



## Investigating the Impacts of Land Use Changes on Soil Erosion in Givi City using the MABAC Multi-Criteria Decision-Making Model and Landsat Satellite Images (OLI-TM Sensors)

Mousa Abedini<sup>a\*</sup>, Elnaz Piroozi<sup>b</sup>, Mehdi Faal Naziri<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Professor in Geomorphology, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>b</sup> PhD in Geomorphology, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>c</sup> PhD Candidate in Geomorphology, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 17 December 2021 Revised: 19 February 2022 Accepted: 7 March 2022

### Abstract

In recent years, the mutual impact of land use change and soil erosion has become a major environmental concern. Therefore, this study tried to investigate the changes in different land uses and evaluate the impacts of land use changes on soil erosion in Givi city. To achieve the goals of the research, first, a land use map was prepared using the object-oriented method for the two periods of 2000 and 2021. Then, according to the natural and human conditions of the area, other effective factors for erosion in the area were identified and the information layers of each of the criteria were prepared by the geographic information system. Evaluation and standardization of layers were done using the fuzzy membership function and weighting of the criteria was done using the CRITIC method. The final analysis and modeling were done using the MABAC method as one of the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods. The results showed that the largest area in 2000 is related to good and medium pastures, recording 313.172 and 283.144 square kilometers, respectively. In 2021, the biggest areas are related to poor pastures and barren lands, with 335.077 and 329.815 square kilometers, respectively. According to the 2000 erosion zoning map, 16.34% and 20.36% of the city and according to the 2021 erosion zoning, 22.92% and 25.58% of the city's area are in very high and high erosions, respectively. Decreasing good and average pastures and lands with dense vegetation and turning them into agricultural areas, poor pastures, and man-made and barren lands have had the greatest impact on soil erosion.

**Keywords:** Soil Erosion, Land Use Changes, MABAC Model, Object-oriented Method, Givi City

\*.Corresponding author: Mousa Abedini

Email: abedini@uma.ac.ir

Tel:+989143555226

**How to cite this Article:** Abedini, M., Piroozi, E., & Faal Naziri, M. (2023). Investigating the Impacts of land use changes on soil erosion in Givi City using the MABAC multi-criteria decision-making model and Landsat satellite images (OLI-TM sensors). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(4), 1-26.

DOI:10.22067/geoeh.2022.73137.1121



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

## Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 4 - Number 48, Winter 2024

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73137.1121>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و هشتم، زمستان ۱۴۰۲، صص ۲۶-۱

مقاله پژوهشی

### بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک شهرستان گیوی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره MABAC و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده‌های TM - OLI)

موسی عابدینی<sup>۱</sup> - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

الناز پیروزی - دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

مهدی فعال نذیری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

#### چکیده

در سال‌های اخیر، تأثیر متقابل تغییر کاربری اراضی و فرسایش خاک تبدیل به یک نگرانی عمده زیست محیطی شده است. از این رو، هدف این مطالعه بررسی تغییرات کاربری‌های مختلف و ارزیابی اثرات تغییرات کاربری‌ها بر فرسایش خاک، در شهرستان گیوی است. در راستای دستیابی به اهداف پژوهش، ابتدا نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شی‌گرا برای دو دوره ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱، تهیه شده است. در مرحله بعد با توجه به شرایط طبیعی و انسانی محدوده، سایر عوامل مؤثر برای فرسایش در منطقه شناسایی شد و لایه‌های اطلاعاتی هر یک از معیارها، توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. ارزش‌گذاری و استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از تابع عضویت فازی و وزن‌دهی معیارها، با استفاده از روش CRITIC انجام شد. تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش MABAC به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)، انجام شد. نتایج نشان داد، بیشترین میزان مساحت در سال ۲۰۰۰

Email: abedini@uma.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۳۵۵۵۲۲۶

نحوه ارجاع به این مقاله:

عابدینی، موسی، پیروزی، الناز، فعال نذیری، مهدی. (۱۴۰۲). بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک شهرستان گیوی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره MABAC و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده‌های TM - OLI). جغرافیا و

مخاطرات محیطی، ۱۲(۴). صص ۲۶-۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73137.1121>

مربوط به مراتع خوب و متوسط، به ترتیب با ۳۱۳/۱۷۲ و ۲۸۳/۱۴۴ کیلومترمربع است و در سال ۲۰۲۱، بیشترین میزان مساحت مربوط به مراتع ضعیف و اراضی بایر (هموار) به ترتیب با ۳۳۵/۰۷۷ و ۳۲۹/۸۱۵ کیلومترمربع است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۰۰ به ترتیب ۱۶/۳۴ و ۲۰/۳۶ درصد و با توجه پهنه‌بندی فرسایش ۲۰۲۱ به ترتیب ۲۲/۹۲ و ۲۵/۵۸ درصد از مساحت شهرستان در دو طبقه فرسایش بسیار زیاد و زیاد قرار دارند. کاهش مراتع خوب و متوسط و اراضی با پوشش گیاهی متراکم و تبدیل آن‌ها به مناطق کشاورزی، مراتع ضعیف، انسان‌ساخت و اراضی بایر بیشترین میزان تأثیر را بر فرسایش خاک داشته است.

**کلیدواژه‌ها:** فرسایش خاک، تغییرات کاربری، مدل MABAC، روش شی‌گرا، شهرستان گیوی.

#### ۱- مقدمه

فرسایش خاک یک مشکل در مقیاس جهانی است که منابع آب و خاک را تهدید می‌کند و تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل مهم و مؤثر در تشدید خاک است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲). کاربری اراضی منعکس‌کننده ویژگی‌های تعاملی بین انسان و محیط‌زیست و توصیف نحوه بهره‌برداری انسان برای یک یا چند هدف بر روی زمین است. در حال حاضر تغییر کاربری زمین به صورت غیراصولی از مهم‌ترین معضلات اقصی نقاط کشور ایران و جهان است و تغییر اکثر کاربری‌ها غالباً بی‌برنامه و بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی صورت می‌گیرد (بنیاد امیر و حاجی قادری، ۱۳۸۶). لذا، آگاهی از تغییر و تحولات کاربری اراضی در طول یک دوره زمانی برای برنامه‌ریزان و مدیران بسیار حائز اهمیت است (تاجیزوکا و همکاران، ۲۰۰۲). معمولاً آشکارسازی تغییرات، فرآیند مربوط به تشخیص مناطق تغییر یافته در دو تصویر و دو زمان متفاوت است (اکسلو و بو، ۲۰۱۱). روش‌های متعددی برای آشکارسازی تغییرات محیطی به کار گرفته می‌شود که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی اشاره نمود (جبار و ژو، ۲۰۰۱؛ ولس و همکاران، ۲۰۰۴؛ رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). روش‌های سنتی برای محققین زمانبر و پرهزینه است، ولی تکنیک‌های سنجش‌ازدور با استفاده از تصاویر چند زمانه، حجم عظیمی از اطلاعات را در اختیار محقق می‌گذارد (کنس و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین، تصاویر ماهواره‌ای به جهت ارائه اطلاعات بهنگام، تنوع اشکال، رقومی بودن و امکان پردازش در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از اهمیت بالایی برخوردارند. بنابراین می‌توان گفت، استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در محیط GIS، می‌تواند شناخت مناسبی از چگونگی تغییرات کاربری اراضی ارائه داده و در مدیریت آن راهکارهای مناسبی ارائه دهد (مندوز و

1 Tachizuka et al

2 Xiaolu & Bo

3 Jabbar and Zhou

4 Wessels et al

5 Kenneth et al

همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱؛ کوپین و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴). از سوی دیگر، می‌توان فرسایش خاک را یکی از بزرگ‌ترین موانع برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی و استفاده از منابع طبیعی دانست (سابوتا و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۷؛ سینگ و پاندا<sup>۴</sup>، ۲۰۱۷). فرسایش خاک فرآیندی است که در آن ذرات خاک، سنگ‌دانه‌ها و قطعات سنگی جدا شده و توسط آب انتقال می‌یابند و سپس در مناطق جدید قرار می‌گیرند (ماسلینک و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۷). این امر باعث تخریب شدید زمین می‌شود و بر باروری خاک، بهره‌وری کشاورزی، کیفیت آب و اکوسیستم‌ها و محیط‌های منطقه‌ای تأثیر می‌گذارد (آیلو<sup>۶</sup>، ۲۰۱۵). به‌طور متوسط، فرسایش خاک در ایران، سه برابر بیشتر از سایر کشورهای آسیایی و ۲۲ برابر میانگین جهانی است (مزبانی و همکاران، ۱۴۰۰). بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، کشت بدون عملیات کنترلی و همچنین استفاده بدون برنامه‌ریزی از زمین در کنار شهرسازی، جنگل‌زدایی و کشاورزی غیراصولی، از عوامل اساسی فرسایش خاک در جهان و به‌ویژه در ایران، محسوب می‌گردد. پدیده فرسایش و آثار سوء آن شاید در کوتاه‌مدت چندان چشم‌گیر نباشد، ولی در بلندمدت بسیار محسوس است. در صورت عدم اقدام، خسارات عظیم و جبران‌ناپذیری به همراه خواهد داشت (اوزاحین و ایراغلو<sup>۷</sup>، ۲۰۱۹). سیستم اطلاعات جغرافیایی، ابزاری مؤثر برای سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری تعاملی برای عملیات مدیریت ریسک هستند (بوخیر و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۶) و در سال‌های اخیر، جهت مطالعه پدیده فرسایش خاک مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرند (آکومار و اراجو<sup>۹</sup>، ۲۰۱۴؛ آجکومار و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۹). به‌علاوه، از آنجایی که مدل‌های مبتنی بر معادله جهانی فرسایش موفق به در نظر گرفتن وابستگی متقابل عوامل مؤثر بر فرسایش خاک نمی‌باشند (نخای<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). لذا، برای کشف طیف وسیعی از گزینه‌ها از نظر درگیری‌های عینی و معیارهای چندگانه، از روش MCDM استفاده می‌شود (آهر و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۳). در این روش‌های تصمیم‌گیری برای بهینه‌سازی مدل، از معیارهای مختلفی برای افزایش صحت تصمیمات استفاده می‌شود (جورجیو و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۵؛ عرب‌عامری و همکاران<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۸). لذا می‌توان گفت، با توجه به محدودیت‌های روش‌های سنتی، که عملاً وقت‌گیر و هزینه‌بر بوده و اغلب با خطا همراه می‌باشند، استفاده از

- 1 Mendoza et al
- 2 Coppin et al
- 3 Subhatu et al
- 4 Singh & Panda
- 5 Masselink et al
- 6 Aiello
- 7 Ozsahin & Eroglu
- 8 Boukheir et al
- 9 Okumura & Araujo
- 10 Ajaykumar et al
- 11 Nekhay et al
- 12 Aher et al
- 13 Georgiou et al
- 14 Arab Ameri et al

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با یک رویکرد تلفیقی، علاوه بر سودآوری می‌تواند باعث تسریع در روند برنامه‌ریزی در تشخیص موارد بحرانی و اضطراری شده و منجر به صدور نتایج مناسبی گردد.

مطالعات فراوانی پیرامون تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، پهنه‌بندی فرسایش و نیز نقش کاربری در فرسایش انجام شده است. برای مثال؛ **اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۷)**، اثرات تغییرات کاربری اراضی را بر روی فرسایش حوزه سیمینه‌رود بوکان با استفاده از روش WLC (طی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷)، مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که بیشترین مساحت این حوضه در طبقه پرخطر قرار دارد و با افزایش مساحت زراعت آبی، اراضی بایر، مناطق سنگلاخی و مناطق مسکونی و کاهش مراتع بر میزان فرسایش افزوده می‌شود. **میاحی و همکاران (۱۴۰۰)**، اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک تالاب هورالعظیم را در طی سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داده است، در بازه زمانی مورد بررسی، از مساحت طبقات دارای کلاس فرسایشی کم کاسته شده و به مساحت کلاس‌های فرسایشی زیاد افزوده شده است و کاهش پوشش گیاهی و مناطق آبی به همراه افزایش اراضی بایر نقش مهمی در افزایش درصد فرسایش خاک، در محدوده داشته است. **عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)**، ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی و ژئومورفیک با مقادیر فرسایش و رسوب در حوزه آبریز کوزه توپراقی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که ارتباط میان مقادیر فرسایش و رسوب در زیرحوضه‌های مورد مطالعه معنی‌دار است. علاوه بر این، مقدار فرسایش و رسوب با مقادیر شیب نیز دارای رابطه معکوس و معنی‌دار هستند. هم‌چنین میان شیب و نیز شاخص قدرت آبراهه رابطه مثبت و معنی‌دار از نظر آماری وجود دارد. **سانتوس و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۷)**، به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن بر فرسایش در مناطق نیمه‌خشک برزیل، در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱، پرداختند و نتایج به دست آمده نشان داد که سطح اراضی جنگلی و مراتع کاهش یافته و میزان فرسایش در این مناطق ۱۰ برابر افزایش داشته است. **کیدن و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۹)**، تأثیر استفاده از زمین بر فرسایش خاک و عملکرد رسوب، در اتیوپی، طی سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۵، مورد مطالعه قرار دادند نتایج نشانگر تبدیل سریع کاربری‌های با پوشش گیاهی طبیعی به کاربری‌های اصلاح شده بشر می‌باشد. **کوجو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۰)**، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر فرسایش خاک در کنیا غربی، در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج نشان داد که ۵۰ درصد از تلفات و فرسایش خاک در زمین‌های زراعی، به‌ویژه در مزارعی که در اثر پاک‌سازی و تخریب جنگل‌ها به وجود آمده‌اند، دیده می‌شود و مناطق دارای پوشش علفی/درختچه‌ای، در رتبه دوم قرار دارند. **لی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۱)**، به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش رودخانه‌ای در شهرستان Kedong، واقع در شمال شرقی چین بین

1 Santos et al

2 Kidane et al

3 Kogo et al

4 Li et al

سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج نشان داده است، زمین‌های زیر کشت، در بازه زمانی مورد مطالعه به‌طور چشم‌گیری، افزایش یافته است و کشت زمین در دامنه‌ها، به‌ویژه در دامنه‌های بزرگ‌تر از ۴ درجه، ممکن است سرعت فرسایش رودخانه را تشدید کند.

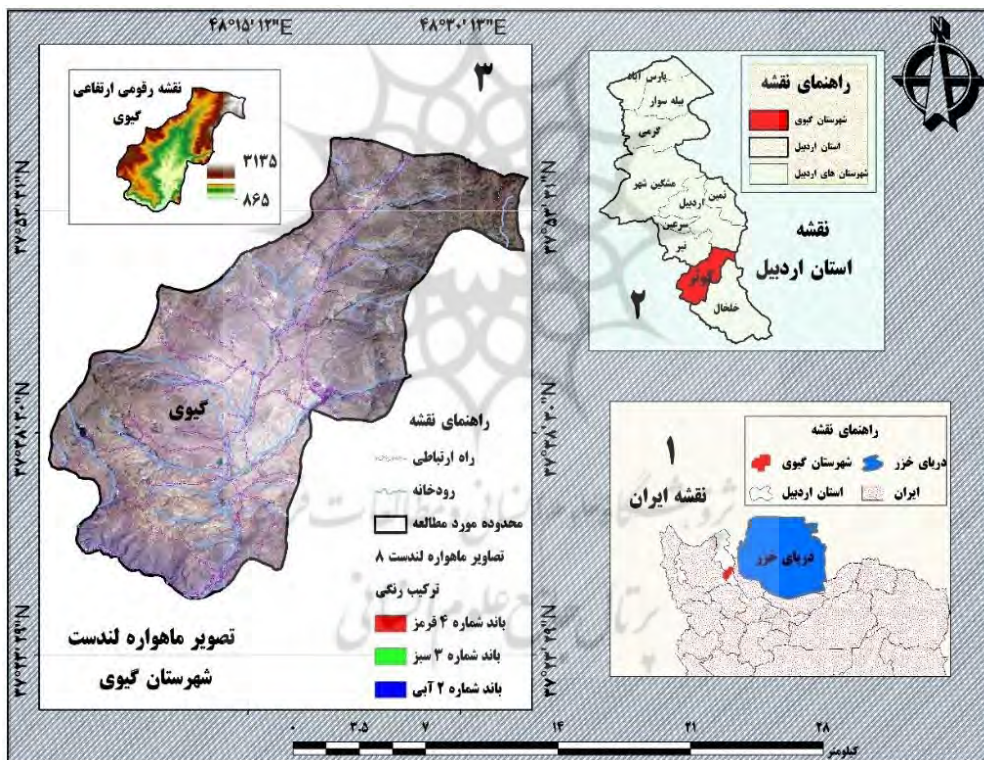
بخش اعظمی از مساحت شهرستان گیوی، کوهستانی و پر شیب است و نیز اغلب کاربری اراضی به‌صورت زمین‌های کشاورزی، باغات و مراتع می‌باشد که به دلیل استفاده غیراصولی و بی‌رویه از اراضی، میزان فرسایش شهرستان زیاد می‌باشد و به همین علت از مقادیر زیاد بار معلق رسوبی برخوردار است و این فرآیند در کنار وقوع طغیان‌های رودخانه، باعث کاهش عمر مفید سد گیوی و کانال‌های واقع بر روی این رودخانه می‌گردد؛ بنابراین، در تحقیق حاضر، با توجه به اهمیت مطالعه تغییرات کاربری‌ها و نقش آن در فرسایش خاک در گذر زمان و نیز با تأکید بر بررسی کارایی و دقت نتایج حاصل از به‌کارگیری داده‌های سنجش‌ازدور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، با یک رویکرد تلفیقی، تغییرات کاربری اراضی در شهرستان گیوی و نقش آن در میزان فرسایش (بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱)، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با توجه به این امر که، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه بررسی نقش تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک، در طی بازه زمانی مورد مطالعه در سطح شهرستان گیوی انجام نشده است و به علاوه، استفاده از روش ماباک، در امر پهنه‌بندی فرسایش خاک، برای نخستین بار در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پهنه‌بندی فرسایش خاک بسیار جالب باشد و انتظار می‌رود، با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر خطر فرسایش، اقدامات لازم جهت کنترل فرسایش شهرستان گیوی، برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه از خاک و استراتژی‌های مدیریت پایدار زمین به عمل آید.

## ۲- مواد و روش‌ها

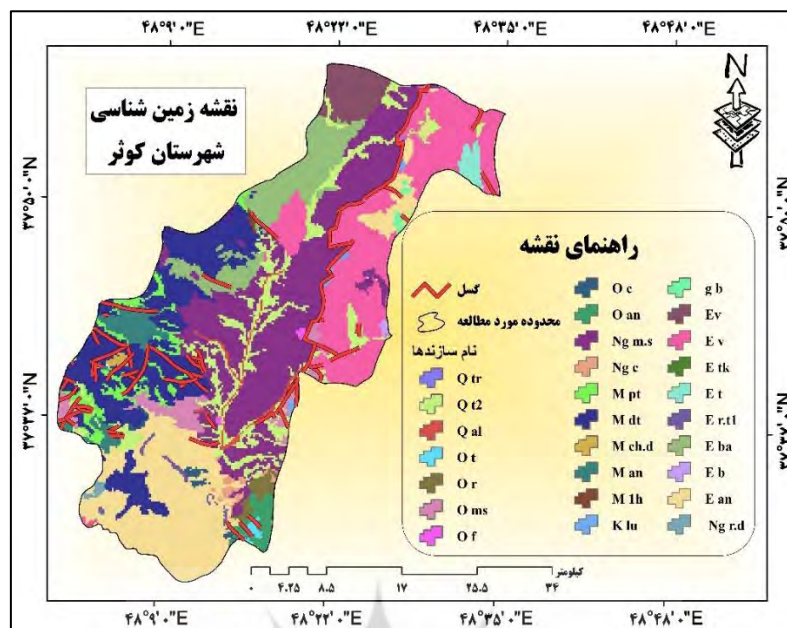
### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان گیوی (کوثر)، با مرکزیت شهر گیوی به‌طور تقریبی ۱۲۷۹/۷۵ کیلومتر مربع، وسعت دارد. این شهر از نظر جغرافیایی در ۴۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۷ و ۵۷ دقیقه عرض جغرافیایی، در فاصله ۸۵ کیلومتری اردبیل قرار دارد (شکل ۱). این شهرستان از شمال با شهرستان اردبیل، از شرق با شهرستان خلخال، از غرب و جنوب با شهرستان‌های نیر و میانه همسایه است و شامل دو بخش فیروزآباد و مرکزی و چهار دهستان به نام‌های سنجید شمالی، سنجید غربی، سنجید جنوبی و زرج آباد و ۱۲۱ روستا است. با توجه به طبقه‌بندی دومارتن و بلر شهرستان گیوی از نوع اقلیم نیمه‌خشک، طبق گروه‌بندی اقلیمی سلاینوف دارای اقلیم نیمه‌خشک خفیف و با توجه به طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم ارتفاعات می‌باشد. ارتفاع متوسط در شهرستان گیوی، حدود ۲۳۰۰ متر می‌باشد و بیش‌تر نقاط ارتفاعی آن، در قسمت شمال شرق و جنوب غرب

قرار گرفته‌اند و از مهم‌ترین ارتفاعات این شهرستان رشته‌کوه تالش یا باغرو داغ می‌باشد. در مناطق کوهستانی شهرستان، خاک از نوع ریگسول و لیتوسول بسیار کم عمق تا کم عمق همراه با گراول، ماسه، سیلت، رس و قطعات زاویه‌دار سنگی متلاشی شده است و در تراس‌ها و حواشی رودخانه‌ها خاک‌ها از لیتوسول نیمه عمیق تا کم عمق می‌باشد و در بعضی نقاط، خاک‌ها به صورت، نیمه تکامل یافته است. شهرستان گیوی به‌طور عمده از سازندهای آتشفشانی و آذرآواری ترشیاری (به‌ویژه ائوسن، الیگوسن و میوسن) تشکیل شده که با رسوب‌گذاری سنگ‌هایی نظیر کنگلومرا، ماسه‌سنگ، مارن و لایه‌های گچ و آهک همراه بوده است. به علاوه، رسوبات کواترنری محدوده؛ شامل؛ پادگانه‌های آبرفتی، رسوبات دامنه‌ای و نهشته‌های رودخانه‌ای می‌باشد (شکل ۲)؛ بنابراین، شهرستان کوثر، از مناطق فرسایش‌پذیر بوده و انواع فرسایش آبی سطحی، ورقه‌ای، شیاری در آن دیده می‌شود و به همین علت از مقادیر زیاد بار معلق رسوبی برخوردار است.



شکل ۱- نقشه موقعیت شهرستان گیوی



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی شهرستان گیوی

## ۲-۲- داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و روش تحقیق آن تحلیلی مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش‌ازدور و استفاده از فنون تحلیل چند معیاره است. جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای Arc GIS، ENVI، Ecognition، Idrisi، و Excel، بهره‌گیری شده است. جهت بررسی میزان فرسایش، در مرحله جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا باید مؤلفه‌های تأثیرگذار مشخص شده و بر مبنای آن‌ها داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز گردآوری و طبقه‌بندی شوند. بدین منظور، در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر (شامل: شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه و خاک)، با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه شناسایی گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه، با استفاده از نقشه خطوط ارتباطی و رودخانه‌های استان اردبیل، تهیه گردید. لایه‌های شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر، دانلود شده از سایت ([vertex.daac.asf.alaska.edu](http://vertex.daac.asf.alaska.edu))، تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها)، با رقمی‌سازی از روی نقشه زمین‌شناسی گیوی، خلخال-رضوانشهر و ماسوله؛ با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. نقشه بارش شهرستان نیز، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی و با استفاده از روش درونیابی IDW، ترسیم شد.



## ۲-۳- تهیه نقشه کاربری اراضی

در تحقیق حاضر با هدف استخراج کاربری اراضی شهرستان کوثر، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست از سنجنده‌های (TM - OLI) برای سال‌های (۲۰۰۰-۲۰۲۱) در ماه آگوست از سایت زمین‌شناسی آمریکا اخذ شد (جدول ۱). برای استخراج نقشه کاربری اراضی از ترکیب باندهای مرئی (آبی و سبز و قرمز) و مادون قرمز نزدیک ماهواره لندست، جهت طبقه‌بندی استفاده شد. لازم به ذکر است، بر خلاف طبقه‌بندی پیکسل پایه، در طبقه‌بندی شی‌گرا ترکیب چهار باند (۱-۲-۳-۴-۷) ماهواره لندست امکان‌پذیر می‌باشد. سپس به منظور آماده‌سازی تصاویر، تصحیحات هندسی و اتمسفری با استفاده از روش Flaash روی تصاویر و نرم‌افزار Envi5.3 اقدام شد. در نهایت طبقه‌بندی با روش شی‌گرا و با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی توسط نرم‌افزار Ecognition صورت گرفت. طبقه‌بندی شی‌گرا فرایندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد این نوع از طبقه‌بندی بر اساس منطق فازی استوار است و ارزش عوارض را به ارزش فازی (بین صفر و یک) با درجه عضویت معین برای هر کلاس تبدیل می‌کند (رضائی‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۹). فرآیند و نتیجه این نوع از تحلیل تصاویر، در سه بخش قابل تقسیم است که عبارتند از، سگمنت‌سازی، طبقه‌بندی فازی و ارزیابی صحت. مبنای طبقه‌بندی شی‌گرا فرایند قطعه‌بندی (سگمنت‌سازی) می‌باشد. در فرآیند قطعه‌بندی مفسر می‌تواند با در نظر گرفتن پارامترهای شکل، بافت، ضریب فشردگی و معیار نرمی، فرایند قطعه‌بندی تصویر را انجام داده و بر اساس نسبت اهمیت هر یک از این عوامل در خصوصیات کلاس‌های موردنظر برای استخراج از تصاویر ماهواره‌ای، نسبت اهمیت آن‌ها را در فرایند قطعه‌بندی اعمال نماید (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷). در تحقیق حاضر با تفسیر منحنی‌های انعکاس طیفی و همچنین ارزیابی هیستوگرام همبستگی نوارها، ترکیب نواری ۴-۳-۱ به‌عنوان بهترین ترکیب فوق برای طبقه‌بندی انتخاب شد. در فرایند سگمنت‌سازی اقدام به اعمال وزن برای ترکیب نواری منتخب گردید و به نوار ۳ (نوار شاخص گیاهی) وزن بیشتری از سایر نوارها داده شد و برای این نوار ۴۰ از ۱۰۰ در نظر گرفته شد. در تحقیق حاضر برای قطعه‌بندی از روش قطعه‌بندی چند مقیاسه استفاده شد. برای این منظور با تجزیه و تحلیل، مقیاس ۸۹ و شکل ۰/۶ و ضریب فشردگی ۰/۴ برای قطعه‌بندی انتخاب شد. پارامترهای مؤثر بر استخراج کلاس‌ها در طبقه‌بندی شی‌گرا در این پژوهش شامل ۱- انحراف معیار باندها: انحراف معیار یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طور میانگین، داده‌ها چه مقدار، از مقدار متوسط فاصله‌دارند در این شاخص از سه پارامتر شامل، باند مادون قرمز و قرمز و سبز استفاده شد. ۲- شاخص NDVI<sup>۱</sup>: در این پژوهش از شاخص NDVI به منظور جداسازی بهتر پوشش گیاهی از بقیه پدیده‌ها استفاده شد. ۳- شاخص PCI<sup>۲</sup> -۴- واریانس: واریانس برای محاسبه بافت بر پایه میانگین و پراکندگی در

1 Normalized Difference Vegetation Index

2 Precipitation Concentration Index

اطراف میانگین از ارزش سلول‌ها داخل GLCM<sup>۱</sup> به کار گرفته می‌شود. ۵- در شاخص هندسی، از پارامترهای مؤثری چون حداکثر اختلاف، درجه روشنایی، ضخامت، مساحت و فشردگی مورد استفاده قرار گرفت. به‌طور کلی، در تعریف شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از طبقات علاوه بر اطلاعات طیفی، اطلاعات مربوط به موقعیت، محتوا، بافت و سایر ویژگی‌های بصری نیز استفاده شده است به‌عنوان نمونه بافت منحصر به فرد محدوده مورد مطالعه بر روی تصویر شناسایی آن‌ها را از سایر طبقات کاربری اراضی میسر می‌ساخت. بنابراین در طبقه‌بندی شیء‌گرای تصویر برای این عامل ارزش بیشتری داده شد. همچنین مشخص شد که اراضی تحت آیش کشاورزی دارای اطلاعات طیفی یکسانی با طبقه کاربری، اراضی بایر هستند و با طبقه‌بندی بر اساس ارزش عددی پیکسل‌ها، تفکیک این دو طبقه کاربری اراضی از هم به‌خوبی امکان‌پذیر نیست، اما با توجه به اینکه اراضی تحت آیش کشاورزی دارای اشکال تقریباً منظم هندسی هستند، تنها شکل چندضلعی آنها تفکیک این دو طبقه را ممکن می‌سازد، لذا عامل شکل، به‌عنوان عاملی تأثیرگذار در تفکیک طبقه اراضی تحت آیش از اراضی بایر، شناخته شد که در تعریف شرایط طبقه‌بندی در تفکیک این دو طبقه از هم استفاده شد. برای سایر طبقات کاربری اراضی نیز متناسب با ویژگی‌های بصیرشان علاوه بر اطلاعات طیفی از سایر پارامترها نظیر شکل، بافت، تن رنگ و زمینه استفاده شد. بررسی نتایج طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم است لذا ارائه نتایج طبقه‌بندی بدون هیچ‌گونه پارامتری که کیفیت با صحت این نتایج را بیان کند، از ارزش آن‌ها می‌کاهد و در بعضی مواقع آن‌ها را بدون استفاده می‌کند. دو پارامتر اصلی که برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است، صحت کلی و ضریب کاپا می‌باشند.

جدول ۱- خصوصیات تصویرسنجنده (TM-OLI) از ماهواره لندست (منبع: متادیتای تصاویر)

تصویر	تاریخ اخذ	ردیف/گذر	تعداد باند	قدرت تفکیک	زاویه ازیموت خورشید	زاویه ارتفاع خورشید
لندست TM	۲۱ ۰۸/۲۰۰۰	۱۶۷/۳۴	۶ باند	۳۰ متر	۱۱۲/۱۰	۵۴/۹۴
لندست OLI	۱۴ ۸/۲۰۰۲		۷ باند		۱۷/۴۲	۵۹/۲۴

## ۲-۴- مراحل روش MABAC (مقایسه چند شاخصه محدوده تقریبی مرزها)

۱- تعیین معیارها و گزینه‌های پژوهش. ۲- ماتریس تصمیم در این روش به‌صورت معیار-گزینه است؛ یعنی یک ماتریس که ستون‌های آن را معیارهای مسئله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. ۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم: در این گام باید ماتریس تصمیم مرحله دوم را نرمال کرد. ۴- وزن‌دار کردن ماتریس نرمال. ۵- تعیین مرز ناحیه شباهت ماتریس (g): در رابطه ۱،  $v_{ij}$  عناصر ماتریس وزنی  $m(V)$  و تعداد کل گزینه‌های جایگزین را نشان می‌دهد. پس از محاسبه مقدار  $g_i$  ماتریس محدوده‌های تقریبی مرزی

1 Gray Level Co Gray Level Co-Occurrence Matrix

با توجه به معیارهای  $G$  با فرمت  $N*1$  شکل می‌گیرد و  $n$  تعداد کل معیارهایی را که گزینه‌های ارائه شده برای آنها انتخاب می‌شود را نشان می‌دهد؛ بنابراین اگر  $n$  معیار داشته باشید یک ماتریس  $G1 \times n$  به صورت زیر خواهیم داشت (رابطه ۲):

$$g_i = \left( \prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{1/m} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$G = [g_1. g_2. \dots. g_n] \quad \text{رابطه ۲}$$

۶- محاسبه فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت: در این بخش با استفاده از [رابطه ۳](#)، فاصله گزینه‌ها را تا ناحیه  $g$  به دست می‌آید. در واقع باید ماتریس وزن‌دار را از ماتریس  $g$  کم کرد.

$$Q = V - G \quad \text{رابطه ۳}$$

پس از مشخص شدن ماتریس  $Q$ ، می‌توان با استفاده از حد بالایی مساحت ( $G+$ ) و حد پایینی مساحت ( $G-$ ) وضعیت هر گزینه را مشخص کرد. بر این اساس گزینه  $A_i$  متعلق به اجتماع مجموعه مذکور است. حد بالایی مساحت ( $G+$ ) ناحیه‌ای است که گزینه ایده آل مثبت در آن قرار دارد و حد پایینی مساحت ( $G-$ ) ناحیه‌ای است که گزینه ضد ایده آل در آن قرار دارد. میزان تعلق گزینه  $A_i$  به اجتماع بالا بر اساس [رابطه ۴](#)، به دست می‌آید. برای انتخاب گزینه  $A_i$  به عنوان بهترین فرم از مجموعه، لازم است که حداکثر معیارهای ممکن به منطقه تقریبی فوقانی ( $G+$ ) تعلق داشته باشد. مقدار بالاتر  $q_i \in G+$  نشان می‌دهد که گزینه جایگزین به گزینه جایگزین ایده آل نزدیک‌تر است، در حالی که مقدار پایین‌تر  $q_i \in G-$  نشان می‌دهد که گزینه جایگزین، به گزینه جایگزین ضد ایده آل نزدیک‌تر است.

$$A_i \in \begin{cases} G^+ & \text{if } q_{ij} > 0 \\ G^- & \text{if } q_{ij} = 0 \\ G^- & \text{if } q_{ij} < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

۷- انتخاب گزینه بهینه: در روش ماباک (MABAC)، با استفاده از [رابطه ۵](#)، امتیاز نهایی هر گزینه را مشخص کرده و بر اساس آن گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

$$S_i = \sum(q_{ij}); i = 1.2 \dots n; j = 1.2 \dots m \quad \text{رابطه ۵}$$

محاسبه مقادیر توابع معیار، توسط گزینه‌ها به عنوان مجموع فاصله‌های جایگزین از مناطق تقریبی مرزی  $q_i$  به دست می‌آید. با جمع کردن عناصر ماتریس  $Q$  در هر سطر، مقادیر نهایی تابع معیار گزینه‌ها به دست می‌آید. در این رابطه  $n$  تعداد معیارها را نشان می‌دهد و  $m$  تعداد گزینه است (علی‌نژاد و خلیلی، ۲۰۱۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

## ۲-۵- وزن‌دهی CRITIC (اهمیت معیارها، از طریق همبستگی بین معیارها)

با توجه به اینکه در وزن‌دهی CRITIC، وزن معیارها، با توجه به نقشه‌های معیار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معیار بین لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، تعیین می‌گردد، استفاده از این روش، در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر می‌تواند معضل استقلال صفات از یکدیگر که به هنگام مقایسه زوجی در چارچوب روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای وجود دارد را برطرف نماید. در این روش، پس از محاسبه انحراف معیار معیارهای مورد بررسی، ماتریس مقارنی به ابعاد  $m \times m$  ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل شده است. با تعیین پارامترهای بالا، تضاد موجود بین معیار  $j$  با معیارهای دیگر از روی رابطه ۶، محاسبه می‌شود.

$$C_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۶}$$

که در آن  $C_{jk}$  معرف مجموع تضاد معیار  $j$  با معیارهای  $k$  است که از  $k=1$  شروع شده و تا  $k=m$  ادامه دارد و  $r_{jk}$  همبستگی بین دو معیار  $k$  و  $j$  را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات عامل  $j$  را می‌توان با استفاده از رابطه ۷، محاسبه نمود.

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۷}$$

که در آن  $C_j$ ، معرف میزان اطلاعات معیار  $j$  و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار  $j$  را نشان می‌دهد. با توجه به روابط یادشده، معیارهایی که دارای  $C_j$  بیشتری باشند وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عامل مانند  $j$  از رابطه ۸، تعیین می‌گردد.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad \text{رابطه ۸}$$

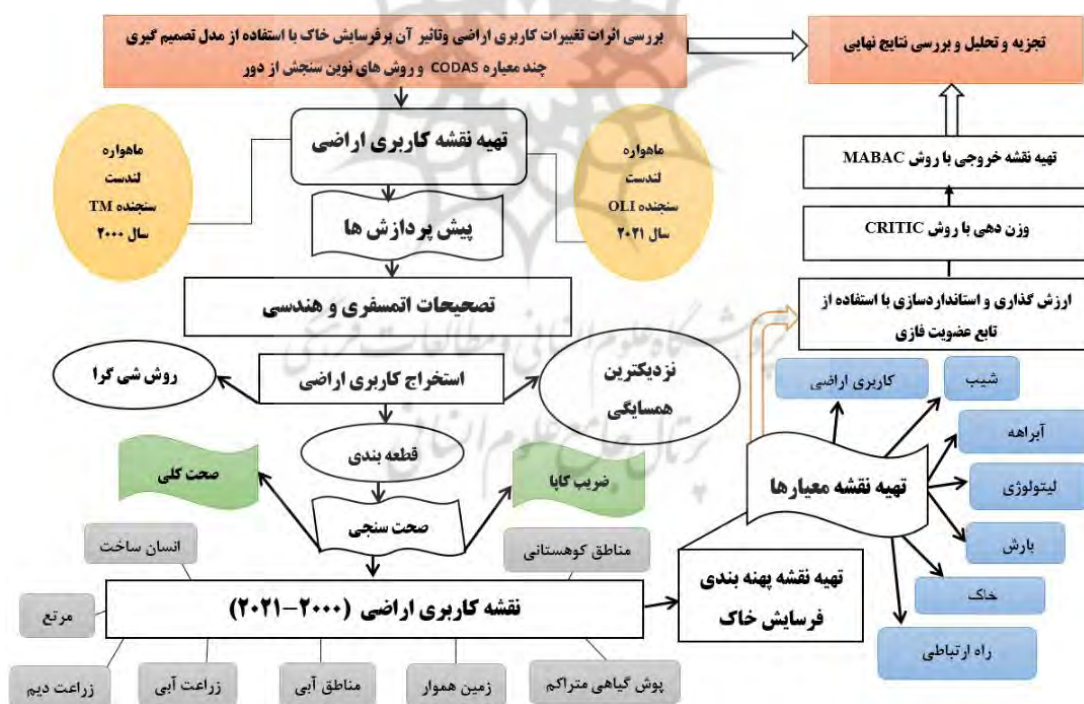
که در آن  $W_j$  معرف وزن معیار  $j$  و  $C_k$  نشانگر میزان اطلاعات مجموع معیارهای  $k$  است که از  $k=1$  شروع شده و تا  $k=m$  ادامه دارد. لذا، وزن نهایی هر معیار، از تقسیم میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع میزان کل اطلاعات تمامی معیارها به دست می‌آید (علی‌نژاد خلیلی، ۲۰۱۹؛ تاش و آیتک‌آدالی، ۲۰۱۹). در راستای انجام مراحل وزن دهی کرتیک ابتدا در محیط ادیسی انحراف معیار و همبستگی میان لایه‌های اطلاعاتی مربوطه به هر یک از عوامل، با استفاده از تابع REGRESS به دست آمد و در مرحله بعد، با توجه به روابط مربوطه نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطلاعات و وزن نهایی در اکسل اقدام گردید.

در پیاده‌سازی تمامی الگوریتم‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر و جهت دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی فرسایش در حوضه گیوی‌چای، مرحله استانداردسازی، با توجه به تابع عضویت فازی انجام شده است (جدول ۲). استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان‌کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر است

در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (بایوم‌گرتل و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹، حسینی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹). فلوجارت مربوط به فرآیند پژوهش، در شکل ۳، نمایش داده شده است.

جدول ۲- نوع توابع فازی ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر فرسایش خاک شهرستان گیوی

متغیر	توضیحات	نوع تابع فازی
شیب	کلاسه‌بندی مجدد و اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
کاربری اراضی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از راه ارتباطی	در مناطق مجاور راه ارتباطی، پتانسیل وقوع مخاطره فرسایش افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
لیتولوژی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
خاک	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از رودخانه	در مناطق مجاور رودخانه، پتانسیل وقوع مخاطره فرسایش افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
بارش	با افزایش مقدار بارش، خطر فرسایش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی



شکل ۳- فلوجارت مراحل تحقیق

1 Baumgertel et al

2 Hoseini et al

## ۳- نتایج و بحث

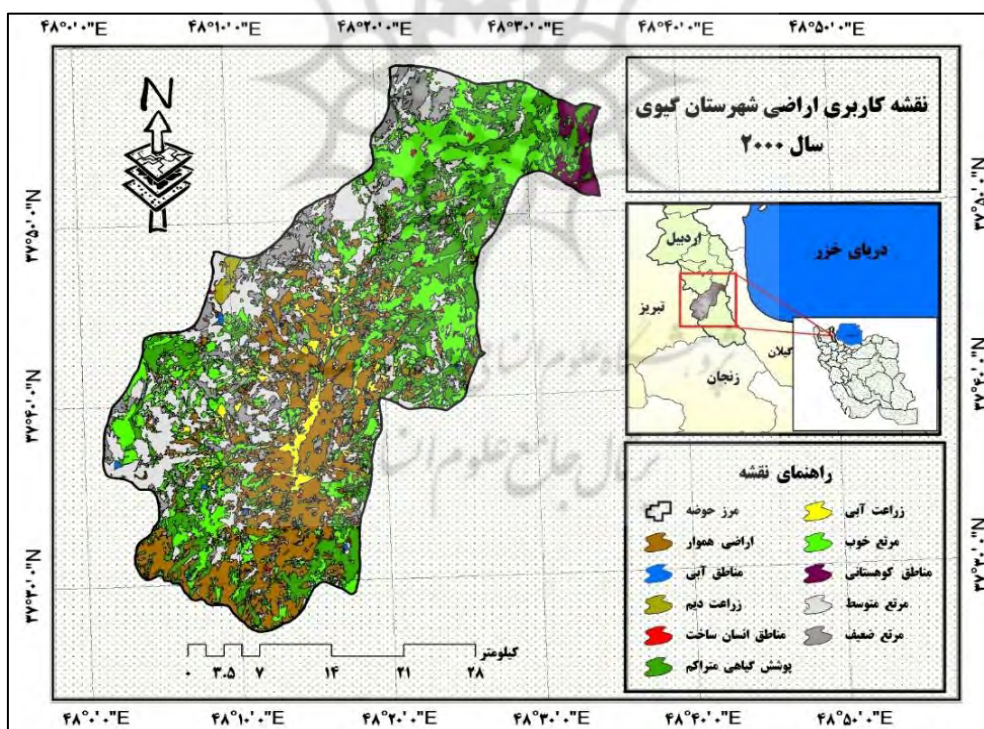
## ۳-۱- تهیه نقشه کاربری اراضی

کاربری‌های موردنظر با پوشش اراضی آن‌ها در ده کلاس؛ شامل: مناطق مسکونی، آب (رودخانه‌ها و دریاچه‌ها)، زراعت دیم، زراعت آبی، پوشش گیاهی متراکم (اراضی با پوشش درخت طبیعی، مانند: جنگل و مصنوعی، مانند: باغات احداث شده گردو، به و ...)، اراضی کوهستانی (پهنه سنگی و صخره)، مراتع خوب، مراتع متوسط، مراتع ضعیف و اراضی بایر هموار (اراضی بایر، خاک لخت بدون پوشش گیاهی)، طبقه‌بندی شدند. در این پژوهش به منظور بررسی صحت طبقه‌بندی، از نرم‌افزار *Envi 5.3* استفاده شد. لذا جهت محقق نمودن این عمل از روش پیکسل پایه و الگوریتم بیشترین فراوانی بهره گرفته شد. طبقه‌بندی الگوریتم بیشترین فراوانی دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش نظارت شده است. فرآیند طبقه‌بندی فرض را بر این می‌گذارد که داده‌های آماری آموزشی برای هر کلاس در هر باند، به صورت نرمال توزیع شده‌اند؛ بنابراین برای داده‌های آموزشی با هیستوگرام‌های  $n$  مدی در یک باند منفرد، مناسب نیستند در چنین شرایطی هر یک از مدها احتمالاً نماینده کلاس‌های جداگانه‌ای هستند و لازم است نرم‌افزار طبقه‌بندی کننده، برای آن‌ها مجدداً آموزش داده شوند. به این ترتیب، هیستوگرام‌های تک مدی با توزیع گوسن که شرط توزیع نرمال را برآورد می‌کند، به وجود می‌آید. بدین صورت که ابتدا برای هر کاربری به تعداد ۶۵ نمونه (به طور میانگین) از سطح محدوده برداشت شد و سپس در مرحله بعد با طبقه‌بندی شی گرا و بیشترین فراوانی، تک به تک کاربری‌ها با یکدیگر مقایسه و بررسی گردید. نتایج جدول ۳، نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۰ صحت کلی ۸۹ درصد و ضریب کاپا به طور میانگین برابر با ۰/۹۱ می‌باشد و در سال ۲۰۲۱ صحت کلی به طور میانگین ۹۳ درصد و ضریب کاپا به طور میانگین برابر ۰/۸۷ می‌باشد و با توجه به صحت کلی و ضریب کاپا نقشه‌ها و با استناد و مقایسه با منابعی نظیر (لایل سند، ۲۰۰۸؛ کنگالتن، ۲۰۰۹) که ضرایب صحت کلی بزرگ‌تر از ۸۵ درصد را قابل قبول عنوان کرده‌اند، نتایج حاصله از طبقه‌بندی کاربری‌ها چه از نظر تک تک کاربری‌ها و چه از نظر مجموع صحت و آمار کاپا از صحت قابل قبولی در ارتباط با اطلاعات تولید شده برخوردار شده است. در نهایت لایه‌های به دست آمده برای محاسبه مساحت کاربری‌ها و تهیه نقشه خروجی مناسب به نرم‌افزار *Arc GIS*، انتقال داده شدند.

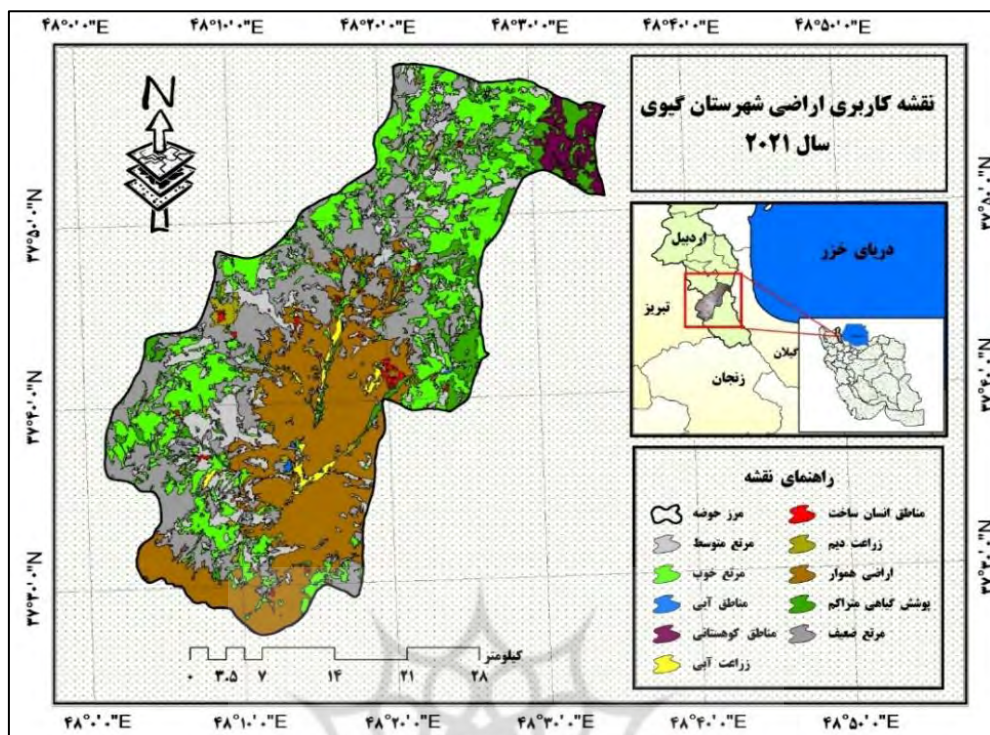
جدول ۳- بررسی صحت طبقه‌بندی کاربری اراضی

سال	ماه	صحت کلی	ضریب کاپا
۲۰۰۰	آگوست	۸۹٪	۰/۹۱
۲۰۲۱	آگوست	۹۳٪	۰/۸۷

با توجه به نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، بیشترین میزان مساحت در سال ۲۰۰۰ مربوط به کاربری مراتع خوب و متوسط به ترتیب با ۳۱۳/۱۷۲ و ۲۸۳/۱۴۴ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۴). در نقشه کاربری اراضی ۲۰۲۱، به ترتیب کاربری‌های مراتع ضعیف و زمین‌های پست و هموار با مساحت ۳۳۵/۰۷۷ و ۳۲۹/۸۱۵ کیلومتر مربع، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۵). کاربری‌های مناطق آبی و انسان‌ساخت کمترین مقدار مساحت را در هر دو دوره شامل می‌شوند. با توجه به نتایج مطالعه، شاهد کاهش مراتع متوسط، مراتع خوب، پوشش گیاهی متراکم و زراعت آبی از یک طرف و از طرف دیگر شاهد افزایش کاربری‌های مراتع ضعیف، زراعت دیم، اراضی پست و هموار (اراضی بایر) و مناطق مسکونی هستیم (جدول ۴).



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ شهرستان گیوی



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ شهرستان گیوی

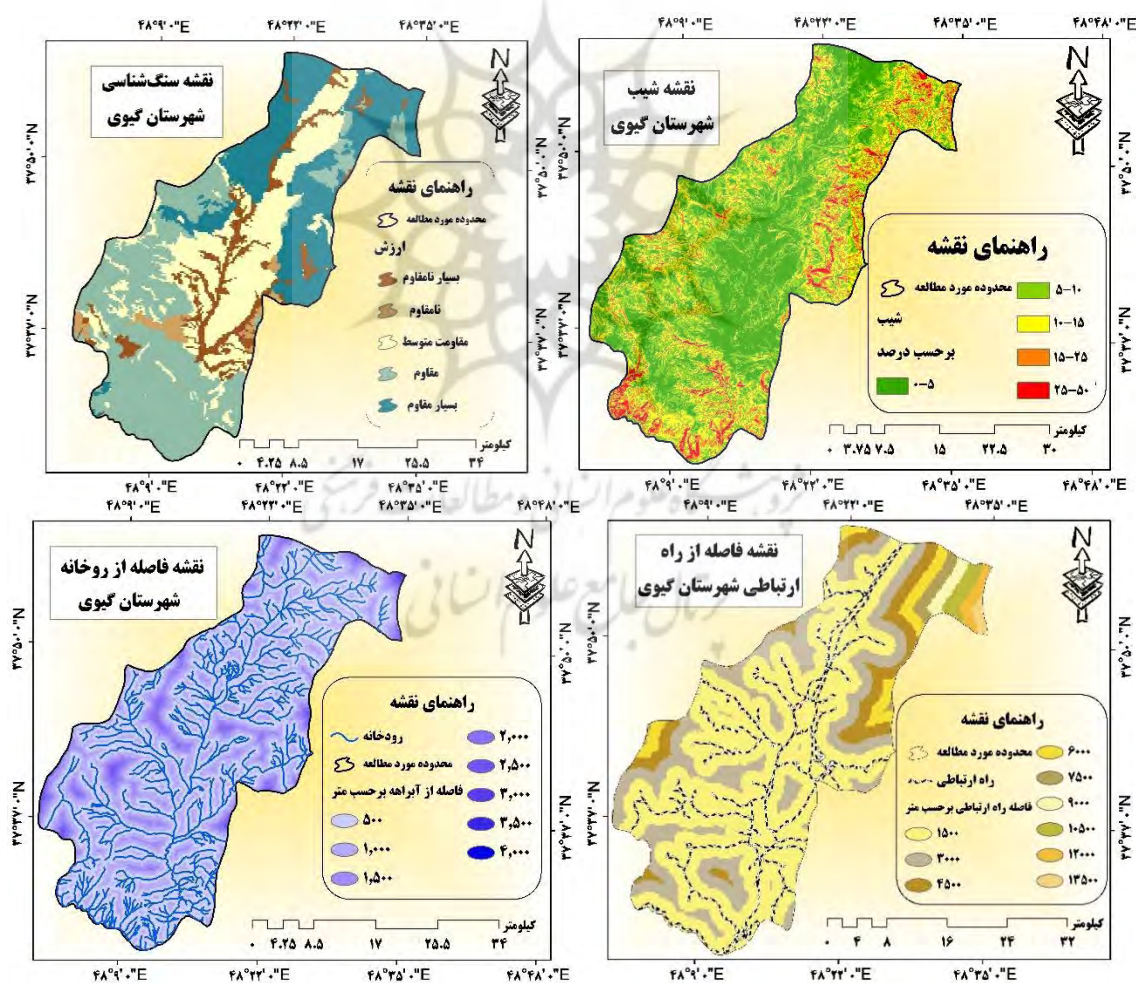
جدول ۴- مساحت و میزان تغییرات هر نوع از کاربرهای اراضی در شهرستان گیوی در سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱

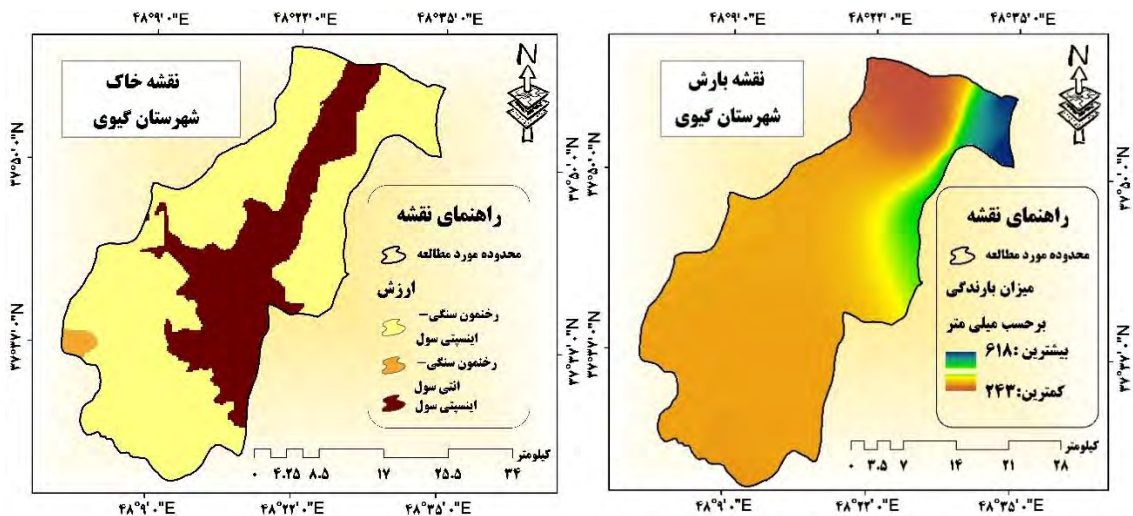
نوع کاربری	در سال ۲۰۰۰ مساحت به کیلومتر مربع	در سال ۲۰۲۱ مساحت به کیلومتر مربع	میزان تغییرات به کیلومتر مربع	روند تغییرات
مراتع ضعیف	۱۱۵/۹۹۳	۳۳۵/۰۷۷	۲۱۹/۰۸۴	افزایشی
مراتع متوسط	۲۸۳/۱۴۴	۱۴۸/۸۶۰	۱۳۴/۲۸۴	کاهشی
مراتع خوب	۳۱۳/۱۷۲	۲۹۹/۴۷۵	۱۳/۶۹۷	کاهشی
زراعت آبی	۴۲/۲۵۰	۱۲/۶۹۵	۲۸/۵۵۵	کاهشی
زراعت دیم	۱۰/۳۱۱	۲۴/۵۱۳	۱۴/۲۰۲	افزایشی
زمین هموار	۲۵۵/۲۱۴	۳۲۹/۸۱۵	۷۴/۶۰۱	افزایشی
اراضی کوهستانی	۱۹/۳۹۰	۲۴/۶۳۳	۵/۲۴۳	افزایشی
پوشش گیاهی متراکم	۲۳۳/۹۳۰	۹۵/۴۸۳	۱۳۸/۴۴۷	کاهشی
مناطق انسان ساخت	۳/۴۸۸	۶/۹۲۴	۳/۴۳۶	افزایشی
مناطق آبی	۲/۸۵۸	۲/۲۷۵	۰/۵۸۳	کاهشی



### ۳-۲- پهنه‌بندی فرسایش خاک

جهت پهنه‌بندی فرسایش با توجه به نقشه کاربری مربوط به دو دوره زمانی و نیز نقشه سایر معیارهای مطرح (شکل ۶)، ابتدا وزندهی معیارها انجام گردید. مفروضات پایه‌ای (ماتریس همبستگی، ماتریس تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات) و همچنین، وزن نهایی حاصل از وزندهی کرتیک در بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش خاک مورد مطالعه، در **جدول ۵** آورده شده است و با توجه به نتایج حاصله، به ترتیب معیارهای شیب، کاربری ارضی و خاک در هر دو دوره مورد مطالعه، بیشترین وزن و اهمیت را دریافت کردند. سپس با انجام مراحل روش MABAC، نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش شهرستان گیوی، در ۵ طبقه با فرسایش بسیار زیاد تا فرسایش بسیار کم، در دویازده زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱، به دست آمد (شکل ۷ و شکل ۸). مساحت و تعداد پیکسل‌های مربوط به هر یک از طبقات خطر نیز در **جدول ۶** ذکر شده است.



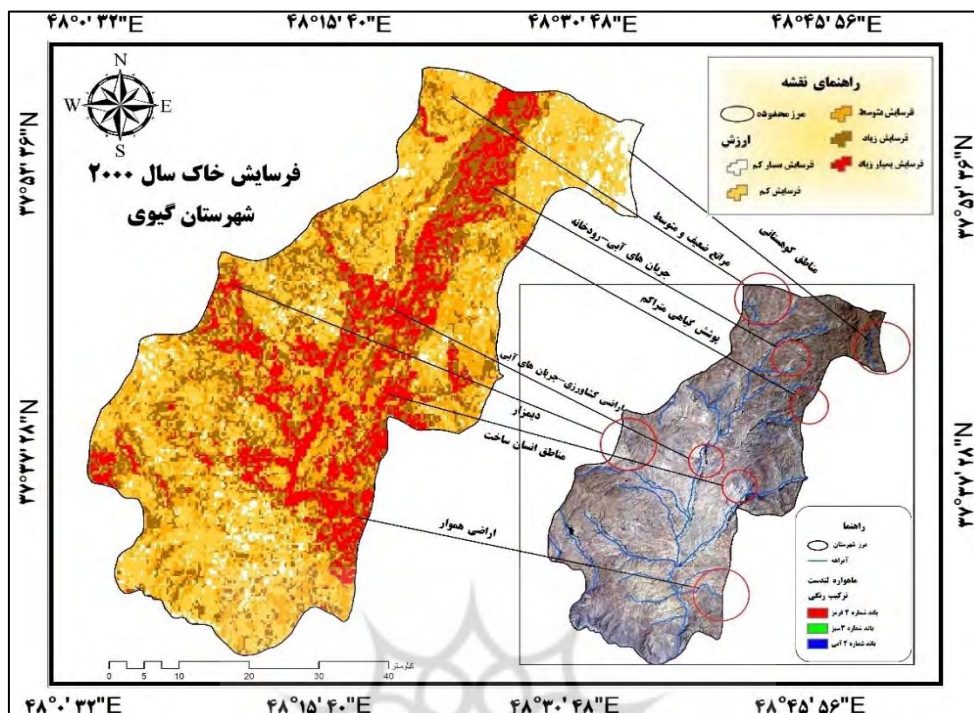


شکل ۶- نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش شهرستان گیوی

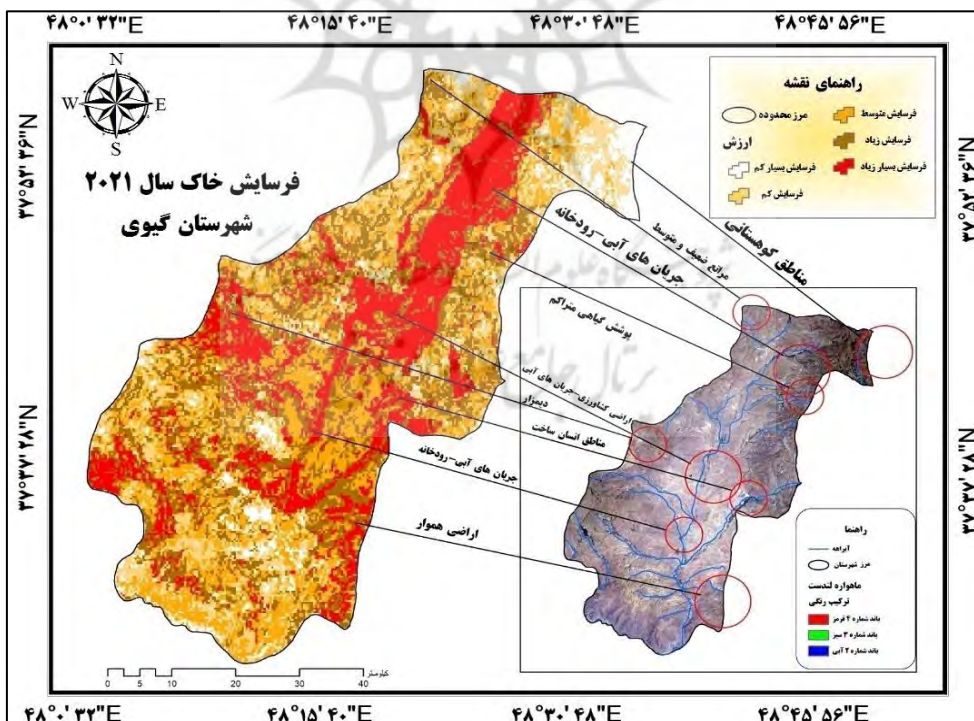
جدول ۵- مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش

شهرستان گیوی

وزن نهایی	میزان اطلاعات	انحراف معیار	مجموع تضاد	معیار	با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰
۰/۲۳۷	۲/۴۴۱	۰/۳۵۷	۶/۸۴۰	شیب	با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰
۰/۰۶۲	۰/۶۳۸	۰/۱۰۹	۵/۸۵۵	فاصله از رودخانه	
۰/۰۹۲	۰/۹۵۰	۰/۱۶۰	۵/۹۴۰	فاصله از راه ارتباطی	
۰/۰۶۴	۰/۶۵۷	۰/۰۹۴	۶/۹۹۹	بارش	
۰/۱۶۰	۰/۶۴۴	۰/۲۸۴	۵/۷۹۲	لیتولوژی	
۰/۱۸۹	۱/۹۴۴	۰/۳۴۲	۵/۶۸۷	خاک	
۰/۱۹۴	۱/۹۹۸	۰/۳۲۶	۶/۱۳۱	کاربری اراضی	
۰/۲۲۸	۲/۴۱۴	۰/۳۵۷	۶/۷۶۳	شیب	با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۱
۰/۰۶۰	۰/۶۳۹	۰/۱۰۹	۵/۸۶۳	فاصله از رودخانه	
۰/۰۹۰	۰/۹۵۴	۰/۱۶۰	۵/۹۶۳	فاصله از راه ارتباطی	
۰/۰۶۲	۰/۶۵۶	۰/۰۹۴	۶/۹۸۵	بارش	
۰/۱۵۹	۰/۶۸۴	۰/۲۸۴	۵/۹۳۳	لیتولوژی	
۰/۱۸۸	۱/۹۹۰	۰/۳۴۲	۵/۸۲۱	خاک	
۰/۲۱۲	۲/۲۴۶	۰/۳۵۴	۶/۳۴۶	کاربری اراضی	



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۰۰ شهرستان گیوی با استفاده از روش MABAC



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۲۱ شهرستان گیوی با استفاده از روش MABAC

جدول ۶- اطلاعات طبقات فرسایش خاک در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ شهرستان گیوی

سال	طبقه فرسایش	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم
سال ۲۰۰۰	مساحت به کیلومتر مربع	۲۰۹/۰۶۵	۲۶۰/۵۸۷	۲۸۷/۱۳۲	۴۴۵/۶۴۰	۷۷/۳۲۶
	مساحت به درصد	۱۶/۳۴	۲۰/۳۶	۲۲/۴۴	۳۴/۸۲	۶/۰۴
سال ۲۰۲۱	مساحت به کیلومتر مربع	۲۹۳/۳۵۴	۳۲۷/۳۴۶	۳۴۶/۲۲۸	۲۲۸/۲۳۳	۸۴/۰۸۹
	مساحت به درصد	۲۲/۹۲	۲۵/۵۸	۲۷/۰۹	۱۷/۸۴	۶/۵۷

می‌توان گفت که در نقشه فرسایش هر دو دوره مطالعاتی، به‌طور عمده مناطق با فرسایش بسیار زیاد و زیاد در کاربری‌های زراعی، مراتع ضعیف، مناطق انسان‌ساخت و اراضی بایر قرار دارند. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش در محدوده مطالعاتی، در سال ۲۰۰۰ مساحت طبقه فرسایش بسیار زیاد و زیاد، ۲۰۹/۰۶۵ و ۲۶۰/۵۸۷ کیلومتر مربع بوده است که مقدار این طبقات خطر در سال ۲۰۲۱ به ترتیب؛ ۲۹۳/۳۵۴ و ۳۲۷/۳۴۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است. علت افزایش مناطق دارای احتمال فرسایش را می‌توان در کاهش مراتع خوب، مراتع متوسط و اراضی با پوشش گیاهی متراکم و تبدیل آن‌ها به مناطق کشاورزی، انسان‌ساخت، مراتع ضعیف و اراضی بایر دانست. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۷)، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸)، میاحی و همکاران (۱۴۰۰)، سانتوس و همکاران (۲۰۱۷)، کیدن و همکاران (۲۰۱۹)، کوجو و همکاران (۲۰۲۰)، لی و همکاران (۲۰۲۱)، نیز افزایش مساحت اراضی کشاورزی، اراضی بایر و مناطق مسکونی و در مقابل کاهش مراتع و پوشش گیاهی را از دلایل اصلی افزایش پتانسیل فرسایش خاک، مطرح کرده‌اند.

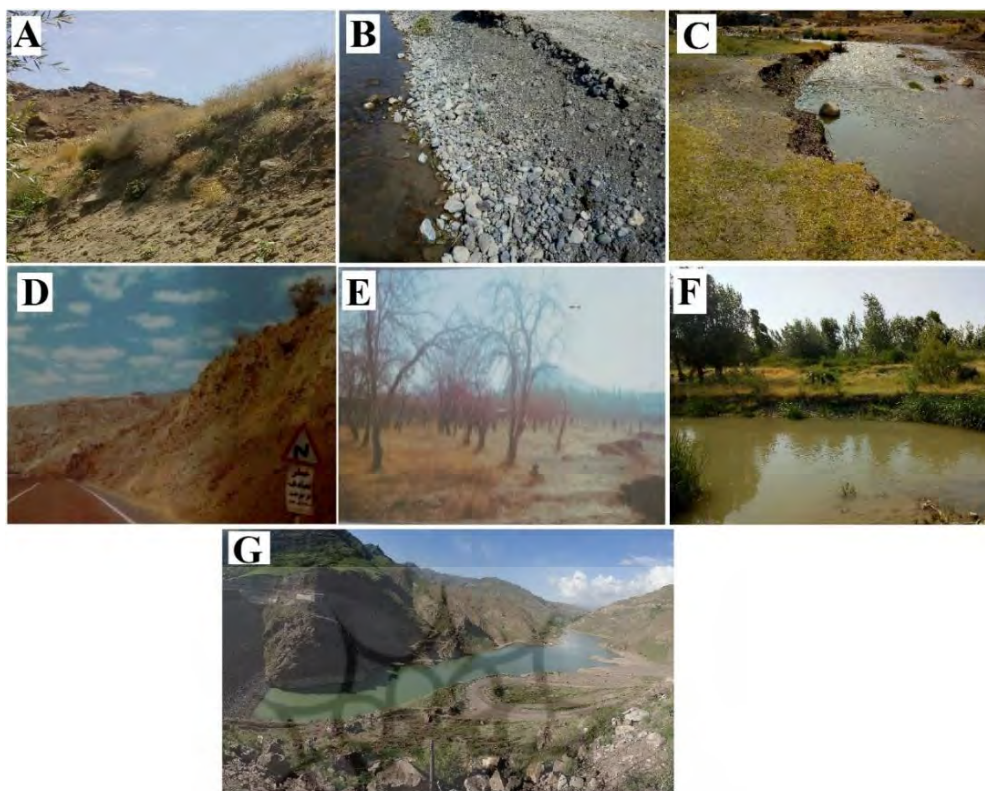
قابل ذکر می‌باشد که بیشتر اراضی مرتعی توسط روستاییان منطقه به اراضی کشاورزی و به‌خصوص، به دیم‌زارهای کم‌بازده، تغییر کاربری داده‌اند. چون اکثر اراضی کشاورزی منطقه بر روی دامنه‌های شیب‌دار قرار گرفته‌اند و بر اثر تغییر کاربری از اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی تبدیل یافته‌اند، به مرور زمان، خاک و مواد حاصل خیز این اراضی بر اثر فرسایش از دسترس خارج می‌شود. لذا، با توجه به کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه، با تبدیل مراتع اطراف روستاها به دیم‌زارها و شخم خوردن مراتع در شیب‌های تند، مواد مغذی درون خاک شسته شده و قدرت حاصلخیزی خاک پس از چند سال از دست رفته و احتمال فرسایش بیشتر می‌شود. همچنین، تغییر کاربری اراضی مرتعی به‌ویژه در مناطق پر شیب کوهستانی علاوه بر فرسایش خاک، به کاهش میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی، بروز سیلاب‌های مخرب نیز منجر خواهد شد و کیفیت پویای خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. باید توجه داشت که پوشش گیاهی طبیعی، با نگهداشت قطرات باران باعث کاهش انرژی جنبشی باران شده که باعث افزایش پایداری خاک شده و در مقابل فرسایش نیز محافظت می‌شود که با تغییر کاربری موردنظر چنین مکانیسمی از بین می‌رود. همچنین، علاوه بر بحث تغییر کاربری مراتع به زمین‌های زراعی، موضوع دیگری که در رابطه با کاهش مساحت مراتع خوب و متوسط، در شهرستان گیوی مشهود می‌باشد؛ بحث تبدیل مراتع خوب و متوسط به مراتع

ضعیف می‌باشد. به علت اینکه واردات خوراک دام هر ساله با افزایش قیمت، مواجه می‌باشد، دامداران برای آنکه در هزینه‌های خوراک دام صرفه‌جویی نمایند، اقدام به چرای بی‌رویه دام‌ها در مراتع می‌نمایند لذا، بخشی از خسارت وارد شده به خاک و پوشش گیاهی مراتع شهرستان گیوی، ناشی از عدم رعایت زمان مناسب چرای دام، عدم توجه به ظرفیت چرا و غفلت از اثرات چرای سنگین بر این اراضی بوده است.

البته بخشی از نابودی پوشش گیاهی محدوده، در اثر احداث سد گیوی و تخریب پوشش گیاهی طبیعی منطقه، اعم از باغات و مراتع بوده است. سد مخزنی گیوی به منظور تنظیم آب رودخانه با هدف کنترل سیلاب و نیز تأمین آب شرب، صنعت و بهبود اراضی منطقه، با ۵۷ میلیون مترمکعب حجم کل مخزنی و ۷۶ میلیون مترمکعب، حجم تنظیمی بر روی رودخانه گیوی چای، احداث شده است. این سد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی است و دو تونل انحراف و سرریز از نوع آزاد دارد. به علاوه سطح دریاچه سد ۴۰ هکتار، تراز تاج سد ۱۵۵۶ متر و تراز نرمال آن ۱۵۴۸ متر است (سازمان آب منطقه‌ای اردبیل، ۱۳۹۶). کاهش میزان مراتع، پوشش گیاهی متراکم و اراضی زراعی در بالا دست سد و در نتیجه از بین رفتن پوشش طبیعی منطقه، تغییرات بسیار زیادی را در سیستم‌های مورفولوژیک منطقه ایجاد می‌نماید و این تغییرات عمدتاً در جهت افزایش میزان فرسایش و رسوب می‌باشد. به علاوه باید در نظر داشت که افزایش مساحت اراضی بایر که به دنبال تخریب اراضی با پوشش گیاهی متراکم، مراتع و زراعت آبی در شهرستان رخ داده است، به همراه تبدیل اراضی با پوشش گیاهی متراکم و مراتع، به مناطق مسکونی نیز به افزایش سطوح با فرسایش زیاد و بسیار زیاد، از نظر فرسایش خاک، در سطح شهرستان منجر شده است.

با توجه به نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک شهرستان گیوی، می‌توان گفت؛ وضعیت توپوگرافی و شیب یکی از مهم‌ترین عوامل دخیل در فرسایش خاک محدوده محسوب می‌گردد. معمولاً بر روی دامنه‌های با شیب بیش از ۴۰ درصد ضخامت خاک در محدوده کاهش می‌یابد و نقش کمتری در تولید رسوب ناشی از وقوع فرسایش دارند و مناطق با فرسایش زیاد و بسیار زیاد، به‌طور عمده در شیب ۱۵ تا ۴۰ درصد قرار دارند. به علاوه، در مناطق کوهستانی شهرستان خاک از نوع ریگسول و لیتوسول بسیار کم عمق تا کم عمق همراه با گراول، ماسه، سیلت، رس و قطعات زاویه‌دار سنگی متلاشی شده است و در تراس‌ها و حواشی رودخانه‌ها خاک‌ها از لیتوسول نیمه عمیق تا کم عمق و مستعد فرسایش می‌باشد و در بعضی نقاط، خاک‌ها به صورت، نیمه تکامل یافته است. از دیگر معیارهای مهم که در ارزیابی فرسایش خاک مورد بررسی قرار می‌گیرد، لیتولوژی می‌باشد. در شهرستان گیوی، واحدهای مختلف سنگ‌شناسی منطقه به صورت آتشفشانی و رسوبی گسترده شده است. از جمله این واحدها می‌توان به گدازه‌های آندزیتی، گدازه‌ها و گنبد‌های داسیتی، تراکی آندزیتی، بازالت و مواد آتشفشانی ایگنمبریت و توف، به همراه سنگ‌های رسوبی تراورتن، پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی که از تخریب و فرسایش سنگ‌های آتشفشانی حاصل شده‌اند، اشاره کرد. هر یک از این سازندها از مقاومت متفاوتی برای فرسایش برخوردارند. بررسی نقشه نهایی و مقایسه آن با

عامل لیتولوژی نشان می‌دهد، سازندهای نامقاوم، که عمدتاً سازندهای سست کواترنری هستند ( $Q_{al}$ ،  $Q_{t2}$ ،  $Q_{t1}$ ) و مارن‌های خاکستری، رس و قرمز ژپس‌دار ( $Ngms$ ) که بخش اعظم منطقه را پوشانده‌اند، دارای حساسیت بالایی نسبت به فرسایش می‌باشند. مشخصات بارندگی مانند شدت، مدت زمان و حجم، در ایجاد فرسایش خاک، نقش مهم و اساسی دارد. مقدار بارش سالیانه در محدوده مطالعاتی ۶۲۰-۲۴۳ میلی‌متر و میانگین بارندگی سالانه حدود ۴۳۰ میلی‌متر بوده و بیشترین مقدار بارش شهرستان مربوط به ماه‌های اردیبهشت و فروردین می‌باشد و مناطق با بارش زیاد عمدتاً در نواحی کوهستانی و مرتفع گسترده شده‌اند. مناطق با پتانسیل بالای فرسایش، به‌طور عمده در مناطق با بارش (۴۵۰-۳۰۰ میلی‌متر)، قرار دارند. همچنین، سطح زیادی از اراضی با فرسایش زیاد و بسیار زیاد در حواشی رودخانه‌های اصلی موجود در شهرستان (گیوی‌چای، گراز چای، آریاچای، نیلق چای) قرار دارند. رودخانه‌های شویرچای، سنگورچای، گیوی‌چای، نیلق‌چای، لیکوان‌چای از رودخانه‌های دائمی و پرآب شهرستان گیوی می‌باشند که شعبات رودخانه‌ها به‌راحتی می‌توانند، مواد سطحی و خاک را شسته و با خود حمل نمایند و با فرسایش زیاد و بسیار زیاد، بیشتر بستر طغیانی رود را شامل می‌شود و این بخش از محدوده در معرض مستقیم فرسایش توسط جریان رود می‌باشد. مخصوصاً در محل پیچ مقعر مئاندرها، به دلیل افزایش سرعت جریان رود و عمل زیربری عمل تخریب شدیدتر است و وجود سازندهای آبرفتی حساس از عوامل مهم هستند که رودخانه‌های اصلی بیشتر تحت تأثیر بوده است. به علاوه، به استناد بازدید میدانی صورت گرفته از منطقه و گفتگو با اهالی بومی و مسئولان ذی‌ربط مهم‌ترین شکل استفاده نامناسب از بستر و حریم رودخانه‌ها و به‌ویژه، رودخانه گیوی‌چای که باعث تشدید فرآیند فرسایش و رسوب‌گذاری در این منطقه شده است، شامل؛ توسعه اراضی کشاورزی و باغات است. از سوی دیگر احداث جاده در منطقه مطالعاتی، با از بین بردن پوشش مرتعی در دامنه‌های پرشیب باعث شده، در هنگام بارش بهاری و ذوب برف، زمینه جهت فرسایش‌پذیری خاک فراهم گردد. در شکل ۹، نمونه‌هایی از عوامل دخیل در افزایش پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک در سطح شهرستان گیوی، نمایش داده شده است.



شکل ۹- A) فرسایش دامنه‌ای به علت وجود شیب زیاد و نبود پوشش گیاهی مناسب و محافظ. B و C) فرسایش کنار رودخانه به علت وجود مواد سست و فرسایش پذیر و زیربری توسط رودخانه. D) فرسایش به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه توسط جاده. E) آتش زدن عمدی و خشک کردن پوشش گیاهی منطقه جهت تغییر کاربری. F) توسعه اراضی کشاورزی و باغات در حریم رودخانه. G) تخریب پوشش گیاهی طبیعی محدوده در اثر احداث سد و همچنین ایجاد راه‌های ارتباطی جدید جهت دسترسی به محل سد.

#### ۴- جمع‌بندی

تغییرات کاربری اراضی، یکی از عوامل مهم در ایجاد فرسایش خاک است و در سال‌های اخیر، تأثیر متقابل تغییر کاربری اراضی و فرسایش خاک به یک نگرانی عمده زیست‌محیطی تبدیل شده است. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر نیز بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در میزان فرسایش خاک در سطح شهرستان گیوی، با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و تحلیل چند معیاره MABAC، برای دو دوره زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از مطالعه، نشان داد که در سال ۲۰۰۰، کاربری‌های مراتع خوب و متوسط به ترتیب با پوشش ۲۴/۴۷ و ۲۲/۱۲ درصد از مساحت شهرستان، بیشترین مقدار مساحت را به خود اختصاص دادند و در سال ۲۰۲۱ بیشترین میزان مساحت مربوط به کاربری‌های مراتع ضعیف و زمین‌های پست و هموار، به مقدار ۲۶/۱۸ و

۲۵/۷۷ درصد از سطح شهرستان می‌باشد. با توجه به نتایج مطالعه در طی بازه زمانی مورد مطالعه، مراتع متوسط، مراتع خوب، پوشش گیاهی متراکم و زراعت آبی کاهش یافته است و در مقابل کاربری‌های مراتع ضعیف، زراعت دیم، اراضی پست و هموار (اراضی بایر) و مناطق مسکونی افزایش پیدا کرده است. همچنین، با توجه به نتایج مطالعه، می‌توان بیان داشت که فعالیت‌های انسانی، مانند بهره‌برداری غیراصولی از مراتع، تخریب پوشش گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی و جنگلی به زراعی، کشت دیم در اراضی شیب‌دار (از جمله کشت غلات به صورت دیم در اراضی شیب‌دار و به‌ویژه کشت در شیب‌های بالای ۱۵ درصد)، شخم خوردن مراتع در شیب‌های تند، عدم رعایت تناوب زراعی، استفاده نامناسب از بستر و حریم رودخانه‌ها، تغییر مراتع و تبدیل آن به مناطق مسکونی و انسان‌ساخت، تخریب پوشش طبیعی محدوده در اثر احداث سد گیوی، احداث غیراصولی جاده‌ها؛ در کنار وجود سایر عوامل طبیعی محدوده، از قبیل؛ سازندهای حساس و فرسایش‌پذیر (عمدتاً سازندهای سست کواترنری)، ارتفاع زیاد و کوهستانی بودن، شیب زیاد، بارندگی مناسب و فراوانی شبکه آبراهه، مهم‌ترین عوامل دخیل در فرسایش خاک در شهرستان گیوی می‌باشند.

در نهایت پیشنهاد می‌گردد، با ممیزی مراتع، تعیین ظرفیت چرا، صدور پروانه‌های چرا و مدیریت پوشش گیاهی، روند تغییرات کاربری اراضی در سطح شهرستان گیوی، به صورت تبدیل مراتع و اراضی با پوشش گیاهی متراکم به سایر کاربری‌ها (به‌ویژه مراتع ضعیف و زراعی)، کنترل و در جهت احیا، اصلاح و توسعه مراتع گام برداشته شود. به علاوه، سیاست‌های کنترلی توسعه سکونتگاه‌ها در سطح شهرستان اجرا گردد و جهت هرگونه فعالیت، در شیب‌های بالای ۱۵ درصد، مطالعات دقیق انجام شده و پیش‌گیری‌های لازم در اجرای عملیات مورد توجه قرار گیرد. انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این تحقیق، راهگشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح در این زمینه گردد و در نواحی با پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد، با انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری مناسب و البته کارشناسی شده توسط متخصصان، از وقوع فرسایش خاک در سطح شهرستان گیوی جلوگیری شود. تغییرات مجرای رودخانه، فرسایش و رسوب‌گذاری کناره‌ای، فرآیندهای طبیعی رودخانه‌های آبرفتی هستند که باعث تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف و خسارت به تأسیسات انسانی اطراف رودخانه می‌شود

#### کتابنامه

اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پالیزبان، دلنیا؛ پیروزی، الناز؛ ۱۳۹۷. بررسی مقایسه‌ای تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر میزان فرسایش با استفاده از روش طبقه‌بندی شی‌گرا در حوضه سیمینه‌رود بوکان، پژوهش‌های فرسایش محیطی،

سال هشتم، شماره ۱، صص ۹۴-۱۰۹. <https://www.20.1001.1.22517812.1397.8.1.6.3>

بنیاد امیر، اسلام؛ حاجی قادری، طه؛ ۱۳۸۶. تهیه نقشه جنگل‌های طبیعی استان زنجان با استفاده از داده‌های سنجنده ETM + ماهواره لندست ۷، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۱، شماره ۴۲، صص ۶۳۸-۶۲۷.

<https://www.20.1001.1.24763594.1386.11.42.51.5>



رضائی مقدم، محمدحسین؛ رضایی بنفشه‌درق، مجید؛ فیضی‌زاده، بختیار؛ نظم‌فر، حسین؛ ۱۳۸۹. طبقه‌بندی پوشش اراضی/کاربری اراضی بر اساس تکنیک شی‌گرا و تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی، پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، دوره ۲۳، شماره ۲، صص ۳۲-۱۹.

<https://www.sid.ir/paper/200608/fa>

رضائی مقدم، محمدحسین؛ مختاری، داود؛ سمندر، نسرين؛ ۱۳۹۹. استخراج و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با به‌کارگیری الگوریتم SVM با کرنل چندجمله‌ای و روش حداکثر احتمال در محدوده حوضه آبریز اوجان‌چای استان‌آباد، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۹، شماره ۴، صص ۲۵-۴۴.

<https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.67231.0>

عابدینی، م.، بهرام‌نیا، ف.، مصطفی‌زاده، ر.، پاسبان، ا. ح؛ ۱۴۰۲. بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای، جغرافیا و مطالعات محیطی، دوره ۱۲، شماره ۴۵، صص ۱۳۳-

[20.1001.1.20087845.1402.12.45.7.9.114](https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.67231.0)

عابدینی، م.، جوادی علی‌بابالو، س.، مصطفی‌زاده، ر.، پاسبان، ا. ح. ۱۴۰۱. ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی و ژئومورفیک با مقادیر فرسایش و رسوب در حوضه آبریز کوزه‌توپراقی، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۹، شماره ۹، صص ۱۲۸-۱۰۵.

<https://civilica.com/doc/1581841>

فیضی‌زاده، بختیار؛ جعفری، فیروز؛ نظم‌فر، حسین؛ ۱۳۸۷. کاربرد داده‌های سنجش‌ازدور در آشکارسازی تغییرات کاربری‌های اراضی شهری (مطالعه موردی فضای سبز شهر تبریز)، هنرهای زیبا، شماره ۳۴، صص ۲۴-۱۷.

<https://www.sid.ir/paper/5716/fa>

مزیانی، مهدی؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، اسداله؛ ۱۴۰۰. ارزیابی خطر فرسایش خاک در کاربری‌های اراضی با استفاده از معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیکان)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱۰، شماره ۱، صص ۶۳-۴۱.

<https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.67238.0>

میاحی، جاسم؛ اسکندری دامنه، هادی؛ زراسوندی، علیرضا؛ ۱۴۰۰. ارزیابی اثر تغییر پوشش اراضی بر روی روند فرسایش خاک تالاب هور العظیم در جنوب غرب ایران، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۲۷، صص ۱۲۲-۱۰۷.

<https://doi.org/10.22111/JNEH.2020.33269.1626>

Aher P, Adinarayana J, & Gorantiwar SD. 2013. Prioritization of watersheds using multi-criteria evaluation through the fuzzy analytical hierarchy process. *Agric Eng Int CIGR J*, 15(1): 11–1. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/2282>

Aiello A, Adamo M, & Canora, F. 2015. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. *Catena*, 131: 174–185. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.04.003>

Ajaykumar K, Jawee, TH, Kale S, Umrikar, B, & Rabindranath SR. 2019. Identification of erosion-prone areas using modified morphometric prioritization method and sediment production rate. a remote sensing and GIS approach, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1): 986-1006. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1555189>

- Alinezhad A, & Khalili J. 2019. New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM). International Series in Operations Research & Management Science, vol 277, Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15009-9>
- Arab-Ameri A, Pourghasemi H.R, & Cerda A. 2018. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models, Science of The Total Environment, 613-614: 1385-1400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.210>
- Baumgertel A, Lukić S, Belanović, Simić S, & Kadović R. 2019. Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion—A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia). Appl. Sci., 9: 1-12. <https://doi.org/10.3390/app9235106>
- Bou-kheir R, Cerdan O, & Abdelah C. 2006. Regional soil erosion risk mapping in Lebanon. Geomorphology, 82: 347-359. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.05.012>
- Congalton R.G, & Green K. 2009. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC Press, Boca Raton, Florida, 137. <https://doi.org/10.1201/9781420055139>
- Coppin P, Jonckheere I, Nackaerts K, Muys B, & Lambin E. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. International Journal of Remote Sensing, 25(9): 1565-1596. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>
- Georgiou D, Mohammed E.S, & Rozakis, S. 2015. Multi-criteria decisionmaking on the energy supply configuration of autonomous desalination units. Renew. Energy, 75: 459-467. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.036>
- Hoseini H. 2019. Use fuzzy interface systems to optimize land suitability evaluation for surface and trickle irrigation, Information Processing in Agriculture, 6 (1): 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.09.003>
- Jabbar M.T, & Zhou X. 2011. Eco-environmental change detection by using remote sensing and GIS techniques: a case study Basrah province, south part of Iraq. Journal of Environ Earth Sci, 64: 1397-1407. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-0964-5>
- Kenneth M, & Gunter, M. 2012. Monitoring Land-Use Change in Nakuru Kenya Using Multi-Sensor Satellite Data, advance remote sensing, 1: 74-78. <https://doi.org/10.4236/ars.2012.13008>
- Kidane M, Bezie A, Kesete N, & Tolessa T. 2019. The impact of land use and land cover (LULC) dynamics on soil erosion and sediment yield in Ethiopia. Heliyon, 5 (12): 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02981>
- Kogo B.K, Kumar L, & Koech R. 2020. Impact of Land Use/Cover Changes on Soil Erosion in Western Kenya. Sustainability, 12, 9740: 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12229740>
- Li M, Li T, Zhu L, Meadows ME, Zhu W, & Zhang S. 2021. Effect of Land Use Change on Gully Erosion Density in the Black Soil Region of Northeast China from 1965 to 2015: A Case Study of the Kedong County. Front. Environ. Sci, 9: 652-933. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.652933>
- Lillesand T.M, Kiefer R.W, & Chipman W.J. 2008. Remote sensing and Image Interpretation, New York: John Wiley & Sons, Inc., 6<sup>th</sup> Ed, 812. <https://www.wiley.com/en-us/Remote+Sensing+and+Image+Interpretation%2C+7th+Edition-p-9781119128465>
- Masselink R, Temme A.J.A.M, Giménez R, Casali J, & Keesstra, S.D. 2017. Assessing hillslope-channel connectivity in an agricultural catchment using rare-earth oxide tracers and random forests models. Cuadernos de Investigación Geográfica. 43 (1), 19-39. <https://doi.org/10.18172/cig.3169>
- Mendoza M.E. 2011. Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003). Applied Geography, 31(1): 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.010>

- Nekhay O, Arriaza M, & Boerboom L. 2009. Evaluation of erosion risk using Analytic Network Process and GIS: a case study from Spanish mountain olive plantations. *J Environ Manag*, 90(10): 3091-3104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.022>
- Okumura M, & Araujo A.G. 2014. Long-term cultural stability in hunter-gatherers: a case study using traditional and geometric morphometric analysis of lithic stemmed bifacial points from Southern Brazil. *J. Archaeol. Sci*, 45: 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.009>
- Ozşahin E, & Eroglu I. 2019. Soil Erosion Risk Assessment due to Land Use/Land Cover Changes (LULCC) in Bulgaria from 1990 to 2015, *Alinteri J. of Agr. Sci*, 34(1): 1-8. <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.444193>
- Santos J. C. N, Andrade E. M, Medeiros P. H. A, & Joao M. 2017. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista Ciencia Agronomica*, 48(2): 251-260. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170029>
- Singh G, & Panda RK. 2017. Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India. *Int Soil Water Conserv Res*, 5: 202–211. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.006>
- Subhatu A, Lemann T, Hurni K, Portner B, Kassawmar T, Zeleke G, & Hurni H. 2017. Deposition of eroded soil on terraced croplands in Minchet catchment, Ethiopian Highlands. *Int Soil Water Conserv Res*, 5: 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.008>
- Tachizuka S, Hung T, Ochi S, & Yasuoka Y. 2002. Monitoring of Long-term Urban Expansion by the use of Remote Sensing Image from Different Sensor, Asian conference on Remote sensing, Kathmandu, Nepal, November 2002: 1-7. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:195777719>
- Tuş A, & Aytaç Adalı E. 2019. The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem, *opsearch*, 56: 528–538. <https://doi.org/10.1007/s12597-019-00371-6>
- Xiaolu S, & Cheng B. 2011. Change Detection Using Change Vector Analysis from Landsat TM Images in Wuhan, *Procedia Environmental Sciences*, 11 (1): 238 – 244. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.12.037>
- Wang J, Wei G, Wei C, & Wei Y. 2020. MABAC method for multiple attribute group decision making under q-rung orthopair fuzzy environment, *Defence Technology*, 16 (1): 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.06.019>
- Wessels K.J, Prince S.D, Frost P.E, & Van Z. D. 2004. Assessing the effects of human induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. *Journal of Remote Sensing Environment*, 9 (1): 47–67. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.005>