

## پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اکولوژیکی استان کرمان برای توسعه پایدار صنعت با استفاده از روش AHP

سوسن سلاجقه<sup>۱</sup>، حمیدرضا جعفری<sup>۲\*</sup>، شراره پورابراهیم<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

### چکیده

در این پژوهش و در راستای توسعه پایدار صنعت در استان کرمان، آسیب‌پذیری اکولوژیکی این استان مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین در ابتدا لایه‌های اطلاعاتی موجود (شیب، ارتفاع، عمق خاک، جنس سنگ، دوری و نزدیکی به گسل، سیل خیزی و پوشش زمین) بر اساس نظر کارشناسی از لحاظ میزان حساسیت به آسیب‌پذیری کدگذاری شده و در گام بعدی همه لایه‌های مربوط، در محیط ArcGIS بر اساس زمینه کد تعلق گرفته به آن‌ها، تبدیل به نقشه‌هایی با فرمت رستر با یک شبکه یکنواخت با وضوح ۱۰۰ متر شدند. سپس با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی لایه‌ها وزن‌دار شده و در نهایت با یکدیگر تلفیق شدند. نتایج نشان داد که حدود ۴/۷ درصد استان کرمان آسیب‌پذیر با شدت زیاد و خیلی زیاد می‌باشد که دلیل عمده این امر وجود ارتفاعات، گسل‌ها و عمق خاک نامناسب منطقه است. همچنین در بررسی شهرستان‌ها مشخص شد که در بین شهرستان‌های استان کرمان، شهرستان جیرفت نسبت به مساحت دربرگیرنده، بیشترین آسیب‌پذیری را دارد که علت این امر وجود چندین گسل، ارتفاعات و شیب زیاد منطقه است. بنابراین باید در برنامه‌ریزی‌های آتی به این امر توجه ویژه شود.

**واژه‌های کلیدی:** آسیب‌پذیری اکولوژیکی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، GIS، صنعت، کرمان، توسعه پایدار.

۱. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲. استاد گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران؛ [hjafari@ut.ac.ir](mailto:hjafari@ut.ac.ir)

۳. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

## مقدمه

نظر به درخواست‌های مکرر برای استقرار کاربری صنعتی در مناطق محروم و نیازمند اشتغال و با توجه به آسیب‌پذیر بودن این مناطق و محدودیت‌های منابع (به‌خصوص آب) که امکان توسعه را محدود می‌سازد، ضرورت برنامه‌ریزی جامع و یکپارچه با هدف حفظ منابع در کنار تعیین آسیب‌پذیری سیستم اکولوژیک کاملاً ضروری است.

آسیب‌پذیری افراد و مکان‌ها پدیده پیچیده‌ای است که در طول یک تاریخ طولانی مدت بین انسان‌ها و محیط به دست آمده است (لوئر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). مفهوم آسیب‌پذیری ممکن است به‌عنوان احتمال آسیب یک جامعه، ساختار، خدمات، یا یک ناحیه جغرافیایی باشد که می‌تواند توسط یک خطر خاص تخریب یا لطمه ببیند (توین و مونتز<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷). آسیب‌پذیری تعریفی متشکل از عناصر گوناگون است اما به زبان ساده نشان‌دهنده احتمال ایجاد روند منفی برای یک شرایط مناسب فعلی در آینده می‌باشد (برادلی و اسمیت<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴). همچنین واژه آسیب‌پذیری اکولوژیکی به‌عنوان یک ضعف مقاومت اکوسیستم در پاسخ به مداخلات خارجی است (برویا-ایتنر<sup>۴</sup>، ۲۰۱۶؛ چیو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

ارزیابی جامع و کمی آسیب‌پذیری محیط‌زیست اکولوژیکی و تجزیه و تحلیل تغییرات پویا در درازمدت برای فهم تغییرات محیط‌زیست اکولوژیکی، مدیریت منابع و محیط‌زیست و ارزیابی اثربخشی اقدامات برنامه‌ریزی شده و حفاظت بسیار مهم است (نگوین<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). با وجود این، ارزیابی آسیب‌پذیری محیط‌زیست در مناطق بزرگ یک فرایند پیچیده و دشوار است؛ زیرا توسط متغیرهای زیادی مانند آب و هوا، توپوگرافی، منابع زمین و فعالیت‌های انسانی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (نگوین و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این، ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی فرایندی بسیار پیچیده است و در حال حاضر

هیچ استاندارد بین‌المللی شناخته‌شده یا قاعده‌ای وجود ندارد که تعیین کند چه تعداد و چه پارامترهایی بایستی انتخاب شوند تا ویژگی‌های آسیب‌پذیری اکولوژیکی را به‌طور کامل نشان دهند (هی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۸).

روش‌های گوناگونی برای ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی به کار می‌رود؛ این روش‌ها عبارت‌اند از: ارزیابی جامع فازی (وانگ<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۸)، ارزیابی شبکه عصبی مصنوعی (پارک<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۴)، ارزیابی تغییرات پوشش زمین (سویتنام<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۱)، ارزیابی سیمای سرزمین (اسپینال و پیرسون<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۰)، روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (لی<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۶)، و تکنیک تحلیل فرایند سلسله‌مراتبی (AHP)<sup>۱۳</sup> که یکی از رایج‌ترین ابزارهای ارزیابی است (دبویاک<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ لی و همکاران، ۲۰۰۹؛ یینگ<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). روش AHP شامل انتخاب متغیرها در سلسله‌مراتب تصمیم، ایجاد مقایسه بین جفت‌های ممکن در یک ماتریس برای وزن‌دهی به هر متغیر و محاسبه نرخ سازگاری<sup>۱۶</sup> به‌منظور شناخت تناقضات و ناسازگاری‌های احتمالی در ماتریس مقایسات زوجی است. در این فرایند، ارزیابی‌های ذهنی به مقادیر عددی رتبه‌بندی شده در یک مقیاس عددی تبدیل می‌شوند (ساعتی، ۱۹۸۰؛ بوشان و رای<sup>۱۷</sup>، ۲۰۰۴).

AHP بر این فرض استوار است که تصمیمات مرتبط با مسائل پیچیده را می‌توان به‌طور مؤثر با تبدیل یک مسئله پیچیده به ساختار ساده و قابل درک در قالب ساختار سلسله‌مراتبی رفع کرد. از آنجایی که AHP دارای ویژگی‌های مطلوب بسیاری است، در تحقیقات کمی متعددی از قبیل طبیعت، جامعه، اقتصاد (لی و همکاران، ۲۰۰۶؛ لی و

7. He
8. Wang
9. Park
10. Swetnam
11. Aspinall and Pearson
12. Li
13. Analytical Hierarchy process
14. Dubovyk
15. Ying
16. Consistency ratio
17. Bhushan and Rai

1. Luers
2. Tobin and Montz
3. Bradley and Smith
4. Beroya - Eitner
5. Qiu
6. Nguyen

همکاران، ۲۰۰۷؛ پارک و همکاران، ۲۰۰۴؛ سندر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ فمی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱) و مطالعات آسیب‌پذیری محیط‌زیست اکولوژیکی (لی، ۲۰۰۷) مورد استفاده قرار گرفته است. در ایران و جهان، تحقیقات بسیاری در زمینه آسیب‌پذیری انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

ترن<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۲) توانستند نواحی آسیب‌پذیر یا رو به زوال مناطق میانه اقیانوس اطلس<sup>۴</sup> را با ترکیبی از روش رتبه‌بندی فازی و AHP با استفاده از داده‌های مربوط به پوشش زمین، جمعیت، جاده‌ها، جریان‌ها، آلودگی هوا و توپوگرافی شناسایی کنند. نگوین و همکاران (۲۰۱۶) به منظور حفاظت و مدیریت محیط‌زیست به ارزیابی آسیب‌پذیری محیط‌زیست اکولوژیکی استان تواتین-هو<sup>۵</sup> و بزرگ‌ترین سیستم رودخانه‌ای آن پرداختند. در این تحقیق، از ۱۶ متغیر استفاده شد که متغیرها با استفاده از فرایند سلسله‌مراتبی AHP و سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار گرفته و نقشه آسیب‌پذیری تهیه شد. نتایج تحقیق نشان داد که نواحی آسیب‌پذیر شدید و بسیار شدید در سرزمین‌های متوسط و ضعیف که فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی در آن‌ها به سرعت توسعه یافته است، قرار گرفته‌اند. آن‌ها همچنین در ادامه روش یکپارچه پیشنهادشده GIS, RS و AHP را برای ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی محیط‌زیست به منظور حفاظت محیط‌زیست و برنامه آمایش سرزمین مناسب و ساخت‌وساز در آینده، مفید دانستند.

هی و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی چین به منظور حفاظت و مدیریت محیط‌زیست پرداختند. آن‌ها در این تحقیق اثرات بالقوه اجتماع، اقتصاد، طبیعت، آلودگی محیطی و بهداشت انسانی را بر آسیب‌پذیری اکولوژیکی با تلفیق تجزیه و تحلیل سیستم‌های GIS و تصمیم‌گیری چندمعیاره بررسی کردند. برای وزندهی به متغیرها از روش AHP استفاده شد. نتایج نشان داد که تنها ۱/۳۲ درصد از جمعیت چین در نواحی آسیب‌پذیر نیستند و

۹۸/۶۷ در صد، یعنی چیزی حدود ۱/۳۴ میلیارد از جمعیت این کشور در نواحی آسیب‌پذیر زندگی می‌کنند. گزو<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی حوزه رودخانه تاریم<sup>۷</sup> و تغییرات پویایی آن در یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۵) پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که در اواخر این دوره، میانگین آسیب‌پذیری اکولوژیکی در سطح شدید در حوزه این رودخانه می‌باشد و این وضعیت رو به افزایش است. به طوری که به سطح آسیب‌پذیری بسیار شدید در سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۵ رسیده است و به‌طور کلی آسیب‌پذیری اکولوژیکی یک گرادیان بالا به پایین از شرق به غرب دارد که آسیب‌پذیری شدید و بسیار شدید در شرق نشان از دخالت‌های بیشتر بشر در این حوزه دارد و در آخر یکسری پیشنهادات به منظور بهبود آسیب‌پذیری در این حوزه ارائه شد. لیو و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی منطقه سانجیانگیون<sup>۸</sup> چین برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج نشان داد که آسیب‌پذیری اکولوژیکی در کل این منطقه به صورت یک گرادیان بالا به پایین از غرب به شرق در طول هر سه دوره زمانی کشیده شده است. و همچنین تغییرات پویایی این آسیب‌پذیری در منطقه نشان از کاهش متوسطی در طول دوره (۱۹۹۰-۲۰۰۰) و کاهش قابل توجه در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۰ دارد، که نتیجه طرح‌های اجراشده حفاظت از منابع ملی و پروژه حفاظتی است که از سال ۲۰۰۵ به اجرا درآمده بود.

بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش‌های فوق، می‌توان به این نتیجه رسید که روش AHP، روشی مناسب برای بررسی آسیب‌پذیری اکولوژیکی بوده و تعیین آسیب‌پذیری اکولوژیکی برای برنامه‌ریزی‌های آتی بسیار مهم است. در ایران نیز تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده است. برای مثال می‌توان به تعیین آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده اشترانکوه (یارعلی و همکاران، ۲۰۱۰)، منطقه حفاظت‌شده توران (سپهر و همکاران، ۲۰۱۵)، راه آهن اهواز - شیراز (بالیس و همکاران، ۲۰۱۵) و ارزیابی آسیب‌پذیری

1. Sener
2. Fahmy
3. Tran
4. Mid Atlantic
5. Thua thien- Hue

6. Xue
7. Tarim
8. Sanjiangyuan

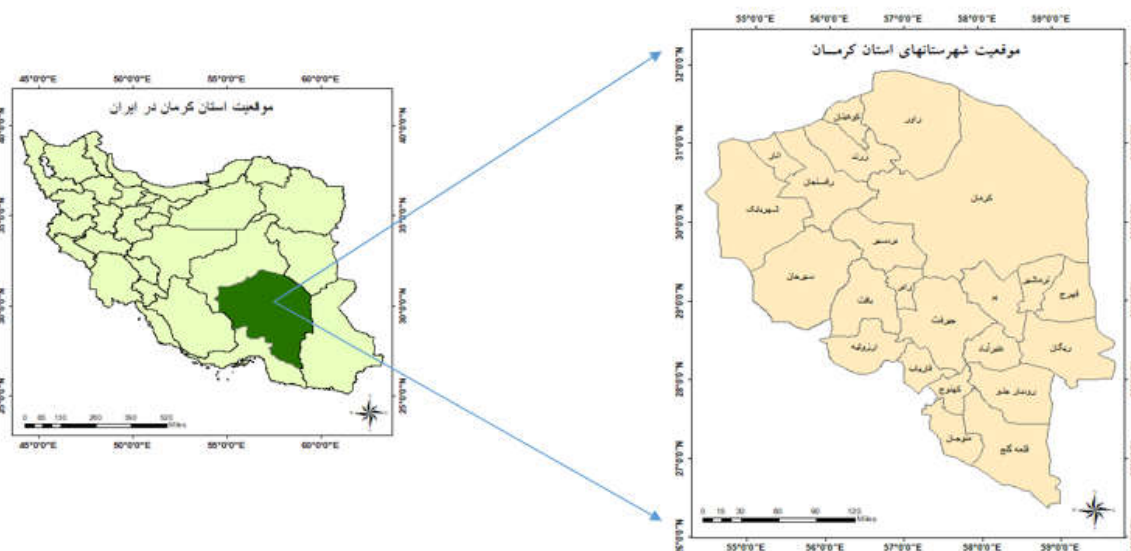
طول شرقی و ۲۶ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی به مساحت ۱۸۱۷۳۷ کیلومتر مربع در مرکز و متمایل به جنوب شرقی فلات ایران واقع شده (شکل ۱) و بیش از ۱۱/۱۵ درصد از مساحت کشور را در بر گرفته که در حال حاضر پهناورترین استان کشور می باشد (سالنامه آماری، ۲۰۱۶). این استان به مرکزیت کلان شهر کرمان از شمال به استان های خراسان جنوبی و یزد، از جنوب به استان هرمزگان، از شرق به استان سیستان و بلوچستان و از غرب به استان فارس محدود شده است. مرکز استان شهر کرمان است و بر اساس آخرین تغییرات در تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۲ این استان شامل ۲۳ شهرستان، ۷۱ شهر، ۵۸ بخش و ۱۵۱ دهستان می باشد (شکل ۱)؛ که ۵۸ درصد جمعیت این استان در مناطق شهری و ۴۲ درصد در روستاها ساکن هستند. با وجود کوهستانی بودن بیشترین مساحت استان در شیب بین ۰ تا ۲ قرار دارد و جهت شیب استان بیشتر در جهت شمال شرقی و جنوب غربی است که از جهت جغرافیایی ناهمواری ها پیروی می کند. متوسط بارندگی سالیانه استان ۱۲۹ میلی متر (خیلی کمتر از میانگین ۲۴۰ میلی متری کشور) و میزان تبخیر سالیانه بین ۱۵۰۰ تا ۴۵۰۰ میلی متر است (مطالعات آمایش استان کرمان، ۱۳۹۵).

ساختمان های شهر کرمان در مقابل زلزله (کاظمی نیا و میمندی پاریزی، ۲۰۱۶) اشاره کرد. با وجود این، در استان کرمان در زمینه ارزیابی آسیب پذیری اکولوژیکی در جهت توسعه پایدار صنعت پژوهشی انجام نشده است. از آنجا که توسعه صنایع در هر مکانی به دنبال خود، جذب نیروی کار و جمعیت را دارد، نتیجه آن برپا شدن مناطق مسکونی و خدماتی و بازرگانی است؛ استقرار این مناطق در سرزمین باعث ایجاد دو واکنش متقابل می شود: ۱. منطقه برپاشده روی محیط زیست (اصلاح و تغییر آبراهه ها و به دنبال آن فرسایش خاک)، ۲. محیط زیست روی منطقه برپاشده (در معرض قرار گرفتن منطقه در برابر لغزش و رانش یا سیل) (مخدوم، ۲۰۰۷). از طرفی نیز وجود منابع معدنی بسیار متعدد و غنی در استان، لزوماً آینده ای صنعتی را برای این استان نوید می دهد؛ بنابراین می طلبد علاج واقعه قبل از وقوع باید کرد و با انجام یک پژوهش با روش شناسی آزمون شده و مورد تأیید قرار گرفته وفق توسعه صنعتی فعلی، آسیب پذیری اکولوژیکی استان کرمان تحت تأثیر حالت های مختلف توسعه بررسی گردد.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

استان کرمان بین ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۳۴ دقیقه



شکل (۱): موقعیت استان کرمان در ایران

Figure (1): Kerman province location in Iran

## مواد پژوهش

برای انجام این پژوهش از آمار، اطلاعات، داده‌ها، نقشه‌ها و نرم‌افزارهایی با مقیاس زمانی و مکانی به شرح زیر استفاده شده است:

نقشه DEM منطقه از سازمان نقشه‌برداری کشور دریافت شد، همچنین نقشه عمق خاک، جنس سنگ، گسل، سیل‌خیزی منطقه و پوشش زمین منطقه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و استان کرمان اخذ گردید. در نهایت با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم‌افزارهای expert choice و GIS نسخه ۱۰/۳ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اکولوژیکی برای توسعه صنعت در استان کرمان انجام شد.

## روش پژوهش

روش انجام پژوهش به صورت گام‌به‌گام بدین شرح است: در این پژوهش، ابتدا فاکتورهای آسیب‌پذیری مشتمل بر شیب، ارتفاع، عمق خاک، جنس سنگ، دوری و نزدیکی به گسل، سیل‌خیزی و پوشش زمین، شناسایی و لایه‌های اطلاعاتی مربوط تهیه شد. لایه‌های فوق بر اساس اطلاعات موجود طبقه‌بندی شده و به هریک از طبقات لایه‌ها بر اساس نظر کارشناسی (استفاده از نظر کارشناسان خبره در هر عامل) و مطالعات کتابخانه‌ای، کد عددی میزان حساسیت به آسیب‌پذیری اختصاص یافت (به طوری که عدد بیشتر نشانه آسیب‌پذیری بیشتر و عدد کمتر نشان‌دهنده مقاومت به آسیب‌پذیری بود). این کدها در جداول (۱) تا (۷) ارائه شده‌اند. سپس همه لایه‌های مربوط، در محیط ArcGIS بر اساس زمینه کدگرفته به آن‌ها تبدیل به نقشه‌هایی با فرمت رستر با یک شبکه یکنواخت با وضوح ۱۰۰ متر شدند. سپس لایه‌های وزن‌دار شده (به دست آمده از نرم‌افزار Expert choice) برای تهیه نقشه نهایی آسیب‌پذیری منطقه با یکدیگر تلفیق شدند (لازم به توضیح است که وزن لایه‌ها با استفاده از نظریات کارشناسان و همچنین بهره‌گیری از توضیحات ارائه شده در کتاب *شالوده آمایش سرزمین* (مخدوم، ۲۰۰۷) به دست آمد. در زیر به طور خلاصه روش پژوهش شرح داده شده است.

## ۱. تهیه لایه‌های اطلاعاتی؛

۲. امتیازدهی به طبقات موجود در هریک از لایه‌های

اطلاعاتی؛

۳. نرمال‌سازی لایه‌ها؛

۴. به دست آوردن وزن لایه‌ها با استفاده از روش AHP

در نرم‌افزار Expert choice؛

۵. ضرب لایه‌ها در وزن خود و در نهایت تلفیق لایه‌ها با

یکدیگر؛

۶. تهیه نقشه آسیب‌پذیری اکولوژیکی استان کرمان.

در این مطالعه ضمن بهره‌گیری از بسته نرم‌افزاری

ArcGIS نسخه ۱۰/۳، برنامه Expert choice و AHP،

نواحی آسیب‌پذیر منطقه شناسایی و در نهایت نقشه

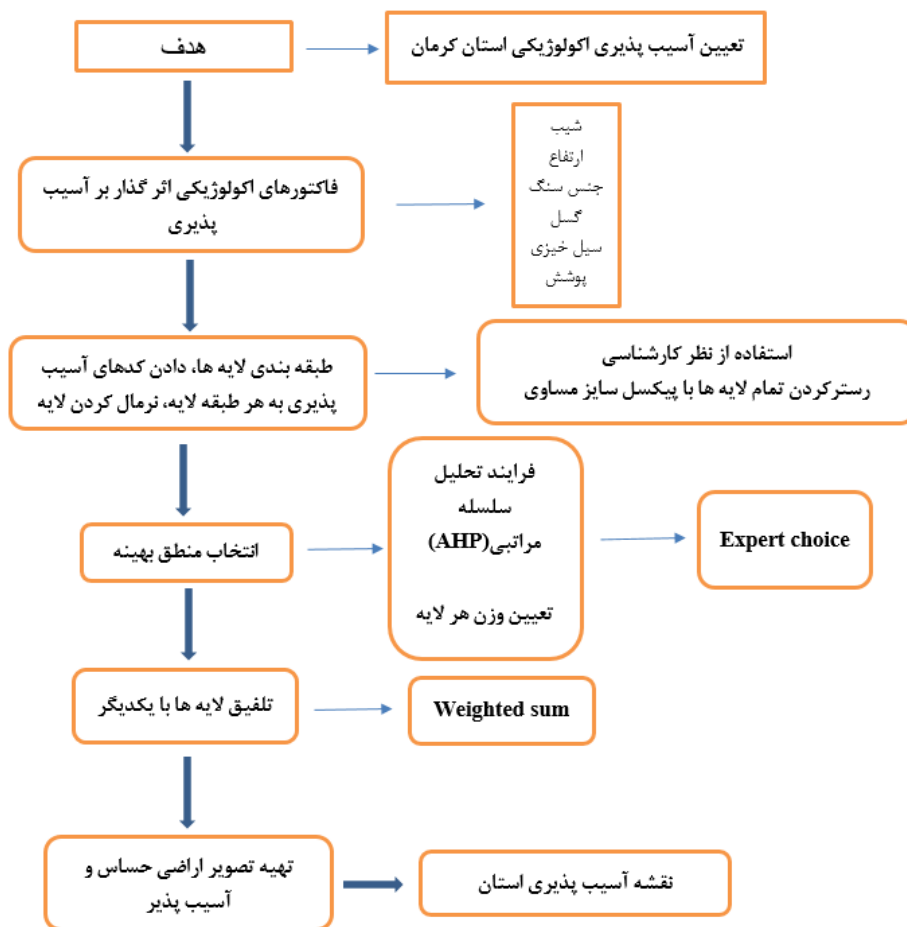
آسیب‌پذیری منطقه با استفاده از روندنمای ارائه شده در

شکل (۲) تهیه گردید.

## کاربرد مدل AHP (فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که اولین بار توماس ال ساعتی (۱۹۸۰) آن را ابداع کرد، اساساً یک تئوری عمومی سنجش است که بر اساس پاره‌ای از اصول روان‌شناسی و ریاضی بنا شده که توانایی حل مسائل پیچیده در زمینه‌های مختلف کمی و کیفی را دارد.

درک پدیده‌های بزرگ و مسائل بسیار پیچیده برای ذهن انسان می‌تواند مشکل‌آفرین باشد. از این رو تجزیه یک مسئله بزرگ به عناصر جزئی آن با استفاده از یک ساختار سلسله‌مراتبی می‌تواند به درک انسان کمک کند. روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) از تکنیک‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره است که بر اساس مقایسات زوجی بنا شده و هدف آن محاسبه وزن عوامل و رتبه‌بندی گزینه‌هاست. به طور کلی هر مسئله AHP با سه سطح کلی سروکار دارد که سطح اول، هدف کلی مسئله، سطح دوم معیارهای ارزیابی و سطح سوم گزینه‌ها (انتخاب‌ها) می‌تواند باشد. اجزا در هر سطح سلسله‌مراتب، جفت جفت با هم مقایسه می‌شوند تا ترجیح نسبی هریک در راستای گزینه‌ها تعیین شود (پوکراند و رامانچندران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴). ضریب کلی وزن برای هر گزینه با توجه به هدف اصلی به دست می‌آید.



شکل (۲): روند نمای انجام پژوهش

Figure (2): research flow chart

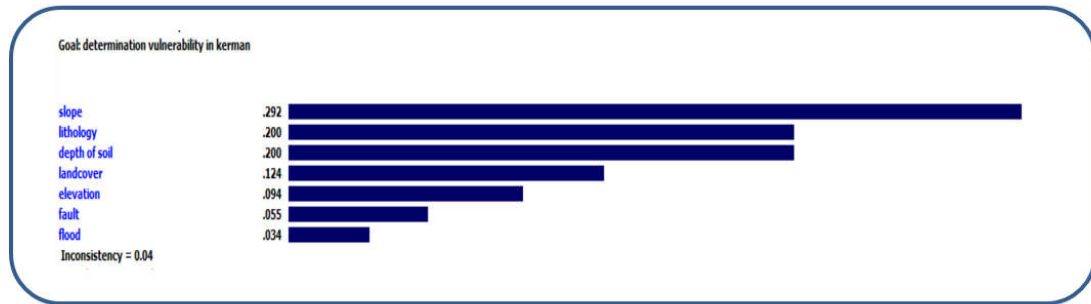
## نتایج

### تعیین اولویت عوامل

با استفاده از نرم افزار Expert choice اولویت بندی عوامل مؤثر در آسیب پذیری در شکل (۳) نشان داده شده است. همان گونه که در شکل (۳) مشاهده می شود، مهم ترین عامل مؤثر در میزان آسیب پذیری اکولوژیکی منطقه که با استفاده از ماتریس اثر متقابل و روش AHP به دست آمده عامل شیب منطقه است که روی عوامل دیگر بیشترین اثر را داشت. وزن عامل شیب همان گونه که در شکل (۳) مشاهده می شود برابر با ۰/۲۹۲ است. در درجه بعدی جنس سنگ و عمق خاک بیشترین اثر را داشتند به طوری که ضریب برابر ۰/۲ را به خود اختصاص دادند و در رده های بعدی پوشش زمین، ارتفاع از سطح دریا، گسل و سیل قرار گرفتند.

### سازگاری منطقی قضاوت ها و محاسبه نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی

ذهن انسان به نحوی بین اجزا رابطه برقرار می کند که بین آنها ثبات و سازگاری منطقی وجود داشته باشد. در روش AHP مقایسات زوجی بین هریک از سطوح معیارها انجام می گیرد و به کمک نرم افزار Expert Choice مقایسات زوجی تحلیل و نرخ ناسازگاری آنها تعیین می شود و چنانچه این نرخ کمتر از ۰/۱ باشد نشان دهنده این است که این مقایسات زوجی از ثبات و سازگاری قابل قبولی برخوردارند (که در این پژوهش این نرخ برابر با ۰/۰۴ می باشد) که در نهایت وزن معیارها به دست می آید.



شکل (۳): نتایج حاصل از مقایسات زوجی AHP انجام شده برای عوامل اکولوژیکی

Figure (3): Results of paired comparisons of AHP for ecological factors

جدول (۱): معیار ارتفاع و امتیازات آن

Table (1): Elevation Criterion and Its Scores

ردیف	کلاس‌های ارتفاع (متر)	آسیب‌پذیری در هر طبقه
۱	۲۰۰-۰	۱
۲	۴۰۰-۲۰۰	۱
۳	۶۰۰-۴۰۰	۱
۴	۸۰۰-۶۰۰	۲
۵	۱۰۰۰-۸۰۰	۲
۶	۱۲۰۰-۱۰۰۰	۲
۷	۱۴۰۰-۱۲۰۰	۳
۸	۱۶۰۰-۱۴۰۰	۳
۹	۱۸۰۰-۱۶۰۰	۳
۱۰	۲۰۰۰-۱۸۰۰	۴
۱۱	۲۲۰۰-۲۰۰۰	۴
۱۲	بیشتر از ۲۲۰۰	۵

## معیارها و امتیازات

## معیار ارتفاع

بر اساس روش پژوهش، میزان آسیب‌پذیری در هر لایه با استفاده از نظر کارشناسی و مطالعات کتابخانه‌ای به دست آمد. در جدول (۱) طبقه‌بندی مربوط به ارتفاع از سطح دریا ارائه شده است که با توجه به توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، به ارتفاعات پایین امتیاز کمتری تعلق گرفته که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری کمتر است.

نتایج نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد منطقه در ناحیه آسیب‌پذیری ناچیز، کم و متوسط قرار گرفته است و حدود ۳۰ درصد منطقه در ناحیه با آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

## معیار پوشش سطح زمین

امروزه معیار پوشش زمین یکی از معیارهای مورد استفاده در ارزیابی کیفیت سرزمین است. در این تحقیق اراضی مرتعی، زراعت آبی و دیم، مناطق مسکونی، شهری و روستایی و اراضی جنگلی با تراکم تاج‌پوشش ۵ تا ۲۵ درصد مکان‌های غیر آسیب‌پذیر و مکان‌های اراضی با سطوح نمکی، اراضی جنگلی با تراکم تاج‌پوشش بیش از ۵۰ درصد، تپه‌های ماسه‌ای و... به‌عنوان نقاطی که بیشترین آسیب‌پذیری را دارند، شناسایی شدند که در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که فقط حدود ۲۱/۲ درصد منطقه مورد مطالعه در ناحیه با آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

## معیار جنس سنگ

از آنجایی که سنگ مادر بستر توسعه است و پایداری و ایستایی فیزیکی هر گونه توسعه‌ای مدیون خصوصیات ذاتی سنگ است و از طرفی توانایی سنگ در بروز این ایستایی در تاب‌آوری آن در مقابل عوامل فرسایش‌دهنده از قبیل آب، باد و... ظهور می‌کند، امتیاز سنگ‌های موجود در منطقه به شرح جدول (۳) می‌باشد. نتایج نشان داد که حدود ۲/۱، ۲۲/۳، ۴۱/۲، ۲۵/۳، ۸/۹ درصد منطقه به‌ترتیب در ناحیه با آسیب‌پذیری خیلی کم، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری زیاد و آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد.



جدول (۲): معیار پوشش زمین و امتیازات آن

Table (2): Land Cover Criterion and Its Scores

ردیف	معیار پوشش زمین	آسیب پذیری در هر طبقه
۱	اراضی با سطوح نمکی حاوی قشری از نمک	۵
۲	اراضی جنگلی با تراکم تاج پوشش بیش از ۵۰ درصد	۵
۳	اراضی جنگلی با تراکم تاج پوشش بین ۲۵ تا ۵۰	۴
۴	اراضی جنگلی با تراکم تاج پوشش بین ۵ تا ۲۵	۲
۵	اراضی ماسه‌ای مسطح فاقد اشکال قابل تشخیص	۴
۶	اراضی مرتعی با تراکم تاج پوشش یک	۱
۷	اراضی مرطوب با مناطق کویری با سطح ایستایی	۵
۸	اراضی پست مناطق بیابانی بدون پوشش گیاهی	۵
۹	تپه‌های ماسه‌ای	۵
۱۰	جنگل‌های دست کاشت	۳
۱۱	درختچه زار با تراکم تاج پوشش بیش از ۱۰ درصد	۲
۱۲	زراعت آبی و باغی	۱
۱۳	زراعت دیم	۱
۱۴	سطوح صاف و صیقلی رسی در حاشیه کویر	۵
۱۵	اراضی با تراکم تاج پوشش گیاهان مرتعی	۳
۱۶	شامل بستر رودخانه‌های بزرگ	۵
۱۷	شامل دریاچه‌ها و مخازن آبی	۵
۱۸	مناطق مسکونی شهری و روستایی	۱

جدول (۳): معیار جنس سنگ و امتیازات آن

Table (3): Rock type Criterion and Its Scores

ردیف	جنس سنگ	آسیب پذیری در هر طبقه
۱	بازالت	۱
۲	مارن-آهک-کارسنت	۵
۳	آهک-ماسه سنگ-گچ	۴
۴	آهک-دگرگونی-شیل	۴
۵	ماسه سنگ+کنگومرا	۲
۶	آهک-ماسه سنگ	۳
۷	آهک-گچ	۴
۸	آذرین	۲
۹	آذرین-آهک	۳
۱۰	کنگومرا	۲
۱۱	فلش	۳
۱۲	گرانیت	۲
۱۳	شیست	۴
۱۴	دق رسی	۴
۱۵	کفه نمکی	۵
۱۶	پهنه ماسه‌ای	۴
۱۷	آبرفت	۳
۱۸	بستر آبراهه	۵

معیار دوری و نزدیکی به گسل

گسل‌ها از پدیده‌های طبیعی هستند که آثار زیان‌بار بسیاری روی زندگی انسان و سازه‌های انسان‌ساخت دارند، بنابراین بایستی در مطالعات محیط‌زیستی بررسی شوند. در جدول (۴) لایه فاصله از گسل‌های موجود در منطقه و فاصله از آن‌ها آورده شده و بر اساس دوری و نزدیکی به گسل‌ها، به هر طبقه امتیازی اختصاص یافته به طوری که امتیاز کمتر نشان‌دهنده آسیب‌پذیری کمتر و امتیاز بیشتر نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بیشتر است. نتایج نشان می‌دهد که حدود ۴۷ درصد منطقه مورد مطالعه در ناحیه با آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

جدول (۴): معیار دوری و نزدیکی به گسل و امتیازات آن

Table (4): Fault criterion and its scores

ردیف	فاصله از گسل (متر)	امتیاز آسیب‌پذیری در هر طبقه
۱	بیشتر از ۲۰۰۰۰ متر	۱
۲	۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰	۲
۳	۱۰۰۰۰-۵۰۰۰	۳
۴	۵۰۰۰-۲۰۰۰	۴
۵	۲۰۰۰-۰	۵



جدول (۶): معیار عمق خاک و امتیازات آن

Table (6): Soil depth Criterion and Its Scores

ردیف	معیار عمق خاک	امتیاز آسیب‌پذیری در هر طبقه
۱	خاک‌های عمیق	۱
۲	خاک‌های نیمه‌عمیق	۱
۳	خاک‌های کم‌عمق تا نیمه‌عمیق	۲
۴	خاک‌های کم‌عمق	۳
۵	خاک‌های بسیار کم‌عمق	۴
۶	فاقد خاک	۵

## معیار درصد شیب

شاید بتوان گفت اصلی‌ترین عامل در جانمایی صنایع این عامل است؛ زیرا سهم زیادی از هزینه‌های جابجایی از قبیل حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی و یا سهولت دسترسی و استفاده از ماشین‌آلات خاص را به خود اختصاص می‌دهد. در این پژوهش با استفاده از نقشه DEM منطقه، نقشه شیب استخراج و با مروری بر مطالعات انجام‌شده، مناسب‌ترین شیب بین ۰ تا ۵ درصد در نظر گرفته شد که هرچه شیب بیشتر می‌شود آسیب‌پذیری هم بیشتر می‌شود. نتایج نشان داد حدود ۸۵ درصد از منطقه در ناحیه با آسیب‌پذیری خیلی کم، کم و متوسط قرار دارد.

جدول (۷): معیار شیب و امتیازات آن

Table (7): Slope criterion and its scores

ردیف	کلاس‌های شیب	آسیب‌پذیری در هر طبقه
۱	۲-۰	۱
۲	۵-۲	۱
۳	۸-۵	۲
۴	۱۵-۸	۳
۵	۲۰-۱۵	۴
۶	۳۰-۲۰	۵
۷	۶۰-۳۰	۵
۸	بیش از ۶۰	۵

## نقشه آسیب‌پذیری

بعد از طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی و امتیازدهی درون‌لایه‌ای و ضرب لایه‌ها در وزن‌های به‌دست‌آمده از فرایند سلسله‌مراتبی و در نهایت روی هم‌گذاری لایه‌ها، نقشه نهایی آسیب‌پذیری به دست آمد و سپس نقشه حاصل به پنج کلاس تقسیم شد که

## معیار شدت سیل خیزی

در معرض خطر قرارگیری یکی از پارامترهای مهمی است که در جانمایی صنایع بسیار حائز اهمیت می‌باشد. یکی از خطرات طبیعی که معمولاً توسعه را تهدید می‌کند شدت وقوع سیلاب‌های محتمل است، که بر اساس آن شدت سیل خیزی منطقه مشخص و مدیران را نسبت به جانمایی در تصمیم‌سازی یاری می‌کند. در این پژوهش، تأثیر سیل بر اساس شدت‌های مختلف در جدول (۵) مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد که به‌ترتیب ۹۹/۱، ۰/۳۳، ۰/۲۳، ۰/۲۰، ۰/۲۰ درصد از منطقه در ناحیه با آسیب‌پذیری خیلی کم، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری بالا و آسیب‌پذیری خیلی بالا قرار دارد.

جدول (۵): معیار سیل خیزی و امتیازات آن

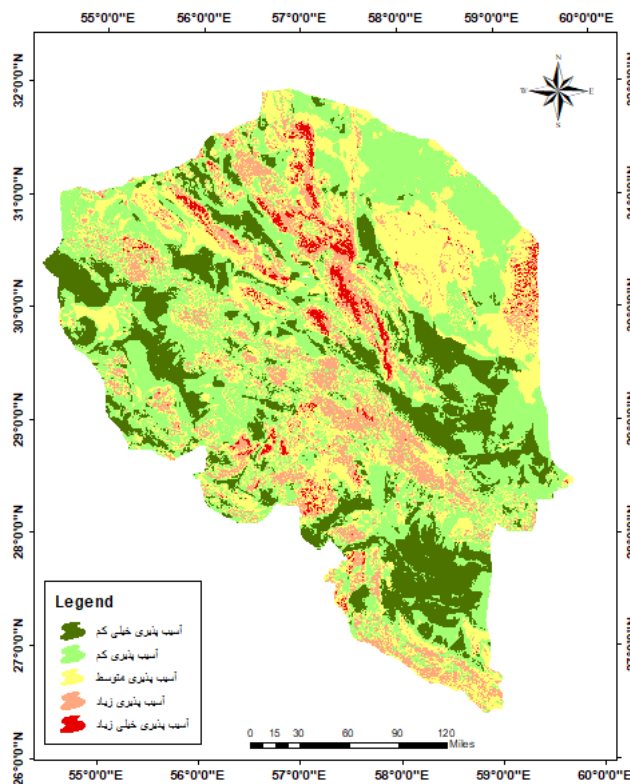
Table (5): Flood Severity Criterion and Its Scores

ردیف	معیار سیل	امتیاز آسیب‌پذیری در هر طبقه
۱	سیل خفیف	۱
۲	نسبتاً خفیف	۱
۳	عادی	۲
۴	متوسط	۲
۵	نسبتاً شدید	۳
۶	شدید	۴
۷	خیلی شدید	۵

## معیار عمق خاک

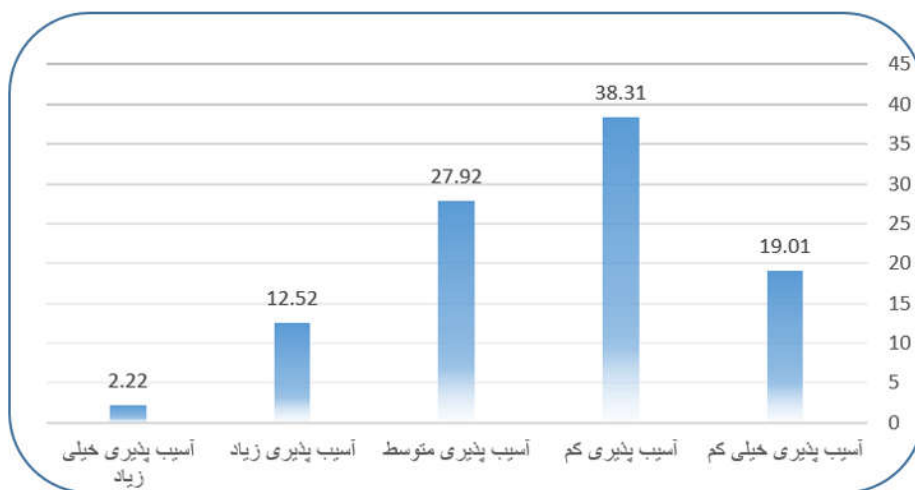
از آنجایی که عمق خاک تا حدود زیادی مبین شرایط فیزیوگرافی و یا اقلیمی حاکم بر منطقه است، یکی از پارامترهای تأثیرگذار در مکان‌یابی صنایع می‌باشد؛ به‌نحوی که هرچه خاک کم‌عمق باشد، از طرفی دال بر شیب زیاد و عدم فعالیت مناسب عوامل خاک‌ساز و از طرف دیگر نیز دال بر مناطق با شیب بسیار کم از قبیل کفه‌های رسی است؛ عوامل خاک‌ساز از قبیل موجودات زنده نقش بسیار ناچیزی دارند. لذا میزان تأثیر این عامل مطابق جدول (۶) مد نظر قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌ترتیب ۳۰، ۷/۱، ۹/۴، ۲۰/۶، ۳۲/۷ درصد منطقه در ناحیه با آسیب‌پذیری خیلی کم، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری زیاد و آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد.

نقاط و پهنه‌های آسیب‌پذیر منطقه به دست آمدند. در شکل (۴) نقشه آسیب‌پذیری منطقه آورده شده است.



شکل (۴): نقشه آسیب‌پذیری اکولوژیکی استان کرمان با هدف استقرار صنایع

Figure (4): Ecological Vulnerability Map of Kerman Province with the Purpose of Establishment of Industries



شکل (۵): درصد آسیب‌پذیری اکولوژیکی استان کرمان با هدف استقرار صنایع

Figure (5): Ecological Vulnerability Percentage of Kerman Province with the Purpose of Establishment of Industries

با استفاده از نقشه (۴) می‌توان میزان آسیب‌پذیری شهرستان‌های استان را نیز برحسب مساحت آن‌ها به تفکیک مشخص کرد که به صورت هیستوگرام در شکل (۶) ارائه شده است.



قرار گیرد تا ضمن رعایت و ارتقا شاخص‌های محیط‌زیستی شاهد توسعه درختور و پایدار صنعت در استان کرمان و

شهرستان‌های مختلف آن باشیم.

## منابع

- Aspinall, R., Pearson, D., 2000. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: linking landscape ecology, environmental modelling and GIS, *Journal of Environmental Management* 59 (4), 299–319.
- Balist, J., Karimi, S., Jafari, H.R., 2015. Environmental Impact Assessment of Ahwaz Shiraz Railway, *Science and Environmental Engineering*, 3 (1).
- Beroya-Eitner, M.A., 2016. Ecological vulnerability indicators, *Ecological Indicators* 60, 329–334.
- Bhushan, N., Rai, K., 2004. Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process, Springer-Verlag, New York, pp. 172.
- Bradley, M.P., Smith, R., 2004. Using science to assess environmental vulnerabilities, *Environmental Monitoring and Assessment* 94, 1–7.
- Dubovyk, O., Menz, G., Khamzina, A., 2014. Land suitability assessment for afforestation with *elaegnus angustifolia* l. in degraded agricultural areas of the lower Amudarya river basin. *Land Degradation & Development*.
- Fahmy, H.M.A., 2001. Reliability evaluation in distributed computing environments using the AHP. *Computer Networks* 36, 579–615.
- He, L., Shen, J., Zhang, Y., 2018. Ecological vulnerability assessment for ecological conservation and environmental management. *Journal of Environmental Management* 206, 1115–1125
- Kazemina, A., Meymandi Parisi, S., 2016. Assessment of Vulnerability of buildings in Kerman city against earthquake using GIS. *Journal of Spatial Planning and Information Engineering*, 8 (3).
- kerman Statistical Yearbook. 2016. Center of Statistics of Iran
- Li, A., Wang, A., Liang, S., Zhou, W., 2006. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS—a case study in the upper reaches of Minjiang River, China, *Ecological Modelling* 192 (1), 175–187.
- Li, L., Shi, Z.H., Yin, W., Zhu, D., Ng, S.L., Cai, C.F., Lei, A.L., 2009. A fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to eco-environmental vulnerability assessment for the Danjiangkou reservoir area, China, *Ecological Modelling* 220 (23), 3439–3447.
- Li, R., 2007. Dynamic assessment on regional eco-environmental quality using AHP-statistics model: a case study of Chaohu Lake Basin. *Chin. Journal of Geographical Sciences* 17 (4), 341–348.
- Li, Z.W., Zeng, G.M., Zhang, H., Yang, B., Jiao, S., 2007. The integrated eco-environment assessment of the red soil hilly region based on GIS—a case study in Changsha City, China, *Ecological Modelling* 202 (3–4), 540–546.
- Liua, Di., Caoa, Chunxiang., Dubovykc, O., Tiana, R., Chena, Wei., Zhuang, Q., Zhaoa, Y., Menzc, Gunter., 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.
- Luers, A.L., 2005. The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change, *Global Environmental Change* 15, 214–223.
- Makhdoum, M., 2007. *Fundamental of Land Use Planning*. University of Tehran Press.
- Nguyen, A.K., Liou, Y.A., Li, M.H., Tran, T.A., 2016. Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection. *Ecological Indicators* 69, 100–117.
- Park, Y.S., Chon, T.S., Kwak, I.S., Lek, S., 2004. Hierarchical community classification and assessment of aquatic ecosystems using artificial neural networks. *Science of the Total Environment* 327 (1), 105–122.
- Pohekar, S.D., Ramachandran, M., 2004. Application of Multi-criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning- A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8 (4), 365–381.
- Qiu, B., Li, H., Zhou, M., Zhang, L., 2015. Vulnerability of ecosystem services provisioning to urbanization: a case of China, *Ecological Indicators* 57, 505–513.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Sener, S., Sener, E., Nas, B., Karagüzel, R., 2010. Combining AHP with GIS for landsillsite selection: a case study in the Lake Beysehir catchment area (Konya, Turkey), *Waste Management* 30, 2037–2046
- Sepehr, H., Makhdoum, M., Faryadi, Sh, Ramezani Mehrin, M., 2015. Assessing the quality of land in protected areas using the degradation model (Casestudy: Turan Protected Area) 6 (11), 119–130.
- Swetnam, R.D., Fisher, B., Mbilinyi, B.P., Munishi, P.K.T., Willcock, S., Ricketts, T., Mwakililag, S., Balmforda, A., Burgessa, N.D.,

- Marshallh, A.R., Lewis, S.L., 2011. Mapping socio-economic scenarios of land cover change: a GIS method to enable ecosystem service modelling, *Journal of Environmental Management* 92 (3), 563–574
26. Tobin, G.A., Montz, B.E., 1997. *Natural Hazards, Explanation and Integration*, New York, London, The Guildford Press.
- 27- Tran, I.T., Knight, C.G., O'Neill, R.V., Smith, E.R.; Riitters, K. H., Wickham, J. D., 2002. Fuzzy Decision Analysis for Integrated Environmental Vulnerability Assessment of the Mid-Atlantic Region, *Environmental Management* 29 (6), 845-859.
28. Wang, J.T., Yun, X.J., Su, H.T., Qing, Y., Dong, Y.P., Zhang, D.M., 2008. Technologies to monitor the rodent in the degraded grassland in Three-River Headwaters region, *Pratacultural science* 25, 110-112.
29. Xue, L., Wang, J., Zhang, L., Wei, G., Zhu, B., 2019. Spatiotemporal analysis of ecological vulnerability and management in the Tarim River Basin, China, *science of the Total Environment* 649, 876-888.
30. Yarali, N., Soltani, A., Jafari, A., Mofi Golami, D., Mahmodi, M., 2010. Assessment of environmental impacts of development on Oshtorankh protected area using degradation model, *Environmental research* 1 (1), 13-22.
31. Yazdian, F., Nasiri, L. F., Kiapasha, Kh. 2012. Investigation of the Environmental Impacts of Tourism on the Salt Lake Abrood Forest Using the Destruction Model, *Iran Forest Magazine* 2, 113-121.
32. Ying, X., Zeng, G.M., Chen, G.Q., Tang, L., Wang, K.L., Huang, D.Y., 2007. Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality-a case study of Hunan Province, China, *Ecological Modelling* 209 (2), 97–109.

## Zoning of Ecological Vulnerability of Kerman Province to Achieve Sustainable Industrial Development Using AHP Technique

Sosan Salajegheh<sup>1</sup>, Hamid Reza Jafari<sup>2\*</sup>, sharareh Pourebrahim<sup>3</sup>

Received: 25/11/2019

Accepted: 02/02/2020

### Extended Abstract

**Introduction:** Vulnerability of people and places is a complex phenomenon has been created as a result of human and environment interaction during the ages. The concept of vulnerability addresses the probability of being destructed or damaged of a society, structure, service or a geographical area due to a specific danger. Nowadays there is frequent demand for settling industrial infrastructures in disadvantaged area, where employment is necessary, considering vulnerability of such areas and limitations of available resources for development purposes, therefore; comprehensive and integrated planning in is essential in order to conservation of resources and defining vulnerability of ecosystem. There are different methods for assessment of ecological vulnerability. Analytical Hierarchy Process (AHP) is one of the common tools for this purpose. AHP is based on the premise that solutions for complex problems could be achieved if the complex structure effectively turned to simple and understandable structures. Since AHP has many desirable properties, it has been widely used in numerous quantitative researches including nature, society, economy and environmental vulnerability studies.

**Materials and Methods:** In this research, following statistics, data, information, maps and software in temporal and spatial scales are used:

DEM map of the study area obtained from Iran Survey Organization, as well as maps of soil depth, rock type, faults, flooding and land cover of the study area obtained from Management and Planning Organization with 1:100000 scale.

Also, AHP, Expert Choice and GIS (version 10.3) have used in this study. The purpose of the current research is assessment of ecological vulnerability of Kerman Province toward industrial sustainable development. As the first step, available information layers (slope, elevation, soil depth, rock type, and distance from faults, flooding risk and land cover) are coded according to sensitivity to vulnerability and then all the layers are transformed to raster maps with uniform 100-meter resolution grid using ArcGIS based on their assigned codes. Using hierarchical analysis technique, the layers are weighted and integrated.

**Results:** According to the final map which obtained from integration of seven previous maps, 19, 28.3, 27.9, 12.5 and 2.2 % of the study area are classified in terms of vulnerability respectively as very low, low, moderate, high and very high. This confirms that generally the study area has good or relatively good ecological resistance. The results demonstrated that Jiroft city has the highest vulnerability, while Rudbar-e Jonub, Kahnooj, Shahr-e Babak and Kuhbanan have the lowest vulnerability.

1. Ph.D. student in Environment Planning, College of Environment, University of Tehran.

2. Professor, Department of Environmental planning and Management, College of Environment, University of Tehran, hjafari@ut.ac.ir

3. Associate Prof., Department of Environment, College of Natural Resources, University of Tehran.

DOI: 10.22052/deej.2018.7.25.49

**Discussion and Conclusion:** The results revealed that Kerman Province has mostly good or relatively good ecological resistance. Placement of industries depends on a variety of parameters such as terrestrial, climatic and social-economic issues. According to every single of these parameters, it is possible to determine environmental vulnerability in different regions. In this study, physical parameters were solely considered as the main locating frame in Kerman Province, and assessment of environmental vulnerability is carried out on that, using different software, as discussed in the research method. The results of this research can be used easily by managers and planners in both industrial and environmental sectors of the province, and this will enable them to address minimum environmental indicators for development purposes. It is hoped that this will improve environmental indicators and also will bring sustainable industrial development in the region.

**Keywords:** Ecological Vulnerability, Analytical Hierarchy Process, GIS, Industry, Kerman, Sustainable Development.