



Evaluating Ecological Degradation of Kosalan Protected Area using Remote Sensing and GIS

Zahra Jalilian^a, Jamil Amanollahi^{b*}

^a MSc in Environmental Sciences, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

^b Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 23 January 2022

Revised: 20 March 2022

Accepted: 31 March 2022

Abstract

Protected areas are defined as a pattern of land use in the environmental planning process. However, they are excluded from any physical exploitation or their use is conditional. They are no less important than other lands. This study aimed to evaluate the ecological degradation of Kosalan protected area using remote sensing and GIS techniques. Images of two time periods 1989 and 2020 were prepared. For this purpose, after radiometric and atmospheric corrections of NDVI index, changes of vegetation in the region in the two time periods were evaluated. Then, to model the ecological degradation, eight criteria including distance from the village, distance from the road, landslide points, erosion intensity, slope, direction, altitude and vegetation were used. The criteria were weighted by hierarchical analysis process method and standardized by fuzzy model. Vegetation changes at different thresholds were analyzed. According to the vegetation situation in the region, 3 thresholds of 0.1-3, 0.1-1 and 0.1-1 were used. The results of this evaluation showed that the quality and density of vegetation has decreased a lot during 31 years. The results of ecological degradation modeling showed that the most effective criterion in causing degradation is distance from the village. In general, 50% of the area has a high potential for ecological degradation. The results showed that the greatest potential for ecological degradation was in the central areas of the southeast and center of the region, where the slope and altitude are high. The impact of slope is so high in these places.

Keywords: AHP, NDVI, Fuzzy, Modeling, Vegetation Density

* Corresponding author: Jamil Amanollahi Email: j.amanollahi@uok.ac.ir Tel: +989379701832

How to cite this Article: Jalilian, Z., Amanollahi, J. (2023). Evaluating ecological degradation of Kosalan protected area using remote sensing and GIS. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 41-61.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.75467.1184



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 1 - Number 45, Spring 2023

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


 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75467.1184> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهارم و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۶۱-۴۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت‌شده کوسالان با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS

زهرا جلیلیان - کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

جمیل امان‌اللهی^۱ - دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱/۱۱

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت‌شده کوسالان در شهرستان مریوان در استان کردستان با استفاده از فن‌آوری‌های سنجش‌ازدور و GIS انجام شده است. برای این منظور تصاویر دو دوره زمانی مربوط به سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۰ تهیه گردید. پس از انجام تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک، تغییرات شاخص NDVI که بیان‌کنندهٔ تغییرات پوشش گیاهی در دو بازه زمانی موردبررسی است، مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور مدل‌سازی تخریب اکولوژیکی از ۴ معیار کلی پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی و فعالیت‌های انسانی و ۸ زیر معیار شامل فاصله از روستا، فاصله از جاده، محدوده‌های زمین‌لغزش، شدت فرسایش، شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا و پوشش گیاهی استفاده گردید. زیر معیارها با مدل Fuzzy استاندارد شدند و با روش AHP وزن‌دهی گردیدند. تغییرات پوشش گیاهی در آستانه‌های مختلف شاخص NDVI شامل سه آستانه ۰/۳-۱، ۰/۴-۱ و ۰/۱-۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که کیفیت و تراکم پوشش گیاهی دارای روند کاهشی در طول این ۳۱ سال بوده است. نتایج مدل‌سازی پتانسیل تخریب اکولوژیکی نشان داد مؤثرترین معیار در ایجاد تخریب، فاصله از روستا است. به‌طورکلی ۵۰ درصد از مساحت منطقه دارای پتانسیل بالای تخریب

Email: j.amanollahi@uok.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۷۹۷۰۱۸۳۲

نحوه ارجاع به این مقاله:

لیلیان، زهرا؛ امان‌اللهی، جمیل؛ ۱۴۰۲. ارزیابی پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت‌شده کوسالان با استفاده از

سنجش‌ازدور و GIS. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۶۱-۴۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75467.1184>

اکولوژیکی است. نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از مدل‌های دقیق و تجزیه و تحلیل نتایج آن‌ها در محیط GIS می‌تواند روش دقیقی در برآورد پتانسیل تخریب اکولوژیکی مناطق حفاظت شده باشد. کلیدواژه‌ها: AHP، NDVI، فازی، مدل‌سازی، تراکم پوشش گیاهی.

۱- مقدمه

مناطق حفاظت شده به‌عنوان نوعی الگوی کاربری زمین در فرآیند برنامه‌ریزی محیط‌زیست تعیین شده است. اگرچه بهره‌برداری فیزیکی از مناطق حفاظت شده انجام نمی‌شود و یا استفاده از آن‌ها به‌صورت مشروط صورت می‌گیرد. اهمیت آن‌ها کمتر از ارزش‌های سایر کاربری‌های دیگر نیست؛ زیرا این مناطق پشتوانه حمایتی مهمی برای بسیاری از زمینه‌ها از جمله حفظ تنوع زیستی و توسعه پایدار کشاورزی به شمار می‌روند (روشن، ۱۳۹۷). با توجه به افزایش تقاضا و تشدید کاربری زمین توسط انسان‌ها، انتظار می‌رود که تغییرات کاربری زمین، مهم‌ترین عامل ایجاد تغییر در تنوع زیستی در آینده باشد (والز، ۲۰۱۱) ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی^۱ ناشی از اختلال مستمر انسان در فرآیندهای طبیعی و محیطی، توجه زیادی را در جهان به‌ویژه در زمینه تغییرات آب‌وهوایی به خود اختصاص داده است (فراسر^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). امروزه فن‌آوری سنجش‌ازدور به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های نمونه‌برداری سنتی پر هزینه و وقت‌گیر به کار می‌رود (اسلونکر^۳ و همکاران، ۲۰۱۰؛ محمود^۴ و همکاران، ۲۰۱۷؛ منزو^۵ و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعاتی در این زمینه انجام شده که می‌توان به پژوهش ادی^۶ و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد که به بررسی ترکیب سنجش‌ازدور و دانش زیست‌محیطی محلی برای نظارت بر پویایی مراتع قرقیزستان پرداختند. شاخص‌های پوشش گیاهی (مانند NDVI)، یا شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال شده) که از تصاویر مناطق دور افتاده به دست آمده بودند، اغلب برای نظارت بر مراتع مورداستفاده قرار گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که دانش بوم‌شناسی محلی یک منبع با ارزش از اطلاعات و مکملی برای فن‌آوری سنجش‌ازدور است. جینگ^۸ و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روند تغییرات پوشش گیاهی منطقه با شاخص NDVI را مورد ارزیابی قرار دادند. در این مقاله آن‌ها از تصاویر Landsat5 (TM^۹) در سال ۲۰۰۷ و تصویرگر زمین عملیاتی Landsat8 (OLI^{۱۰}) در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ استفاده کردند تا شاخص‌هایی از قبیل سبز بودن، مرطوب بودن، گرما و خشکی را

1 Walz

2 Ecological vulnerability evaluation

3 Fraser

4 Slonecker

5 Mahmood

6 Manzo

7 Eddy

8 jing

9 Thematic Mapper

10 Operational Land Imager

استخراج کنند که منعکس کننده کیفیت زیست محیطی منطقه خشک بود. نتایج نشان داد که سبز بودن و رطوبت تأثیرات مثبتی بر محیط زیست دارد، در حالی که گرما و خشکی اثرات منفی دارند. **اکس یو^۱ و همکاران (۲۰۱۸)** به بررسی پیش بینی اثرات زیست محیطی جمعیت بالقوه و سطح غیر قابل نفوذ با استفاده از شاخص اکولوژیکی مبتنی بر سنجش ازدور (RSEI²) در چین پرداختند. پیش بینی این تأثیر به اطلاع رسانی در مورد برنامه ریزی شهری و تصمیم گیری در مورد رشد جمعیت، افزایش سطح غیر قابل نفوذ (IS) و اثرات زیست محیطی مرتبط کمک کرد. **جیانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۸)**، روش ارزیابی آسیب پذیری زیست محیطی در اثر تغییر آب و هوا بر اساس سنجش ازدور، در چین مطالعه موردی انجام داده اند. روش پیشنهادی مبتنی بر تعریف چارچوب IPCC⁴ و سنجش ازدور بوده است. نتایج نشان داد که آسیب پذیری زیست محیطی در چین متوسط یا زیاد است و تغییرات منطقه ای مشخصی در توزیع مکانی دارد. **شن^۵ و همکاران (۲۰۱۹)** مطالعه ای با عنوان سنجش ازدور و ارزیابی تخریب اکولوژیکی تالاب در چین انجام داده اند سنجش ازدور برای ردیابی روند تخریب اکولوژیکی در طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ از سه جنبه و در سه سطح استفاده شد. برای ارزیابی میزان تخریب تالاب از لحاظ کمی، از یک فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی (AHP⁶) بر اساس پنج شاخص استفاده شد: نرخ تغییر منطقه تالاب، بعد فراکتال چشم انداز، تکه تکه شدن چشم انداز، زیست توده گیاهی و پوشش گیاهی. به طور خلاصه، شدیدترین تخریب تالاب در سال ۲۰۰۵ بود. در طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۰، الگوی تخریب مکانی تالاب Zoige از شمال شرقی به جنوب غربی پیشرفت کرده بود. **هلوی^۷ و همکاران** در سال ۲۰۱۶ در مطالعه ای از منطق فازی برای ترسیم نقشه برای میزان تولید هوموس در مناطق کوهستانی ایتالیا استفاده کردند. نتایج آن ها نشان داد که منطق فازی برای ترسیم نقشه های مبتنی بر تعداد داده کم و دارای عدم قطعیت و در مناطق ناهمگن مناسب است. **تان^۸ و همکاران (۲۰۱۹)** به بررسی شاخص ارزیابی ریسک زیست محیطی جدید و مستقیم برای تخریب محیط زیست بر اساس رویکرد منحنی پاسخ و داده های سنجش ازدور پرداختند؛ و بیان کردند که اکوسیستم ها با تشدید فعالیت های انسانی و تغییرات آب و هوایی در جهان در معرض خطر تخریب محیط زیست قرار دارند. **آرخی و همکاران (۱۴۰۰)** به بررسی کاهش پوشش جنگلی شهرستان سردشت در استان آذربایجان غربی، از طریق تصاویر سنجنده MSS، ETM+ و OLI مربوط به سال های ۱۳۵۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۷ پرداختند. تصاویر ذکر شده مورد پیش پردازش و پردازش قرار دادند و به دو طبقه جنگل و غیر جنگل طبقه بندی کردند. نتایج نشان داد که در طول ۴۱ سال حدود ۳۳۷۲۱ هکتار از سطح جنگل های شهرستان سردشت کاسته شده

1 Xu

2 Risk-Screening Environmental Indicators

3 jiang

4 Intergovernmental Panel on Climate Change

5 Shen

6 Analytical Hierarchy Process

7 Hellwig

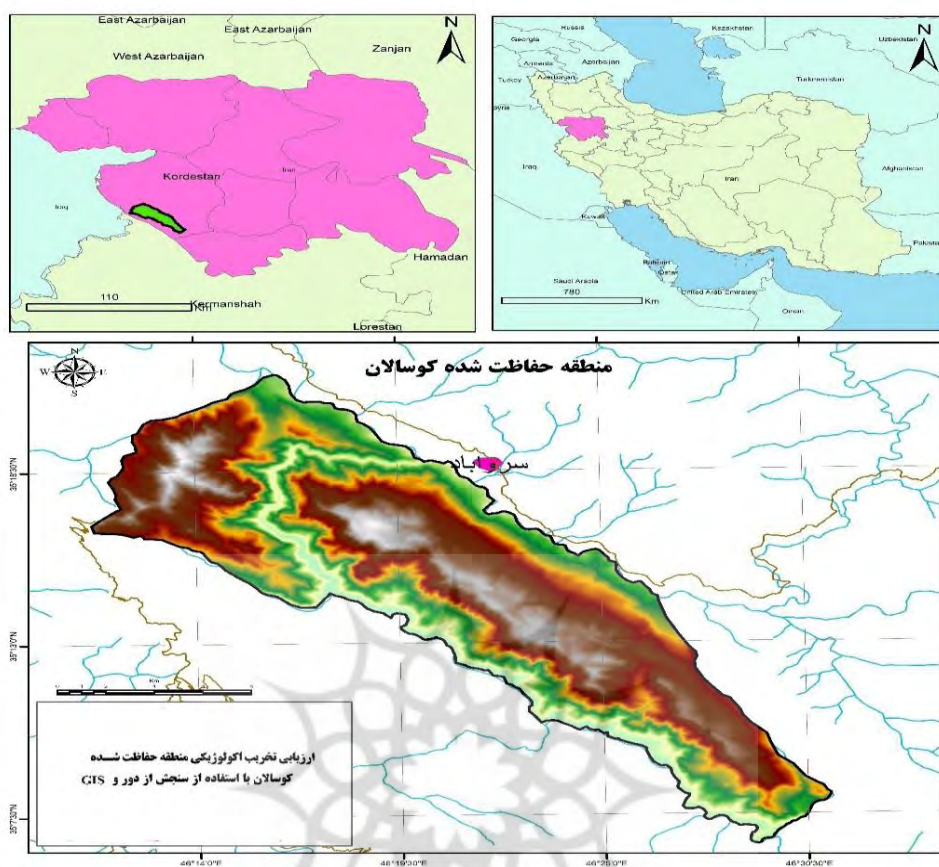
8 Tan

است. با توجه به نتایج مشخص شد که از متغیرهای توپوگرافی، پارامترهای فاصله از جاده و فاصله از روستا بر میزان تخریب جنگل بیشترین تأثیر را داشته‌اند. همان‌طور که مطالعات انجام شده نشان داد فن‌آوری سنجش‌ازدور و بررسی معیارهای مختلف و مدل‌سازی آن به کمک مدل‌های چند معیاره مانند AHP و منطق فازی می‌تواند در شناسایی تخریب اکولوژیک مناطق مختلف مؤثر باشد. لذا در این تحقیق مدل‌سازی تخریب اکولوژیک در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل‌های منطق فازی و AHP انجام برای منطقه حفاظت شده کوسالان انجام شد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در غرب ایران، استان کردستان و در شهرستان مریوان قرار گرفته است. کوسالان در محدوده طول‌های جغرافیایی $26^{\circ} 11' 46''$ تا $27^{\circ} 30' 46''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 21' 56''$ تا $35^{\circ} 26' 37''$ شمالی با مختصات UTM، زون ۳۸ شمالی با مساحتی برابر ۲۵۷۶۴ هکتار در ۱۷ کیلومتری جنوب شرقی شهر مریوان (مابین شهرهای سروآباد- مریوان و پاوه) قرار گرفته است (شکل ۱). هم‌چنین بخشی از این منطقه در استان کرمانشاه واقع شده است که این مطالعه بخش کوسالان را در بر گرفته که مساحت آن ۲۶ هزار هکتار است در این منطقه تاکنون ۱۱۷ گونه پرنده، ۲۳ گونه پستاندار، ۱۷ گونه خزنده و ۲۴۲ گونه گیاهی شناسایی شده است. مهم‌ترین پوشش گیاهی این منطقه شامل جنگل‌های بلوط است. گونه‌های شاخص جانوری شامل: سیاه‌گوش، کل و بز، خرس قهوه‌ای، پلنگ، کرکس، هما و عقاب طلایی است (دیده بان محیط‌زیست و حیات وحش، ۱۳۹۱).



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه

۲-۲- داده‌ها

انواع داده‌های مورد استفاده در این مطالعه و مأخذ و مشخصات آن‌ها در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه نقشه روستاها، جاده‌ها، نقاط زمین لغزش، فرسایش و DEM^1 از سازمان نقشه برداری کشور تهیه گردید، همچنین تصاویر ماهواره‌ای منطقه از وبسایت سازمان زمین شناسی آمریکا دانلود و تصحیحات مربوطه جهت استخراج اطلاعات بر روی آن‌ها انجام شد (جدول ۱).

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده و مشخصات آن‌ها

سال اخذ داده	دوره زمانی	مقیاس داده	فرمت داده	مأخذ داده	داده
۱۳۹۹		۲۰*۲۰ متر	رس‌تر	سازمان نقشه برداری	DEM
۲۰۲۰	۱۹۸۹-۲۰۲۰	۳۰*۳۰ متر	رس‌تر	وبسایت زمین شناسی آمریکا (SRTM)	تصاویر
۱۳۹۹		۱/۲۵۰۰۰۰	برداری (وکتور)	سازمان جنگل‌ها و مراتع	پوشش گیاهی

1 Digital Elevation Map

سال اخذ داده	دوره زمانی	مقیاس داده	فرمت داده	مأخذ داده	داده
۱۳۹۹		۱/۲۵۰۰۰۰	برداری (وکتور)	سازمان نقشه برداری	روستاها
۱۳۹۹		۱/۲۵۰۰۰	برداری (وکتور)	سازمان نقشه برداری	جاده‌ها
۱۳۹۹		۱/۲۵۰۰۰۰	برداری (وکتور)	سازمان نقشه برداری	نقاط زمین لغزش
۱۳۹۹		۱/۲۵۰۰۰۰	برداری (وکتور)	سازمان نقشه برداری	فرسایش

۲-۳- روش شناسی

۲-۳-۱- پایش تغییرات پوشش گیاهی

برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی از شاخص NDVI استفاده شد. ابتدا تصاویر دو دوره زمانی ۱۹۸۹ و ۲۰۲۰ از ماهواره منابع زمینی Landsat دانلود شده و پس از انجام تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری با استفاده از روش-های (FLAASH -Drak subtract) با شاخص NDVI تغییرات پوشش گیاهی دو دوره بررسی شد. به منظور کنترل کیفیت داده‌های مورد استفاده و آگاهی از اینکه خطاهای سیستماتیک و غیر سیستماتیک تا چه حد در تصحیح سیستمی برطرف شده یا باقیمانده است، داده‌ها مورد بررسی و مشاهده قرار گرفتند. پس از نمایش باندها به صورت تک باندهی و ترکیبات رنگی مختلف با استفاده از نرم‌افزارهایی که قابلیت نمایش و بزرگنمایی بالایی دارند، به کمک بزرگنمایی آن‌ها در بخش‌های مختلف تصاویر از لحاظ خطاهای رادیومتری نظیر راه راه شدگی، خطای زیر هم قرارگرفتن خطوط اسکن، پیکسل‌های دوبله و همچنین اثرات اتمسفری نظیر ابر مورد بررسی قرار گرفتند (نظم فر و همکاران، ۱۴۰۰).

جدول ۲- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

دوره زمانی	ماهواره	سنجنده	ماه	رزولوشن
۱۹۸۹	Landsat	TM	اواخر ژوئن	۳۰*۳۰ متر
۲۰۲۰	Landsat	OLI	اواخر ژوئن	۳۰*۳۰ متر

تصاویر دو دوره زمانی با فاصله ۳۱ سال در ماه ژوئن (کیفیت تصویر در این ماه به علت وجود پوشش گیاهی و همچنین عدم وجود ابر بهتر است)، دانلود و تصاویر هر دو دوره در یک ماه برداشت شد تا تغییرات پوشش گیاهی در تراکم مشابه در دو دوره مختلف، به خوبی قابل قیاس باشند (جدول ۲).

۲-۳-۲- مدل سازی تخریب اکولوژیکی

در این بخش با استفاده از ۸ زیر معیار به ارزیابی تخریب اکولوژیکی پرداخته شد. ابتدا زیر معیارها در محیط نرم افزار ArcGIS 10.7 آماده سازی شدند و سپس با استفاده از منطق فازی استاندارد شدند. برای وزندهی به معیارها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. معیارهای مورداستفاده طبق **جدول ۳** در این مدل سازی استفاده شدند. این معیارها بر اساس مرور تحقیقات در این زمینه و ارتباط آن‌ها با وضعیت اکولوژیکی انتخاب شدند. معیارهای دیگری نیز در سایر تحقیقات مورداستفاده قرار گرفته بودند که با بررسی وضعیت جغرافیایی منطقه، آن‌ها حذف شدند. معیارهای مهمی که از مدل سازی حذف شدند شامل اقلیم و تغییر کاربری اراضی بودند که معیار اقلیم با توجه به اقلیم یکسان حذف گردید. تغییر کاربری نیز با استفاده از طبقه بندی نظارت شده تصاویر ماهواره لندست و همچنین استفاده از سامانه گوگل ارث در دامنه زمانی مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت که در هر دو روش به دلیل کوهستانی بودن و توپوگرافی بسیار سخت آن تغییر کاربری اراضی مشاهده نشد. سایر معیارها با توجه به اهمیت آن‌ها و کاربرد در مدل تخریب مورداستفاده قرار گرفتند.

جدول ۳- معیارهای مورداستفاده در مدل سازی تخریب اکولوژیکی

ردیف	معیار	زیرمعیار	منبع
۱	پوشش	پوشش گیاهی NDVI	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴
۲	زمین شناسی	فاصله از نقاط زمین لغزش	شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
		فرسایش	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴
۳	فیزیوگرافی	شیب	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴-شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
		جهت	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴-شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
		ارتفاع	سپهر و همکاران، ۱۳۹۴-شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
۴	فعالیت انسانی	فاصله از روستا	شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵
		فاصله از جاده	شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۵

۲-۳-۲-۱- فازی سازی لایه‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی

هدف از استاندارد سازی لایه‌ها، همسان نمودن آن‌ها برای به کارگیری در سامانه پشتیبان تصمیم گیری مورداستفاده است که در این تحقیق مدل تخریب اکولوژیکی است. در این مدل سازی معیارهای مورداستفاده با منطق فازی استاندارد سازی شد. با استفاده از مبانی تئوری فازی، که هر موضوع یا مفهومی دارای یک درجه عضویت است، می توان روش مناسبی جهت طبقه بندی و رتبه گذاری نسبت به روش بولین ارائه کرد (مالانو و گائو، ۱۹۹۲). در

جدول ۴ لایه‌ها و توابع فازی مورد استفاده برای استانداردسازی آن‌ها و هم‌چنین نقاط کنترلی (control point) و نقطه وسط (midpoint) نشان داده شده است.

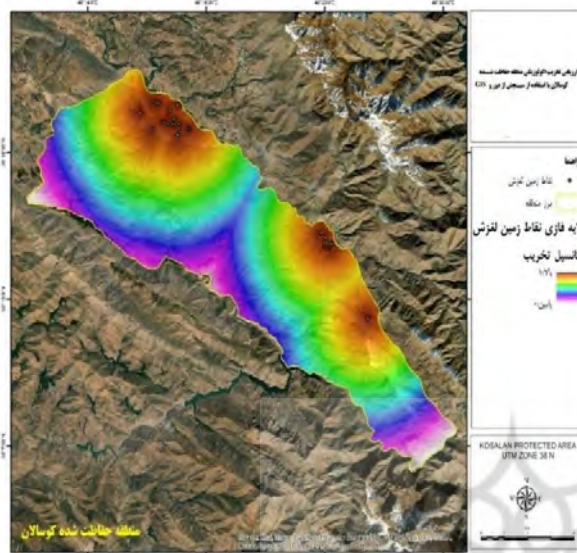
جدول ۴- استانداردسازی لایه‌های مدل تخریب اکولوژیکی

ردیف	معیار	زیرمعیار	تابع فازی	نقطه کنترلی ۱	نقطه وسط	نقطه کنترلی ۲
۱	پوشش	پوشش گیاهی NDVI	خطی افزایشی	۰/۱		۰/۹
۲	زمین	فاصله از نقاط زمین لغزش	خطی کاهش	۱۰ ک.م		۰
۳		فرسایش	خطی افزایشی	۱		۳
۴	فیزیوگرافی	شیب	خطی افزایشی	۱		۷۵
۵		جهت	Near		۳۱۵	
۶		ارتفاع	خطی افزایشی	۸۰۰		۲۶۰۰
۷	انسانی	فاصله از روستا	خطی کاهش	۶ ک.م		۰
۸		فاصله از جاده	خطی کاهش	۱۰ ک.م		۰

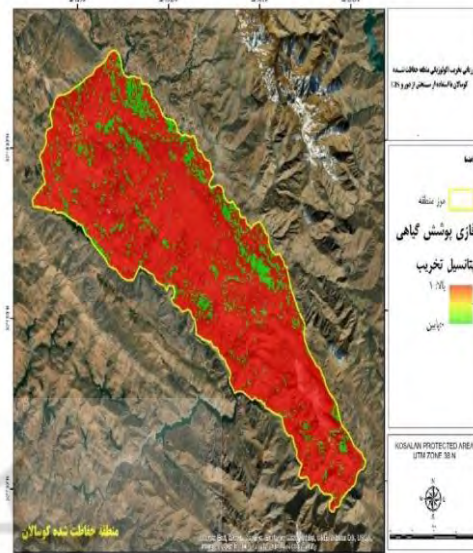
برای تعدادی از معیارها از تابع عضویت فازی خطی استفاده شده است. این معیارها با توجه به ماهیت لایه جغرافیایی و هم‌چنین ارتباط با مدل اکولوژیکی با این تابع استاندارد شده‌اند. به‌عنوان مثال لایه فاصله از روستا، از تابع خطی کاهنده استفاده شده است. بدین معنی که هر چه فاصله از روستا بیشتر باشد میزان پتانسیل تخریب اکولوژیکی کمتر است و هر چه فاصله کمتر باشد پتانسیل تخریب بیشتر است؛ که این با تابع خطی کاهنده مطابقت دارد. نقاط کنترلی نیز با توجه به تابع فاصله اقلیدسی به دست آمده است که از صفر شروع می‌شود و تا دورترین نقطه مرز منطقه از روستاهای موجود است. بیشترین فاصله از روستا تا مرز منطقه کوسالان، شش کیلومتر است. این تابع برای هفت زیر معیار به صورت کاهش و افزایشی استفاده شده است. برای زیر معیار جهت شیب از تابع عضویت نزدیک (NEAR) استفاده شده است که تابعی شبیه تابع گوسین یا توزیع نرمال است و دارای نقطه وسط است. با معرفی نقطه وسط به‌عنوان با ارزش‌ترین نقطه یا با بیشترین پتانسیل تخریب در این مطالعه، هر چه از این نقطه به طرفین فاصله بگیریم ارزش یا پتانسیل تخریب آن کاسته می‌شود. با توجه به اینکه جهت جغرافیایی با میزان دریافت تابش خورشید و میزان تبخیر و سپس آب قابل دسترس برای پوشش گیاهی و رطوبت ارتباط مستقیم دارد، بنابراین نقطه ۳۱۵ درجه که جنوب غربی هست به‌عنوان بالاترین پتانسیل تخریب به تابع نزدیک معرفی شده است و نقطه وسط ۰/۰۰۱ نیز به‌عنوان میزان پخش شدگی (Spread) آن که بیشترین میزان پخش شدگی در این تابع است، معرفی شد. توابع عضویت تمامی معیارها در جدول ۴ آمده است.

در شکل شماره ۲ تصویر خروجی لایه‌هایی که در نرم‌افزار GIS استانداردسازی شده با مدل فازی آمده است.

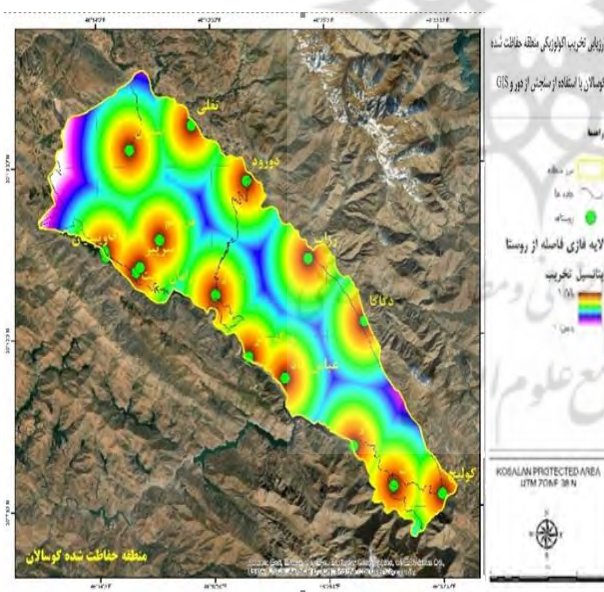
نقشه فازی نقاط زمین لغزش



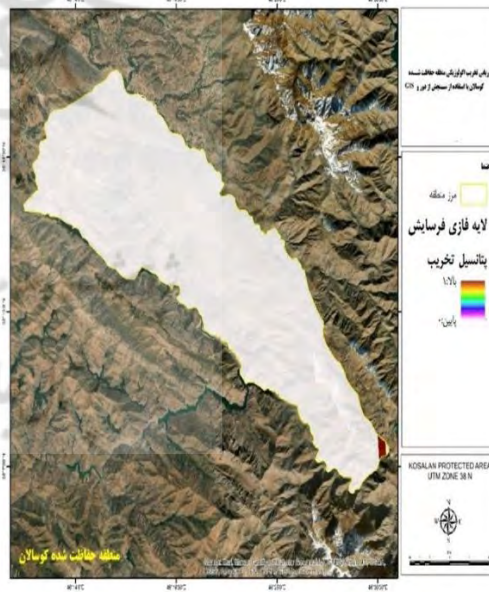
فازی پوشش گیاهی

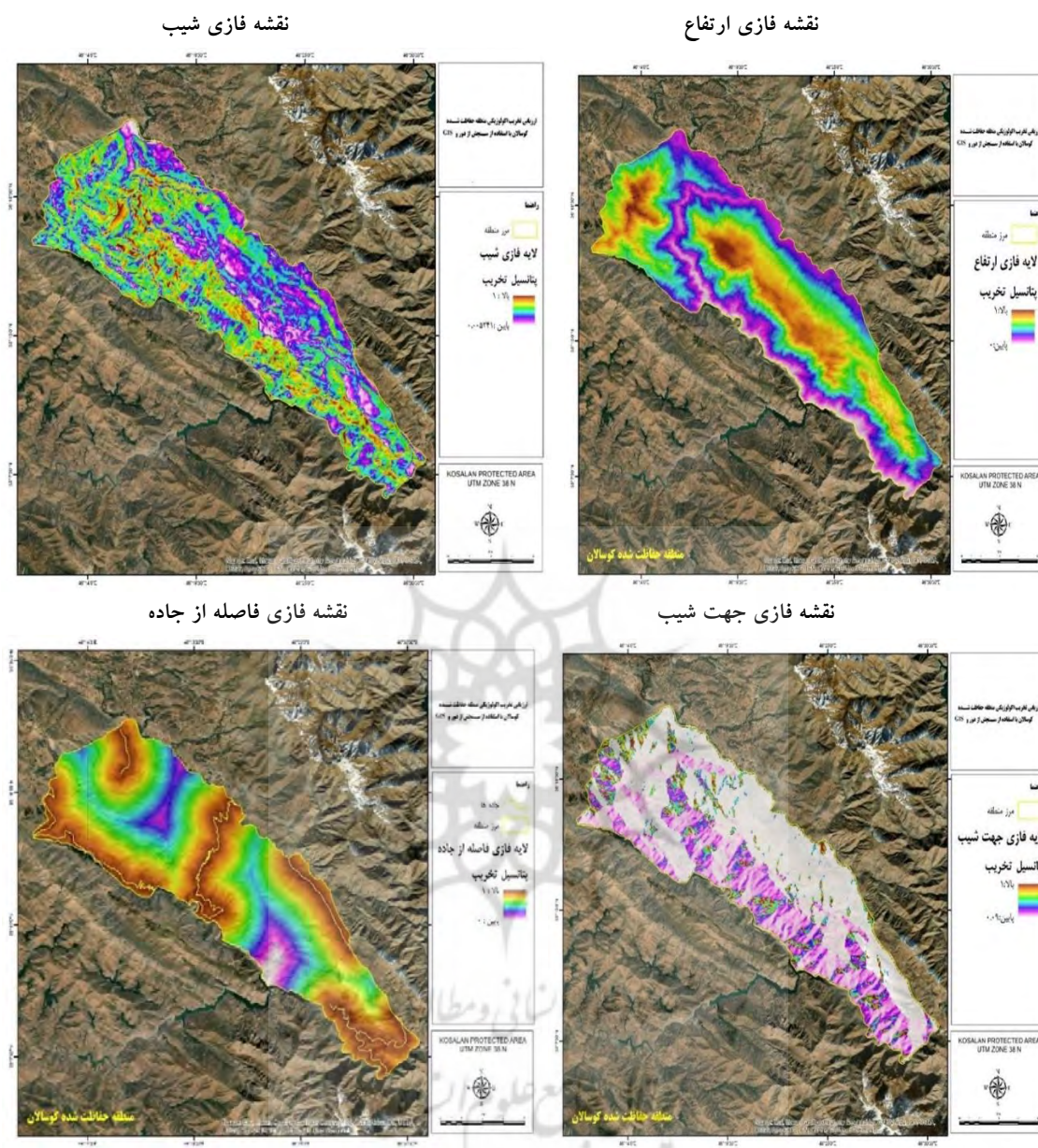


نقشه فازی فاصله از روستا



نقشه فازی فرسایش





شکل ۲- نقشه فازی معیارهای استفاده شده

۲-۲-۳-۲- وزن‌دهی به معیارها با روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP

جهت بیان اهمیت هر معیار نسبت به معیارهای دیگر، باید این معیارها وزن‌دهی شوند. در ادبیات تصمیم چند معیاری، روش‌هایی نظیر رتبه‌بندی، درجه‌بندی، مقایسه دو به دو و تحلیل موازنه- جایگشتی در وزن‌دهی معیار بر پایه قضاوت‌های تصمیم‌گیران ارائه شده است. در صورتی که زمان و هزینه کم و به دست آوردن وزن‌ها به طریق

آسان مهم‌ترین مسئله باشد، یکی از روش‌های رتبه‌بندی یا نسبتی توصیه می‌شود؛ اما هنگامی که دقت، اساس کار مسئله باشد، روش مقایسه دوتایی و یا محیط‌زیست تحلیل توازن مناسب است (مالچفسکی، ۱۳۸۵). در این مطالعه پرسشنامه‌ها بین متخصصان منابع طبیعی و محیط‌زیست پخش شد و نتایج با نرم‌افزار Export choise مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که در جدول شماره ۵ نشان داده شده است و در پایان نرخ ناسازگاری ۰/۰۶ به دست آمد.

جدول ۵- اوزان معیارها

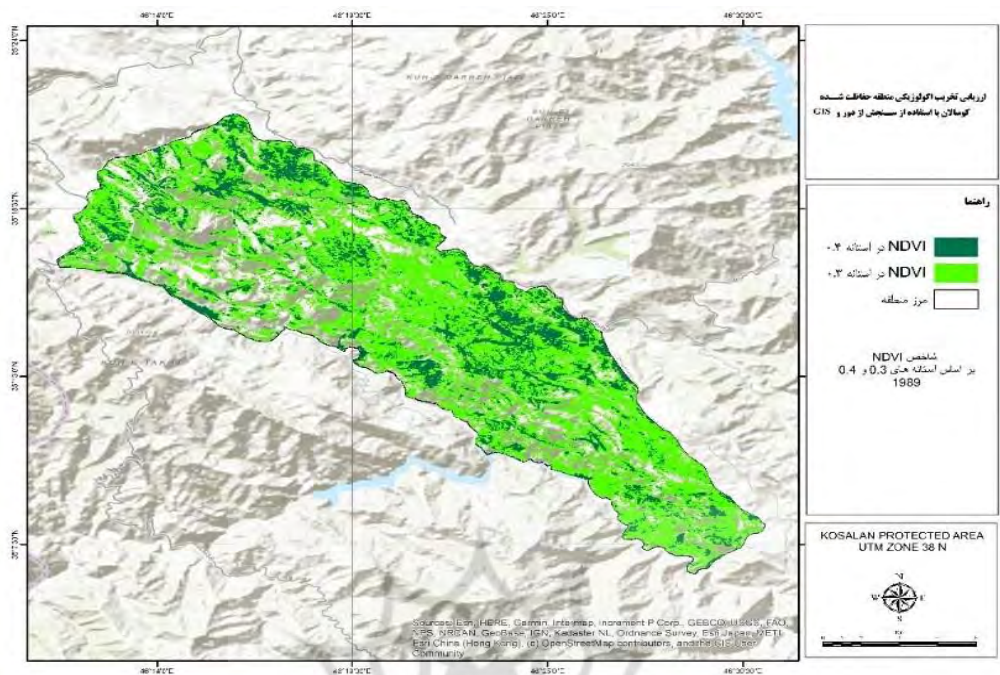
ردیف	نام معیار	وزن بر اساس روش AHP
۱	فاصله از روستا	۰/۱۸۹
۲	پوشش گیاهی	۰/۱۶۷
۳	فاصله از جاده	۰/۱۵۶
۴	نقاط زمین لغزش	۰/۱۰۹
۵	فرسایش	۰/۰۹۹
۶	شیب	۰/۰۹۸
۷	جهت	۰/۰۹۳
۸	ارتفاع	۰/۰۸۹

در مرحله آخر برای تولید نقشه نهایی پتانسیل تخریب لایه‌های تولید شده در نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی روی هم‌گذاری می‌شوند.

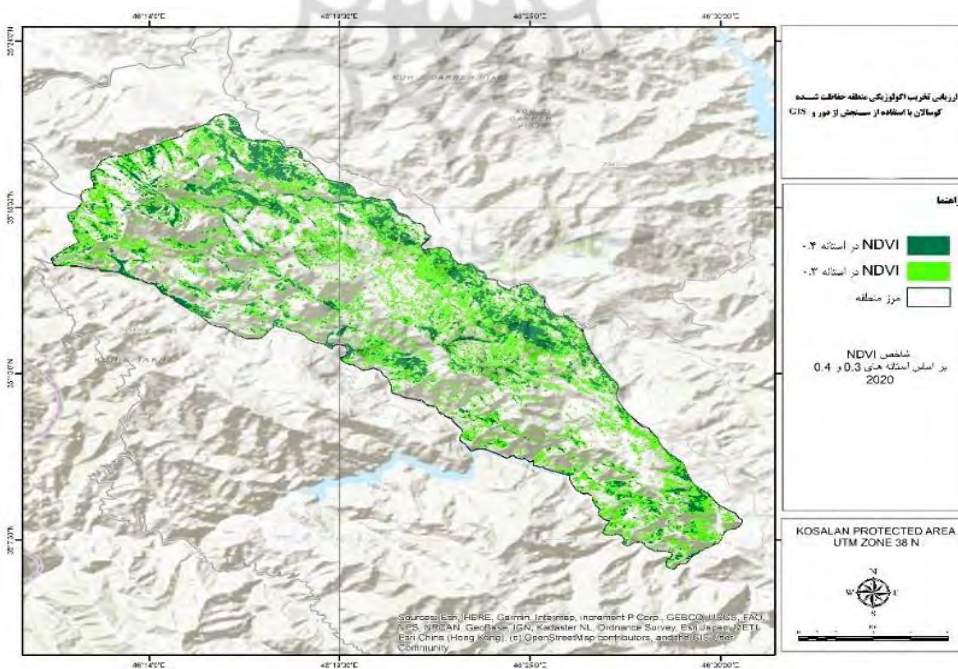
۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج پوشش گیاهی با شاخص NDVI

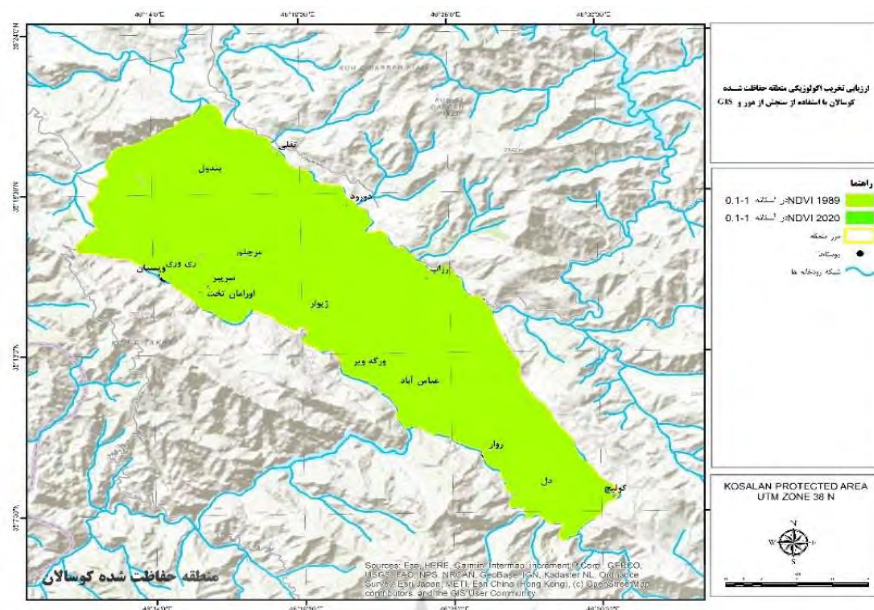
همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، میزان پوشش گیاهی برای دو آستانه ۰/۳-۱ و ۰/۴-۱ در سال ۱۹۸۹ نشان داده شده است. آستانه ۰/۴-۱ پوشش با کیفیت را نشان می‌دهد و آستانه ۰/۳-۱ پوشش با کیفیت کمتر از آستانه ۰/۴-۱ را نشان می‌دهد (براتکومار^۱ و محمد ۲۰۱۵).



شکل ۳- پوشش گیاهی (شاخص NDVI) در سال ۱۹۸۹



شکل ۴- پوشش گیاهی (شاخص NDVI) در سال ۲۰۲۰



شکل ۵- تغییرات پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI در سال ۱۹۸۹ و ۲۰۲۰

در شکل شماره ۳ و ۴، نقشه پوشش گیاهی بر اساس دو آستانه ۰/۳-۱ و ۰/۴-۱ در شاخص NDVI به ترتیب در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۰ نشان داده شده است. در شکل شماره ۵ نتیجه شاخص NDVI در دامنه ۰/۱-۱ در هر دو دوره را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود جز قسمت‌های کوچکی که شامل اراضی بایر و روستاها می‌شود بقیه مناطق دارای پوشش می‌باشند. پوشش هر دو دوره بر هم منطبق شده‌اند و در هر دو دوره در این آستانه کل منطقه بر اساس شاخص NDVI دارای پوشش می‌باشند. نتایج پوشش گیاهی با شاخص NDVI نشان داد که در طول زمان مورد بررسی کیفیت پوشش گیاهی تغییرات زیادی داشته است. با استفاده از این شاخص می‌توان وضعیت اکولوژیکی منطقه را از لحاظ پوشش گیاهی بررسی نمود. در صورت کاهش سطح پوشش گیاهی و جنگلی منطقه می‌توان پی برد که وضعیت اکولوژیکی منطقه نیز در حال افت است. استفاده از شاخص NDVI برای نشان دادن تغییرات اکولوژیکی در محیط‌های مختلف توسط محققین زیادی بررسی شده است (ژانگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۲؛ پراوالی^۲ و همکاران، ۲۰۲۲؛ لی^۳ و همکاران، ۲۰۲۱؛ جیانگ^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج این مرحله از مطالعه حاضر با نتایج گیلسپای^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۸ همخوانی دارد گیلسپای و همکاران در سال ۲۰۱۸ نیز در مطالعه از فن-آوری سنجش از دور برای نشان دادن تغییرات NDVI در منطقه حفاظت شده در جنوب کالیفرنیا استفاده کردند. نتایج

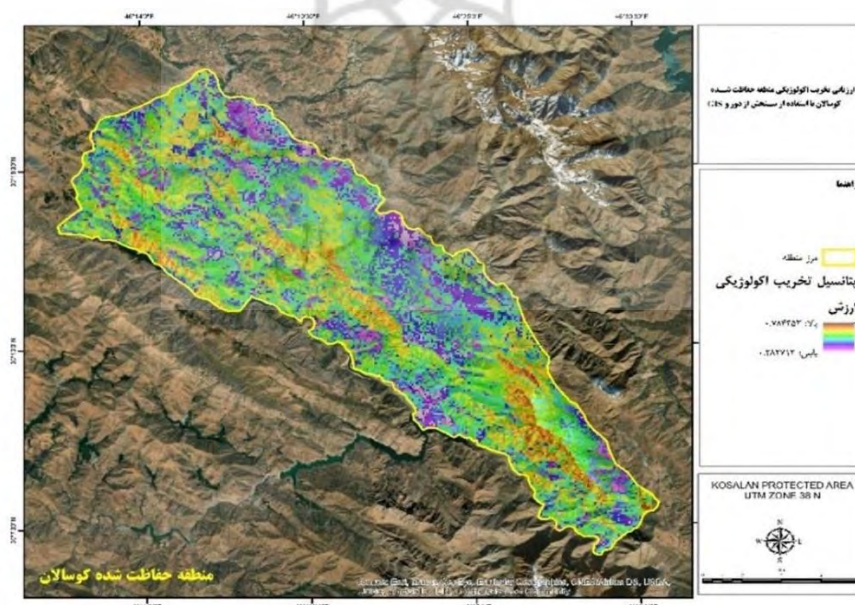
- 1 Zhang
- 2 Pravalie
- 3 Li
- 4 Jiang
- 5 Gillespie

آن‌ها نیز کاهش NDVI را در سطح منطقه نشان داد و همچنین آن‌ها بیان داشتند که فن‌آوری سنجش‌ازدور برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی قابل‌اعتماد است. از آنجایی که محدوده طیفی Landsat 8 OLI باریک‌تر از Landsat 4-5 TM است، NDVI مشتق شده از این ماهواره‌ها مقادیر متفاوتی دارد. باریک بودن محدوده طیفی سنجنده OLI سبب می‌شود که مقدار NDVI را در مقایسه با ماهواره Landsat 4-5 TM بیشتر نشان دهد. با توجه به این امر که یکی از تصاویر مورد استفاده در این مطالعه تصویر Landsat 4-5 TM است (سال ۱۹۸۹) و تصویر دیگر تصویر ماهواره Landsat 8 OLI (سال ۲۰۲۰) است؛ لذا برای حل این مشکل، شاخص‌های این دو سنسور باید کالیبره شوند (Gooshbor et al., 2016)؛ اما با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص NDVI در سال ۲۰۲۰ که از نظر دامنه عددی کمتر از سال ۱۹۸۹ است می‌توان نتیجه گرفت که کاهش کیفیت اکولوژیک منطقه شدید بوده و با توجه به عدم افزایش شاخص NDVI در سال ۲۰۲۰ نیازی به انجام کالیبراسیون نیست.

۳-۲- پهنه‌بندی پتانسیل تخریب اکولوژیک

در این بخش لایه‌های استاندارد شده مرحله قبلی همراه با وزن آن‌ها روی هم گذاری شده و نقشه پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه حاصل شد. این کار با دستور map algebra و با کد زیر اجرا می‌شود.

$$+ ("لایه فازی پوشش گیاهی" * ۰/۱۶۷) + ("لایه فازی ارتفاع" * ۰/۰۸۹) + ("لایه فازی شیب" * ۰/۰۹۸) + ("لایه فازی فاصله از جاده" * ۰/۱۵۶) + ("لایه فازی جهت شیب" * ۰/۰۹۳) + ("لایه فازی فرسایش" * ۰/۰۹۹) + ("لایه فازی نقاط زمین لغزش" * ۰/۱۰۹) + ("لایه فازی فاصله از روستا" * ۰/۱۸۹)$$



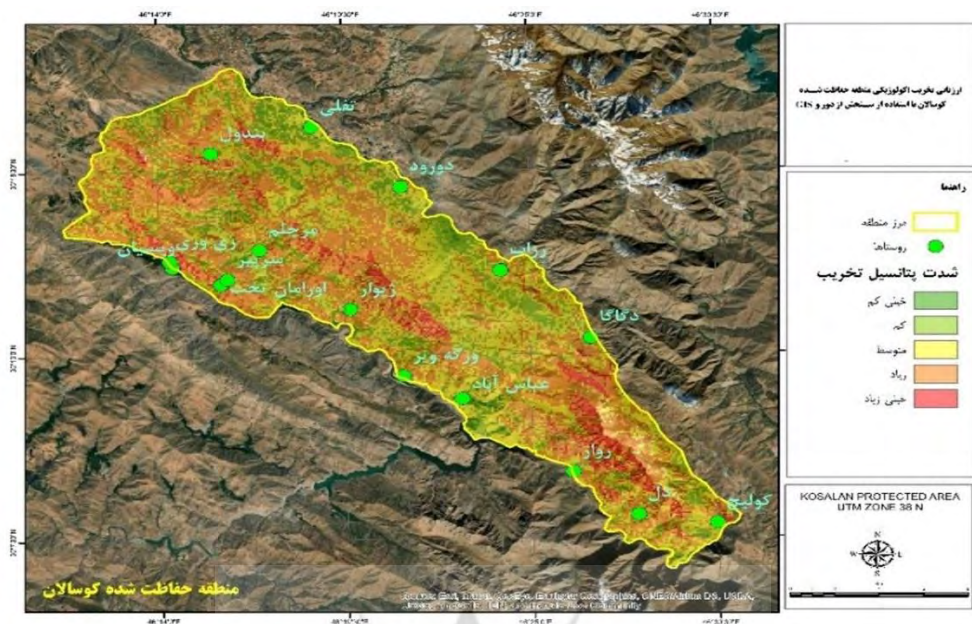
شکل ۶- نقشه پتانسیل تخریب اکولوژیکی

در این مطالعه با توجه به روش استانداردسازی بر اساس ماهیت تحقیق، هر چه ارزش سلول بالاتر باشد، پتانسیل تخریب بالاتر و هر چه ارزش سلول پایین تر باشد پتانسیل تخریب پایین تر است. در شکل شماره ۶ نقشه پتانسیل تخریب منطقه نشان داده شده است. بر اساس عملکرد تابع ارزش بین ۰/۲۸ تا ۰/۷۸ به دست آمده است. مناطق با پتانسیل تخریب کم، سمت ارزش کم بوده و مناطق با پتانسیل تخریب بالا، سمت ارزش زیاد می باشند. همان طور که در جدول ۶ نشان داده شده است، پتانسیل تخریب در منطقه به ۵ طبقه تقسیم شده است:

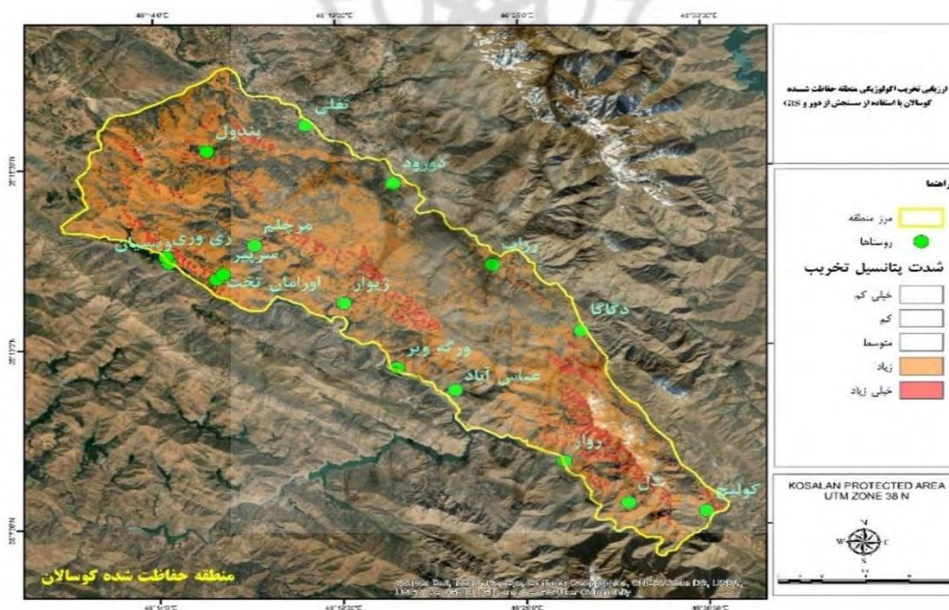
جدول ۶- نقشه پتانسیل تخریب اکولوژیکی

پتانسیل تخریب اکولوژیک	مساحت (هکتار)	درصد
خیلی کم	۱۷۶	۰/۶۶
کم	۳۵۹۵	۱۳/۵۶
متوسط	۹۴۸۱	۳۵/۷۷
زیاد	۱۱۵۷۷	۴۳/۶۸
خیلی زیاد	۱۶۲۰	۶/۱۱

۱۷۶ هکتار دارای پتانسیل تخریب اکولوژیک خیلی کم، ۳۵۹۵ هکتار تخریب کم، ۹۴۸۱ هکتار تخریب متوسط، ۱۱۵۷۷ هکتار تخریب زیاد و ۱۶۲۰ هکتار دارای پتانسیل تخریب خیلی زیاد می باشند. هم چنین میزان پتانسیل تخریب به صورت درصدی، ۰/۶۶ درصد تخریب خیلی کم، ۱۳/۵۶ درصد تخریب کم، ۳۵/۷۷ درصد تخریب متوسط، ۴۳/۶۸ درصد تخریب زیاد و ۱۱/۰۶ درصد تخریب خیلی زیاد هست. در شکل ۷ مناطق با بالاترین پتانسیل تخریب به رنگ قرمز نشان داده شده است. این مناطق بیشتر در سمت شمال غرب منطقه قرار گرفته اند. هم چنین بخشی از این مناطق در جنوب شرق و هم جوار با روستاها و جاده های ارتباطی آنها واقع شده است. مناطق سبز رنگ دارای کمترین و مناطق قرمز رنگ دارای بالاترین پتانسیل تخریب می باشند.



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تخریب اکولوژیکی



شکل ۸- نقشه پهنه‌های با پتانسیل تخریب اکولوژیکی بالا

در شکل ۸ دو طبقه با پتانسیل بالا به‌صورت جدا نشان داده شده‌اند. هدف از این کار معرفی پهنه‌های با پتانسیل تخریب بالا و معرفی آن‌ها برای تحقیقات بیشتر در این پهنه‌ها و ارائه برنامه مدیریتی هست. به‌طورکلی ۵۰ درصد از مساحت منطقه دارای پتانسیل بالای تخریب اکولوژیکی است. محققین زیادی تخریب اکولوژیکی را در محیط‌های

مختلف شامل مناطق بیابانی (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۲۲)، مناطق حفاظت شده (نعمت‌اللهی^۲ و همکاران ۲۰۲۲، لی^۳ و همکاران، ۲۰۲۲)، محیط‌های شهری (فنگ^۴ و همکاران، ۲۰۲۱) و به صورت کلی تر در کشورهای توسعه یافته G-7 (عثمان^۵ و همکاران، ۲۰۲۱) بررسی کرده‌اند. در همه این مطالعات کیفیت اکولوژیک کاهش داشته است و یا در بهترین حالت ممکن در قسمت‌هایی که دور از دسترس فعالیت‌های انسانی بوده ثابت و بدون تغییر بوده است به صورت ویژه مطالعه نعمت‌اللهی و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که فعالیت‌های انسانی مانند خطوط حمل و نقل جاده سبب شده که مناطق مناسب برای زندگی حیات وحش در مناطق حفاظت شده استان چهارمحال بختیاری در ایران دارای ریسک بالا و متوسط باشد که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر در اثرگذاری بالای فاصله از جاده در تخریب اکولوژیک منطقه همخوانی دارد در این راستا امامی و شهریاری (۱۳۹۸) نیز نشان دادند که عامل نزدیکی به جاده بیشترین سهم را در ایجاد وقوع آتش سوزی در منطقه حفاظت شده ارسباران دارد. یکی دیگر از نتایج پژوهش حاضر اثرگذاری نزدیکی به مراکز جمعیتی یا همان روستاهای منطقه در افزایش میزان تخریب اکولوژیکی است که این نتایج با نتایج گرانادوس^۶ و همکاران در سال ۲۰۲۲ و شیر محمدی و همکاران در سال ۱۳۹۵ مطابقت دارد. گرانادوس و همکاران ۲۰۲۲ در مطالعه تغییرات پوشش گیاهان در معرض خطر انقراض را با استفاده از شاخص NDVI در مناطق حفاظت شده جنوب اروپا مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر عدم تغییر پوشش در مناطق بدون دخالت انسان بود. شیرمحمدی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه اثرات توسعه را بر منطقه حفاظت شده کرکس بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های انسانی از مهم‌ترین معضلات منطقه بوده و بیشترین تأثیر را در تخریب این مناطق داشته است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت استفاده از فناوری سنجش از دور در کنار استفاده از مدل‌های Fuzzy و AHP در محیط GIS روش دقیقی برای برآورد پتانسیل تخریب اکولوژیکی در مناطق حفاظت شده است.

۴- جمع‌بندی

این تحقیق با هدف ارزیابی تخریب اکولوژیکی منطقه حفاظت شده کوسالان با استفاده از سنجش از دور و GIS انجام شده است. ابتدا به منظور تغییرات پوشش گیاهی از فن‌آوری سنجش از دور استفاده شد. تصاویر دو دوره زمانی مربوط به سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۲۰ تهیه و با استفاده از نرم‌افزار Envi 5.3 مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس به منظور مدل‌سازی تخریب اکولوژیک از ۸ زیر معیار استفاده شد. با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی شدند و با

1 Liu

2 Nematollahi

3 Li

4 Feng

5 Usman

6 Granados

منطق فازی استاندارد شدند. با روی هم گذاری لایه‌ها نقشه پتانسیل تخریب اکولوژی تهیه و مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بر اساس شاخص NDVI (شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی) که یک شاخص گرافیکی ساده است که در تحلیل‌ها و اندازه‌گیری‌های سنجش از دور و ارزیابی وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی یک منطقه کاربرد دارد، تغییرات پوشش گیاهی در آستانه‌های مختلف بررسی و تحلیل شد. با توجه به وضعیت پوشش گیاهی در منطقه از ۳ آستانه برای این امر استفاده شد. آستانه ۰/۳-۱، ۰/۴-۱ و ۰/۱-۱ استفاده شد. نتایج آستانه ۰/۱ تا ۱ شاخص NDVI نشان داد که منطقه مورد مطالعه در طول ۳۱ سال میزان تخریب و یا تبدیل مراتع به دیم‌زار خیلی کمی داشته است چون تمامی منطقه در هر دو تصویر بازه‌های زمانی ذکر شده دارای پوشش گیاهی در تراکم ۰/۱ تا ۱ بود ولی نتایج آستانه‌های دیگر شامل ۰/۳-۱ و ۰/۴-۱ که آستانه‌های بیان کننده کیفیت پوشش گیاهی بر اساس تراکم پوشش است نشان داد که تراکم پوشش گیاهی در طول ۳۱ سال کاهش داشته است. به نظر می‌رسد کاهش تراکم پوشش گیاهی منطقه به دلیل چرای مفرط و بیش از ظرفیت مراتع باشد که افزایش جمعیت انسانی روستاهای حاشیه منطقه و به طبع آن افزایش نیاز به استفاده از مراتع این مناطق جهت تعلیف دام سبب این امر شده است. البته در کنار چرای مفرط عامل تغییر اقلیم و کاهش بارش برفی منطقه نیز می‌تواند تأثیرگذار باشد که نیاز به بررسی بیشتر در مطالعات آتی دارد. به صورت کلی می‌توان گفت شرایط فیزیوگرافی شامل کوهستانی بودن منطقه همراه با دامنه ارتفاعی و درجه شیب بالا سبب شده که عامل مهمی مانند تغییر کاربری اراضی که سبب از بین رفتن مناطق تحت استفاده حیات وحش است در این منطقه وجود نداشته باشد. از طرف دیگر عوامل انسان‌ساخت دیگری مانند سکونتگاه‌های روستای و احداث جاده در مناطق حاشیه منطقه حفاظت شده سبب افزایش پتانسیل تخریب اکولوژیکی این مناطق شده است. درجه شیب بالا همراه با دامنه ارتفاعی زیاد از مهم‌ترین عوامل افزایش پتانسیل تخریب اکولوژیکی منطقه است که سبب ایجاد اکوسیستم‌های بسیار حساس و شکننده در مقابل فشارهای بیرونی شده است. این امر نشان می‌دهد در کنار این محدودیت‌های طبیعی هرگونه دخالت انسانی حتی به صورت محدود مانند چرای بیش از ظرفیت مرتع و یا ایجاد جاده به منظور توسعه صنعت توریسم می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری در منطقه به بار آورد.

کتابنامه

احسنی، نبی؛ اولادی، جعفر؛ قصریانی، فرهنگ؛ درویش، محمد؛ ۱۳۸۶. معرفی شیوه‌ای برای اعمال مدیریت پایدار بر سرزمین بر مبنای معیارهای IUCN استان کردستان، منطقه کوسالان مریوان. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. شماره ۴. جلد ۵. صص ۵۵۸-۵۳۹.

https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_105766.html

آرخی، صالح؛ محمودیان، عبدالرحمان؛ عمادالدین، سمیه؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی خطر تخریب جنگل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: شهرستان سردشت). جغرافیا و مخاطرات محیطی. (۴) ۱۰. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.70743.1070>

امامی، حسن؛ شهریاری، حسن؛ ۱۳۹۸. کمی‌سازی عوامل محیطی و انسانی در وقوع آتش‌سوزی جنگل با روش‌های RS و GIS، مناطق حفاظت‌شده ارسباران. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر. (۱۱۲) ۲۸. صص ۳۵-۵۳. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.38606>

روشن، سجاد؛ ۱۳۹۷. وسعت و وضعیت مناطق حفاظت‌شده و ارتباط آن‌ها در مقیاس سیمای سرزمین با استفاده از نظریه گراف در جهت افزایش پایداری و ارائه راهکارهای مدیریت محیط‌زیستی (مطالعه موردی زیستگاه مرکزی زاگرس). پایان‌نامه. دانشگاه تهران. <https://env.ut.ac.ir>

سپهر، حسین؛ مخدوم، مجید؛ فریادی، شهرزاد؛ رضانی، مهران، مجید؛ ۱۳۹۴. ارزیابی کیفیت سرزمین در مناطق حفاظت‌شده با استفاده از مدل تخریب (مطالعه موردی: مجموعه حفاظت‌شده توران). پژوهش‌های محیط‌زیست. سال ۶. شماره ۱۱. بهار و تابستان. از صص ۱۱۹-۱۳۰.

<https://www.magiran.com/paper/1454673>

شیرمحمدی، ایمان؛ جهانی، علی؛ اعتماد، وحید؛ زرغام، نصرت‌الله؛ مخدوم فرخنده، مجید؛ ۱۳۹۵. ارزیابی آثار محیط‌زیستی توسعه بر منطقه حفاظت‌شده کرکس با استفاده از مدل تخریب. پژوهش‌های محیط‌زیست. (۱۴) ۷. صص ۹۱-۱۰۲.

<https://doi.org/20.1001.1.20089597.1395.7.14.15.2>

مالچفسکی یاچک؛ ۱۳۸۵. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاره. اکبر پرهیزکار و عطا غفاری گیلانده تهران: سمت. <https://samt.ac.ir/fa/book/837>

مجله دیده‌بان محیط‌زیست و حیات‌وحش ایران؛ ۱۳۹۱. منطقه حفاظت‌شده کوسالان و شاهو. <http://www.iew.ir/1391/06/14/1574>

نظام فر، سرمستی؛ علوی پناه، کاظم؛ ۱۴۰۰. بررسی امکان کالیبراسیون سنجنده‌های LIIII و ASTER با استفاده از نمکزارهای مناطق خشک ایران. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. (۳) ۲۳. ۱۱۷-۱۳۱.

<https://doi.org/10.30495/jest.2021.8037>

Bharathkumar, L., Mohammed-Aslam, M. A., 2015. Crop Pattern Mapping of Tumkur Taluk Using NDVI Technique: A Remote Sensing and GIS Approach. Aquatic Procedia, 4, 1397-1404. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.181>

- Eddy, I. M., Gergel, S. E., Coops, N. C., Henebry, G. M., Levine, J., Zerriffi, H., Shibkov, E., 2017. Integrating remote sensing and local ecological knowledge to monitor rangeland dynamics. *Ecological Indicators*, 82, 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.033>
- Feng, R., Wang, F., Wang, K., 2021. Spatial-temporal patterns and influencing factors of ecological land degradation-restoration in Guangdong-HongKong-Macao Greater Bay Area. *Science of The Total Environment*, 794, 148671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148671>
- Fraser, E. D., Dougill, A. J., Hubacek, K., Quinn, C. H., Sendzimir, J., Termansen, M., 2011. Assessing vulnerability to climate change in dryland livelihood systems: conceptual challenges and interdisciplinary solutions. *Ecology and Society*, 16(3), 12p. <https://www.jstor.org/stable/26268912>
- Gillespie, T.W., Kelm, S.O., Dong, C., Willis, K.S., Okin, G.S., MacDonald, G.M., 2018. Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. *Ecological Indicators*, 88, 485-494. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.031>
- Gooshbor, L., Bavaghar, M. P., Amanollahi, J., Ghobari, H., 2016. Monitoring infestations of oak forests by *Tortrix viridana* (Lepidoptera: Tortricidae) using remote sensing. *Plant Protection Science*, 52(4), 270-276. <http://pps.agriculturejournals.cz/artkey/pps-201604-0008>
- Granados, L., Pizaro, M., Cayuela, L., Domingo, D., Gomez, D., Gracia, M.B., 2022. Long-term monitoring of NDVI changes by remote sensing to assess the vulnerability of threatened plants. *Biological Conservation*, 265, 109428. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109428>
- Hellwig, N., Anschlag, K., Broll, G., 2016. A fuzzy logic based method for modeling the spatial distribution of indicators of decomposition in a high mountain environment. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48(4), 623-635. <https://doi.org/10.1657/AAAR0015-073>
- Jiang, L., Huang, X., Wang, F., Liu, Y., An, P., 2018. Method for evaluating ecological vulnerability under climate change based on remote sensing: A case study. *Ecological Indicators*, 85, 479-486. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.044>
- Jiang, L., Liu, Y., Wu, S., Yang, C., 2021. Analyzing ecological environment change and associated driving factors in China based on NDVI time series data. *Ecological Indicators*, 129, 107933. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107933>
- Jing, Y., Zhang, F., He, Y., Johnson, V. C., Arikena, M., 2020. Assessment of spatial and temporal variation of ecological environment quality in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China. *Ecological Indicators*, 110, 105874. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105874>
- Li, M., Yu, H., Meng, B., Sun, Y., Zhang, J., Zhang, H., Wu, J., Yi, S., 2021. Drought reduces the effectiveness of ecological projects: Perspectives from the inter-annual variability of vegetation index. *Ecological Indicators*, 130, 108154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108158>
- Li, Q., Zhou, Y., Yi, S., 2022. An integrated approach to constructing ecological security patterns and identifying ecological restoration and protection areas: A case study of Jingmen, China. *Ecological Indicators*, 137, 108723. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108723>
- Liu, S., Zhang, J., Zhang, J., Guo, Y., 2022. Simultaneously tackling ecological degradation and poverty challenges: Evidence from desertified areas in northern China. *Science of The Total Environment*, 815, 152927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152927>
- Mahmood, K., Batool, A., Faizi, F., Chaudhry, M. N., Ul-Haq, Z., Rana, A. D., Tariq, S., 2017. Bio-thermal effects of open dumps on surroundings detected by remote sensing—Influence of geographical conditions. *Ecological Indicators*, 82, 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.042>

- Malano, H.M., Gao, G., 1992. Ranking and Classification of irrigation system performance using fuzzy set theory: case studies in Australia and China. *Irrigation and Drainage Systems*, 6, 129-148. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01102973>
- Manzo, C., Mei, A., Zampetti, E., Bassani, C., Paciucci, L., Manetti, P., 2017. Top-down approach from satellite to terrestrial rover application for environmental monitoring of landfills. *Science of The Total Environment*, 584, 1333-1348. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.033>
- Nematollahi, S., Fakheran, S., Jafari, A., Pourmanafi, S., Kienast, F., 2022. Applying a systematic conservation planning tool and ecological risk index for spatial prioritization and optimization of protected area networks in Iran. *Journal for Nature Conservation*. 66, 126144. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126144>
- Pravaliu, R., Sirodoev, I., Nita, I., Patriche, C., Dumitrascu, M., Rosca, B., Tiscovsci, A., Bandoc, G., Savulescu, L., Manoiu, V., Birsan, M., 2022. NDVI-based ecological dynamics of forest vegetation and its relationship to climate change in Romania during 1987-2018. *Ecological Indicators*, 136, 108629. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108629>
- Shen, Ge., 2019. Remote sensing and evaluation of the wetland ecological degradation process of the Zoige Plateau Wetland in China, *Ecological Indicators*, 104, 48-59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.063>
- Slonecker, T., Fisher, G. B., Aiello, D. P., Haack, B., 2010. Visible and infrared remote imaging of hazardous waste: a review. *Remote Sensing*, 2(11), 2474-2508. <https://doi.org/10.3390/rs2112474>
- Tan, J., Li, A., Lei, G., Bian, J., Zhang, Z., 2019. A novel and direct ecological risk assessment index for environmental degradation based on response curve approach and remotely sensed data. *Ecological indicators*, 98, 783-793. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.038>
- Usman, O., Loremer, T., Jelilov, G., Isik, A., Ike, G.N., Sarkodie, S.A., 2021. Towards mitigating ecological degradation in G-7 countries: accounting for economic effect dynamics, renewable energy consumption, and innovation. *Heliyon*, 7(12), e08592. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08592>
- Walz, U., 2011. Landscape structure, landscape metrics and biodiversity. *Living reviews in landscape research*, 5(3), 1-35. <https://doi.org/10.12942/lrlr-2011-3>
- Xu, H., Wang, M., Shi, T., Guan, H., Fang, C., Lin, Z., 2018. Prediction of ecological effects of potential population and impervious surface increases using a remote sensing based ecological index (RSEI). *Ecological indicators*, 93, 730-740. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.055>
- Zhang, X., Liu, K., Li, X., Wang, S., Wang, J., 2022. Vulnerability assessment and its driving forces in terms of NDVI and GPP over the Loess Plateau, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 125, 103106. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103106>