



Lorestan University

Applied Research in Natural Resources Engineering

Journal Homepage: <https://arne.lu.ac.ir/>



Risk assessment of ecosystems with an emphasis on the IUCN Red List, aimed at ecosystem restoration and management

Mohaddeseh Taheri Kalani¹ , and Hamidreza Yari² 

1. Graduated in Environmental Engineering, Corresponding author. Email: Taherimohadese32@gmail.com

2. Department of HSE, Faculty of Environment, University of Tehran. Email: yari13792000@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 21 February 2026

Received in revised form 06
June 2026

Accepted 23 May 2026

Available online 23 June 2026

Keywords:

Risk assessment, IUCN red list,
ecosystem management, GEE

ABSTRACT

This research assesses the risk to the ecosystems of the Gorganrud River Basin using the IUCN Red List of Ecosystems. Ecosystem degradation at the global level poses a serious threat to human well-being and biodiversity. The IUCN Red List of Ecosystems (RLE) has been designed as a scientific and credible tool for assessing ecosystem risks and supporting their conservation. Serving as part of the biodiversity toolkit, this instrument analyzes and evaluates terrestrial and marine ecosystems at the global scale and is repeated every five years to enhance transparency and facilitate international monitoring. In this study, advanced tools such as Google Earth Engine (GEE) and satellite image analysis were employed to examine spatiotemporal changes in vegetation distribution, particularly forests. The results indicate that parts of the Gorganrud River Basin are under severe pressure from human activities and climate change, leading to a reduction in the area and quality of natural habitats. Deforestation and land-use change trends in this region are highly concerning, resulting in the loss of habitats for native species and increased environmental risks such as soil erosion and reduced biodiversity. To protect and restore these ecosystems, it is recommended that urgent measures be considered, including enhanced continuous monitoring using modern tools, implementation of forest restoration programs, promotion of sustainable agriculture, public education and awareness-raising, and strengthening of enforcement laws and regulations. These actions can help reduce environmental pressures and preserve the region's biodiversity.

Cite this article: Taheri Kalani, M., & Yari, H., (2026). The Use of Behavioral Biomarkers for Monitoring Sublethal Toxicity Induced by the Heavy Metals Lead and Cadmium in Zebrafish (*Danio rerio*). *Applied Research in Natural Resources Engineering*, 1 (1), <https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.2>



© Author(s) retain the copyright.

DOI: <https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.2>

Publisher: University of Lorestan.

Introduction

Ecosystem degradation at the global level represents one of the most pressing threats to human well-being, biodiversity conservation, and the sustainable provision of essential ecosystem services. The accelerating loss of natural habitats, driven primarily by anthropogenic activities including deforestation, land-use change, agricultural expansion, urbanization, and climate change, has necessitated the development of robust, science-based tools for assessing and managing ecosystem risks. The International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List of Ecosystems (RLE) has emerged as a globally recognized and scientifically rigorous framework for evaluating the extinction risk of ecosystems, complementing the well-established IUCN Red List of Threatened Species. This standardized methodology, which is applied at global, regional, and national scales and reassessed every five years, provides a systematic approach to identifying ecosystems at risk of collapse through five quantitative criteria: A (reduction in geographic distribution), B (restricted geographic distribution), C (environmental degradation), D (disruption of biotic processes and interactions), and E (quantitative risk analysis). The RLE framework serves as an integral component of the biodiversity toolkit, supporting international monitoring and reporting obligations including the Sustainable Development Goals (SDGs) and the Aichi Biodiversity Targets. Despite its global applicability and growing adoption worldwide, comprehensive ecosystem risk assessments using the IUCN RLE criteria remain scarce in Iran, particularly for critical watersheds such as the Gorganrud River Basin in Golestan Province. This region, characterized by its rich biodiversity and the presence of the Hyrcanian forests—a UNESCO World Heritage site—faces mounting pressures from agricultural expansion, deforestation, and unsustainable land-use practices. The present study addresses this critical knowledge gap by conducting a comprehensive risk assessment of the Gorganrud River Basin ecosystems, integrating advanced remote sensing technologies including the Google Earth Engine (GEE) platform with the IUCN RLE framework, to inform evidence-based restoration and management strategies for these ecologically valuable and increasingly threatened ecosystems.

Methodology

This study employed a multi-faceted methodological approach integrating satellite-based remote sensing data, advanced geospatial analysis through the Google Earth Engine (GEE) platform, and the IUCN Red List of Ecosystems (RLE) assessment framework to evaluate the risk status of ecosystems within the Gorganrud River Basin, Golestan Province, Iran. The GEE platform, a cloud-based geospatial processing environment, was utilized to access, process, and analyze extensive collections of satellite imagery, including Landsat and Sentinel datasets, covering the study area. Three primary types of spatial data were generated and analyzed: (1) false-color composite imagery (using bands 2, 1, and 3) to visualize general land cover patterns, (2) the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to quantitatively assess vegetation density and health, and (3) forest change detection maps (derived from the Global Forest Change dataset, Hansen et al.) to quantify deforestation and afforestation trends over time. NDVI values were calculated based on the difference between near-infrared and red reflectance, producing a continuous index ranging from -1 to +1, where higher positive values indicate denser and healthier vegetation. The forest change analysis compared forest cover between the baseline year 2000 and subsequent periods, identifying areas of forest loss (deforestation), forest gain (afforestation or natural regeneration), and stable forest cover. All spatial analyses and image processing were conducted within the GEE environment, with final map outputs generated using ArcMap GIS software for visualization and interpretation. The resulting spatial data layers were then systematically evaluated against the five IUCN RLE criteria (A through E) to determine the risk status of different ecosystem types within the watershed, with particular emphasis on criteria A (reduction in geographic distribution over time), B (restricted geographic distribution and habitat fragmentation), and C (environmental degradation indicated by declining vegetation health).

Results and Discussion

The spatial analysis of the three satellite-derived datasets revealed a concerning pattern of ecosystem degradation and elevated risk across the Gorganrud River Basin. The false-color composite imagery demonstrated significant spatial heterogeneity, with the southern and central portions of the basin characterized by dense green cover representing the Hyrcanian forests and productive rangelands, while the northern and eastern highlands exhibited extensive bare ground and sparse vegetation, indicative of degraded and erosion-prone ecosystems. The NDVI analysis provided quantitative confirmation of this pattern, with maximum values reaching 0.55 in forested areas indicating healthy, dense vegetation, contrasting sharply with minimum values of -0.27 recorded in barren lands, agricultural fallow fields, and water bodies. This marked spatial gradient highlights the vulnerability of certain ecosystem types to degradation, particularly in areas subject to intensive human pressure. Critically, the forest change detection analysis revealed substantial deforestation over the past two decades, with forest loss significantly outpacing the limited gains from afforestation or natural regeneration. Deforestation was most pronounced in the marginal and lowland areas adjacent to agricultural lands, driven by multiple interacting factors including agricultural expansion, illegal timber harvesting, overgrazing, and infrastructure development. Applying the IUCN RLE criteria to these findings reveals that several criteria are simultaneously met within the watershed, indicating high risk status for forest and rangeland ecosystems. Criterion A (reduction in geographic distribution) is evidenced by the documented decline in forest area over the past 20 years. Criterion B (restricted distribution and fragmentation) applies due to the shrinking and increasing fragmentation of forest patches, which threatens connectivity and population viability. Criterion C (environmental degradation) is supported by the declining NDVI values, indicating reduced primary productivity and ecosystem function. Furthermore, Criterion D (disruption of biotic interactions) is implicated through the direct habitat loss threatening sensitive and endemic species associated with the Hyrcanian forests. Collectively, these findings suggest that many ecosystems within the Gorganrud Basin are approaching or have already reached the "Vulnerable" to "Endangered" categories within the IUCN RLE classification, with a high risk of collapse if current degradation trends continue. These results align with global studies documenting accelerated forest loss in biodiversity-rich regions and underscore the urgent need for targeted restoration and management interventions.

Conclusion

This comprehensive risk assessment of the Gorganrud River Basin ecosystems, utilizing the IUCN Red List of Ecosystems framework integrated with advanced remote sensing analysis through Google Earth Engine, demonstrates that the Hyrcanian forests and associated rangelands in this region are under severe threat of degradation and potential collapse. The analysis provides compelling evidence of significant reductions in geographic distribution (Criterion A), increased habitat fragmentation (Criterion B), and ongoing environmental degradation manifested through declining vegetation health (Criterion C) over the past two decades. To mitigate these risks and enhance ecosystem resilience, a suite of urgent management and restoration strategies is essential, including: strict enforcement of land-use regulations to prevent further deforestation and conversion of natural habitats, implementation of sustainable forest management practices with local community engagement, large-scale forest restoration and reforestation programs using native Hyrcanian species, sustainable rangeland management to control overgrazing, continuous ecosystem monitoring using NDVI and other remote sensing indicators, and public education initiatives to foster conservation awareness. The integration of satellite-based monitoring with the IUCN RLE framework provides a powerful, scientifically defensible tool for identifying priority areas for conservation investment and guiding evidence-based policy decisions for ecosystem restoration. Without immediate and sustained intervention, the unique biodiversity and critical ecosystem services provided by these forests—including soil stabilization, hydrological regulation, carbon sequestration, and livelihood support—will be irreversibly compromised, with profound consequences for regional environmental sustainability and human well-being.



ارزیابی ریسک اکوسیستم ها با تاکید بر فهرست سرخ IUCN با هدف احیا و مدیریت اکوسیستم ها

محدثه طاهری کلانی^۱ و حمیدرضا یاری^۲

۱. فارغ التحصیل مهندسی محیط زیست، نویسنده مسئول. رایانامه: Taherimohadese32@gmail.com

۲. گروه HSE، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران. رایانامه: yari13792000@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۲ کلیدواژه ها: ارزیابی ریسک، فهرست سرخ IUCN، مدیریت اکوسیستم، EEG	این پژوهش به ارزیابی ریسک اکوسیستم های حوضه آبخیز گرگانرود با استفاده از فهرست سرخ IUCN می پردازد. تخریب اکوسیستم ها در سطح جهانی تهدیدی جدی برای رفاه انسانی و تنوع زیستی محسوب می شود. فهرست سرخ اکوسیستم های (RLE) IUCN به عنوان ابزاری علمی و معتبر برای ارزیابی خطرات اکوسیستم ها و حفاظت از آن ها طراحی شده است. این ابزار، که به عنوان بخشی از جعبه ابزار تنوع زیستی عمل می کند، به تحلیل و ارزیابی اکوسیستم های زمینی و دریایی در سطح جهانی می پردازد و هر پنج سال یک بار تکرار می شود تا به شفافیت و نظارت بین المللی کمک کند. در این پژوهش، با استفاده از ابزارهای پیشرفته نظیر Google Earth Engine (GEE) و تحلیل تصاویر ماهواره ای، تغییرات فضایی و زمانی در توزیع پوشش گیاهی به ویژه جنگل ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که بخش هایی از حوضه آبخیز گرگانرود تحت فشار شدید فعالیت های انسانی و تغییرات اقلیمی قرار گرفته است، که این موضوع منجر به کاهش مساحت و کیفیت زیستگاه های طبیعی شده است. روند جنگل زدایی و تغییر کاربری اراضی در این منطقه به شدت نگران کننده است و منجر به کاهش زیستگاه های گونه های بومی و افزایش خطرات محیطی نظیر فرسایش خاک و کاهش تنوع زیستی شده است. برای حفاظت و احیای این اکوسیستم ها، توصیه می شود که اقدامات فوری نظیر افزایش نظارت و پایش مستمر با استفاده از ابزارهای نوین، اجرای برنامه های احیای جنگل، ترویج کشاورزی پایدار، آموزش و آگاهی بخشی عمومی و تقویت قوانین و مقررات اجرایی مدنظر قرار گیرد. این اقدامات می توانند به کاهش فشارهای زیست محیطی و حفظ تنوع زیستی منطقه کمک کنند.

استناد: طاهری کلانی، محدثه و یاری، حمیدرضا (۱۴۰۵). ارزیابی ریسک اکوسیستم ها با تاکید بر فهرست سرخ IUCN با هدف احیا و مدیریت اکوسیستم ها. پژوهش های

کاربردی مهندسی منابع طبیعی، ۱ (۱)، ۹-۲۷. <https://doi.org/10.22034/arnejl.2026.1.1.2>



© نویسنده گان.

ناشر: انتشارات دانشگاه لرستان.

مقدمه

تخریب اکوسیستم‌ها در جهان، رفاه انسان را تهدید می‌کند. فهرست سرخ اکوسیستم‌ها (REL) IUCN ابزاری برای ارزیابی خطرات و تمرکز بر اکوسیستم‌های در معرض خطر است (Bland et al., 2017). به عنوان بخشی از جعبه ابزار تنوع زیستی، به حفاظت از اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر می‌پردازد. این ابزار مکمل فهرست سرخ گونه‌های در معرض خطر است و با شفافیت و دقت علمی، به ارزیابی اکوسیستم‌های زمینی، دریایی و ... در سطح جهانی می‌پردازد. REL با قابلیت تکرار هر ۵ سال، به نظارت و گزارش‌دهی بین‌المللی (مانند SDGs و اهداف Aichi) کمک می‌کند و در برنامه‌ریزی برای مقابله با چالش‌های تخریب محیط زیست، تغییرات آب و هوایی و گونه‌های مهاجم، نقشی حیاتی ایفا می‌کند (IUCN, 2016). حفظ و مدیریت پایدار اکوسیستم‌ها نقشی حیاتی در تضمین آینده تنوع زیستی و رفاه انسان ایفا می‌کند. ارزیابی دقیق اکوسیستم‌ها برای دستیابی به اهداف مرتبط با تنوع زیستی و توسعه پایدار الزامی است. این امر مستلزم یک نوع شناسی و اصطلاحات استاندارد در سطح جهانی برای مدیریت اکوسیستم‌ها می‌باشد (Keith et al. 2020). کمیسیون مدیریت اکوسیستم IUCN نوع شناسی جدیدی را برای طبقه‌بندی اکوسیستم‌های جهان ارائه می‌دهد. ویژگی‌های کلیدی (Keith et al. 2020): ساختار سلسله‌مراتبی با شش سطح، پوشش جامع زیست کره زمین، شامل محیط‌های زمینی، زیرزمینی، آب شیرین، دریایی و جوی، ادغام طبقه‌بندی‌های ملی تثبیت شده، مستندات دقیق و پروفایل‌های توصیفی مصور برای ۱۰۸ گروه عملکردی اکوسیستم، نقشه‌های جهانی شاخص گروه‌های عملکردی اکوسیستم، اصطلاحات و تعاریف استاندارد برای ترویج کاربرد سازگار، پایه علمی قوی بر اساس نظریه اجتماعات جامعه. یکی از نوآوری‌های کلیدی این نوع شناسی، نمایش دوگانه عملکرد و ترکیب اکوسیستم‌ها در یک ساختار واحد است. این امر به درک عمیق‌تر روابط پیچیده بین ساختار، عملکرد و خدمات اکوسیستم‌ها کمک می‌کند. فهرست قرمز اکوسیستم‌های اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN)، ابتکاری جدید در راستای مقابله با تهدیدات ناشی از فعالیت‌های انسانی بر تنوع زیستی جهانی و اکوسیستم‌های طبیعی طی قرون اخیر است. راه‌اندازی این فهرست با هدف ارزیابی خطرات وارده بر اکوسیستم‌ها از طریق سنجش زیوتای مشخصه و فرآیندهای اکولوژیکی آن‌ها صورت گرفته است (Monge-Ganuzas et al., 2024). این رویکرد، مکمل ارزیابی‌های موجود در فهرست قرمز گونه‌های در معرض خطر تلقی می‌شود و ابعاد متفاوتی از روند انقراض و احیای تنوع زیستی را مورد بررسی قرار می‌دهد.



شکل ۱. مکانیسم‌های فروپاشی اکوسیستم و علائم خطر فروپاشی (Keith et al. 2020)

اصطلاح "نوع اکوسیستم" به واحد ارزیابی اشاره دارد که در زیر مفهوم روش لیست قرمز اکوسیستم ارزیابی می‌شود (Keith et al. 2020). سایر طبقه‌بندی‌های "انواع گیاهان"، "انجمادهای اکولوژیک"، "محیط‌ها" و "بیوتوپ‌ها" ممکن است انواع اکوسیستم مناسبی باشند تا زمانی که انواعی هستند که تنوع زیستی را نمایان می‌کنند و با نیازهای توضیح اکوسیستم سازگاری دارند که در زیر شرح داده شده‌اند. در ابتدا، همه انواع اکوسیستم به عنوان "ارزیابی نشده" (NE) برای تمام معیارها در نظر گرفته

می‌شوند، مرحله بعدی تعیین این است که آیا داده‌های کافی برای اجرای معیارهای لیست قرمز اکوسیستم وجود دارد یا خیر. این داده‌ها ممکن است شامل اطلاعات از ادبیات علمی، گزارش‌های منتشر نشده، نظرات کارشناسان، گزارش‌های تاریخی، نقشه‌های گذشته و حال، تصاویر ماهواره‌ای یا منابع داده مرتبط دیگر باشد (Etter et al. 2020). اگر داده‌های کافی برای اطلاع از هر معیار و تخصیص قطعی یک رده خطر نداشته باشد، نوع اکوسیستم به عنوان "اطلاعات کافی ندارد" (DD) ارزیابی می‌شود با توجه به طبیعت پویا زندگی در زمین، در نهایت تمام گونه‌ها و انواع اکوسیستم در طول دوره‌های میلیون‌ها ساله توسط دیگران جایگزین خواهند شد. بنابراین، هیچ نوع اکوسیستمی هرگز به عنوان کاملاً آزاد از خطر انهدام در نظر گرفته نمی‌شود. زبان دسته‌بندی‌ها و معیارهای لیست قرمز اکوسیستم این را با نام دسته خطر پایین‌ترین خود یعنی "کمتر نگران" (LC) اعلام می‌کند و تاکید دارد که با توجه به دانش علمی فعلی، احتمال انهدام کم است اما صفر نیست (Keith et al. 2015). خلاصه معیارهای ارزیابی خطر انقراض اکوسیستم در فهرست قرمز IUCN عبارتند از (Bland et al., 2019):

۱. معیار A کاهش توزیع جغرافیایی: خطر فروپاشی را با کاهش توانایی حفظ گونه‌های بومی و افزایش آسیب‌پذیری در برابر تهدیدات جدید نشان می‌دهد. نرخ کاهش نشان‌دهنده سرعت حرکت اکوسیستم به سمت فروپاشی است.
۲. معیار B توزیع جغرافیایی محدود: به شناسایی اکوسیستم‌هایی با پراکندگی محدود می‌پردازد که در برابر رویدادهای تصادفی مانند گونه‌های مهاجم یا آتش‌سوزی آسیب‌پذیرتر هستند. اکوسیستم‌های با توزیع گسترده در چندین قطعه مستقل، در برابر تهدیدات فضایی مقاوم‌تر هستند.
۳. معیار C تخریب محیطی: به زوال ویژگی‌های فیزیکی و غیر زنده اکوسیستم مانند فرایندهای اکولوژیکی و توزیع اشاره دارد. تخریب غیرزیستی، ظرفیت اکوسیستم را برای حفظ تنوع زیستی و فرایندهای اکولوژیکی مختل می‌کند. مثال‌هایی از تخریب غیرزیستی شامل تغییرات در رژیم‌های آتش‌سوزی، جریان‌های آبی و شرایط آب و هوایی است.
۴. معیار D اختلال در فرایندهای زیستی و فعل و انفعالات: به از دست رفتن تنوع زیستی و کاهش ظرفیت اکوسیستم در جذب منابع، تولید زیست‌توده، تجزیه مواد آلی و بازیافت کربن، آب و مواد مغذی می‌پردازد. تنوع زیستی نقش مهمی در عملکرد اکوسیستم ایفا می‌کند. اختلال در فرایندهای زیستی و غیرزیستی می‌تواند منجر به فروپاشی، تغییر رژیم و شکل‌گیری اکوسیستم‌های جدید شود.
۵. معیار E تحلیل کمی خطر: تغییرات بالقوه و سناریوهای مختلف را برای پیش‌بینی احتمال فروپاشی اکوسیستم در طول زمان بررسی می‌کند. این کار از طریق مدل‌سازی کمی عملکرد اکوسیستم انجام می‌شود و شامل موارد زیر است: در نظر گرفتن تهدیدها و تعاملات متعدد-ارائه نمای ترکیبی از فرایندهای اندازه‌گیری شده در معیارهای دیگر-پیش‌بینی وضعیت اکوسیستم تحت سناریوهای مختلف

مواد و روش کار:

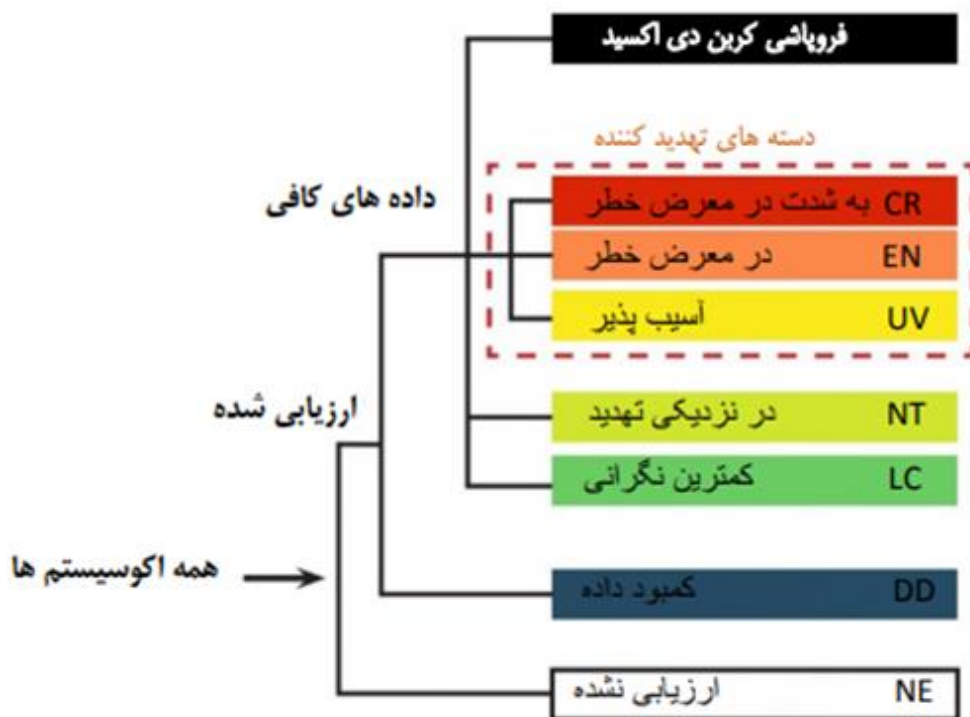
معقوله های REL که براساس آن منطقه مورد نظر را باید بررسی کرد:

معقوله ها

RLE دارای هشت دسته است: فروپاشی شده (CO)، در معرض خطر بحرانی (CR)، در معرض خطر (EN)، آسیب پذیر (VU)، نزدیک به تهدید (NT)، کمترین نگرانی (LC)، کمبود داده (DD)، و ارزیابی نشده (NE). دسته اول در کاهش خطرات فروپاشی مرتب شده اند. دسته‌های DD یا NE سطح ریسک را منعکس نمی‌کنند. دسته‌های CR، EN یا VU اکوسیستم‌های در معرض تهدید را نشان می‌دهند و با معیارهای کمی تعریف می‌شوند. برای مثال، این دسته‌ها از ریسک کمتر به بیشتر تودرتو هستند. یک نوع اکوسیستم که معیاری برای در معرض خطر بحرانی را برآورده می‌کند، همچنین معیارهای دسته‌های در معرض خطر و آسیب‌پذیر (که در آن خطر

کمتر است) را برآورده می‌کند. سه دسته در معرض تهدید (CR، EN، یا VU) به طور مشترک به عنوان در معرض تهدید نامیده می‌شوند، و با چندین دسته بندی کیفی تعریف شده تکمیل می‌شوند که شامل موارد زیر است (IUCN, 2016).

- (i) نزدیک به تهدید (NT) که تقریباً معیارهای آسیب پذیر را برآورده می‌کند.
- (ii) کمترین نگرانی (LC) که هیچ یک از معیارهای آسیب پذیر را برآورده نمی‌کند.
- (iii) کمبود داده (DD) که داده‌های بسیار کمی برای اعمال هر معیاری وجود دارد.
- (IV) ارزیابی نشده (NE) که ارزیابی نشده‌اند.



شکل ۲. ساختار فهرست قرمز طبقه بندی اکوسیستم IUCN

فهرست بندی معیارها و کاربرد آنها:

رویکرد RLE شامل پنج معیار مبتنی بر قانون (A-E)، برای تخصیص اکوسیستم‌ها به یک دسته خطر است. خطرات برای اکوسیستم ممکن است ناشی از انواع فرآیندهای تهدید کننده باشد که از طریق علائم مختلف فروپاشی اکوسیستم بیان می‌شود (شکل ۲). هر یک از پنج معیار RLE به گروه‌های مختلفی از علائم می‌پردازد و ابزارهای مربوطه را شناسایی می‌کند که علائم را به خطر فروپاشی یک اکوسیستم (یعنی از دست دادن ویژگی‌های تعیین کننده خود) مرتبط می‌کند. دو معیار از پنج معیار بر اساس علائم فضایی فروپاشی اکوسیستم است: نرخ‌های کاهش توزیع (A) و میزان محدود شدن توزیع (B). دو معیار بر اساس علائم عملکردی فروپاشی اکوسیستم است: میزان تخریب محیطی (C)، میزان اختلال در فرآیندهای زیستی و تعاملات (D). معیار پنجم، ادغام تهدیدها و علائم متعدد را در یک مدل برای تولید تخمین‌های کمی از خطر سقوط (E) تسهیل می‌کند. هنگامی که طبق دستورالعمل‌ها اعمال می‌شود، این معیارها یک روش تکرارپذیر و سازگار جهانی برای طبقه بندی خطر سقوط اکوسیستم هستند (IUCN, 2016).



شکل ۳. مکانیسم های فروپاشی اکوسیستم و علائم خطر فروپاشی

جدول ۲. خلاصه ای از شرح قانون (A-E)

معیار	شرح	تاثیر	مثال	مرجع
A. کاهش در توزیع جغرافیایی	کاهش وسعت اکوسیستم	- کاهش توانایی حفظ تنوع زیستی - افزایش خطر انقراض	- کاهش وسعت جنگل های بارانی آمازون	IUCN (۲۰۱۹)
B. توزیع جغرافیایی محدود (نرخ کاهش در توزیع جغرافیایی)	پراکنش محدود اکوسیستم	- آسیب پذیری در برابر تهدیدات تصادفی - خطر انقراض بالا	- اکوسیستم های جزیره ای کوچک	IUCN (۲۰۱۹)
C. تخریب محیطی (تخریب غیرزیستی)	زوال ویژگی های فیزیکی و غیر زنده	- کاهش ظرفیت حفظ تنوع زیستی - تغییر در فرایندهای اکولوژیکی	- تخریب تالاب ها به دلیل زهکشی	Keith et al (۲۰۱۵)
D. اختلال در فرایندهای زیستی و فعل و انفعالات	از دست دادن تنوع زیستی و اختلال در عملکرد اکوسیستم	- کاهش ظرفیت جذب منابع - تغییر در رژیم های اکولوژیکی	- از دست دادن گرده افشان ها در یک اکوسیستم کشاورزی	Hooper et al (۲۰۱۲)
E. تحلیل کمی ریسک	پیش بینی احتمال فروپاشی اکوسیستم	- در نظر گرفتن تهدیدات و تعاملات متعدد - ارائه نمای ترکیبی از فرایندهای اکوسیستم	- مدل سازی احتمال انقراض یک گونه کلیدی در اکوسیستم	Salafsky et al (۲۰۰۸)

RLE از پنج معیار برای ارزیابی خطر انقراض اکوسیستم ها استفاده می کند. هر معیار به یک جنبه خاص از خطر انقراض می پردازد. معیارها به طور هم افزا برای پیش بینی احتمال فروپاشی اکوسیستم استفاده می شوند. REL ابزاری قدرتمند برای شناسایی اکوسیستم های در معرض خطر و برنامه ریزی اقدامات حفاظتی است.

معیار A: کاهش در توزیع جغرافیایی می تواند به دلیل عوامل مختلفی مانند جنگل زدایی، توسعه شهری و تغییرات آب و هوایی باشد. کاهش توزیع جغرافیایی می تواند منجر به جداسازی جمعیت ها، کاهش تنوع ژنتیکی و افزایش خطر انقراض گونه ها شود.

معیار B: اکوسیستم‌هایی که پراکنش محدودی دارند، در برابر تهدیدات تصادفی مانند آتش‌سوزی، سیل و بیماری‌های عفونی آسیب‌پذیرتر هستند. اکوسیستم‌هایی که در چندین منطقه مجزا وجود دارند، در برابر انقراض محلی مقاوم‌تر هستند.

معیار C: تخریب محیطی می‌تواند به دلیل عواملی مانند آلودگی، تغییرات آب و هوایی و استخراج منابع طبیعی باشد. تخریب محیطی می‌تواند منجر به تغییر در رژیم‌های آب و هوایی، از دست دادن زیستگاه و کاهش تنوع زیستی شود.

معیار D: از دست دادن تنوع زیستی می‌تواند به دلیل عواملی مانند شکار، تخریب زیستگاه و تغییرات آب و هوایی باشد. از دست دادن تنوع زیستی می‌تواند منجر به کاهش پایداری اکوسیستم، کاهش خدمات اکوسیستم و افزایش خطر انقراض گونه‌ها شود.

معیار E: تحلیل کمی ریسک می‌تواند برای پیش‌بینی اثرات احتمالی تهدیدات مختلف بر اکوسیستم استفاده شود. تحلیل کمی ریسک می‌تواند به مدیران منابع طبیعی در تصمیم‌گیری برای حفاظت از اکوسیستم‌ها کمک کند.

– دوره‌های ارزیابی

- RLE از چهار دوره زمانی برای ارزیابی خطر انقراض اکوسیستم‌ها استفاده می‌کند: . گذشته نزدیک: شرح: ۵۰ سال گذشته

اهمیت: به اندازه کافی جدید برای نشان دادن روندهای فعلی به اندازه کافی طولانی برای تمایز تغییرات از نوسانات طبیعی

- حال، شرح: وضعیت فعلی اکوسیستم

اهمیت: ارزیابی وضعیت فعلی و روندهای در حال انجام شناسایی اکوسیستم‌هایی که در معرض خطر فوری هستند

- آینده، شرح: پیش‌بینی تغییرات طی ۵۰ سال آینده یا هر دوره ۵۰ ساله

اهمیت: پیش‌بینی خطرات احتمالی و برنامه‌ریزی برای اقدامات پیشگیرانه در نظر گرفتن اثرات تغییرات آب و هوایی و سایر تهدیدات

- گذشته تاریخی، شرح: دوره قبل از صنعتی شدن (حدود سال ۱۷۵۰)

اهمیت: ارزیابی تغییرات اکوسیستم در طول زمان شناسایی اکوسیستم‌هایی که در گذشته دچار انقراض یا تخریب شده‌اند

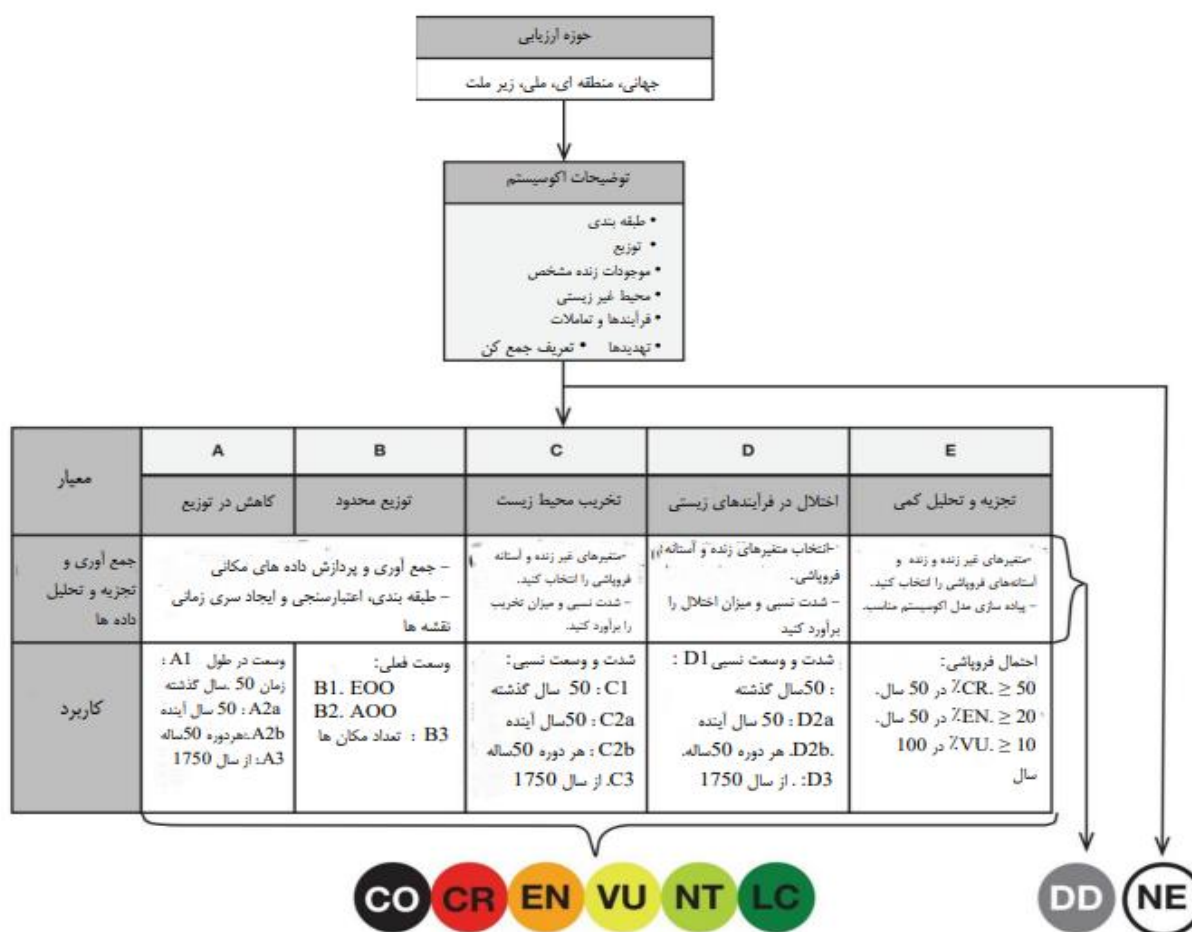
برای معیارهای A، C و D، مقادیر آستانه در فواصل نسبتاً یکنواخت برای کاهش فعلی و آتی در توزیع یا عملکرد اکوسیستم (آسیب‌پذیر: ۳۰٪، در معرض خطر: ۵۰٪، در معرض خطر بحرانی: ۸۰٪) تنظیم شد.

– ارزیابی داده‌ها: ارزیابی داده‌ها بخش مهمی از فرآیند RLE است. برای انجام این کار باید به موارد زیر توجه کرد:

– نوع داده: داده‌های مربوط به توزیع اکوسیستم (نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای)

➤ داده‌های مربوط به تنوع زیستی (گونه‌ها، جمعیت‌ها، جوامع)

➤ داده‌های مربوط به کیفیت محیط زیست (آلودگی، تغییرات آب و هوایی)



شکل ۴. فرآیند ارزیابی خطر فروپاشی یک نوع اکوسیستم

نحوه محاسبه معیار های (A-E):

۱- ارزیابی معیار A

هدف: شناسایی اکوسیستم هایی که در حال حاضر در مساحت خود در حال کاهش هستند یا ممکن است در آینده نزدیک کاهش یابند. حداقل داده: دو اندازه از توزیع یک نوع اکوسیستم در نقاط زمانی مختلف-هم تراز با مقیاس های زمانی ارزیابی های فهرست قرمز IUCN مراحل ارزیابی:

تعریف غیبت اکوسیستم: تعیین معیارهای عدم وجود اکوسیستم در یک منطقه-شفاف سازی نحوه تصمیم گیری در مورد اشغال یا عدم اشغال یک منطقه توسط اکوسیستم یا به عبارت دیگر (معیارها و شاخص های مشخصی برای تعیین اینکه چه زمانی یک اکوسیستم به طور کامل از بین رفته و یا به طور قابل توجهی از نظر مساحت و کیفیت تنزل یافته است، تعریف می شوند. این امر به منظور ایجاد یک چارچوب شفاف و قابل تکرار برای ارزیابی اکوسیستم ها ضروری است.)

جمع آوری داده: استفاده از منابع مختلف مانند نقشه ها، گزارش ها و تصاویر ماهواره ای-انتخاب مجموعه داده مناسب برای ارزیابی تغییرات توزیع-برآورد عدم قطعیت داده ها

محاسبه تغییرات توزیع: استفاده از روش های آماری و مدل سازی-محاسبه تغییرات در توزیع برای هر منبع داده-گزارش دامنه تغییرات به عنوان بازه ای با بهترین تخمین محاسبه تغییرات در بازه های زمانی مشخص: استفاده از داده های خام برای محاسبه تغییرات در ۵۰ سال گذشته، ۵۰ سال آینده و از سال ۱۷۵۰-در نظر گرفتن فرض هایی در مورد الگوی تغییر بررسی سناریوهای مختلف کاهش: بررسی سناریوهای معقول کاهش بر اساس شواهد مستقیم و غیرمستقیم-در نظر گرفتن کاهش خطی و نسبی

استفاده از تاریخ‌های میانی: درک مسیرهای مختلف توزیع اکوسیستم در طول زمان-شناسایی روندهای نزول اکوسیستم

۲- ارزیابی معیار C

معیار C فهرست سرخ IUCN به منظور ارزیابی خطر انقراض اکوسیستم‌ها بر اساس تخریب محیط غیرزیست طراحی شده است. این معیار بر اساس شاخص‌های مختلفی مانند میزان جنگل‌زدایی، آتش‌سوزی و آلودگی، تخریب محیط را اندازه‌گیری می‌کند. مراحل ارزیابی:

انتخاب متغیر: متغیری که برای اندازه‌گیری تخریب محیط انتخاب می‌شود، باید به طور مستقیم با فرآیندهای کلیدی اکوسیستم مرتبط باشد و ظرفیت اکوسیستم برای حفظ هویت خود را تحت تاثیر قرار دهد. - مدل‌های فرآیند می‌توانند در شناسایی متغیرهای مناسب برای ارزیابی معیار C مورد استفاده قرار گیرند.

تخمین شدت و مساحت: شدت تخریب محیط بر اساس شاخص‌های مختلفی مانند میزان جنگل‌زدایی، آتش‌سوزی و آلودگی، تخمین زده می‌شود. - مساحت تخریب شده نیز بر اساس داده‌های ماهواره‌ای و سایر منابع اطلاعاتی اندازه‌گیری می‌شود.

(وضعیت اولیه)-(وضعیت حال یا آینده)=کاهش مشاهده شده یا پیش‌بینی شده

و

(وضعیت اولیه)-(آستانه فروریزش)=کاهش تا فروریزش

$$\text{کاهش پیش‌بینی یا مشاهده شده} \times 100 = (\text{شدت نسبی } \%)$$

انهدام به کاهش

تخصیص رده خطر: با توجه به شدت و مساحت تخریب، رده خطر مناسب به اکوسیستم مورد نظر اختصاص داده می‌شود. - فهرست سرخ IUCN آستانه‌های مختلفی را برای تعیین رده خطر اکوسیستم‌ها ارائه می‌دهد.

محدودیت‌ها: ارزیابی معیار C با چالش‌هایی مانند عدم قطعیت در داده‌ها، پیچیدگی فرآیندهای اکوسیستم، و محدودیت‌های مدل‌های پیش‌بینی‌کننده همراه است.

کاربردها: معیار C می‌تواند به عنوان ابزاری برای پایش وضعیت اکوسیستم‌ها، شناسایی اکوسیستم‌های در معرض خطر انقراض، و برنامه‌ریزی اقدامات حفاظتی مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری: معیار C ابزاری ارزشمند برای ارزیابی خطر انقراض اکوسیستم‌ها بر اساس تخریب محیط غیرزیست است. با استفاده از این معیار می‌توان اکوسیستم‌های در معرض خطر را شناسایی و اولویت‌بندی کرد و اقدامات حفاظتی مناسب را برای آنها برنامه‌ریزی و اجرا نمود.

نکات کلیدی: معیار C ابزاری انعطاف‌پذیر برای ارزیابی خطر انقراض اکوسیستم‌ها بر اساس تخریب محیط غیرزیست است. - انتخاب متغیر مناسب، تخمین دقیق شدت و مساحت تخریب، و تخصیص رده خطر مناسب، از مراحل کلیدی ارزیابی معیار C هستند. - معیار C می‌تواند به عنوان ابزاری برای پایش، شناسایی، و حفاظت از اکوسیستم‌های در معرض خطر انقراض مورد استفاده قرار گیرد.

۳- ارزیابی معیار D

معیار D ابزاری برای ارزیابی خطر انقراض اکوسیستم‌ها بر اساس تغییرات در شاخص‌های زیستی مانند جمعیت گونه‌ها، تنوع زیستی و ساختار جوامع است. این معیار از روشی مشابه معیار C استفاده می‌کند، اما به جای متغیرهای غیرزیستی، بر روی متغیرهای زیستی تمرکز دارد.

۴- ارزیابی معیار E

معیار E برای ارزیابی خطر انقراض اکوسیستم‌ها بر اساس احتمال فروپاشی اکوسیستم در طول ۵۰ یا ۱۰۰ سال آینده استفاده می‌شود. این معیار از مدل‌سازی فرایند-محور اکوسیستم برای تخمین این احتمال استفاده می‌کند. تعریف فروپاشی اکوسیستم: اولین قدم در ارزیابی معیار E، تعریف صریح و دقیق فروپاشی اکوسیستم است. - این تعریف باید با توجه به نوع اکوسیستم مورد ارزیابی انجام شود. محدودیت‌ها: توسعه روش‌های ارزیابی خطر تحت معیار E یک حوزه تحقیقات مداوم است. - چالش‌هایی مانند عدم قطعیت در داده‌ها و پیچیدگی مدل‌سازی اکوسیستم‌ها وجود دارد. کاربردها: معیار E می‌تواند به عنوان ابزاری برای موارد زیر مورد استفاده قرار گیرد: شناسایی اکوسیستم‌های در معرض خطر انقراض، برنامه‌ریزی اقدامات حفاظتی، افزایش آگاهی عمومی در مورد خطر انقراض اکوسیستم‌ها

پردازش و تحلیل داده‌های مکانی

پلتفرم Google Earth Engine (GEE) یکی از ابزارهای پیشرفته و قدرتمند برای پردازش و تحلیل داده‌های مکانی در مقیاس جهانی است. این پلتفرم به دلیل دسترسی به مجموعه‌های بزرگ داده‌های ماهواره‌ای و ابزارهای پردازشی قدرتمند، به‌ویژه برای ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها با تأکید بر فهرست سرخ IUCN و با هدف احیا و مدیریت اکوسیستم‌ها استفاده می‌شود. تحلیل تصاویر ماهواره‌ای به منظور ارزیابی وضعیت اکوسیستم‌ها نیازمند طیف گسترده‌ای از ابزارها و تکنیک‌های پردازش تصویر است. در اینجا، فرآیند تحلیل تصاویر با استفاده از گوگل ارث انجین (Google Earth Engine) به عنوان یک پلتفرم ابری قدرتمند برای تحلیل داده‌های جغرافیایی و سنجش از دور توضیح داده می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱. نمونه مراحل تحلیل تصاویر ماهواره‌ای

مراحل	توضیحات
جمع‌آوری داده‌ها	ابتدا باید داده‌های مورد نیاز را جمع‌آوری کنید. گوگل ارث انجین دسترسی به مجموعه‌های بزرگ داده‌های ماهواره‌ای مانند تصاویر Landsat، Sentinel، MODIS و غیره را فراهم می‌کند.
پیش‌پردازش داده‌ها	تصاویر ماهواره‌ای خام نیاز به پیش‌پردازش دارند تا برای تحلیل آماده شوند. این مراحل شامل تصحیح اتمسفری، برش تصویر به منطقه مورد نظر و ترکیب باندهای مختلف می‌باشد
محاسبه شاخص‌ها	برای مثال شاخص‌های مختلفی مانند NDVI (شاخص پوشش گیاهی نرمال شده) برای تحلیل پوشش گیاهی و سایر ویژگی‌های اکوسیستم استفاده می‌شوند.
تحلیل تغییرات زمانی	برای بررسی تغییرات در طول زمان، می‌توان مجموعه‌های زمانی از داده‌ها را تحلیل کرد و تغییرات در شاخص‌های مختلف را در طول زمان مشاهده نمود.
شناسایی و تحلیل تغییرات	با استفاده از الگوریتم‌های مختلف مانند آشکارسازی تغییر (Change Detection) می‌توان مناطق دچار تغییر را شناسایی و تحلیل کرد.
بصری‌سازی نتایج	نتایج تحلیل‌ها باید به صورت بصری نمایش داده شوند تا تفسیر آن‌ها آسان‌تر باشد. گوگل ارث انجین ابزارهای متعددی برای بصری‌سازی داده‌ها فراهم می‌کند.
تفسیر نتایج و ارائه گزارش	پس از تحلیل داده‌ها، نتایج باید تفسیر شده و در قالب گزارشی ارائه شوند. این گزارش باید شامل نقشه‌ها، نمودارها و تفسیرهای علمی از نتایج باشد.

نتایج

ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها به منظور احیا و مدیریت پایدار آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از ابزارهای معتبر و کاربردی در این زمینه، فهرست سرخ اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) است. این فهرست به عنوان یک معیار جهانی برای ارزیابی وضعیت بقاء گونه‌ها و اکوسیستم‌ها عمل می‌کند و اطلاعات جامعی در مورد گونه‌های در معرض خطر انقراض و همچنین اکوسیستم‌های تهدید شده فراهم می‌آورد. استفاده از فهرست سرخ IUCN در ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها به محققان و مدیران

محیط زیست این امکان را می‌دهد که با شناخت دقیق‌تر از وضعیت اکوسیستم‌ها، تصمیمات مؤثرتری برای حفاظت و احیای آن‌ها اتخاذ کنند. این فهرست شامل معیارهایی است که بر اساس آن‌ها می‌توان وضعیت هر اکوسیستم را ارزیابی و میزان تهدیدات مختلف را شناسایی کرد. این معیارها شامل تغییرات در وسعت و ترکیب زیستی اکوسیستم، میزان تخریب زیستگاه‌ها، و تأثیرات تغییرات اقلیمی هستند.

با توجه به پیشرفت‌های فناوری در دهه‌های اخیر، استفاده از ابزارهای نوین نظیر پلتفرم گوگل ارث انجین (Google Earth Engine) در ارزیابی و مدیریت اکوسیستم‌ها بسیار مفید واقع شده است. گوگل ارث انجین یک پلتفرم ابری است که به کاربران اجازه می‌دهد تا داده‌های جغرافیایی بزرگ را پردازش و تحلیل کنند. این نرم‌افزار از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های سنجش از دور برای مانیتورینگ و تحلیل تغییرات زیست‌محیطی استفاده می‌کند. با ترکیب داده‌های فهرست سرخ IUCN و امکانات تحلیلی گوگل ارث انجین، می‌توان به نتایج دقیقی در ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها دست یافت. به عنوان مثال، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مکانی، می‌توان تغییرات زمانی و مکانی در وسعت زیستگاه‌ها و گونه‌ها را بررسی کرد و روندهای تخریب یا احیا را شناسایی نمود. این اطلاعات به مدیران محیط زیست کمک می‌کند تا برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی مؤثرتری را طراحی و اجرا کنند. یکی از کاربردهای اصلی گوگل ارث انجین در این زمینه، توانایی آن در تحلیل داده‌های تاریخی و پیش‌بینی تغییرات آینده است. با استفاده از این قابلیت، می‌توان سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن‌ها بر اکوسیستم‌ها را مورد بررسی قرار داد و استراتژی‌های مقابله با این تغییرات را تدوین کرد. به عنوان مثال، با تحلیل داده‌های دمای سطح زمین و الگوهای بارش، می‌توان تأثیرات احتمالی گرمایش جهانی بر تنوع زیستی و زیستگاه‌ها را پیش‌بینی کرد. علاوه بر این، گوگل ارث انجین امکان تحلیل چند مقیاسی را فراهم می‌کند، به طوری که می‌توان به بررسی وضعیت اکوسیستم‌ها در سطوح محلی، ملی و جهانی پرداخت. این قابلیت به مدیران محیط زیست کمک می‌کند تا برنامه‌های حفاظتی را در سطوح مختلف اجرایی کنند و هماهنگی بیشتری بین اقدامات محلی و جهانی ایجاد نمایند. از سوی دیگر، استفاده از گوگل ارث انجین در ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها باعث افزایش دقت و صحت نتایج می‌شود. این نرم‌افزار امکان ترکیب داده‌های مختلف از منابع گوناگون را فراهم می‌کند و با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته تحلیل داده، نتایج جامع و قابل اعتمادی را ارائه می‌دهد. به عنوان مثال، می‌توان داده‌های سنجش از دور را با داده‌های میدانی ترکیب کرد و به تحلیل دقیق‌تری از وضعیت اکوسیستم‌ها دست یافت. به طور کلی، ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها با استفاده از فهرست سرخ IUCN و پلتفرم گوگل ارث انجین یک رویکرد نوین و کارآمد در مدیریت محیط زیست است. این رویکرد نه تنها به شناسایی و پایش تهدیدات مختلف کمک می‌کند، بلکه امکان طراحی و اجرای برنامه‌های حفاظتی و مدیریتی مؤثر را نیز فراهم می‌سازد. با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی امروز، استفاده از این ابزارها می‌تواند به حفظ تنوع زیستی و پایداری اکوسیستم‌ها کمک شایانی نماید.

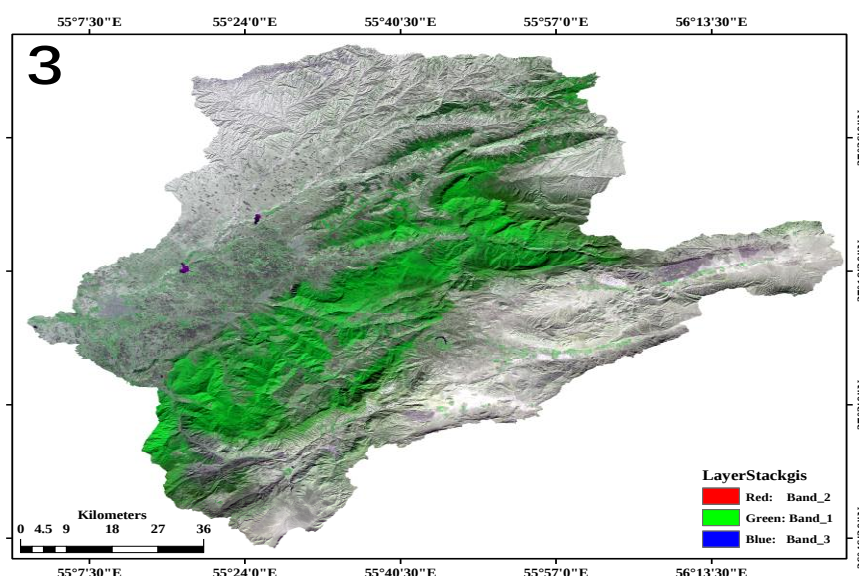
استفاده از گوگل ارث انجین برای تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، فرآیند ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها را تسهیل می‌کند. با استفاده از این پلتفرم، می‌توان به داده‌های دقیق و به‌روز دسترسی پیدا کرد و تغییرات زیست‌محیطی را به صورت دقیق تحلیل نمود. این تحلیل‌ها به تصمیم‌گیری‌های مؤثرتر در زمینه حفاظت و مدیریت پایدار اکوسیستم‌ها کمک می‌کند.

ارزیابی ریسک اکوسیستم حوضه آبخیز گرگانرود واقع در استان گلستان با استفاده از گوگل ارث انجین و فهرست سرخ IUCN

ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها به ویژه در مناطق حساس زیست‌محیطی همچون استان گلستان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استان گلستان با دارا بودن تنوع زیستی غنی و اکوسیستم‌های متنوع، یکی از مناطق مهم زیست‌محیطی در ایران محسوب می‌شود. با این حال، این منطقه نیز مانند بسیاری از مناطق دیگر در جهان با تهدیدات جدی زیست‌محیطی مواجه است. یکی از ابزارهای معتبر برای ارزیابی وضعیت اکوسیستم‌ها، فهرست سرخ اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) است که معیارهای متعددی برای ارزیابی خطرات زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. در این مطالعه، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های تحلیلی گوگل ارث انجین (Google Earth Engine)، به بررسی معیار اول فهرست سرخ IUCN که کاهش توزیع جغرافیایی است، پرداخته‌ایم.

تصویر منطقه

شکل ۴ نمایی از حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان (شمال ایران) را نشان می‌دهد که با استفاده از داده‌های سنجش از دور (Google Earth Engine) و پردازش در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (ArcMap) تهیه شده است. در این تصویر از ترکیب رنگی کاذب شامل باند ۲ (قرمز)، باند ۱ (سبز) و باند ۳ (آبی) استفاده گردیده است تا امکان تفکیک بهتری میان پوشش‌های مختلف زمین فراهم شود. بر اساس این ترکیب، مناطق با پوشش سبز پررنگ معرف جنگل‌ها و مراتع متراکم (عمدتاً جنگل‌های هیرکانی) بوده که از ارزش حفاظتی و تنوع زیستی بالایی برخوردارند. بخش‌های خاکستری‌رنگ عمدتاً شامل نواحی مرتفع و کم‌پوشش یا اراضی برهنه بوده که به‌ویژه به دلیل شیب زیاد و فرسایش‌پذیری بالا، از نظر بوم‌شناختی در زمره اکوسیستم‌های حساس قرار می‌گیرند. لکه‌های پراکنده بنفش در تصویر، معرف واحدهای آبی (مانند تالاب‌ها و مخازن سدها) هستند که در پویایی هیدرولوژیک و تأمین خدمات اکوسیستمی نقش اساسی دارند. همچنین الگوی ناهمواری‌ها و تغییرات توپوگرافیک به‌وضوح در تصویر مشهود بوده و بیانگر ناهمگنی زیستگاهی و تنوع اکوسیستم‌های موجود در این حوضه است. این تصویر مبنای اولیه برای تحلیل فضایی، شناسایی و طبقه‌بندی اکوسیستم‌ها و در نهایت ارزیابی ریسک آنها بر اساس معیارهای فهرست سرخ IUCN قرار خواهد گرفت. این تصویر شامل اطلاعاتی از تغییرات کاربری زمین، و تغییرات در مناطق کشاورزی است. با تحلیل این تصویر، مشخص شد که گسترش مناطق کشاورزی تأثیر قابل توجهی بر اکوسیستم‌های طبیعی این منطقه داشته است. به ویژه، مناطق جنگلی که بخش قابل توجهی از اکوسیستم‌های طبیعی استان را تشکیل می‌دهند، تحت فشار قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است نقشه‌های تهیه شده در بازه‌های یک ساله از اول سال ۲۰۲۳ تا اول سال ۲۰۲۴ گرفته شده است.

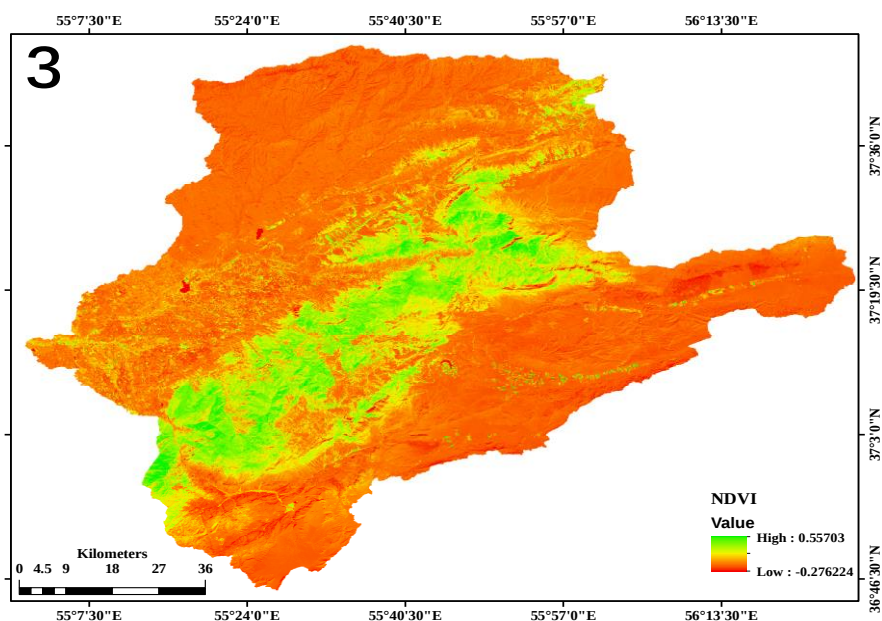


شکل ۴. نقشه حوضه آبخیز گرگانرود واقع در استان گلستان

تصویر NDVI

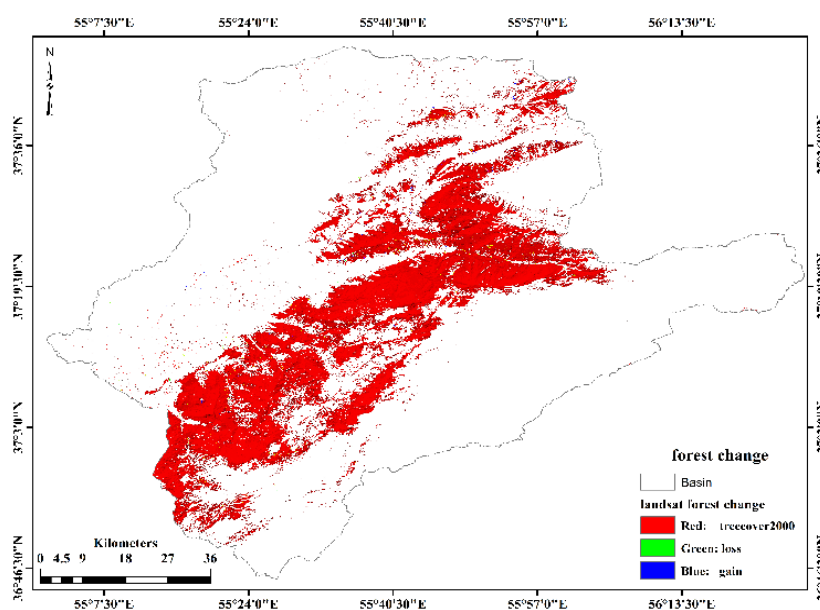
شکل ۵ نمایانگر شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) در حوضه آبخیز گرگانرود واقع در استان گلستان است. این نقشه با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور در محیط Google Earth Engine محاسبه و سپس در محیط ArcMap پردازش و ترسیم شده است. شاخص NDVI یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های طبیعی در مطالعات پوشش گیاهی است که بر اساس اختلاف بازتاب باند قرمز و فروسرخ نزدیک محاسبه می‌شود و میزان سبزینگی، تراکم و سلامت پوشش گیاهی را به‌طور کمی نشان می‌دهد. مقادیر NDVI در محدوده -۱ تا +۱ تغییر می‌کند. در این تصویر، مقادیر منفی و نزدیک به صفر (نمایش داده‌شده با

رنگ‌های نارنجی تا قرمز) معرف اراضی فاقد پوشش گیاهی نظیر مناطق برهنه، اراضی کشاورزی بایر، سطوح آبی و بخش‌هایی از اراضی مسکونی است. در مقابل، مقادیر مثبت و بالاتر از ۰.۳ که به صورت سبز در نقشه قابل مشاهده است، بیانگر نواحی دارای تراکم بالای پوشش گیاهی بوده و عمدتاً جنگل‌های هیرکانی و مراتع انبوه را در بخش‌های جنوبی و مرکزی حوضه شامل می‌شوند. بر اساس نتایج، بیشترین مقدار NDVI در این حوضه برابر با ۰.۵۵ است که نشان‌دهنده وضعیت نسبتاً مطلوب سبزیگی در برخی بخش‌های جنگلی و مرتعی می‌باشد، در حالی که کمترین مقدار ثبت شده معادل -۰.۲۷ به اراضی فاقد پوشش مربوط است. الگوی فضایی NDVI در این حوضه حاکی از ناهمگنی قابل توجه در وضعیت پوشش گیاهی است. مناطق مرتفع شمالی و شرقی به دلیل شیب زیاد، فرسایش‌پذیری بالا و محدودیت‌های اکولوژیک دارای مقادیر پایین NDVI بوده و از پوشش گیاهی ضعیف‌تری برخوردارند. در مقابل، مناطق جنوبی و مرکزی به دلیل وجود جنگل‌ها و مراتع متراکم، مقادیر بالاتری را نشان می‌دهند. این ناهمگنی نشان‌دهنده اهمیت بالای اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی به عنوان منابع اصلی خدمات اکوسیستمی شامل حفاظت خاک، تنظیم رژیم آبی، ذخیره کربن و زیستگاه گونه‌های شاخص است. از منظر ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها در چارچوب معیارهای فهرست سرخ IUCN، نقشه NDVI می‌تواند به عنوان شاخصی کلیدی برای بررسی روند تخریب یا احیای پوشش گیاهی در مقیاس مکانی و زمانی مورد استفاده قرار گیرد. کاهش مقادیر NDVI در بازه‌های زمانی بلندمدت می‌تواند نشانه‌ای از کاهش وسعت و کیفیت اکوسیستم‌ها، افت تولید اولیه خالص و کاهش ظرفیت پشتیبانی زیستگاهی باشد. بر این اساس، تحلیل تغییرات NDVI در حوضه گرگانرود نقش مهمی در شناسایی اکوسیستم‌های در معرض خطر، تعیین سطح ریسک آن‌ها و ارائه راهکارهای مدیریتی و حفاظتی برای احیا و پایداری این اکوسیستم‌ها خواهد داشت. تصویر NDVI، به عنوان یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی، تغییرات در تراکم و سلامت پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. با تحلیل تصاویر NDVI در طول چندین سال، می‌توان روندهای بلندمدت در تغییرات پوشش گیاهی را شناسایی کرد. نتایج نشان می‌دهد که در برخی مناطق، کاهش قابل توجهی در NDVI مشاهده شده است که نشان‌دهنده کاهش تراکم پوشش گیاهی و احتمالاً تخریب زیستگاه‌های طبیعی است. این کاهش می‌تواند به علت عواملی مانند تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی و بهره‌برداری غیرمجاز از منابع طبیعی باشد و همچنین نقشه NDVI هم یک ساله در بازه ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۴ قرار دارد



شکل ۵. نقشه NDVI حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان

شکل ۶ تغییرات پوشش جنگلی حوضه آبخیز گرگانرود واقع در استان گلستان را نشان می‌دهد که با استفاده از داده‌های سنجش از دور و پایگاه داده جهانی تغییرات جنگل از طریق Google Earth Engine استخراج و در محیط ArcMap پردازش شده است. در این نقشه، پوشش جنگلی موجود در سال ۲۰۰۰ با رنگ قرمز، نواحی جنگل‌زدایی شده (Loss) با رنگ سبز و نواحی جنگل‌زایی (Gain) با رنگ آبی مشخص شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از پوشش جنگلی اولیه در محدوده‌های جنوبی و مرکزی حوضه متمرکز بوده و بخش‌هایی از دامنه‌های شمالی نیز دارای پوشش پراکنده‌تری بوده‌اند. این جنگل‌ها عمدتاً بخشی از جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شوند که به دلیل قدمت تاریخی، تنوع زیستی غنی و نقش کلیدی در خدمات اکوسیستمی، از اهمیت جهانی برخوردار هستند. با این حال، الگوی فضایی تغییرات بیانگر این است که در دو دهه اخیر، روند جنگل‌زدایی شدت گرفته و بخش‌های قابل توجهی از پوشش جنگلی به‌ویژه در مناطق حاشیه‌ای و پایین‌دست از بین رفته است. عوامل انسانی نظیر توسعه کشاورزی، بهره‌برداری غیرمجاز از منابع چوبی، چرای بی‌رویه دام و گسترش مناطق مسکونی و زیرساختی از مهم‌ترین دلایل این روند تخریبی محسوب می‌شوند. از سوی دیگر، هرچند در بخش‌هایی از حوضه روند جنگل‌زایی مشاهده می‌شود، اما گستره این تغییرات بسیار محدودتر از روند جنگل‌زدایی است و بیشتر به پروژه‌های احیای جنگل یا باززایی طبیعی در برخی نواحی مربوط می‌شود. بنابراین، میزان جبران ناشی از جنگل‌زایی به‌هیچ‌وجه با شدت و وسعت جنگل‌زدایی همخوانی نداشته و نمی‌تواند ظرفیت‌های زیست‌بومی از دست‌رفته را به‌طور مؤثر جایگزین کند. از منظر ارزیابی ریسک اکوسیستم‌ها بر اساس معیارهای فهرست سرخ IUCN، کاهش وسعت جنگل‌ها در حوضه گرگانرود با معیارهای A (کاهش وسعت و پوشش در طول زمان) و B (کاهش گستره جغرافیایی و تکه‌تکه‌شدن زیستگاه) مطابقت دارد. کاهش مساحت جنگل‌های هیرکانی به‌طور مستقیم منجر به کاهش کیفیت زیستگاهی، افت تولید اولیه خالص، افزایش فرسایش خاک و کاهش توان ذخیره‌سازی کربن می‌شود. همچنین، از بین رفتن جنگل‌ها باعث تهدید مستقیم زیستگاه گونه‌های حساس و انقراض‌پذیر می‌گردد. به‌طور کلی، نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که اکوسیستم‌های جنگلی حوضه گرگانرود در معرض ریسک بالای تخریب قرار دارند و اگر روند کنونی جنگل‌زدایی ادامه یابد، احتمال تغییر وضعیت این اکوسیستم‌ها به رده‌های پرخطرتر در فهرست سرخ IUCN بسیار زیاد خواهد بود. از این رو، مدیریت پایدار جنگل‌ها، کنترل تغییر کاربری، کاهش فشارهای انسانی و توسعه طرح‌های احیا و بازسازی جنگل باید به‌عنوان راهبردهای کلیدی برای کاهش ریسک و ارتقای تاب‌آوری اکوسیستم‌های جنگلی این منطقه مورد توجه قرار گیرد.



نقشه ۶. نقشه جنگل‌زایی و جنگل‌زدایی حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان

تحلیل سه تصویر تهیه‌شده از حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان نشان‌دهنده وضعیت شکننده و پریسک اکوسیستم‌های این منطقه است. تصویر اول (ترکیب باندی) ناهمگنی فضایی اکوسیستم‌ها شامل جنگل‌های هیرکانی، مراتع، اراضی کشاورزی و نواحی برهنه را آشکار ساخت و اهمیت تنوع زیستگاهی این حوضه را برجسته کرد. تصویر دوم (شاخص NDVI) نشان داد که بخش‌های جنوبی و مرکزی حوضه از تراکم و سلامت بالاتری در پوشش گیاهی برخوردارند، در حالی که نواحی مرتفع شمالی و شرقی دارای پوشش ضعیف و شکننده هستند. مقادیر NDVI حداکثر ۰.۵۵ و حداقل -۰.۲۷ بود که بیانگر وجود تضاد اکولوژیک بین مناطق سرسبز و نواحی تخریب‌شده است. تصویر سوم (تغییرات پوشش جنگلی) کاهش معنادار جنگل‌ها طی دو دهه اخیر را آشکار ساخت و نشان داد که روند جنگل‌زدایی بسیار فراتر از روند محدود جنگل‌زایی بوده است. این امر نشان‌دهنده فشارهای شدید انسانی شامل توسعه کشاورزی، بهره‌برداری غیرمجاز و چرای بیش از حد است. بر اساس چارچوب فهرست سرخ اکوسیستم‌های یافته‌ها نشان می‌دهند که اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی حوضه گرگانرود در معرض ریسک بالای تخریب قرار دارند. معیارهای A (کاهش وسعت اکوسیستم‌ها در طول زمان)، B (کاهش گستره جغرافیایی و افزایش تکه‌تکه‌شدن زیستگاه‌ها) و C (کاهش عملکردهای زیست‌بومی نظیر تولید اولیه و ذخیره کربن) همگی در این منطقه مصداق دارند. کاهش پوشش گیاهی و جنگل‌ها علاوه بر تهدید گونه‌های حساس، منجر به افت خدمات اکوسیستمی کلیدی همچون تثبیت خاک، تنظیم رژیم هیدرولوژیک و ذخیره‌سازی کربن خواهد شد. در مجموع، نتایج سه تصویر نشان می‌دهد که اکوسیستم‌های حوضه گرگانرود با خطر جدی زوال روبه‌رو هستند و بدون مداخلات مدیریتی و برنامه‌های احیایی هدفمند، احتمال حرکت این اکوسیستم‌ها به‌سوی رده‌های پرخطرتر در فهرست سرخ IUCN بسیار زیاد است. از این رو، اجرای راهبردهای حفاظتی و مدیریتی شامل کنترل تغییر کاربری، کاهش فشارهای انسانی، بازسازی جنگل‌ها و مدیریت پایدار مراتع، برای کاهش ریسک و افزایش تاب‌آوری اکوسیستم‌های این حوضه ضروری است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل سه تصویر سنجش از دوری تهیه‌شده از حوضه آبخیز گرگانرود (تصویر ترکیب باندی، شاخص NDVI و نقشه تغییرات جنگل) وضعیت شکننده و پریسک اکوسیستم‌های این منطقه را آشکار می‌سازد. تصویر ترکیب باندی نشان داد که این حوضه شامل اکوسیستم‌های متنوعی نظیر جنگل‌های هیرکانی، مراتع، اراضی کشاورزی، تالاب‌های کوچک و مناطق برهنه است. این تنوع فضایی از یک‌سو بر اهمیت زیستگاهی منطقه تأکید دارد، اما از سوی دیگر نشان‌دهنده فشارهای انسانی بر چشم‌انداز طبیعی و احتمال تغییرات سریع در پوشش زمین می‌باشد. شاخص NDVI که یکی از معتبرترین شاخص‌ها برای سنجش وضعیت سلامت و تراکم پوشش گیاهی است، در این مطالعه تضاد بارزی بین مناطق دارای پوشش متراکم (با مقدار NDVI تا ۰.۵۵) و نواحی تخریب‌شده یا فاقد پوشش (با مقدار NDVI -۰.۲۷ تا ۰.۲۷) را نشان داد. بخش‌های جنوبی و مرکزی حوضه از وضعیت بهتری برخوردار بوده و دارای مراتع و جنگل‌های انبوه‌اند، اما در نواحی شمالی و شرقی به دلیل فرسایش‌پذیری بالا، چرای بی‌رویه و تغییر کاربری‌های انسانی، پوشش گیاهی کاهش یافته است. کاهش سلامت پوشش گیاهی بر اساس معیارهای IUCN نشان‌دهنده افت عملکردهای کلیدی اکوسیستمی مانند تولید اولیه خالص، تثبیت خاک و ذخیره‌سازی کربن می‌باشد (Pettorelli et al., 2005; Gamon et al., 2013). نقشه تغییرات جنگل نیز روند نگران‌کننده‌ای از کاهش پوشش جنگلی در طی دو دهه اخیر را آشکار ساخت. اگرچه بخش‌هایی از حوضه شاهد جنگل‌زایی و باززایی طبیعی بوده‌اند، اما این روند بسیار محدود بوده و توان جبران شدت جنگل‌زدایی را نداشته است. جنگل‌زدایی عمدتاً در حاشیه‌ها و اراضی پایین‌دست رخ داده و با عواملی چون توسعه کشاورزی، برداشت غیرمجاز از چوب، گسترش سکونت‌گاه‌ها و چرای بی‌رویه ارتباط دارد. این یافته‌ها با مطالعات جهانی تغییرات جنگل‌ها (Hansen et al., 2013) همخوانی دارد که کاهش پوشش جنگل را به‌ویژه در مناطق غنی از تنوع زیستی گزارش کرده‌اند. بر اساس چارچوب فهرست سرخ اکوسیستم‌های IUCN (Rodríguez et al., 2015; Keith et al., 2015)، شرایط حوضه گرگانرود نشان می‌دهد که چندین معیار به‌طور همزمان در وضعیت بحرانی هستند:

معیار A (کاهش توزیع اکوسیستم): کاهش معنادار وسعت جنگل‌های هیرکانی در طول دو دهه اخیر.

معیار B (کاهش گستره جغرافیایی): کوچک‌شدن لکه‌های جنگلی و افزایش تکه‌تکه‌شدن زیستگاه‌ها.

معیار C (تخریب محیطی): افت تولید زیستی و کاهش سلامت پوشش گیاهی بر اساس NDVI.

معیار D (اختلال در فرایندهای زیستی): تهدید مستقیم زیستگاه گونه‌های حساس و وابسته به جنگل.

این شرایط نشان دهنده آن است که اکوسیستم های جنگلی و مرتعی حوضه گرگانرود احتمالاً در آستانه ورود به دسته های «آسیب پذیر» (Vulnerable) یا حتی «در معرض خطر» (Endangered) در فهرست سرخ IUCN قرار دارند.

راهکارهای مدیریتی و احیایی

برای کاهش ریسک و افزایش تاب آوری اکوسیستم های حوضه گرگانرود، مجموعه ای از اقدامات مدیریتی و حفاظتی ضروری است:

۱. کنترل تغییر کاربری زمین: جلوگیری از تبدیل جنگل ها و مراتع به اراضی کشاورزی یا ساخت و ساز از طریق اجرای قوانین سختگیرانه و پایش مستمر با ابزارهای سنجش از دور.

۲. مدیریت پایدار جنگل ها: اجرای طرح های بهره برداری پایدار، کاهش برداشت غیرمجاز و مشارکت جوامع محلی در حفاظت از جنگل ها.

۳. بازسازی و احیای جنگل ها: جنگل کاری مجدد با گونه های بومی هیرکانی و افزایش پوشش گیاهی در مناطق تخریب شده، با هدف بازگرداندن کارکردهای اکولوژیک.

۴. مدیریت مراتع: کنترل چرای دام و اجرای طرح های مرتعداری پایدار به منظور کاهش فشار بر اکوسیستم های شکننده.

۵. پایش اکوسیستم ها: استفاده مداوم از شاخص هایی مانند NDVI و داده های تغییرات جنگل برای ارزیابی روندهای بلندمدت و شناسایی مناطق پرخطر.

۶. تقویت خدمات اکوسیستمی: توجه به نقش جنگل ها و مراتع در تثبیت خاک، تنظیم آب، ذخیره سازی کربن و پشتیبانی از معیشت جوامع محلی به عنوان پایه برنامه های احیایی.

۷. سیاست گذاری و آموزش: ارتقای آگاهی عمومی و آموزش جوامع محلی برای مشارکت در حفاظت، همراه با سیاست های حمایتی از حفاظت و احیا.

Reference

- Bland, L. M. , Keith, D. A. , Miller, R. M. , Murray, N. J. and Rodríguez, J. P. , 2017. Guidelines for the application of IUCN Red List of Ecosystems Categories and Criteria, version 1. 1. International Union for the Conservation of Nature, Gland, Switzerland .
- Bland, L. M., Nicholson, E., Miller, R. M., Andrade, A., Carré, A., Etter, A., ... & Keith, D. A. (2019). Impacts of the IUCN Red List of Ecosystems on conservation policy and practice. *Conservation letters*, 12(5), e12666.
- Brovelli, M. A., Sun, Y., & Yordanov, V. (2020). Monitoring forest change in the Amazon using multi-temporal remote sensing data and machine learning classification on Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 580.
- Etter, A., Andrade, A., Nelson, C. R., Cortés, J., & Saavedra, K. (2020). Assessing restoration priorities for high-risk ecosystems: An application of the IUCN Red List of Ecosystems. *Land use policy*, 99, 104874.
- Gamon, J. A., Huemmrich, K. F., Stone, R. S., & Tweedie, C. E. (2013). Spatial and temporal variation in primary productivity (NDVI) of coastal Alaskan tundra: Decreased vegetation growth following earlier snowmelt. *Remote sensing of environment*, 129, 144-153.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Townshend, J. R. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *science*, 342(6160), 850-853.
- Hooper, D. U., Adair, E. C., Cardinale, B. J., Byrnes, J. E., Hungate, B. A., Matulich, K. L., ... & O'Connor, M. I. (2012). A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*, 486(7401), 105-108.
- IUCN, 2016 International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. , An Introduction to the IUCN Red List of Ecosystems: The Categories and Criteria for Assessing Risks to Ecosystems
- Keith, D. A. , Ferrer-Paris, J. R. , Nicholson, E. and Kingsford, R. T. , 2020. IUCN Global ecosystem typology 2. 0. Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups. IUCN, Gland .
- Keith, D. A., Rodríguez, J. P., Brooks, T. M., Burgman, M. A., Barrow, E. G., Bland, L., ... & Spalding, M. D. (2015). The IUCN red list of ecosystems: Motivations, challenges, and applications. *Conservation Letters*, 8(3), 214-226.
- Lee, C. K., Keith, D. A., Nicholson, E., & Murray, N. J. (2019). Redlist: Tools for the IUCN Red Lists of ecosystems and threatened species in R. *Ecography*, 42(5), 1050-1055.
- Monge-Ganuzas, M., Guillén-Mondéjar, F., Díaz-Martínez, E., Herrero, N., & Brilha, J. (2024). Geoconservation at the international union for conservation of nature (IUCN). *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 382(2269), 20230053.

- Nguyen, L. B. (2020). Land cover change detection in northwestern Vietnam using Landsat images and Google Earth Engine. *Journal of Water and Land Development*.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510.
- Rodríguez, J. P. , Keith, D. A. , Rodríguez-Clark, K. M. , Murray, N. J. , Nicholson, E. , Regan, T. J. , Miller, R. M. , Barrow, E. G. , Bland, L. M. , Boe, K. and Brooks, T. M. , 2015. A practical guide to the application of the IUCN Red List of Ecosystems criteria. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1662), p. 20140003.
- Salafsky, N., Salzer, D., Stattersfield, A. J., Hilton-Taylor, C. R. A. I. G., Neugarten, R., Butchart, S. H., ... & Wilkie, D. (2008). A standard lexicon for biodiversity conservation: unified classifications of threats and actions. *Conservation Biology*, 22(4), 897-911.
- Tan, J., Li, A., & Lei, G. (2016, July). Establish IUCN Red List of ecosystems in Southwestern China based on remote sensing data. In *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* (pp. 1307-1310). IEEE.
- Valderrábano , M. , Nelson, C. , Nicholson, E. , Etter, A. , Carwardine , J. , Hallett, J. G. , McBreen, J. and Botts, E. , 2021. Using ecosystem risk assessment science in ecosystem restoration: a guide to applying the Red List of Ecosystems to ecosystem restoration. IUCN, Gland .
- .