

ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی توسعه‌یافته و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان کرمان)

رضا حسن زاده^{۱*}؛ ندا رحیم پور^۲

۱ استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران
۲ عضو هیات علمی جهاد دانشگاهی استان کرمان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۵؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹)

چکیده

در این مقاله آسیب‌پذیری بوم‌شناختی استان کرمان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی توسعه‌یافته برای تعیین درجه ارجحیت معیارها و زیرمعیارها، و روش ترکیب خطی وزن‌دار در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ترکیب اطلاعات مکانی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. آسیب‌پذیری بوم‌شناختی نشان‌دهنده درجه‌ای از تحمل اکوسیستم در برابر عوامل محیطی و فعالیت‌های فزاینده انسانی است. با ارزیابی این شاخص می‌توان نواحی حساس و آسیب‌پذیر در یک منطقه را شناسایی و از آن دسته از فعالیت‌های انسانی که منجر به تخریب اکوسیستم‌های طبیعی می‌شوند جلوگیری نمود. هدف تحقیق حاضر شناسایی عوامل و معیارهای تاثیر گذار در آسیب‌پذیری بوم‌شناختی، تعیین درجه اهمیت هر یک در این فرایند و در نهایت ترکیب این اطلاعات برای تعیین درجه آسیب‌پذیری نواحی مختلف در استان است. جهت انجام تحقیق ابتدا با مرور تحقیقات گذشته تعداد هفت معیار تاثیر گذار شامل طبقات ارتفاعی، میزان شیب، جهت شیب، تراکم پوشش گیاهی، عمق خاک، فرسایش‌پذیری سنگ مادر و اقلیم شناسایی شدند. همچنین عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری بوم‌شناختی از جمله تراکم منابع آبی، افت سطح آب‌های زیرزمینی، سیل‌خیزی، خطر زمین‌لرزه، خطر زمین‌لغزش و فرسایش آبی و بادی می‌باشند، در نظر گرفته شدند. سپس بر اساس اصول کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی توسعه‌یافته ماتریس مقایسات زوجی تشکیل و با مصاحبه با ده کارشناس درجه ارجحیت (وزن) معیارها و زیرمعیارهای هر معیار محاسبه شد. در نهایت با کاربرد روش ترکیب خطی وزن‌دار در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی لایه‌های اطلاعاتی بر اساس وزن معیارها و زیرمعیارها ترکیب شدند و نقشه آسیب‌پذیری بوم‌شناختی استان کرمان تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد بخش شمال، شمال‌شرق و شرق استان کرمان از آسیب‌پذیری بسیار بالایی برخوردار می‌باشند و حدود ۲۵/۴ درصد از مساحت منطقه در درجه آسیب‌پذیر و ۲۶/۴ درصد در درجه حساس قرار گرفته‌اند و دارای شرایط شکننده و آسیب‌پذیری هستند. بنابراین، توجه ویژه برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران به این مناطق در طرح‌های مدیریتی و توسعه‌ای استان کرمان بسیار ضروری است.

کلید واژه‌ها: آسیب‌پذیری بوم‌شناختی، عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی توسعه‌یافته، سیستم اطلاعات جغرافیایی و استان کرمان

سرآغاز

آسیب‌پذیری بوم‌شناختی^(۱) معیار اندازه‌گیری جهت محاسبه تحمل اکوسیستم در برابر عوامل طبیعی و اکولوژیکی است (De Lange et al., 2010). این معیار سنجشی تابعی از ویژگی‌های طبیعی اکوسیستم و شرایط محیطی است و کاربرد موثری در ارزیابی و پایش کیفیت محیط‌زیست و شناسایی مناطق حساس و آسیب‌پذیر در یک منطقه دارد (Makhdoum, 2002). در ایران تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است و محققین در بخشی از مدل تخریب به ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی منطقه پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال (Makhdoum, 1993) استان آذربایجان شرقی، (Makhdoum & Mansouri, 1999) استان هرمزگان، (Jozi et al., 2014) شهر بندرعباس، (Jafari et al., 2014) استان چهارمحال و بختیاری، و (Danehkar & Jafari, 2017) منطقه حفاظت‌شده جاجرود را ارزیابی نموده‌اند. روش‌های متعددی برای ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، استفاده از تکنیک اثرات متقابل توسط (Jabarian Amiri, 1999) و روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره در ارزیابی منطقه غرب فارس توسط (Shamsipour & Shekhi, 2010) به انجام رسیده است. از دیگر روش‌ها می‌توان به روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی^(۲) (Li, 2009)، تحلیل فازی^(۳) و روش‌های ترکیبی فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی^(۴) (Gharagozlou & Alizadeh, 2014; Li, 2009; Wu et al., 2018) اشاره نمود. همچنین (Faryadi et al., 2014) با ترکیب روش‌های ماتریس آثار متقابل، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و فرایند تحلیل توسعه‌ای به ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیک منطقه حفاظت‌شده توران پرداخته‌اند. هر یک از این روش‌ها دارای معایب و مزایایی در محاسبه وزن معیارهای تاثیر گذار در ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی می‌باشند.

از فرایندهای مهم دیگر در ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی، انتخاب معیارهای موثر در این ارزیابی است (Makhdoum, 1993; Jabarian Amiri, 1999; Safaeian et al., 2002; Chamani et al., 2005; Faryadi et al., 2014; Masnavi et al., 2013; Heidari Masteali et al., 2015; Sepehr et al., 2015; Rezazadeh et al., 2016; Shirmohammadi et al., 2017; Wu et al., 2018; Jahani et al., 2015). این محققین بیشتر معیارهایی از جمله ارتفاع، شیب، جهت شیب، اقلیم، پوشش گیاهی، خاک، فرسایش‌پذیری سنگ مادر را به دلیل همبستگی در محاسبه آسیب‌پذیری اکولوژیک مدنظر قرار داده‌اند.

علاوه بر معیارهای اصلی مداخله‌کننده در ارزیابی میزان بالقوه آسیب‌پذیری، این میزان می‌تواند تحت تاثیر تعدادی معیار تشدید شود. این پارامترها شامل معیارهای فقدان یا کمبود منابع آبی، خطر زمین‌لرزه، خطر سیل، خطر زمین‌لغزش، خطر فرسایش آبی و بادی می‌باشند.

از ابزارهای مهم در ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی و مدیریت لایه‌های اطلاعات مکانی می‌توان به سیستم اطلاعات جغرافیایی^(۵) (Longley et al., 2005) به‌عنوان علم و ابزار مدیریت، ذخیره‌سازی، تولید و ترکیب داده‌ها اشاره نمود. این علم توانسته در سال‌های اخیر نقش مهمی در کمک به مدیران و برنامه‌ریزان امر مدیریت محیط‌زیست ایفا نماید. در این تحقیق از این میان روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بهبودیافته^(۶) به‌عنوان روشی جدید که در ارزیابی فرایندهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است، استفاده می‌شود. این روش توسط محققین محدودی در ایران برای ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی استفاده شده است. بنابراین در این مطالعه این روش برای محاسبه اوزان معیارها و زیرمعیارها و همچنین از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای مدیریت داده‌ها و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی در ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی و میزان شدت عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود.

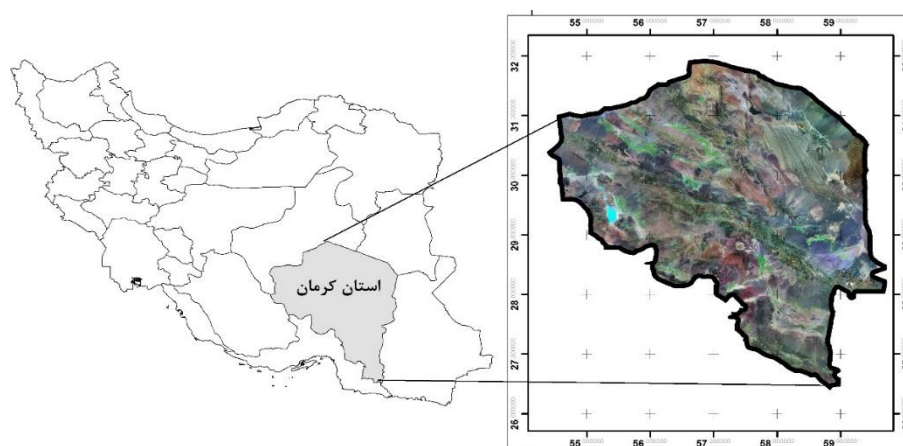
روش‌شناسی انجام تحقیق

در این تحقیق از روش‌های کمی و کیفی برای انجام تحقیق و دستیابی به نتایج استفاده شده است. روش‌های کیفی مانند مرور تحقیقات گذشته و مصاحبه با کارشناسان و متخصصان مرتبط با مساله و روش‌های کمی مانند محاسبه وزن معیارها و نحوه ترکیب اطلاعات می‌باشند. این مطالعه در چند مرحله انجام شده است:

- الف. شناسایی منطقه مورد مطالعه، ب. تعیین معیارها و زیر معیارهای موثر در ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی و شدت عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری بوم‌شناختی، ج. محاسبه وزن معیارهای اصلی از طریق مصاحبه با کارشناسان و کاربرد روش EFAHP، د. جمع‌آوری و آماده‌سازی اطلاعات در GIS، و. تلفیق اطلاعات با استفاده از روش ترکیب خطی وزن دار، ه. طبقه‌بندی نقشه آسیب‌پذیری بوم‌شناختی و نقشه میزان شدت عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری بر اساس اصل مقادیر آستانه‌ای. این مراحل در زیر شرح داده می‌شوند.

شناسایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان کرمان در جنوب شرقی ایران بین طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). بخش‌هایی از این استان در سرزمینی مرتفع و کوهستانی که تفاوت‌های توپوگرافیکی شدید از ۲۰۰ متر تا ۴۴۶۵ متر از سطح دریا و در محل تلاقی رشته‌کوه‌های مرتفع زاگرس و مرکزی و همچنین مناطق پست کویری جنوب



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

بادی می‌باشند.

محاسبه وزن معیارهای اصلی و زیرمعیارها هر معیار از طریق مصاحبه با کارشناسان و کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی فازی بهبودیافته (EFAHP)

برای محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها می‌توان از روش‌های متعددی استفاده نمود. یکی از این روش‌ها تحلیل سلسله مراتبی فازی بهبود یافته (باکلی) (Buckley, 1985) است. این روش نواقص روش تحلیل سلسله مراتبی (Saaty, 1980) و روش تحلیل سلسله مراتبی فازی چانگ (Chang et al., 1994) که می‌تواند در بعضی موارد وزن معیارها را منفی بدهد، مرتفع نموده است. مراحل اولیه کاربرد این روش مشابه روش تحلیل سلسله مراتبی است، اما ماتریس مقایسه‌های زوجی بر اساس اعداد سه‌تایی فازی مثلثی تعیین می‌شوند و همچنین در محاسبه اوزان معیارها و زیرمعیارها روش محاسبه میانگین هندسی^(۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hsieh et al., 2004).

تعیین معیارها و زیرمعیارها موثر در ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی و عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری

با مرور تحقیق‌های گذشته می‌توان معیارهای تاثیرگذار در آسیب‌پذیری بوم‌شناختی را شناسایی نمود (Makhdom, 1993; Jabarian Amiri, 1999; Safaeian et al., 2002; Chamani et al., 2005; Faryadi et al., 2014; Masnavi et al., 2013; Heidari Masteali et al., 2015; Sepehr et al., 2015; Rezazadeh et al., 2016 Shirmohammadi et al., 2017; Wu et al., 2018; Jahani et al., 2015). مهم‌ترین معیارهایی که تمامی محققین بر روی آن‌ها اتفاق نظر داشته‌اند شامل این موارد می‌باشند: ارتفاع، شیب، جهت شیب، عمق خاک، تراکم پوشش گیاهی، تراکم پوشش جانوری، اقلیم، زمین‌شناسی یا میزان فرسایش‌پذیری سنگ مادر که در این تحقیق نیز این معیارها مدنظر قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین معیارهای تشدیدکننده آسیب‌پذیری از جمله هیدرولوژی (تراکم منابع آبی)، هیدرولوژی (افت سطح آب‌های زیرزمینی)، هیدرولوژی (سیل‌خیزی)، خطر زمین‌لرزه، خطر زمین‌لغزش و فرسایش آبی و

مهم ترین عوامل تشدید کننده آسیب پذیری (ب)

نسبت به معیار دیگر تعیین می‌نماید. پس از مصاحبه با ۱۰ کارشناس دارای تجربه در زمینه منابع طبیعی و محیط‌زیست تمامی ماتریس‌ها بر اساس رابطه (۱) ادغام می‌شوند.

معیارها	A	B	...	N
A	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
B	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
N	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nn}

شکل (۲): ماتریس مقایسات زوجی معیارها (A)

جدول (۲): طیف‌های فازی برای مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها با همدیگر

کد	عبارت کلامی	عدد فازی (L, M, U)
۱	اهمیت برابر	(۱, ۱, ۱)
۲	اهمیت برابر یا کمی مهم‌تر	(۱, ۲, ۳)
۳	کمی مهم‌تر	(۲, ۳, ۴)
۴	اهمیت کمی مهم‌تر یا به نسبت مهم‌تر	(۳, ۴, ۵)
۵	به نسبت مهم‌تر	(۴, ۵, ۶)
۶	اهمیت به نسبت مهم‌تر یا بسیار مهم‌تر	(۵, ۶, ۷)
۷	بسیار مهم‌تر	(۶, ۷, ۸)
۸	اهمیت بسیار مهم‌تر تا مطلقاً مهم‌تر	(۷, ۸, ۹)
۹	مطلقاً مهم‌تر	(۸, ۹, ۱۰)

$$(\tilde{x}_{ij}) = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), l_{ij} = \min\{a_{jk}\}, m_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k b_{ijk}, u_{ij} = \max\{d_{ijk}\} \quad (۱)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1}, \quad (Lw_i, Mw_i, Uw_i) \quad (۴)$$

در نهایت وزن نهایی از اوزان معیارها بر اساس روش مرکز ناحیه^(۹) غیر فازی می‌شود.

$$F_i = [(Uw_i - Lw_i) + (Mw_i - Uw_i)] / 3 + Lw_i \quad (۵)$$

برای معیارهای اصلی ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی (جدول ۳) و زیرمعیارهای هر معیار (جدول ۴) و برای معیارهای اصلی ارزیابی شدت عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری بوم‌شناختی (جدول ۵) و زیرمعیارهای هر معیار (جدول ۶) محاسبه‌ها بر مبنای روش تحلیل سلسله مراتبی فاز توسعه یافته انجام شده است.

سپس وزن‌های اولویت هر معیار اصلی و زیرمعیارهای هر معیار محاسبه می‌شوند. البته قبل از محاسبه اوزان باید درجه سازگاری ماتریس‌ها را محاسبه نمود که میزان ناسازگاری کمتر از ۰/۱ قابل قبول است. نرخ ناسازگاری بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۲)$$

CR = نرخ ناسازگاری، CI = شاخص ناسازگاری و RI = نمایه تصادفی.

اوزان فازی هر معیار در ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از روش میانگین هندسی باکلی محاسبه شده (Buckley, 1985) و به‌صورت یک عدد فازی مثلثی^(۸) نشان داده می‌شود.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{p}_{ij} \right)^{1/n}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (۳)$$

جدول (۳): ماتریس مقایسات زوجی معیارهای اصلی بر اساس اعداد فازی و

وزن نهایی معیارهای اصلی موثر در ارزیابی آسیب‌پذیری

عمق خاک			جهت شیب			شیب			ارتفاع			
U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	
۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	ارتفاع
۰.۵۰	۰.۳۳	۰.۲۵	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	شیب
۰.۳۳	۰.۲۵	۰.۲۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	جهت شیب
۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۴.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۴.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	عمق خاک
۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۵.۰۰	۴.۰۰	۳.۰۰	۴.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	تراکم پوشش گیاهی و تراکم پوشش جانوری
۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	۴.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۴.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	اقلیم
۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	۴.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	زمین شناسی: فرسایش پذیری سنگ مادر
نرخ ناسازگاری			وزن نهایی			اقلیم			تراکم پوشش گیاهی و تراکم پوشش جانوری			
CRg	CRm		U	M	L	U	M	L	U	M	L	
۰.۰۸	۰.۰۳	۰.۱۵۲	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	ارتفاع
		۰.۰۹۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	۰.۲۵	۰.۵۰	۰.۳۳	۰.۲۵	شیب
		۰.۰۵۴	۰.۵۰	۰.۳۳	۰.۲۵	۰.۵۰	۰.۳۳	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۲۵	۰.۲۰	جهت شیب
		۰.۲۰۳	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	عمق خاک
		۰.۲۴۹	۴.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	تراکم پوشش گیاهی و تراکم پوشش جانوری
		۰.۱۵۹	۳.۰۰	۲.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	اقلیم
		۰.۰۹۳	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۵۰	۰.۳۳	۰.۵۰	۰.۳۳	۰.۲۵	زمین شناسی: فرسایش پذیری سنگ مادر

جدول (۴): وزن زیرمعیارهای هر معیار بر مبنای روش تحلیل سلسله مراتبی
فاز توسعه‌یافته در ارزیابی آسیب‌پذیری اکولوژیکی

ردیف	معیار اصلی	وزن زیر معیار هر معیار اصلی				
۱	ارتفاع (متر)	۱۰۰۰ >	۱۰۰۰-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۸۰۰	۱۸۰۰-۲۲۰۰	۲۲۰۰ <
	وزن زیرمعیارهای ارتفاع	۰/۰۴۲	۰/۰۶۴	۰/۱۲۱	۰/۲۵۵	۰/۵۱۵
۲	شیب	۰-۲	۲-۵	۵-۸	۸-۱۲	۱۲-۱۵
	وزن زیرمعیارهای شیب	۰/۰۲۱	۰/۰۴۶	۰/۰۹۶	۰/۱۱۲	۰/۱۵۲
	شیب	۳۰-۶۵	۶۵ <			
	وزن زیرمعیارهای شیب	۰/۱۹۶	۰/۲۴۱			
۳	جهت شیب	بی‌جهت	شمال و شمال شرقی ۱ و شمال غربی ۲	شرق و شمال شرقی ۲ و جنوب شرقی ۱	جنوب و جنوب شرقی ۲ و جنوب غربی ۱	غرب و جنوب غربی ۲ و شمال غربی ۱
	وزن زیرمعیارهای جهت شیب	۰/۳۹۴	۰/۰۸۷	۰/۰۹۵	۰/۳۱۱	۰/۳۱۳
۴	عمق خاک	بسیار کم عمق	کم عمق	عمق متوسط	عمق زیاد	عمق بسیار زیاد
	وزن زیرمعیارهای عمق خاک	۰/۵۱۵	۰/۲۵۵	۰/۱۲۱	۰/۰۶۷	۰/۰۴۲
۵	تراکم پوشش گیاهی	بدون پوشش	تراکم بسیار کم	تراکم کم	تراکم متوسط	تراکم زیاد
	وزن زیرمعیارهای پوشش گیاهی	۰/۲۹۸	۰/۲۲۱	۰/۱۸۳	۰/۱۵۴	۰/۰۳۲
۶	تراکم پوشش جانوری	بدون پوشش	تراکم بسیار کم	تراکم کم	تراکم متوسط	تراکم زیاد
	وزن زیرمعیارهای تراکم پوشش جانوری	۰/۲۹۸	۰/۲۲۱	۰/۱۸۳	۰/۱۵۴	۰/۰۳۲
۷	اقلیم	گرم و فرا خشک	گرم و خشک	گرم و نیمه مرطوب	سرد و مرطوب و کوهستانی	معتدله و کوهپایه‌ای
	وزن زیرمعیارهای اقلیم	۰/۵۲۴	۰/۲۲۴	۰/۱۳۵	۰/۰۷۳	۰/۰۳۴
۸	زمین‌شناسی: فرسایش‌پذیری سنگ مادر	بسیار مقاوم	مقاوم	متوسط	حساس	بسیار حساس
	وزن زیرمعیارهای زمین‌شناسی	۰/۰۱۱	۰/۰۳۷	۰/۱۷۸	۰/۲۳۸	۰/۵۳۶

جدول (۵): ماتریس مقایسات زوجی معیارهای اصلی بر اساس اعداد فازی و
وزن نهایی معیارهای اصلی تشدیدکننده آسیب‌پذیری

خطر زمین لغزش			خطر زمین لرزه			افت سطح آبهای زیرزمینی			تراکم منابع آبی		
U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L
۸۰۰	۷۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۸۰۰	۷۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰۵۰	۰۳۳
۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰۲۰	۰۱۷	۰۱۴	۰۳۳	۰۲۵	۰۲۰
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰۵۰	۰۳۳	۰۱۷	۰۱۴	۰۱۳	۰۱۷	۰۱۴	۰۱۳
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰۵۰	۰۳۳	۰۱۳	۰۱۱	۰۱۰	۰۲۰	۰۱۷	۰۱۴
۱۰۰	۰۵۰	۰۳۳	۰۵۰	۰۳۳	۰۲۵	۰۱۴	۰۱۳	۰۱۱	۱۰۰	۱۰۰	۰۱۴
			نرخ ناسازگاری			فرسایش آبی و بادی			خطر سیل		
			CRg	CRm		U	M	L	U	M	L
			۰۰۸۲	۰۰۳۸	۰۳۷۶	۷۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۶۰۰	۵۰۰
						۰۳۶۶	۹۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۹۰۰	۸۰۰
						۰۰۹۶	۴۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰
						۰۰۵۷	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
						۰۰۵۶	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
						۰۰۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰۵۰	۰۳۳

جدول (۶): وزن زیرمعیارهای هر معیار بر مبنای روش تحلیل سلسله مراتبی فاز توسعه‌یافته در ارزیابی عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری

۱	تراکم منابع آبی	تراکم خیلی کم	تراکم کم	تراکم متوسط	تراکم زیاد	تراکم خیلی زیاد
	وزن زیرمعیارهای تراکم منابع آبی	۰/۵۳۶	۰/۲۳۸	۰/۱۷۸	۰/۰۳۷	۰/۰۱۱
۲	میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی	افت خیلی کم	افت کم	افت متوسط	افت زیاد	افت خیلی زیاد
	وزن زیرمعیارهای افت سطح آب‌های زیرزمینی	۰/۰۱۱	۰/۰۳۷	۰/۱۷۸	۰/۲۳۸	۰/۵۳۶
۳	خطر زمین‌لرزه	خطر خیلی کم	خطر کم	خطر متوسط	خطر زیاد	خطر خیلی زیاد
	وزن زیرمعیارهای خطر زمین‌لرزه	۰/۰۱۱	۰/۰۳۷	۰/۱۷۸	۰/۲۳۸	۰/۵۳۶
۴	خطر زمین‌لغزش	خطر خیلی کم	خطر کم	خطر متوسط	خطر زیاد	خطر خیلی زیاد
	وزن زیرمعیارهای خطر زمین‌لغزش	۰/۰۱۱	۰/۰۳۷	۰/۱۷۸	۰/۲۳۸	۰/۵۳۶
۵	خطر سیل	خطر خیلی کم	خطر کم	خطر متوسط	خطر زیاد	خطر خیلی زیاد
	وزن زیرمعیارهای خطر سیل	۰/۰۱۱	۰/۰۳۷	۰/۱۷۸	۰/۲۳۸	۰/۵۳۶
۶	فرسایش آبی و بادی	بدون فرسایش	شدت کم	شدت متوسط	شدت زیاد	
	وزن زیرمعیارهای فرسایش آبی و بادی	۰/۰۸۸	۰/۱۲۷	۰/۲۹۵	۰/۴۸۸	

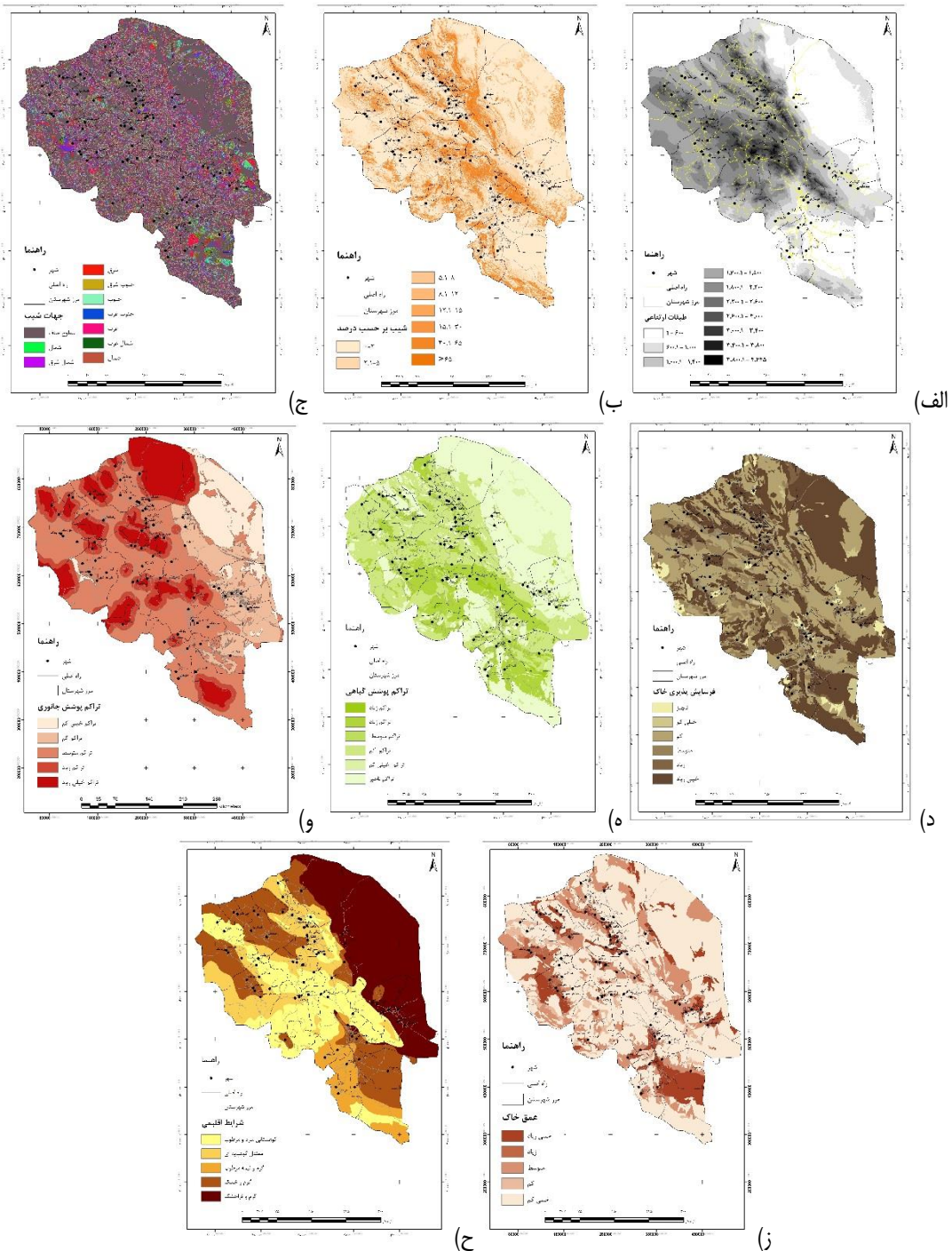
جمع‌آوری و آماده‌سازی اطلاعات در GIS

اطلاعات لازم از سازمان‌های زمین‌شناسی، منابع طبیعی، محیط‌زیست، مدیریت و برنامه‌ریزی، شرکت آب منطقه‌ای و هواشناسی استان کرمان جمع‌آوری شد (جدول ۷). پس از کنترل فیلدهای هر یک از لایه‌های اطلاعاتی و تعیین زیرمعیارهای هر معیار بر اساس مطالعه‌های قبلی و نظرات کارشناسان هر لایه اطلاعاتی بر مبنای زیرمعیارهای طبقه‌بندی شد. سپس با استفاده از ابزار طبقه‌بندی مجدد^(۱۰) در بخش ارزش‌گذاری جدید وزن

محاسبه شده زیرمعیارهای هر معیار به آن الحاق شد تا تمامی پیکسل‌های آن لایه اطلاعاتی وزن‌های مرتبط با هدف مطالعه را در محاسبه‌ها لحاظ نمایند. لایه‌های اطلاعاتی شامل موارد زیر می‌باشند: لایه اطلاعاتی توپوگرافی و طبقات ارتفاعی (شکل ۳الف)، لایه شیب (شکل ۳ب)، لایه جهت شیب (شکل ۳ج)، لایه زمین‌شناسی: فرسایش‌پذیری سنگ مادر (شکل ۳د)، لایه تراکم پوشش گیاهی (شکل ۳و)، لایه عمق خاک (شکل ۳ه) و لایه شرایط اقلیمی (شکل ۳ی).

جدول (۷): مشخصات اطلاعات مورد نیاز

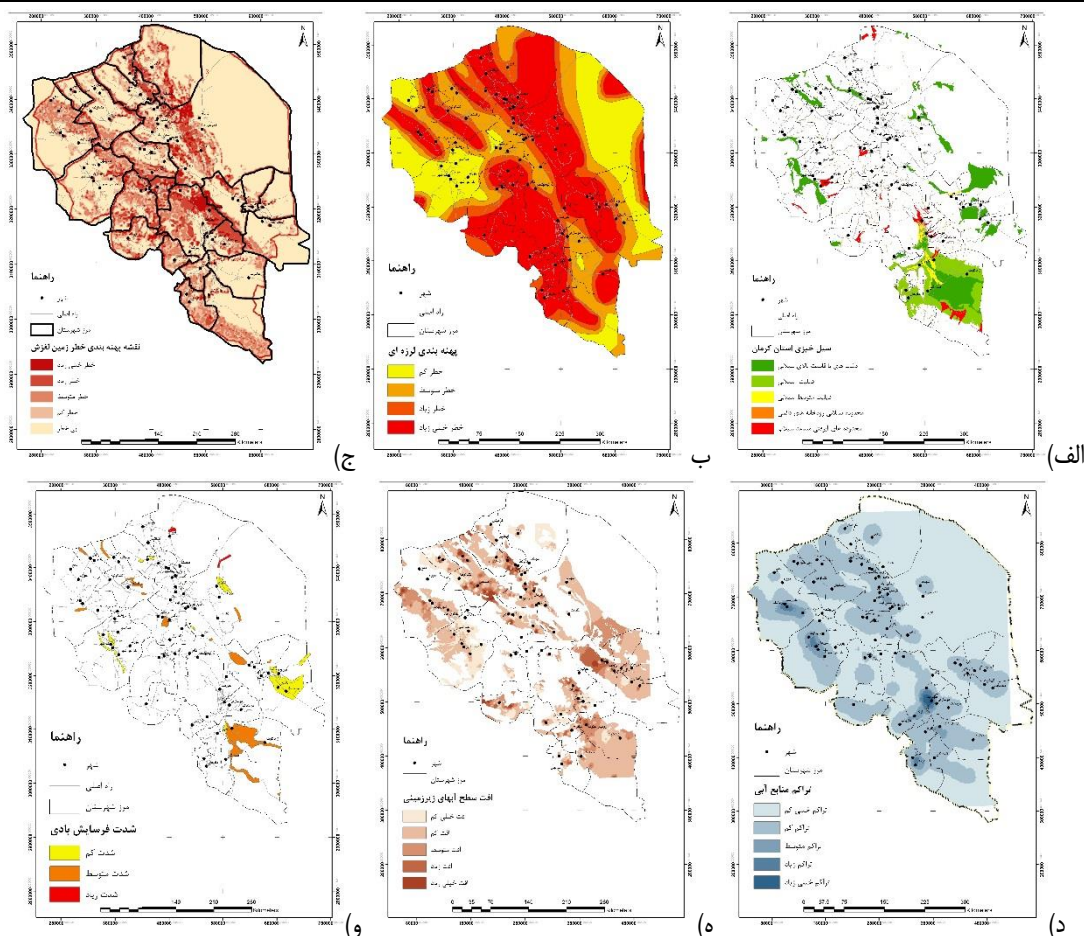
مقیاس	سازمان تهیه‌کننده	لایه اطلاعاتی
۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	نقشه‌های زمین‌شناسی
۱:۲۵۰۰۰	سازمان نقشه‌برداری کشور	نقشه‌های توپوگرافی
۱:۱۰۰۰۰۰	سازمان منابع طبیعی و سازمان حفاظت از محیط‌زیست	نقشه پوشش گیاهی و جانوری
	سازمان منابع طبیعی	نقشه خاک
	سازمان هواشناسی	نقشه وضعیت اقلیمی
	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی	نقشه خطر زمین‌لرزه
	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی	نقشه خطر زمین‌لغزش
	شرکت آب منطقه‌ای	نقشه خطر سیل
	سازمان منابع طبیعی	نقشه فرسایش بادی



شکل (۳): لایه‌های اطلاعات مکانی - معیارهای موثر در ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی در منطقه مورد مطالعه: (الف) لایه اطلاعاتی طبقات ارتفاعی، (ب) لایه شیب، (ج) لایه جهت شیب، (د) لایه زمین‌شناسی: فرسایش‌پذیری سنگ مادر، (ه) لایه تراکم پوشش گیاهی، (و) لایه تراکم پوشش جانوری، (ز) لایه عمق خاک، (ح) لایه شرایط اقلیمی.

آبی (شکل ۴-د)، لایه میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی (شکل ۴-ه)، لایه فرسایش بادی (شکل ۴-و) می‌باشند.

لایه‌های مکانی موثر در عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری بوم‌شناختی شامل لایه سیل‌خیزی (شکل ۴-الف)، لایه پهنه‌بندی لرزه‌ای (شکل ۴-ب)، لایه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (شکل ۴-ج)، لایه تراکم منابع



شکل (۴): لایه‌های اطلاعات مکانی- معیارهای موثر در عوامل محدودکننده توسعه در منطقه مورد مطالعه: (الف) لایه سیل‌خیزی، (ب) لایه پهنه‌بندی لرزه‌ای، (ج) لایه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، (د) لایه تراکم منابع آبی و (ه) لایه میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی، (و) لایه فرسایش بادی.

r_{ij} = نرمال‌سازی، r_{min} = مقدار حداقلی، r_{max} = مقدار حداکثری،
 r_i = داده مورد نظر و SR = محدوده استانداردسازی می‌باشند.

$$V_{xi} = (\sum W_j r_{ij})(\Pi r_{ij}^*) \quad (7)$$

V_{xi} = وزن ترکیب خطی، W_j = وزن معیار و r_{ij} = ضریب نرمال‌سازی شده در هر معیار بر اساس زیرمعیارها و r_{ij}^* = ضریب محدودیت در صورت وجود ۱ و در غیر این صورت صفر محاسبه می‌شود.

طبقه‌بندی نقشه آسیب‌پذیری بوم‌شناختی بر اساس اصل مقادیر آستانه‌ای

این اصل توسط (Makhdoum & Mkhdom, 1993; Mansouri, 1999) در طبقه‌بندی نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس این اصل با افزایش مقدار

تلفیق اطلاعات با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار^(۱۱)

این روش یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها در ترکیب اطلاعات بر مبنای سیستم اطلاعات جغرافیایی است (Eastman et al., 1993) و در تحلیل استعداد اراضی، مکان‌یابی‌ها و تخمین منابع استفاده شده است (Malczewski, 2015). بر اساس این روش ابتدا معیارها استانداردسازی و نرمال (رابطه ۶) می‌شوند (Voogd, 1983). سپس معیارها بر اساس تحلیل همپوشانی (Osullivan & Unwin, 2010) و روش ترکیب خطی وزن‌دار (Drobne & Lisec, 2009; Osullivan & Unwin, 2010) ترکیب می‌شوند. این عملیات توسط ابزار محاسبه‌های رستری^(۱۲) در GIS انجام می‌گیرد.

$$r_{ij} = \frac{(r_i - r_{min})}{(r_{max} - r_{min})} SR \quad (6)$$

مدل ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی = وزن معیار ارتفاع $\times$ (وزن زیر معیارهای ارتفاع) + وزن معیار شیب $\times$ (وزن زیر معیارهای شیب) + وزن معیار جهت شیب $\times$ (وزن زیر معیارهای جهت شیب) + وزن معیار تراکم پوشش گیاهی $\times$ (وزن زیر معیارهای تراکم پوشش گیاهی) + وزن معیار اقلیم $\times$ (وزن زیر معیارهای اقلیم) + وزن معیار زمین‌شناسی $\times$ (وزن زیر معیارهای زمین‌شناسی) + وزن معیار عمق خاک $\times$ (وزن زیر معیارهای عمق خاک). (۹)

با جایگذاری اوزان معیارها و زیرمعیارها مدل به شرح زیر است. مدل ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی = $0.152 \times$ (وزن زیر معیارهای ارتفاع) + $0.090 \times$ (وزن زیر معیارهای شیب) + $0.054 \times$ (وزن زیر معیارهای جهت شیب) + $0.249 \times$ (وزن زیر معیارهای زمین‌شناسی) + $0.159 \times$ (وزن زیر معیارهای اقلیم) + $0.093 \times$ (وزن زیر معیارهای تراکم پوشش گیاهی) + $0.203 \times$ (وزن زیر معیارهای عمق خاک). (۱۰)

این نقشه نشان‌دهنده درجه آسیب‌پذیری مقاوم، حساس، نیمه حساس و آسیب‌پذیر به ترتیب با $22/7$ ، $25/3$ ، $26/4$ و $28/4$ درصد از مساحت استان در بخش‌های مختلف است (جدول ۸ و شکل ۵-الف). برای تفسیر عینی‌تر نتایج سطح ترکیب نتایج تا مرز دهستان (شکل ۵-ب) و سپس شهرستان (شکل ۵-ج) افزایش یافت. این نقشه‌ها حاکی از واقع شدن نواحی آسیب‌پذیر در مناطق شمالی، شمال شرقی و شرق و نواحی مقاوم در مناطق مرکزی به شمت جنوب و غرب استان کرمان می‌باشند. در نقشه سطح ترکیب شهرستان‌ها، شهرستان کرمان، راور و زرنند از بیشترین درجه آسیب‌پذیری (جدول ۹) و شهرستان‌های بافت، رودبار جنوب و عنبرآباد از کمترین درجه آسیب‌پذیری برخوردار می‌باشند (جدول ۱۰) که نقشه سطح ترکیب دهستان‌ها نیز مؤید این نکته است.

درجه آسیب‌پذیری و نزدیک شدن این مقدار به حد آستانه‌ای، میزان حساسیت اکولوژیکی آن‌ها افزایش می‌یابد و نقشه نهایی بر مبنای این اصل در چهار دسته طبقه‌بندی می‌شود.

$$E = \sum(a - b) / 4 \quad (۸)$$

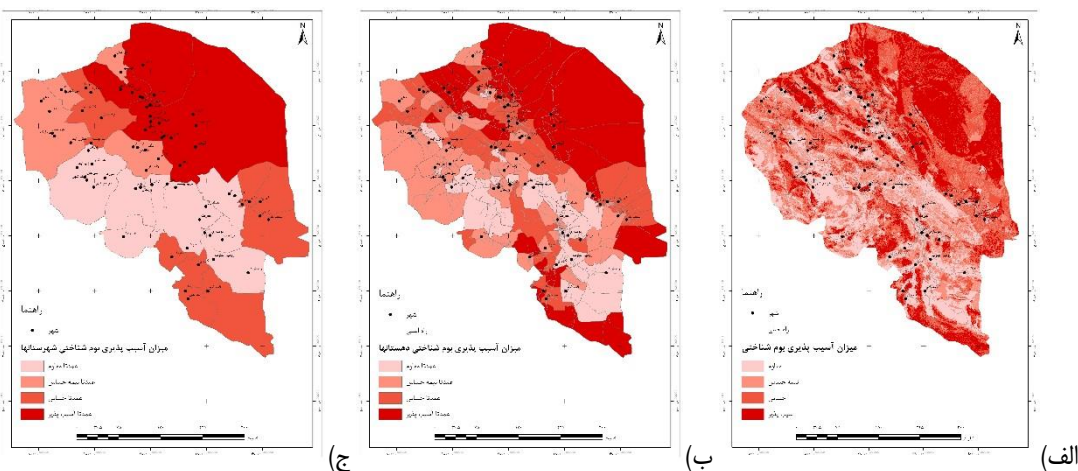
در این رابطه a = بزرگ‌ترین عدد آسیب‌پذیری (مجموع حداکثر کدهای محدودیت)، b = کوچک‌ترین عدد آسیب‌پذیری (مجموع حداقل کدهای محدودیت) و E = نشان‌دهنده حد هر دسته است. همچنین برای تفسیر بهتر نتایج، سطح ترکیب^(۱۳) اطلاعات از سطوح پیکسلی به سطوح بالاتر (مرز شهرستان‌ها و دهستان‌ها) افزایش یافت. این کار پس از تهیه لایه آسیب‌پذیری بوم‌شناختی و با استفاده از دستور پیوستگی مکانی^(۱۴) انجام می‌گیرد تا متوسط میزان آسیب‌پذیری بوم‌شناختی در هر پیکسل به لایه اطلاعاتی مرز دهستان‌ها و شهرستان‌ها الحاق شود. سپس بر اساس تلفیق لایه‌های تشدیدکننده آسیب‌پذیری تأثیر آن‌ها بر نقشه نهایی میزان آسیب‌پذیری با توجه به ماهیت طبیعی معیارها سنجیده می‌شود.

نتایج

بر اساس این تحقیقات و محاسبات انجام شده بر مبنای روش تحلیل سلسله مراتبی فازی توسعه یافته درجه اهمیت (وزن) مهم‌ترین معیارهای اصلی مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی به ترتیب اولویت بدین شرح است: زمین‌شناسی: فرسایش‌پذیری سنگ مادر (0.249)، عمق خاک (0.203)، اقلیم (0.159)، ارتفاع (0.152)، تراکم پوشش گیاهی (0.093)، شیب (0.090) و جهت شیب (0.054). درجه اهمیت زیر معیارهای هر معیار با توجه به تأثیر هر یک در میزان آسیب‌پذیری بوم‌شناختی نیز محاسبه شد. پس از انجام محاسبه‌ها و تولید لایه‌ها در GIS تمامی لایه‌ها بر اساس اوزان محاسبه شده معیارهای اصلی و زیرمعیارها تلفیق (رابطه ۹ و ۱۰) و نقشه نهایی بر اساس اصل مقادیر آستانه‌ای تهیه شد.

جدول (۸): میزان مساحت در هر یک از طبقات آسیب‌پذیری بوم‌شناختی در استان کرمان

درجه آسیب‌پذیری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
مقاوم	۴۰۸۰۵/۱۳	۲۲/۷
نیمه حساس	۴۵۴۵۴/۸۹	۲۵/۳
حساس	۴۷۲۸۶/۳۴	۲۶/۴
آسیب‌پذیر	۴۵۵۰۰/۱۶	۲۵/۴



شکل (۵): نقشه توزیع آسیب‌پذیری بوم‌شناختی در استان کرمان بر مبنای
الف) پیکسل‌های ده متر، ب) مرز دهستان‌ها و ج) مرز شهرستان‌ها

جدول (۹): بیشترین میزان آسیب‌پذیری بوم‌شناختی (آسیب‌پذیر) شهرستان‌ها و دهستان‌های استان کرمان
(مساحت بر حسب کیلومتر مربع)

اولویت	شهرستان	مساحت بخش آسیب‌پذیر	دهستان	مساحت بخش آسیب‌پذیر
۱	راور	۶۹۷۸	فردوس	۳۳۰
۲	کرمان	۲۳۲۰۳	اندوهجرد	۹۵۷۱
۳	زرند	۱۴۷۴	رضوان	۴۴۱
۴			راور	۳۹۱۷
۵			سیریز	۴۹۲
۶			تکاب	۱۳۵۵۷
۷			جوشان	۵۵۱
۸			دره دران	۴۰۹
۹			شعبجره	۴۲۲
۱۰			کشیت	۵۵۰۵

جدول (۱۰): کمترین میزان آسیب‌پذیری بوم‌شناختی (مقاوم) شهرستان‌ها و
دهستان‌های استان کرمان (مساحت بر حسب کیلومتر مربع)

اولویت	شهرستان	مساحت بخش مقاوم	دهستان	مساحت بخش مقاوم
۱	بافت	۳۶۰۰	ملک‌آباد	۵۵۶
۲	رودبار جنوب	۳۲۱۹	علی‌آباد	۷۳
۳	عنبرآباد	۱۲۷۸	مسکون	۱۹۴
۴	بم	۲۲۶۳	دلفارد	۲۶۳
۵	سیرجان	۵۵۷۲	دهیکری	۱۴۲
۶	جیرفت	۳۵۰۱	محمدآباد	۱۷۱
۷	ارزوئیه	۲۳۸۰	نخلستان	۳۸۹
۸	رابر	۵۰۲	رودبار	۷۳۳
۹			سغدر	۲۳۴
۱۰			گور	۵۷۲

جدول (۱۱): بیشترین میزان شدت عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری بوم‌شناختی در شهرستان‌ها و دهستان‌های استان کرمان

اولویت	شهرستان	دهستان
۱	بم	حومه
۲	نرماشیر	کبوترخان
۳	رودبار جنوب	کشیت
۴	قلعه گنج	وحدت
۵	کرمان	چاه دادخدا
۶	کوهبنان	جازموریان
۷	ریگان	مومن آباد
۸	ارزوئیه	پشت رود
۹	راور	کرک و نارتیج
۱۰	فهرج	گنبدکی

جدول (۱۲): کمترین میزان شدت عوامل تشدیدکننده در شهرستان‌ها و دهستان‌های استان کرمان

اولویت	شهرستان	دهستان
۱	عنبرآباد	محمودآباد
۲	منوجان	حسین آباد
۳	سیرجان	نو دژ
۴	فاریاب	نجف آباد
۵	جیرفت	محمدآباد
۶	کهنوج	گنج آباد
۷	بردسیر	اسماعیل باد
۸	بافت	اسماعیلی
۹	شهربابک	ملک آباد
۱۰	انار	جهادآباد

بر این شد تا معیارهای اصلی که اطلاعات آن‌ها در محدوده استان کرمان در دسترس بود مورد استفاده قرار گیرند. این معیارها همان معیارهایی می‌باشند که (Makhdoum, 1993; Jabarian, 1999; Safaeian et al., 2002; Chamani et al., 2005; Masnavi et al., 2013; Heidari Masteali et al., 2015; Rezazadeh et al., 2016; Shirmohammadi et al., 2017) در ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی مورد استفاده قرار داده‌اند.

(Makhdoum, 1993; Jabarian, 1999; Safaeian et al., 2002; Chamani et al., 2005; Rezazadeh et al., 2016) از روش تحلیل اثرات متقابل ضریب اهمیت معیارها را

بررسی عوامل تشدیدکننده میزان آسیب‌پذیری در استان نشان می‌دهد که معیار تراکم منابع آبی و میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردارند و معیارهای خطر زمین‌لرزه، زمین‌لغزش، سیل و فرسایش بادی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بنابراین مدل معیارهای تشدیدکننده میزان آسیب‌پذیری بوم‌شناختی به شرح زیر است:

مدل معیارهای تشدیدکننده آسیب‌پذیری = وزن معیار تراکم منابع آبی X (وزن زیر معیارهای تراکم منابع آبی) + وزن معیار افت سطح آب‌های زیرزمینی X (وزن زیر معیارهای افت سطح آب‌های زیرزمینی) + وزن معیار خطر زمین‌لرزه X (وزن زیر معیارهای خطر زمین‌لرزه) + وزن معیار خطر زمین‌لغزش X (وزن زیر معیارهای خطر زمین‌لغزش) + وزن معیار خطر سیل X (وزن زیر معیارهای خطر سیل) + وزن معیار فرسایش بادی X (وزن زیر معیارهای فرسایش بادی).

با جایگذاری اوزان معیارها و زیرمعیارها مدل به شرح زیر است. مدل معیارهای تشدیدکننده آسیب‌پذیری = $0.376 X$ (وزن زیر معیارهای تراکم منابع آبی) + $0.366 X$ (وزن زیر معیارهای افت سطح آب‌های زیرزمینی) + $0.094 X$ (وزن زیر معیارهای خطر زمین‌لرزه) + $0.057 X$ (وزن زیر معیارهای خطر زمین‌لغزش) + $0.056 X$ (وزن زیر معیارهای خطر سیل) + $0.050 X$ (وزن زیر معیارهای فرسایش بادی).

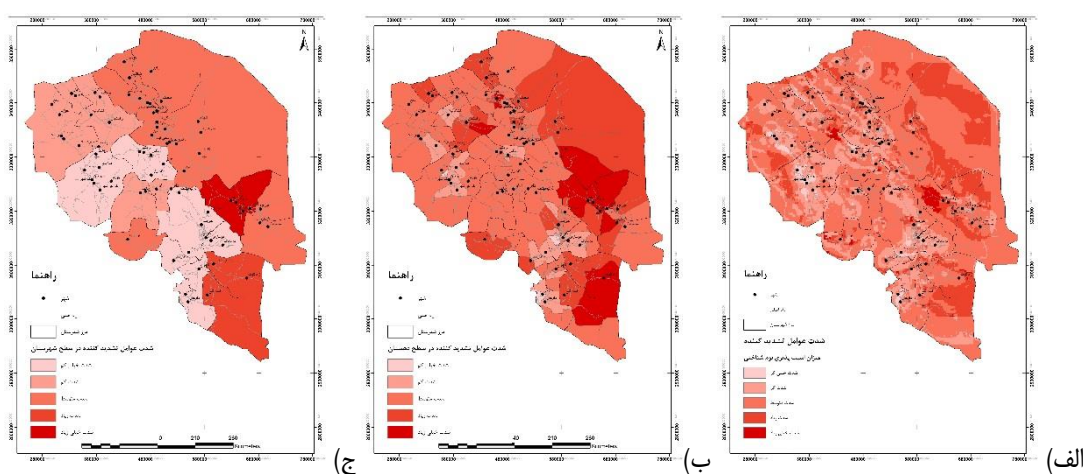
براساس نتایج حاصل از ارزیابی شدت عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری در سطح پیکسل‌های ده متری (شکل ۶-الف)، دهستان (شکل ۶-ب) و شهرستان (شکل ۶-ج) نشان می‌دهد که بیشترین شدت عوامل تشدیدکننده در شهرستان‌های بم و نرماشیر، رودبار جنوب و قلع گنج (جدول ۱۱) و کمترین میزان شدت در شهرستان‌های عنبرآباد، منوجان، سیرجان و فاریاب (جدول ۱۲) است.

بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی یکی از مهم‌ترین ابزارهای لازم برای تحلیل توسعه منطقه‌ای است. در این مطالعه عمدتاً معیارهای طبیعی و محیطی مورد پایش قرار می‌گیرند. Rezazadeh et al. (2016) معیارهای اصلی را شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، عمق خاک، فرسایش‌پذیری سنگ مادر، اقلیم در نظر می‌گیرد، اما Faryadi et al. (2014) معیارهایی مانند فرسایش آبی و بادی را نیز در ارزیابی شرکت می‌دهد. در این تحقیق سعی

بهتری از نحوه وزن‌دهی فازی معیارها و زیرمعیارها داشته و نتیجه بهتری را در پایان ارائه نماید. در این تحقیق GIS در آماده‌سازی اطلاعات، مدیریت داده‌ها، تلفیق و مدل‌سازی اطلاعات مکانی به کار گرفته شد که نشان‌دهنده توانمندی این علم و ابزار در کمک به ارزیابان محیط‌زیست برای ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی و برنامه‌های آمایش سرزمینی در مقیاس‌های محلی، استانی و کشوری است.

تعیین نموده و سپس با مجموع کد محدودیت در هر شبکه یا واحد هیدرولوژیک لایه آسیب‌پذیری بوم‌شناختی را تهیه نمودند. (Faryadi et al., 2014) از روش اثرات متقابل، تحلیل توسعه‌ای و تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین اوزان معیارها و زیرمعیارها استفاده نموده‌اند. اما در این تحقیق روش تحلیل سلسله مراتبی فازی توسعه‌یافته مورد استفاده قرار گرفته است. که محقق را قادر می‌سازد تا در مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها با یکدیگر با کاربرد روش فازی مثلثی و اصول سلسله مراتبی درک دقیق‌تر و



شکل (۶): نقشه توزیع شدت عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری بوم‌شناختی در استان کرمان بر مبنای (الف) پیکسل‌های ده متر، (ب) مرز دهستان‌ها و (ج) مرز شهرستان‌ها

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که بخش‌های شمال، شمال‌شرقی و شرقی استان کرمان به لحاظ اکولوژیک در معرض آسیب بیشتری قرار دارند و لزوم توجه بیشتر به این مناطق در طرح‌های توسعه‌ای استان از اولویت بسیار بالایی برخوردار است و در تلفیق نتایج حاصل از ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی و همچنین شدت عوامل تشدیدکننده میزان آسیب‌پذیری، شهرستان‌های سیرجان، جیرفت، عنبرآباد و بافت در اولویت توسعه می‌باشند. نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری بوم‌شناختی به‌عنوان شاخصی مهم از ارزیابی کیفیت سرزمینی در پایش اثرات محیط‌زیستی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند از انجام فعالیت‌های منجر به تخریب در محیط‌زیست جلوگیری نماید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از کارکنان سازمان‌هایی که در ارائه اطلاعات لازم برای انجام این تحقیق همکاری نموده‌اند، تشکر می‌نمایند.

با انجام این تحقیق مناطق آسیب‌پذیر و حساس در استان کرمان شناسایی شدند که این نتایج می‌تواند برای برنامه‌ریزی توسعه و طرح‌های آمایش سرزمینی استان مورد استفاده قرار گیرند. بر اساس این نتیجه، بخش عظیمی از استان کرمان حدود ۲۵/۴ درصد در درجه آسیب‌پذیر و ۲۶/۴ درصد در درجه حساس به دلیل شرایط اکولوژیکی شامل زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، خاک، وضعیت اقلیمی و ارتفاعی حاکم بر آن قرار دارند که دارای شرایط شکننده و آسیب‌پذیری است. بنابراین، هرگونه دخل و تصرف در این مناطق سبب برهم خوردن شرایط طبیعی و محیطی آن‌ها می‌شود که بازگشت این مناطق به حالت اولیه را مستلزم صرف زمان زیاد و هزینه‌های هنگفت می‌نماید. علاوه بر این بر اساس نتایج حاصل از عوامل تشدیدکننده شدت آسیب‌پذیری بوم‌شناختی، مناطق شمالی، شرقی، جنوبی و مرکزی استان تحت تاثیر این عوامل از شدت آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار است و بخش‌های غربی و جنوب‌غربی از میزان شدت آسیب‌پذیری کمتری برخوردارند.

یادداشت‌ها

- | | |
|---|---|
| 7. Geometric mean
8. Triangular Fuzzy Membership
9. Center of area: COA
10. Reclassify
11. Weighted Linear Combination: WLC
12. Raster Calculator
13. Aggregation Level
14. Spatial Join | 1. Ecological vulnerability
2. Analytical Hierarchy Process: AHP
3. Fuzzy Logic Method
4. Fuzzy Analytical Hierarchy Process: FAHP
5. Geographic Information System: GIS
6. Extended Fuzzy Analytic Hierarchy Process: EFAHP |
|---|---|

فهرست منابع

- Buckley J. J. 1985. Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17, 233-247.
- Chamani, A.; Makhdoum, M.; Jafari, M.; Khorasani, N. & Cheraghi, M. 2005. Evaluating development impact on the environment of Hamadan Province using degradation model, *Journal of Environmental Studies*, 31(37): 35-44 (In Persian)
- Chang, P.L. & YC., Chen. 1994. A fuzzy multi-criteria decision making method for technology transfer strategy selection in biotechnology. *Fuzzy Sets Systems*, 63(1): 131-139.
- Danehkar, A. & Jafari, S. 2017. Degradation assessment of Jajrood protected area using landscape degradation model. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(2), 17-32 (In Persian)
- De Lange, H. J.; Sala, S.; Vighi, M. & Faber, J. H. 2010. Ecological vulnerability in risk assessment — A review and perspectives. *Science of The Total Environment*, 408(18): 3871-3879.
- Drobne, Samo. & Lisec, Anka. 2009. Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging. *Informatica (Slovenia)*, 33(4): 459-474.
- Eastman, J. R.; Kyem, P. A. K.; Toledano, J. & Jin, W. 1993. *GIS and Decision Making Explorations in Geographic Information System Technology (Vol. 4)*. Geneva, Switzerland, UNITAR
- 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 (In Persian)
- Gharagozlou, A. & Alizadeh, M. 2014. Land suitability assessment for industry's establishment with AHP-Fuzzy logic method (Case study: Malard county). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(4): 79-94 (In Persian)
- Heidari Masteali, S.; Jabbarian Amiri, B. & Alizade Shabani, A. 2015. Determination of ecological vulnerability in Torghabeh-Shandiz Township using objective vulnerability method. *Journal of Natural Environment*, 68(2): 213-223 (In Persian)
- Hsieh T.Y.; Lu S.T. & Tzeng G.H. 2004. Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings. *Int. J. of Project Management*, 22: 573-584.
- Jabarian Amiri, B. 1999. Introduction of an objectivist method for determining the ecological vulnerability of ecosystems, *Journal of Environmental Studies*. 1998;24(21): 57-68 (In Persian)
- Jafari, D. A.; Yarali, D. N. & Azadegan Dehkordi, S. 2014. Assessment of Development Effects on the Environmental of Chaharmahal and Bakhtiari Province and Determining the Priorities of Villages for Development by Using Degradation Model. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 4(13): 107-118 (In Persian)

- Jahani, A.; Feghhi, J.; Makhdoum, M. F. & Omid, M. 2015. Optimized forest degradation model (OFDM): an environmental decision support system for environmental impact assessment using an artificial neural network. *Journal of Environmental Planning and Management*.
- Jozi, S. A.; Rezaian, S.; Irankhahi, M. & Dabiri, F. 2013. Investigating the Environmental Impacts of Service and Urban Development in Bandar-Abbas City Using Degradation Model and Provide the Management Solutions. *Town and Country Planning*, 5(2): 317-334 (In Persian)
- Li, Lu.; Shi, Zhi-Hua.; Yin, Wei.; Zhu, Dun.; Ng, Sai Leung.; Cai, Chong-Fa. & Lei, A. Lin. 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.
- Longley, Paul A.; Goodchild, Michael F.; Maguire, David J. & Rhind, David W. 2005. *Geographic Informaiton Systems and Science*. Hoboken: Jhon Wiley.
- Makhdoum, M. 1993. East Azarbaijan and Environment, Seminar proceedings on Development and East Azarbaijan, Provincial Government of East Azarbaijan (In Persian)
- Makhdoum, M. & Mansouri, M. 1999. Environmental impact assessment of Hormozgan Province (S. Iran) by degradation model. (1999). *Journal of Environmental Studies*, 25(23): 49-56 (In Persian)
- Makhdoum, Majid F. 2002. Degradation model: a quantitative EIA instrument, acting as a Decision Support System (DSS) for environmental management. *Environmental management*, 30(1): 151-156.
- Malczewski, Jacek, & Rinner, Claus. 2015. *Multicriteria decision analysis in geographic information science*: Springer.
- Management and Planning Organization of Kerman Province. 2013. *Statistical yearbook of Kerman province*, Management and Planning Organization of Kerman, 312p (In Persian)
- Masnavi, M. R.; Tasa, H.; Kafi, M. & Dinarvandi, M. 2013. Landscape Visual Assessment of Gheshlagh River Valley - Sanandaj City for Ecotourism Development. *Journal of Environmental Studies*, 39(1): 133-144 (In Persian)
- Naghdi, F.; Hosseini, S. M. & Sadr, S. 2014. Ecological capability assessment by using GIS and analytic hierarchy process (Case study: Tabriz Suburb). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(3): 57-65 (In Persian)
- O'Sullivan, David. & Unwin, David J. 2010. *Putting Maps Together—Map Overlay Geographic Information Analysis* (pp. 315-340): John Wiley & Sons, Inc.
- Reza zadeh, S.; Jahani, A.; Makhdoum, M.; Gashtasb Meygouni, A. 2016. Determining ecological vulnerability of Bashgol protected area using GIS, 14th National Conference on Environmental Impact Assessment of Iran, Tehran, 25p (In Persian)
- Saaty, T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation*. US: McGraw-Hill International.
- Safaeian, N.; Shokri, M. & Jabareian Amiri, B. 2002. Evaluating development impact on north of Iran's environment using land degradation model. *Journal of Environmental Studies*, 28(30): 2-8 (In Persian)
- Sepehr, H.; Makhdoum, M.; Faryadi, Sh. & Ramedani, M. 2015. Land Quality Assessment in Protected Areas, Using Degradation Model. *Environmental Researches*, 6(11): 119-130 (In Persian)
- Shamsipour, A. A. & Shekhi, M. 2010. Zoning Of Sensitive Area And Environment Vulnerable In West Of Fars Province Using Fuzzy And Ahp Classification. *Physical Geography Research Quarterly*, 73: 53-68 (In Persian)

Shirmohammadi, I.; Jahani, A.; Etemad, V.; Zargham, N. & Makhdom, M. 2017. Development Environmental Impact Assessment (EIA) on Karkas Protected Area by Using Destruction. Environmental Researches, 7(14): 91-102 (In Persian)

Voogd, H. 1983. Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. London: Pion, Ltd.

Wu, Chunsheng.; Liu, Gaohuan.; Huang, Chong.; Liu, Qingsheng. & Guan, Xudong. 2018. Ecological Vulnerability Assessment Based on Fuzzy Analytical Method and Analytic Hierarchy Process in Yellow River Delta. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(855): 1-14.