



The University of Tehran Press

Natural Resources Governance

Vol. 2, No. 2, Summer 2025

Online ISSN: 3060-7183

Home Page: <https://jnrg.ut.ac.ir/>

Fuzzy Taxonomy Approach in Providing Effective Strategies in Desert Governance

Mohammad Hassan Sadeghiravesh^{*1} | Hassan Khosravi²

- 1) Department of Environment, Tak.C., Islamic Azad University, Takestan, Iran. Email: mh.sadeghiravesh@iau.ac.ir
- 2) Corresponding Author, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: hakhosravi@ut.ac.ir

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article type: Research Article Article History: Received 16 May, 2025 Revised 21 June, 2025 Accepted 25 June, 2025 Published online 26 June, 2025 Keywords: <i>Desert Governance, Desertification Strategies, Fuzzy Taxonomy, Multi-Criteria Decision-Making, Pairwise Comparison.</i>	Desertification is a complex socio-economic problem resulting from the performance and interaction of multiple factors that are always in uncertain environments and are strongly influenced by ambiguous and non-explicit judgments. Therefore, in the framework of natural resource governance, the use of fuzzy multi-criteria decision-making structures seems necessary to evaluate strategies to combat desertification. This research aimed to determine the priority of strategies to combat desertification using a fuzzy taxonomy model and was conducted on a case-by-case basis in the Yazd-Khazarabad plain during the years 2023-2024. In order to achieve this goal, effective criteria and strategies were first identified and evaluated using the fuzzy Delphi method. Then, the combined values were estimated and a fuzzy decision matrix was obtained. Next, the decision matrix was defuzzified and balanced. Finally, after performing the deviation test and ensuring the homogeneity of the strategies, the priority of the strategies was obtained by estimating the taxonomic degree. Based on the results of the research process, the strategy of "adjusting groundwater resource extraction" (31A) was evaluated with a relative priority of 0.002643 as the most important strategy in controlling and reducing the effects of desertification and restoring degraded lands. Finally, it is suggested that desertification control plans, in accordance with the strategic document obtained in the study area, emphasize the results achieved in order to accelerate the improvement of the unstable situation and prevent the waste of limited funds.

Cite this article: Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H. (2025). Fuzzy Taxonomy Approach in Providing Effective Strategies in Desert Governance. *Journal of Natural Resources Governance*, 2 (2), 221-234.
<https://doi.org/10.22059/jnrg.2025.401959.1052>



© Mohammad Hassan Sadeghiravesh, Hassan Khosravi

Publisher: University of Tehran Press.

<https://doi.org/10.22059/jnrg.2025.401959.1052>



انتشارات دانشگاه تهران

نشریه حکمرانی منابع طبیعی

دوره ۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴

سایت نشریه: <https://jnrg.ut.ac.ir/>

شاپا الکترونیکی: ۷۱۸۳-۳۰۶۰

رویکرد تاکسونومی فازی در ارائه راهبردهای مؤثر در حکمرانی عرصه‌های بیابانی

محمدحسن صادقی‌روش^۱ | حسن خسروی^۲

(۱) گروه محیط زیست، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران. رایانامه: mh.sadeghiravesh@iaui.ac.ir

(۲) نویسنده مسئول، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hakhosravi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

علمی - پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۵

کلیدواژه:

تصمیم‌گیری چندمعیاره،

حکمرانی بیابان،

راهبردهای بیابان‌زدایی،

تاکسونومی فازی،

مقایسه زوجی.

بیابان‌زایی یک مسئله اقتصادی - اجتماعی پیچیده و حاصل عملکرد و برهم‌کنش میان عوامل متعددی است که همیشه در محیط‌های غیرقطعی و تحت تأثیر شدید قضاوت‌های مبهم و غیرصریح قرار می‌گیرند، بنابراین در چارچوب حکمرانی منابع طبیعی به‌منظور ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی، استفاده از سازگان‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ضروری به نظر می‌رسد. از این رو این پژوهش با هدف تعیین اولویت راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی با استفاده از مدل تاکسونومی فازی و به‌صورت موردی در دشت یزد - خضرآباد طی سال‌های ۱۴۰۳-۱۴۰۲ به انجام رسید. به‌منظور دستیابی به این هدف، ابتدا از روش دلفی فازی، معیارها و راهبردهای مؤثر شناسایی و ارزش‌دهی شدند، سپس ضمن برآورد ارزش‌های ترکیبی، ماتریس تصمیم‌گیری فازی حاصل شد. در ادامه نسبت به غیرفازی‌سازی و موزون‌سازی ماتریس تصمیم اقدام شد و در نهایت پس از انجام آزمون انحراف و اطمینان از همگنی راهبردها، با برآورد درجه تاکسونومیک، ارجحیت راهبردها به‌دست آمد. بر مبنای نتایج حاصل‌شده از فرایند تحقیق، راهبرد «تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی» (A۳۱) با درجه ارجحیت نسبی ۰/۰۰۲۶۴۳ به‌عنوان مهم‌ترین راهبرد در کنترل و کاهش اثرات بیابان‌زایی و احیای اراضی تخریب‌یافته ارزیابی شد. در نهایت پیشنهاد می‌شود طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی، مطابق سند راهبردی به‌دست‌آمده در منطقه مطالعاتی بر نتایج حاصله تأکید کنند تا ضمن تسریع در بهبود اوضاع نابسامان، از هدررفت سرمایه‌های محدود جلوگیری کنند.

استناد: صادقی‌روش؛ محمدحسن؛ خسروی؛ حسن (۱۴۰۴). رویکرد تاکسونومی فازی در ارائه راهبردهای مؤثر در حکمرانی عرصه‌های بیابانی. حکمرانی منابع طبیعی، ۲ (۲)، ۲۳۱-۲۳۴

<https://doi.org/10.22059/jnrg.2025.401959.1052>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© محمدحسن صادقی‌روش، حسن خسروی

<https://doi.org/10.22059/jnrg.2025.401959.1052>



۱. مقدمه

بیابان‌زایی عبارت است از تخریب اراضی در نواحی خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب ناشی از عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی (UNCCD¹, 2017; Qiang et al., 2017) و پدیده تخریب اراضی نیز به‌عنوان کاهش یا از بین رفتن بهره‌وری بیولوژیکی و اقتصادی در مزارع، مراتع و نواحی جنگلی بیان می‌شود (Huang and Siegert, 2006; Tsunekawa, 2005). در مقیاس جهانی، اراضی بیابانی که ۳۶ میلیون کیلومتر مربع معادل ۴۲ درصد از اراضی سطح زمین را شامل شده (Middleton and Thomas, 1997)، بیش از یک‌صد کشور به‌ویژه کشورهای در حال توسعه و در معرض خطر را تهدید می‌کند (پیشیار و همکاران، ۲۰۱۹؛ کوهبنانی و همکاران، ۲۰۱۷) و یک‌ششم از کل جمعیت جهان را که اغلب در فقر به سر می‌برند متأثر می‌سازد (کوهبنانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ Middleton and Thomas, 1997) کشور ایران نیز به‌دلیل قرار گرفتن بیش از ۸۰ درصد مساحتش در قلمرو سرزمین‌های خشک، نیمه‌خشک تا خشک نیمه‌مرطوب و با توجه به رشد یک درصدی میزان سالانه بیابان‌زایی، در برابر شیوه‌های نامناسب بهره‌برداری از زیست‌بومی شکننده و بسیار حساس برخوردار است (بخشنده مهر و همکاران، ۲۰۱۳؛ پیشیار و همکاران، ۲۰۱۹) که برون‌رفت از این چالش نیازمند رویکرد جامع در حکمرانی و مدیریت منابع این مناطق است.

مدیریت جامع به‌عنوان رویکردی جدید بعد از سال ۲۰۰۰ برای برنامه‌ریزی توسعه و مدیریت منابع طبیعی به‌صورت پویا، همه‌جانبه و تاب‌آور با تأکید بر ویژگی‌های اجتماعی - اقتصادی منطقه‌ای و به‌منظور تأمین معیشت پایدار و بدون آسیب‌پذیری برای ساکنان این حوزه‌ها مطرح شد (علیزاده و همکاران، ۲۰۲۴؛ اطهری و همکاران، ۲۰۱۷). مسائل تصمیم‌گیری مدیریت مناطق بیابانی به‌دلیل وجود معیارها و شاخص‌های متعدد، مسائل پیچیده‌ای هستند و برای دستیابی به یک هدف مشخص راه‌حل‌های متعددی وجود دارد که هریک ارجحیت‌های مختلفی را برای مسائل مختلف محیط‌زیستی، اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و سازمانی تأمین می‌کنند. ارزیابی دقیق راهبردها و انتخاب راهبردهای بهینه عامل مؤثری در افزایش کارایی طرح‌های بیابان‌زدایی در دستیابی به هدف است، در غیر این صورت تلف شدن منابع همچون زمان، انرژی و سایر نهاده‌ها تأثیر جدی و مخربی بر حصول نتایج خواهد داشت (صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۲۲)، از این رو در کنوانسیون ملل متحد برای مبارزه با بیابان‌زایی، بر رویکردهای مشارکتی و گفت‌وگوی بین دیدگاه‌های مختلف به‌منظور دستیابی به راهبردهای بومی (محلی) و استفاده مناسب‌تر و کارآمدتر از منابع تأکید شده است (Chasek et al., 2019; UNCCD, 2017)؛ این کنوانسیون تأکید می‌کند که برنامه مقابله با بیابان‌زایی باید در چارچوب توسعه پایدار و متناسب با راهبردها و برنامه ملی کشورها تهیه و اجرا شود (Kong et al., 2021; Briassoulis, 2019)، بنابراین این الزامات موجب استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه^۲ می‌شود که هدف آن انتخاب بهترین جواب از بین راه‌حل‌های مختلف از دیدگاه خبرگان است (اصغری‌پور، ۲۰۱۷).

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 روبه‌رو هستیم (Sarkar et al., 2016) شاخص‌های بیابان‌زایی ماهیت غیرقطعی دارند، بنابراین از رفتار سیستم‌های فازی تبعیت می‌کنند و آنچه در ارزیابی این پدیده‌ها مهم به نظر می‌رسد، امتیازدهی صحیح شاخص‌ها به‌منظور دستیابی به نتایج قابل استناد است (آذر و فرجی، ۲۰۱۶)، بنابراین اعداد فازی در قالب روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه 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 باشد و جلوی صرف هزینه‌های زیاد احیای ناموفق اراضی بیابانی را گرفت یا با درجه خطر کمتری نسبت به احیا اقدام کرد.

با مطالعه منابع تحقیقاتی مشاهده شد مطالعات جامعی که با به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری و با در نظر گرفتن مجموعه معیارها و عوامل مؤثر در فرایند مقابله با بیابان‌زایی به‌منظور انتخاب راهبردهای بهینه شکل گرفته باشد، تنها به کارهای گرایو^۳ و همکاران (۲۰۱۰)، سپهر و پرویان (۲۰۱۲)، حیدری و باقرزاده (۲۰۱۷)، صادقی‌روش (۲۰۲۱ الف، ب، ۲۰۲۱ ج، ۲۰۲۲ الف، ۲۰۲۲ ج) و صادقی‌روش و خسروی (۲۰۲۰ ب، ۲۰۲۱)، محدود می‌شود.

1. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)

2. Multi Attribute Decision Making (MADM)

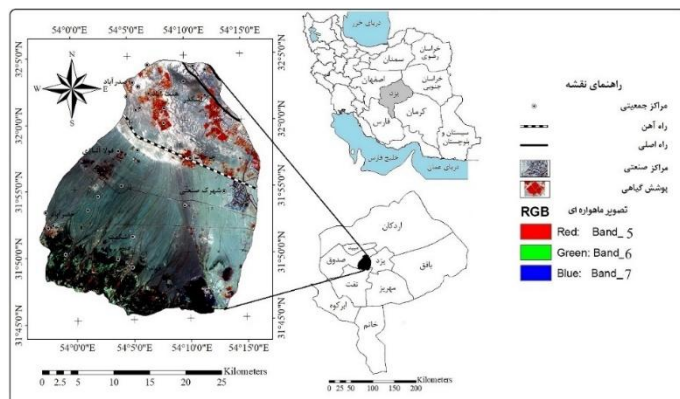
3. Grau

بنابراین از آنجا که بیابان‌زایی، یک مشکل تکنولوژیکی ساده نیست، بلکه یک مسئله اقتصادی - اجتماعی پیچیده و حاصل عملکرد و برهم‌کنش میان عوامل متعددی است که همیشه در محیط‌های غیرقطعی و تحت تأثیر شدید قضاوت‌های مبهم و غیرصریح قرار می‌گیرند، همچنین با توجه به محدودیت مطالعات انجام‌شده در زمینه کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در تحلیل راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی که تنها به کارهای صادقی‌روش (۲۰۲۲، ۲۰۲۳)، صادقی‌روش و طهمورث (۲۰۱۴)، صادقی‌روش و همکاران (۲۰۱۵) و صادقی‌روش و خسروی (۲۰۲۲، ۲۰۲۵) محدود می‌شود، لزوم پرداختن به روش‌هایی که بتواند راه‌حل‌های بهینه را بر مبنای منطق و اصول قوی و مبنای 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 روش سازشی تاکسونومی، می‌توان با اجماع نظرات گروهی در محیط فازی، از بین طیف وسیعی از راهبردهای مطرح در کنترل بیابان‌زایی، به‌صورت بومی، راهبردهای اولویت‌دار 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 است، به‌صورتی که بتواند فرایند انجام این ارزیابی را به‌صورت جامع، بومی، کمی و انعطاف‌پذیر و با ساختار سلسله مراتبی ارائه دهد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

زیرحوزه یزد - خزرآباد بخشی از حوزه آبخیز بزرگ یزد - اردکان است که با وسعتی معادل ۷۸۱۸۰ هکتار در ۱۰ کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). قسمت اعظم منطقه را اراضی پست متشکل از سازند قدیمی کهر تا رسوبات جوان کواترن با شیب متوسط ۹/۴۱ درصد تشکیل می‌دهد (شریفی و فرحبخش، ۲۰۱۶). منابع خاک منطقه به‌طور عمده در رده خاک‌های نارس بیابانی یا آنتی‌سول^{۱۷} و زیررده اورنتز^{۱۸} است که دارای رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی آریدیک و به‌شدت تحت تأثیر فرایند فرسایش آبی و بادی و تخریب قرار دارد (قراچلو و همکاران، ۲۰۲۱). از نظر اقلیمی با میانگین دمای متوسط ماهانه ۱۵/۷۲ درجه سانتی‌گراد (میانگین حداکثرهای دمای ماهانه ۲۸/۶۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل‌های ۳/۷۵ درجه سانتی‌گراد) و میانگین بارندگی سالانه ۱۲۱ میلی‌متر، بر مبنای روش دومانن اصلاح‌شده اقلیم منطقه در شرایط خشک و فراسرد بیابانی طبقه‌بندی می‌شود. حدود ۱۲۹۳۰ هکتار از اراضی منطقه را پهنه‌های ماسه‌ای شکل داده که ارگ^{۱۹} بزرگ اشکذر با وسعتی معادل ۸۹۲۳ هکتار در شمال منطقه با انواع رخساره‌های تخریبی و فرسایشی به چشم می‌خورد (صادقی‌روش، ۲۰۲۳) و بیش از ۷ هزار هکتار (حدوداً ۱۰ درصد) اراضی منطقه تحت تأثیر بیابان‌زایی خیلی شدید قرار دارد و بیشترین اراضی منطقه (بیش از ۵۵ درصد) تحت تأثیر بیابان‌زایی با شدت نسبتاً متوسط ارزیابی شد و در عین حال ارزش کمی پتانسیل بیابان‌زایی برای کل منطقه از مجموع شاخص‌ها در کلاس متوسط به‌دست آمد (صادقی‌روش، ۲۰۲۴، الف، صادقی‌روش، ۲۰۲۴، ب).



شکل ۱. موقعیت زیرحوزه آبخیز یزد - خزرآباد

ماتریس تصمیم‌گیری در مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM)، ماتریس تصمیم‌گیری غیرفازی موزون شکل گرفت و بر مبنای آن اولویت راهبردها به دست آمد (آذر و فرجی، ۲۰۱۶؛ اصغری‌زاده و محمدی بالائی، ۲۰۲۱؛ آذر و رجب‌زاده، ۲۰۲۲؛ اصغری‌پور، ۲۰۲۲).

در این مرحله به منظور تمرکز بر هدف مطالعه از تشریح مراحل شکل‌گیری ماتریس تصمیم‌گیری غیرفازی موزون خودداری و به تشریح فرایند اولویت‌بندی راهبردها که هدف این پژوهش است پرداخته شد. علاقه‌مندان می‌توانند به منظور مطالعه و نحوه برآورد ماتریس تصمیم‌گیری غیرفازی راهبردها به مقالات صادقی‌روش (صادقی‌روش و طهمورث، ۲۰۱۴؛ صادقی‌روش، ۲۰۲۲)؛ Sadeghiravesh et al., 2015 مراجعه کنند.

پس از شکل‌گیری ماتریس تصمیم‌گیری غیرفازی نرمال‌شده (جدول ۱)، به منظور انجام آزمون انحراف در فرایند حذف راهبردهای نامتعارف و اطمینان از همگنی راهبردها، در ابتدا به روش اقلیدوسی (رابطه ۱)، فاصله زوجی راهبردها (برای مثال راهبردهای A_i , A_h) محاسبه می‌شود و ماتریس فاصله زوجی راهبردها شکل می‌گیرد (جدول ۲).

$$d_{l,h} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (P_{lj} - P_{hj})^2} \quad (1)$$

که در آن، l و h = راهبردهای مورد ارزیابی

$d_{l,h}$: فاصله مرکب بین راهبردهای l و h

P_{lj} : مؤلفه غیرفازی نرمال‌شده راهبرد l در ارتباط با هر ستون (j) در ماتریس

P_{hj} : مؤلفه غیرفازی نرمال‌شده راهبرد h در ارتباط با هر ستون (j) در ماتریس

$P_{lj} - P_{hj}$: فاصله مؤلفه غیرفازی موزون راهبرد l از راهبرد h در معیار j

جدول ۱. ماتریس تصمیم‌گیری غیرفازی موزون‌شده

$C_j^k \blacktriangleright$	C^1	C^2	...	C^k
$A_i^k \blacktriangledown$				
A^1	p_{11}^k	p_{12}^k	...	p_{1nk-1}^k
A^2	p_{21}^k	p_{22}^k	...	p_{2nk-1}^k
:	:	:	:	:
A^k	p_{nk1}^k	p_{nk2}^k	...	p_{nknk-1}^k
O_j	O_1	O_2	...	O_{nk-1}

جدول ۲. ماتریس فاصله زوجی راهبردها

(R_i) کمترین فاصله	A^k		A^2	A^1	A_i^k
R_1	$d_{1,n}$		$d_{1,2}$	0	A^1
R_2	$d_{2,n}$		0	$d_{2,1}$	A^2
:	:		:	:	:
R_m	$d_{m,n}$		$d_{m,2}$	$d_{m,1}$	A^k

$$\mu_R = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$$

$$\delta_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (R_i - \mu_R)^2}{m}}$$

پس از تشکیل ماتریس فاصله زوجی راهبردها، کوتاه‌ترین میزان فاصله هر سطر از ماتریس (R_i) (به غیر از فاصله هر راهبرد از خودش یا قطر ماتریس) (رابطه ۲)، تحت عنوان «کوتاه‌ترین فاصله» مشخص می‌شود (جدول ۲).

$$R_i = \min(d_{i,1}, d_{i,2}, \dots, d_{i,n}) \quad (2)$$

که در آن R_i : کوتاه‌ترین فاصله سطری ماتریس زوجی

در ادامه میانگین و انحراف معیار مجموع کوتاه‌ترین فاصله‌ها (R_i) محاسبه و با مشخص کردن حد بالا و پایین مجموعه فوق از رابطه ۳، در صورتی که کمترین فاصله‌های محاسبه‌شده بین دو حد مذکور باشند، نتیجه می‌شود مجموعه واحدها در محدوده همگن واقع شده و نیازی به بازنگری شاخص‌های امتیاز داده‌شده در ارتباط با راهبردها نیست، در غیر این صورت نیاز است راهبردهایی که کمترین فاصله آنها خارج از حدود مشخص شده هستند، از نظر امتیازدهی شاخص‌ها در آن راهبرد دوباره مورد بازنگری قرار گیرند.

$$[\mu_R - 2\delta_R, \mu_R + 2\delta_R] \quad (۳)$$

که در آن: μ_R = میانگین کمترین فاصله‌ها

δ_R = انحراف معیار کمترین فاصله‌ها

$\mu_R + 2\delta_R$ = حد بالای کمترین فاصله‌ها

$\mu_R - 2\delta_R$ = حد پایین کمترین فاصله‌ها

پس از انجام آزمون انحراف و اطمینان از همگنی راهبردها به منظور ارزیابی ارجحیت راهبردهای بیابان‌زدایی، در انتهای ماتریس داده‌ها، بزرگ‌ترین عدد قابل مشاهده در هر ستون تحت عنوان عدد ایده‌آل (O_j) به دست می‌آید (در این ساختار هر قدر امتیازدهی به هر معیار در ارتباط با هر راهبرد بیشتر باشد، نشان‌دهنده ارجحیت آن راهبرد در فرایند بیابان‌زدایی است، از این رو بیشترین مقادیر عددی معیارها در ماتریس داده‌ها تحت عنوان ایده‌آل برآورد می‌شود)، (جدول ۱)، سپس مجموع مجزورات انحرافات (فاصله) هر شاخص از عدد ایده‌آل همان شاخص (O_j) به تفکیک هر راهبرد مطابق رابطه ۴ محاسبه و در ماتریس دوبعدی دیگری تحت عنوان «ماتریس سرمشق^۱ توسعه راهبردها (g_i)» یا «فاصله تاکسونومیک» وارد می‌شود. فاصله کم هر راهبرد از عدد ایده‌آل نمایانگر ارجحیت زیاد آن راهبرد در فرایند بیابان‌زدایی و بالعکس است (جدول ۳).

$$g_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n_m} (P_{ij} - O_j)^2} \quad (۴)$$

که در آن: P_{ij} = ارزش نرمال غیرفازی هر معیار j در هر راهبرد i

O_j = عدد ایده‌آل یا بزرگترین عدد در هر ستون ماتریس داده‌ها

g_i = سرمشق توسعه یا فاصله تاکسونومیک هر راهبرد

جدول ۳. ماتریس سرمشق توسعه راهبردها (g_i)

راهبرد	$(P_{i1} - O_1)^2$	$(P_{i2} - O_2)^2$	...	$(P_{ij} - O_j)^2$	فاصله تاکسونومیک	درجه تاکسونومیک
$A_i^k \nabla$	a_1	b_1	...	y_1	g_1	y_i
A^1	a_2	b_2	...	Y_2	g_2	y_1
A^2	a_2	b_2	...	Y_2	g_2	y_2
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
A^k	a_m	b_m	...	Y_m	g_m	y_m

$$\mu_g = \frac{\sum_{i=1}^m g_i}{m}$$

$$\delta_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (g_i - \mu_g)^2}{m}}$$

به منظور تعیین طبقه‌بندی راهبردها، حداکثر فاصله تاکسونومیک ممکن (حد بالای سرمشق توسعه) راهبردها (g^*) از رابطه ۵ محاسبه شد:

$$g^* = \mu_{g_i} + 2\delta_{g_i} \quad (۵)$$

که در آن g^* = فاصله تاکسونومیک ممکن مجموع راهبردها

μ_{g_i} = میانگین فاصله تاکسونومیک راهبردها (رابطه ۶)

^۱. Pattern

$$\mu_g = \frac{\sum_{i=1}^m g_i}{m} \quad (۶)$$

δ_{g_i} = انحراف معیار فاصله تاکسونومیک راهبردها (رابطه ۷)

$$\delta_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (g_i - \mu_g)^2}{m}} \quad (۷)$$

در نهایت درجه تاکسونومیک برای راهبردها (y_i) از رابطه ۸ محاسبه شد. از آنجا که طبق این روش، درجه تاکسونومیک راهبردها همواره بین صفر و یک است ($0 \leq y_i \leq 1$) بنابراین هر قدر این مفهوم به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده وضعیت بهتر یا ارجحیت بیشتر راهبرد و برعکس است.

$$y_i = \frac{g_i}{g^*} \quad (۸)$$

که در آن: y_i = درجه توسعه ارجحیت هر راهبرد.

۳. یافته‌های پژوهش

به‌منظور انجام فرایند رتبه‌بندی ارجحیت راهبردهای بیابان‌زدایی، از روش تاکسونومی فازی روی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی استفاده شد. ابتدا مطابق ادبیات تحقیق و در چارچوب فرایند تصمیم‌گیری اقدام به تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری غیر فازی موزون راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی از نظر گروه شد (جدول ۴). به‌منظور جلوگیری از اطاله کلام و تمرکز بر هدف مطالعه همان‌طور که در بخش روش تحقیق بیان شد، از تشریح مراحل شکل‌گیری ماتریس تصمیم‌گیری غیرفازی خودداری شد (صادقی‌روش و طهمورث، ۲۰۱۴؛ صادقی‌روش، ۲۰۲۲ ب؛ Sadeghiravesh et al., 2015).

جدول ۴. ماتریس تصمیم‌گیری غیر فازی موزون راهبردهای بهینه بیابان‌زدایی از نظر گروه

اهمیت معیارها (C) ◀	اولویت راهبردها (A) ▼	$C_1^{۱۰}$	$C_7^۹$	$C_6^۸$	$C_5^۷$	$C_2^۶$
	A_{18}^1	۰/۰۰۰۵۵۵۶	۰/۰۰۰۵۲۸	-۰/۲۰۵۱۱۴	۰/۰۰۰۱۰۳۶	۰/۰۳۷۴۹
	A_{20}^2	۰/۰۰۰۵۲۳۹	۰/۰۰۰۸۲۵۶	-۰/۰۵۱۴۵	۰/۰۰۰۲۳۷۳۳	۰/۰۳۱۹۴۸
	A_{23}^3	۰/۰۰۰۵۵۰۵۶	-۰/۰۰۰۲۴۴۸	-۰/۰۲۰۵۱۱۴	۰/۰۰۰۱۰۳۶	-۰/۰۰۸۸۰۲
	A_{31}^4	۰/۰۰۰۲۲۴۹۶	۰/۰۰۱۰۰۳۲	۰/۶۶۶۷۹۲	-۰/۰۰۰۸۲۵۸	۰/۲۶۵۰۳۸
	A_{33}^5	۰/۰۰۱۱۰۴۰۸	-۰/۰۰۰۴۸۹۶	۰/۰۰۸۵۷۵	۰/۰۰۰۰۶۸۱	۰/۰۳۵۲۰۸
	O_j	۰/۰۰۱۱۰۴۰۸	۰/۰۰۱۰۰۳۲	۰/۶۶۶۷۹۲	۰/۰۰۰۲۳۷۳۳	۰/۲۶۵۰۳۸
A_{18}^1 - جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی - C_2^6 - زمان						
A_{20}^2 - کنترل چرای دام (تعادل دام و مرتع، تناسب نوع دام - C_5^7 - ابزارهای علمی و تکنولوژی در دسترس						
A_{23}^3 - توسعه و احیای پوشش گیاهی - C_6^8 - منابع انسانی متخصص						
A_{31}^4 - تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی - C_7^9 - تناسب و سازگاری با محیط‌زیست (پایداری)						
A_{33}^5 - تغییر در الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آبخواه - C_1^{10} - تخریب منابع و خسارات محیطی و انسانی						

پس از برآورد مؤلفه‌های ماتریس تصمیم‌گیری غیرفازی موزون، فاصله زوجی راهبردها از رابطه ۱ نسبت به هم برآورد شد. مثال ۱: فاصله راهبردهای A_{18} و A_{20} با توجه به ماتریس تصمیم‌گیری غیرفازی موزون (جدول ۵) به ترتیب زیر محاسبه شد.

$$d_{A_{18}, A_{20}} = \sqrt{(P_{A_{18}, C_2} - P_{A_{20}, C_2})^2 + (P_{A_{18}, C_5} - P_{A_{20}, C_5})^2 + (P_{A_{18}, C_6} - P_{A_{20}, C_6})^2 + (P_{A_{18}, C_7} - P_{A_{20}, C_7})^2 + (P_{A_{18}, C_{16}} - P_{A_{20}, C_{16}})^2}$$

$$= \sqrt{(0.03749 - 0.031948)^2 + (0.0001036 - 0.0022733)^2 + ((-0.205114) - 0.05145)^2 + (0.000528 - 0.0008256)^2 + (0.0005556 - 0.00052391)^2}$$

$$= \sqrt{(3.07 \times 10^{-5}) + (4.71 \times 10^{-6}) + (6.5825 \times 10^{-2}) + (8.8566 \times 10^{-8}) + (1 \times 10^{-9})} = 0.256633$$

جدول ۵. ماتریس فاصله زوجی راهبردها

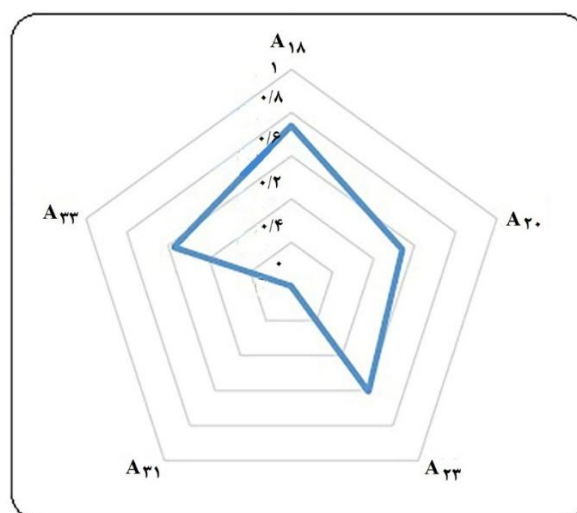
راهبردها (A)	A_{18}	A_{20}	A_{23}	A_{31}	A_{33}	R
A_{18}	–	۰/۲۵۶۶۳۳۲	۰/۱۹۰۳۲	۰/۹۰۱۱۱۰۱	۰/۲۱۳۷۰۴۳	۰/۱۹۰۳۲
A_{20}	۰/۲۵۶۶۳۳۲	–	۰/۰۸۲۷۳۴	۰/۶۵۸۰۱۷۱	۰/۰۴۳۰۷۹۳	۰/۰۴۳۰۷۹۳
A_{23}	۰/۱۹۰۳۱۹۹	۰/۰۸۲۷۳۳۷	–	۰/۷۳۹۸۴۹۲	۰/۰۵۲۷۵۶۷	۰/۰۵۲۷۵۶۷
A_{31}	۰/۹۰۱۱۱۰۱	۰/۶۵۸۰۱۷۱	۰/۷۳۹۸۴۹	–	۰/۶۹۷۱۹۱	۰/۶۵۸۰۱۷۱
A_{33}	۰/۲۱۳۷۰۴۳	۰/۰۴۳۰۷۹۳	۰/۰۵۲۷۵۶۷	۰/۶۹۷۱۹۱	–	۰/۰۴۳۰۷۹۳

سپس به منظور دستیابی به نتایج صحیح‌تر اقدام به شناسایی راهبردهای ناهمگن شد. در این روند پس از برآورد مقادیر R_i ، μ_R و δ_R ، با استفاده از رابطه ۳ ملاحظه شد که مقادیر کوتاه‌ترین فاصله از سطریهای ماتریس فاصله زوجی، بین حد بالا ۰/۶۷۱۳۸۷ و حد پایین ۰/۲۷۶۴۹۹ واقع شده‌اند (جدول ۵)، بنابراین مجموع راهبردها در محدوده همگن واقع شده و نیازی به بازنگری معیارهای امتیاز داده‌شده در ارتباط با هر راهبرد نیست.

در ادامه پس از برآورد عدد ایده‌آل (O_i) (جدول ۴)، از رابطه ۴ فاصله تاکسونومیک هر راهبرد محاسبه شد و پس از برآورد میانگین و انحراف معیار فواصل تاکسونومیک راهبردها از رابطه ۶ و ۷، حداکثر فاصله تاکسونومیک ممکن از رابطه ۵ معادل ۱/۲۱۹۰۲۷۹ به دست آمد و در نهایت به منظور تعیین ارجحیت راهبردها، درجه تاکسونومیک برای راهبردها (y_i) از رابطه ۸ به تفکیک معیارها محاسبه شد (جدول ۶؛ شکل ۳).

جدول ۶. ماتریس رتبه‌بندی راهبردها

راهبردها (A)	فاصله تاکسونومیک	درجه تاکسونومیک	رتبه
A_{18}	g_i	y_i	
A_{18}	۰/۹۰۱۱۱۲	۰/۷۳۹۲۰۶	۵
A_{20}	۰/۶۵۸۰۱	۰/۵۳۹۷۸۳	۲
A_{23}	۰/۷۳۹۸۵۲	۰/۶۰۶۹۲	۴
A_{31}	۰/۰۰۳۲۲۱	۰/۰۰۲۶۴۳	۱
A_{33}	۰/۶۹۷۱۹۳	۰/۵۷۱۹۲۶	۳



شکل ۳. نمایش نزدیکی درجات تاکسونومیک راهبردهای بیابان‌زدایی نسبت به حالت ایده‌آل

۴. بحث و نتیجه‌گیری

موضوعات تصمیم‌گیری در دنیای واقعی نظیر ارائه راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی، معمولاً از ابعاد مختلفی تشکیل شده است که به دلیل عملکردهای ناسازگار، بیشتر اوقات شاخص‌های مؤثر مورد غفلت واقع می‌شوند. در عین حال بسیاری از راهبردها و معیارهای

مؤثر ساختار کیفی و نامشخصی دارند که نمی‌توانند به‌دقت اندازه‌گیری شوند. افزون بر این، در این مسائل بیشتر اوقات بیش از یک تصمیم‌گیرنده بر روند کار تأثیر می‌گذارد. از این رو 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، به یک فرایند تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی^۱ نیاز است، بنابراین استفاده از معیارهای متعدد و درگیر کردن متخصصان در چارچوب تئوری فازی از بهترین راه‌ها برای لحاظ همه فاکتورهای مؤثر در فرایند مقابله با بیابان‌زایی و دستیابی به ماتریس ارزشیابی است. از این رو در این پژوهش روشی نوین به‌منظور رتبه‌بندی اولویت راهبردهای مطرح در فرایند بیابان‌زدایی ارائه شد. پژوهش حاضر قادر است با کاربرد روش دلفی فازی به‌منظور اجماع نظرات گروهی، از متأثر شدن تصمیم‌گیری بر مبنای نظر اشتباه کارشناسی پرهیز کند، همچنین با کاربرد اعداد فازی در فرایند تصمیم‌گیری، قضاوت‌های فازی تصمیم‌سازان را در فرایند تصمیم‌سازی جامه عمل بپوشاند، همچنین با کاربرد مدل تاکسونومی عددی، قابلیت کمی‌سازی و تحلیل نتایج را دارد.

بر مبنای مدل تاکسونومی فازی و در چارچوب 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» (A_{۳۱}) با درجه ارجحیت نسبی ۰/۰۲۶۴۳ به‌عنوان مهم‌ترین راهبرد و راهبردهای کنترل چرای دام (A_{۲۰})، تغییر الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آبخواب (A_{۳۳})، توسعه و احیای پوشش گیاهی (A_{۳۲}) و جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{۱۸}) به‌ترتیب با درجات ارجحیت، ۰/۵۴۰، ۰/۵۷۲، ۰/۶۰۷ و ۰/۷۳۹ به‌عنوان اولویت‌های بعدی مطرح در کنترل و کاهش اثرات بیابان‌زایی و احیای اراضی تخریب‌یافته ارزیابی شدند، بنابراین پیشنهاد می‌شود در چارچوب طرح‌های بلندمدت مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی بر این راهبردها تأکید شود تا ضمن افزایش بازدهی طرح‌ها از هدررفت سرمایه‌های محدود جلوگیری شود.

نتایج حاصل‌شده از پژوهش حاضر در رابطه با راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{۳۱}) که مانع اصلی عدم توفیق طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی برآورد شد با نتایج پژوهش‌های بسیاری ازجمله پژوهش‌های مارتینز والدراما^۲ و همکاران (۲۰۱۱)، دایک^۳ و همکاران (۲۰۱۳)، کات^۴ و همکاران (۲۰۱۵)، تالاکما و جون^۵ (۲۰۱۹)، پیشیار و همکاران (۲۰۱۸)، نصریان و همکاران (۲۰۱۹)، صالح و همکاران (۲۰۲۳) و... که مؤید این موضوع است که بهره‌برداری نامناسب از منابع آب زیرزمینی از موانع اصلی کنترل شرایط بیابانی است، هماهنگی دارد.

همچنین نتایج حاصل از اولویت‌نهایی راهبردها از روش تاکسونومی فازی، نتایج حاصل از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی به انجام‌رسیده در ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی، ازجمله تاپسیس فازی (صادقی‌روش و طهمورث، ۲۰۱۴)، فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی فازی (Sadeghiravesh et al., 2015)، الکترا و تاپسیس فازی (صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۲۲) و دیمتال فازی (صادقی‌روش، ۲۰۲۲ ب) را مورد تأکید قرار داد. به این معنی که راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{۳۱})، مؤثرترین راهبرد در فرایند مقابله با بیابان‌زایی است.

طی مطالعات انجام‌شده ملاحظه شد حوزه آبخیز دشت یزد - اردکان که منطقه مطالعاتی بخشی از آن است، بیابان آبی نامناسبی دارد و با کسری بیابانی معادل ۱۸۷ میلیون مترمکعب در سال مواجه است. این در حالی است که در منطقه مطالعاتی هرچقدر از ارتفاعات و دشت‌سر لخت در نواحی جنوبی که دارای شدت بیابان‌زایی 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 می‌شود که در نتیجه اضافه برداشت بیشتر است و نقش مؤثری در تسریع روند بیابانی شدن اراضی دارد، به‌طوری که طی برآوردهای انجام‌شده 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 حادث می‌شود که به‌منظور دستیابی به نتایج بهینه با ضریب اطمینان بیشتر به‌منظور کنترل بیابان‌زایی لازم است مورد توجه قرار گیرند. از آن جمله

¹ Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (FMADM)

² Martínez-Valderrama

³ Dijk

⁴ Kath

⁵ Thlakma and John

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 (به‌طور 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 به‌منظور آبیاری مناطق کشت‌شده با گونه تاغ که در سال‌های اخیر به‌منظور کنترل فرسایش بادی در مناطق رسی و تپه‌های ماسه‌ای ارگ اشکذر توسعه زیادی یافته است اشاره کرد (صادقی‌روش، ۲۰۰۸).

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر با حمایت و همراهی کارشناسان مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سازمان جهاد کشاورزی استان یزد و ایستگاه تحقیقات مقابله با بیابان‌زایی شهید صدوقی اشکذر و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اشکذر انجام شد که بدین‌وسیله از همه این عزیزان تقدیر و تشکر می‌شود.

References

- Alizadeh, E., Azarnivand, H., Zare Chahuki, M. A., & Kiani Rad, A. (2024). Apply System Dynamics Approach to Discover the Relationships Affecting the Optimal Governance in Rangeland Ecosystems. *Natural Resources Governance*, 1(2), 167–179. <https://doi.org/10.22059/jnrg.2024.380711.1013>
- Asgharizadeh, E., & Mohammadi Balani, A. (2021). Multi-attribute decision making techniques. Tehran: Publication of Tehran University. (In Persian)
- Asgharpour, M. J. (2022). Multi-Criteria Decision Making. Tehran: Publication of Tehran University. (In Persian)
- Athari, Z., Pezeshki Rad, G., Abbasi, E., & Alibaygi, A. (2017). Technical report, challenges facing watershed management in Iran by using Delphi technique. *Journal of Watershed Management Research*, 8(15), 268–279. (In Persian) <https://doi.org/10.29252/jwmr.8.15.268>
- Azar, A., & Faraji, H. (2016). Science of fuzzy management. Tehran: Mehraban Press. (In Persian)
- Azar, A., & Rajabzadeh, R. (2022). Applied decision making with an approach of Multi-Attribute Decision Making (MADM). Tehran: Publication of Negah Danesh. (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) <https://doi.org/10.22059/jrwm.2013.35326>
- Briassoulis, H. (2019). Combating land degradation and desertification: The land-use planning quandary. *Land*, 8(27), 1–26. <https://doi.org/10.3390/land8020027>
- Camasta, 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. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.09.041>
- Chasek, P., Akhtar-Schuster, M., Orr, B., Luise, A., Rakoto Ratsimba, H., & Safriel, U. (2019). Land degradation neutrality: The science–policy interface from the UNCCD to national implementation. *Environmental Science & Policy*, 92, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.017>
- 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. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20123>
- 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 Research*, 17(3), 402–420. (In Persian)
- 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. <https://doi.org/10.5194/bg-7-3421-2010>
- 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, Iran. (In Persian) <https://civilica.com/doc/573574>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.016>
- 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. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12495>
- 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. <https://doi.org/10.3390/land10070702>
- 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(1), 35–49. (In Persian)

- 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*, 402(1), 80–91. <https://doi.org/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. (In Persian) <https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.21.49>
- 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. (In Persian) <https://doi.org/10.29252/jstnar.21.4.71>
- Qiang, G., Bihong, F., Piong, 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>
- Sadeghiravesh, 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, Tehran. (In Persian)
- Sadeghiravesh, M. H. (2021-a). 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. (2021-b). Evaluation of optimal combat to desertification alternatives using special vector technique and Bernardo ranking model. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(29), 71–86. (In Persian) <https://doi.org/10.22052/DEEJ.2020.9.29.31>
- Sadeghiravesh, M. H. (2021-c). Introducing a new approach for prioritizing combating desertification strategies based on multi-attribute decision making. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 9(4), 15–33. (In Persian) <https://doi.org/10.47176/ijae.9.4.12571>
- 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*, 13(25), 119–132. (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), 15–32. (In Persian) <https://doi.org/10.22052/DEEJ.2021.11.34.11>
- Sadeghiravesh, M. H. (2022-c). Prioritization of combating desertification strategies in Yazd–Kheyr Abad plain by using Cook and Seiford method. *Journal of Water and Soil Science (JWSS)*, 26(2), 313–326. (In Persian) <https://doi.org/10.47176/jwss.26.2.23842>
- Sadeghiravesh, M. H. (2023). Sensitivity analysis of combat desertification strategies in fuzzy environment in Yazd-Khehrabad sub-catchment (Saduq County). *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 203–214. (In Persian) <http://dx.doi.org/10.52547/jwmr.13.26.203>
- Sadeghiravesh, M. H. (2024-a). Monitoring of the actual state of desertification using VPM and WASPAS scoring models. *Geography and Environmental Sustainability*, 14(2), 101–120. (In Persian) <https://doi.org/10.22126/GES.2024.10526.2748>
- Sadeghiravesh, M. H. (2024-b). Zoning potential of desertification intensity using Moora and Aras scoring models in Yazd-Khehrabad sub-catchment. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 11(3), 55–72. (In Persian) <https://doi.org/10.61186/JSAEH.11.3.4>
- 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*, 92(2), 213–227. <https://pas.uplb.edu.ph/issues/vol-92-no-2-jun-2009/>
- 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. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/IWM.2022.556144.1035>

- Sadeghiravesh, M. H., & Khosravi, H. (2025). The application of integrated Electra Model and Weighted Linear Combination in fuzzy environment in order to prioritize alternatives to deal with combat desertification. *Sustainability, Development & Environment*, 6(1), 71–94. (In Persian)
- Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., & Ghasemian, S. (2015). Application of Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) for assessment of combating-desertification alternatives in 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)
- Saleh, I., Khazaei, M., & Naeimi, M. (2023). Desertification intensity affected by groundwater and land subsidence in Maharloo-Bakhtegan watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(2), 171–184. (In Persian) <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11906.1187>
- Sarkar, S., Parihar, S. M., & Dutta, A. (2016). Fuzzy risk assessment modelling of East Kolkata Wetland area: A remote sensing and GIS based approach. *Environmental Modelling & Software*, 75, 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.003>
- 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(4), 58–71. (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) <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2015.56051>
- 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*, 10(35), 44–59. (In Persian) https://jargs.hsu.ac.ir/article_161488_152285621e55eed7a247a775f0a16702.pdf?lang=en
- 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. <https://doi.org/10.19184/geosi.v4i2.10192>
- 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.