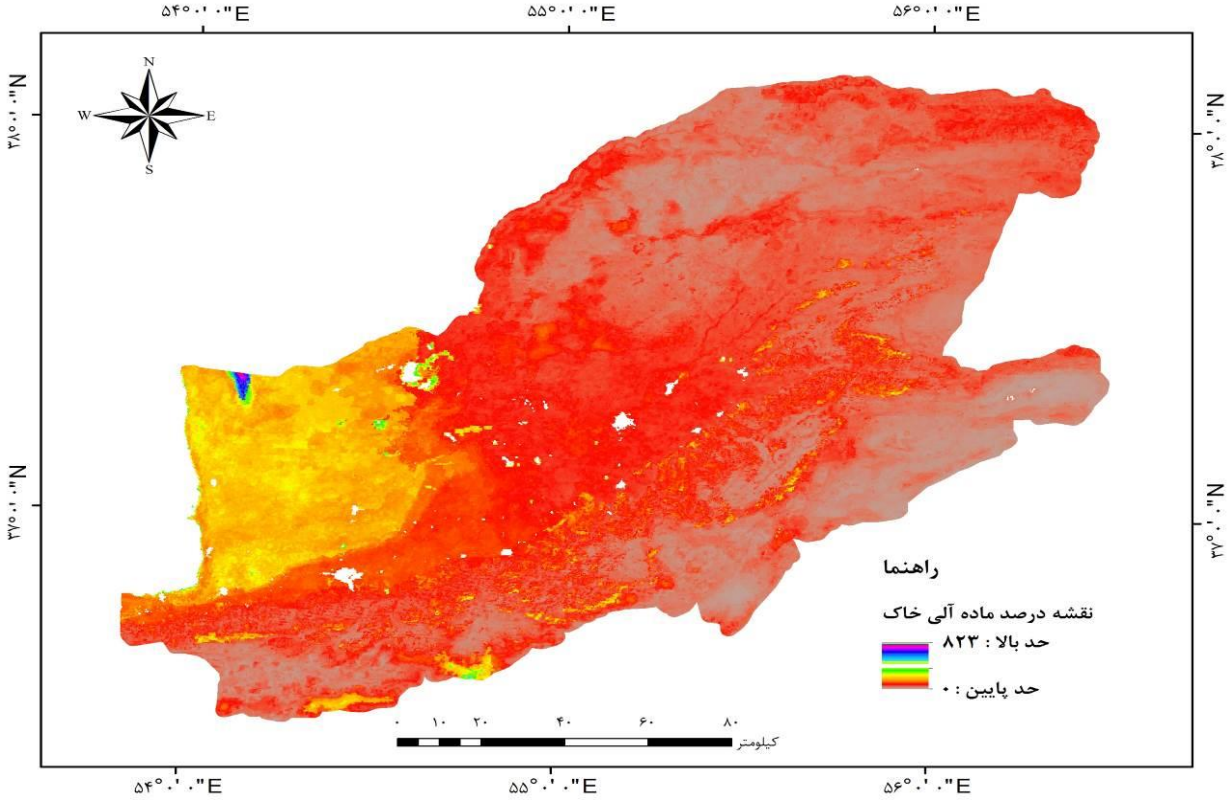
نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی (LULC) سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰: نقشهٔ کاربری/پوشش اراضی سال ۱۹۸۴ استان گلستان (شکل ۹)، توسط تصویر ماهواره لندست ۵ سنجنده TM، که از سایت USGS (سازمان زمین‌شناسی آمریکا)، دانلود شده است، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت (Salman Mahiny *et al.*, 2013). نقشه‌های کاربری/پوشش زمین برای سه دورهٔ زمانی توسط متخصصان چینی تهیه شده و در تارنمای www.globeland30.org ارائه شده است. این دوره‌های زمانی مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ است (شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲) و به کمک تفسیر مبسوط بیش از ۲۰۰۰۰ تصویر ماهوارهٔ لندست مانند لندست ۵، ۷ و ۸ و ماهوارهٔ HJ-1 چینی تهیه شده است. این تصاویر توسط متخصصان چینی مربوطه، به ۱۰ طبقه‌بندی زمین‌های زیرکشت که شامل اراضی کشاورزی نیز هستند، جنگل‌ها، علف‌زار و بوته‌زار، تالاب‌ها، منابع آبی، توندرا، سطوح انسان ساخت که شامل مناطق شهری نیز هستند، اراضی بایر و سطوح برف و یخ دائمی تقسیم شده‌اند. کد هریک از این طبقات، به‌ترتیب شامل اعداد ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ هستند. در این راستا، در منطقهٔ مورد مطالعه در پژوهش حاضر، صرفاً طبقات اراضی کشاورزی، جنگل، علف‌زار و بوته‌زار، منابع آب، مناطق شهری و اراضی بایر بررسی می‌گردد. بنابراین، کدهای اختصاص یافته به هر طبقه در نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی دانلود شده، برای استفاده در پژوهش حاضر برحسب نیاز تغییر یافت. با استفاده از ابزار Reclass در نرم‌افزار TerrSet، کدهای ۱ تا ۶ به‌ترتیب به اراضی کشاورزی تا اراضی بایر اختصاص یافت. همچنین، ارزیابی صحت و دقت برای تصاویر دانلود شده کاربری/پوشش اراضی، توسط متخصصین مربوطه انجام شده است و این تصاویر دارای دقت ۷۷/۹۰٪ برای کل ایران هستند. لازم به ذکر است دلیل انتخاب چهار تصویر در سال‌های مختلف جهت بررسی منطقهٔ مورد مطالعه، بررسی دقیق تغییرات رخ داده در طی زمان در استان گلستان است.



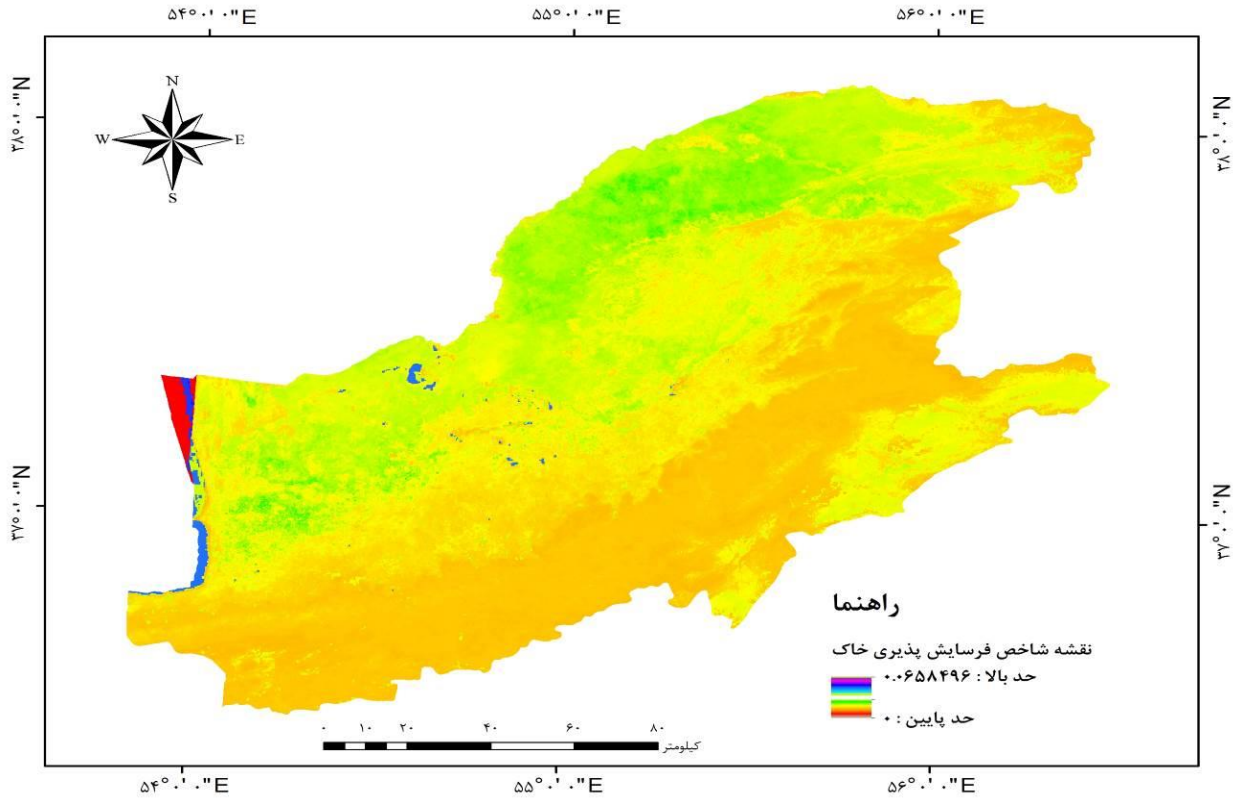
شکل ۵- نقشهٔ درصد رس خاک



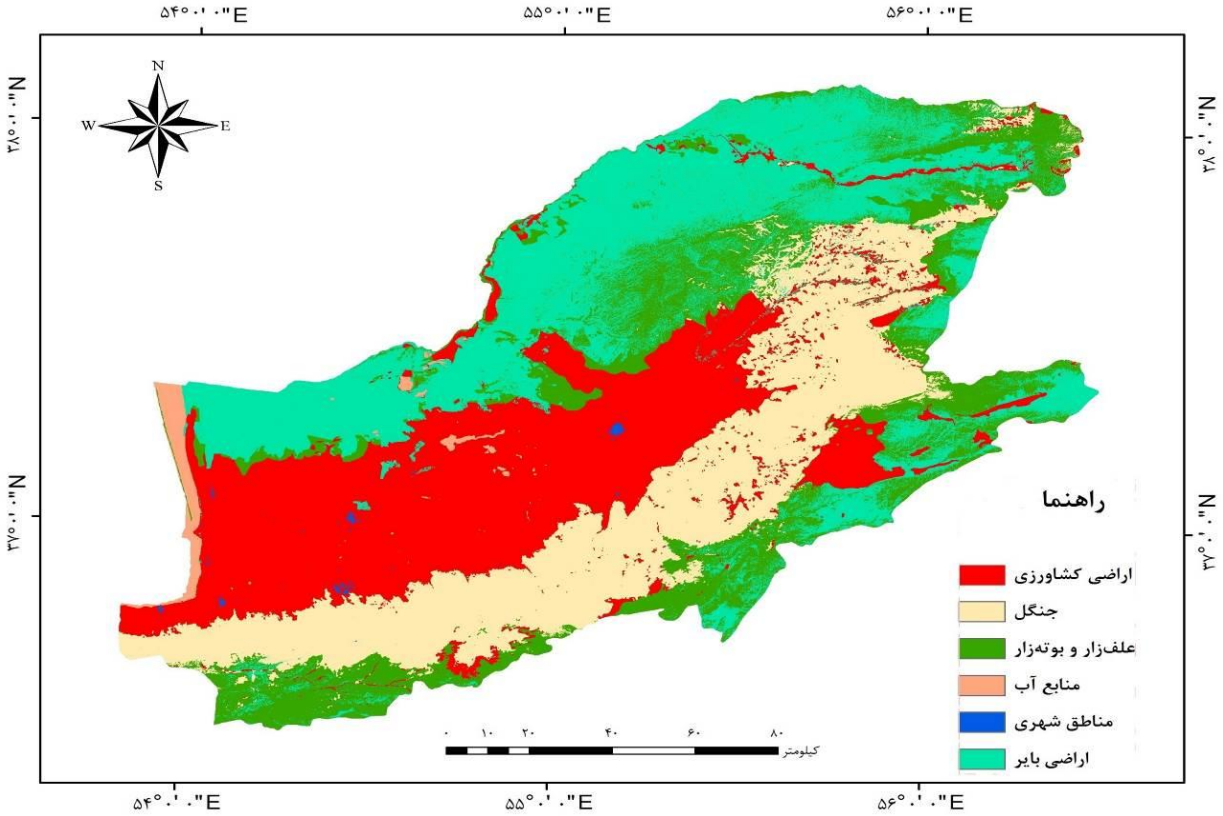
شکل ٦- نقشهٔ درصد سیلت خاک



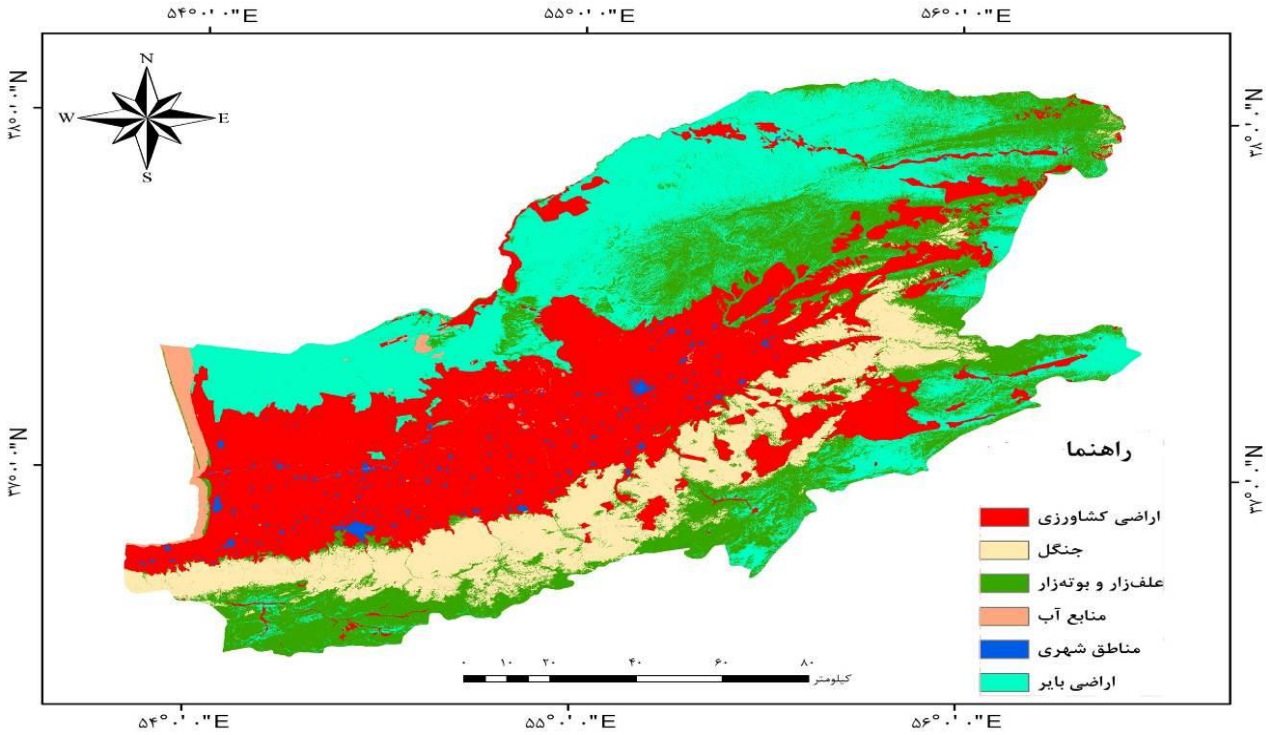
شکل ۷- نقشهٔ درصد ماده آلی خاک



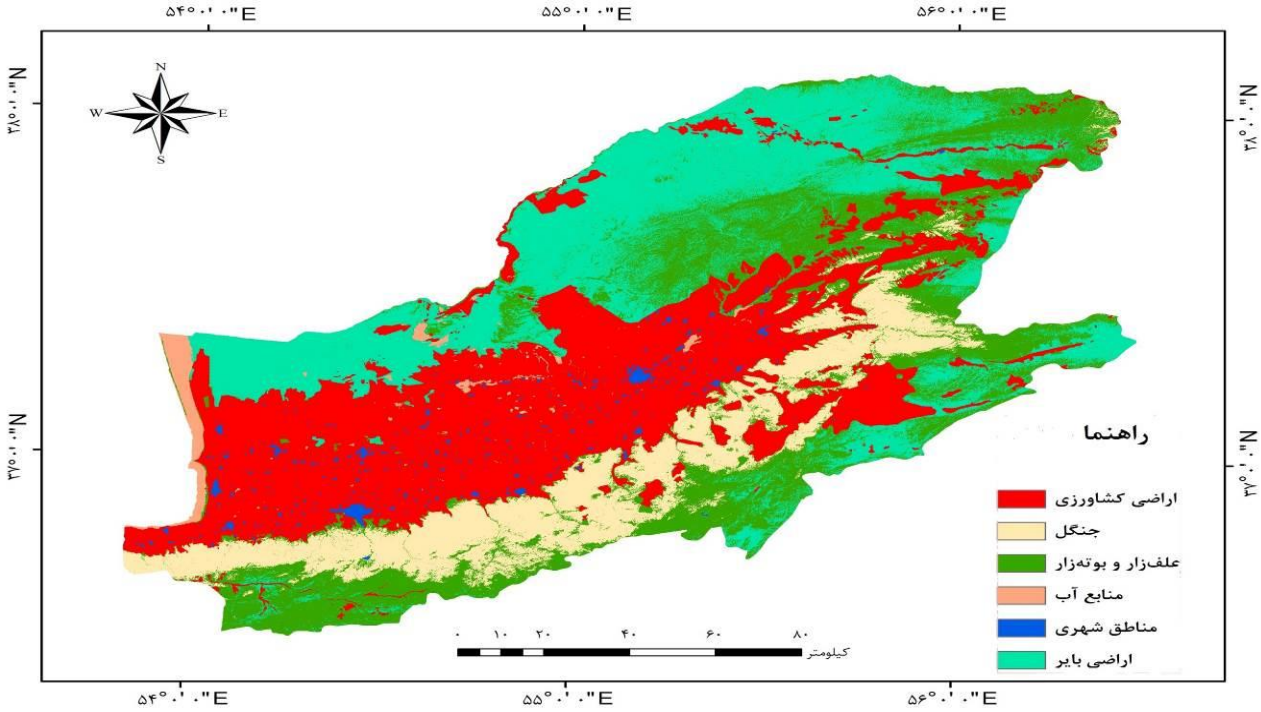
شکل ۸- نقشهٔ شاخص فرسایش‌پذیری خاک



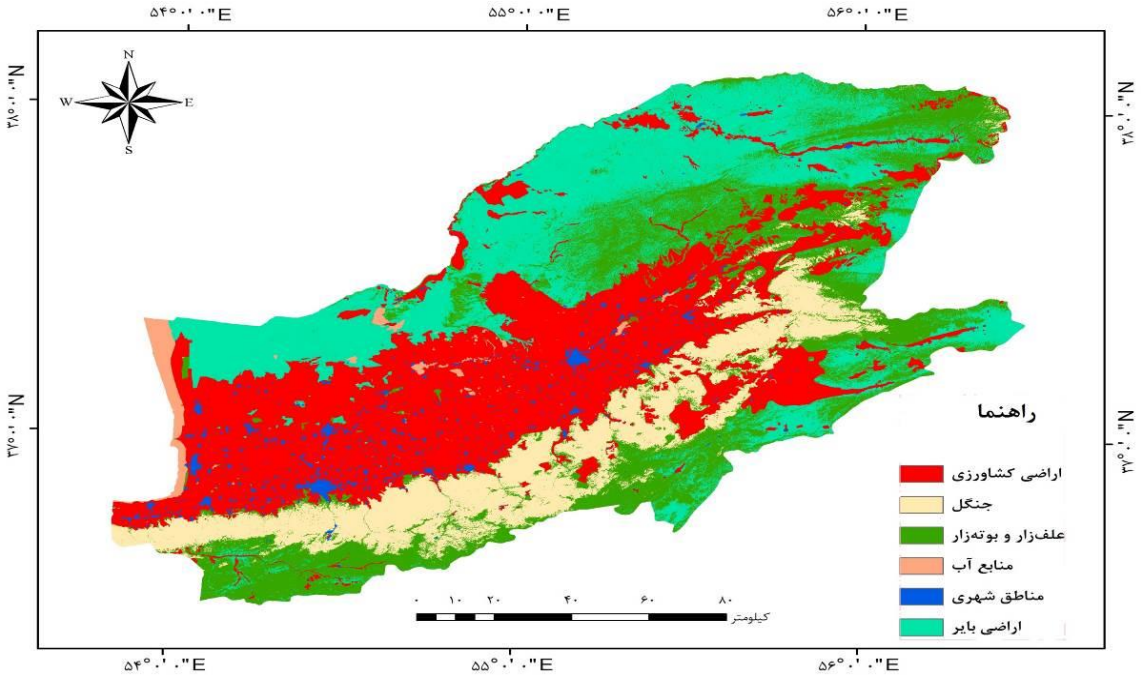
شکل ۹- نقشهٔ کاربری/پوشش اراضی سال ۱۹۸٤



شکل ۱۰- نقشهٔ کاربری/پوشش اراضی سال ۲۰۰۰

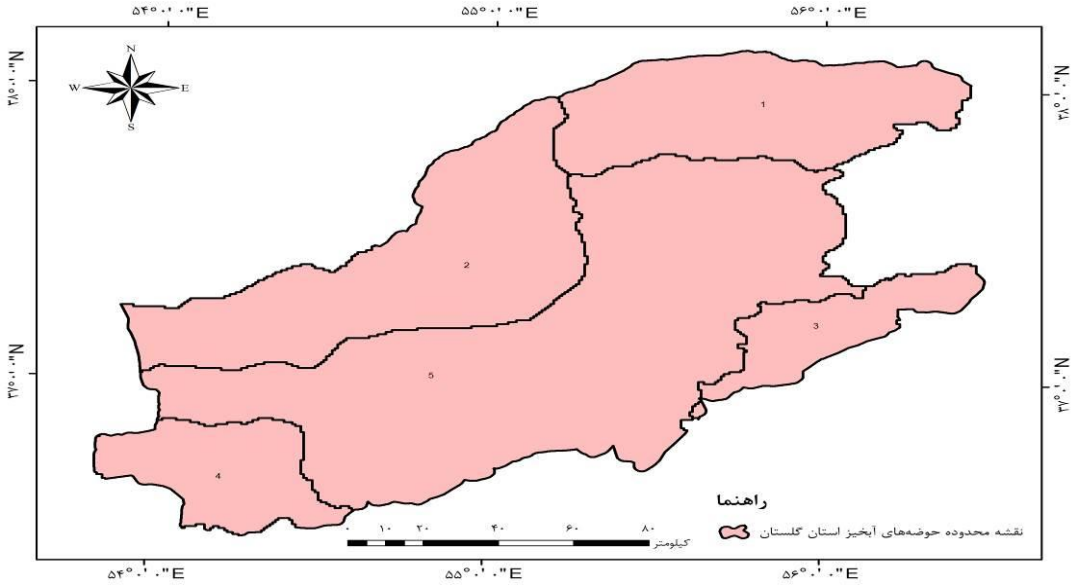


شکل ۱۱- نقشهٔ کاربری اراضی سال ۲۰۱۰



شکل ۱۲- نقشهٔ کاربری اراضی سال ۲۰۲۰

نقشهٔ مرز حوضه‌های آبخیز: مرز آبخیزها که در درجات مختلف تهیه می‌شوند، از سوی نهادهای مختلف داخلی و خارجی به کمک مدل رقومی ارتفاع، رودخانه‌ها و نیز خروجی آبخیزها به‌همراه تحلیل‌های مختلف در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی تهیه شده است. مرزبندی‌های حوضه‌های انتخابی پژوهش حاضر، توسط معیار SDG سازمان ملل متحد از تارنمای basin.ir برداشت شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. درجات آبخیزها از صفر تا ۱۲ تنظیم شده‌اند و هرچه به‌سمت ۱۲ می‌رویم، اندازهٔ آبخیز بزرگ‌تر شده و محدودهٔ وسیع‌تری را در بر می‌گیرند. با بررسی درجات مختلف طبقه‌بندی‌ها در معیار SDG و مطابقت آنها با مرز استان گلستان، طبقه‌بندی مناسب انتخاب شد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- نقشهٔ محدودهٔ حوضه‌های آبخیز استان گلستان

جدول زیست‌فیزیکی (Biophysical Table): این جدول با فرمت csv تهیه شد. این جدول باید دارای چهار ستون نام کاربری‌ها/پوشش اراضی، کد طبقات کاربری/پوشش اراضی، فاکتور پوشش گیاهی و ارزش عملیات حفاظتی باشد. کد مخصوص هر کاربری در نقشهٔ رستری کاربری/پوشش اراضی و ستون کد طبقات کاربری/پوشش اراضی در نقشهٔ زیست‌فیزیکی باید مشابه باشند. جدول زیست‌فیزیکی در پژوهش حاضر محاسبه گردید (جدول ۱) . اعداد این جدول با مطالعات مختلف از منابع مشابه تکمیل گردید.

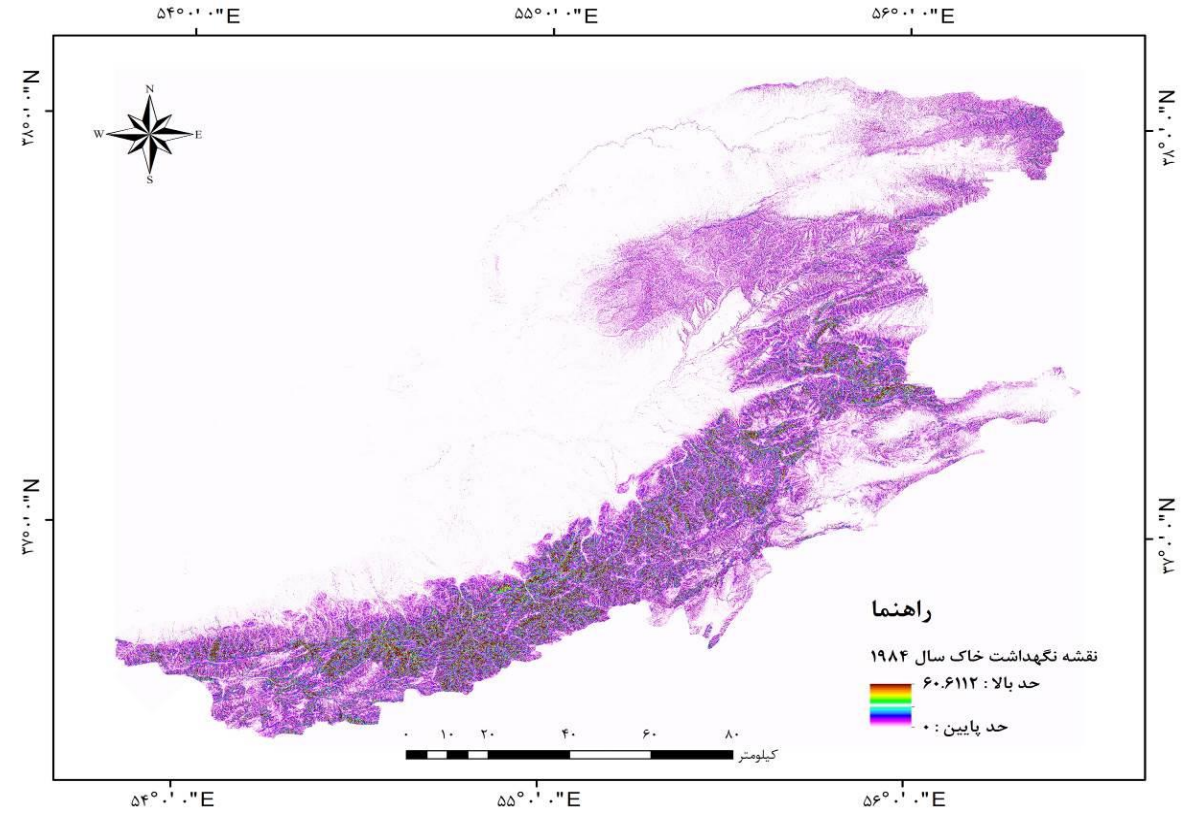
جدول ۱- جدول زیست‌فیزیکی

نام هر کاربری/ پوشش اراضی	کد هر طبقه کاربری/ پوشش اراضی	c (فاکتور پوشش گیاهی)	p (ارزش عملیات حفاظتی)
کشاورزی	۱	۰/۲۶	۱
جنگل	۲	۰/۰۱	۱
علف‌زار و بوته‌زار	۳	۰/۰۶	۱
منابع آبی	۴	۰	۱
مناطق شهری	۵	۰/۰۲	۱
سرزمین‌های بایر	۶	۱	۱

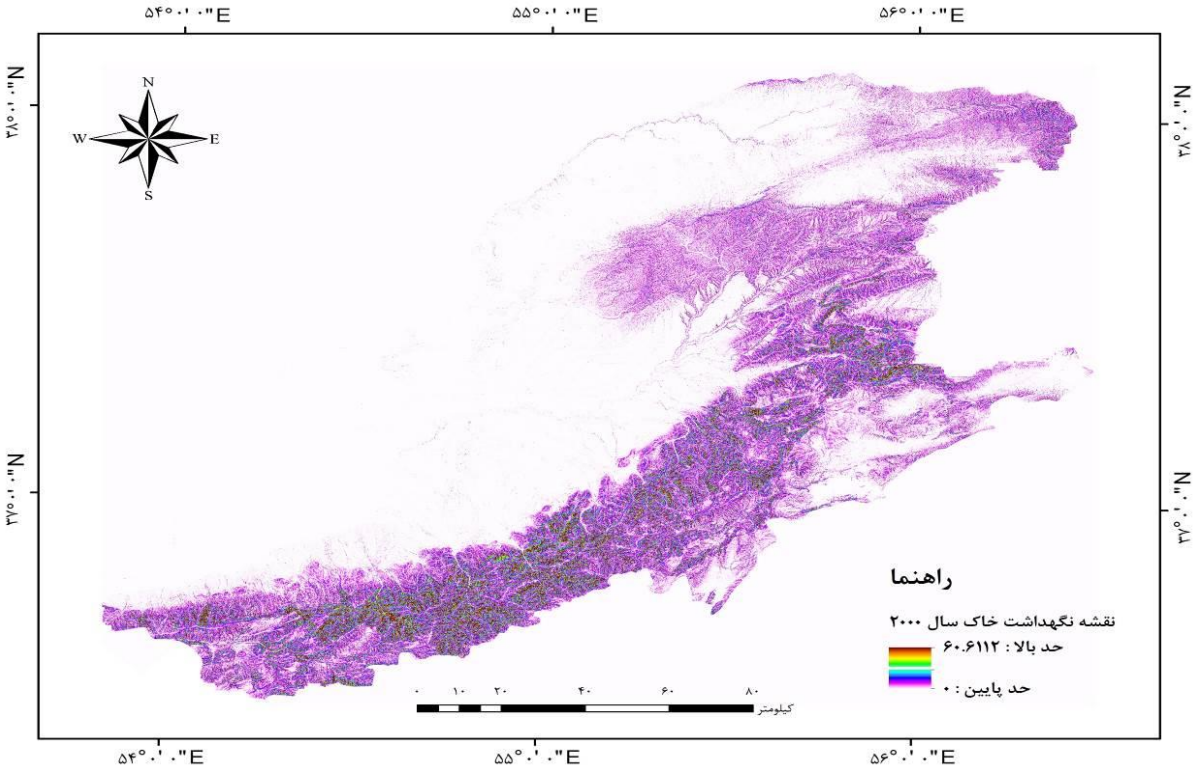
یافته‌های پژوهش

تغییرات مساحت نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی در سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰: در طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰، فقط مساحت کاربری‌های جنگل، منابع آب و اراضی بایر کاهش یافت. از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰، مساحت کاربری‌های جنگل و اراضی بایر کاهش و سایر کاربری‌ها روند افزایشی مساحت را داشتند. طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، صرفاً مساحت کاربری‌های کشاورزی، علف‌زار و بوته‌زار، منابع آب و اراضی بایر کاهش یافتند.

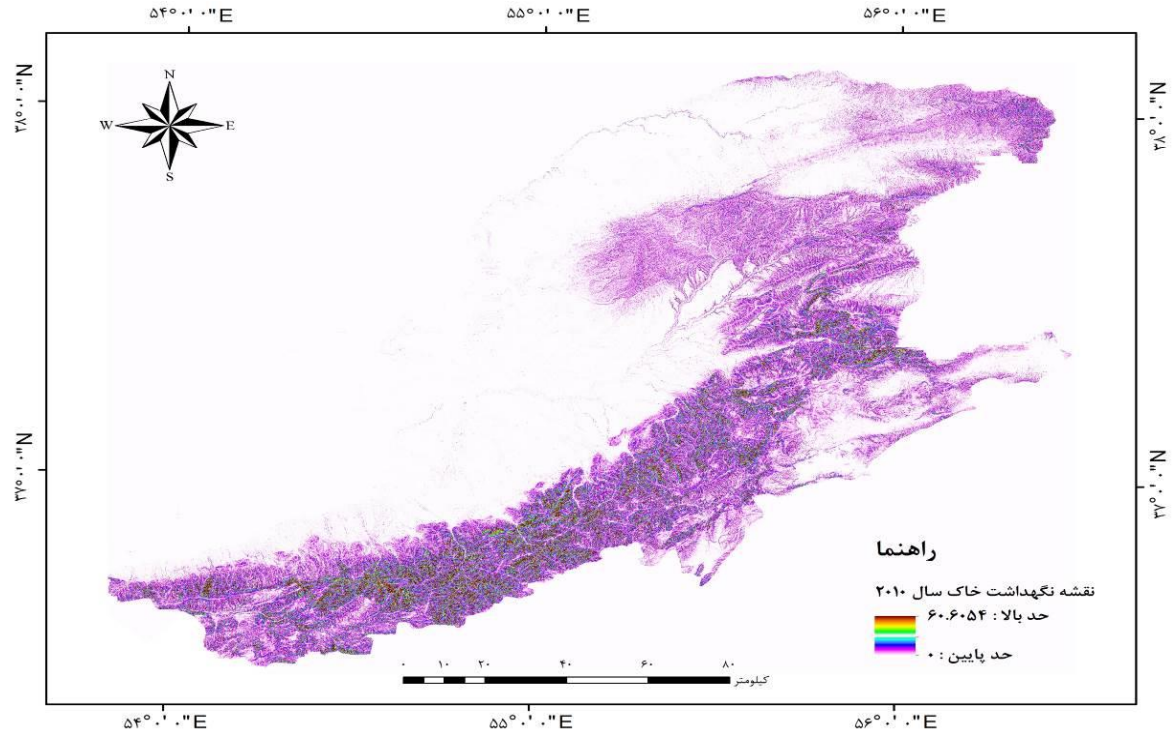
نگهداشت کلی خاک در استان گلستان: مطابق شکل‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷، میزان نگهداشت خاک در قسمت‌های قابل مشاهده، افزایش قابل توجه دارد. با بررسی‌ها این نتیجه به‌دست آمد که در این مناطق، کاربری جنگل غالب است و کاربری علف‌زار و بوته‌زار هم در این قسمت‌ها مشاهده شد و همین عامل سبب افزایش نگهداشت خاک و جلوگیری از افزایش فرسایش خاک در این مناطق شده است.



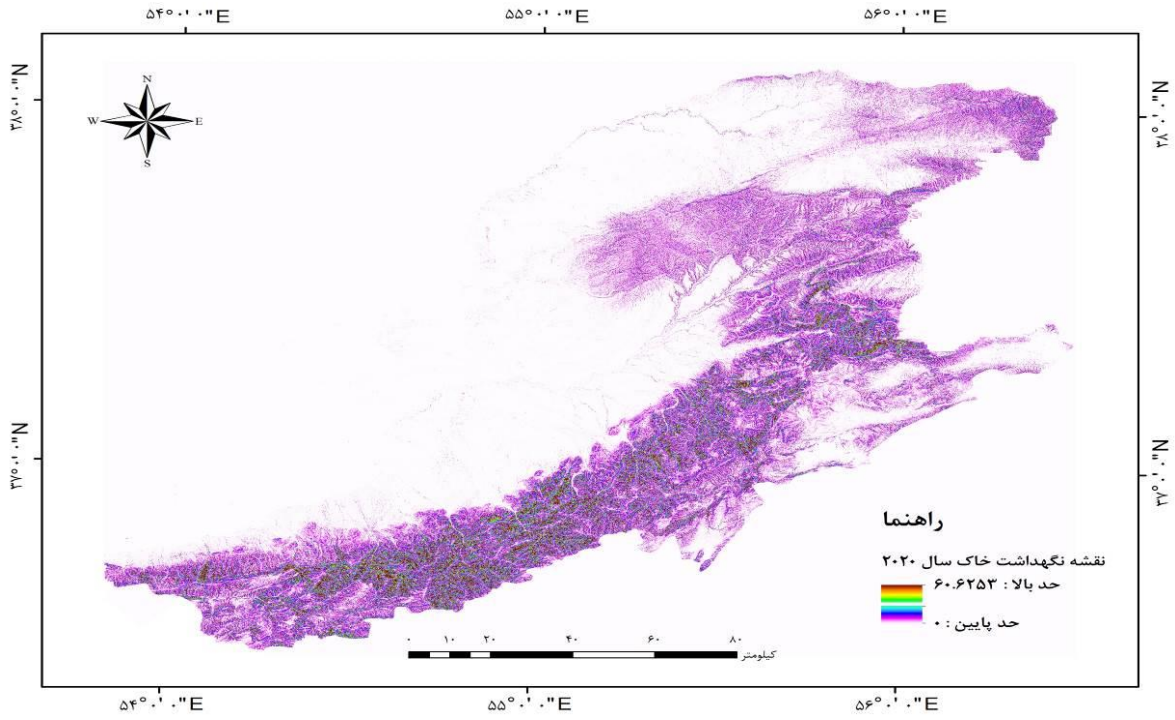
شکل ١٤- نقشهٔ نگهداشت خاک در استان گلستان در سال ١٩٨٤



شکل ١٥- نقشهٔ نگهداشت خاک در استان گلستان در سال ٢٠٠٠



شکل ۱۶- نقشهٔ نگهداشت خاک در استان گلستان در سال ۲۰۱۰



شکل ۱۷- نقشهٔ نگهداشت خاک در استان گلستان در سال ۲۰۲۰

میانگین نگهداشت خاک در استان گلستان به تفکیک کاربری اراضی سال‌های مختلف: با توجه به اطلاعات موجود در جدول‌های ۲ تا ۵، مشاهده شد در سال ۱۹۸۴، بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک، با میانگین ۰/۶۷۱۱۴۸ تن در پیکسل مربوط به جنگل بود. کم‌ترین میزان نگهداشت خاک، مربوط به مناطق شهری با میانگین ۰/۰۱۳۲۸۵ تن در پیکسل بود. همچنین میانگین نگهداشت خاک پس از جنگل از زیاد به کم به‌ترتیب در علف‌زار و بوته‌زار، اراضی کشاورزی و اراضی بایر وجود داشت. در سال ۲۰۰۰، بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک با میانگین ۰/۸۲۷۹۲۲ تن در پیکسل در جنگل مشاهده شد. کم‌ترین میزان نگهداشت

خاک نیز در این سال، مانند سال ۱۹۸۴، در مناطق شهری با میانگین ۰/۰۰۹۸۶۴ تن در پیکسل مشاهده گردید. ترتیب میزان نگهداشت خاک در کاربری‌های اراضی مختلف پس از جنگل، مانند سال ۱۹۸۴ بود. در سال ۲۰۱۰ نیز، مانند سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰، بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک در کاربری جنگل با میانگین ۰/۸۲۲ تن در پیکسل بود. کم‌ترین میزان نگهداشت خاک با میانگین ۰/۰۲۰۵۲۵ تن در پیکسل هم در کاربری مناطق شهری مشاهده شد. در سال ۲۰۲۰، بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک مانند سال‌های گذشته، در کاربری جنگل با میانگین ۰/۸۲۵۳۳ تن در پیکسل بود. اما کم‌ترین میزان نگهداشت خاک با میانگین ۰/۰۲۰۹۱۵ تن در پیکسل در کاربری اراضی بایر مشاهده گردید. با مقایسهٔ سال‌های مورد بررسی، مشخص گردید کاربری‌های جنگل و علف‌زار و بوته‌زار در طی زمان تا سال ۲۰۱۰، به‌تدریج با کمبود نگهداشت خاک مواجه شده‌اند. اما از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۰، دو کاربری فوق، افزایش نگهداشت خاک را تجربه کرده‌اند.

جدول ۲- میانگین نگهداشت خاک به تفکیک هر کاربری اراضی در سال ۱۹۸٤

کد	کاربری اراضی	میانگین نگهداشت خاک (تن/ پیکسل)
۱	اراضی کشاورزی	۰/۰۳۸۹۱۵
۲	جنگل	۰/۶۷۱۱۴۸
۳	علف‌زار و بوته‌زار	۰/۲۸۹۴۱۳
۴	منابع آب	۰/۰۰۲۰۴۶
۵	مناطق شهری	۰/۰۱۳۲۸۵
۶	اراضی بایر	۰/۰۲۰۳۷۱

جدول ۳- میانگین نگهداشت خاک به تفکیک هر کاربری اراضی در سال ۲۰۰۰

کد	کاربری اراضی	میانگین نگهداشت خاک (تن/ پیکسل)
۱	اراضی کشاورزی	۰/۰۶۰۵۸۸
۲	جنگل	۰/۸۲۷۹۲۲
۳	علف‌زار و بوته‌زار	۰/۳۶۰۴۲۴
۴	منابع آب	۰/۰۰۲۹۶
۵	مناطق شهری	۰/۰۰۹۸۶۴
۶	اراضی بایر	۰/۰۱۹۹۶۲

جدول ٤- میانگین نگهداشت خاک به تفکیک هر کاربری اراضی در سال ۲۰۱۰

کد	کاربری اراضی	میانگین نگهداشت خاک (تن/ پیکسل)
۱	اراضی کشاورزی	۰/۰۶۰۰۱۹
۲	جنگل	۰/۸۲۲
۳	علف‌زار و بوته‌زار	۰/۳۵۸۵۰۹
۴	منابع آب	۰/۰۰۳۶۳۲
۵	مناطق شهری	۰/۰۲۰۵۲۵
۶	اراضی بایر	۰/۰۲۲۷۲۸

جدول ٥- میانگین نگهداشت خاک به تفکیک هر کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰

کد	کاربری اراضی	میانگین نگهداشت خاک (تن/ پیکسل)
۱	اراضی کشاورزی	۰/۰۵۶۷۰۵
۲	جنگل	۰/۸۲۵۳۳
۳	علف‌زار و بوته‌زار	۰/۳۶۶۷۵۵
۴	منابع آب	۰/۰۰۴۱۹۹
۵	مناطق شهری	۰/۰۳۳۰۱۴
۶	اراضی بایر	۰/۰۲۰۹۱۵

میزان نگهداشت خاک در استان گلستان به تفکیک هر حوضه آبخیز در سال‌های مختلف: در تمام سال‌های مورد بررسی (۱۹۸۴، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰)، حوضهٔ آبخیز ۵ دارای بیش‌ترین و حوضهٔ آبخیز ۲ دارای کم‌ترین میزان نگهداشت خاک بود (جدول‌های ۶ تا ۹). در طی چهار سال مورد بررسی، حوضهٔ آبخیز ۵ در سال ۱۹۸۴، دارای بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک بود. بر اساس جدول ۱۰، در طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰، حوضه‌های آبخیز ۱ و ۲ دارای روند تغییرات افزایشی نگهداشت خاک بودند. حوضهٔ آبخیز ۱، دارای بیش‌ترین روند افزایش نگهداشت خاک از سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۰۰ را دارا بود. بر اساس جدول ۱۱، مشخص گردید از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰، تمام حوضه‌های آبخیز استان گلستان دارای روند کاهشی نگهداشت خاک بودند. بر اساس جدول ۱۲، از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۰، تمامی حوضه‌های آبخیز استان گلستان دارای روند افزایشی نگهداشت خاک بودند.

جدول ٦- میزان نگهداشت خاک به تفکیک هر حوضهٔ آبخیز در سال ۱۹۸٤

کد حوضهٔ آبخیز	مساحت (هکتار)	میزان نگهداشت خاک (تن/حوضه)
۱	۳۷۲۶۳۵/۱۹	۴۰۶۷۴۳/۳۲۹۱۰۶
۲	۵۲۸۱۷۴/۷۲	۴۷۵۳۶/۴۶۱۶۲۲
۳	۱۴۵۱۴۱/۹۲	۱۳۴۷۰۰/۷۶۱۰۷
۴	۱۸۷۷۹۶/۱۶	۷۹۰۰۹۸/۰۷۹۰۱۴
۵	۱۰۹۸۹۰۲/۸۸	۴۴۲۹۵۶۶/۸۰۸۶۰۸

جدول ۷- میزان نگهداشت خاک به تفکیک هر حوضهٔ آبخیز در سال ۲۰۰۰

کد حوضهٔ آبخیز	مساحت (هکتار)	میزان نگهداشت خاک (تن/حوضه)
۱	۳۷۲۶۳۵/۱۹	۴۱۹۰۸۲/۸۳۹۳۱۸
۲	۵۲۸۱۷۴/۷۲	۴۸۰۱۳/۶۵۹۷۸
۳	۱۴۵۱۴۱/۹۲	۱۳۴۶۹۹/۵۷۲۲۵۷
۴	۱۸۷۷۹۶/۱۶	۷۸۸۱۷۸/۷۰۶۱۹۹
۵	۱۰۹۸۹۰۲/۸۸	۴۳۶۵۶۵۰/۴۴۵۶۶۳

جدول ۸- میزان نگهداشت خاک به تفکیک هر حوضهٔ آبخیز در سال ۲۰۱۰

کد حوضهٔ آبخیز	مساحت (هکتار)	میزان نگهداشت خاک (تن/حوضه)
۱	۳۷۲۶۳۵/۱۹	۴۰۸۳۴۶/۵۰۶۴۳۷
۲	۵۲۸۱۷۴/۷۲	۴۷۲۹۵/۹۲۴۰۶۱
۳	۱۴۵۱۴۱/۹۲	۱۳۲۵۳۰/۳۴۰۱۰۵
۴	۱۸۷۷۹۶/۱۶	۷۸۴۷۲۸/۹۳۷۱۲۲
۵	۱۰۹۸۹۰۲/۸۸	۴۳۶۰۰۸۳/۸۷۵۰۱

جدول ۹- میزان نگهداشت خاک به تفکیک هر حوضهٔ آبخیز در سال ۲۰۲۰

کد حوضه آبخیز	مساحت (هکتار)	میزان نگهداشت خاک (تن/حوضه)
۱	۳۷۲۶۳۵/۱۹	۴۱۶۳۹۷/۳۳۵۹۸۳
۲	۵۲۸۱۷۴/۷۲	۴۹۳۴۷/۴۸۹۰۵۹
۳	۱۴۵۱۴۱/۹۲	۱۳۷۶۲۰/۰۱۶۱۷۶
۴	۱۸۷۷۹۶/۱۶	۷۸۵۶۶۲/۲۷۷۷۱۳
۵	۱۰۹۸۹۰۲/۸۸	۴۳۷۹۲۰۴/۰۴۵۳۵۶

جدول ۱۰- تغییرات میزان نگهداشت خاک به تفکیک هر حوضهٔ آبخیز در طی سال‌های ۱۹۸٤ و ۲۰۰۰

کد حوضهٔ آبخیز	مساحت (هکتار)	تفاوت میزان نگهداشت خاک (تن/حوضه)
۱	۳۷۲۶۳۵/۱۹	۱۲۳۳۹/۵۱۰۲۱۲
۲	۵۲۸۱۷۴/۷۲	۴۷۷/۱۹۸۱۵۸
۳	۱۴۵۱۴۱/۹۲	-۱/۱۸۸۸۱۳
۴	۱۸۷۷۹۶/۱۶	-۱۹۱۹/۳۷۲۸۱۵
۵	۱۰۹۸۹۰۲/۸۸	-۶۳۹۱۶/۳۶۲۹۴۵

جدول ۱۱- تغییرات میزان نگهداشت خاک به تفکیک هر حوضهٔ آبخیز در طی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰

کد حوضهٔ آبخیز	مساحت (هکتار)	تفاوت میزان نگهداشت خاک (تن/حوضه)
۱	۳۷۲۶۳۵/۱۹	-۱۰۷۳۶/۳۳۲۸۸۱
۲	۵۲۸۱۷۴/۷۲	-۷۱۷/۷۳۵۷۱۹
۳	۱۴۵۱۴۱/۹۲	-۲۱۶۹/۲۳۲۱۵۲
۴	۱۸۷۷۹۶/۱۶	-۳۴۴۹/۷۶۹۰۷۷
۵	۱۰۹۸۹۰۲/۸۸	-۵۵۶۶/۵۷۰۶۵۳

جدول ۱۲- تغییرات میزان نگهداشت خاک به تفکیک هر حوضهٔ آبخیز در طی سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰

کد حوضهٔ آبخیز	مساحت (هکتار)	تفاوت میزان نگهداشت خاک (تن/حوضه)
۱	۳۷۲۶۳۵/۱۹	۸۰۵۰/۸۲۹۵۴۶
۲	۵۲۸۱۷۴/۷۲	۲۰۵۱/۵۶۴۹۹۸
۳	۱۴۵۱۴۱/۹۲	۵۰۸۹/۶۷۶۰۷۱
۴	۱۸۷۷۹۶/۱۶	۹۳۳/۳۴۰۵۹۱
۵	۱۰۹۸۹۰۲/۸۸	۱۹۱۲۰/۱۷۰۳۴۶

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، عمده نگهداشت خاک در قسمت‌ها و حوضه‌های آبخیزی از استان گلستان مشاهده گردید که کاربری‌های جنگل و علف‌زار و بوته‌زار در این نواحی غالباً وجود داشتند. همچنین، در تمام سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰، کاربری جنگل در ابتدا و سپس کاربری علف‌زار و بوته‌زار دارای بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک بودند که طبق پژوهش Salarvand و همکاران (۲۰۱۹)، از مهم‌ترین خدمات اکوسیستم‌های جنگلی، حفاظت از آب و خاک و جلوگیری از فرسایش است. براساس پژوهش Farsi و همکاران (۲۰۲۱)، پوشش‌های مرتعی و جنگلی، نقش کلیدی در کاهش فرسایش خاک دارند. این امر، نشان‌دهندهٔ اهمیت پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش خاک و درنتیجه کمک به نگهداشت خاک است. طبق پژوهش Gong و همکاران (۲۰۲۲)، گیاهان یکی از عوامل حیاتی مؤثر بر فرسایش خاک هستند و نوع و ترکیب گیاهان معمولاً نقش مهمی در تنظیم رواناب سطحی و عملکرد رسوب دارند. پوشش گیاهی با جلوگیری از بارندگی، افزایش نفوذ، تثبیت خاک‌دانه‌ها و کاهش فرسایش‌پذیری خاک، از سطح خاک در برابر فرسایش آب و باد محافظت می‌کند. در پژوهش حاضر، میزان نگهداشت خاک در جنگل‌ها، بیش از میزان نگهداشت خاک در علف‌زار و بوته‌زار است و کاربری جنگل بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک را در میان تمام کاربری‌ها به‌خود اختصاص داده است. این نتیجه، با نتیجهٔ پژوهش Liu و همکاران (۲۰۲۰)، مطابقت کامل دارد اما با پژوهش Wei و همکاران (۲۰۰۷)، که معتقد بودند علف‌زارها بهترین گزینه برای کنترل فرسایش خاک هستند، مغایرت دارد. در پژوهش Liu و همکاران (۲۰۲۰)، توضیح داده شده که این مغایرت، احتمالاً به‌دلیل در نظر نگرفتن وضعیت رشد پوشش گیاهی زیر اشکوب در جنگل‌ها است. به‌طور کلی، جنگل‌ها نه تنها دارای یک تاج پوشش متراکم و چند طبقه هستند، بلکه علف‌های زیر اشکوب فراوانی نیز دارند که بارندگی را متوقف می‌کنند، خواص خاک را بهبود می‌بخشند و ظرفیت نفوذ خاک را افزایش می‌دهند. تمام موارد مطرح شده، فرسایش خاک را تا حد زیادی کاهش می‌دهند. بر اساس نتایج مطالعهٔ حاضر، در سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و

۲۰۱۰، مناطق شهری دارای کم‌ترین میزان نگهداشت خاک بودند. در سال ۲۰۲۰ نیز، اراضی بایر دارای کم‌ترین میزان نگهداشت خاک بودند. این نتایج با نتایج پژوهش Barzali و همکاران (۲۰۲۲)، که بیان کرده‌اند در بین کاربری‌ها، زمین‌های بایر و مناطق مسکونی کم‌ترین نقش را در نگه‌داشت قابلیت رسوب دارند، مطابقت دارد. در واقع، کاهش پوشش گیاهی منجر به افزایش فرسایش و کاهش توان نگهداشت خاک می‌شود. افزایش مناطق شهری، منجر به چرای بی‌رویه و در نتیجه کاهش نفوذ و تسریع رواناب، جنگل‌زدایی، تجاوز اراضی کشاورزی به اراضی جنگلی و عواملی از این قبیل شده و در نهایت، این از بین رفتن و فقیر شدن پوشش‌های گیاهی عامل اصلی فرسایش آبی و بادی است (Bhattacharyya *et al*., 2015). در مطالعهٔ Melese و همکاران (۲۰۲۱) نیز، بیش‌ترین میزان فرسایش خاک در اراضی بایر مشاهده شد. دلیل عمدهٔ این اتفاق، کمبود پوشش گیاهی است. پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در کنترل رواناب و در نتیجه فرسایش دارد. در پژوهش Eskandari Damaneh و همکاران (۲۰۲۲)، بیان شد جهت کنترل فرسایش خاک در اراضی بایر، می‌توان از سیاست‌های بهبود پوشش گیاهی بهره گرفت. بنابراین، به‌منظور کاهش تلفات آب و خاک و افزایش رشد گیاهان، اراضی بایر باید با کاه پوشانده شوند.

در تفسیر نتایج میزان نگهداشت خاک به تفکیک کاربری باید به این نکته توجه داشت که مقادیر متوسط اشاره شده برای هر طبقهٔ کاربری براساس میانگین نگهداشت در آن طبقه برای یک سال خاص است. بنابراین افزایش و یا کاهش مساحت هر کاربری باعث تغییر در میانگین خواهد شد. این تفسیر به این معنا نیست که لزوماً نگهداشت خاک در یک طبقه به‌دلیل قابلیت‌های آن منطقه تغییر پیدا کرده است. بنابراین اگر روند تغییرات به‌صورت نامتقارن در سال‌های مختلف روی می‌دهد به‌دلیل تغییر مساحت آن کاربری و دخالت سایر عوامل مانند عوامل توپوگرافی در افزایش یا کاهش نگهداشت خاک است.

طبق بررسی‌ها، مجموع نگهداشت خاک به تفکیک کاربری‌های اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه، تا حد بسیار زیادی با میانگین نگهداشت خاک به تفکیک کاربری‌های اراضی که در بخش نتایج مطرح شده‌اند، شباهت داشتند. از این‌رو، تنها به بیان میانگین نگهداشت خاک در کاربری‌ها در این پژوهش بسنده شد. تنها تفاوت آنها، به تغییرات نگهداشت خاک در کاربری جنگل از سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۰۰ مربوط می‌شود. براساس تغییرات میانگین نگهداشت خاک، از سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۰۰، افزایش نگهداشت خاک در جنگل‌ها مشاهده شد، درحالی‌که مجموع نگهداشت خاک از سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۰۰، در کاربری جنگل کاهش یافته است که با توجه به کاهش مساحت جنگل در طی این سال‌ها، به‌منظور محاسبات دقیق‌تر، روند طی شده در مجموع نگهداشت خاک برای کاربری جنگل لحاظ گردید. علت افزایش میانگین نگهداشت خاک در طی این دو سال افزایش انحراف معیار در سال ۲۰۰۰ و درنتیجه افزایش نگهداشت خاک در تک لکه‌هایی بوده که موجب بالا رفتن میانگین کلی نگهداشت خاک در این کاربری شده است.

با بررسی کل میزان نگهداشت خاک در کاربری‌ها و حوضه‌های آبخیز، مشخص گردید این میزان از سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۰۰ کاهش یافت. سپس از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰ نیز، مجدداً روند کاهشی نشان داد. اما از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۰، کل میزان نگهداشت خاک در کاربری‌ها و حوضه‌های آبخیز استان گلستان، افزایش یافت. از مهم‌ترین دلایل کاهش کل نگهداشت خاک در طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰، کاهش نگهداشت خاک در کاربری جنگل بوده است. این موضوع به‌دلیل کاهش مساحت جنگل‌های استان گلستان به‌دلیل جنگل‌زدایی و افزایش مساحت اراضی کشاورزی به‌دلیل استفاده از شیوه‌های متعدد کشت و افزایش مساحت مناطق شهری و علف‌زار و بوته‌زار است. از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰ نیز، مساحت جنگل‌ها کاهش و نگهداشت خاک در کاربری جنگل نیز، کاهش یافته است. همچنین در کاربری‌های اراضی کشاورزی و علف‌زار و بوته‌زار نیز، کاهش نگهداشت خاک مشاهده شد. براساس پژوهش Qiao و همکاران (۲۰۲۴)، زمین‌های زراعی در برابر فرسایش خاک آسیب‌پذیرتر هستند. همچنین، در پژوهش فوق، در مرحلهٔ توسعهٔ سریع اجتماعی–اقتصادی و شهرنشینی، شاهد گسترش زمین‌های زراعی با گسترش مناطق شهری بودیم. که در مطالعهٔ حاضر، در دورهٔ گسترش مناطق شهری، شاهد گسترش اراضی کشاورزی نیز بودیم و با گسترش اراضی کشاورزی، نگهداشت خاک در طی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ به‌سبب حساسیت شدید این اراضی نسبت به فرسایش کاهش یافت. مساحت کاربری علف‌زار و بوته‌زار در طی این سال‌ها دچار کاهش نشده بود بنابراین، این نکته را باید در نظر داشت که مدل نگهداشت InVEST براساس طبقات کاربری زمین عمل می‌کند لذا تغییرات ممکن در یک طبقهٔ کاربری که می‌تواند بر نگهداشت اثرگذار باشد، در مدل در نظر گرفته نمی‌شود. از طرف دیگر، عامل اصلی تغییر در میزان نگهداشت در سال‌های مختلف، تغییر در مساحت کاربری‌ها است.

از آنجا که طبق اصول مدل، در محاسبهٔ نگهداشت علاوه بر کاربری زمین، عوامل دیگر مانند شرایط توپوگرافی نیز دخالت دارد، بنابراین تغییر یکسان در طبقات کاربری بین دو سال مختلف می‌تواند نتایج متفاوتی را ایجاد نماید. در پژوهش Keshtkar و همکاران (۲۰۲۲)، بیان شده پاسخ به تغییرات کاربری/پوشش زمین در سراسر حوضه به‌طور قابل توجهی به‌دلیل عوامل محیطی ناهمگن مانند توپوگرافی، میزان بارش و فعالیت‌های انسانی متفاوت است.

در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، مساحت کاربری جنگل و در نتیجه میزان نگهداشت خاک در این کاربری، برخلاف سال‌های گذشته، افزایش یافت. مساحت اراضی کشاورزی و اراضی بایر و همچنین میزان نگهداشت خاک در این دو کاربری نیز، کاهش یافت. با وجود کاهش مساحت در کاربری علف‌زار و بوته‌زار، نگهداشت خاک در این کاربری افزایش یافت. طبق پژوهش Debie و Awoke (۲۰۲۳)، روش‌های مدیریت آبخیز در کاهش فرسایش خاک در اثر تغییرات کاربری‌های اراضی در سال‌های مورد مطالعه مؤثر است. در پژوهش Bouguerra و همکاران (۲۰۲۰)، بیان شد از آنجا که مناطق کشاورزی مقولهٔ غالب کاربری/پوشش اراضی هستند، اجرای بهترین شیوه‌های کشاورزی و خاک‌ورزی در کاهش پتانسیل فرسایش خاک مؤثر خواهد بود. براساس پژوهش Qiao و همکاران (۲۰۲۴)، اقدامات مختلف حفاظت از خاک و آب منجر به تبدیل مقدار زیادی از زمین‌های زراعی و اراضی بایر به زمین‌های جنگلی و علفزار و درنهایت کاهش فرسایش خاک شد. این مطلب با نتایج حاصل از پژوهش حاضر در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ مطابقت دارد. در پژوهش حاضر، به‌دلیل کاهش مساحت اراضی کشاورزی و اراضی بایر و افزایش مساحت جنگل‌ها شاهد افزایش نگهداشت خاک بودیم که این امر نشان‌دهندهٔ فعالیت‌های حفاظتی جهت حفظ و جلوگیری از کاهش خدمات اکوسیستم و به‌خصوص خدمت نگهداشت خاک در استان گلستان است.

روند افزایشی مناطق ساخته شده در پژوهش Arunyawat و Shrestha (۲۰۱۶) در طی سال‌های مطالعه، به‌دلیل رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های اقتصادی شهری است که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. طبق مطالعهٔ Srichaichana و همکاران (۲۰۱۹)، تغییرات کاربری اراضی سبب افزایش مناطق شهری و مسکونی شده است. در مطالعهٔ حاضر، مساحت مناطق شهری در طی تمامی سال‌های مورد مطالعه، افزایش یافت. براساس پژوهش Ureta و همکاران (۲۰۲۰)، اگر روند گسترش نواحی شهری به‌طور مداوم افزایش یابد، درحالی‌که نواحی دارای پوشش گیاهی همچنان رو به کاهش باشند، این امر می‌تواند منجر به آسیب‌های جبران‌ناپذیری به اکوسیستم‌ها و خدمات آن‌ها شود. همچنین، در حوضه‌های آبخیز استان گلستان از سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۰۰، صرفاً در حوضه‌های آبخیزی روند کاهش نگهداشت خاک مشاهده شد که دارای کاربری غالب جنگل بودند و این مورد با نتایج کاهش نگهداشت خاک در کاربری جنگل در نتیجه کاهش مساحت جنگل در طی این سال‌ها مطابقت دارد. اما از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰، در هیچ‌کدام از حوضه‌های آبخیز این استان، روند افزایشی نگهداشت خاک مشاهده نشده و صرفاً تمامی حوضه‌های آبخیز دارای روند کاهشی نگهداشت خاک بودند. به‌عبارت دیگر، به‌دلیل کاهش نگهداشت خاک در کاربری علف‌زار و بوته‌زار علاوه بر کاربری جنگل، سایر حوضه‌های آبخیزی که دربردارندهٔ این کاربری‌ها هستند نیز، روند کاهشی نگهداشت خاک را تجربه نمودند. همچنین، می‌توان بیان نمود که از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۰، به‌دلیل جنگل‌زدایی و کاهش مساحت جنگل‌های استان گلستان و افزایش مساحت مناطق شهری به‌دلیل افزایش ساخت و ساز و افزایش رفاه انسانی و نادیده‌انگاری خدمات مهم اکوسیستم مانند نگهداشت خاک، این خدمت مهم اکوسیستم روند کاهشی داشته است که نیازمند توجه ویژه به این خدمت اکوسیستمی، با رشد جمعیت‌های انسانی است. پژوهش‌های Minaei و همکاران (۲۰۲۴)؛ Mehrkhoo و همکاران (۲۰۲۳)؛ Khatirpasha و همکاران (۲۰۱۸)، این مطالب را تأیید می‌کنند. براساس مطالعهٔ Barzali و همکاران (۲۰۲۲)، تغییرات کاربری اراضی، باعث کاهش نگهداشت رسوب می‌گردد که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۲۰، افزایش نگهداشت خاک در تمام حوضه‌های آبخیز مشاهده شد. کاربری‌های جنگل و علف‌زار و بوته‌زار در طی این سال‌ها افزایش نگهداشت خاک را تجربه نمودند و این امر، همسو با حفاظت از آب و خاک جهت حفظ خدمات اکوسیستم در سال‌های اخیر است.

با توجه به تمامی موارد مطرح شده، پیشنهاد می‌گردد مناطق دارای ارزش زیاد به‌لحاظ ارائهٔ خدمات اکوسیستمی و به‌ویژه خدمت نگهداشت خاک، شناسایی شده و تا حد امکان مانع از اعمال فعالیت‌های پرمخاطره به‌لحاظ ایجاد تغییرات کاربری/پوشش اراضی شد. ضروری است در برنامه‌ریزی‌های مربوط به توسعهٔ سرزمین، به‌نحوی کاربری‌ها چینش گردند تا حداکثر ارائهٔ خدمات

اکوسیستمی و حداقل اثرگذاری منفی بر روی این خدمات را شاهد باشیم و به این خدمات توجه ویژه گردد.

References

Afifi, M.E., 2020. Modeling land use changes using Markov chain model and LCM model. Journal of Applied Research in Geographical Sciences 20(56), 141-158. (In Persian)

Al Rammahi, A.H.J., Khassaf, S.I., 2018. Estimation of soil erodibility factor in RUSLE equation for Euphrates river watershed using GIS. GEOMATE Journal 14(46), 164-169.

Amanpour, S., Abiyat, M., abiyat, M., Abiyat, M., 2021. Investigation of the Effect of Land Use Change on Soil Erosion and Sediment Production in Ramhormoz Basin Using Object-Oriented Classification and RUSLE Model. Iranian Journal of Soil and Water Research 52(3), 635-649. (In Persian)

Amanzadeh Seyed, A., Yazarlu, R., 2014. Studying geotechnical characteristics of silty loam soil in Golestan province. Paper presented at the 2st National Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Qom, https://civilica.com/doc/431295.

Arnoldus, H., 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco.

Arnoldus, H., 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation pp. 127-132.

Arunyawat, S., Shrestha, R.P., 2016. Assessing land use change and its impact on ecosystem services in Northern Thailand. Sustainability 8(8), 768.

Asadolahi, Z., Norouzi Nazar, M.S., 2020. Quantifying the Soil Erosion Control Ecosystem Service Under Climate Change in Gorganroud Watershed. Environmental Researches 11(21), 3-16. (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). Environmental Erosion Research 5(3), 61-75. (In Persian)

Askarian Omran, H., Pahlavani, P., 2015. Using of Markov Chain, MOLA, and Neighborhood filter for developing and increasing the efficiency of Logistic Regression to predict multiple land-use changes, a case study: Tehran. Journal of Geospatial Information Technology 3(2), 89-109. (In Persian)

Azimi Sardari, M. R., Bazrafshan, O., Panaopolus, T., Rafiee Sardoee, E., 2020. Land use Change Modeling Using Artificial Neural Network and Markov Chain (Case Study: Minab Esteqlal Dam Watershed). Journal of Natural Environment 73(1), 103-114. (In Persian)

Barzali, M., Azimi, M., Abdolhosseini, M., Lotfi, A., 2022. The Assessment of Rangeland Ecosystem Services in sediment retention via InVEST Model (Atrak Watershed, Golestan Province). Iranian Journal of Range and Desert Research 29(1), 133-144. (In Persian)

Belay, T., Mengistu, D.A., 2021. Impacts of land use/land cover and climate changes on soil erosion in Muga watershed, Upper Blue Nile basin (Abay), Ethiopia. Ecological Processes 10, 1-23.

Bhattacharyya, R., Ghosh, B. N., Mishra, P. K., Mandal, B., Rao, C. S., Sarkar, D., Franzluebbers, A. J., 2015. Soil Degradation in India: Challenges and Potential Solutions. Sustainability 7(4), 3528-3570.

Bouguerra, S., Jebari, S., Tarhouni, J., 2020. Spatiotemporal analysis of landscape patterns and its effect on soil loss in the Rmel river basin, Tunisia. Soil and Water Research16(1), 39-49.

Debie, E., Awoke, Z., 2023. Assessment of the effects of land use/cover changes on soil loss and sediment export in the Tul Watershed, Northwest Ethiopia using the RUSLE and InVEST models. International Journal of River Basin Management, pp. 1-16.

Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H., Habashi, K., Eskandari Damaneh, H., Tiefenbacher, J.P., 2022. The impact of land use and land cover changes on soil erosion in western Iran. Natural Hazards, pp. 1-21.

Falahatkar, S., Hosseini, S., Salman Mahiny, A., Ayoubi, S., 2016. Prediction of land use/cover change by using LCM model. Environmental Researches 7(13), 163-174. (In Persian)

Farsi, R., Yeganeh, H., Hosseinalizadeh, M., Azimi, M., 2021. Estimating the economic value of the role of vegetation in controlling soil erosion (Case Study: Kechik Watershed). Journal of Water and Soil Conservation 27(6), 137-15. (In Persian)

Geneletti, D., 2013. Assessing the impact of alternative land-use zoning policies on future ecosystem services. Environmental Impact Assessment Review 40, 25-35.

General Department of Environmental Protection of Golestan Province, 2019, Available from https://golestan.doe.ir/.

Gharaibeh, A., Shaamala, A., Obeidat, R., Al-Kofahi, S., 2020. Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. Heliyon 6(9).

Golestan Governorate, 2014, Available from https://golestanp.ir/.

Gomes, E., Inácio, M., Bogdzevič, K., Kalinauskas, M., Karnauskaitė, D., Pereira, P., 2021. Future land-use changes and its impacts on terrestrial ecosystem services: A review. Science of The Total Environment, 781, 146716.

Gong, C., Tan, Q., Liu, G., Xu, M., 2022. Impacts of mixed forests on controlling soil erosion in China. CATENA, 213, 106147.

Hamel, P., Chaplin-Kramer, R., Sim, S., Mueller, C., 2015. A new approach to modeling the sediment retention service (InVEST 3.0): Case study of the Cape Fear catchment, North Carolina, USA. Science of The Total Environment 524-525, 166-177.

Heidarlou, H.B., Shafiei, A.B., Erfanian, M., Tayyebi, A., Alijanpour, A., 2019. Effects of preservation policy on land use changes in Iranian Northern Zagros forests. Land Use Policy 81, 76-90.

Kamyab, H., Shabani, N., 2019. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in Golestan province. Environmental Sciences 17(2), 43-56. (In Persian)

Kassas, M., 1984. The global biosphere: Conservation for survival. World Futures: Journal of General Evolution 19(3-4), 209-222.

Keshtkar, M., Mokhtari, Z., Sayahnia, R., 2022. Impact of land use/land cover change on soil retention service: A case of agricultural-urbanized Landscape in Northern Iran. Journal of Landscape Ecology, 15(2), 34-58.

Khatirpasha, N., Hojjati, M., Pourmajidian, M.R., Asadiyan, M., 2018. Impact of different land use on physical, chemical and biological soil properties in the Qalek forest Qhaemshahr city. Journal of Water and Soil Conservation 24(6), 211-225. (In Persian)

Kumar, K.S., Kumari, K. P., Bhaskar, P.U., 2016. Application of Markov Chain & Cellular Automata based model for prediction of Urban transitions. Paper presented at the 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT) (pp. 4007-4012). IEEE.

Kuplich, T.M., 2006. Classifying regenerating forest stages in Amazônia using remotely sensed images and a neural network. Forest Ecology and Management 234(1), 1-9.

Lee, J.-H., Heo, J.-H., 2011. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. Journal of Hydrology 409(1), 30-48.

Leta, M. K., Demissie, T. A., Tränckner, J., 2021. Modeling and prediction of land use land cover change dynamics based on land change modeler (Lcm) in nashe watershed, upper blue nile basin. Ethiopia. Sustainability 13(7), 3740.

Liu, Y.-F., Liu, Y., Shi, Z.-H., López-Vicente, M., Wu, G.-L., 2020. Effectiveness of re-vegetated forest and grassland on soil erosion control in the semi-arid Loess Plateau. CATENA, 195, 104787.

Marques, S. M., Campos, F. S., David, J., Cabral, P., 2021. Modelling sediment retention services and soil erosion changes in Portugal: a spatio-temporal approach. ISPRS International Journal of Geo-Information 10(4), 262.

Mehrkhoo, S., Ramezani, M., Farshchi, P., Panahi, M., Monavari, M., 2023. Forecasting changes in the supply of ecosystem services related to biodiversity under the influence of land use changes in the Shafarood watershed of Gilan province. Environmental Science and Technology 25(7), 109-124. (In Persian)

Melese, T., Senamaw, A., Belay, T., & Bayable, G., 2021. The spatiotemporal dynamics of land use land cover change, and its impact on soil erosion in Tagaw Watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. Global Challenges 5(7), 2000109.

Minaei, M., Boulaghi ,S., Afsahi, H., 2024. Modeling land use/cover change with an emphasis on artificial land growth using a combination of CA-Markov model and multi-criteria decision analysis based on GIS(Case study: Aras River watershed). Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, -. (In Persian)

Boulaghi, S., Afsahi, H., Minaei, M., 2024. Land use/cover change modeling with emphasis on built-up land growth with the help of CA-Markov model integration and multi-criteria decision analysis based on GIS.(Case study: Aras River watershed). Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 16(2), 137-158. (In Persian)

Mishra, V. N., Rai, P. K., Mohan, K., 2014. Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: A case study of Muzaffarpur (Bihar), India. Journal of the Geographical Institute" Jovan Cvijic", SASA 64(1), 111-127.

Mozaffar, M.H., Joneghani, E.S., 2021. Modeling Urban Expansion and Development of Isfahan City by Using Remote Sensing Data in LCM Model. Journal of Geomatics Science and Technology 10(4), 179-190. (In Persian)

Negese, A., 2021. Impacts of land use and land cover change on soil erosion and hydrological responses in Ethiopia. Applied and Environmental Soil Science, 2021(1), 6669438.

Oñate-Valdivieso, F., Sendra, J. B., 2010. Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. Journal of Hydrology 395(3-4), 256-263.

Qiao, X., Li, Z., Lin, J., Wang, H., Zheng, S., & Yang, S., 2024. Assessing current and future soil erosion under changing land use based on InVEST and FLUS models in the Yihe River Basin, North China. International Soil and Water Conservation Research 12(2), 298-312.

Rajbanshi, J., Das, S., 2021. Changes in carbon stocks and its economic valuation under a changing land use pattern—A multitemporal study in Konar catchment, India. Land Degradation & Development 32(13), 3573-3587.

Regasa, M.S., Nones, M., Adeba, D., 2021. A review on land use and land cover change in Ethiopian basins. Land 10(6), 585.

Renard, K.G., Freimund, J.R., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. Journal of Hydrology 157(1), 287-306.

Salarvand, J., Ghasemi Aghbash, F., Asadolahi, Z., 2019. Considering the Role of Forest Cover in Soil Retention as an Ecosystem Services (Case Study: Lorestan Province). Geographical Space 19(67), 61-78. (In Persian)

Salman Mahiny, A., other colleagues., 2013. Preparation plan of Golestan province. Governorate of Golestan province. (In Persian)

Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., Douglass, J., 2018. InVEST 3.6.0.post59+ug.hb39bc56cc601 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Srichaichana, J., Trisurat, Y., Ongsomwang, S., 2019. Land use and land cover scenarios for optimum water yield and sediment retention ecosystem services in Klong U-Tapao Watershed, Songkhla, Thailand. Sustainability 11(10), 2895.

Statistical Yearbook of Golestan Province, 2021, Country Planning and Budget Organization, Management and Planning Organization of Golestan Province, Deputy of Statistics and Information. (In Persian)

Ureta, J. C., Clay, L., Motallebi, M., Ureta, J., 2020. Quantifying the landscape's ecological benefits—an analysis of the effect of land cover change on ecosystem services. Land 10(1), 21.

Wang, G., Jiang, H., Xu, Z., Wang, L., Yue, W., 2012. Evaluating the effect of land use changes on soil erosion and sediment yield using a grid-based distributed modelling approach. Hydrological Processes 26(23), 3579-3592.

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), 247-258.

Yousefi, M., Pajouhesh, M., Honarbakhsh, A., 2020. Modeling Trends Land Use Changes Local by Using LCM Model Based on Artificial Neural Networks and Markov Chain Analysis(Case Study: BeheshtAbad Watershed). Jjournal of Watershed Management Research 11(21), 129-142. (In Persian)

Zabihi, M., Moradi, H. R., Khaledi Darvishan, A., Gholamalifard, M., 2021. Application of InVEST Ecosystem Services Model to Prioritize Sub-watersheds of Talar in term of Soil Erosion, Sediment Retention and Yield. Environment and Water Engineering 7(2), 293-303. (In Persian)

Zare, M., Teimurian, T., Jouri, M. H., 2017. Monitoring of land use/cover changes using change drastically, degree of dynamic and post classification comparison. Natural Ecosystems of Iran 8(1), 123-136. (In Persian)

Zhang, X., Cao, W., Guo, Q., Wu, S., 2010. Effects of landuse change on surface runoff and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau. International Journal of Sediment Research 25(3), 283-293.