

Quantitative evaluation and analysis of combating desertification strategies with multiple decision-making approaches in fuzzy environment

Mohammad Hassan Sadeghi Ravesh^{1*} and Hassan Khosravi²

1. Associate Professor, Department of Environment, College of Agriculture, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran
2. Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding author: m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

(Received: 20 June 2022

Revise: 11 August 2022

Accepted: 11 August 2022)

Extended Abstract

Introduction: Desertification is a natural disaster risk event. This phenomenon, along with the extent of degradation, various effects and complexity of the process, deals with qualitative and uncertain indicators and follows the behavior of fuzzy systems. Therefore, in evaluating combating desertification to achieve preferred and optimal strategies, the use of multi-criteria fuzzy decision-making methods seems necessary. Therefore, this study was conducted to determine the priority of strategies to combat desertification using hierarchical analytical models in a fuzzy environment in the Yazd-Khezrabad plain during 2019-2020 as a case study.

Materials and Method: Fuzzy decision matrix was obtained from fuzzy Delphi method and within the framework of multi-criteria decision-making method. Using Expert Choice software and ELECTRE model, the initial priority of strategies was obtained. In order to estimate the final priority of strategies, TOPSIS method was used and the results were analyzed using GAIA diagram, Graphical Analysis for Interactive Assistance, in Visual PROMETHEE software environment.

Results and Discussion: The results show that the strategy of "adjustment in abstraction from groundwater resources" (A31) with a ratio of 56.59% is the most important strategy in controlling and reducing the effects of desertification and rehabilitation of degraded lands. The strategies of livestock grazing control (A20), irrigation pattern change and implementation of low water requirements (A33), vegetation development and restoration (A23) and prevention of improper conversion and change of land use (A18) with proximity ratios of 15.76 %, 13.53%, 11.34% and 2.78% were selected as the next priorities, respectively. Analyses performed in Visual PROMETHEE software environment also confirmed the results of the ranking. As the analysis showed, the strategy of "adjustment in abstraction of groundwater resources" (A31) with a pure out ranking progress of $\Phi = 0.3635$ still remained the most preferred evaluation strategy and other strategies were ranked as before.

Conclusion: Overall, it is concluded that in line with the strategy of adjusting the abstraction of groundwater resources (A₃₁), by implementing aquifer projects, improving irrigation methods, land improvement, controlling the growth of industries and aquaculture crops, the process of desertification can be slowed down and destroyed lands can be restored. It is suggested that in the plans to control and reduce the effects of desertification and rehabilitation of degraded lands, the obtained results and rankings should be considered.

Keywords: Decision support systems, Graphical Analysis for Interactive Assistance (GAIA), Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making (FMCDM) methods, Triangular Fuzzy Number.

Citation: Sadeghiravesh, M. H., & Khosravi, H. (2022). Quantitative evaluation and analysis of combating desertification strategies with multiple decision-making approaches in fuzzy environment. *Integrated Watershed Management*, 2(2),31-47. doi: 10.22034/iwm.2022.556144.1035

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





ارزیابی و تحلیل کمی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی با رویکردهای تصمیم‌گیری چندگانه در محیط فازی

محمد حسن صادقی روش^{*}، حسن خسروی^۲

۱- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، تاکستان، ایران

ایران

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

*نویسنده مسئول: m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

چکیده

بیابان‌زایی یک رویداد مخاطره‌آمیز بلایای طبیعی است که در عین وسعت تخریب، گوناگونی اثرات و پیچیدگی فرایند، با شاخص‌های کیفی و غیرقطعی نیز سروکار دارد و از رفتار سیستم‌های فازی تبعیت می‌کند. بنابراین در ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی به منظور دستیابی به راهبردهای ارجح و بهینه، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی ضروری به نظر می‌رسد. از این رو این پژوهش با هدف تعیین اولویت راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی با استفاده از مدل‌های تحلیلی سلسله مراتبی در محیط فازی و به صورت موردی در دشت یزد- خضرآباد طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به انجام رسید. به منظور دستیابی به این هدف، ابتدا از روش دلفی فازی و در چارچوب روش تصمیم‌گیری چند معیاره، ماتریس تصمیم‌گیری فازی حاصل شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice و از طریق مدل ELECTRE اولویت اولیه راهبردها به دست آمد و در ادامه به منظور برآورد اولویت نهایی راهبردها از روش TOPSIS استفاده شد و در نهایت نتایج حاصله با استفاده از نمودار GAIA در محیط نرم‌افزار Visual PROMETHEE مورد تحلیل قرار گرفت. بر مبنای نتایج حاصل شده از فرایند تحقیق، راهبرد " تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی " (A₃₁) با نسبت نزدیکی ۵۶/۵۹ درصد به عنوان مهمترین راهبرد در کنترل و کاهش اثرات بیابان‌زایی و احیاء اراضی تخریب یافته ارزیابی شد. تحلیل‌های صورت گرفته در محیط نرم‌افزار Visual PROMETHEE نیز نتایج حاصله از رتبه‌بندی را مورد تأیید قرار داد به صورتی که راهبرد A₃₁ با جریان نارته‌ای خالص $\Phi_i=0/3625$ همچنان ارجح‌ترین راهبرد ارزیابی شد و ترتیب راهبردهای کنترل چرای دام (A_{۲۰})، تغییر الگوی آبیاری (A_{۲۳})، احیاء پوشش گیاهی (A_{۲۳}) و تغییر کاربری اراضی (A_{۱۸}) نیز همانند قبل باقی ماند؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در طرح‌های کنترل و کاهش اثرات بیابان‌زایی، نتایج به دست آمده مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل هندسی برای کمک متقابل (گایا)، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری، عدد فازی مثلثی، مقایسه زوجی.

استناد: صادقی روش، محمد حسن، خسروی، حسن. (۱۴۰۱). ارزیابی و تحلیل کمی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی با رویکردهای تصمیم‌گیری چندگانه در محیط فازی. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز ۲ (۲)، ۳۱-۴۷.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وبسایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

خشک، نیمه‌خشک تا خشک نیمه مرطوب و با توجه به رشد یک درصدی میزان سالیانه بیابان‌زایی، در برابر شیوه‌های نامناسب بهره‌برداری از زیست‌بومی شکننده و بسیار حساس برخوردار است (Pishyar *et al.*, 2018; Bakhshandehmehr *et al.*, 2013). لذا تسریع روند بیابان‌زایی و تخریب آشیان‌های اکولوژیک اکوسیستم‌های طبیعی به عنوان یکی از دغدغه‌های اساسی مدیران و برنامه‌ریزان عرصه‌های منابع طبیعی کشور در دهه اخیر مطرح گردیده است (Sadeghiravesh, 2021) که برون رفت از این چالش در بسیاری از موارد نیازمند حفاظت و حمایت این مناطق در چارچوب مدیریت علمی است (Dregne, 1998). مسائل تصمیم‌گیری مدیریت مناطق بیابانی به دلیل وجود معیارها و شاخص‌های متعدد، مسائل پیچیده‌ای هستند و برای دستیابی به یک هدف مشخص راه‌حل‌های متعددی وجود دارد، که هر یک، ارجحیت‌های مختلفی را برای مسائل مختلف محیط‌زیستی، اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و سازمانی تأمین می‌نمایند. لذا در کنوانسیون ملل متحد برای مبارزه با بیابان‌زایی، بر رویکردهای مشارکتی و گفتگوی بین دیدگاه‌های مختلف به منظور دستیابی به راهبردهای بومی (محلی) و استفاده مناسب‌تر و کارآمدتر از منابع تأکید شده است (Chasek *et al.*, 2019; UNCCD, 2017). بنابراین، این الزامات موجب استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه^۲ می‌شود که هدف آن انتخاب بهترین جواب از بین راه‌حل‌های مختلف از دیدگاه خبرگان است (Asgarpour, 2017). از طرف دیگر از آنجا که در ماهیت اکوسیستم‌های طبیعی، مرزهای مشخص و قراردادی وجود ندارد؛ بنابراین، همیشه در ارزیابی پدیده‌هایی از قبیل بیابان‌زایی با سطحی از فقدان قطعیت روبرو هستیم (Sarkar *et al.*, 2016) شاخص‌های بیابان‌زایی از قبیل شوری آب و خاک، تخریب خاک و پوشش گیاهی، نسبت جذب سدیمی و ... همگی

بیابان‌زایی عبارت است از تخریب اراضی در نواحی خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطوب ناشی از عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی (UNCCD¹, 2017; Qiang *et al.*, 2017) و پدیده تخریب اراضی نیز به عنوان کاهش و یا از بین رفتن بهره‌وری بیولوژیکی و اقتصادی در مزارع، مراتع و نواحی جنگلی بیان می‌شود (Huang & Siegert, 2006; Tsunekawa, 2005). در مقیاس جهانی، اراضی بیابانی که ۳۶ میلیون کیلومترمربع معادل ۴۲ درصد از اراضی سطح زمین را شامل شده (Middleton & Thomas, 1997)، بیش از یکصد کشور به ویژه کشورهای در حال توسعه و در معرض خطر را تهدید می‌کند (Pishyar *et al.*, 2018; Koohbanani *et al.*, 2017) و یک‌ششم از کل جمعیت جهان که غالباً در فقر به سر می‌برند را متأثر می‌سازد (Koohbanani *et al.*, 2017; Middleton & Thomas, 1997) که این روند همچنان وخیم ارزیابی می‌شود (Cherlet *et al.*, 2018). این وضعیت شاخص مناسبی از پسرقت اکوسیستم‌هایی است که تحت تأثیر فشارهای متعدد، نوسان‌های آب و هوایی و بهره‌برداری‌های مفرط قرار گرفته‌اند. بروز چنین فشارهایی می‌تواند امنیت غذایی و زیست‌محیطی را با بحران مواجه کرده و ثبات اقتصادی - اجتماعی و توسعه پایدار را در مقیاس محلی و منطقه‌ای با چالش رو به رو کند (Jiang *et al.*, 2019). بنابراین بیابان‌زایی یک تهدید جدی اکولوژیکی، محیطی، اجتماعی - اقتصادی برای جهان امروز است و نیاز مبرمی برای ایجاد یک روش معقول و تجدیدپذیر برای ارزیابی این پدیده وجود دارد (Lamchin *et al.*, 2016) از این رو اعمال راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی باید متناسب با شرایط اقتصادی - اجتماعی و محیطی به صورت محلی به انجام برسد (Kong *et al.*, 2021; Briassoulis, 2019). کشور ایران نیز به دلیل قرار گرفتن بیش از ۸۰٪ از مساحتش در قلمرو سرزمین‌های

² Multi Attribute Decision Making (MADM)

¹ United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)

حذف و انتخاب سازگار با واقعیت یا الکترا^۳ (ELECTRE)، و تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر اساس تشابه به پاسخ‌های ایده‌آل یا تاپسیس^۴ (TOPSIS)، می‌توان با اجماع نظرات گروهی در محیط فازی، از بین طیف وسیعی از راهبردهای مطرح در کنترل بیابان‌زایی، به صورت بومی، راهبردهای اولویت-دار را تعیین کرد. این در حالی است که هیچ سابقه‌ای از کاربرد مدل‌های مذکور در انتخاب سیستماتیک راهبردهای بهینه در فرایند مقابله با بیابان‌زایی چه در داخل ایران و چه در خارج از ایران مشاهده نشده است؛ بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، ارائه یک مدل مناسب با رویکرد تحلیل چندبعدی ترجیحات مدنظر تصمیم‌گیران و راستی‌آزمایی این مدل در عرصه، برای ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی می‌باشد؛ به صورتی که بتواند فرآیند انجام این ارزیابی را به صورت جامع، بومی، کمی و انعطاف‌پذیر و با ساختار سلسله‌مراتبی ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت یزد- خضرآباد با وسعتی معادل ۷۸۱۸۰ ha در ۱۰ km غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی ۵۳°، ۵۵° الی ۵۴°، ۲۰° طول شرقی و ۴۵°، ۳۱° الی ۱۵°، ۳۲° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). قسمت اعظم منطقه را اراضی پست متشکل از سازند قدیمی کهر تا رسوبات جوان کواترنر با شیب متوسط ۹/۴۱ درصد تشکیل می‌دهد (Sharifi & Farahbakhsh, 2016). منابع خاک منطقه عمدتاً در رده خاکهای نارس بیابانی یا آنتی‌سول^۵ و زیر رده اورنتز^۶ می‌باشد که دارای رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی آریدیک و به شدت تحت تأثیر فرایند فرسایش آبی و بادی و تخریب قرار دارد (Gharachelo *et al.*, 2021). از نظر اقلیمی بر مبنای روش دوماتن

ماهیت غیرقطعی دارند؛ بنابراین از رفتار سیستم‌های فازی تبعیت می‌کنند و آنچه در ارزیابی این پدیده‌ها مهم به نظر می‌رسد، امتیازدهی صحیح شاخص‌ها به منظور دستیابی به نتایج قابل استناد است (Azar & Faraji, 2016). بنابراین اعداد فازی در قالب روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه قادر است مرزهای مبهم و نامشخص در شاخص‌های بیابان‌زایی و فقدان قطعیت داده‌های ورودی را همانند آنچه در واقعیت هست، در نظر گیرد (Camastra *et al.*, 2015) تا نتایج حاصله منطبق با واقعیت بوده و از صرف هزینه‌های زیاد احیاء ناموفق اراضی بیابانی جلوگیری و یا با درجه خطر کمتری نسبت به احیاء اقدام نمود.

با مطالعه منابع تحقیقاتی مشاهده شد، مطالعات جامعی که با بکارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری و با در نظر گرفتن مجموعه معیارها و عوامل مؤثر در فرایند مقابله با بیابان‌زایی به منظور انتخاب راهبردهای بهینه شکل گرفته باشد، تنها به کارهای Grau و همکاران (۲۰۱۰)، Heidari و Bagherzadeh Chahar Joei (۲۰۱۷)، Sadeghiravesh (a-۲۰۲۲؛ b-۲۰۲۲؛ c-۲۰۲۲)، Sadeghiravesh و Khosravi (۲۰۲۱) و Sepehr و Parvian (۲۰۱۲) محدود می‌شود.

بنابراین با توجه به محدودیت مطالعات به انجام رسیده در رابطه با کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در تحلیل راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی که تنها به کارهای صادقی‌روش و همکاران محدود می‌شود (Sadeghiravesh, 2022-b; Sadeghiravesh & Tahmores, 2014; Sadeghiravesh *et al.*, 2015)، لزوم پرداختن به روش‌هایی که بتواند راه‌حل‌های بهینه 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 فرض شد که با کمک تئوری فازی و تلفیق آن با روشهای

⁵-Entisols

⁶ - Orthents

³ - Elimination et Choice Translating Reality (ELECTRE)

⁴ - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

سپس اقدام به نرمالیزه کردن اوزان ناپهنجار معیارها و راهبردها و دستیابی به ارجحیت و اولویت معیارها و راهبردها شد. با دستیابی به ارجحیت و اولویت معیارها و راهبردها و بر مبنای شکل کلی ماتریس تصمیم‌گیری در مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MADM)، ماتریس تصمیم‌گیری فازی شکل گرفت و بر مبنای آن اولویت راهبردها به دست آمد (Asgharizadeh & Mohammadi Balani, 2021; Azar & Rajabzadeh, 2018; Asgharpour, 2017; Azar & Faraji, 2016). در این مرحله به منظور تمرکز بر روی هدف مطالعه از تشریح مراحل شکل‌گیری ماتریس تصمیم‌گیری فازی خودداری شد و به تشریح فرایند اولویت‌بندی راهبردها که هدف این پژوهش می‌باشد پرداخته شد، علاقه‌مندان می‌توانند به منظور مطالعه و نحوه برآورد ماتریس تصمیم‌گیری فازی راهبردها به مقالات صادقی روش (Sadeghiravesh, 2022-b; Sadeghiravesh *et al.*, 2015; Sadeghiravesh & Tahmoures, 2014) مراجعه کنند.

جدول ۱- ماتریس تصمیم‌گیری فازی (FDM)

Table 1- Fuzzy decision-making matrix (FDM)

A_i^k	معیارها Criterion			
	C_1	C_2	...	C_N
	W_{11}	W_{12}	...	W_{1N}
A^1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1N}
A^2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2N}
:	:	:	:	:
A^k	a_{k1}	a_{k2}	...	a_{kN}

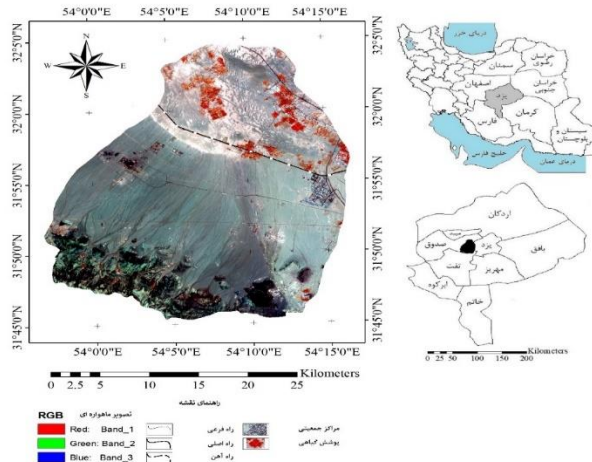
تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون (FWDM)^۹

این ماتریس به کمک رابطه ۱ تشکیل می‌گردد.

$$FWNDM = FNDM \times W = W_{n \times n} \quad (1)$$

در این رابطه: $FNDM =$ ماتریس تصمیم‌گیری فازی و $W_{n \times n} =$ ماتریس قطری از وزن معیارها؛ که در این ماتریس ارزش قطر اصلی معادل وزن معیارها است و ارزش مؤلفه‌های دیگر معادل صفر است.

اصلاح شده اقلیم منطقه در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه‌بندی می‌شود. حدود ۱۲۹۳۰ هکتار از اراضی منطقه را تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای شکل داده که آرگ^۷ بزرگ اشکذر با وسعتی معادل ۸۹۲۳ هکتار در شمال منطقه با انواع رخساره‌های تخریبی و فرسایشی به چشم می‌خورد که نشان دهنده وضعیت کاملاً خاص از نظرگاه بیابان‌زایی در منطقه و بیان‌کننده لزوم پرداختن به راه‌حل‌های مقابله با بیابان‌زایی در این حوزه است (شکل ۱) (Sadeghiravesh & Khosravi, 2021).



شکل ۱- موقعیت منطقه خضرآباد

Figure 1- Location of the Khezrabad area

روش تحقیق

تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی

در این مرحله پس از انتخاب معیارها و راهبردهای ارجح و برآورد وزن نسبی آنها از روش دلفی فازی، اقدام به تشکیل ماتریس میانگین مقایسات زوجی فازی شد. سپس اعداد فازی مثلثی ترکیبی^۸ برای هر سطر ماتریس مقایسات زوجی فازی به دست آمد و درجه بزرگی ارزش اعداد فازی مثلثی ترکیبی هر سطر ماتریس مقایسات زوجی نسبت به هم محاسبه شد و در ادامه اقدام به برآورد درجه بزرگی هر عدد فازی مثلثی ترکیبی از K عدد مثلثی فازی ترکیبی دیگر شد و به این ترتیب اوزان غیر بهنجارشده معیارها یا راهبردهای ماتریس مقایسات زوجی ارجحیت معیارها و اولویت راهبردها به دست آمد.

⁹ - Fuzzy Weighted Decision Matrix

⁷- Erg

⁸-Synthetic Triangular Fuzzy Number

- تعیین ماتریس هماهنگ مؤثر (CDM¹²) که از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$\bar{I} = \sum_{L=1}^m \sum_{K=1}^m \frac{I_{K,L}}{m(m-1)} \quad (۶)$$

در این رابطه m ابعاد ماتریس می‌باشد.

بر اساس \bar{I} (حداقل آستانه)، یک ماتریس بولین F (با عناصر صفر و یک) طبق روابط ۷ و ۸ تشکیل می‌دهیم.

$$f_{K,L} = 1 \quad \text{if} \quad I_{K,L} \geq \bar{I} \quad (۷)$$

$$f_{K,L} = 0 \quad \text{if} \quad I_{K,L} \leq \bar{I} \quad (۸)$$

قطر ماتریس F فاقد عنصر می‌باشد و هر مؤلفه در این ماتریس نشانگر یک گزینه مؤثر و مسلط بر دیگری است.

- تعیین ماتریس ناهماهنگ مؤثر (DDM¹³)

عناصر $NI_{K,L}$ از ماتریس ناهماهنگ نیز باید نسبت به یک ارزش آستانه سنجیده شوند. که حد آستانه برای این ماتریس از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$\bar{NI} = \sum_{L=1}^m \sum_{K=1}^m \frac{NI_{K,L}}{m(m-1)} \quad (۹)$$

سپس یک ماتریس بولین G تحت عنوان "ماتریس ناهماهنگ مؤثر" طبق روابط ۱۰ و ۱۱ تشکیل می‌دهیم.

$$g_{K,L} = 1 \quad \text{if} \quad NI_{K,L} \leq \bar{NI} \quad (۱۰)$$

$$g_{K,L} = 0 \quad \text{if} \quad NI_{K,L} \geq \bar{NI} \quad (۱۱)$$

- مشخص کردن ماتریس کلی و مؤثر (ADM¹⁴)

این ماتریس از ترکیب ماتریس هماهنگ مؤثر (F) و ماتریس ناهماهنگ مؤثر (G) طبق رابطه ۱۲ برآورد می‌شود. این ماتریس نشان دهنده اولویت‌های نسبی راهبردها می‌باشد.

$$h_{K,L} = f_{K,L} \times g_{K,L} \quad (۱۲)$$

- حذف راهبردهای کم جاذبه و غیر مؤثر و طبقه بندی اولیه آنها

ماتریس کلی H نشان دهنده ترتیب اولویت راهکارهای مختلف نسبت به یکدیگر می‌باشد. با مشاهده ستون‌های این ماتریس، راهبردهای ستون‌هایی که از مقدار کمتری عدد یک شکل گرفته باشند، از اولویت بیشتری نسبت به راهبردهای دیگر برخوردارند. به این ترتیب

- مشخص نمودن مجموعه هماهنگی^{۱۰} و مجموعه ناهماهنگی^{۱۱} برای هر زوج از گزینه‌ها

مجموعه هماهنگ (S_{kl}) از راهبردهای k و l مشتمل بر کلیه معیارهایی خواهد بود که راهبرد A_k بر راهبرد A_l به ازای آنها مطلوبیت بیشتری داشته باشد، مجموعه ناهماهنگ (D_{kl}) نیز شامل معیارهایی است که در آنها راهبرد A_k بر راهبرد A_l به ازای آنها مطلوبیت کمتری داشته باشد، یعنی

$$S_{kl} = \{j | P_{kj} \geq P_{lj}\} \quad j = 1, \dots, m \quad (۲)$$

$$D_{kl} = \{j | P_{kj} < P_{lj}\} \quad j = 1, \dots, m \quad (۳)$$

- محاسبه ماتریس هماهنگی

این ماتریس، یک ماتریس مربع $m \times m$ است که قطر آن فاقد عنصر می‌باشد. سایر عناصر این ماتریس نیز از جمع اوزان معیارهای متعلق به مجموعه هماهنگ حاصل می‌شود؛ یعنی:

$$I_{kl} = \sum_{j \in S_{kl}} W_j; \quad \sum_{j=1}^n W_j = 1 \quad (۴)$$

$$k, l = 1, 2, \dots, m, \quad k \neq l$$

معیارهای هماهنگی (I_{kl}) بیان کننده اهمیت نسبی راهبرد A_k بر راهبرد A_l است.

- محاسبه ماتریس ناهماهنگی

این ماتریس با NI تعریف می‌شود و همانند ماتریس هماهنگ، یک ماتریس $m \times m$ است. قطر اصلی این ماتریس عنصری ندارد و سایر مولفه‌های این ماتریس، از ماتریس موزون به ازای مجموعه ناهماهنگ D_{kl} از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$NI_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |W_{NDM_{kj}} - W_{NDM_{lj}}|}{\max_{j \in J} |W_{NDM_{kj}} - W_{NDM_{lj}}|} \quad (۵)$$

ماتریس NI نسبت عدم مطلوبیت مجموعه ناهماهنگ k و l را به کل ناهماهنگی در شاخص‌ها بیان می‌کند. به عبارتی دیگر ماتریس NI بیانگر عدم مطلوبیت بر روی مجموعه ناهماهنگ می‌باشد.

¹³ - Disconcordance Dominance Matrix (DDM)

¹⁴ - Aggregate Dominance Matrix (ADM)

¹⁰ - Concordance

¹¹ - Discordance

¹² - Concordance Dominance Matrix (CDM)

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (H_{ij} - A_j^+)^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (15)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (H_{ij} - A_j^-)^2}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (16)$$

هر قدر فاصله راهبردها از مقادیر راهبردهای ایده‌آل مثبت کمتر باشد، آن گزینه می‌تواند نقش مؤثرتری در فرایند مقابله با بیابان‌زایی داشته باشد و بالعکس محاسبه نزدیکی^{۱۶} نسبی راهبردها به راهبرد ایده‌آل و رتبه‌بندی راهبردها بر اساس انحرافات به دست آمده در این مرحله نزدیکی نسبی راهبردها از رابطه ۱۷ به دست می‌آید.

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)}, (1, 2, \dots, n) \quad (17)$$

چنانچه $A_i = A_i^+$ باشد، آنگاه $d_i^+ = 0$ و $C_i = 1$ می‌شود و در صورتیکه $A_i = A_i^-$ باشد، آنگاه $d_i^- = 0$ و $C_i = 0$ ، بنابراین هر راهبردی که به راهبرد ایده‌آل نزدیکتر باشد، مقدار نزدیکی (C_i) آن به یک نزدیکتر خواهد بود. در انتها برای نمایش بهتر نتایج، درصد نزدیکی نسبی راهبردها از رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود.

$$\%C_i = \frac{C_i}{(\sum_{i=1}^n C_i)} \quad (18)$$

در انتها به منظور تحلیل بهینه مسائل چند متغیره از "تکنیک تحلیل هندسی برای کمک متقابل" یا به اختصار تکنیک GAIA¹⁷ استفاده می‌شود این تکنیک تصمیم‌گیرنده را در مورد مخالفت معیارها و برخورد وزن معیارها روی نتایج پایانی کمک می‌کند و در این زمینه از نرم‌افزار Visual PROMETHEE کمک گرفته می‌شود (Brans & Mareschal, 1994; Karande & Chakraborty, 2012)

نتایج

– تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی

به منظور اولویت‌بندی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی در ابتدا مطابق ادبیات تحقیق و در

راهبردهای اولویت‌دار انتخاب و سایر راهبردها حذف می‌شوند. در عین حال ممکن است بر مبنای این روش تنها اولویت نسبی راهبردها برآورد شود و همچنین اولویت تعدادی از راهبردها یکسان برآورد باشد، در این صورت به منظور ارزیابی کمی ارجحیت این راهبردها از مدل تاپسیس در محیط فازی استفاده شد.

رتبه‌بندی نهایی راهبردها با استفاده از مدل تاپسیس

تعیین مقادیر عددی راهبردهای ایده‌آل مثبت (A_i^+) و ایده‌آل منفی (A_i^-)

در ماتریس تصمیم‌گیری موزون هر راهبردی که بیشترین مقادیر عددی را در ارتباط با هر معیار به خود اختصاص دهد، مناسب‌ترین راهبرد در کنترل فرایند بیابان‌زایی در نظر گرفته می‌شود و تحت عنوان راهبرد ایده‌آل مثبت (A_i^+) بیان می‌شود. لذا حداکثر مقادیر عددی راهبردها در ارتباط با هر معیار مطابق رابطه ۱۳ در مجموعه‌ای تحت عنوان مقادیر عددی راهبردهای ایده‌آل مثبت بیان می‌شود.

$$A^+ = \left\{ \begin{array}{l} (\max_i H_{ij} | j = 1) \\ (\max_i H_{ij} | j = 2) | i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\} \quad (13)$$

حداقل مقادیر عددی راهبردها در ارتباط با هر معیار مطابق رابطه ۱۴ در مجموعه‌ای تحت عنوان مقادیر عددی راهبردهای ایده‌آل منفی (A_i^-) بیان می‌شود.

$$A^- = \left\{ \begin{array}{l} (\min_i H_{ij} | j = 1) \\ (\min_i H_{ij} | j = 2) | i = 1, 2, \dots, m \end{array} \right\} \quad (14)$$

محاسبه اندازه فاصله (d^{15}) هر گزینه ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون بر اساس نرم اقلیدسی به ازای راهبردهای ایده‌آل مثبت و منفی اندازه فاصله هر گزینه به ازای راهبردهای ایده‌آل از روابط ۱۵ و ۱۶ حاصل می‌شود.

¹⁷ - Graphical Analysis for Interactive Assistance (GAIA)

¹⁵ -distance

¹⁶ -Convergence

چارچوب فرایند تصمیم‌گیری اقدام به تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی از نظر گروه شد (جدول ۲).

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری فازی راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی از نظر گروه

Table 2- Fuzzy decision-making matrix of optimal combating - desertification alternatives from group viewpoint

C ₁₆ ⁱ	C ₇ ⁱ	C ₆ ^h	C ₅ ^g	C ₂ ^f	اهمیت معیارها (C) ◀
					Criteria importance (C) ◀
					اولویت راهبردها (A) ▼
					Alternatives priority (A) ▼
-0.00296	-0.0048	0.686	-0.00296	0.326	A ₁₈ ^a
0.186	-0.110	-0.299	-0.035	0.115	A ₂₀ ^b
0.177	-0.172	0.075	0.768	0.010	A ₂₃ ^c
0.186	0.051	-0.030	-0.035	-0.027	A ₃₁ ^d
0.076	0.209	0.972	0.279	0.813	A ₃₃ ^e
0.373	0.102	0.013	0.023	0.108	

a. Alternative of prevention of unsuitable land use changes
 b. Alternative of livestock grazing control
 c. Alternative of vegetation cover development and reclamation
 d. Alternative of modification of ground water harvesting
 e. Alternative of change of irrigation pattern and execution of the methods with less water need
 f. Criterion of time
 g. Criterion of scientific implementation and gettable technology
 h. Criterion of expert human resources
 i. Criterion of proportion and adaptation to the environment
 j. Criterion of resources destruction, human and environmental damage

پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی (جدول ۲)، ماتریس فوق از رابطه ۱ به صورت موزون در آمد و ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون شکل گرفت (جدول ۳).

تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری نرمالیزه موزون فازی راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی

جدول ۳ - ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی از نظر گروه

Table 3- Harmonic fuzzy decision matrix of optimum combating - desertification alternatives from group viewpoint

C ₁₆	C ₇	C ₆	C ₅	C ₂	اهمیت معیارها (C) ◀
					Criteria importance ◀
					اولویت راهبردها (A) ▼
					Alternatives priority ▼
0.0005556	0.000528	-0.205114	0.0001036	0.03749	A ₁₈
0.0005239	0.0008256	0.05145	0.0022733	0.031948	A ₂₀
0.00055056	-0.0002448	-0.0205114	0.0001036	-0.008802	A ₂₃
0.00022496	0.0010032	0.666792	-0.0008258	0.265038	A ₃₁
0.00110408	-0.0004896	0.008575	0.0000681	0.035208	A ₃₃

منظور محاسبه ماتریس هماهنگ و ناهماهنگ، مجموعه هماهنگی و ناهماهنگی از روابط ۲ و ۳ برآورد شد و مجموعه‌های مذکور مطابق جدول ۴ ارائه شد.

تشکیل ماتریس هماهنگ و ناهماهنگ راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی بعد از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی نرمالیزه موزون راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی (جدول ۳)، به

جدول ۴- مجموعه‌های هماهنگ و ناهماهنگ راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

Table 4- Consistency and inconsistency sets of combating -desertification alternatives

DKL		C2	C5	C6	C7	C16	SKL
C6, C7	D A18, A20	1	1	0	0	1	S A18, A20
C6	D A18, A23	1	1	0	1	1	S A18, A23
C2, C6, C16	D A18, A31	0	1	0	1	0	S A18, A31
C6	D A18, A33	1	1	0	1	1	S A18, A33
C2, C5	D A20, A18	0	0	1	1	1	S A20, A18
C5	D A20, A23	1	0	1	1	1	S A20, A23
C2, C5, C6, C16	D A20, A31	0	0	0	1	0	S A20, A31
C2, C5	D A20, A33	0	0	1	1	1	S A20, A33
C2, C7	D A23, A18	0	1	1	0	1	S A23, A18
C2, C6, C7	D A23, A20	0	1	0	0	1	S A23, A20
C2, C6, C7, C16	D A23, A31	0	1	0	0	0	S A23, A31
C2, C7	D A23, A33	0	1	0	1	1	S A23, A33
C5, C7	D A31, A18	1	0	1	0	1	S A31, A18
C7	D A31, A20	1	1	1	0	1	S A31, A20
C5	D A31, A23	1	0	1	1	1	S A31, A23
C5	D A31, A33	1	0	1	1	1	S A31, A33
C2, C5, C7, C16	D A33, A18	0	0	1	0	0	S A33, A18
C6, C7, C16	D A33, A20	1	1	0	0	0	S A33, A20
C5, C7, C16	D A33, A23	1	0	1	0	0	S A33, A23
C2, C6, C7, C16	D A33, A31	0	1	0	0	0	S A33, A31

سپس با استفاده از روابط ۴ و ۵ ماتریس هماهنگ (جدول ۵) و ناهماهنگ (جدول ۶) راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی به دست آمد.

جدول ۵- ماتریس هماهنگ راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

Table 5- Consistency matrix of combating -desertification alternatives

$I_{K,L} =$	-	0.3201	0.3153	-0.0078	0.3153
	0.6782	-	1	-0.0048	0.6782
	0.6801	-0.0059	-	-0.0030	-0.0107
	1.0090	1.0061	1.0042	-	1.0042

جدول ۶- ماتریس ناهماهنگ راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

Table 6- Inconsistency matrix of combating -desertification alternatives

$NI_{K,L} =$	-	1	1	1	1
	0.4770	-	0.0334	1	0.7477
	0.2491	1	-	1	1
	0.0019	0.0015	0.0013	-	0.0011
	0.0108	1	0.0136	1	-

تعیین حد آستانه و تشکیل ماتریس هماهنگ و ناهماهنگ مؤثر راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در این مرحله با استفاده از رابطه ۶ و ۹ حد آستانه هماهنگی و ناهماهنگی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

جدول ۷- ماتریس هماهنگ مؤثر راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

Table 7- Effective consistency matrix of combating -desertification alternatives

$$F_{K,L} = \begin{vmatrix} - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & - & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & - & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & - & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & - \end{vmatrix}$$

جدول ۸- ماتریس ناهماهنگ مؤثر راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

Table 8- Effective inconsistency matrix of combating -desertification alternatives

$$G_{K,L} = \begin{vmatrix} - & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & - & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & - & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & - \end{vmatrix}$$

محاسبه ماتریس اولویت راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی از رابطه ۱۲ تلفیق شد و ماتریس اولویت‌بندی راهبردها شکل گرفت (جدول ۹).

به منظور تعیین اولویت راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی، ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ مؤثر (جدول ۷ و ۸)

جدول ۹- ماتریس اولویت بندی اولیه راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

Table 9- Initial prioritization matrix of combating - desertification alternatives

$$H_{K,L} = \begin{vmatrix} - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & - & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & - & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & - & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & - \end{vmatrix}$$

تغییر الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آب خواه (A_{۳۳}) با اولویت یکسان در رتبه بعدی قرار گرفتند و درنهایت راهبردهای توسعه واحیاء پوشش گیاهی (A_{۲۲}) و جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی

بر طبق ادبیات تحقیق، بر مبنای مدل ELECTRE و با ملاحظه جدول ۹، نتیجه می‌شود که به ترتیب راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{۳۱}) مهمترین راهبرد و راهبرد کنترل چرای دام (A_{۲۰}) و

فاصله هر راهبرد ماتریس تصمیم‌گیری موزون به ازای راهبردهای ایده‌آل مثبت و منفی برآورد شد.

- اندازه فاصله به ازای راهبردهای ایده‌آل مثبت:
 $d_i^+ = \{d_{23}^+ = 0.73985193, d_{18}^+ = 0.90111231, d_{33}^+ = 0.697193328, d_{31}^+ = 0.03221300, d_{20}^+ = 0.668736000\}$

- اندازه فاصله به ازای راهبردهای ایده‌آل منفی:
 $d_i^- = \{d_{23}^- = 0.184605381, d_{18}^- = 0.46313673, d_{33}^- = 0.218177542, d_{31}^- = 0.913898596, d_{20}^- = 0.256866563\}$

محاسبه اولویت نهایی راهبردها

نزدیکی نسبی راهبردها نسبت به راهبرد ایده‌آل مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی از رابطه (۱۷) برآورد شد و با توجه به این اصل که هر راهبردی که به راهبرد ایده‌آل نزدیکتر باشد، مقدار نزدیکی (C_i) آن به یک نزدیکتر خواهد بود و بالعکس، اولویت نهایی راهبردها برآورد شد. و درصد اولویت به دست آمد (رابطه ۱۸):
 اولویت راهبردها:

$$C_i = \{C_{23} = 0.199691, C_{18} = 0.48884, C_{33} = 0.238349, C_{31} = 0.996488, C_{20} = 0.277513\}$$

درصد اولویت راهبردها:

$$\%C_i = \{\%C_{23} = 11/34, \%C_{18} = 2/78, \%C_{33} = 13/53, \%C_{31} = 56/59, \%C_{20} = 15/76\}$$

(A_{18})، به ترتیب اولویت‌های بعدی را به خود اختصاص دادند. لذا جهت تعیین کمی اولویت راهبردها و مشخص کردن ارجحیت راهبردهایی که ارجحیت آنها یکسان برآورد شد، از روش تاپسیس در محیط فازی استفاده شد. نتایج حاصله از این روش بدین شرح است.

برآورد عددی مقادیر ایده‌آل

در این مرحله پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون با استفاده از روابط ۱۳ و ۱۴ مقادیر عددی راهبردهای ایده‌آل مثبت (A_i^+) و ایده‌آل منفی (A_i^-) برآورد و مجموعه‌های مربوطه شکل گرفت.
 - مجموعه راهبردهای ایده‌آل مثبت:

$$A_i^+ = \{0.265038, 0.0227328, 0.666792, 0.010032, 0.0110408\}$$

- مجموعه راهبردهای ایده‌آل منفی:

$$A_i^- = \{-0.008802, -0.0082584, -0.205114, -0.004896, -0.0022496\}$$

محاسبه اندازه فاصله راهبردها

پس از برآورد مجموعه راهبردهای ایده‌آل مثبت و منفی، به منظور محاسبه اندازه فاصله (d) بر اساس نرم اقلیدسی، به دلیل حجم بالای محاسبات از نرم‌افزار Excel استفاده شد و بر مبنای روابط ۱۵ و ۱۶ اندازه

جدول ۱۰- رتبه‌بندی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

Table 10- Ranking of combating - desertification alternatives

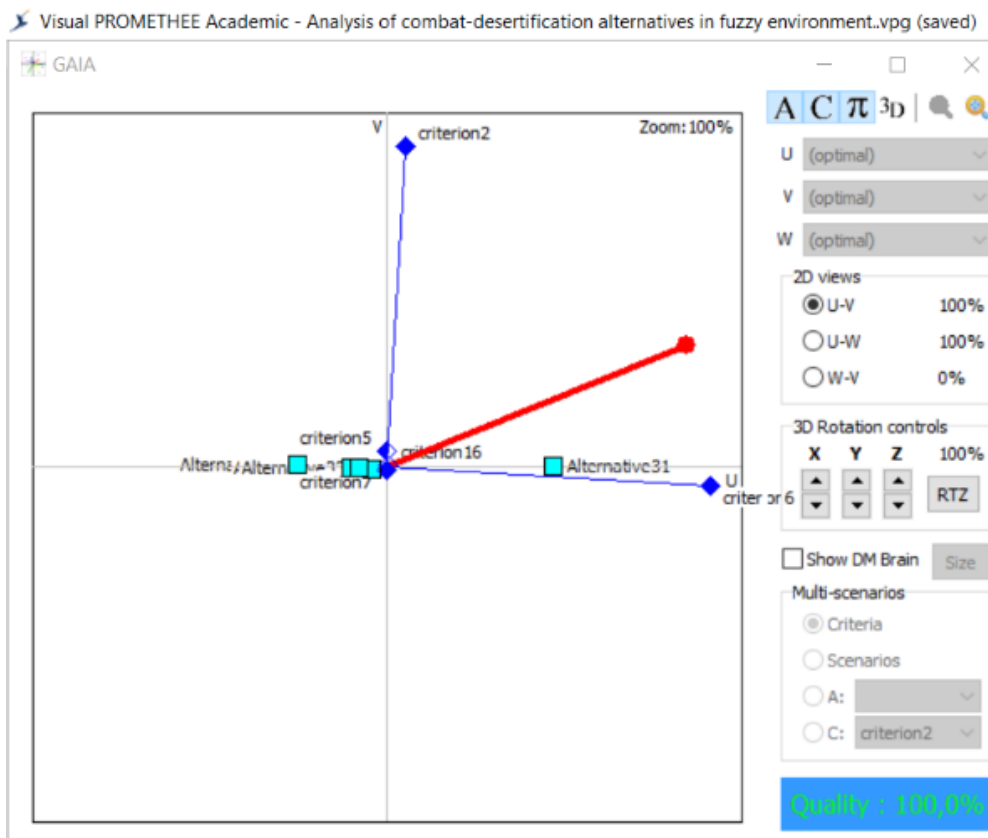
Rank رتبه	$\%C_i$	C_i	d_i^-	d_i^+	Criterion معیار
5	2.78	0.048884	0.046313673	0.901112310	A ₁₈
2	15.76	0.277513	0.256866563	0.668736000	A ₂₀
4	11.34	0.199691	0.184605381	0.739851930	A ₂₃
1	56.59	0.996488	0.913898596	0.003221300	A ₃₁
3	13.53	0.238349	0.218177542	0.697193328	A ₃₃

آبیاری و اجرای روش‌های کم آب خواه (A_{33})، توسعه و احیاء پوشش گیاهی (A_{31}) و جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{18}) به ترتیب با نسبت‌های نزدیکی، $15/76$ ، $13/53$ ، $11/34$ و $2/78$ به

بر مبنای نتایج حاصل شده از فرایند تحقیق، راهبرد " تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی" (A_{31}) با نسبت نزدیکی $56/59$ درصد به عنوان مهمترین راهبرد و راهبردهای کنترل چرای دام (A_{20})، تغییر الگوی

به منظور تحلیل مسائل چند متغیره می‌باشد که به وضوح بیانگر ارجحیت معیارها، جنبه‌های موافق و مخالف معیارها، کیفیت هر راهبرد و اولویت راهبردها می‌باشد.

عنوان اولویت‌های بعدی مطرح در کنترل و کاهش اثرات بیابان‌زایی و احیاء اراضی تخریب یافته ارزیابی شدند. در نهایت به منظور تحلیل بهتر نتایج، از نمودار GAIA در محیط نرم‌افزار Visual PROMETHEE استفاده شد (شکل ۲). این نمودار ابزار تجسمی گرافیکی نیرومندی



شکل ۲ - نمودار GAIA در رتبه‌بندی معیارها و راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در محیط فازی
Figure 2- GAIA graph for ranking of de-desertification criteria and alternatives

در دستیابی به هدف است. راهبردهای A_{22} ، A_{23} ، A_{20} و A_{18} از این حیث به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۲). همانطور که در شکل ۲ قابل مشاهده است نتایج به دست آمده با دقت ۱۰۰ درصد قابل اطمینان می‌باشد.

بحث

موضوعات تصمیم‌گیری در دنیای واقعی نظیر ارائه راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی، معمولاً از ابعاد مختلفی تشکیل شده است که به دلیل عملکردهای ناسازگار، اکثر اوقات شاخص‌های مؤثر مورد غفلت واقع

مطابق شکل به ترتیب معیارهای C_6 ، C_2 ، C_5 ، C_{16} و C_7 دارای ارجحیت و متناسب با هر معیار راهبردهای پیشنهادی متفاوت می‌باشند مثلاً در ارتباط با معیار C_2 ، C_6 راهبرد A_{21} و در ارتباط با معیار C_5 راهبرد A_{20} ارجح می‌باشند. لذا به منظور انتخاب راهبردها بر مبنای مجموع معیارها محور تصمیم‌گیری پرومته^۱ (محور π) به دست آمد. از آنجا که محور تصمیم‌گیری پرومته در جهت راهبرد A_{21} قرار گرفته بیانگر اولویت راهبرد " تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی" با جریان نارتبه‌ای خالص $\Phi_i = 0/3635$ نسبت به سایر راهبردها

¹ - Promethee decision axis

همکاران (۲۰۱۳)، Kath و همکاران (۲۰۱۵)، Thlakma و John (۲۰۱۹)، Pishyar و همکاران (۲۰۱۸)، Nasrian و همکاران (۲۰۱۹) و غیره که مؤید این موضوع است که بهره‌برداری نامناسب از منابع آب زیرزمینی از موانع اصلی کنترل شرایط بیابانی می‌باشد، هماهنگی دارد.

همچنین نتایج حاصل از اولویت‌نهایی راهبردها از روش الکترا و تاپسیس فازی، نتایج حاصل از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به انجام رسیده در ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی، از جمله (Sadeghiravesh *et al.*, 2015) FDEMATEL، (Sadeghiravesh, 2022-b) و (Sadeghiravesh & Tahmores, 2014) FTOPSIS مورد تأکید قرار داد. به این معنی که راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A31)، مؤثرترین راهبرد در فرایند مقابله با بیابان‌زایی می‌باشد.

مطابق نتایج حاصل شده، طی مطالعات انجام شده ملاحظه شد که حوزه آبخیز دشت یزد- اردکان که منطقه مطالعاتی بخشی از آن می‌باشد، از بیلان آبی نامناسبی برخوردار است، و با کسری بیلانی معادل ۱۸۷ میلیون مترمکعب در سال مواجه است. این در حالی است که در منطقه مطالعاتی هر چقدر از ارتفاعات و دشت‌سر لخت در نواحی جنوبی که دارای شدت بیابان-زایی و حساسیت کمتری است به مناطق دشت‌سر پوشیده و پلایا که در نواحی شمالی واقع شده و دارای حساسیت بیشتری نسبت به بیابانی شدن است پیش می‌رویم افت سطح آب زیرزمینی بیشتر شده که در نتیجه اضافه برداشت بیشتر است؛ که نقش مؤثری در تسریع روند بیابانی شدن اراضی دارد. به طوری که طی برآوردهای انجام شده افت متوسط سفره آب زیرزمینی در مناطق جنوبی ۲۰ سانتیمتر در سال و در مناطق شمالی به ۴۵ سانتیمتر می‌رسد.

افت سفره یا به عبارتی اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی در نتیجه عوامل چندی در منطقه مطالعاتی

می‌شوند. در عین حال بسیاری از راهبردها و معیارهای مؤثر ساختار کیفی و نامشخصی دارند که نمی‌توانند به‌دقت اندازه‌گیری شوند. علاوه بر این، در این مسائل، بیشتر اوقات بیش از یک تصمیم‌گیرنده بر روند کار تأثیر می‌گذارد. از این‌رو دستیابی به اجماع در چنین محیط‌هایی همواره به‌عنوان یک مشکل مطرح است. با توجه به پیچیدگی این مسائل برای مقابله با وضعیت چندشاخصه و مبهم، نیاز به یک فرایند تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی^۱ می‌باشد؛ بنابراین استفاده از معیارهای متعدد و درگیر کردن متخصصان در چهارچوب تئوری فازی یکی از بهترین راه‌ها برای لحاظ همه فاکتورهای مؤثر در فرایند مقابله با بیابان‌زایی و دستیابی به ماتریس ارزشیابی است. از این‌رو در این پژوهش از روش چندمعیاره للکترا و تاپسیس فازی استفاده شد.

بر مبنای مدل الکترا و تاپسیس فازی و در چهارچوب روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، اولویت راهبردها مورد ارزیابی قرار گرفت، به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی صورت گرفته، راهبرد "تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی" (A31) با نسبت نزدیکی ۵۶/۵۹ درصد به عنوان مهمترین راهبرد و راهبردهای کنترل چرای دام (A۲۰)، تغییرالگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آب خواه (A۳۳)، توسعه و احیاء پوشش گیاهی (A۲۳) و جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A۱۸) به ترتیب با نسبت‌های نزدیکی، ۱۵/۷۶٪، ۱۳/۵۳٪، ۱۱/۳۴٪ و ۲/۷۸٪ به عنوان اولویت‌های بعدی مطرح در کنترل و کاهش اثرات بیابان‌زایی و احیاء اراضی تخریب یافته، ارزیابی شدند.

نتایج حاصل‌شده از پژوهش حاضر در رابطه با راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A31)، که مانع اصلی عدم توفیق طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی برآورد شد با نتایج پژوهش‌های بسیاری از جمله پژوهش‌های Martínez-Valderrama و همکاران (۲۰۱۱)، Dijk و

^۱ Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (FMADM)

راهبردهای مختلف بر مبنای مجموعه معیارهای طبیعی و انسانی به صورت کمی و کیفی، ساختار سلسله‌مراتبی گروهی و امکان تعیین سازگاری قضاوت‌ها، ملاحظه شد که این روش همانند سایر روش‌های ارزیابی راهبرد ذکر شده در ادبیات تحقیق، به جز روش تحلیل شبکه، واجد محدودیت در نظر نگرفتن وابستگی و ارتباط درونی بین معیارها و راهبردها در سطوح تصمیم‌گیری است. در این مدل‌ها فقط معیارها و راهبردها را با ساختار سلسله‌مراتبی و از بالا به پایین سطح‌بندی و اوزان آن‌ها مشخص می‌شود، اما روابط داخلی پیچیده بین معیارها و راهبردها و تأثیر آن‌ها بر دستیابی به هدف نهایی لحاظ نمی‌شود. این در حالی است که در بسیاری از موارد نه تنها معیارها و راهبردها از هم مستقل نیستند، بلکه گاهی اوقات میان بعضی از عوامل روابط و وابستگی‌هایی وجود دارد. از این رو برآورد اولویت راهبردها بدون در نظر گرفتن وابستگی‌های درونی منجر به دستیابی به نتایج غیرواقعی خواهد شد (Sadeghiravesh, 2016) که لازم است این مهم در پژوهش‌های بعدی و در طراحی ساختار مدل‌های ارزشیابی مورد نظر قرار گیرد. بر مبنای نتایج حاصله راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{۳۱})، مؤثرترین راهبرد در فرایند مقابله با بیابان‌زایی تشخیص داده شد که در نتیجه روش آبیاری سنتی، افزایش تعاونی‌های کشت و افزایش حفر چاه‌های عمیق، وجود استخرها و جوی-های روباز با خلل و فرج زیاد با راندمان پایین، وسعت کم اراضی زراعی، افزایش صنایع با مصرف آب زیاد (آبخواه)، افزایش برداشت در نتیجه موتوردار شدن چاه-ها، ابعاد نامناسب کرت‌ها، افزایش برداشت به منظور آبیاری مناطق کشت شده با گونه تاغ اشاره کرد. در نهایت پیشنهاد می‌شود در چارچوب طرح‌های بلندمدت مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی بر روی این راهبردها تأکید شود تا ضمن افزایش بازدهی طرح‌ها از هدررفت سرمایه‌های محدود جلوگیری شود.

حادث می‌شود که به منظور دستیابی به نتایج بهینه با ضریب اطمینان بیشتر به منظور کنترل بیابان‌زایی لازم است مورد توجه قرار گیرند که از آن جمله می‌توان به روش آبیاری سنتی (غرقابی و کرتی) با بازدهی کم و مصرف آب زیاد (۷۳/۸ درصد کشاورزان از سیستم آبیاری سنتی استفاده می‌کنند)، افزایش تعاونی‌های کشت و افزایش حفر چاه‌های عمیق، وجود استخرها و جوی‌های روباز با خلل و فرج زیاد با راندمان پایین (راندمان کمتر از ۴۰ درصد به دلیل بدون پوشش بودن ۷۷ درصد شبکه‌های آبیاری)، وسعت کم اراضی زراعی (به طور متوسط کمتر از ۱۰ هکتار برای هر کشاورز)، افزایش صنایع با مصرف آب زیاد (آبخواه) همچون صنایع شن و ماسه و رنگرزی و نساجی، افزایش برداشت در نتیجه موتوردار شدن چاه‌ها، ابعاد نامناسب کرت‌ها، افزایش برداشت به منظور آبیاری مناطق کشت شده با گونه تاغ که در سال‌های اخیر به منظور کنترل فرسایش بادی در مناطق رسی و تپه‌های ماسه‌ای ارگ اشکذر توسعه زیادی یافته است اشاره کرد (Sadeghiravesh, 2008).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، روشی نوین به منظور رتبه‌بندی اولویت راهبردهای مطرح در فرایند بیابان‌زدایی ارائه شد. پژوهش حاضر قادر است با کاربرد روش دلفی فازی به منظور اجماع نظرات گروهی، از متاثر شدن تصمیم‌گیری بر مبنای نظر اشتباه کارشناسی پرهیز کند و همچنین با کاربرد اعداد فازی در فرایند تصمیم‌گیری، قضاوت‌های فازی تصمیم‌سازان را در فرایند تصمیم‌سازی جامع عمل ببوشاند. همچنین با کاربرد مدل تاپسیس و نمایش نتایج بر روی نمودار گایا، قابلیت کمی‌سازی و تحلیل نتایج را دارد. به‌رغم مزایای این روش همانند انعطاف‌پذیری، کارایی بالا و سهولت کاربرد، امکان استفاده از نرم‌افزار، ارزیابی

References

- Asgharizadeh, E. & Mohammadi Balani, A. (2021). *Multi-attribute decision making*

techniques. University of Tehran Press, (In Persian).

- Asgharpour, M. J. (2017). *Multi criteria decision making*. Tehran university press. (In Persian)
- Azar, A. & Faraji, H. (2016). *Science of fuzzy management*, Mehraban press. (In Persian)
- Azar, A. & Rajabzadeh, A. (2018). *Applied decision making with an approach of Multi-Attribute Decision Making (MADM)*. Negah Danesh Press. (In Persian)
- Bakhshandehmehr, L., Soltani, S. & Sepehr, A. (2013). Assessment of present status of desertification and modifying the MEDALUS model in Segzi plain of Isfahan. *Journal of Range & Watershed Management*, 66(1), 27-41. (In Persian)
- Brans, J. P. & Mareschal, B. (1994). The PROMCALC and GAIA Decision Support System for Multicriteria Decision Aid. *Decision Support Systems*, 12 (4-5), 297–310.
- Briassoulis, H. (2019). Combating land degradation and desertification: The Land-Use Planning Quandary. *Land*, 8(27), 1-26.
- Camastra, F., Ciaramella, A., Giovannelli, V., Lener, M., Rastelli, M., Staiano A., Staiano, G. & Starace, A. (2015). A fuzzy decision system for genetically modified plant environmental risk assessment using Mamdani inference. *Expert Systems with Applications*. 42 (3), 1710 - 1716.
- Chasek, P., Akhtar-Schuster, M., Orr, B., Luise, A., Rakoto Ratsimba, H. & Safriel, U. (2019). Land degradation neutrality: The sciencepolicy interface from the UNCCD to national implementation. *Environmental Science & Policy*, 92, 182–190.
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S. & Von Maltitz, G. (2018). *World atlas of desertification*. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Dregne, H. (1998). *Desertification assessment and control in: the United Nations University (Ed.). New Technologies to Combat Desertification*. Proceedings of the International Symposium held in Tehran, Iran. October 12-15. Available at: <https://archive.unu.edu/env/workshops/iran-1/index.htm>.
- Dijk, A. I. J. M., Beck, H. E., Crosbie, R. S., Jeu, R. A. M., Liu, Y. Y., Podger, G. M., Timbal, B. & Viney, N. R. (2013). The millennium drought in southeast Australia (2001–2009): Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society. *Water Resources Research*, 49 (2), 1040–1057.
- Gharachelo, S., Ekhtesasi, M. R., Zareian Jahromi, M. & Samadi, M. B. (2021). Evaluation of current condition of desertification using I.C.D Model, case study: Khezrabad, Yazd. *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 17(3), 402-420.
- Grau, J. B., Anton, J. M., Tarquis, A. M., Colombo, F., Rios, L. & Cisneros, J. M. (2010). Mathematical model to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control for the Chaco Area in Salta Province (Argentina). *Journal of Biogeosciences Discussions*, 7, 2601–2630.
- Heidari, S. B. & Bagherzadeh Chahar Joei, A. (2017). *Sustainable combat desertification strategies in Sabzevar plain based on analytical hierarchy model (TOPSIS) and preference ranking technique (AHP)*. Sixth National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources. Tehran. January 5-7. (In Persian)
- Huang, S. & Siegert, F. (2006). Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT vegetation imagery. *Journal of Arid Environments*, 67 (2), 308–327
- Jiang, L., Jiapaer, G., Bao, A., Kurban, A., Guo, H., Zheng, G. & De Maeyer, P. (2019). Monitoring the long-term desertification process and assessing the relative roles of its drivers in Central Asia. *Ecological Indicators*, 104, 195-208.
- Karande, P. & Chakraborty, S. (2012). Application of PROMETHEE-GAIA method for non-traditional machining processes selection. *Management Science Letters*, 2 (6), 2049–2060.
- Kath, J., Powell, S., Reardon-Smith, K., Sawah, S.E., Jakeman, A.J., Croke, B. F.W. & Dyer, F. J. (2015). Groundwater

- salinization intensifies drought impacts in forests and reduces refuge capacity. *Journal of Applied Ecology*, 52 (5), 1116–1125.
- Kong, Z. H., Stringer, L. C., Paavola, J. & Lu, Q. (2021). Situating China in the global effort to combat desertification. *Land*, 10(7), 1-22.
 - Koohbanani, H., Dashti Amirabad, J., Shima 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*, 7(25), 35-49. (In Persian)
 - Lamchin, M., Lee, J. Y., Lee, W. K., Lee, E. J., Kim, M., Lim, C. H., Choi, H. A. & Kim, S. R. (2016). Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research Research*, 57(1), 64–77.
 - Martínez-Valderrama, J., Ibáñez, J., Alcalá, F. J., Domínguez, A., Yassin, M. & Puigdefábregas, J. (2011). The use of a hydrological-economic model to assess sustainability in groundwater-dependent agriculture in drylands. *Journal of Hydrology*, 2011, 402 (1), 80–91. DOI:10.1016/j.jhydrol.2011.03.003
 - Middleton, N. & Thomas, D. S. G. (1997). *World atlas of desertification*. London: Wiley Press.
 - Nasrian, A., Akbari, M., Alireza Faridhosseini, A. & Neamatollahi, E. (2019). Spatio-temporal monitoring of groundwater changes on desertification intensity in agricultural areas in Dargaz plain, Khorasan Razavi province. *Desert Ecosystem Engineering Journal (DEEJ)*, 7(21).75-90.
 - Pishyar, S., Khosravi, H., Tavili, A. & Malekian, M. (2018). Desertification Risk Mapping based on Water Resources Degradation using Multi Criteria Decision Making (Case Study: Kashan Plain). *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 21(4), 71-84. Doi: 10.29252/jstnar.21.4.71. (In Persian)
 - Qiang, G., Bihong, F., Pilong, S., Cudahy, T., Jing, Z. & Huan, X. (2017). Satellite monitoring the spatial-temporal dynamics of desertification in response to climate change and human activities across the Ordos plateau, China. *Remote Sensing*, 9 (6), 2-20. <https://doi.org/10.3390/rs9060525>.
 - Sadeghi Ravesh, M. H. (2008). *Investigation of effective desertification factors on environmental degradation*. Ph.D Thesis of Environmental Management, Faculty of Environment, Science & Research Branch, Islamic Azad University. (In Persian)
 - Sadeghiravesh, M. H. (2016). Decision making process to natural resources. Islamic Azad University Press, (In Persian)
 - Sadeghiravesh, M. H. (2021). Analysis of the combating desertification alternatives derived from the decision-making models using the GRV function. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1(2), 13-25. (In Persian)
 - Sadeghiravesh, M. H. (2022-a). Application of Interpretive Structural Modelling (ISM) in analyzing obstacles to combat desertification with pathological approach in Yazd province. *Journal of Watershed Management Research*, in press. (In Persian)
 - Sadeghiravesh, M. H. (2022-b). Applying fuzzy logic in quantitative analysis of strategies adopted for combating desertification using critical analysis approach. *Desert Ecosystem Engineering Journal (DEEJ)*, 11(34), 71-86. (In Persian)
 - Sadeghiravesh, M. H. (2022-c). Prioritization of combating desertification strategies in Yazd- Khezr Abad plain by using Cook and Seiford method. *Journal of Water and Soil Science (JWSS)*, in press. (In Persian)
 - Sadeghiravesh, M. H. & Khosravi, H. (2021). Quantitative analysis of combating desertification alternatives using LINMAP model in Lingo software environment. *Desert Management*, 8(16), 57-76. (In Persian)
 - Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H. & Ghasemian, S. (2015). Application of Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) for assessment of combating-desertification alternatives in the central Iran. *Journal of Natural Hazard*, 75 (1), 653-667.
 - Sadeghiravesh, M. H. & Tahmores, M. (2014). Assessment of combat desertification

- alternatives using Fuzzy Topsis Model (FTOPSIS), *Journal of Environmental Science and Engineering*, 1(3), 79-94. (In Persian)
- 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*, 75 (c) .105 – 118.
 - Sepehr, A. & Parvian, N. (2012). Desertification vulnerability mapping and developing combating strategies in the ecosystem of Khorasan Razavi Province using PROMETHEE algorithm. *Researches in Earth Sciences*, 2(8), 71- 85. (In Persian)
 - 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*, 47(4), 583-605. (In Persian)
 - Thlakma, R. S. & John, O. E. (2019). An assessment of the various mitigation strategies to combat desertification in Jibia and Kaita local government areas of Katsina state. *Geosfera Indonesia*. 4 (2), 124-145.
 - Tsunekawa, A. (2005). *Methodologies of desertification monitoring and assessment*. Workshop of the Asia regional Thematic Programme Network on Desertification Monitoring and Assessment (TPN1) (provisional edition), Tokyo, Japan. June 28–30.
 - United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 2017. *The global land outlook*. Bonn, Germany: UNCCD press.