

ارزیابی حساسیت اکولوژیک عرصه معادن در حال بهره‌برداری (مطالعه موردی: شهرستان طبس)

سید محمدمهدی موسویان^۱، عباسعلی ولی^{۲*}، سید حجت موسوی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸

چکیده

بهره‌برداری از معادن به‌عنوان یکی از رفتارهای متداول انسان در محیط‌زیست، پیامدهای اکولوژیکی متعددی برای اکوسیستم به‌ویژه زیست‌بوم بیابان دارد که منجر به تغییرات گسترده‌ای در این مناطق می‌شود. لذا هدف از این پژوهش، بررسی حساسیت اکولوژیک عرصه‌های معادن در حال بهره‌برداری با استفاده از مدل ارزیابی تخریب محیط‌زیست در شهرستان طبس است. در این راستا، لایه‌های ارتفاع، جهت دامنه و شیب از سنجنده ASTER و لایه NDVI برای تعیین میزان حساسیت پوشش گیاهی از تصاویر MODIS استخراج گردید. برای تهیه لایه‌های هم‌دما و هم‌بارش از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های طبس و نواحی هم‌جوار استفاده شد. لایه‌های عمق خاک و مقاومت سنگ بستر بر مبنای نقشه‌های خاک‌شناسی و زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه گردید. فراهم‌سازی لایه‌های کیفیت (EC) و عمق آب زیرزمینی بر اساس داده‌های ایستگاه‌های آب منطقه‌ای و چاه‌های پیژومتری صورت گرفت. نتایج نشان داد که به ترتیب ۲۷۰۵۴۷/۸۳، ۳۷۵۱۳۴۲/۸۲، ۱۷۷۳۹۹۹/۶۱ و ۴۵۸۸۳/۰۴ هکتار (۴/۶۳، ۶۴/۲۱، ۳۰/۳۶ و ۰/۷۸ درصد) در طبقه حساسیت اکولوژیکی مقاوم، نیمه‌حساس، حساس و آسیب‌پذیر قرار دارد. همچنین محدوده بهره‌برداری معادن شامل ۶۲ درصد از مساحت منطقه می‌باشد که بیشترین سطح آن (۶۵۸۰۴۷/۶۶ هکتار) در کلاس‌های حساس و نیمه‌حساس با کد آسیب‌پذیری ۲ و ۳ واقع شده و نیازمند توجه ویژه مدیریتی است. واژه‌های کلیدی: استخراج معادن، درصد پوشش گیاهی، عوامل توپوگرافی، مناطق خشک و بیابانی، طبس.

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲. دانشیار، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران؛ vali@kashanu.ac.ir

۳. استادیار، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

مقدمه

معدن کاری یکی از فعالیت‌های انسانی مؤثر در تغییر وضعیت مناطق است (عبدی‌نژاد، ۲۰۰۷). با توجه به اینکه مواد معدنی برای بقای بشر ضروری هستند، تهدید اثرات منفی ناشی از سرعت بی‌سابقه‌ای که در استخراج و فراوری مواد معدنی، نقش مهمی در مشکلات زیست‌محیطی از قبیل کاهش سطح جنگل‌ها، فرسایش خاک و آلودگی هوا و آب ایفا می‌کند (مانسینی و سالا^۱، ۲۰۱۸). عملیات معدن کاری معمولاً اثر منفی روی محیط زیست می‌گذارد؛ زیرا مناطق محدودی را می‌توان برشمرد که از روش روباز استخراج شده‌اند و این عملیات موجب بهبود محیط زیست آن‌ها شده باشد (شکوفه، ۲۰۰۰).

امروزه روش‌های استخراج معادن سطحی، بیشترین استفاده را دارد که متعاقباً تأثیرات زیادی نیز بر اکوسیستم‌های مناطق اطراف می‌گذارد. فرسایش، گودبرداری، نخاله‌های معادن، تغییر موجودات زنده خاک و تأثیر روی آب‌های زیرزمینی و آلودگی‌های هوا و صوتی از جمله مشخص‌ترین مشکلات این فعالیت است (بشری، ۲۰۱۰).

معدن کاری زیرزمینی اثرات زیست‌محیطی کمی را در بر دارد و جدی‌ترین خطر آن ریزش است. البته معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با ایجاد گردوغبار و انباشت مواد معدنی در سطح زمین، باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند (رئوف دلگشا، ۲۰۱۳). بنابراین بایستی اثرات زیست‌محیطی معدن کاری توأم بررسی گردد تا برنامه‌ریزی‌های مناسب در جهت حفظ و بازسازی محیط قابل انجام شود. از جمله مطالعات انجام شده در این خصوص در ایران و جهان عبارت‌اند از:

تیب^۲ (۲۰۱۰) با مطالعه حساسیت اکولوژیکی جنگل‌های اکالیپتوس استرالیا در مقیاس وسیع معدن کاری نشان داد که در این منطقه خاک و سایر ویژگی‌های محیطی دارای حساسیت و آسیب‌پذیری بیشتری هستند و نیاز به مدیریت و حفاظت دارند. خراسانی علمداری و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه معادن ایران، بیان کردند که فعالیت‌های معدن کاری موجب ایجاد

مشکلات اکولوژیکی می‌شود و می‌تواند اکوسیستم را به خطر بیندازد. کایرز^۳ و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند اثرات منفی ناشی از استخراج و فراوری مواد معدنی، نقش مهمی در مشکلات زیست‌محیطی از قبیل کاهش سطح جنگل‌ها، فرسایش خاک، آلودگی هوا و آب ایفا می‌کند. ستوهیان و همکاران (۲۰۱۳) پژوهشی به منظور بررسی تخریب ایجاد شده بر اثر فعالیت معادن انجام دادند و بیان کردند که اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های معدنی بر محیط فیزیکی شامل اثرات اقلیمی، کیفیت هوا، آب و خاک است. تیب^۲ (۲۰۱۵) با بررسی حساسیت اکولوژیکی مناطق اطراف معادن، نشان داد که ویژگی‌های محیطی مراتع، جنگل‌ها و مناطق خشک تحت تأثیر اقدامات و فعالیت‌های معدن کاری از مراحل ابتدایی اکتشاف تا حتی بعد از استخراج هستند. هانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی حساسیت و کنترل کاربری زمین از نظر عوامل اکولوژیکی در منطقه شنزن-چین نشان دادند که عوامل زمین‌شناسی و ویژگی‌های خاک این منطقه، درجه حساسیت و آسیب‌پذیری بیشتری دارند. علاوه بر این درجه آسیب‌پذیری مناطقی که از کاربری‌های صنعتی همچون معدن کاری فاصله داشتند، کمتر بوده است.

حفاظت زیست‌محیطی در عملیات معدن کاری چند سالی است که نظر متخصصان را در کشورهای در حال توسعه به خود جلب کرده است اما تاکنون پژوهش‌های جامعی در زمینه ارزیابی حساسیت اکولوژیکی با تأکید بر معدن کاری در شهرستان طبس، صورت نگرفته است. علاوه بر این شهرستان طبس با توجه به دارا بودن معادن متعدد و از طرفی بیابانی بودن اقلیم آن، نیازمند پژوهش‌هایی در خصوص ارزیابی اثرات معادن بر محیط زیست است. بنابراین هدف از این پژوهش، ارزیابی حساسیت اکولوژیکی عرصه‌های بیابانی با کاربری معدن کاری به منظور حفاظت از محیط زیست با توجه به مولفه‌های ارتفاع، شیب، جهت، دما، بارش، مقاومت سنگ بستر، عمق خاک، سطح ایستابی، کیفیت آب و پوشش گیاهی در شهرستان طبس است.

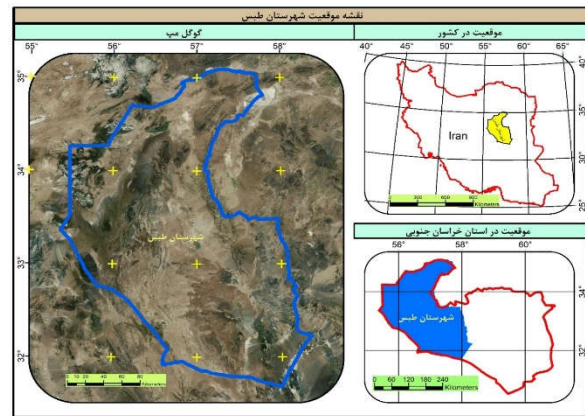
3. Kairis
4. Hong

1. Mancini & Sala
2. Tibbet

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان طبس در غرب استان خراسان جنوبی و در موقعیت ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). طبس با ۵۵ هزار کیلومتر مربع وسعت، بزرگترین شهرستان ایران و جزء اکوسیستم بیابانی محسوب می شود. ارتفاع متوسط آن ۶۹۰ متر از سطح دریا، و بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک طبس حداکثر و حداقل دمای سالانه به ترتیب ۴۹/۴ و -۹ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه ۸۴ میلی متر است (سازمان هواشناسی ایران).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure (1): Geographical Location of the Study Area

لایه شیب در هشت کلاس و لایه جهت شیب در پنج کلاس طبقه بندی و کدگذاری آن ها در برآورد آسیب پذیری اکولوژیک صورت گرفت (جدول ۱).

جدول (۱): طبقه بندی و کدگذاری ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی

(جباریان امیری، ۱۹۹۸)

Table (1): Classification and Coding of Elevation, Slope and Aspect (Jabbarian Amiri, 1998)

ارتفاع (متر)	شیب (درصد)	جهت	کد آسیب پذیری
<1000	0-2	هموار	۱
1000-1400	2-5	جنوبی و غربی	۲
1400-1800	5-8	شمالی و شرقی	۳
1800-2200	8-12	---	۴
2200-2600	12-15	---	۵
2600-3000	15-30	---	۶
3000-3400	30-65	---	۷
>3400	>65	---	۸

اطلاعات پایه در خصوص سختی مواد مادری و عمق خاک، به ترتیب از نقشه های زمین شناسی و خاک شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. عامل خاک شناسی بر اساس اطلاعات سازمان خواروبار جهانی طبقه بندی شد. تعیین کد آسیب پذیری خاک نیز بر مبنای شاخص عمق خاک صورت گرفت. همچنین تعیین کد آسیب پذیری سنگ بستر بر اساس میزان مقاومت هریک از سنگ ها مشخص شد (جدول ۲).

جدول (۲): طبقه بندی و کدگذاری عوامل سنگ بستر و عمق خاک

(جباریان امیری، ۱۹۹۸)

Table (2): Classification and Coding of Parent Material and Soil Depth Factors (Jabbarian Amiri, 1998)

مقاومت سنگ بستر	عمق خاک	دامنه تغییرات عمق خاک (cm)	کد آسیب پذیری
خیلی مقاوم	خیلی عمیق	۱۲۰ < ...	۱
مقاوم	عمیق	۸۰-۱۲۰	۲
نامقاوم	به نسبت عمیق	۵۰-۸۰	۳
حساس	کم عمق	۲۵-۵۰	۴
خیلی حساس	خیلی کم عمق	<۲۵	۵

برای تهیه لایه های هم دما و هم بارش از طریق مدل میان یابی^۱ IDW، از داده های اقلیمی ایستگاه های طبس و

روش شناسی

روش پژوهش کاربردی حاضر مبتنی بر تحلیل داده های مکانی و ابزارهای تحلیل فضایی در محیط نرم افزار ArcGIS است. لذا برای ارزیابی حساسیت اکولوژیک عرصه های معادن در حال بهره برداری مراحل زیر طی شد. ابتدا پس از تعیین منطقه مورد مطالعه، در روش عینیت گرای تعیین آسیب پذیری اکولوژیک، بر اساس رهیافت سیستمی، عوامل اکولوژیک در منطقه مطالعاتی فهرست گردید (جباریان امیری، ۲۰۱۴) که شامل پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت (توپوگرافی)، دما، بارش (اقلیم)، مقاومت سنگ بستر، عمق خاک، سطح ایستابی، کیفیت آب و پوشش گیاهی هستند.

لایه های شیب، جهت و ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع و سنجنده ASTER استخراج شد. لایه ارتفاع در شش کلاس،

1. Inverse Distance Weighting

جدول (۵): طبقه‌بندی و کدگذاری عوامل آب (جباریان، ۲۰۱۴)

Table (5): Classification and Coding of Groundwater Factors (Jabarian Amiri, 2014)

کد آسیب‌پذیری	کیفیت آب (EC)	عمق آب زیرزمینی (متر)
۱	۳۸۷-۲۷۷۱	۲-۲۶
۲	۲۷۷۱-۴۳۰۹	۲۶-۳۳
۳	۴۳۰۹-۶۵۴۰	۳۳-۴۲
۴	۶۵۴۰-۱۱۰۷۷	۴۲-۵۸
۵	۱۱۰۷۷-۲۰۰۰۰	۵۸-۱۰۹

در گام بعد، برای کمی‌سازی پدیده تخریب محیط‌زیست، مدل تخریب در قالب شدت آن و درجه آسیب‌پذیری اکوسیستم تهیه گردید. این مدل، یکی از شیوه‌های مدل‌سازی تحلیل سیستمی است که برای شرایط ایران معرفی شده است. در این روش، ارزیاب از اطلاعات گذشته و حال حاضر منطقه، در کنار هم استفاده می‌کند و به تولید اطلاعات می‌پردازد. در این مطالعه به منظور ساده‌سازی فرایند تعیین آسیب‌پذیری اکوسیستم از روش عینیت‌گرایی (رابطه ۱) استفاده شد که در آن S_{ij} بیانگر درجه اهمیت عامل اکولوژیک و بدون بُعد است (جباریان امیری، ۲۰۱۴).

$$S_{ij} = \sum_i^j (X_i - X_j) \quad (1)$$

سپس برای تحلیل سیستم ادراکی محیط‌زیست، درجه اهمیت عوامل اکولوژیک تعیین و برای این منظور از روش تحلیل ماتریسی استفاده شد. در این روش، نخست یک ماتریس از عوامل اکولوژیک موجود در سیستم ادراکی محیط‌زیست تهیه و تاثیرگذاری هر یک از عوامل اکولوژیک با کدهای ۰ (بی تاثیر) و ۱ (موثر) مشخص شد.

در نهایت پس از تهیه لایه‌های رقوم عوامل اکولوژیک و تعیین درجه اهمیت آنها براساس روش تحلیل ماتریسی، شاخص آسیب‌پذیری اکولوژیک، با استفاده از رابطه (۲) (جباریان امیری، ۲۰۱۴) محاسبه و نقشه حساسیت آسیب‌پذیری اکولوژیک تهیه شد.

$$ESI = \sum_{i=1}^{n-1} K_i X_i \quad (2)$$

ESI: شاخص آسیب‌پذیری اکولوژیک

K_i : درجه اهمیت عامل اکولوژیک i ام

X_i : کد آسیب‌پذیری عامل اکولوژیک i ام

نواحی همجوار استفاده شد. طبقه‌بندی و کدگذاری عوامل بارش و دما بر مبنای جدول (۳) انجام شد.

جدول (۳): طبقه‌بندی و کدگذاری عوامل اقلیمی (جباریان، ۱۹۹۸)

Table (3): Classification and Coding of Climate Factors (Jabarian Amiri, 1998)

بارش (mm)	دما (°C)	کد آسیب‌پذیری
۱۸۵ > ...	۳ > ...	۸
۲۹۵ - ۱۸۵	۵ - ۳	۷
۴۰۵ - ۲۹۵	۷ - ۵	۶
۵۱۵ - ۴۰۵	۹ - ۷	۵
۶۲۵ - ۵۱۵	۱۱ - ۹	۴
۷۳۴ - ۶۲۵	۱۳ - ۱۱	۳
۸۴۳ - ۷۳۴	۱۵ - ۱۳	۲
۸۴۳ > ...	۱۵ > ...	۱

به منظور تهیه لایه پوشش گیاهی از NDVI^۱ مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS^۲ در ۷ برداشت در فاصله زمانی حداکثر سبزیگی (به مدت ۳ ماه: از ۱۰ اسفند ماه تا ۱۰ خرداد ۱۳۹۷) بهره‌گیری شد. سپس آسیب‌پذیری عامل پوشش گیاهی، بر اساس جدول (۴) تعیین و کدگذاری گردید.

جدول (۴): طبقه‌بندی و کدگذاری پوشش گیاهی (جباریان، ۲۰۱۴)

Table (4): Classification and Coding of Vegetation Factor (Jabarian Amiri, 2014)

تراکم پوشش گیاهی	مقدار NDVI	کد آسیب‌پذیری
فاقد پوشش	۰/۰۵ تا ۰/۱۹	۱
تنک	۰/۰۵ تا ۰/۱	۲
معمولی	۰/۱ تا ۰/۴۶۴	۳

با توجه به اینکه بهره‌برداری از معادن در کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی مؤثر است، اطلاعات پایه سطح ایستابی چاه‌های پیرومتری و کیفیت (EC) آب زیرزمینی از ایستگاه‌های پایش آب منطقه‌ای استخراج شد. بدین منظور از ۹۱ چاه برای تعیین سطح ایستابی و برای بررسی کیفیت آب از ۳۸ ایستگاه برداشت استفاده گردید. نهایتاً نقشه‌های کیفیت و عمق آب زیرزمینی در پنج کلاس تهیه و کد آسیب‌پذیری آنها بر اساس جدول (۵) تعیین شد.

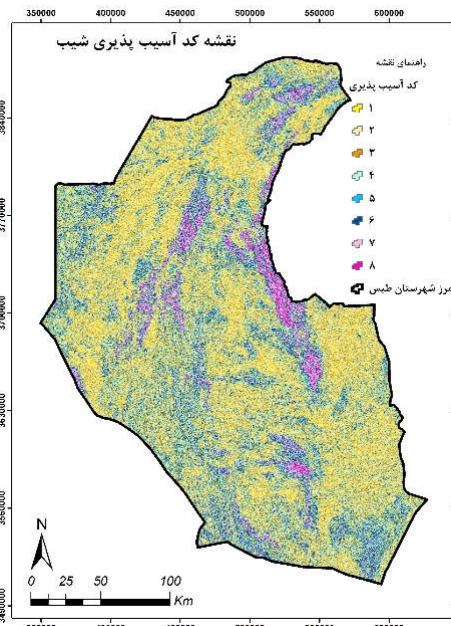
1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

نتایج

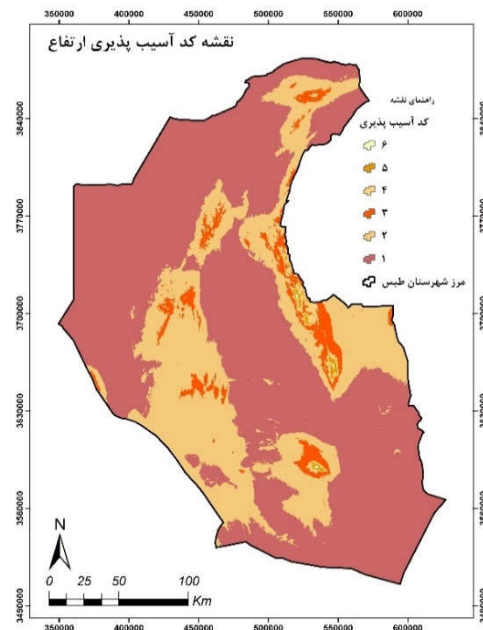
عوامل توپوگرافی

عامل ارتفاع از سطح دریا یکی از عوامل مؤثر بر محدودیت‌های اکولوژیکی است که در مطالعه حاضر در ۶ کلاس از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر، به ترتیب با کد آسیب‌پذیری از ۱ تا ۵ طبقه‌بندی شد. نتایج حاصل از تحلیل ارتفاع نشان داد که بیشترین سطح منطقه با ۶۶ درصد وسعت مربوط به کلاس ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر با کد آسیب‌پذیری ۱ و دومین سطح با ۲۸/۷۷ درصد مساحت مربوط به کلاس ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر با کد آسیب‌پذیری ۲ است. با توجه به اینکه بالغ بر ۹۴ درصد از منطقه مربوط به کد آسیب‌پذیری یک و دو می‌باشد عامل اکولوژیک ارتفاع در منطقه از حساسیت بالایی برخوردار نیست (شکل ۲ و جدول ۶).

از منظر عامل شیب، بیشترین مساحت به ترتیب مربوط به شیب‌های ۲-۵ و ۸-۵ درصد با کدهای آسیب‌پذیری ۲ و ۳ است که بالغ بر ۴۵ درصد وسعت منطقه رو به خود اختصاص داده‌اند و کمترین مساحت منطقه در شیب بیشتر از ۶۵ درصد قرار با کد آسیب‌پذیری ۸ قرار دارد (شکل ۳ و جدول ۷).



شکل (۳): نقشه آسیب‌پذیری عامل شیب در طبس
Figure (3): Vulnerability Map of Slope in Tabas



شکل (۲): نقشه آسیب‌پذیری عامل ارتفاع در طبس
Figure (2): Vulnerability Map of Elevation in Tabas

جدول (۷): عامل اکولوژیک شیب و کد آسیب‌پذیری آن

Table (7): Ecological Factor of Slope and its Vulnerability Code

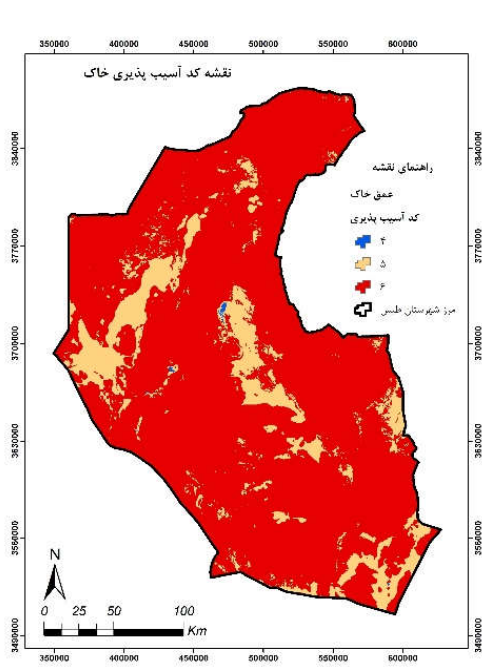
درصد شیب	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	کد آسیب‌پذیری
۰-۲	۴۰۷۰۸	۶/۳	۱
۲-۵	۲۴۳/۱	۲۳/۷	۲
۵-۸	۲۰۷/۶	۲۲/۲	۳
۸-۱۲	۷۲۵/۱	۲۰/۱	۴
۱۲-۱۵	۳۱۷۸/۴	۷/۸	۵
۱۵-۳۰	۲۴۹۵/۵	۱۲/۷	۶
۳۰-۶۵	۸۲۷۶/۳	۵/۷	۷
>۶۵	۶۸۹۴۵/۶	۱/۴	۸

جدول (۶): عامل اکولوژیک ارتفاع و کد آسیب‌پذیری آن

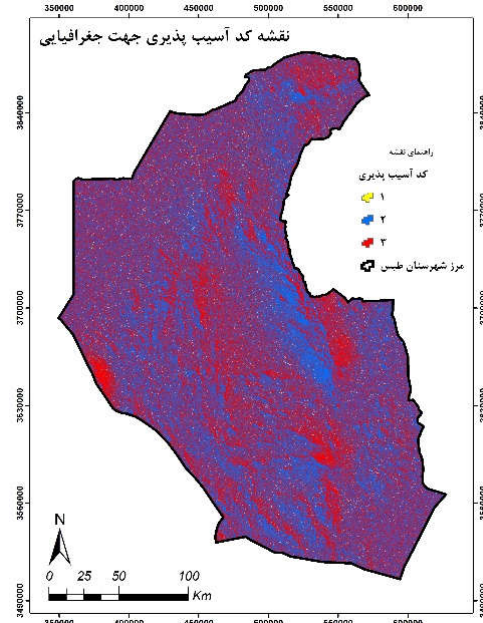
Table (6): Ecological Factor of Elevation and its Vulnerability

ارتفاع (متر)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	کد آسیب‌پذیری
۱۰۰۰ > ...	۳۸۶۱۹۷۵/۵	۶۶/۱	۱
۱۰۰۰-۱۴۰۰	۱۶۸۰۷۶۵/۴	۲۸/۷۷	۲
۱۴۰۰-۱۸۰۰	۲۲۹۷۲۱/۱	۳/۹۳	۳
۱۸۰۰-۲۲۰۰	۵۳۰۴۰/۵	۰/۹۱	۴
۲۲۰۰-۲۶۰۰	۱۴۴۲۶/۷	۰/۲۵	۵
۲۶۰۰-۳۰۰۰	۱۸۴۰	۰/۰۳	۶

از نظر جهت، بالغ بر ۴۷ درصد منطقه، وضعیتی با حساسیت اکولوژیک بالا و کد آسیب‌پذیری ۳ دارد (شکل ۴ و جدول ۸). بنابراین عامل اکولوژیک جهت در منطقه مطالعاتی از حساسیت اکولوژیک نسبتاً زیادی برخوردار است.



شکل (۵): نقشه آسیب پذیری عامل عمق خاک در طبس
Figure (5): Vulnerability Map of Soil Depth in Tabas



شکل (۴): نقشه آسیب پذیری عامل جهت شیب در طبس
Figure (4): Vulnerability Map of Aspect in Tabas

عامل مقاومت سنگ بستر

لایه مواد مادری، مستخرج از نقشه زمین شناسی محدوده طبس، از ۸۱ جنس مختلف تشکیل شده است. این لایه براساس مقاومت سنگ شناسی در ۵ کلاس خیلی حساس (۱۳/۸ درصد)، حساس (۳۷/۷ درصد)، متوسط (۲۰ درصد)، سخت (۶/۴ درصد) و خیلی سخت (۲۱/۸ درصد) به ترتیب با کد آسیب پذیری ۵، ۴، ۳، ۲ و ۱ طبقه بندی شد. بیشترین سطح با ۲۲۰۳۹۳۲/۳ هکتار (۳۷/۷ درصد) دارای کد آسیب پذیری ۴ و در طبقه حساس قرار دارد. بنابراین منطقه حساسیت اکولوژیکی زمین شناسی فراوانی دارد که نشانگر حساسیت و تأثیر بیشتر این عامل در شهرستان طبس است (شکل ۶ و جدول ۱۰).

جدول (۱۰): عامل اکولوژیک سنگ بستر و کد آسیب پذیری آن
Table (10): Ecological Factor of Bed Rock and its Vulnerability

کد آسیب پذیری	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	مقاومت سنگ بستر
۵	۱۳/۸۲	۸۰۸۳۸۱/۸	خیلی حساس
۴	۳۷/۷	۲۲۰۳۹۳۲/۳۶	حساس
۳	۲۰/۱۹	۱۱۷۹۷۲۱/۱۶	متوسط
۲	۶/۴۳	۳۷۵۶۲۶/۳۵	سخت
۱	۲۱/۸۲	۱۲۷۵۰۹۷/۵	خیلی سخت

جدول (۸): عامل اکولوژیک جهت شیب و کد آسیب پذیری آن
Table (8): Ecological Factor of Aspect and its Vulnerability Code

جهت	آزیموت (درجه)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	کد آسیب پذیری
دشت	>۰	۸۸۵۳۲/۸	۱/۵	۱
شمال	۰ - ۴۵	۷۴۰۶۵۶/۳	۱۲/۶	۳
شرق	۴۵ - ۱۳۵	۱۳۹۳۲۳۰/۳	۲۳/۸	۳
جنوب	۱۳۵ - ۲۲۵	۱۵۲۷۹۷۲/۲	۲۶/۱	۲
غرب	۲۲۵ - ۳۱۵	۱۴۶۱۵۶۳/۱	۲۵/۱	۲
شمال	۳۱۵ - ۳۶۰	۶۲۸۸۰۴/۶	۱۰/۷	۳

عامل عمق خاک

از نظر عمق خاک، منطقه در قالب ۳ طبقه شامل ۰-۱۰، ۱۰-۲۵ و ۲۵-۲۹/۲ سانتیمتر به ترتیب با کد آسیب پذیری ۵، ۴ و ۳ پهنه بندی شد. بر این اساس، ۸۶/۵ درصد مساحت منطقه (۵۰۵۶۱۲۴/۱ هکتار) دارای خاک کم عمق (۰-۱۰ سانتی متر) است. تنها در کمتر از ۰/۱ درصد منطقه (۴۶۹۲/۵ هکتار) خاک با عمق ۲۵-۱۰ سانتی متر مشاهده شد که در کد آسیب پذیری ۴ قرار می گیرد (شکل ۵ و جدول ۹).

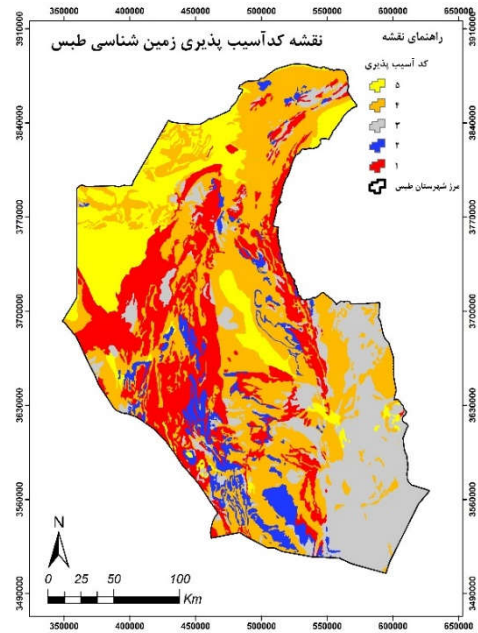
جدول (۹): عامل اکولوژیک عمق خاک و کد آسیب پذیری آن
Table (9): Ecological Factor of Soil Depth and its Vulnerability

عمق خاک (سانتیمتر)	درصد مساحت	مساحت (هکتار)	کد آسیب پذیری
۰-۱۰	۸۶/۵۵	۵۰۵۶۱۲۴/۱۵	۵
۱۰-۲۵	۱۳/۳۷	۷۸۰۹۳۲/۰۵	۴
۲۵-۲۹	۰/۰۸	۴۶۹۲/۵	۳



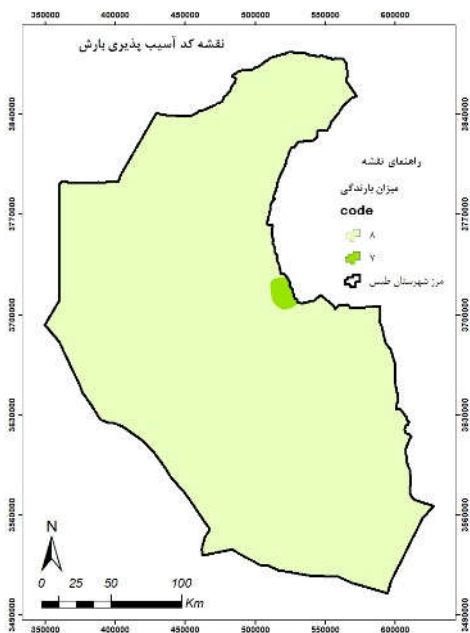
شکل (۷): نقشه آسیب پذیری عامل دما در طبس

Figure (7): Vulnerability Map of Temperature in Tabas



شکل (۶): نقشه آسیب پذیری عامل سنگ بستر در طبس

Figure (6): Vulnerability Map of Bed Rock in Tabas



شکل (۸): نقشه آسیب پذیری عامل بارش در طبس

Figure (8): Vulnerability Map of Percipitation in Tabas

جدول (۱۱): عامل اکولوژیک بارش و کد آسیب پذیری آن

Table (11): Ecological Factor of Percipitation and its Vulnerability Code

بارش (میلیمتر)	مساحت (هکتار)	درصد	کد آسیب پذیری
۱۸۵ - ۸۰/۶	۵۸۱۰۸۲۱/۸	۹۹/۴۷	۸
۱۸۵ - ۲۳۰	۳۰۸۴۴/۶	۰/۵۳	۷

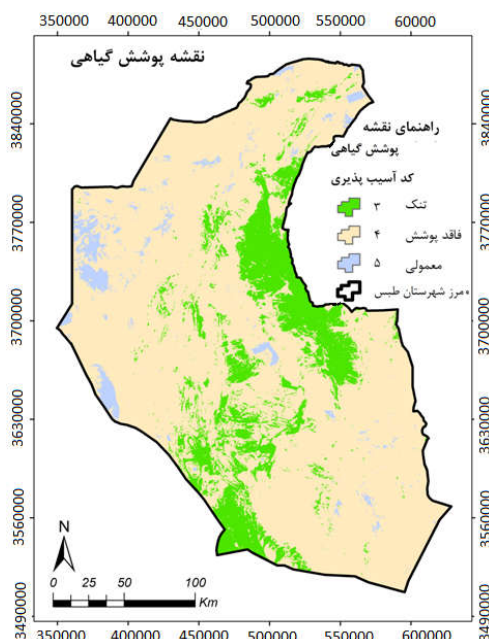
عوامل اقلیمی

اقلیم منطقه دربرگیرنده آب و هوای خشک است. متوسط دمای سالانه در طول دوره آماری ۲۱/۶ درجه سانتی گراد و میانگین بارندگی سالانه ۸۴ میلی متر برآورد شده است. بنابراین، عامل اکولوژیکی دما و بارش از فاکتورهای تأثیرگذار بر محدودیت های اکولوژیکی در شهرستان طبس هستند. با توجه به لایه دمایی در این مطالعه، بیشترین سطح منطقه با وسعت ۵۸۴۱۷۳۳ هکتار، در کلاس دمایی بالای ۱۵ درجه سانتیگراد و کد آسیب پذیری یک قرار گرفته است (شکل ۷).

عامل اکولوژیکی بارش تنها در دو کلاس قرار گرفت که بیشترین وسعت (۵۸۱۰۸۲۱/۸ هکتار) به کلاس ۱۸۵-۸۰/۶ میلی متر با کد آسیب پذیری ۸ تعلق دارد. در مقابل کمترین وسعت (۳۰۸۴۴/۶ هکتار) نیز مربوط به کلاس ۱۸۵-۲۳۰ میلی متر با کد آسیب پذیری ۷ است که در حاشیه شرقی منطقه قرار دارد. بنابراین عامل اقلیمی بارندگی در منطقه دارای حساسیت اکولوژیکی بیشتری نسبت به دما است (شکل ۸ و جدول ۱۱).

عامل پوشش گیاهی

پوشش گیاهی از عوامل بسیار تأثیرگذار بر محدودیت‌های اکولوژیکی است. در این پژوهش برای بررسی این عامل، شاخص NDVI ملاک عمل قرار گرفت. نقشه NDVI و تراکم پوشش گیاهی طبس نشان داد که بیشترین وسعت منطقه ۴۷۰۴۳۶۸/۵ هکتار در کلاس ۰/۱-۰/۰۵ با پوشش گیاهی بسیار تنک و کد آسیب‌پذیری ۴ قرار دارد. بیشترین تراکم پوشش گیاهی نیز در کلاس ۰/۴۶-۰/۱ با وسعت ۹۳۷۶۹۷/۵ هکتار در حاشیه شرقی و نواحی جنوب‌غربی با پوشش معمولی و کد آسیب‌پذیری ۵ هستند (شکل ۹ و جدول ۱۲).



شکل (۹): نقشه آسیب‌پذیری پوشش گیاهی در منطقه طبس
Figure (9): Vulnerability Map of Vegetation in Tabas

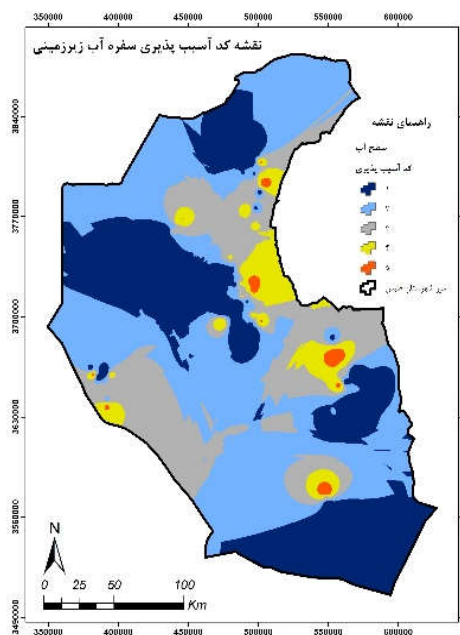
جدول (۱۲): عامل اکولوژیک پوشش گیاهی و کد آسیب‌پذیری آن

طبقه NDVI	کلاس پوشش	مساحت (هکتار)	درصد	آسیب‌پذیری
۰/۱۹-۰/۰۵	فاقد پوشش	۱۹۹۲۴۶/۰۲	۳/۴۱	۵
۰/۱-۰/۰۵	تنک	۴۷۰۴۳۶۸/۵۷	۸۰/۵۲	۴
۰/۴۶-۰/۱	معمولی	۹۳۷۶۹۷/۵۲	۱۶/۰۵	۳

عوامل کیفیت و عمق آب زیرزمینی

نتایج بررسی عامل اکولوژیک عمق آب زیرزمینی نشان داد که سطح آب زیرزمینی با ۵ کلاس از ۲ تا ۱۰۹ متر متغیر است. بیشترین سطح منطقه با ۴۱/۷۵ درصد وسعت در کلاس ۲ با

عمق ۲۶-۳۳ متر قرار دارد. علاوه بر آن کلاس ۲-۲۶ متر با کد آسیب‌پذیری ۱، ۳۰/۵۸ درصد از منطقه را در بر گرفته است (جدول ۷). این دو کلاس نواحی شمالی تا جنوب منطقه را تحت پوشش قرار داده‌اند که نشان می‌دهد عامل عمق آب زیرزمینی، بر محدودیت‌های اکولوژیکی مؤثر است (شکل ۱۰ و جدول ۱۳).



شکل (۱۰): نقشه آسیب‌پذیری عمق آب زیرزمینی در منطقه طبس
Figure (10): Vulnerability Map of Groundwater Depth in Tabas

جدول (۱۳): عامل اکولوژیک عمق آب زیرزمینی و کد آسیب‌پذیری

عمق آب (متر)	مساحت (هکتار)	درصد	کد آسیب‌پذیری
۲-۲۶	۱۷۸۶۵۶۸/۲	۳۰/۵۸	۱
۲۶-۳۳	۲۴۳۸۶۸۸/۶	۴۱/۷۵	۲
۳۳-۴۲	۱۲۵۱۹۳۹/۵	۲۱/۴۳	۳
۴۲-۵۸	۳۲۷۰۱۴/۵	۵/۶	۴
۵۸-۱۰۹	۳۷۶۴۱	۰/۶۴	۵

مطالعه کیفیت آب نیز نشانگر طبقه‌بندی EC به ۵ کلاس، از ۳۸۷ تا ۲۰۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و با کد آسیب‌پذیری ۱ تا ۵ است. بر اساس این طبقه‌بندی، بیشترین سطح از منطقه در کلاس ۳۸۷-۲۷۷۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و با کد آسیب‌پذیری ۱ قرار دارد که ۲۸۶۲۷۷۳/۴۶ هکتار از وسعت منطقه را پوشش می‌دهد. بیشترین مقدار EC

جدول (۱۴): عامل اکولوژیک کیفیت آب (EC) و کد آسیب پذیری

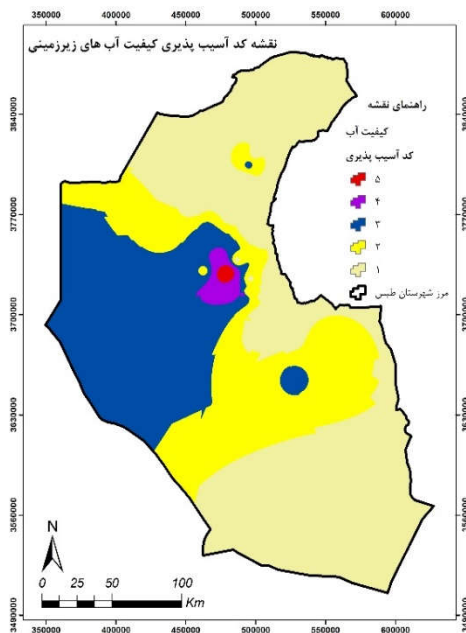
Table (14): Ecological Factor of EC and its Vulnerability Code

کلاس EC (میکرو ...)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	کد آسیب پذیری
۳۸۷-۲۷۷۱	۲۸۶۲۷۷۳/۴۶	۴۹/۰۱	۱
۲۷۷۱-۴۳۰۹	۱۳۸۲۹۴۵/۹۷	۲۳/۶۷	۲
۴۳۰۹-۶۵۴۰	۱۵۱۵۴۲/۰۲	۲۵/۹۵	۳
۶۵۴۰-۱۱۰۷۷	۶۸۷۲۸/۳۹	۱/۱۸	۴
۱۱۰۷۷-۲۰۰۰۰	۱۱۵۵۳/۰۸	۰/۲	۵

تعیین حساسیت اکولوژیکی منطقه مطالعاتی

بر اساس نمودار سیستم ادراکی محیط زیست و انطباق یا عدم انطباق، در محل هایی که عوامل اکولوژیک با هم ارتباط دارند، عددهای یک و صفر درج شده است. با محاسبه مجموع ردیف ها و ستون ها و تفریق حاصل جمع ستون ها از حاصل جمع ردیف های متناظر اهمیت عوامل اکولوژیکی مورد مطالعه به دست آمد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین درجه اهمیت به ترتیب با مقادیر ۷ و ۰ به عوامل اکولوژیکی کیفیت آب و بارش اختصاص دارد (جدول ۱۵).

نیز در کلاس ۱۱۰۷۷-۲۰۰۰۰، با کد آسیب پذیری ۵، تنها ۰/۲ درصد منطقه مطالعاتی را در بر گرفته است و تنها در نواحی مرکزی مشاهده می شود (شکل ۱۱ و جدول ۱۴).



شکل (۱۱): نقشه آسیب پذیری کیفیت آب (EC) در منطقه طبس

Figure (11): Vulnerability Map of Water Quality EC in Tabas

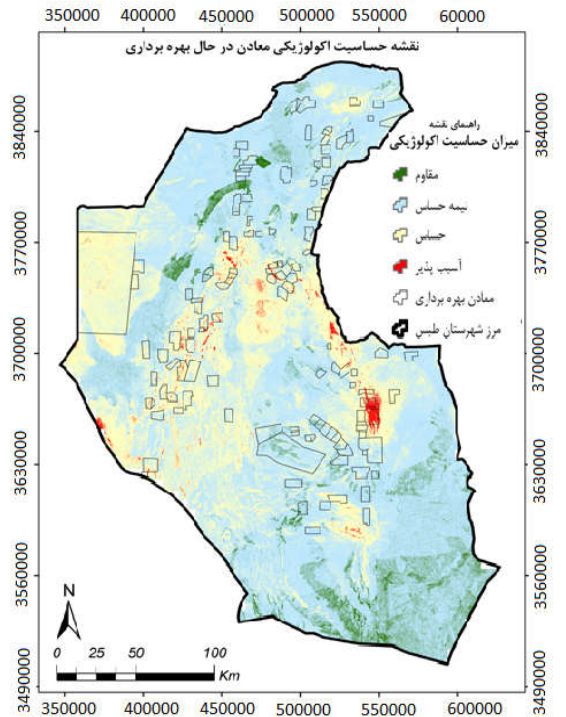
جدول (۱۵): تحلیل نمودار ادراکی سیستم محیط زیست به روش تحلیل ماتریسی و درجه اهمیت عوامل

Table (15): Analysis of Environmental System Conceptual Diagram by Matrix Analysis Method and Factors Significance Degree

عوامل	شیب	جهت ارتفاع	سنگ بستر	عمق خاک	پوشش گیاهی	بارش دما	عمق آب زیرزمینی	کیفیت آب	جمع ردیف ها	درجه اهمیت عامل
شیب	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۴	۴-
جهت	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۴	۴-
ارتفاع	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۵	۵-
سنگ	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۴	۴-
عمق خاک	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۳
پوشش گیاهی	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۴	۱
بارش	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۳	۰
دما	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲
عمق آب زیرزمینی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۳
کیفیت آب زیرزمینی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷
جمع ستون ها	۰	۰	۰	۴	۵	۳	۴	۷	---	---
درجه اهمیت عوامل	۴	۴	۵	۴	۳	۰	۳	۷	---	---

حدی یا بحرانی خود نزدیک شود، آسیب پذیری آن اکوسیستم بیشتر می شود. نتایج نشان داد بیشترین مقدار آسیب پذیری اکولوژیکی برابر ۱۳۵ و کمترین مقدار آن ۴۷ است، بنابراین

در این پژوهش بر اساس روش عینت گرایمی، میزان آسیب پذیری اکولوژیکی بر مبنای اصل مقادیر حدی تعیین شد. بر مبنای این روش هرچه مقدار عامل اکولوژیکی به مقادیر



شکل (۱۳): نقشه حساسیت اکولوژیکی معادن در حال بهره برداری
Figure (13): Map of Ecological Vulnerability for Mines under Extraction

جدول (۱۶): درصد اراضی و معادن در طبقات حساس اکولوژیکی
Table (16): Percentage of Land and Mines in Ecologically Sensitive Classes

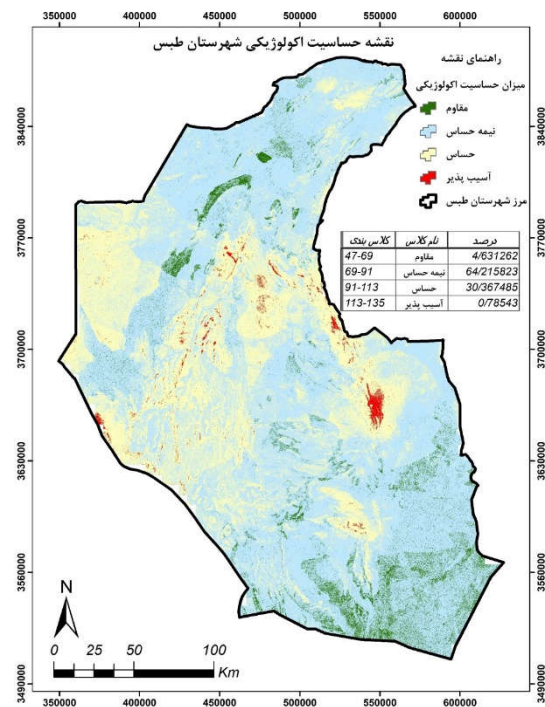
مقدار حساسیت	نوع حساسیت	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	مساحت معادن
۴۷-۶۹	مقاوم	۲۷۰۵۴۷/۸۳	۴/۶۳	۹۸۷۴/۵۹
۶۹-۹۱	نیمه حساس	۳۷۵۱۳۴۲/۸۲	۶۴/۲۱	۳۱۱۱۲۵/۶۶
۹۱-۱۱۳	حساس	۱۷۷۳۹۹/۶۱	۳۰/۳۶	۳۴۶۹۲۲
۱۱۳-۱۳۵	آسیب پذیر	۴۵۸۸۳/۰۴	۰/۷۸	۱۱۶۵۷/۶۹

بحث و نتیجه گیری

معدن کاری یکی از فعالیت های مهم در محدوده شهرستان طبس است که تأثیرات بسیاری روی محیط اطراف و شکل زمین گذاشته و این تغییرات باعث تخریب اکولوژیکی شده است. به طور کلی توپوگرافی، بارش، دما، پوشش گیاهی، ویژگی های خاک و آب عوامل کلیدی اکولوژیکی در این منطقه هستند که تأثیرپذیری آنها از فعالیت های معدن کاری با روش های تحلیل مکانی و فضایی ارزیابی گردید.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد عوامل اکولوژیکی شیب و جهت دامنه حساسیت بیشتری نسبت به ارتفاع در منطقه دارد. طالکویی و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی عوامل

طبقه بندی شاخص آسیب پذیری اکولوژیک منطقه به چهار دسته مقاوم (۴۷-۶۹)، نیمه حساس (۶۹-۹۱)، حساس (۹۱-۱۱۳) و آسیب پذیر (۱۱۳-۱۳۵) تقسیم شد (شکل های ۱۲ و ۱۳ و جدول ۱۶). بر اساس نتایج، مقدار وسعت اراضی کلاس مقاوم ۴/۶ درصد (۳۷۰۵۴۷/۸ هکتار)، نیمه حساس ۶۴/۲ درصد (۳۷۵۱۳۴۲/۸ هکتار)، حساس ۳۰/۳۶ درصد (۱۷۷۳۹۹۹/۶) و آسیب پذیر کمتر از ۱ درصد (۴۵۸۸۳ هکتار) از سطح کل منطقه را پوشش می دهد. در نتیجه بیشترین درصد (۶۴/۲) از منطقه طبس در طبقه نیمه حساس قرار دارد و تنها بخش جزئی آن (۴/۶ درصد) در مناطق شمالی طبس، دارای طبقه اکولوژیکی مقاوم است. از تلافی محدوده معادن در حال بهره برداری با لایه حساسیت اکولوژیکی منطقه مشخص گردید که اکثر معادن شهرستان طبس، در مناطق نیمه حساس و حساس با ۴۵/۸ درصد و سطحی معادل ۳۱۱۱۲۵/۶ هکتار واقع شده است. در نتیجه نواحی جنوبی شهرستان بیشترین مقاومت و ناحیه ای کوچک در مرکز و شرق منطقه حداکثر آسیب پذیری را دارند.



شکل (۱۲): نقشه حساسیت اکولوژیکی شهرستان طبس
Figure (13): Ecological Vulnerability Map of Tabas County

اکولوژیکی مخرب در حوضه ذلیکان رود نشان دادند که شیب آسیب پذیری و حساسیت قابل توجهی دارد. در مجموع، دو عامل عمق خاک و مقاومت سنگ بستر که از تنوع بیشتری نسبت به سایر عوامل در سطح منطقه برخوردار هستند و بیشترین محدودیت اکولوژیکی را دارند. همچنین در این عرصه، به دلیل حساسیت بالای خاک، امکان فرسایش زیاد است و بایستی در طی مراحل مدیریت محیط زیست ضمن معدن کاری به فرسایش خاک توجه ویژه شود؛ به خصوص در نواحی با پوشش گیاهی ضعیف و یا اراضی بایر به طور گسترده محدودیت وجود دارد. علاوه بر این با کاهش پوشش گیاهی آسیب پذیری در این مناطق بیشتر می شود. در نواحی شرقی و جنوب غربی شهرستان طبس درصد پوشش گیاهی بیشتر و کلاس آسیب پذیری آنها حساس است. در مقابل مناطق جنوبی شهرستان نسبت به شمال آن، مقاوم تر بوده ولی سطح آن ها کم و پراکنده هستند. پیش بینی می شود در نواحی غرب و مرکز شهرستان به دلیل تراکم ناچیز پوشش گیاهی، محدودیت های اکولوژیکی بیشتر شود. در نتیجه تخریب اکوسیستم نیز بیشتر به وجود خواهد آمد. در مجموع هر اندازه از میزان تراکم پوشش گیاهی کاسته شود، آسیب پذیری اکولوژیک اکوسیستم نیز افزایش می یابد. زیرا اکوسیستم به عواملی که در آن ایجاد اختلال می کنند مانند بارندگی که عامل بسیار مهم در افزایش تراکم پوشش گیاهی و فرسایش خاک به حساب می آید، حساس تر می شود. اکبری و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی حساسیت پارامترهای مؤثر در بیابان زایی در جنوب شهرستان نیشابور، نشان دادند که اثرات وضعیت و درصد پوشش گیاهی در این منطقه غیر قابل اغماض است که باید مورد توجه قرار گیرد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. به طور کلی، بررسی و تطبیق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با دیگر مطالعات انجام شده، مؤید تطبیق نسبی نتایج با پژوهش های گذشته است؛ مانند وز^۱ (۲۰۱۶) و ژانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۲) که با بهره گیری از روش های ارزیابی اکولوژیکی محیطی نشان دادند کیفیت محیطی مهم ترین شاخصی است که بر توسعه پایدار شهرهای معدنی

اثر می گذارد. گالاس و گالاس^۳ (۲۰۱۶) با ارزیابی حساسیت های اکولوژیکی مناطق خشک در عرصه های معدن کشور لهستان، نشان دادند که اثرات زیست محیطی این کشور، از معیارهای متعددی برخوردار بوده و آسیب پذیری محیطی را بایستی با عوامل متعدد اقلیمی، زمین شناسی، پوشش گیاهی و غیره بررسی کرد. نتایج بررسی اسار و دارکوه^۴ (۲۰۱۳) در عرصه های معدن کاری بوستون، حاکی از آثار منفی و زیان بار زیست محیطی است. مطالعات چانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۸) در ارزیابی پروژه های محیط زیستی چین، نشان داد که برخی از عوامل مانند پوشش گیاهی، تا حدود زیادی محدودیت و اثر بخشی ارزیابی های زیست محیطی را تحت تأثیر قرار می دهد.

بنابراین بدیهی است اتخاذ تصمیم های فوری حفاظت از سطوح دارای حساسیت برای جلوگیری از تخریب در اراضی در زمان استخراج و بهره برداری معدن امری ضروری است. بر این اساس، فعالیت های انسانی را می توان عامل اصلی و مهم تغییر در اکوسیستم قلمداد کرد. در هر اکوسیستم نیاز است با اقدامات مدیریتی کنترل شده، نظیر جلوگیری از چرای مفرط، قطع درختان و آتش سوزی بتوان آن را در حالت تعادل پویا نگه داشت. در عرصه های معدن نیز لازم است تغییرات را با رعایت شرایط اکولوژیکی هر منطقه انجام داد تا ضمن برآورده شدن اهداف معدن کاری، مانع از برهم خوردن تعادل پویا در محیط زیست شد. از این رو، بایستی درباره اثرات اکولوژیکی فعالیت های گوناگون انسانی و یا پروژه های عمرانی و معدن کاری، پژوهش های لازم صورت گیرد تا با شناخت پیامدهای ناشی از آن ها، زمینه مدیریت درست در اکوسیستم ها فراهم شود. به علاوه پیشنهاد می شود تا جایی که امکان دارد سعی شود از روش های استخراجی استفاده شود که کمترین آسیب را به محیط زیست می رسانند.

3. Gałaś & Gałaś
4. Asar & Darkoh
5. Chang

1. Vaz
2. Zhang

مراجع

- Asare, B.K., Darkoh, M.B.K., 2013. Socio-economic and environmental impacts of mining in Botswana: a case Study of the Selebi-Phikwe Copper-Nickel Mine. *Eastern Africa Social Science Research Review*, 17(2): 1-42.
- Abdi Nezhad, J., 2007. Investigation and Preparation of Desertification Map based on IMDPA Model with Emphasis on Two Criteria of Water and Soil (Abu Zaid Abad region). MSc Thesis, School of Natural Resources, Tehran University.
- Akbari, M., Ra'naee, E., Badiee Nemeghi, S.H., 2010. Sensitivity Evaluation of Input Parameters in Desertification Situation Using Artificial Neural Network Model. *Journal of Water and Soil (Agricultural Industries and Sciences)*, 25 (2) 398-410.
- Bashari, H., 2010. Application of Ecosystem Function Analysis Method to Evaluate Destructive Effects and Changes Due to Mining Remediation. *Journal of Environment and Development*, 2(1), 49-57.
- Chang, I., Wenqi, M., Wing, W., Yuhong, S., Rong, H., 2018. Environmental impact assessment follow-up for projects in China: Institution and practice, *Environmental Impact Assessment Review*, 73(1): 7-19.
- Galaś, S., Galaś, A., 2016. The qualification process of mining projects in environmental impact assessment: Criteria and thresholds, *Resources Policy*, 44(1): 204-212.
- Hong, J., Riley, E., Harris, 2017. Sensitivity evaluation and land-use control of urban ecological corridors: A case study of Shenzhen, China. *Land Use Policy*, 62: 316-325.
- Jabbarian Amiri, B., 1996. Assessment of the Environmental Impact of Development in Amir Kabir Dam Area Using Environmental Degradation Model with Emphasis on Computer Programming. MSc Thesis, School of Environment, Tehran University, 102.
- Jabbarian Amiri, B., 1998. Introducing an Object-Oriented Method to Determine Ecological Vulnerability. *Journal of Ecology*, (24), 57-68.
- Jabbarian Amiri, B., 2014. Evaluation of Environmental Effects, Tehran University, Publishing Institute, 3469 (1), 1-55.
- Khorasani Alamdari, M., Babapoor, M., Hosseinpour, H., Shariati, F., 2012. Investigating environmental Effects of Iranian Mines. First National Conference of Environmental Conservation and Planning, Hamedan, Islamic Azad University of Hamedan, Tomorrow Environmentalists Co.
- Kairis, C., Kosmas, Ch., Karavitis, C., Ritsema, L. Salvati, S., Acikalin, M., Alcalá, P., Alfama, 2013. Effect of coal mining collapses of the Daliuta coal mine on land desertification. *Ecology applications*. 5 (15): 74-65.
- Mancini, L., Sala, S., 2018. Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy*, 57(1): 98-111.
- Ra'ooof Delgosha, S., 2013. Determination of Desertification Intensity of Bafgh Choghart Ore Margin Using Vegetation Criterion in IMDPA Model, MSc Thesis, Public, Ministry of Science, Research, and Technology, Yazd University, School of Agriculture and Natural and Agricultural Resources.
- Sotoohian, F., Ranjbaran, M., Sharifi, S., 2013. Assessment of Environmental Impact of Mine Extraction with Special Attitude to Mines in Guilan Province. The Second National Conference on Environmental Conservation and Planning, Hamedan, Tomorrow Environmentalists Co.
- Shokoofe, N., 2000. Assessing the Impact of Mining and Metal Activities on the Environment. The Third Conference on Safety, Health and Environment in Mines and Mining Industries, Tehran, National Steel Company of Iran, East Alborz Coal Company.
- Talkoee Kazemi, A., Joar Gholami, M., Fegghi, J., 2018. Ecological Capacity of Land Use Based on Hydrological Response Units and Vulnerability Assessment for Sustainable Operation of Forest Watershed (Case Study: Zilki Rood Watershed of Guilan). *Jungle and Wood Products, Journal of Iranian Natural Resources*, 72 (1), 33-45.
- Tibbet, M., 2015. Mining in ecologically sensitive landscapes: concepts and challenges. CSIRO Publishing, 286 pages.
- Tibbet, M., 2010. Large-scale mine site restoration of Australian eucalypt forest after bauxite mining: soil management. In *Ecology of industrial pollution*. (Eds LC Batty & K Hallberg). Cambridge University Press, UK.
- Zhang, Y., Sun, Y., Qin, J., 2012. Sustainable development of coal cities in Heilongjiang province based on AHP method. *International Journal of Mining Science and Technology*, 22(1): 133-137.
- Vaz, E., 2016. The future of landscapes and habitats: The regional science contribution to the understanding of geographical space. *Habitat International*, 51(1): 70-78.

Ecological Vulnerability Assessment of Mining Areas under Operation (Case Study: Tabas County)

Seyed Mohammad Mahdi Mousavian¹, Abbas Ali Vali^{2*}, Sayyed Hojjat Mousavi³

Received: 11/10/2019

Accepted: 18/01/2020

Extended Abstract

Introduction: Mining is one of the most effective human activities to change the situation in the region, particularly in arid area. The human demand for minerals and energy resources under the ground has made mining and exploration operations inevitable. Mining is one of the common human behaviors with numerous outcomes for the ecosystem along with serious environmental and ecological consequences in natural ecosystems such as desert areas, leading to positive and negative changes in these areas.

Materials and methods: In this study, it has been sought to assess the ecological vulnerability of mining areas of Tabas using environmental degradation model. The current applied research methodology is based on spatial data analysis and spatial analysis tools in ArcGIS software environment. In this regard, altitude, direction and slope maps were extracted from ASTER, while NDVI map was extracted from MODIS to determine vegetation vulnerability. In the next step, necessary corrections, drawings and analyses were performed. Isothermal maps were used to produce climatic maps for the temperature factor and the border and coastal zone stations were considered for the precipitation factor. Soil maps were obtained from soil map files, while geological maps were taken from geological map files at a scale of 1:100000 and groundwater maps were used from baseline data of regional water stations. To quantify environmental degradation phenomena, severity and degree of ecosystem vulnerability, an environmental degradation model is developed. This model is one of the methods of modeling system analysis, introduced for the conditions of Iran.

Result: The results of the analysis and summarization of the data from the study area elevation map show that the highest level is related to Class 1 and less than 1000 m (66%) and the second level is Class 2 with 28.77% of the study area is located. As more than 94% of the area is covered by one or two vulnerabilities. Therefore, the ecological factor of elevation in the region is not very sensitive. While regarding the factor of slope, 45.69% of the area was in the vulnerability codes of 2 and 3. Moreover, considering the geographic direction, over 47% of the area had high ecologic vulnerability and was placed in code of 3, while 86.55% of the area with a depth of less than 10 cm was in code5 regarding the factor of soil. In addition, 71.71% of the area was in vulnerability codes of 3, 4 and 5 regarding geological factors and 100% of the area was put in vulnerability code of 1 with average annual temperature of over 15 degrees Celsius for the factor of temperature. Regarding precipitation, 99.47% of the area had the vulnerability code of 8, while vegetation and low NDVI indicator of the area led to a vulnerability code of 4. Most of the area is located in the first class of EC (387-771 microseconds) with a vulnerability code 1. This code covers about half of the area. Finally, 99% and 98% of the area were assigned vulnerability codes of 1, 2 and 3 considering the depth and quality of underground water, respectively. The scope

1. Ph.D. of Combat Desertification, Department of Desert Engineering, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, Iran

2. Associate Professor of Desert Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, Iran, vali@kashanu.ac.ir

3. Assistant Professor of Geography and Ecotourism Department, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, Iran

DOI: 10.22052/deej.2018.7.25.45

of ecologic vulnerability in the overall area under study, 62.21% of the area was in vulnerability code of 2, and 30.36% in vulnerability code of 3. Accordingly, 11.6% of the area under study which covered 679579.9 acres was exploited for mining, out of which 658047.6 acres were located in vulnerable and semi-vulnerable ecologic areas with vulnerability codes of 2 and 3.

Discussion and Conclusion: In the present study, soil and geological factors have the most ecological limitations. In this area, due to the high sensitivity of the soil, the possibility of erosion is high and special attention should be paid to soil erosion during the environmental management process. Particularly in areas with low vegetation or barren land, there is a wide range of restrictions. In addition, the vulnerability of these areas increases with decreasing vegetation density. The percentage of vegetation in the eastern and southwestern districts of Tabas is higher and with a sensitive vulnerability class. The southern areas of the city are more resistant than the north, but are scattered and scattered. So, ecological restrictions are expected to increase in the western and central parts of Tabas County due to the low density of vegetation. So there will be more destruction and erosion. Obviously, urgent decisions to protect sensitive areas to prevent damage to land during extraction and operation are essential. Therefore, the mining areas in Tabas County need special management attention. The mine exploitation area comprises 62% of the study area, most of which is located in sensitive and semi-sensitive classes with vulnerability codes 2 and 3. Also, soil and geological factors with the highest ecological limitation are more diverse than other factors in the region. Therefore, due to the high sensitivity of the soil and the possibility of erosion, especially in areas with low vegetation cover or desolate areas (eastern and southwestern areas) as if are most vulnerable, special attention should be paid to erosion during the mining process.

Keywords: Mining, Vegetation percentage, Topographic factors, Arid and desert areas, Tabas.