

ارزیابی خطر بیابان‌زایی با استفاده از منطق تاپسیس فازی در محیط GIS

محمد حسن صادقی روش^{۱*}

m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

حسن خسروی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۳

چکیده

زمینه و هدف: پدیده مخرب بیابان‌زایی یکی از بحران‌های جدی اکولوژیکی با اثرات گسترده و بلند مدت طبیعی و انسانی است. لذا اقدامات اجرایی در این زمینه باید متکی به شناخت وضعیت فعلی بیابانی شدن اراضی و شدت آن باشد. از طرفی ضعف روش‌های اندازه‌گیری شدت بیابان‌زایی، همواره نیاز به ارائه روش‌های نوین و کمی را ایجاب می‌کند. بنابراین لزوم پرداختن به روش‌هایی که بتواند پهنه‌بندی را بر مبنای منطق و اصول قوی و مبنای نظری مستدل ارایه دهد، ضروری به نظر می‌رسد. از این رو این پژوهش با هدف ارزیابی خطر بیابان‌زایی با استفاده از منطق تاپسیس فازی و به صورت موردی در دشت یزد- خضراباد طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ به انجام رسید.

روش بررسی: در این پژوهش سعی شد پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی توسط روش تاپسیس فازی به انجام رسد. در این روش پس از تعیین و ارزش‌دهی شاخص‌های موثر از روش دلفی فازی و تهیه لایه واحدهای کاری، اقدام به فازی‌سازی داده‌ها از روش چن و هوانگ شد و در ادامه فرایند تحلیل فازی بر روی داده‌ها صورت گرفت و در نهایت ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون حاصل شد، که در چارچوب این ماتریس و از روش تاپسیس، برآورد شدت بیابان‌زایی به انجام رسید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ۹/۳۴٪ درصد از کل منطقه مطالعاتی به صورت خیلی شدید، ۷/۷۱٪ درصد شدید و ۱۲/۵۷٪ درصد به صورت نسبتاً شدیدی تحت فرایند بیابان‌زایی می‌باشد و بیابان‌زایی با شدت ناچیز (۴۶/۵۷٪) و متوسط (۲۳/۸۱٪) به ترتیب، بیشترین سهم را در منطقه مطالعاتی به خود اختصاص داده است. به طور کلی ارزش کمی شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه از مجموع عوامل ۰/۲۶۲ (کلاس نسبتاً متوسط یا III) به دست آمد.

بحث و نتیجه‌گیری: مطالعه صورت گرفته نشان از کارایی و سهولت کاربرد منطق فازی در ارزیابی شدت بیابان‌زایی داشت. همچنین نتایج این پژوهش امکان برنامه‌ریزی را برای به حداقل رساندن بیابان‌زایی در اثر انجام طرح‌های توسعه فراهم می‌سازد و می‌تواند شرایطی را ایجاد کند که با توجه به اولویت‌ها و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه مطالعاتی، تعادل بین طرح‌های توسعه و محیط امکان پذیر گردد.

واژه‌های کلیدی: روش بونیسون، ساختار سلسله مراتبی، مدل‌های تصمیم‌گیری، مقایسه زوجی، منطق فازی.

۱ - دانشیار گروه محیط زیست، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲ - دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Assessment the hazard of desertification using fuzzy TOPSIS logic in GIS environment

Mohammad Hassan Sadeghi Ravesh^{1*}

m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

Hassan Khosravi²

Admission Date: April 20, 2022

Date Received: November 14, 2021

Abstract

Background and Objective The phenomenon of desertification is one of the serious ecological crises with extensive and long-term natural and human effects. Therefore, executive measures related to desertification control should be based on recognizing the current state of desertification of lands and its severity. On the other hand, the weakness of methods for measuring the intensity of desertification, always requires the need to provide new and quantitative methods. The need to address methods that can provide zoning based on strong logic and principles and rational theoretical foundations seems necessary in the field of desert management.

Material and Methodology: In this paper, it has been tried to do so by using the Fuzzy Topsis method. In this method, after determining and evaluating the effective indices by the fuzzy Delphi method and preparing the layer of work units, the data were fuzzy by the Chen and Huang methods. The fuzzy analysis process was performed on the data. Finally, a normalized fuzzy decision matrix was obtained, which within the framework of this matrix and by TOPSIS method, the intensity of desertification was estimated.

Findings: The obtained results showed that, 9.34%, 7.71% and 12.57% of the total study area are in the very high, high and relatively high class of desertification, and Desertification with low (46.57%) and medium (23.81%) has the highest share in the study area, respectively. The quantitative value of desertification intensity for the whole region was 0.262 located in relatively medium or III class.

Discussion and Conclusion: The study showed the efficiency and ease of application of fuzzy logic in assessing the intensity of desertification. The results of this study provide the possibility of planning to minimize desertification as a result of development projects, and can create conditions where a balance between development plans and the environment is possible based on the priorities and vulnerability zoning of the study area.

Key words: Decision making models, Bonissone method, Fuzzy logic, Hierarchy structure, pair-wise comparisons.

1- Associate Professor, Department of Environment, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.

*(Corresponding Author)

2- Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

مقدمه

خشک^۴(۱۰)، مدل گروه احیاء مناطق خشک دانشکده منابع طبیعی^۵(۱۱)، مدل تاکسنومی عددی توسعه‌یافته^۶(۱۲)، ۱۳، ۱۴)، می‌باشد.

با بررسی که بر روی این روش‌ها صورت گرفت، ملاحظه شد که این روش‌ها نیز به نوبه خود دارای نواقصی از جمله، غیر بومی و کیفی بودن شاخص‌ها، خطای کارشناسی، کوچک مقیاس بودن، عدم امکان تفکیک عوامل انسانی و طبیعی در نتیجه‌گیری‌ها، بودند. هر چند این نواقص در مدل‌های بعدی و به ویژه مدل تاکسنومی تا حدود زیادی مرتفع شد ولی همچنان این مدل‌ها دارای نقص اساسی بودند و آن این بود که در ارزش‌گذاری شاخص‌ها، تنها ارزش مطلق هر شاخص در هر واحدکاری در نظر گرفته می‌شد و اولویت آنها نسبت به هم در ایجاد شرایط بحرانی در نظر گرفته نمی‌شد که این امر منجر به دستیابی به نتایج غیر واقعی می‌شد. از این رو صادق‌روش در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸ چهار مدل آسیب‌پذیری زیست محیطی^۷(۱۵)، مدل آنتروپی شانون^۸(۱۶)، مدل تحلیل مولفه‌های اصلی^۹(۱۷) و مطلوبیت چند شاخصه^{۱۰}(۱۸) را ارائه داد. تمامی این مدل‌ها همانند مدل تاکسنومی دارای ساختار سلسله مراتبی بودند. در عین حال روش‌های مذکور، واجد محدودیت نادیده انگاشتن قضاوت‌های فازی تصمیم‌گیران بودند. با توجه به نزدیک بودن مفهوم منطق فازی به رفتار انسانی (فرایند انتخاب و تصمیم‌گیری)^{۱۱}(۱۹، ۲۰)، کوه‌نباتی^{۱۲}(۲۱)، بیدگلی و همکاران^{۱۳}(۲۲)، سیلاخوری و همکاران^{۱۴}(۲۳) و صادق‌روش و همکاران^{۱۵}(۲۴) بین سال‌های ۹۶ تا ۹۹ و Wang و همکاران^{۱۶}(۲۵)، در سال ۲۰۱۵ به روش فازی اقدام به ارزیابی خطر بیابان‌زایی کردند.

مناطق بیابانی یکی از بیوم‌های زیستی و اکولوژیکی در جهان هستند که به طور مستقیم تحت تأثیر توسعه اقتصادی-اجتماعی قرار دارند (۱). با وجود فعالیت‌های گسترده‌ای که در چند دهه اخیر در زمینه حفاظت از منابع طبیعی تجدید شونده و نگهداری از بنیان‌های بوم‌شناختی در سطح جهان صورت گرفته، متأسفانه جهان امروز با مشکلات اساسی در زمینه مسائل محیط زیستی روبرو بوده که یکی از این معضلات مهم پدیده بیابانی شدن اراضی است (۲). از طرف دیگر بیابان‌زایی مانع اولیه توسعه پایدار در این جوامع است (۳). لذا به منظور دستیابی به توسعه متعادل گام اساسی شناخت وضع موجود است. شناخت وضع موجود و پی بردن به ظرفیت اکولوژیکی هر منطقه باعث می‌شود که در فرایند توسعه، از تخریب محیط جلوگیری شود و در عین حال تحقق اهداف و سیاست‌های ممکن مورد نظر را میسر می‌سازد. از این رو فنون ارزیابی شدت بیابان‌زایی و تهیه نقشه پهنه‌بندی آن همواره به عنوان یکی از مهمترین ابزارهای برنامه‌ریزی و مدیریت به منظور دستیابی به توسعه پایدار در عرصه منابع طبیعی مطرح بوده است (۴).

بنابراین با توجه به اهمیت کاربردی این نقشه‌ها علیرغم توسعه فنون و روش‌های کمی در پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در طی سال‌های اخیر همچنان سعی در ارائه روش‌های کمی با خطای کمتر و ضریب اطمینان بیشتر و سرعت و سهولت دستیابی به نتایج بالاتر است.

در زمینه ارزیابی مناطق نسبت به بیابانی شدن تاکنون تحقیقات زیادی صورت گرفته است. از جمله، روش تحقیقی مقدماتی برای ارزیابی نقشه‌بندی بیابانزائی (۵)، مدل حساسیت زیست محیطی نواحی^{۱۷}(۶)، مدل طبقه‌بندی نوع و شدت بیابانزائی در ایران^{۱۸}(۷)، مدل بسط یافته طبقه‌بندی نوع و شدت بیابانزائی در ایران^{۱۹}(۸، ۹)، ارزیابی تخریب زمین در اراضی

4-Land Degradation Assessment in Drylands (LADA)

5-Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA)

6- Modified Numerical Taxonomy (MNT)

7- Environmental vulnerability index (EVI)

8- Shanons Entropy Model

9- Principal Component Analysis (PCA)

10- Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)

11- Decision Making and Selection processes

1- Environment Sensitive Area to Desertification (ESA)

2-Iranian classification of desertification (ICD)

3- Modified Iranian classification of desertification (MICD)

روش تحقیق

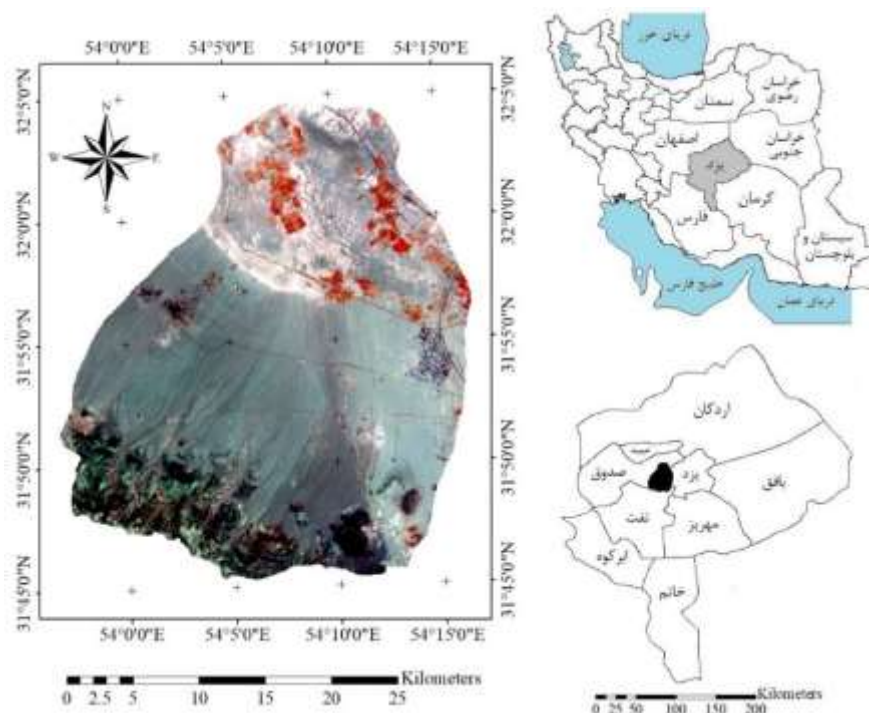
در زمینه سنجش و پهنه‌بندی بیابان‌زایی، روش‌ها و تکنیک‌های کمی مختلفی وجود دارد که از این روش‌ها به منظور تسهیل فرایند برنامه‌ریزی و کمک به تصمیم‌گیری در عرصه مدیریت مناطق بیابانی استفاده می‌شود. با توجه به تعدد، پیچیدگی و برهم‌کنش میان شاخص‌های موثر در پهنه‌بندی بیابان‌زایی در این پژوهش از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه تاپسیس استفاده شد، چرا که در این روش شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه، می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند و با تکیه بر نظر خبرگان، می‌تواند تصویر مناسبی از خطر بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه ارائه دهد (۲۳). همچنین از آنجا که در ماهیت اکوسیستم‌های طبیعی، مرزهای مشخص و قراردادی وجود ندارد؛ از این‌رو همواره در مدل‌سازی پدیده‌هایی از قبیل بیابان‌زایی با سطحی از عدم قطعیت روبرو هستیم (۲۹). از این رو در پژوهش حاضر جهت برآورد و تلفیق شاخص‌ها از منطق فازی استفاده شد. روش تاپسیس فازی که نوعی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جبرانی سازشی است، اولین بار توسط چن ارائه شد (۳۰) از آنجایی که تمام روش‌های ارائه شده با تغییرات اندکی از روش چن نشأت می‌گیرند، از این رو در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی از روش چن استفاده شد (۳۱، ۳۲) (شکل ۲).

بنابراین با توجه به محدودیت مطالعات به انجام رسیده در رابطه با کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در تحلیل پتانسیل شدت بیابان‌زایی، لزوم پرداختن به روش‌هایی که بتواند پهنه‌بندی شدت را بر مبنای منطق و اصول قوی و مبانی نظری مستدل در چارچوب منطق فازی ارائه دهد، در حوزه مدیریت مناطق بیابانی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، پهنه‌بندی توزیع فضایی خطر بیابان‌زایی به صورت جامع، بومی، کمی و انعطاف پذیر و با ساختار سلسله مراتبی با استفاده از تکنیک تاپسیس فازی و استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در منطقه خضر آباد یزد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت یزد- خضرآباد با وسعتی معادل 78180 ha در 10 کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی $55^{\circ} 53'$ الی $20^{\circ} 52'$ طول شرقی و $31^{\circ} 45'$ الی $32^{\circ} 15'$ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط دشت خضرآباد 1397 متر و $84/79$ درصد منطقه شیبی کمتر از 10 درصد دارد. بنابراین، قسمت اعظم منطقه را اراضی پست با شیب متوسط $9/41$ درصد تشکیل می‌دهد. از نظر زمین شناسی این منطقه از سازند قدیمی کهر تا رسوبات جوان کواترنر را در بر گرفته است (۲۶). منابع خاک منطقه عمدتاً در رده خاک‌های نارس بیابانی یا آنتی‌سول می‌باشد که تحت تأثیر فرایند تخریب فیزیکی شکل گرفته و حاوی گچ و نمک می‌باشد و به شدت تحت تأثیر فرایند فرسایش آبی و بادی و تخریب قرار دارد (۲۷). از نظر اقلیمی بر مبنای روش دوماتن اصلاح شده اقلیم منطقه در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه‌بندی می‌شود. 12930 ha از اراضی منطقه را تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای شکل داده که ارگ بزرگ اشکذر با وسعتی معادل 8923 ha در شمال قرار گرفته است که نشان دهنده وضعیت کاملاً خاص از نظرگاه بیابان‌زایی در منطقه و بیان کننده لزوم پرداختن به راه‌حل‌های مقابله با بیابان‌زایی در این حوزه است (۲۸).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

Fig1. Location of the study area

تعیین واحدهای کاری

به منظور تهیه چارچوبی مناسب جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از فرایند بیابان‌زایی اقدام به تفکیک واحدهای کاری از روش ژئومرفولوژی شد (۳۳). بدین منظور در ابتدا نقشه‌های موضوعی ژئومرفولوژی، کاربری اراضی و تیپ‌های گیاهی در قالب نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ در محیط Arc Gis به دست آمد. سپس اقدام به هم پوشانی لایه‌های مذکور شد، و بعد از خلاصه‌سازی، لایه نهایی واحدهای کاری شکل گرفت (شکل ۳). در نقشه واحدهای کاری، ۱۲ واحدکاری بر حسب اهداف مطالعاتی تفکیک شد.

تعیین شاخص‌های موثر در ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق

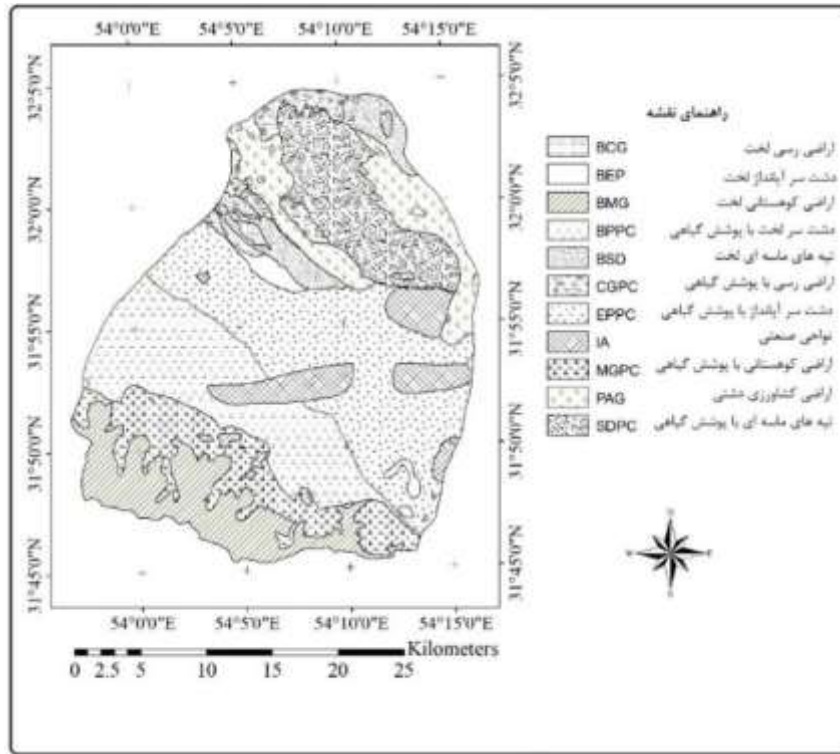
نسبت به بیابان‌زایی

بر پایه اطلاعات به دست آمده از ارزیابی منابع طبیعی و مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، نهایتاً به روش دلفی و نظر خواهی گروهی، ۳۰ شاخص موثر در بیابان‌زایی تعیین شد. به منظور انتخاب این شاخص‌ها سه محور اصلی ارتباط با پدیده بیابان‌زایی، سهولت دسترسی و سهولت به روزآوری در چارچوب دو فاکتور هزینه و زمان مد نظر قرار گرفت (۱۸، ۲۴).



شکل ۲- فلودباگرام روش تاپسیس فازی به منظور ارزیابی پتانسیل شدت بیابان‌زایی

Figure 2. Flow diagram for fuzzy topsis method to evaluate the potential of desertification intensity



شکل ۳- واحدهای کاری منطقه خضرآباد

Figure 3. work units of Khezr Abad

در این رابطه \tilde{r}_{ij}^k مولفه فازی مربوط به شخص k ام در برآورد درجه اهمیت هر شاخص در هر واحدکاری و \tilde{W}_j^k مولفه فازی مربوط به شخص k ام در برآورد اولویت شاخص‌ها نسبت به هم می‌باشد.

تعیین اهمیت شاخص‌های موثر در بیابان‌زایی نسبت به هم و در هر واحدکاری

در ادامه اهمیت شاخص‌ها نسبت به هم (W_j) و اهمیت هر شاخص در هر واحد کاری (r_{ij}) با استفاده از تکنیک دلفی فازی^۱ (۱۹) و با توجه به جدول امتیازدهی چن و وانگ در مقیاس ۰ تا ۷ (خیلی کم تا خیلی زیاد)، مورد ارزیابی کارشناسان گرفت (جدول ۱ و ۲) (۳۴) و سپس با محاسبه میانگین هندسی (با فرض یکسان بودن رأی تمام افراد) و با استفاده از رابطه ۱ به ترکیب ماتریس کارشناسان اقدام و در نهایت ماتریس گروه حاصل شد (جدول ۳) (۳۵).

$$M_{ij}^k = \left(\sum_{k=1}^n \tilde{r}_{ij}^k \text{ or } \tilde{W}_j^k \right)^{\frac{1}{N}} \quad (1)$$

جدول ۱- درجه اهمیت و ارجحیت فازی چن و هوانگ

Table 1. Fuzzy preference and importance degree, Chen and Wang method

مقدار دهنده زبانی	ارزش عددی	تعداد مقدار دهنده زبانی			
		۲	۳	۵	۷
خیلی کم	۱			(۰، ۰، ۰/۰، ۱/۲)	(۰، ۰، ۰، ۰/۱)
کم	۲		(۰، ۰، ۰/۲، ۰/۴)	۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۳۵، ۰/۴)	۰/۲، ۰/۲، ۰/۳)
نسبتاً متوسط	۳				۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)
متوسط	۴	۰/۸)	۰/۵، ۰/۵، ۰/۷)	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۷)	۰/۵، ۰/۵، ۰/۶)
نسبتاً زیاد	۵				۰/۶، ۰/۷، ۰/۸)
زیاد	۶	، ۱)	(۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱)	(۰/۶، ۰/۷۵، ۰/۷۵، ۰/۹)	۰/۸، ۰/۸، ۰/۹)
خیلی زیاد	۷			(۰/۸، ۰/۹، ۱، ۱)	(۰/۸، ۰/۹، ۱، ۱)

جدول ۲- ماتریس ارزشیابی فردی اهمیت شاخص‌های موثر نسبت به هم و در هر واحدکاری

Table 2. Individual evaluation matrix of the importance of indices relative to each other and determining the priority of each index

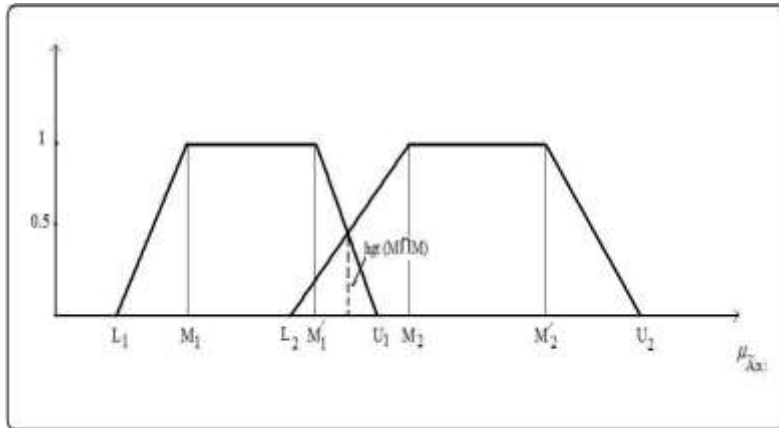
I_j	I_1	I_2	...	I_n
	W_1	W_2	...	W_n
TMU_i				
TMU_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1n}
TMU_2	r_{21}	r_{22}	...	r_{2n}
...
TMU_m	r_{m1}	r_{m2}	...	r_{mn}

فازی‌سازی داده‌ها

- تعیین ارزش‌های فازی برای اوزان شاخص‌ها و واحدهای

کاری و تشکیل ماتریس اعداد فازی

فرایند فازی‌سازی شامل تغییر و تبدیل داده‌های ورودی به وسیله کنترل‌گر فازی است. در این پژوهش از تابع عضویت دوزنقه‌ای استفاده شد. با توجه به نوع اعداد فازی انتخابی (اعداد فازی دوزنقه‌ای)، از میان روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی، روش بونیسون^۱ انتخاب گردید. بونیسون هر عدد فازی دوزنقه‌ای \tilde{M} را با پارامترهای به L, M, M' و U نمایش داد (شکل ۴) (۳۶، ۱۹).



شکل ۴- نمایش دو عدد فازی ذوزنقه ای

Figure 4. Display of two Fuzzy trapezoidal numbers

تعیین ارزش‌های فازی گروهی ارجحیت شاخص‌ها و اولویت هر شاخص در هر واحدکاری شد (جدول ۳).

با توجه به تعدد متغیرهای زبانی از اعداد فازی متناظر با آنها استفاده می‌شود. در این پژوهش از مقیاس هفت رتبه‌ای چن و هوانگ استفاده شد (جدول ۱) (۳۴) و در این چارچوب اقدام به

جدول ۳- ماتریس گروهی فازی اهمیت شاخص‌های موثر نسبت به هم و در هر واحدکاری

Table 3. The fuzzy group matrix of the importance of indices relative to each other and determining the priority of each index

I_j	I_1	I_2	.....	I_n
	\tilde{M}_{11}^k	\tilde{M}_{12}^k	.....	\tilde{M}_{1n}^k
TMU_i				
TMU_1	\tilde{M}_{11}^k	\tilde{M}_{12}^k	.....	\tilde{M}_{1n}^k
TMU_2	\tilde{M}_{21}^k	\tilde{M}_{22}^k	.....	\tilde{M}_{2n}^k
	:	:	:	:
TMU_m	\tilde{M}_{m1}^k	\tilde{M}_{m2}^k	.....	\tilde{M}_{mn}^k

شاخص‌ها نسبت به هم می‌باشد. شماره سطر و i و j به ترتیب نشان دهنده واحدهای کاری یا شاخص‌ها می‌باشد. تبدیل داده‌های فازی به غیر فازی و تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی

- محاسبه درجه بزرگی ارزش \tilde{D}_K هر سطر ماتریس فازی نسبت به هم از رابطه ۳

- محاسبه ارزش \tilde{D}_K با اعداد فازی ذوزنقه ای ترکیبی^۱ برای هر سطر ماتریس فازی از رابطه ۲

$$\tilde{D}_k = \sum_{j=1}^n \tilde{M}_{kj}^k \left[\sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \tilde{M}_{ij}^k \right]^{-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n_k \quad (2)$$

در این رابطه \tilde{M}_{ij}^k بیانگر مولفه فازی مربوط به شخص k ام در برآورد درجه اهمیت هر شاخص در هر واحدکاری و اولویت

$$\begin{cases} v(\hat{D}_{ij}^k \geq \hat{D}_j^k) = 1 & m_1 \geq m_2', \quad j = 1, 2, \dots, N_k, \quad j \neq i \\ v(\hat{D}_{ij}^k \geq \hat{D}_j^k) = \text{hgt}(D_1 \cap D_2) = \frac{U_1 - L_2}{(U_1 - L_2) + (M_2 - M_1')} & \text{Otherwise, } j = 1, 2, \dots, N_k, \quad j \neq i \end{cases} \quad (3)$$

- محاسبه درجه بزرگی هر عدد فازی دوزنقه ای ترکیبی
از K عدد فازی ترکیبی دیگر از رابطه ۴

$$P_{ih}^k(I_i^k \text{ or } TMU_i^k) = \min v(\hat{S}_i^k \geq \hat{S}_j^k), \quad i = 1, 2, \dots, n_k \quad (4)$$

- تشکیل ماتریس تصمیم گیری فازی (FDM)

بر مبنای شکل کلی ماتریس تصمیم گیری در مدل های تصمیم گیری چند شاخصه و با توجه به روابط ۷ و ۸ ماتریس تصمیم گیری فازی شکل گرفت (جدول ۴) (۱۹).

بر آورد شدت بیابان زایی واحدهای کاری

با محاسبه اولویت واحدهای کاری بر مبنای هر شاخص و تشکیل ماتریس تصمیم گیری فازی (جدول ۴)، مشاهده می شود که شدت بیابان زایی بر مبنای شاخص های مختلف، متفاوت خواهد بود؛ لذا به منظور دستیابی به پتانسیل شدت بیابان زایی بر مبنای تمامی شاخص ها از نظر گروه (P_i^K) و تهیه نقشه پهنه بندی پتانسیل بیابان زایی، عمل تلفیق طی مراحل ذیل بر روی نتایج حاصل از مراحل قبل اعمال شد (۳۰، ۳۶، ۳۷).

در پژوهش حاضر به دلیل حجم زیاد شاخص ها و واحدهای کاری، در برآورد درجه بزرگی اعداد فازی دوزنقه ای ترکیبی، با تهیه برنامه ای منطبق با رابطه ۳ از محیط نرم افزار MATLAB استفاده شد.

در این رابطه TMU_i^k بیانگر واحد کاری یا شاخص (I_i^k) نام از جدول ماتریس فازی k ام می باشد.

اعداد حاصل از این فرایند بیانگر اوزان غیر بهنجار شده ارجحیت شاخص ها نسبت به هم و اولویت واحدهای کاری نسبت به هر شاخص می باشند.

- نرمالیزه کردن اوزان نابهنجار شاخص ها و واحدهای کاری از رابطه ۵ و دستیابی به ارجحیت و اولویت شاخص ها و واحدهای کاری از نظر گروه (رابطه ۶).

$$P_h^k = \frac{P_{ih}^k(I_i^k \text{ or } TMU_i^k)}{\sum_{i=1}^k P_{ih}^k(I_i^k \text{ or } TMU_i^k)}, \quad i = 1, 2, \dots, n_k \quad (5)$$

$$P_h^k = P_{1h}^k, P_{2h}^k, \dots, P_{n_k h}^k \quad (6)$$

این رابطه بیانگر ارجحیت هر شاخص نسبت به سایر شاخص ها در دستیابی به هدف "ارزیابی خطر بیابان زایی" و اولویت هر واحد کاری ماتریس فازی k ام نسبت به هر شاخص است. بنابراین ارجحیت شاخص ها را می توان به صورت رابطه ۷ نمایش داد.

$$I^{k-1} = (I_1^{k-1}, I_2^{k-1}, \dots, I_{n_{k-1}}^{k-1}) \quad (7)$$

در این رابطه ارجحیت هر شاخص (I) نسبت به هدف که در سطح بالاتر ($K-1$) قرار گرفته بیان می شود و اولویت هر واحد کاری (TMU) نسبت به هر شاخص (I) که در سطوح بالاتر (K) از واحدهای کاری واقع شده به صورت رابطه ۸ نمایش داده می شود.

$$TMU_{ij}^k = (TMU_{1h}^k, TMU_{2h}^k, \dots, TMU_{n_k h}^k)^T \quad (8)$$

جدول ۴- ماتریس تصمیم‌گیری فازی

Table 4. Fuzzy decision making matrix

TMU _i ^k	Indicators			
	I ^{K-1} ₁	I ^{K-1} ₂	...	I ^{K-1} _{NK-1}
TMU ¹	a ^k ₁₁	a ^k ₁₂	...	a ^k _{1nk-1}
TMU ²	a ^k ₂₁	a ^k ₂₂	...	a ^k _{2nk-1}
:	:	:	:	:
TMU ^k	a ^k _{nk1}	a ^k _{nk2}	...	a ^k _{nkknk-1}

و همچنین حداقل مقادیر عددی واحدهای کاری در ارتباط با هر شاخص مطابق رابطه ۱۱ در مجموعه‌ای تحت عنوان مقادیر عددی واحدهای ایده‌آل منفی (TMU₁⁻) بیان می‌شود.

$$(11)$$

TMU⁻ = { (min_i HFDM_{ij} | j ∈ {1, 2, ..., m}), (min_j HFDM_{ij} | j ∈ {1, 2, ..., m}) | i = 1, 2, ..., m }
 - محاسبه اندازه فاصله (d) هر واحد کاری ماتریس تصمیم‌گیری موزون بر اساس نرم اقلیدوسی به ازاء واحدهای کاری ایده‌آل مثبت و منفی از روابط ۱۲ و ۱۳

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (HFDM_{ij} - TMU_j^+)^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (12)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (HFDM_{ij} - TMU_j^-)^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (13)$$

هر قدر فاصله واحدها از مقادیر واحدهای ایده‌آل مثبت کمتر باشد، آن واحد پتانسیل کمتری در فرایند بیابان‌زدایی دارد و برعکس.

- محاسبه نزدیکی نسبی واحدهای کاری به واحدهای کاری ایده‌آل از رابطه ۱۴ و رتبه بندی واحدهای کاری بر اساس انحرافات به دست آمده

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)}, (1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون^۱ از رابطه ۹ حاصل می‌شود.

$$HFDM = a_{ij} \times I_j \quad (9)$$

در این رابطه:

HFDM_{ij} = مقدار وزنی موزون که هر واحد کاری با توجه به شاخص مربوطه کسب می‌کند.

a_{ij} = مقدار وزنی که هر واحد کاری با توجه به شاخص مربوطه کسب می‌کند.

I_j = مقدار وزنی (عددی) شاخص مربوطه.

- تعیین مقادیر عددی واحدهای کاری ایده‌آل مثبت (TMU₁⁺) و ایده‌آل منفی (TMU₁⁻)

در ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون هر واحدکاری که بیشترین مقادیر عددی را در ارتباط با هر شاخص به خود اختصاص دهد، از پتانسیل بیابان‌زایی کمتری در رابطه با آن شاخص برخوردار است و تحت عنوان واحد ایده‌آل مثبت (TMU₁⁺) بیان می‌شود. لذا حداکثر مقادیر عددی واحدهای کاری در ارتباط با هر شاخص مطابق رابطه ۱۰ در مجموعه‌ای تحت عنوان مقادیر عددی واحدهای ایده‌آل مثبت بیان می‌شود.

$$(10)$$

$$TMU^+ = \left\{ \left(\max_{i,j} HFDM_{ij} | j \in \{1, 2, \dots, n\} \right), \left(\max_{i,j} HFDM_{ij} | j \in \{1, 2, \dots, n\} \right) | i = 1, 2, \dots, n \right\}$$

2- Distance
3- Convergence

1- Harmonic Fuzzy Decision Matrix (HFDM)

سپس ارزش \tilde{D}_K یا اعداد فازی دوزنقه ای ترکیبی برای هر سطر ماتریس فازی اهمیت شاخص ها نسبت به هم و ماتریس های فازی اهمیت واحدکاری به تفکیک هر شاخص، از رابطه ۲ به دست آمد.

پس از محاسبه \tilde{D}_K ها به منظور تعیین وزن شاخص ها و واحدهای کاری به تفکیک هر شاخص و تشکیل ماتریس تصمیم گیری، لازم است که مقادیر \tilde{D}_K ها را مرتب کنیم. به این منظور درجه بزرگی هر عدد فازی را بر اعداد فازی دیگر از رابطه ۳ و در محیط نرم افزار MATLAB به دست آمد و ماتریس درجه بزرگی شاخص ها نسبت به هم و واحدهای کاری به تفکیک هر شاخص شکل داده شد. سپس اوزان ناهنجار واحدهای کاری (P_i) از رابطه ۴ برآورد شد و از رابطه ۵ این اوزان، نرمالیزه یا بهنجار (N_i) شد (جدول ۶).

در ادامه با برآورد کلیه اوزان بهنجار شده معیارها نسبت به هدف و راهبردها نسبت به هر معیار، در قالب کلی ماتریس تصمیم گیری در محیط فازی (جدول ۴)، ماتریس تصمیم گیری فازی موزون پتانسیل بیابان زایی واحدهای کاری از نظر گروه، بر مبنای رابطه ۹ از ضرب مقدار وزنی که هر واحدکاری با توجه به شاخص مربوطه کسب می کند در ضریب اهمیت شاخص ها شکل گرفت (جدول ۷).

چنانچه $TMU_i = TMU_i^+$ باشد، آنگاه $d_i^+ = 0$ و

$C_i = 1$ می شود و در صورتی که $TMU_i = TMU_i^-$

باشد، آنگاه $d_i^- = 0$ و $C_i = 0$ ، بنابراین هر واحدکاری که

به واحدکاری ایده آل مثبت نزدیکتر باشد، مقدار نزدیکی (C_i) آن به یک نزدیکتر خواهد بود. در انتها برای نمایش بهتر نتایج، درصد نزدیکی نسبی راهبردها از رابطه ۱۵ محاسبه می شود.

$$\%C_i = \frac{C_i}{(\sum_{i=1}^n C_i)} \quad (15)$$

– برآورد پتانسیل شدت بیابان زایی و تهیه نقشه پهنه بندی شدت

به منظور سهولت و دقت در تجزیه و تحلیل داده ها و دستیابی به نتایج، بر مبنای نزدیکی نسبی واحدهای کاری نسبت به واحد کاری ایده آل بیابان زایی و با استفاده از نرم افزار Arc GIS 9.3 اقدام به نقشه سازی میزان پتانسیل بیابان زایی شد.

یافته ها

پس از تعیین شاخص های موثر (۱۸، ۲۴)، و تهیه نقشه واحدهای کاری (شکل ۳) مطابق روش پژوهش، با استفاده از تکنیک دلفی و بر مبنای مقیاس ۷ رتبه ای چن و هوانگ (جدول ۱)، ماتریس گروهی فازی اهمیت شاخص ها نسبت به هم (W_j) و اهمیت هر شاخص در هر واحد کاری (I_{ij}) شکل داده شد (جدول ۵).

جدول ۵- ماتریس گروهی فازی شده اهمیت شاخص‌ها نسبت به هم و اهمیت هر شاخص

در هر واحد کاری از جهت بیابان‌زایی

Table 5. The fuzzy group matrix of the importance of indices relative to each other and determining the priority of each index in each work unit from view point of desertification

I ₃₀	I ₂₉	...	I ₂	I ₁	شاخص بیابان‌زایی (I)
(۰/۷ ، ۰/۸ ، ۰/۸ ، ۰/۹)	(۰/۵ ، ۰/۶ ، ۰/۷ ، ۰/۸)		(۰/۴ ، ۰/۵ ، ۰/۵ ، ۰/۶)	(۰ ، ۰ ، ۰ ، ۰/۱)	
					TMUs
(۰ ، ۰ ، ۰ ، ۰/۱)	(۰ ، ۰ ، ۰ ، ۰/۱)	...	(۰/۴ ، ۰/۵ ، ۰/۵ ، ۰/۶)	(۰/۲ ، ۰/۳ ، ۰/۴ ، ۰/۵)	(BMG)
(۰ ، ۰ ، ۰ ، ۰/۱)	(۰ ، ۰ ، ۰ ، ۰/۱)	...	(۰/۴ ، ۰/۵ ، ۰/۵ ، ۰/۶)	(۰/۵ ، ۰/۶ ، ۰/۷ ، ۰/۸)	(MGPC)
...
...
(۰ ، ۰ ، ۰ ، ۰/۱)	(۰/۱ ، ۰/۲ ، ۰/۲ ، ۰/۳)	...	(۰/۴ ، ۰/۵ ، ۰/۵ ، ۰/۶)	(۰/۵ ، ۰/۶ ، ۰/۷ ، ۰/۸)	(IA)
(۰/۵ ، ۰/۶ ، ۰/۷ ، ۰/۸)	(۰/۲ ، ۰/۳ ، ۰/۴ ، ۰/۵)	...	(۰/۴ ، ۰/۵ ، ۰/۵ ، ۰/۶)	(۰/۲ ، ۰/۳ ، ۰/۴ ، ۰/۵)	(MAG)

جدول ۶ - ماتریس اوزان بهنجار شده ارجحیت شاخص‌ها و اولویت واحدهای کاری (ماتریس تصمیم‌گیری)

Table 6. Normalized weights matrix of the importance of indices and priority of work units (Decision making matrix)

۳۰	۲۹	...	۲	۱	I
-۰/۰۰۲۰۴	-۰/۰۰۲۰۴	...	۰/۰۰۶۶۳	۰/۰۵۳۲۶۶	
					TMUs
۰/۱۰۱۲۴۴	۰/۱۱۳۱۰۳	...	۰/۰۸۳۳۳۳	۰/۴۰۶۷۷	(BMG)
۰/۱۰۱۲۴۴	۰/۱۱۳۱۰۳	...	۰/۰۸۳۳۳۳	۰/۰۳۵۶۱۳	(MGPC)
...
۰/۱۰۱۲۴۴	-۰/۰۰۶۵۳	...	۰/۰۸۳۳۳۳	۰/۰۳۵۶۱۳	(IA)
-۰/۰۰۶۲۲	-۰/۰۰۵۷	...	۰/۰۸۳۳۳۳	۰/۴۰۶۷۷	(MAG)

جدول ۷- ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون پتانسیل بیابان‌زایی واحدهای کاری از نظر گروه

Table 7. Normalized fuzzy decision making matrix of desertification potential of work units according to group

۳۰	۲۹	...	۲	۱	I
					TMUs
-۰/۰۰۰۲۱	-۰/۰۰۰۲۳	...	۰/۰۰۰۵۵۳	۰/۰۲۱۶۶۷	(BMG)
-۰/۰۰۰۲۱	-۰/۰۰۰۲۳	...	۰/۰۰۰۵۵۳	۰/۰۰۱۸۹۷	(MGPC)
...
-۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۱۳۳		۰/۰۰۰۵۵۳	۰/۰۰۱۸۹۷	(IA)
۰/۰۰۰۱۲۷	۰/۰۰۰۱۱۶		۰/۰۰۰۵۵۳	۰/۰۲۱۶۶۷	(MAG)

در این مرحله پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون (جدول ۷)، با استفاده از روابط ۱۰ و ۱۱، مقادیر عددی

واحدهای کاری ایده‌آل مثبت (TMU_i^+) و ایده‌آل منفی (TMU_i^-)، برآورد و مجموعه‌های مربوطه شکل گرفت.

مجموعه واحدهای کاری ایده‌آل مثبت

$$TMU_i^+ = \{0.021667, 0.000553, \dots, 0.000133, 0.000127\}$$

مجموعه واحدهای کاری ایده‌آل منفی

$$TMU_i^- = \{-0.00262, 0.000553, \dots, -0.00023, -0.00021\}$$

مبنای روابط ۱۲ و ۱۳ اندازه فاصله هر واحد کاری ماتریس تصمیم‌گیری موزون به ازاء واحدهای ایده‌آل مثبت و منفی برآورد شد (جدول ۸).

پس از برآورد مجموعه راهبردهای ایده‌آل مثبت و منفی، به منظور محاسبه اندازه فاصله (d) بر اساس نرم اقلیدوسی، به دلیل حجم بالای محاسبات از نرم افزار Excel استفاده شد و بر

جدول ۸- شدت بیابان‌زایی واحدهای کاری

Table 8. Desertification intensity of work units

شدت بیابان‌زایی	$\%C_i$	C_i	d_i^-	d_i^+	TMUs
ناچیز	۱۶/۲۱۴۲۸	۰/۵۰۹۸۸۹	۰/۱۲۷۹۲۲	۰/۱۲۲۹۶	(BMG)
ناچیز	۱۱/۷۴۵۴۳	۰/۳۶۹۳۵۷	۰/۰۸۵۷۷۹	۰/۱۴۶۵۹	(MGPC)
متوسط	۶/۷۷۹۶۷۲	۰/۲۱۳۲	۰/۰۴۴۴۹۳	۰/۱۶۴۲	(BPPC)
نسبتاً شدید	۵/۹۱۴۷۱۷	۰/۱۸۵۹۹۹	۰/۰۴۴۶۳۵	۰/۱۹۵۳۳۷	(BEP)
ناچیز	۱۸/۸۵۸۲۷	۰/۵۹۳۰۳۴	۰/۱۶۲۷۲۸	۰/۱۱۱۶۷۱	(EPPC)
خیلی شدید	۱/۷۹۴۳۰۶	۰/۰۵۶۴۲۵	۰/۰۱۱۹۴۳	۰/۱۹۹۷۲۱	(PAG)
شدید	۳/۶۹۸۸۲۴	۰/۱۱۶۳۱۷	۰/۰۲۶۱۴۳	۰/۱۹۸۶۱۴	(CGPC)
شدید	۳/۶۹۶۴۵۷	۰/۱۱۶۲۴۲	۰/۰۲۶۱۲۱	۰/۱۹۸۵۸۹	(BCG)
شدید	۳/۶۱۴۶۹۸	۰/۱۱۳۶۷۱	۰/۰۲۵۵۳۶	۰/۱۹۹۱۱۴	(BSD)
نسبتاً شدید	۵/۷۷۴۲۵۲	۰/۱۸۱۵۸۲	۰/۰۴۳۴۶۲	۰/۱۹۵۸۸۹	(SDPC)
متوسط	۷/۴۷۳۳۰۳	۰/۲۳۵۰۱۲	۰/۰۵۷۹۴۴	۰/۱۸۸۶۱۴	(IA)
ناچیز	۱۴/۴۳۵۷۹	۰/۴۵۳۹۶۱	۰/۱۱۹۴۱۳	۰/۱۴۳۶۳۴	(MAG)

ارزش‌های شدت بیابان‌زایی (C_i) برآورد شده از رابطه ۱۴ یکسری از ارزش‌های پیوسته هستند که به منظور سهولت در خواندن و فهمیدن نتایج برآورد شده و نشان دادن تفاوت‌های ناحیه‌ای بیابان‌زایی می‌بایستی در سطوح مناسبی طبقه‌بندی شوند. بر مبنای جدول ۸، شدت بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی در شش سطح طبقه‌بندی شدند (جدول ۹).

در نهایت به منظور تعیین اولویت نهایی واحدها، نزدیکی نسبی واحدهای کاری نسبت به واحدهای ایده‌آل پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی از رابطه (۱۴) برآورد شد و با توجه به این اصل که هر واحدکاری که به واحدکاری ایده‌آل نزدیکتر باشد، مقدار نزدیکی (C_i) آن به یک نزدیکتر خواهد بود و برعکس، اولویت نهایی واحدها برآورد شد و درصد اولویت به دست آمد.

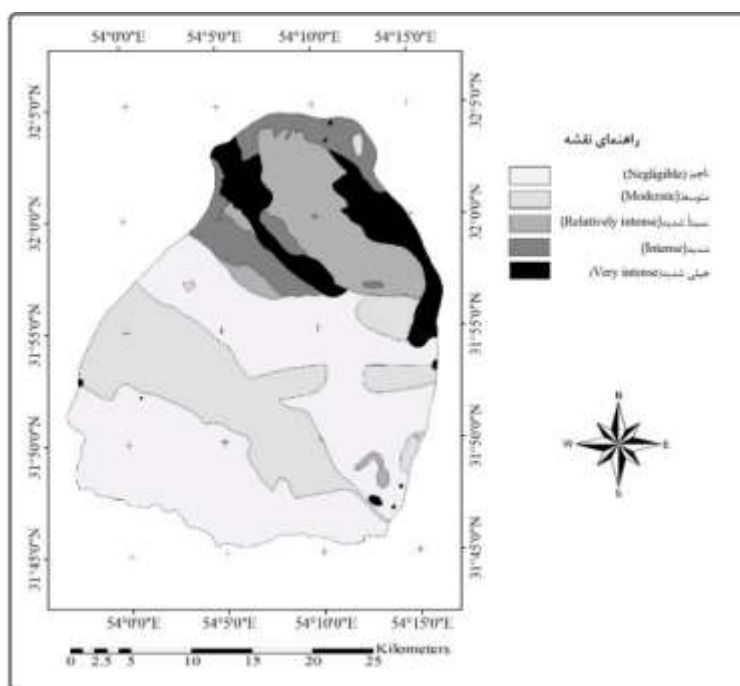
جدول ۹- طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی در منطقه خضر آباد و مساحت هر طبقه

Table 9. Classification of desertification intensity in Khezr Abad region and the area of each class

درصد (%)	مساحت (KM ²)	کلاس	شدت بیابان‌زایی	سطح ارزیابی
۹/۳۴	۷۳/۲۶	VII	$C_i \leq 0.1$	خیلی شدید
۷/۷۱	۶۰/۴۸	VI	$0.1 < C_i \leq 0.15$	شدید
۱۲/۵۷	۹۸/۶۸	V	$0.15 < C_i \leq 0.20$	نسبتاً شدید
۲۳/۸۱	۱۸۶/۸۵	IV	$0.20 < C_i \leq 0.25$	متوسط
-	-	III	$0.25 < C_i \leq 0.30$	نسبتاً متوسط
-	-	II	$0.30 < C_i \leq 0.35$	کم
۴۶/۵۷	۳۶۵/۵۲	I	$C_i > 0.35$	ناچیز

نهایت بر روی نقشه واحدهای کاری، از تلفیق واحدهای دارای طبقات یکسان، نقشه نهایی پتانسیل شدت بیابان‌زایی به مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ در محیط Arc Gis به دست آمد (شکل ۵).

مطابق جدول ۸، هر واحدکاری با توجه به شاخص شدت بیابان‌زایی (C_i) محاسبه شده در یکی از طبقات شش گانه ناچیز، متوسط، نسبتاً شدید، شدید و خیلی شدید قرار گرفت، که در



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی منطقه خضر آباد

Figure 5. Zoning map of desertification intensity in Khezr Abad

(PAG) با بیشترین ارزش کمی معادل ۰/۰۵۶۴ (کلاس خیلی شدید یا VII) در درجه اول قرار گرفت و سایر واحدهای کاری در کلاس شدید، متوسط، نسبتاً متوسط و ناچیز از لحاظ شدت آسیب‌پذیری در فرایند بیابان‌زایی قرار گرفتند.

براساس برآوردهای انجام شده از نظر شدت بیابان‌زایی در واحدهای کاری (جدول ۸)، واحد اراضی کشاورزی دشتی^۱

بحث و نتیجه گیری

همانند مدل فازی بونیسون انتخاب و تعیین اهمیت شاخص‌ها بر مبنای مقیاس چن و هوانگ به صورت دلفی ارزیابی شد با این تفاوت که به منظور ترتیب اثر اولویت شاخص‌های مؤثر در نتایج، برخلاف مدل فازی بونیسون که از شاخص مطلوبیت استفاده می‌شود، در این روش با محاسبه درجه بزرگی اعداد ترکیبی برای هر سطر ماتریس فازی و برآورد اوزان ناهنجار و پهنجار در قالب ماتریس تصمیم‌گیری، اقدام به برآورد شدت پتانسیل بیابان‌زایی شد. این در حالی است که در سایر مدل‌های فازی اشاره شده در ادبیات تحقیق، شاخص‌ها بر مبنای روش IMDDPA و DPSIR انتخاب، و ارزیابی و پهنه‌بندی شدت از تلفیق لایه‌ها در مقیاس صفر تا یک و نقشه‌سازی به روش گریچینگ بر روی لایه‌های رستری در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی حاصل شد.

به طور کلی نتایج حاصل می‌تواند در ارزیابی‌های آتی به منظور سرمایه‌گذاری در جهت دستیابی به توسعه پایدار مد نظر قرار گرفته تا علاوه بر تضمین پایدار ارزش افزوده سرمایه‌گذاری‌ها، اکوسیستم‌های حاشیه‌ای این مناطق را به نحو مطلوب‌تری حفاظت کند. از طرف دیگر به مدیران مناطق بیابانی این امکان را می‌دهد که امکانات و سرمایه‌های محدود اختصاص یافته به منظور کنترل روند بیابانزایی را در مناطق دارای حساسیت بیشتر به کار بندند تا ضمن دستیابی به نتایج بهتر، از هدر رفتن سرمایه‌های ملی جلوگیری کنند.

به منظور کاربرد این مدل در مناطق دیگر می‌بایستی به فاکتورهای مؤثر در بیابان‌زایی به عنوان شاخص‌های آسیب‌پذیری به صورت بومی توجه و همچنین به نحوه اثر گذاری هر فاکتور بر فرایند بیابان‌زایی تاکید شود.

ارزیابی خطر بیابان‌زایی امروزه نقش مهمی را در مدیریت پایدار منابع طبیعی ایفا می‌کند. از این رو، به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر بیابان‌زایی در دشت خضراآباد یزد از مدل تاپسیس فازی استفاده شد. نتایج حاصل از تحلیل‌های صورت گرفته نشان داد که، از کل منطقه مطالعاتی ۷۳۲۶ هکتار (۹۷/۳۴) در کلاس VII یا خیلی شدید، ۶۰۴۸ هکتار (۷۷/۷۱) در کلاس VI یا شدید، ۹۸۶۸ هکتار (۱۳۷/۱۲) در کلاس V یا نسبتاً شدید، ۱۸۶۸۵ هکتار (۲۳۷/۸۱) در کلاس IV یا متوسط و ۳۶۵۵۲ هکتار (۵۷/۴۶) در کلاس I یا بیابان‌زایی ناچیز قرار دارد (جدول ۹ و شکل ۵). همچنین نتایج این ارزیابی بیانگر این موضوع بود که واحد اراضی کشاورزی دشتی (PAG)، اراضی رسی با پوشش گیاهی (CGPC)، اراضی رسی لخت (BCG) و تپه‌های ماسه‌ای لخت (BSD) از پتانسیل بیابان‌زایی شدید و خیلی شدیدی برخوردارند و در عین حال، ارزش کمی بیابان‌زایی برای کل منطقه از مجموع عوامل، ۰/۰۲۶۲ (کلاس نسبتاً متوسط یا III) به دست آمد.

به دلیل یکسان بودن منطقه مطالعاتی که امکان مقایسه تطبیقی بین نتایج را فراهم می‌نماید، نتایج حاصل از ارزیابی شدت بیابان‌زایی بر مبنای منطق تاپسیس فازی با نتایج حاصل از مدل آسیب‌پذیری زیست محیطی (۱۵)، مدل آنتروپی شانون (۱۶)، مدل تحلیل مولفه‌های اصلی (۱۷)، مدل مطلوبیت چند شاخصه (۱۸) و مدل فازی بونیسون (۲۴)، مورد مقایسه قرار گرفت و مشاهده شد که تا حد زیادی نتایج حاصل با هم همخوانی دارند، به این معنی که در هر پنج مدل، واحدهای اراضی کشاورزی دشتی (PAG)، اراضی رسی با پوشش گیاهی (CGPC)، اراضی رسی لخت (BCG)، تپه‌های ماسه‌ای لخت (BSD) و تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای با پوشش گیاهی (SDPC) واجد بیشترین پتانسیل بیابان‌زایی می‌باشند. در عین حال ارزش کمی حاصل از آنها با هم متفاوت می‌باشد و این اولاً به خاطر ماهیت مدل‌ها است که ارزش‌های کمی را در طیف‌های مختلف ارائه می‌کند و ثانیاً به خاطر طبقه‌بندی متفاوت ارزش‌های کمی در هر پژوهش بر مبنای دامنه نوسان ارزش‌های به دست آمده، می‌باشد. همچنین در مدل تاپسیس فازی

References

1. Li, W., Yu, G., Shouyu, C., Huicheng, Z., 2006. Use of variable fuzzy sets methods for desertification evaluation. Computational intelligence, theory and applications. Polish Academy of Sciences, Vol 38, pp. 721-731.

- Fakhrabad--Mehriz region with the FAO-UNEP and MICD models, M.Sc Thesis. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Tehran, Iran. (In Persian)
10. Koochafkan, A. P., Lantieri, D., Nachtergaele, F., 2003. Land Degradation Assessment in Drylands (LADA) guidelines for a methodological approach. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italy. www.fao.org/ag/agl/agll/lada/bckgrdocs.shtm
 11. Ahmadi, H., Zehtabian, G. H., Jafari, M., Azarnivand, H., 2006. Iranian model of potential desertification assessment. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)
 12. Sadeghiravesh, M. H., Ahmadi, H., Zehtabian, G. R., Rehayi Khoram, M., 2009. Development of the Numerical Taxonomy (MNT) model to assess desertification: an example of modeling intensity in central Iran, *Philippine Agricultural Scientist*, Vol 92(2), pp. 213- 227.
 13. Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., 2012. [Zoning wind erosion potential risk in central Iran using modified numerical taxonomy model](#). American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 2012, Vol. 12 (1), pp. 91-99.
 14. Sadeghiravesh, M. H., Ahmadi, H., 2014. Zoning desertification Potential risk in Abozydabad region by using modified numerical taxonomy model, *Geographical Space*, Vol 14(47), pp. 83-99. (In Persian)
 15. Sadeghiravesh, M. H., Zehtabian, G. H., Tahmores, T., 2012. A
 2. Jafari, M., Hayati, J., Zargham, N. A., Azarniuond, H., Sofi, M., 2004. Review and assessment of desertification projects in Lamard plain. *Geographical Research*, Vol 50(36), pp.199-214. (In Persian)
 3. UN (United Nations), 1994. United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/ or Desertification, Particularly in Africa, UNEP/IPA, Nairobi, Kenya.
 4. Wang, X. D., Zhong, X. H., Liu, S. Z., Wang, Z. Y., Li, M. H., 2008. Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method, *Journal of Arid Environment*, Vol 72(10), pp. 1929-1939.
 5. FAO-UNEP, 1984. Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification, Food and Agriculture Organization (FAO) Press, Rome, Italy.
 6. European commission, 1999, Mediterranean Desertification and Land use (MEDALUS), MEDALUS office. London. UK.
 7. Ekhtesasi, M. R., Mohajeri, S., 1996. Classification of the type and severity of desertification in Iran. The second national conference on desertification and desertification control methods, August 22-23, Kerman, Iran.
 8. Ahmadi, H., Abrisham, E., Ekhtesasi, M. R., Jafari, M., Gokarian, A., 2005. Evaluation and mapping of desertification condition in FAKHRABAD-MEHRIZ region with the ICD and MICD models, *BIABAN*, Vol 10(1-1), pp. 37-50. (In Persian)
 9. Abrisham, E., 2004. Evaluation and mapping of desertification condition in

22. Bidgoli, R. D., Koohbanani, H., Yazdani, M., Dashti Amirabad, J., 2019. Risk assessment of land destruction and desertification severity using fuzzy method (case study: Miyandehi, Khorasan Razavi province), Iranian Journal of Range and Desert Research, Vol. 25(4), pp. 877-887. (In Persian)
23. Silakhori, E., Ownegh, M., Soleimani sardo, M., 2019. Assessment of risk and hazard desertification using Topsis-GIS method (case study: Bashtin, Sabzevar, Razavi province), Journal of Arid Regions Geographics Studies, Vol 9 (35), pp. 44-59. (In Persian)
24. Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., Abolhasani, A., Ghodsi, M., Mosavi, A., 2021. Fuzzy logic model to assess desertification intensity based on vulnerability indices. Acta Polytechnica Hungarica, Vol 18(3), pp. 7-24.
25. Wang, Y., Zhang, J., Guo, E., Sun, Z., 2015. Fuzzy comprehensive evaluation- based disaster risk assessment of desertification in Horqin Sand land, China, International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol 12, pp.1703 –1725.
26. Sharifi, M., Farahbakhsh, Z., 2016. Investigation about temperature and humidity anomalies between pleistocene and present times; reconstruction of climate condition using geomorphic evidence (case study: Khezrabad-Yazd). Physical Geography Researches, Vol 47(4), pp. 583-605. (In Persian)
27. Gharachelo, S., Ekhtesasi, M.R., Zareian Jahromi, M., Samadi, M. B., 2010. Evaluation of current condition of desertification using I.C.D Model, vulnerability assessment of environmental issue to desertification risk (case study: Khezrabad region, Yazd). Journal of Watershed Management Research, Vol. 96 (1), pp. 75-87. (In Persian)
16. Sadeghiravesh, M. H., 2014. Zoning the potential of desertification hazard using the MADM approach and Shannon entropy model in the Khezrabad region, Yazd province. Iranian Journal of Soil Research, Vol. 28(3), pp. 572-588. (In Persian)
17. Sadeghiravesh, M. H., 2016. Zoning the potential of desertification hazard using the principal component analysis model in the Khezrabad region. Journal of geographic space, Vol. 16 (56), pp. 241-261. (In Persian)
18. Sadeghiravesh, M. H., 2020. Desertification hazard zoning using Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) model, Environmental Recerches, Vol 10 (20), pp. 177-194. (In Persian)
19. Azar, A., Faraji, H., 2016. Science of fuzzy management. Fifth edition, Mehraban press, Tehran, Iran. (In Persian)
20. Wang, Y., Zhang, J., Guo, E., Sun, Z., 2015. Fuzzy comprehensive evaluation- based disaster risk assessment of desertification in Horqin Sand land, China, International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol 12, pp.1703 –1725.
21. Koohbanani, H., Dashti Amirabad, J., Nikoo, S., Taya, A., 2017. Desertification-intensity zoning through Fuzzy-Logic approach: a case study of Deyhook-Tabas, Iran. Quarterly journal of Environmental Erosion Research, Vol 25(1), pp. 35-49. (In Persian)

- management. *International Journal of Production Economics*, Vol 102, pp. 289-301.
33. Ahmadi, H., 2005. *Applied geomorphology, desert, and wind erosion*. University of Tehran press, Tehran, Iran. (In Persian)
 34. Malchefski, Y., 2016. *geographic information system and multi-criteria decision analysis*, translated by Parhizgar, A and Ghafari Gilandeh, A., fourth edition, Samt press, Tehran, Iran. (In Persian)
 35. Azar, A., Rajabzadeh, A., 2017. *Applied decision making with an approach of multi-attribute decision making (MADM)*. Publication of Negah Danesh, Tehran, Iran. (In Persian)
 36. Asgharpour, M. J., 2014. *Multi-criteria decision making*. Tehran University Publishing, Tehran, Iran. (In Persian)
 37. Nadaban, S., Dzitac, S., Dzitac, I., 2016. Fuzzy TOPSIS: A General View. *Procedia Computer Science*, Vol 91, pp. 823 – 831.
 - case study: Khezrabad, Yazd. *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, Vol 17(3), pp. 402-420. (In Persian)
 28. Sadeghiravesh, M. H., 2008. *Investigation of effective desertification factors on environment degradation*. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. (In Persian)
 29. Sarkar, S., Parihar, S. M., A. Dutta., 2016. Fuzzy risk assessment modelling of East Kolkata Wetland Area: a remote sensing and GIS based approach, *Environmental Modelling & Software*, Vol 75 (C), pp.105 – 118.
 30. Chen, S. J., Hwang, C. L., Beckmann, M. J., Krelle, W., 1992. *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer-Verlag Press, Secaucus, New Jersey, United States.
 31. Chen, C., 2000. Extensions of the TOPSIS for group decision making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol 114(1), PP. 1-9.
 32. Chen, C., Lin, C., Huang, S., 2006. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain