

Vulnerability Assessment of Land Degradation Using Network Analysis Process and Geographic Information System (Case Study: Maharloo-Bakhtegan Watershed)

EHSAN MORADI¹, HASSAN KHOSRAVI^{1*}, GHOLAMREZA ZEHTABIAN¹, SHAHRAM KHALIGHI-SIGAROODI¹, ARTEMI CERDA²

1. Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Soil Erosion and Degradation Research Group, Department of Geography, University of Valencia, Valencia, Spain.

(Received: Dec. 7, 2009- Revised: Jan. 23, 2020- Accepted: Jan. 27, 2020)

ABSTRACT

Identification of areas vulnerable to land degradation is essential for sustainable management of natural resources as one of the steps in the conservation framework. Identification of areas susceptible to degradation as well as determination of vulnerability to this phenomenon is one of the most important issues to an assessment of land degradation. This study tries to assess the land degradation vulnerability in Maharloo-Bakhtegan watershed using nine criteria including land use, vegetation, soil salinity, quantity and quality of groundwater, livestock density, literacy level, and population. In the first step, the relationships between the criteria were determined using the eDPSIR framework, then the weight of each criterion was determined using the ANP method. Fuzzing the layers, the map of land degradation vulnerability was provided by combining the layers using ArcGIS10.3 software. The results showed that the high class of vulnerability covers the highest area in all elevations class except for the first 200 m. the most vulnerable class was in the high class covering about 64.31% of the area. The high and medium classes of vulnerability include rangeland and agricultural land uses, respectively, indicating a high level of vulnerability and impact of human activities. This percentage of vulnerability in rangeland and agricultural land uses is due to the importance of land use and vegetation criteria having the highest weight among the criteria affecting the vulnerability to land degradation.

Keywords: Environmental vulnerability, eDPSIR Framework, Identifying Vulnerable Areas, Multi-Criteria Decision Making Model.

ارزیابی آسیب پذیری تخریب سرزمین با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز مهارلو-بختگان)

احسان مرادی^۱، حسن خسروی^{۱*}، غلامرضا زهتابیان^۱، شهرام خلیقی سیگارودی^۱، آرتمی سردا^۲

۱. گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. گروه تحقیقات فرسایش و تخریب خاک، گروه جغرافیا، دانشگاه والنسیا، والنسیا، اسپانیا.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۷)

چکیده

شناسایی مناطق آسیب پذیر به تخریب سرزمین لازمه مدیریت پایدار منابع طبیعی است که یکی از گام‌های موجود در چارچوب حفاظتی محسوب می‌شود. در پدیده تخریب سرزمین موضوعی که بسیار اهمیت دارد، شناسایی مناطق حساس به تخریب و همچنین ارزیابی میزان آسیب پذیری به این پدیده است. هدف از این مطالعه ارزیابی آسیب پذیری تخریب سرزمین در حوضه آبخیز مهارلو-بختگان با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره است. بدین منظور از نه پارامتر کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شوری خاک، کمیت و کیفیت آب زیرزمینی، تراکم دام، سطح سواد و تمرکز جمعیتی برای تهیه نقشه آسیب پذیری استفاده شد. در مرحله اول با استفاده از چارچوب eDPSIR، روابط بین پارامترها مشخص شد. سپس با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، وزن هر یک از پارامترها تعیین شد. سپس بعد از فازی سازی لایه‌ها، با ترکیب آن‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه آسیب پذیری تخریب سرزمین تولید شد. نتایج نشان داد که کلاس آسیب پذیری شدید در تمام طبقات ارتفاعی به جز ۲۰۰ متر اولیه، بیشترین مساحت را شامل می‌شود. در کل منطقه، بیشترین طبقه آسیب پذیری در کلاس شدید بوده که حدود ۶۴/۳۱ درصد از مساحت منطقه را در بر می‌گیرد. در بررسی آسیب پذیری کاربری‌های مختلف مشخص شد که کلاس آسیب پذیری شدید بیشتر شامل کاربری مرتع و کلاس آسیب پذیری متوسط بیشتر شامل کاربری کشاورزی آبی است که نشان دهنده مقدار آسیب پذیری زیاد این کاربری‌ها و اثر فعالیت‌های انسانی بر تخریب را نشان می‌دهد. این درصد از آسیب پذیری اراضی مرتعی و کشاورزی به دلیل اهمیت پارامترهای کاربری اراضی و پوشش گیاهی است که بیشترین وزن را در بین سایر پارامترها در آسیب پذیری به تخریب سرزمین دریافت کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: آسیب پذیری محیطی، چارچوب eDPSIR، شناسایی مناطق آسیب پذیر، مدل تصمیم گیری چندمعیاره.

مقدمه

تخریب سرزمین، کاهش قابلیت منابع طبیعی در نتیجه فرآیند یا ترکیبی از فرآیندهایی مانند فرسایش تشدیدشونده خاک توسط آب یا باد، رسوب گذاری، کاهش میزان و تنوع پوشش گیاهی طبیعی، کاهش مواد مغذی خاک، افزایش خشکی و شوری و سدیمی شدن خاک است (UNEP, 1992). فائو این فرآیند را نتیجه سه عامل اصلی تخریب خاک، تخریب پوشش گیاهی و تخریب منابع آب می‌داند (Nachtergaele, 2002). ظهور پدیده تخریب سرزمین باعث افزایش مشکلاتی مانند فرسایش خاک و کاهش کیفیت آن، کاهش منابع زمین، تأثیر جدی بر امنیت غذایی، کاهش تنوع زیستی، تخریب منابع آب، وقوع طوفان‌های گردوغبار و غیره شده است (Wang et al., 1999; Wang, 2001).

این مشکل شده‌اند، گرمایش جهانی و خشک‌سالی‌های طولانی مدت همراه با افزایش شدید بهره‌برداری‌های انسان از منابع پایه محیطی هستند که باعث تخریب شدید محیط زیست شده است (Dai et al., 2016; Wu et al., 2013, 2015). در پدیده تخریب سرزمین موضوعی که بسیار اهمیت دارد، شناسایی مناطق حساس به تخریب و همچنین ارزیابی میزان آسیب پذیری این پدیده است. شناسایی مناطق آسیب پذیر مخصوصاً در مناطقی که دارای زیست‌بوم شکننده هستند، نقش مهمی در مدیریت آن‌ها ایفا می‌کند (Zou and Yoshino, 2017).

ارائه نقشه تخریب در یک منطقه با توجه به حساسیت منطقه به عوامل تأثیرگذار در تخریب سرزمین می‌تواند به تقویت

استفاده از فرآیند سلسله مراتبی-تحلیل فازی به ارزیابی آسیب‌پذیری محیط‌زیست پرداخته و با ترکیب مجموعه تئوری و سیستم تصمیم‌گیری فازی در سامانه اطلاعات جغرافیایی، شرایط منطقه مورد مطالعه را از نظر آسیب‌پذیری مورد بررسی قرار دادند. در بیشتر مطالعات ارزیابی آسیب‌پذیری از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. در رویکرد تحلیل سلسله مراتبی به منظور اولویت‌بندی و وزن‌دهی پارامترها در هر سطح از سلسله مراتب با استفاده از محاسبه ویژه مقدماتی، مقایسه‌ای بین دو عامل یا معیار انجام می‌دهد. این روش، یک تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاری است که می‌تواند با تجزیه یک مشکل پیچیده در یک ساختار سلسله مراتبی چند سطحی از اهداف، معیارها و گزینه‌های مختلف، در بیان تصمیم‌گیری کلی مفید باشد (Sharma et al., 2008). به بیان دیگر، روش تحلیل سلسله مراتبی برای به‌دست آوردن اهمیت نسبی متغیر در هر سطح از سلسله مراتب و مقایسه نتایج جایگزین در پایین‌ترین سطح سلسله مراتب، مقایسه‌های جفتی انجام می‌دهد اما بسیاری از مشکلات تصمیم‌گیری نمی‌توانند به صورت سلسله مراتبی ساختار یافته باشند، زیرا ممکن است عناصر سطح بالاتر در یک سلسله مراتب بر عناصر سطح پایین‌تر تعامل و وابستگی ایجاد کنند (Saaty and Özdemir, 2005). جهت حل این مسئله، از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای استفاده می‌شود. این روش با در نظر گرفتن روابط بین معیارها و امتیازدهی به آن‌ها با دقت بیشتری به وزن‌دهی معیارهای مورد استفاده می‌پردازد. این تکنیک یک فرم کلی است که اجازه می‌دهد وابستگی‌های متقابل، وابستگی‌های بیرونی و بازخوردها در بین عناصر تصمیم‌گیری در ساختارهای سلسله مراتبی یا غیر سلسله مراتبی در نظر گرفته شود (Görener, 2012).

به دلیل قرارگیری حوضه آبخیز مهارلو-بختگان در اقلیم نیمه‌خشک، این منطقه دارای اکوسیستم شکننده نسبت به تخریب سرزمین است (Abou Zaki et al., 2019). با توجه به اهمیت این مسئله، این مطالعه به پهنه‌بندی نقشه آسیب‌پذیری حوضه آبخیز مهارلو-بختگان می‌پردازد. ابتدا از پارامترهای در دسترس آسیب‌پذیر به تخریب سرزمین استفاده شده تا با به‌کارگیری فرآیند تحلیل شبکه‌ای، میزان اهمیت هرکدام از پارامترها شناسایی شود. سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه آسیب‌پذیری به تخریب سرزمین تهیه شود. نهایتاً از این نقشه به منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری منطقه مطالعاتی حوضه آبخیز مهارلو-بختگان استفاده خواهد شد.

شیوه‌های مدیریت، به‌خصوص در دوره‌های خشک کمک کند (Sica et al., 2016). ارزیابی آسیب‌پذیری محیطی، پایه‌ای محکم برای اقدامات مدیریت محیط زیستی است زیرا این اقدام، یک استاندارد عینی برای اولویت‌های اجرایی را فراهم می‌کند. اگرچه روش‌های متعددی توسط سازمان‌های بین‌المللی برای ارزیابی و مقایسه آسیب‌پذیری‌های محیط‌زیست مورد استفاده قرار گرفته است اما برای ارزیابی آسیب‌پذیری در مقیاس محلی، روش‌های نسبتاً کمی نیز ارائه شده است که البته کاربرد زیادی دارند (Yoo et al., 2014).

شناسایی عوامل و نشانگرهایی که تغییرات محیطی را به‌خوبی نشان دهند، یکی از مهم‌ترین گام‌های ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه به تخریب است. به‌طور مثال، شرایط طبیعی مانند وضعیت توپوگرافی، خاک، آب و هوا و زمین‌شناسی به‌طور قابل‌توجهی آسیب‌پذیری مناظر کشاورزی را نسبت به انواع مختلف تخریب محیط‌زیست مانند فرسایش خاک و آلودگی آب نشان می‌دهند (Nowak and Schneider, 2017). ارزیابی آسیب‌پذیری‌های آب و هوایی که از مجموعه داده‌های مختلف بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی استفاده می‌کنند، در تعیین مناطق آسیب‌پذیر بسیار مهم هستند و می‌توانند برای درک رفتار عوامل مختلف در شکل‌دادن آسیب‌پذیری و در نهایت انعطاف‌پذیری اجتماعی و محیط‌زیستی جامعه استفاده شوند (Mainali and Pricope, 2017).

در رابطه با ارزیابی آسیب‌پذیری، مطالعات متعددی انجام گرفته که هر کدام با روش‌های خاصی به ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق مختلف محیط‌زیستی به تخریب سرزمین پرداخته‌اند. در این میان برخی مطالعات برای مطالعه و ارزیابی آسیب‌پذیری محیط‌زیست به تخریب سرزمین از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده و با امتیازدهی پارامترهای تحت تأثیر تخریب و ادغام آن‌ها، نقشه آسیب‌پذیری را تهیه کرده‌اند (Sahoo et al., 2014; Faryadi et al., 2016).

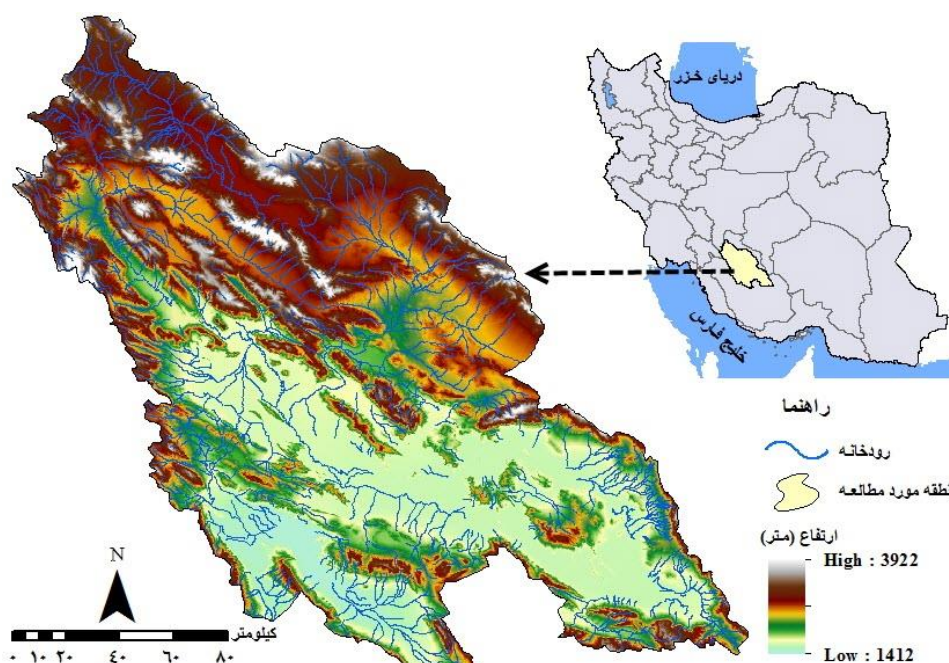
(Sharifzadegan and Fatahi, 2001) با استفاده از تکنیک دلفی، مدل ارزیابی سلسله مراتبی و شاخص‌های محیط زیستی، طبقه‌بندی شاخص‌های آسیب‌پذیری حوضه‌های محیط‌زیستی البرز را انجام داده و به مطالعه اولویت‌ها و حساسیت‌های آن‌ها پرداختند. (Jahani et al., 2015) با استفاده از مدل مفهومی نیرومحركه، فشار، وضعیت، اثر و پاسخ، تهدیدها و ارزش‌های مربوط به آسیب‌پذیری تالاب چغاخور در بخش‌های اکولوژیکی، هیدرولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی را مطالعه و بررسی کردند. در مطالعاتی دیگر که در چین توسط (Liu et al., Li et al., 2011) و در ویتنام توسط (Nguyen et al., 2016) انجام شد، با

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوضه مهارلو-بختگان با مساحتی در حدود ۳۱۵۶۱/۵۱ کیلومتر مربع است که تقریباً به طور کامل در استان فارس، بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹° ۰۱' تا ۳۱° ۱۵' شمالی و طول‌های ۵۱° ۴۱' تا ۵۴° ۳۰' شرقی قرار دارد (شکل ۱). بخش ناچیزی از حوضه، در محدوده استان‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد قرار دارد. طبق تقسیمات وزارت نیرو، این حوضه جزء حوضه‌های درجه دو و جزء حوضه فلات مرکزی است که به دلیل

شیب نسبی حوضه (شمال غرب به جنوب شرق)، دو چاله بختگان-طشک و چاله مهالو محل تخلیه رودها و مسیل‌های این حوضه هستند. بارندگی این حوضه تحت تأثیر رژیم مدیترانه‌ای و در ارتفاعات مختلف متفاوت است؛ به طوری که در مناطق کم ارتفاع جنوب شرقی به ۲۰۰ میلی‌متر و در ارتفاعات شمال غربی به ۷۰۰ میلی‌متر می‌رسد. این منطقه به طور متوسط دارای تراکم جمعیتی حدود ۰/۹۲ نفر در هر کیلومتر مربع است. همچنین مساحت ۷۱۰۸/۲۲ کیلومتر مربع از این حوضه تحت استفاده کشاورزی دیم و آبی قرار دارد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز مهارلو-بختگان

۳۰ ساله از پایگاه دفتر مطالعات پایه منابع آب اخذ شد و پس از بررسی نواقص آماری و بازسازی، مورد استفاده قرار گرفت. بدین صورت که ابتدا ارزیابی صحت و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام پذیرفت. سپس از نمودار جعبه‌ای برای تشخیص داده پرت استفاده شده و نهایتاً جهت بازسازی داده‌ها از روش همبستگی بین داده‌ها و رابطه رگرسیونی استفاده شد. برای دریافت داده‌های جمعیت انسانی، مهاجرت، سطح سواد و دام نیز از سایت مرکز آمار ایران برای سال ۱۳۹۷ استفاده شد (Statistical center of Iran, 2018).

پردازش داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه هر یک از پارامترها، پردازش این داده‌ها جهت تهیه لایه‌های رستری انجام گرفت. قبل از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، شاخص‌های نرمال شده تفاوت پوشش

جمع‌آوری و پردازش داده‌ها

در این پژوهش، نه پارامتر آسیب‌پذیر به تخریب سرزمین که شامل: پوشش گیاهی، شوری خاک، کاربری اراضی، کمیت و کیفیت آب زیرزمینی، تراکم دام، تراکم جمعیت انسانی، مهاجرت و سطح سواد، برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری مورد استفاده گرفتند. با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (سنجنده TIRS و OLI) برای سال ۱۳۹۷، کاربری اراضی استخراج شد که شامل اراضی مرتعی، پهنه‌های آبی، اراضی شور، اراضی کشاورزی آبی، اراضی کشاورزی دیم و اراضی مسکونی می‌باشد. از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده تفاوت شوری به ترتیب برای توصیف پوشش گیاهی و شوری خاک استفاده شد که مانند کاربری اراضی از تصاویر لندست استخراج شد (Aceves et al., 2019). داده‌های کیفیت و کمیت آب زیرزمینی برای یک دوره

10.3 و تابع عضویت خطی (Fuzzy Linear) انجام شد. عمل تبدیل خطی فازی در یک تابع خطی، بین حداقل و حداکثر مقادیر مشخص شده توسط کاربر انجام می‌شود. به نحوی که به هر عدد کمتر از مقدار حداقل، عدد صفر و هر عدد بالاتر از مقدار حداکثر، عدد یک اختصاص می‌یابد. مقادیر بین حداقل و حداکثر نیز با شیب یکنواخت، مقادیر عضویت بین صفر و یک را به صورت کاهشی و از یک به سمت صفر کسب می‌کنند. پس از فازی‌سازی لایه‌های هر پارامتر، نقشه آسیب‌پذیری منطقه به تخریب سرزمین برای سال ۱۳۹۷ به کمک فرآیند تحلیل شبکه^۳ و سامانه اطلاعات جغرافیایی طبق رابطه زیر انجام شد (Liou et al., 2017. Rahimi et al., 2015):

$$EVA = \sum_{i=1}^4 B_i * W_i \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن، EVA (Assessing Eco-environmental Vulnerability) آسیب‌پذیری محیطی به تخریب سرزمین، B_i معیار مورد استفاده و W_i وزن به‌دست‌آمده از روش فرآیند تحلیل شبکه برای هر یک از معیارها است.

چارچوب تعیین روابط بین معیارها

برای استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه باید ابتدا روابط بین پارامترها تعیین شود. برای این هدف از چارچوب eDPSIR^۴ استفاده شد. چارچوب eDPSIR، یک چارچوب ارتقاء یافته از DPSIR (نیروی محرکه، فشار، حالت، تأثیر و پاسخ) است. DPSIR یک الگوی تحلیل روابط علت-معلولی است که آژانس محیط‌زیست اروپا^۵ در گزارش‌های خود از آن استفاده می‌کند و از توسعه مدل PSR (فشار، حالت و پاسخ) توسط سازمان همکاری اقتصادی و کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل متحد تهیه شده است (Campus, 2019). در چارچوب eDPSIR، عوامل و متغیرها در طبقات مشخصی بر اساس جایگاه هر متغیر در ایجاد مسئله طبقه‌بندی می‌شوند. بین متغیرها، زنجیره‌ای از روابط علی وجود دارد که از نیروهای محرک (بخش‌های اقتصادی و فعالیت‌های انسانی) نشأت گرفته و با اعمال فشار (انتشار آلاینده‌ها، مصرف منابع و کاربری اراضی) بر وضعیت منابع محیطی (کمی و کیفی، شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی) و تأثیر بر محیط‌زیست و سلامت انسان، در انتها منجر به شکل‌گیری پاسخ‌های سیاستی (اولویت‌بندی، تنظیم اهداف و غیره) می‌شود. شکل (۲) روابط بین متغیرهای مورد استفاده در تهیه نقشه آسیب‌پذیری به تخریب

گیاهی و شوری، ابتدا شش تصویر ماهواره‌ای اخذ شده در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 موزاییک شد و سپس تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری بروی آن‌ها انجام پذیرفت. جهت تهیه نقشه طبقه‌بندی شده کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. برای تهیه شاخص شوری و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی از روابط (۱) و (۲) استفاده شد:

$$NDSI = (B4 - B5)/(B4 + B5) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$NDVI = (B5 - B4)/(B5 + B4) \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در این روابط؛ NDVI^۱، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، NDSI^۲، شاخص نرمال شده تفاوت شوری و B4 و B5 به ترتیب باند طیفی قرمز و باند مادون قرمز نزدیک هستند (Nouri et al., 2018).

نقشه‌های کیفیت و کمیت آب زیرزمینی برای سال ۱۳۹۷ پس از بررسی نواقص آماری و بازسازی داده با استفاده از نرم‌افزار SPSS، با روش درون‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه شد. برای تهیه نقشه کیفیت آب زیرزمینی از پارامتر هدایت الکتریکی استفاده شد. به دلیل در دسترس نبودن داده‌ها، تنها داده‌های مهاجرت به داخل هر شهرستان و تعداد کل جمعیت تحصیل کرده در هر شهرستان و نهایتاً جمعیت کل انسانی و دامی در هر شهرستان در نظر گرفته شد و برای تهیه نقشه میزان تمرکز آن‌ها در واحد سطح، بر مساحت هر شهرستان تقسیم شد. نهایتاً هر یک از این پارامترها به‌صورت لایه‌های رستری با پیکسل سایز ۳۰ متر تهیه شد تا بعد از فرآیند وزن‌دهی برای تولید نقشه آسیب‌پذیری تخریب سرزمین مورد استفاده قرار گیرند.

لایه‌های مورد استفاده برای هر یک از معیارها قبل از انجام عملیات ادغام نقشه‌ها، استاندارد شدند. بدین صورت که از روش فازی و تعیین توابع عضویت جهت بی‌بعد کردن لایه‌ها در محیط نرم‌افزاری سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. فازی‌سازی لایه‌ها برای اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده از روش فرآیند تحلیل شبکه ضروری است. به‌منظور فازی‌سازی با توجه به ماهیت آسیب‌پذیری هر پارامتر در برابر تخریب سرزمین، از الگوریتم خاصی به عنوان تابع عضویت جهت فازی‌سازی استفاده شد. به‌طور کلی نوع تابع عضویت برای یک پارامتر، میزان کاهش سرعت عضویت مقادیر آن پارامتر را از یک به صفر تعیین می‌کند. فازی‌سازی لایه‌های مربوط به پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه با استفاده از دستور fuzzy membership در نرم‌افزار ArcGIS

4- Enhanced Driving forces, Pressures, States, Impacts and Responses
5- European Environmental Agency, EEA

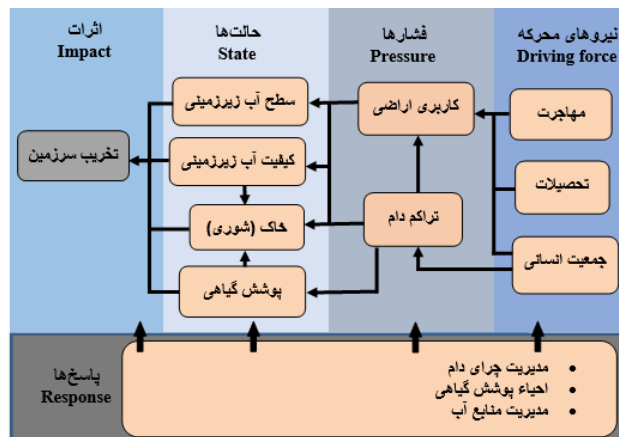
1- Normalized Difference Vegetation Index
2- Normalized Difference Salinity Index
3- Analytic Network Process, ANP
1- Analytic Network Process: ANP

سرزمین در قالب چارچوب DPSIR را نشان می‌دهد.

وزن‌دهی پارامترها

پس از تهیه و آماده‌سازی اطلاعات مربوط به پارامترهای مورد استفاده در تهیه نقشه آسیب‌پذیری منطقه به تخریب سرزمین، ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از یک مدل روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ جهت ارزش‌دهی به پارامترها انجام شد. در این تحقیق با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه، معیارها به روش مقایسه زوجی توسط کارشناسان وزن‌دهی و اولویت‌دهی شدند. فرآیند تحلیل شبکه نوعی از حالت گسترده‌تر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۲ است که به‌طور همزمان توانایی به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی را دارد و از سادگی و انعطاف‌پذیری مدل تحلیل سلسله مراتبی برخوردار است. تفاوت ویژه فرآیند تحلیل شبکه با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی توانایی در نظرگرفتن روابط بین متغیرها و عناصر تصمیم است که به جای یک ساختار سلسله مراتبی، ساختار شبکه‌ای را در نظر

می‌گیرد (García-Melón et al., 2008. Rahimi et al., 2015). بررسی روابط بین معیارها و زیرمعیارها از مشخصه اصلی تفاوت روش فرآیند تحلیل شبکه نسبت به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است که برای انجام آن باید این روابط مشخص‌شده تا وزن هر یک از معیارها برحسب تأثیرپذیری و اثرگذاری در نرم‌افزار SuperDecisions 2.4 مشخص شود. در این مطالعه بعد از تعیین روابط بین معیارها و طراحی پرسشنامه، نظر افراد متخصص و آشنا به منطقه جمع‌آوری شد تا با واردکردن داده‌ها در نرم‌افزار مربوطه وزن هر پارامتر مشخص شود. برای سنجش واقعی بودن پاسخ‌ها به پرسشنامه‌های فرآیند تحلیل شبکه، از شاخص نرخ ناسازگاری استفاده شد. این شاخص که بیانگر خطا در تصمیم‌گیری می‌باشد، به عنوان شاخصی است که نشان‌دهنده تناقضات و ناسازگاری‌های احتمالی در ماتریس مقایسات زوجی است. این شاخص با افزایش تعداد گزینه‌های مورد سنجش بیشتر می‌شود. نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ مورد قبول می‌باشد (Saaty and Vargas, 1984).



شکل ۲- چارچوب DPSIR به‌کار رفته در مطالعه جهت تعیین روابط و طبقه‌بندی معیارهای دخیل در آسیب‌پذیری به تخریب سرزمین

نتایج و بحث

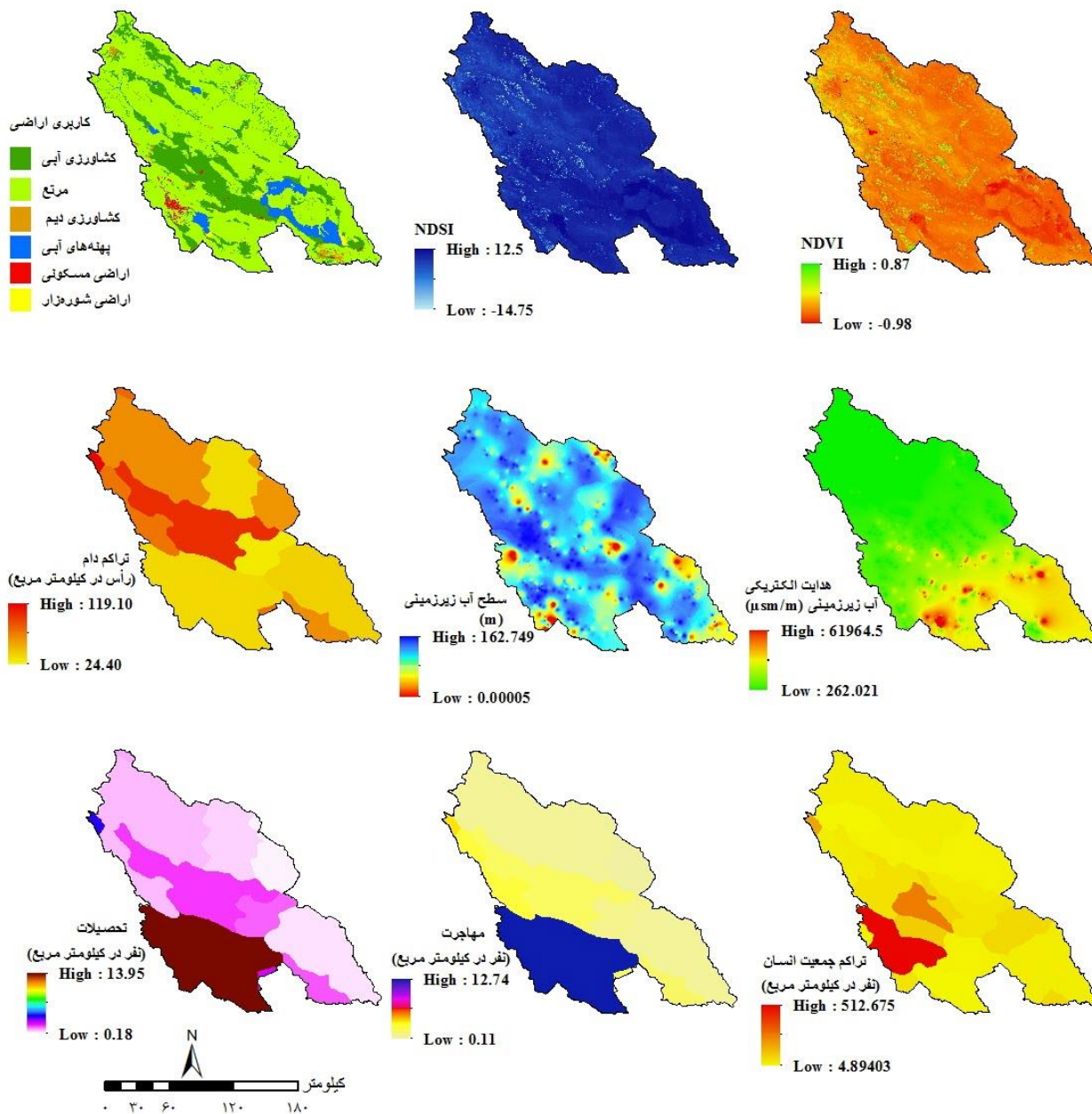
نتایج تعیین اهمیت پارامترها با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه شکل (۳) نقشه معیارهای مورد استفاده در تهیه نقشه آسیب‌پذیری به تخریب سرزمین را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به شکل، بیشترین مساحت کاربری اراضی متعلق به اراضی مرتعی و سپس اراضی کشاورزی آبی می‌باشد. کمترین میزان شاخص‌های NDVI و NDSI و همچنین بیشترین میزان پارامتر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در مناطق جنوب و جنوب شرقی حوضه مشاهده می‌شود. این مناطق جزء مناطق کم ارتفاع حوضه است. سه پارامتر تراکم جمعیت انسانی، مهاجرت و

تحصیلات در قسمت جنوب غرب حوضه بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده‌اند.

جداول (۱) و (۲) وزن‌های مربوط به معیارهای مؤثر در تعیین آسیب‌پذیری منطقه به تخریب سرزمین را با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه که از مقایسه‌های زوجی استخراج شده است، نشان می‌دهد. اطلاعات جدول (۱) وزن نسبی درون شبکه‌ای پارامترهای مورد استفاده را در ارتباط با هدف اصلی جهت تصمیم‌گیری که همان آسیب‌پذیری به تخریب سرزمین می‌باشد، را بیان می‌کند. با توجه به ارتباط پارامتر با یکدیگر، وزن آن‌ها مشخص شد که در صورت نبود ارتباط با یکدیگر، وزن بین

خبرگان پاسخگو و یا عدم دقت هنگام پاسخگویی به پرسشنامه فرآیند تحلیل شبکه باشد، مورد بررسی دوباره قرار گرفت. در پرسشنامه مورد استفاده در این مطالعه، تعریف مبهم مسئله بیشترین دلیل پاسخ‌های نامتناقض بود که با اصلاح مجدد آن‌ها، این مسئله رفع شد.

آن‌ها صفر می‌باشد. نرخ ناسازگاری به صورت اتوماتیک و پس از ورود داده‌های پرسشنامه به نرم‌افزار محاسبه شد. نرخ ناسازگاری ابتدا بیشتر از ۰/۱ بود. لذا، سازگاری قضاوت‌ها و ارزیابی‌ها مورد تردید واقع شد. دلایل این تناقضات که می‌تواند تعریف مبهم مسئله، نبود اطلاعات کافی، اطلاعات غیرقطعی، عدم تمرکز



شکل ۳- عوامل مورد استفاده در تهیه نقشه آسیب‌پذیری به تخریب سرزمین در حوضه آبخیز مهارلو- بختگان

معیاره انجام دادند، پارامترهای کاربری اراضی و پوشش گیاهی را به عنوان مهمترین پارامترها در ارزیابی منطقه از نظر آسیب‌پذیری محیطی به تخریب معرفی کردند. در این مطالعه نیز طبق نظر کارشناسان، کاربری اراضی به عنوان آسیب‌پذیرترین معیار تحت تأثیر تخریب سرزمین مشخص شده است. پارامتر دیگری که در

با توجه به جدول (۲)، به ترتیب معیارهای کاربری اراضی و پوشش گیاهی بالاترین و کیفیت آب زیرزمینی پایین‌ترین وزن را نسبت به دیگر معیارها به خود اختصاص داده‌اند. Liu et al., (2017) و Liou et al. (2017) نیز در مطالعاتی که در مورد آسیب‌پذیری محیطی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند

قرار می‌گیرند. این به این معنی می‌باشد که دو منطقه با تعداد جمعیت افراد باسواد متفاوت و دارای شرایط یکسان از نظر سایر پارامترهای آسیب‌پذیر به تخریب سرزمین، منطقه‌ای که تعداد افراد باسواد کمتری دارد، آسیب‌پذیری این پارامتر به تخریب سرزمین بیشتر است.

رتبه سوم اهمیت از نظر آسیب‌پذیری به تخریب سرزمین قرار گرفت، سطح سواد جمعیت منطقه بود؛ به طوری که طبق نظر کارشناسان در مناطقی که جمعیت باسوادتری وجود دارد، سطح سواد منطقه کمتر تحت تاثیر عواقب تخریب سرزمین قرار گرفته و مناطقی که دارای جمعیت کم‌سوادتر هستند، سطح سواد جمعیت منطقه بیشتر تحت تاثیر عواقب ناشی از تخریب سرزمین

جدول ۱- وزن نسبی پارامترها نسبت به یکدیگر متأثر از روابط درون شبکه‌ای آن‌ها بر آسیب‌پذیری در روش فرآیند تحلیل شبکه

پارامتر	سطح آب زیرزمینی	کاربری اراضی	تراکم دام	مهاجرت	جمعیت	شوری خاک	پوشش گیاهی	کیفیت آب	آسیب‌پذیری	سطح سواد
سطح سواد	۰/۱۶	۰/۳۳	۰	۰	۰	۰/۰۸	۰	۰/۱۶	۰	۰
سطح آب زیرزمینی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کاربری اراضی	۰/۵	۰	۰	۰	۰	۰/۲۵	۰	۰/۵	۰	۰
تراکم دام	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۲۵	۰/۵	۰	۰	۰
مهاجرت	۰/۱۶	۰/۳۳	۰	۰	۰	۰/۰۸	۰	۰/۱۶	۰	۰
جمعیت	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۵	۰	۰	۰/۲	۰/۵	۰/۱۶	۰	۰
شوری خاک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پوشش گیاهی	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۲۵	۰	۰	۰	۰
کیفیت آب	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۲۵	۰	۰	۰	۰
آسیب‌پذیری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

شامل: کلاس‌های کم، متوسط، شدید و خیلی شدید است. جدول (۳) مساحت و درصد مساحت هر کلاس طبقه‌بندی را در منطقه نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، کلاس طبقه‌بندی شدید با مساحتی حدود ۲۰۲۹۵/۶۹ کیلومترمربع بیشترین مساحت را نسبت به سایر کلاس‌ها به خود اختصاص داده و کلاس طبقه‌بندی کم با مساحتی حدود ۱۴۳/۵ کیلومترمربع کمترین مساحت را در حوضه آبخیز مهارلو-بختگان شامل می‌شود. نکته قابل توجه این است که در مطالعات مختلف، تعداد طبقات کلاس‌های آسیب‌پذیری متفاوت است و در صورت تقسیم‌بندی نقشه نهایی به شش طبقه خیلی کم، نسبتاً کم، کم، متوسط، شدید و خیلی شدید، بیشترین وسعت منطقه آسیب‌پذیر ممکن است در کلاس طبقه‌بندی دیگری قرار گیرد. لذا نمرات محاسبه‌شده برای اهمیت لایه‌ها و تقسیم‌بندی طبقات آسیب‌پذیری در این مطالعه به نمرات و طبقات نسبی و نه مطلق اشاره دارد. این باعث تقسیم‌بندی نسبی در تجزیه و تحلیل طبقات آسیب‌پذیری برای مناطق مختلف شده که در توصیف تغییرات در دوره‌های زمانی مختلف مفیدتر هستند.

جدول ۲- ارزیابی معیارهای آسیب‌پذیری تخریب سرزمین به روش فرآیند تحلیل شبکه

معیارها (Bi)	وزن (Wi)
سطح سواد	۰/۱۳۸
سطح آب زیرزمینی	۰/۰۳۵
کاربری اراضی	۰/۲۴
جمعیت دامی	۰/۰۹۴
مهاجرت	۰/۰۹۵
جمعیت	۰/۱۴۶
شوری خاک	۰/۰۶۸
پوشش گیاهی	۰/۱۴۴
کیفیت آب زیرزمینی	۰/۰۳۷

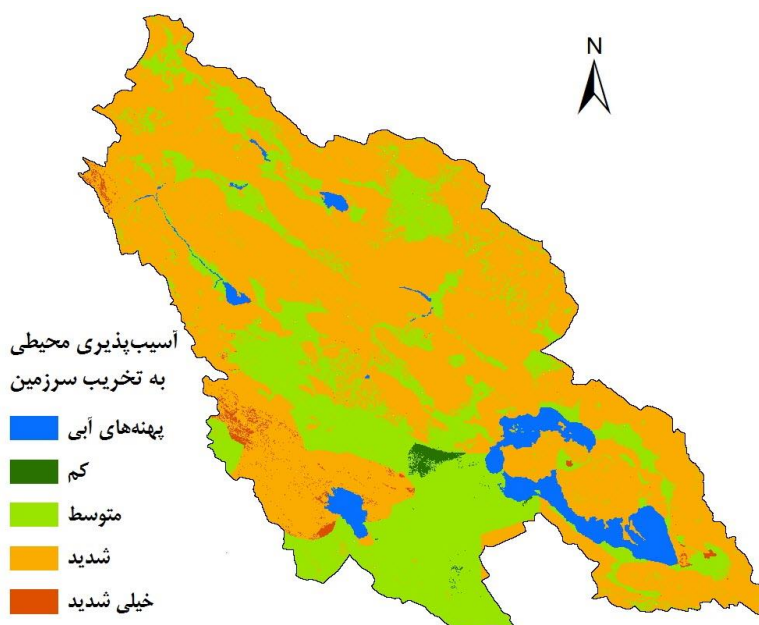
نقشه آسیب‌پذیری حاصل از ادغام لایه‌ها

بعد از محاسبه وزن معیارها که به کمک نظرات کارشناسان در قالب پرسشنامه در نرم‌افزار SuperDecisions به دست آمد، لایه‌های رستری با استفاده از رابطه (۳) در هم ادغام‌شده و نقشه آسیب‌پذیری منطقه به تخریب سرزمین تهیه شد (شکل ۴). نقشه آسیب‌پذیری تهیه‌شده دارای چهار طبقه آسیب‌پذیری است که پهنه‌های آبی به‌عنوان مناطق بدون آسیب‌پذیر فرض شده و جزء طبقه‌بندی کلاس‌های آسیب‌پذیری قرار نگرفته است (Liou et al., 2017). طبقات آسیب‌پذیری تعیین‌شده در منطقه به ترتیب

جدول ۳- مساحت کلاس‌های آسیب‌پذیری به تخریب سرزمین حاصل از روش فرآیند تحلیل شبکه

کلاس‌های آسیب‌پذیری (کیلومترمربع)	مساحت (درصد)
کم	۱۴۳/۵
معمول	۰/۴۵

متوسط	۹۳۷۵/۸۳	۲۹/۷۱
شدید	۲۰۲۹۵/۶۹	۶۴/۳۱
خیلی شدید	۲۴۸/۱۷	۰/۷۹
پهنه آبی	۱۴۹۸/۰۸۴	۴/۷۵



شکل ۴- نقشه آسیب پذیری به تخریب سرزمین در حوضه آبخیز مهارلو-بختگان با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه

کاربری‌های مختلف در ارتباط با ارتفاع منطقه است، Li *et al.*, (2011) و Liu *et al.*, (2017) فعالیت‌های مخرب انسانی و تأثیر آن بر کاربری اراضی و پوشش گیاهی را جزء اثرات منفی می‌دانند که باعث تخریب سرزمین می‌شود. تغییرات کلاس آسیب پذیری شدید از طبقات ارتفاعی کم به سمت ارتفاعات بالاتر کاهش یافته است. این نتایج، لزوم مدیریت بیشتر مناطق با ارتفاعات کمتر را نشان می‌دهد که می‌توان با مدیریت و احیاء مناطق آسیب دیده به بهبود روند تخریب سرزمین و میزان آسیب پذیری محیط زیست کمک زیادی کرد. همچنین بیشترین کلاس آسیب پذیری زیاد در کاربری مرتع و بیشترین کلاس آسیب پذیری متوسط در کاربری کشاورزی آبی قرار دارد. کاربری‌هایی که بیشتر در دسترس جمعیت قرار دارند، بیشتر آسیب پذیر به تخریب هستند که دلایل آن رشد جمعیت و مصرف تولیدات اولیه توسط انسان است که میزان خسارت به محیط زیست را افزایش می‌دهد (Haberl *et al.*, 2007, Krausmann *et al.* 2013, Noojipady *et al.*, 2015).

ارتباط کلاس‌های آسیب پذیری با طبقات ارتفاعی
 پس از تعیین مساحت کلاس‌های آسیب پذیری در کل منطقه، ارتباط بین تغییرات ارتفاع منطقه با میزان آسیب پذیری به تخریب نیز مورد بررسی و توزیع مساحت کلاس‌های آسیب پذیری در طبقات ارتفاعی منطقه مشخص شد (جدول ۴). با توجه به این نتایج، در ۲۰۰ متر اولیه ارتفاعی منطقه، کلاس خیلی شدید با مساحت ۵۵/۵۲ کیلومترمربع، کمترین مساحت و کلاس طبقه بندی متوسط با وسعت ۳۱۵۲/۱۶ کیلومترمربع، بیشترین وسعت از منطقه را در بر گرفته است. بیشترین وسعت پهنه‌های آبی به دلیل وجود دریاچه‌های مهارلو، بختگان و طشک، در این طبقه ارتفاعی قرار گرفته و با افزایش ارتفاع منطقه، وسعت مناطق آسیب پذیر با کلاس شدید افزایش پیدا می‌کند؛ به طوری که کلاس آسیب پذیری شدید در طبقه ارتفاعی ۲۲۰۰ تا ۲۴۰۰ متر، بیشترین وسعت را در منطقه به خود اختصاص می‌دهد. کلاس‌های آسیب پذیری متوسط و شدید در منطقه، دارای بیشترین وسعت آسیب پذیری هستند. این به دلیل توزیع

جدول ۴- مساحت کلاس‌های آسیب‌پذیری در طبقات مختلف ارتفاعی در حوضه آبخیز مهارلو-بختگان

کلاس	طبقات ارتفاعی (متر)						
	۱۴۱۲-۱۶۰۰	۱۶۰۰-۱۸۰۰	۱۸۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۲۲۰۰	۲۲۰۰-۲۴۰۰	۲۴۰۰-۲۶۰۰	۲۶۰۰-۳۹۲۲
آسیب‌پذیری	۱۳۳۹/۷۳	۶۷/۲۸	۱۸/۹۰	۸/۷۰	۶۳/۴۸	۰	۰
پهنه‌های آبی	۱۴۲/۲۸	۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۰۱
کم	۳۱۵۲/۱۶	۲۳۳۷/۳۵	۸۱۲/۶۷	۱۲۴۸/۲۷	۱۳۴۹/۶۲	۳۶۸/۴۰	۱۰۶/۷۱
متوسط	۱۶۸۸/۰۱	۳۱۱۷/۴۸	۲۶۷۸/۸۲	۳۱۵۵/۶۶	۳۸۶۳/۵۷	۳۲۳۹/۹۹	۲۵۴۸/۸۲
شدید	۵۵/۵۲	۴۸/۶۹	۳۹/۶۶	۳۳/۶۹	۳۶/۶۳	۱۷/۲۱	۱۶/۷۵
خیلی شدید							

جدول ۵- مساحت کلاس‌های آسیب‌پذیری در کاربری‌های مختلف اراضی موجود در حوضه آبخیز مهارلو-بختگان

کلاس‌های آسیب	طبقات کاربری اراضی (کیلومتر مربع)			
	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مرتع	شوره‌زار
پذیری	۱۴۱/۹۶	۰/۰۰۲	۰/۹۴	۰/۰۴
کم	۵۷۸۴/۰۵	۱/۱۳	۳۵۸۸/۱۱	۰/۳۵
متوسط	۸۸۶/۵۶	۲۸۳/۶۹	۱۹۰۳۸/۸۹	۸۱/۸۶
زیاد	۴/۷۴	۴/۹۸	۲۱۱/۲۳	۲۷/۱۶
خیلی زیاد				

نتیجه‌گیری

آسیب‌پذیری این مناطق کمک فراوانی کند. کلاس آسیب‌پذیری خیلی شدید بیشتر در اطراف شهرهای پرجمعیت قرار دارد که این مسئله اهمیت مدیریت این مناطق را بیشتر آشکار ساخته و نقش اثرات مخرب انسانی در تخریب سرزمین را برجسته می‌سازد. مناطق مسکونی علاوه بر تاثیر بر وضعیت طبیعی، با ورود آلودگی‌های صنعتی و شهری، بر وضعیت آب و خاک اراضی اطراف تاثیر زیادی گذاشته و آسیب‌پذیری این مناطق را بیشتر می‌کند. با توجه به این مسئله، ساماندهی و بازیافت فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌تواند مفید باشد. راهکار مدیریتی دیگری که می‌تواند در حفظ و بهبود شرایط اراضی اطراف شهرها مفید باشد، تبدیل این مناطق به پارک‌های طبیعی برای جلب توجه مردم برای حفظ و حراست از آن‌ها می‌باشد. انجام مطالعاتی مشابه این پژوهش می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیران و مدیران عرصه سیاست‌گذاری و اجرایی در راستای بهبود شرایط یک منطقه از نظر آسیب‌پذیری به تخریب سرزمین داشته باشد. اولویت‌بندی اجرای سیاست‌های مدیریتی می‌تواند در ارتباط با خروجی‌های این مطالعات سمت و سویی دقیق‌تر گرفته و حفاظت و احیاء مناطق مستعد تخریب را در بر داشته باشد. این‌گونه نقشه‌های یکپارچه تهیه‌شده برای آسیب‌پذیری به تخریب سرزمین با استفاده از طبقه‌بندی‌های دقیق، شناخت بهتری از شرایط منطقه را فراهم کرده و برنامه‌ریزی و اجرای عملیات مدیریتی در مناطق با ویژگی‌های مشابه را تسهیل می‌کند.

شبیه‌سازی نقشه آسیب‌پذیری تخریب سرزمین در حوضه آبخیز مهارلو-بختگان نشان داد که بخش وسیعی از منطقه در طبقه آسیب‌پذیری شدید قرار دارد زیرا با توجه به وزن بالای دو پارامتر پوشش گیاهی و کاربری اراضی، شرایط منطقه از نظر این دو پارامتر در شرایط مناسبی قرار ندارد. در منطقه مورد مطالعه، کاربری‌های با پوشش کمتر اصولاً آسیب‌پذیری بیشتری به تخریب سرزمین داشتند؛ به طوری که اراضی شور بدون پوشش گیاهی در منطقه، آسیب‌پذیری بالایی به تخریب را دارا بودند. از طرفی دیگر بیشتر کاربری منطقه مورد مطالعه، مرتع طبیعی بود که چون در کلاس شدید قرار گرفت، مدیریت مناسب آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به پویایی وضعیت پوشش گیاهی و کاربری اراضی به دلیل شرایط اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، یک تحول غیرقابل انکار اما پنهان در سیستم اکولوژیک منطقه رخ خواهد داد که می‌تواند با دخالت و مدیریت انسان به سمت بهبود یا افول کشاننده شود. کلاس آسیب‌پذیری شدید در طبقات پایین ارتفاعی در منطقه بیشتر از طبقات بالایی بود که نشان‌دهنده شکننده بودن اکوسیستم این مناطق است. به دلیل در دسترس بودن طبقات ارتفاعی، قطعاً کنترل فعالیت‌های انسانی در تغییر کاربری اراضی (اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی و مسکونی) و بهبود شرایط پوشش گیاهی منطقه با کنترل چرای مفرط دام و احیاء پوشش اراضی آسیب‌پذیر می‌تواند به وضعیت

REFERENCES

- Abou Zaki, N., Torabi Haghghi, A., M Rossi, P., J Tourian, M., & Kløve, B. (2019). Monitoring Groundwater Storage Depletion Using Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Data in Bakhtegan Catchment, Iran. *Water*. 11(7), 1456.
- Aceves, E. Á., Guevara, H. J. P., Enriquez, A. C., Gaxiola, J. D. J. C., Cervantes, M. D. J. P.,

- Barrientos, J. H., Samuel, C. L. (2019). Determining Salinity and Ion Soil Using Satellite Image Processing. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(3), 1549-1560.
- Campus, G. (2019). Sustainable management of rural-ecological commons: Recommendations on eDPSIR causal networks. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 20(1), 348-357.
- Dai, J., Wu, H., Zhang, C., Zeng, G., Liang, J., Guo, S., Li, X., Huang, L., Lu, L., Yuan, Y. (2016). Responses of soil microbial biomass and bacterial community structure to closed-off management (an ecological natural restoration measures): a case study of Dongting Lake wetland, middle China. *J. Biosci. Bioeng.* 122 (3), 345-350.
- Faryadi, S., Sepehr, H., Ramezani, M. (2014). Identifying Ecological Vulnerability of Protected Complex of Touran via the Methods of Reciprocal Effects Matrix, AHP, and EA. *Journal of Environmental Studies*. 39(4), 45-54.
- García-Melón, M., Ferrís-Oñate, J., Aznar-Bellver, J., Aragonés-Beltrán, P., & Poveda-Bautista, R. (2008). Farmland appraisal based on the analytic network process. *Journal of Global Optimization*. 42(2), 143-155.
- Görener, A. (2012). Comparing AHP and ANP: an application of strategic decisions making in a manufacturing company. *International Journal of Business and Social Science*, 3(11), 194-208.
- Haberl, H., K. H. Erb, F. Krausmann, V. Gaube, A. Bondeau, C. Plutzar, S. Gingrich, W. Lucht, and M. Fischer-Kowalski. (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 104: 12942-12947
- Hou, R.P., Zhang, K.B., Qiao, F., Li, R., Yang, J.J. (2004). Biodiversity and desertification in the ecotone of agriculture-animal husbandry-Taking Yanchi county of Ningxia Hui Autonomous Region as an example. *Ecology and Environment*. 13: 350-353.
- Jahani, F., Malekmohammade, B., Zebardast, L., Adele, F. (2015). Investigate the Potential and Application of Ecosystem Services as Ecological Indicators in the DPSIR Model (Case Study: Choghakhor Wetland). *Environmental Researches*, 5(10): 109-120.
- Krausmann, F., K.-H. Erb, S. Gingrich, H. Haberl, A. Bondeau, V. Gaube, C. Lauk, C. Plutzar, and T. D. Searchinger. (2013). Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 110: 10324-10329.
- Li, H., Liu, G., Fu, B. (2011). Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region. *Acta Ecol. Sin.* 31 (19), 5495-5504.
- Liou, Y. A., Nguyen, A. K., & Li, M. H. (2017). Assessing spatiotemporal eco-environmental vulnerability by Landsat data. *Ecological indicators*. 80: 52-65.
- Liu, D., Cao, C., Dubovyk, O., Tian, R., Chen, W., Zhuang, Q. & Menz, G. (2017). Using fuzzy analytic hierarchy process for spatio-temporal analysis of eco-environmental vulnerability change during 1990-2010 in Sanjiangyuan region, China. *Ecological indicators*. 73: 612-625.
- Mainali, J., & Pricope, N. G. (2017). High-resolution spatial assessment of population vulnerability to climate change in Nepal. *Applied Geography*. 82: 66-82.
- Nachtergaele, F. O. (2002). Land degradation assessment in drylands: the LADA project. *Land degradation*, 74.
- Nguyen, A.K., Liou, Y.A., Li, M.H., Tran, T.A. (2016). Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection. *Ecol. Indic.* 69: 100-117.
- Noojipady, P., Prince, S. D., & Rishmawi, K. (2015). Reductions in productivity due to land degradation in the drylands of the southwestern United States. *Ecosystem Health and Sustainability*. 1(8): 1-15.
- Nouri, H., Chavoshi Borujeni, S., Alaghmand, S., Anderson, S., Sutton, P., Parvazian, S., & Beecham, S. (2018). Soil Salinity Mapping of Urban Greenery Using Remote Sensing and Proximal Sensing Techniques; The Case of Veale Gardens within the Adelaide Parklands. *Sustainability*. 10 (8), 2826.
- Nowak, A., & Schneider, C. (2017). Environmental characteristics, agricultural land use, and vulnerability to degradation in Malopolska Province (Poland). *Science of the Total Environment*. 590: 620-632.
- Rahimi, V., Pourkhabbaz, H R., Aghdar, H., Mohammadyari, F. (2015). Comparison of Fuzzy AHP Buckley and ANP Models in Forestry Capability Evaluation (Case Study: Behbahan City Fringe). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 4 (13), 15-31.
- Saaty T. I. and Vargas I. g. (1984) Comparison of eigenvalue, logarithmic least squares and least squares methods in estimation ratios, *Mathematical modeling*, 5, 309-324.
- Saaty, T. L. and Özdemir, M. S. (2005), *The Encyclion: A Dictionary of Decisions with Dependence and Feedback based on the Analytic Network Process*, RWS Publications, USA.
- Sahoo, S., Dhar, A., & Kar, A. (2016). Environmental vulnerability assessment using Grey Analytic Hierarchy Process based model. *Environmental Impact Assessment Review*. 56: 145-154.
- Sharif zadegan, M., Fathi, H. (2001). Environmental Vulnerability Assessment for Regional Planning in Three Alborz Environmental Areas by Hierarchical Method. *Environmental Sciences*. 3(10), 1-20.
- Sharma, M. J., Moon, I. and Bae, H. (2008), Analytic hierarchy process to assess and optimize distribution network, *Applied Mathematics and*

- Computation, 202, 256-265.
- Sica, Y. V., Quintana, R. D., Radeloff, V. C., & Gavier-Pizarro, G. I. (2016). Wetland loss due to land use change in the Lower Paraná River Delta, Argentina. *Science of the Total Environment*, 568, 967-978.
- Statistical center of Iran; <https://www.amar.org.ir/english/Census-of-Agriculture>. 2018.
- UNEP. (1992). *World Atlas of Desertification*. Edward Arnold. London.
- Wang, G., Cheng, G., & Yang, Z. (1999). The utilization of water resource and its influence on eco-environment in the northwest arid area of China. *J Nat Resour*, 14(2), 109-116.
- Wang, T. (2001). China's desertification prevention and control are stepping to the world. *Journal of Desert Research*, 21: 1-3.
- Wu, H., Zeng, G., Liang, J., Guo, S., Dai, J., Lu, L., Wei, Z., Xu, P., Li, F., Yuan, Y., He, X. (2015). Effect of early dry season induced by the Three Gorges Dam on the soil microbial biomass and bacterial community structure in the Dongting Lakewetland. *Ecological Indicators*, 53: 129-136.
- Wu, H., Zeng, G., Liang, J., Zhang, J., Cai, Q., Huang, L., Li, X., Zhu, H., Shen, S. (2013). Changes of soil microbial biomass and bacterial community structure in Dongting Lake: impacts of 50,000 dams of Yangtze River. *Ecological engineering*, 57: 72-78.
- Yoo, G., Kim, A. R., & Hadi, S. (2014). A methodology to assess environmental vulnerability in a coastal city: application to Jakarta, Indonesia. *Ocean & coastal management*, 102: 169-177.
- Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., Gao, P. (2013). Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degradation & Development*, 24: 499-510.
- Zou, T., & Yoshino, K. (2017). Environmental vulnerability evaluation using a spatial principal components approach in the Daxing'anling region, China. *Ecological Indicators*, 78: 405-415.