دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

تحلیل حساسیت راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در محیط فازی در زیر حوضه آبخیز یزد- خضرآباد (شهرستان صدوق)

محمدحسن صادقی روش

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۳۱
صفحه: ۲۰۳ تا ۲۱۴

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: بیابان‌زایی یک مسئله، اقتصادی- اجتماعی پیچیده و حاصل عملکرد و برهم کنش میان عوامل متعددی است که همیشه در محیط‌های غیر قطعی و تحت‌تأثیر شدید قضاوت‌های مبهم و غیر صریح قرار می‌گیرند، بنابراین در ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی، استفاده از سازگان‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی در اغلب اوقات، داده‌های ورودی به این سازگان‌ها نادقیق و متغیر می‌باشند، بنابراین یک قدم مهم اینگونه ارزیابی‌ها، انجام آنالیز حساسیت روی داده‌های خروجی می‌باشد. از این رو این پژوهش با هدف انجام تحلیل حساسیت اولویت راهبردها به صورت موردی در زیرحوضه یزد- خضرآباد طی سال‌های ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به انجام رسید.

مواد و روش‌ها: به منظور دستیابی به این هدف، ابتدا از روش دلفی فازی و با کاربرد اعداد مثلثی، در چارچوب روش تصمیم‌گیری چند معیاره، ماتریس تصمیم‌گیری مقایسه زوجی فازی حاصل و اولویت اولیه راهبردها، برآورد شد و سپس فرآیند آنالیز حساسیت بر روی معیارها و راهبردها در چارچوب مدل تحلیل حساسیت تری‌آنتافیلو[1] انجام شد و به دنبال تعیین حساس‌ترین معیار و راهبرد، درجه ترجیح یا اوزان نهایی راهبردها از روش میانگین موزون هر سطر از ماتریس نرمالیزه اصلاح شده برآورد شد.

یافته‌ها: نتایج حاصله حکایت از توانایی بالای این مدل دارد به طوری که بعد از انجام تحلیل حساسیت، اولویت‌بندی معیارها تغییری نکرد و همچنان معیار منابع انسانی متخصص (C_6) با ضریب حساسیت ۰/۳۶۱۴ به عنوان حساس‌ترین معیار برآورد شد که بعد از نرمال‌سازی با درجه ترجیح ۶۷/۹٪ در اولویت اول قرار گرفت. این نتیجه نشان‌دهنده توجه کارشناسان مدیریت مناطق به اهمیت نیروی متخصص و آموزش دیده در حل مسائل و چالش‌های مطرح در فرایند مقابله با بیابان‌زایی است. درعین حال اولویت‌بندی نهایی راهبردها موید تغییر در اوزان و رتبه‌بندی اولیه راهبردها بود، به صورتی که تنها راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{31}) همچنان همانند نتایج اولیه با درجه ترجیح ۹۲/۹٪ مهمترین راهبرد قلمداد شد و رتبه‌بندی سایر راهبردها دستخوش تغییرات جدی شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتیجه می‌شود که در راستای راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{31}) و با اجرای طرح‌های آبخوانداری، اصلاح روش‌های آبیاری، اصلاح اراضی، کنترل رشد صنایع و کشت‌های آبخواه، می‌توان روند پرسرعت بیابانی شدن را کند و نسبت به احیای اراضی تخریب یافته اقدام کرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی فازی، بیابان‌زایی، عدد فازی مثلثی، مدل تری‌آنتافیلو، مقایسه زوجی

مقدمه

بیابان‌زایی عبارت است از تخریب اراضی در نواحی خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب ناشی از عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی (۴۵). مسائل تصمیم‌گیری مدیریت مناطق بیابانی به‌دلیل وجود معیارها و شاخص‌های متعدد، مسائل پیچیده‌ای هستند و انجام فرایند برنامه‌ریزی، طراحی و اتخاذ تصمیمات کاربردی در شرایط پیچیده و متشکل از اهداف مختلف، منافع متضاد و مشارکت ذینفعان، صورت می‌پذیرد، بنابراین راه‌حل برون رفت از این چالش‌ها اتخاذ رویکرد جامع در مدیریت منابع این مناطق می‌باشد. مدیریت جامع به عنوان یک رویکرد جدید بعد از سال ۲۰۰۰ برای برنامه‌ریزی توسعه و مدیریت منابع طبیعی با تأکید بر ویژگی‌های اجتماعی- اقتصادی منطقه‌ای و به منظور تامین معیشت پایدار و بدون آسیب‌پذیری برای ساکنان این حوضه‌ها مطرح شد (۴). از این رو بررسی مشکلات زیرحوضه‌ها یکی از موارد ضروری جهت ارائه برنامه‌های جامع مربوط به بخش منابع طبیعی است. بعبارت دیگر ارائه برنامه در یک منطقه بایستی بر مبنای بررسی مشکلات آن منطقه در زیرحوضه‌ها باشد (۲۶). همچنین به منظور انتخاب بهینه راهبردهای مقابله با بیابانزایی در این شرایط پیچیده تصمیم‌گیری از روش‌های تجزیه و تحلیل چند معیاره[2] (MCDM) استفاده می‌شود (۱۹). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری هستند که برای تحلیل مسائل تصمیم‌گیری، تولید و ارزیابی راهبردها بر اساس ارزش‌های تصمیم‌گیران، طراحی شده‌اند، هدف اصلی این روش‌ها، کمک به تصمیم گیرنده در انتخاب بهترین گزینه از میان تعدادی گزینه تحت تاثیر معیارهای انتخاب و اولویت‌های گوناگون آنان است (۳۳،۱۲). از طرف دیگر از آنجا که پدیده‌های واقعی همانند بیابان‌زایی، همواره فازی، نادقیق و مبهم هستند و آنچه در ارزیابی این پدیده‌ها مهم به نظر می‌رسد، امتیازدهی صحیح شاخص‌ها به منظور دستیابی به نتایج قابل استناد است (۱۰،۶)، در چنین مواردی به منظور دستیابی به ماتریس ارزشیابی می‌توان از اعداد فازی در قالب روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده کرد.

تئوری مجموعه‌های فازی برای اولین بار توسط زیمرمن (۵۰) برای مسائل برنامه‌ریزی خطی مرسوم اعمال شد و متعاقب این تلاش، برنامه‌ریزی خطی فازی توسعه یافت (۲۳). تحلیل حساسیت یکی از مباحث مهم برنامه‌ریزی خطی است که همواره از بدو پیدایش و ابداع برنامه‌ریزی خطی تاکنون مورد توجه متخصصین تحقیق در عملیات واقع شده است، تحلیل حساسیت عبارتست از تحلیل و بررسی چگونگی تغییرات محتمل پارامترهای یک مدل برنامه‌ریزی خطی و ارزیابی تأثیر آن در جواب بهینه می‌باشد (۳۷،۵). بنابراین هدف از تحلیل حساسیت، شناخت پارامترهای کاملاً حساس

1- Triantaphyllou
2- Multi-Criteria Decision Making

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]

می‌باشد تا تخمین و برآورد آنها با دقت بیشتری انجام شود و جواب بهینه جدید نیز به همین اساس محاسبه گردد (۲۵). از اینرو روش‌های تحلیل حساسیت در قالب فرایند تصمیم‌گیری به انجام رسید که از آنجمله می‌توان به کارهای آلپرت (۱)، هامچر و همکاران (۱۷)، وان فیندرفلت و ادوارد (۴۶)، واتسون و بود (۴۷)، بارون و اشمیت (۷)، فولر (۱۴)، و وندل (۴۸) اشاره کرد. در ادامه همزمان و بعد از مطرح شدن فرایند تحلیلی سلسله مراتبی[1](AHP) توسط ساعتی (۳۲)، اولین‌بار اینسوا (۳۱) با توسعه دیدگاه وان فیندرفلت و ادوارد آنالیز حساسیت در تصمیم‌گیری چند هدفه[2] (MODM) را مطرح کرد، وماسودا (۲۴) آنالیز حساسیت را در فرایند تصمیم‌گیری تحلیلی سلسله مراتبی مورد بررسی قرار داد و همچنین آرماگوست و حسینی (۳) روندی را برای تعیین بحرانی‌ترین معیار برای یک سطح از سلسله مراتب در مسائل تحلیلی سلسله مراتبی ارائه دادند و در نهایت تری‌آنتافیلو و همکاران (۴۴،۴۲) روش تحلیل حساسیت برای تصمیم‌گیری‌های چند هدفه ارائه شده توسط اینسوا را مورد تأیید قرار داده و باتوسعه این روش، روشی مناسب را به منظور تحلیل حساسیت درفرایند تصمیم‌گیری چند معیاره برای سه مدل مجوع وزنی[3] (WSM)، تولید وزنی[4] (WPM) و تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) توسعه دادند و به دنبال آن تحلیل حساسیت برای مسائل برنامه‌ریزی خطی فازی در چارچوب مدل‌های ذکر شده، بعلاوه مدل تاپسیس[5] (TOPSIS) و تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) ارتقا یافته را ارائه کردند (۴۳). که این روند بعداً توسط محققینی همانند، پاموکار و همکاران (۲۷) با کاربرد چهار مدل تاپسیس[6]، کوپراس[7] (COPRAS)، ویگور[8](VIKOR) و الکترا[9] (ElECTRE) در محیط فازی، رشنوادی و روح اللهی (۲۹) با کاربرد مدل تحلیل شبکه فازی[10] (FANP)، عربجزی و همکاران (۱) با تحلیل پوششی داده‌های فازی[11](FDEA) و غیره، دنبال شد. بنابراین تحلیل حساسیت، روشی رایج در حوزه تصمیم‌گیری چند معیاره نیست و این موضوع در مطالعات تصمیم‌گیری همچنان در مراحل آغازین است، علاوه بر این، روش تحلیل حساسیتی که بیشتر استفاده می‌شود، مبتنی بر تعیین اوزان نهایی راهبردها بر مبنای حساس‌ترین معیار و راهبرد است (۹).

از طرفی از آنجا که بیابان‌زایی، یک مشکل تکنولوژیکی ساده نیست بلکه یک مسئله اقتصادی- اجتماعی پیچیده است که حاصل عملکرد و برهم‌کنش میان عوامل متعددی است که همیشه در محیط‌های غیر قطعی و تحت تأثیر شدید قضاوت‌های مبهم و غیرصریح قرار می‌گیرند، همواره، خلأ روشی که بتواند معیارها و راهکارهای مختلف را در نظر بگیرد و از آن میان بر مبنای ساختاری سیستماتیک و دیدگاه گروهی، در محیط فازی، اقدام به برآورد ماتریس ارزشیابی کرده و راه‌حل‌های بهینه و قابل استناد را ارایه دهد، مشهود است (۳۶)، در عین حال به دلیل وجود پارامترهای ورودی نامطمئن و مختلف و به طبع آن وجود مقادیری از بی‌دقتی در نتایج حاصل شده، اعمال فرایند تجزیه و تحلیل حساسیت در انتخاب راهبردها نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی یک نیاز جدی و جدایی‌ناپذیر می‌باشد (۴۰،۲۱). تحلیل حساسیت منابع اصلی عدم قطعیت مرتبط با مدل تصمیم را شناسایی کرده و به مدیران در تنظیم اقدامات مدیریتی که تأثیر عوامل در تجزیه و تحلیل را در نظر می‌گیرند، کمک می‌کند (۲۸). لذا هدف از پژوهش حاضر تحلیل حساسیت راهبردهای مقابله با بیابانزایی در چارچوب فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در سطح زیر حوضه آبخیز است.

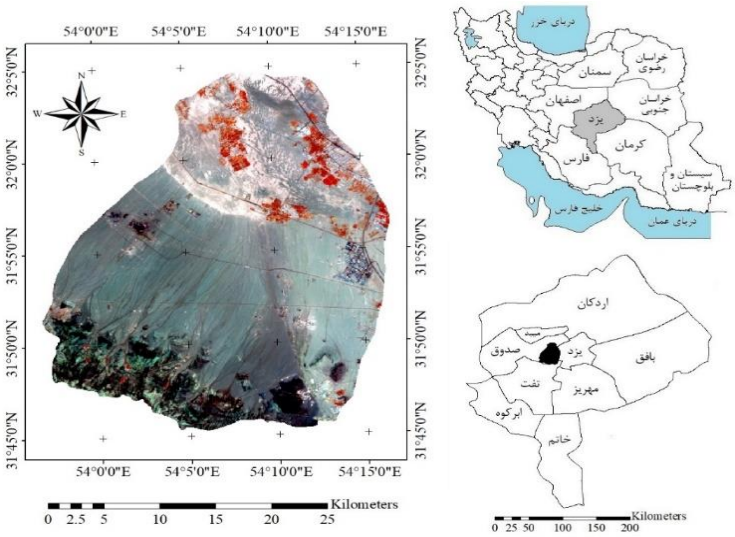
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه یزد- خضرآباد بخشی از حوضه آبخیز بزرگ یزد-اردکان می‌باشد که با وسعتی معادل ۷۸۱۸۰ هکتار در ۱۰ کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی ´۵۵ ،°۵۳ الی ´۲۰ ،°۵۴ طول شرقی و ´۴۵ ،°۳۱ الی ´۱۵ ،°۳۲ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱) ارتفاع متوسط زیرحوضه یزد- خضرآباد ۱۳۹۷ متر و ۸۴/۷۹ درصد منطقه شیبی کمتر از ۱۰ درصد دارد. بنابراین، قسمت اعظم منطقه را اراضی پست با شیب متوسط۹/۴۱ درصد تشکیل می‌دهد. از نظر زمین‌شناسی این منطقه از سازند قدیمی کهر تا رسوبات جوان کواترنر را در برگرفته است (۳۸). منابع خاک منطقه عمدتاً در رده خاک‌های نارس بیابانی یا آنتی‌سول می‌باشد که تحت‌تأثیر فرایند تخریب فیزیکی شکل گرفته و حاوی گچ و نمک می‌باشد و به شدت تحت‌تأثیر فرایند فرسایش آبی و بادی و تخریب قرار دارد (۱۵). از نظر اقلیمی بر مبنای روش دوماتن اصلاح شده اقلیم منطقه در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه‌بندی می‌شود. ۱۲۹۳۰ هکتار از اراضی منطقه را تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای شکل داده که ارگ[12] بزرگ اشکذر با وسعتی معادل ۸۹۲۳ هکتار در شمال قرار گرفته است که نشان‌دهنده وضعیت کاملاً خاص از نظر بیابان‌زایی در منطقه و بیان کننده لزوم پرداختن به راه‌حل‌های مقابله با بیابان‌زایی در این حوضه است (۳۵).

1- Analytical Hierarchy Process 2- Multi-Objective Decision Making 3- Weighted Sum Model
4- Weighted Product Model 5- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
6- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution 7- Complex Proportional Assessment
8- Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje 9- Elimination et Choice Translating Reality
10- Fuzzy Analytical Hierarchy Process 11- Fuzzy Data Envelopment Analysis 12- Erg

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه آبخیز یزد – خضرآباد
Figure 1. Location of the Yazd- Khezrabad sub-catchment

روش تحقیق

همچنان که در مقدمه نیز بیان شد از آنجا که نتایج به دست آمده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری، مقادیری از بی‌دقتی را به همراه دارند، ضروری است تحلیل حساسیت صورت بگیرد (۴۰) تحلیل حساسیت روشی برای تعیین استحکام ارزیابی‌ها با بررسی میزان تأثیرپذیری دست آوردها که در نتیجه تغییرات در روش‌ها، مدل‌ها، ارزش‌های متغیرهای اندازه‌گیری شده یا فرضیات است (۳۹). لذا در این پژوهش، به منظور انجام سهل و ساده تحلیل حساسیت راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در محیط فازی و انجام صحیح‌تر آنالیز حساسیت بر روی معیارها و راهبردها، به ویژه برای مقایسه ارقام فازی مثلثی، از روش تری‌آنتاپیلو (۴۴،۴۳) استفاده شد. به‌طور خلاصه مراحل بکارگیری تکنیک تحلیل حساسیت فازی به روش تری‌آنتافیلو به ترتیب ذیل می‌باشد (شکل ۲).

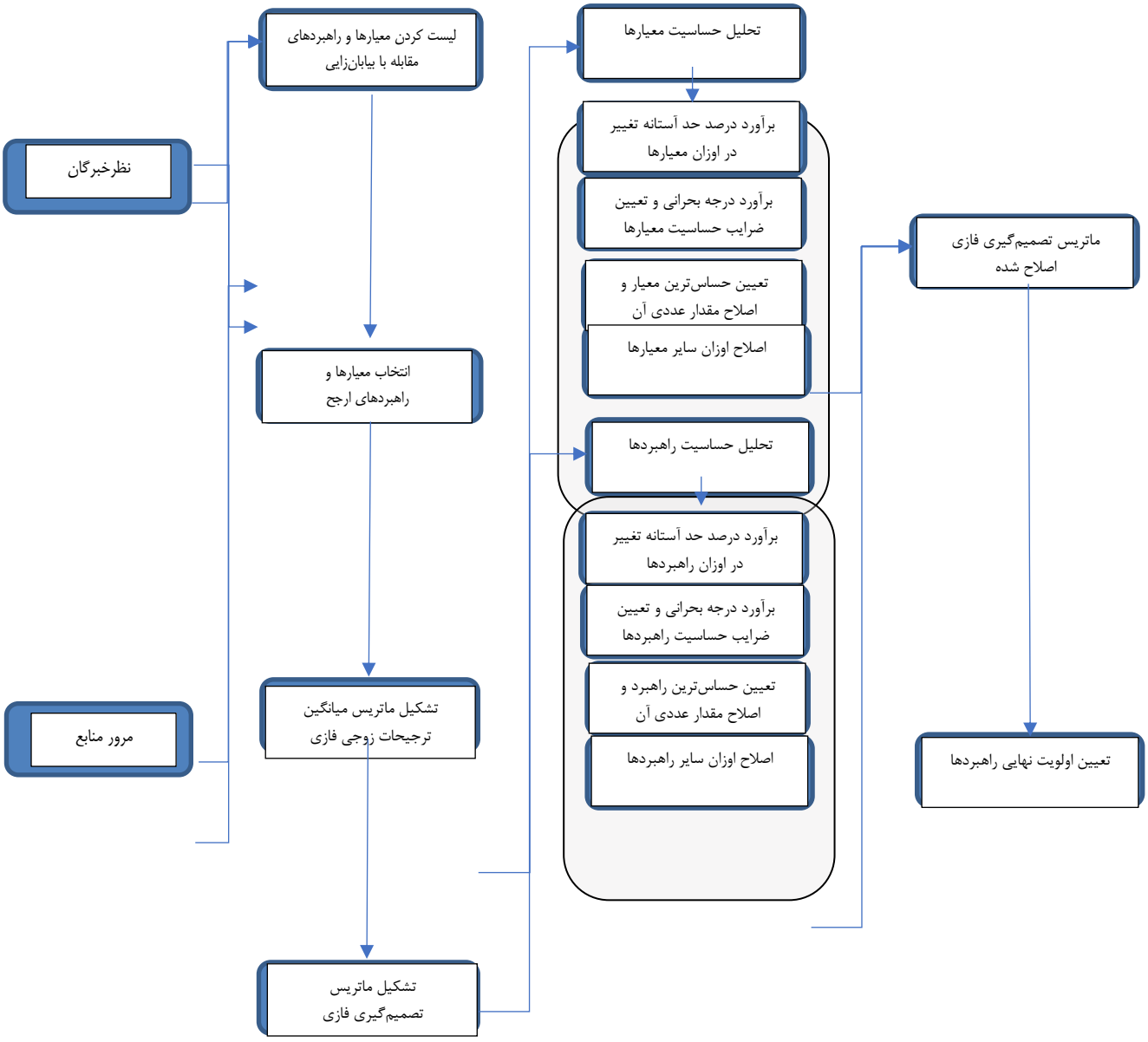
برآورد اولویت اولیه راهبردها در محیط تصمیم‌گیری چند معیاره فازی

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[1] 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. سپس اقدام به نرمالیزه کردن اوزان نابهنجار 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. در چارچوب این ماتریس از روش میانگین موزون، اقدام به برآورد ضریب اولویت راهبردها بر مبنای مجموعه معیارها شد (جدول ۱). بر این مبنا راهبردی که بیشترین ضریب اولویت را داشته باشد به عنوان بهترین راهبرد ارزیابی شد و به همین ترتیب سایر راهبردها اولویت‌بندی شدند.

در این مرحله به منظور تمرکز بر روی هدف مطالعه از تشریح مراحل اولویتبندی راهبردها در محیط تصمیم‌گیری چند معیاره فازی خودداری شد و به تشریح فرایند تحلیل حساسیت راهبردهای اولویت‌بندی شده پرداخته شد، علاقه‌مندان می‌توانند به منظور مطالعه و نحوه برآورد اولویت‌بندی فازی راهبردها به منابع شماره ۳۳ و ۳۶، مراجعه کنند.

1- Synthetic Triangular Fuzzy Number

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]



شکل ۲- نمودار جریانی تحلیل حساسیت فازی به‌منظور ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی
Figure 2. Flow diagram for fuzzy sensitivity analysis of combat desertification strategies

تحلیل حساسیت[1]

پس از تعیین اولویت راهبردها، به منظور انجام فرایند تحلیل حساسیت از روش تری‌آنتافیلو (۴۲،۴۳،۴۴) استفاده شد. در این چارچوب آنالیز حساسیت در دو قسمت جداگانه به انجام رسید که یکی مربوط به آنالیز حساسیت معیارها و دیگری مربوط به آنالیز حساسیت راهبردها بود.

آنالیز حساسیت مربوط به معیارها

نظر به اینکه مقادیرعددی هر معیار تأثیر بسزایی در اولویت‌بندی راهبردها دارد، لذا وزن معیارها نیز در فرایند تحلیل حساسیت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بنابراین در ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری فازی مدنظر قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- ماتریس تصمیم گیری فازی

Table 1. Fuzzy decision-making matrix

A_i^k	Criterion				P_i^k
	C_1	C_2	...	C_N	
	W_{11}	W_{12}	...	W_{1N}	
A^1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1N}	p_1
A^2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2N}	p_2
:	:	:	:	:	:
A^k	a_{M1}	a_{M2}	...	a_{MN}	P_M

1- Sensitivity Analysis

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]

محاسبه مقادیر عددی کمترین تغییر وزنی مرتبط با هر معیار C_K ($\delta_{k,i,j}$): به منظور تعیین وزن معیارها ابتدا کمترین تغییر وزنی در ارتباط با هر معیار(W_k) از رابطه ۱ محاسبه شد به طوریکه این تغییر منجر به جا به جایی الویت A_i, A_j می‌شود.

رابطه (۱) $$\delta_{k,i,j} = \frac{(PJ-PI)}{(ajk-aik)}$$

تشکیل جدول حد آستانه تغییر در وزن معیارها: پس از مقایسه زوجی معیارها بر مبنای رابطه ۱، مقادیر عددی $\delta_{k,i,j}$ با W_k مربوطه مقایسه می‌شود، چنانچه هر یک از مقادیر محاسبه شده از W_k مربوطه کوچکتر یا مساوی آن بود شرط لازم در محاسبه برقرار بوده (رابطه ۲) و در غیر این صورت تغییر در وزن معیارها جهت تغییر در اولویت‌بندی غیرممکن می‌باشد. به عبارت دیگر معیار مورد نظر از ثبات کامل جهت حفظ اولویت‌بندی موجود میان گزینه‌های A_i, A_j برخوردار می‌باشد. بنابراین در خانه مربوطه در جدول $\delta_{k,i,j}$، N/F یعنی عدم امکان‌پذیر بودن اعمال تغییر قرار گرفته و در محاسبات بعدی وارد نمی‌شود.

رابطه (۲) $$\delta_{k,i,j} \le WK$$

محاسبه درصد حد آستانه تغییر در وزن معیارها ($\delta'_{k,i,j}$): درصد حد آستانه تغییر در وزن معیارها ($\delta'_{k,i,j}$) از رابطه ۳ به دست آمد و ماتریس دو بعدی مربوطه شکل گرفت.

رابطه (۳) $$\delta'_{k,i,j} = \frac{\delta_{k,i,j}\times 100}{WK}$$

محاسبه درجه بحرانی بودن معیارها ($D'K$): درجه بحرانی اوزان معیارها $D'K$ از رابطه ۴ برآورد شد که معادل قدر مطلق کمترین مقدار مربوط به $\delta'_{k,i,j}$ در هر ستون از جدول محاسباتی می باشد.

رابطه (۴) برای همه مقادیر

$$D'K = min[|\delta' k,i,j|]$$
$$N \le K \le 1\ ,1 \le i < j \le M$$

محاسبه ضرایب حساسیت معیارها $Sens(C_k)$: ضریب حساسیت هر معیار که معادل معکوس درجه بحرانی آن معیار می باشد از رابطه ۵ محاسبه شد.

رابطه (۵) برای همه مقادیر

$$Sens(C_k) = \frac{1}{D'K} \quad N \ge K \ge 1$$

مقایسه ضرایب حساسیت معیارها و تعیین حساس‌ترین معیار: پس از محاسبه ضریب حساسیت معیارها، این ضرایب با هم مقایسه شدند. قاعدتاً هر ضریب حساسیتی که بیشترین مقدار عددی را کسب نماید به عنوان حساس‌ترین ضریب و معیار مربوطه به آن، به عنوان حساس‌ترین معیار معرفی شد.

اصلاح مقدار عددی حساس‌ترین معیار: در این مرحله با استفاده از رابطه ۶ مقدار عددی جدید برای حساس‌ترین معیار تعیین شد. در این ارتباط حداقل قدر مطلق δ'_{kij} را از جدول مربوطه بدست آمد که معیار مربوط به آن نمایش دهند حساس‌ترین معیار است و سپس عدد حقیقی $\delta_{k,i,j}$ متناظر با آنرا از جدول حد آستانه تغییر در وزن معیارها جهت تغییر در اولویت‌بندی گزینه‌ها در رابطه ۶ قرار داده شد.

رابطه (۶) $$W^* = W - \delta_{kij}$$

W^*= مقدار عددی جدید مربوط به معیار حساس

W= مقدار عددی مربوط به معیار حساس در شرایط اولیه.

نرمال‌سازی مقادیر: پس از تعیین مقدار جدید برای حساس‌ترین معیار و با توجه به اینکه تغییر ایجاد شده در حساس‌ترین معیار موجب ضرورت اصلاح سایر معیارها خواهد بود، لذا تمام معیارها با استفاده از رابطه (۷) مجدداً براساس تغییری که در حساس‌ترین معیار به وجود آمده اصلاح گردید.

رابطه (۷) $$rij = \frac{aij}{|\sum_{i=1}^{m} aij|}$$

آنالیز حساسیت مربوط به راهبردها:

دراین مرحله نیز همانند مرحله قبل، مقدمتاً ماتریس تصمیم‌گیری فازی مد نظر قرار گرفت (جدول ۱) و مراحل ذیل به منظور تحلیل حساسیت راهبردها به انجام رسید.

- **برآورد مقادیر آستانه وزنی a_{ij} (i, j, k):** آستانه وزنی کمترین تغییری است که برای هر یک از اوزان راهبردها رخ می‌دهد و سبب تغییر اولویت‌بندی آنها در ارتباط با هر یک از معیارها می شود که از رابطه ۸ بدست آمد.

رابطه (۸) $$i,j,k = \frac{(p_i - p_k)}{[p_i - p_k + w_j(a_{kj} - a_{ij} + 1)]}$$

- **برآورد درصد مقادیر آستانه وزنی a_{ij} ('i, j, k):** سپس این حداقل از رابطه ۹ به صورت درصد بیان شد.

رابطه (۹) برای همه مقادیر

$$`i,j,k = \frac{i,j,k\times 100}{a_{ij}}$$
$$1 \le i,k \le M, AND\ 1 \le i \le N$$

- **مقایسه درصد مقادیر آستانه وزنی a_{ij} ('i, j, k) با عدد ۱۰۰ و تشکیل ماتریس مربوطه:** مطابق رابطه ۱۰ چنانچه هر یک از مقادیر درصد آستانه وزنی محاسبه شده از ۱۰۰ کوچکتر یا مساوی آن باشد، شرط لازم در محاسبه برقرار بوده و در غیر این صورت در خانه جدول علامت N/F قرار گرفت و مقدار محاسبه شده 'i, j, k در محاسبات بعدی وارد نشد.

رابطه (۱۰) $$'i,j,k \le 100$$

- **برآورد درجه بحرانی راهبردها ('ij)**: درجه بحرانی راهبردها معادل قدر مطلق کمترین مقدار مربوط به i, j, k در هر ستون از جدول محاسباتی می‌باشد که از رابطه ۱۱ بدست آمد.

رابطه (۱۱) $$'ij = min\{|'i,j,k|\} \qquad k \ne i$$
$$M \ge i \ge 1, and\ N \ge j \ge 1$$

- **برآورد بحرانی‌ترین راهبرد ('LK)**: بحرانی‌ترین راهبرد معادل قدر مطلق کمترین مقدار درجه بحرانی راهبردها می‌باشد که از رابطه ۱۲ بدست آمد.

رابطه (۱۲) برای بعضی مقادیر

$$'Lk = min\begin{Bmatrix} min\{'ij\} \\ N \ge i \ge 1 \end{Bmatrix}$$
$$N \ge k \ge 1, \quad M \ge i \ge 1$$

- **برآورد ضرائب حساسیت راهبردها ($Sens(a_{ij})$:** ضرائب حساسیت راهبردها معادل معکوس بحرانی‌ترین گزینه می‌باشد که از رابطه ۱۳ برآورد شد.

رابطه (۱۳) برای هر مقدار $$sens(a_{ij}) = \frac{1}{'ij}$$
$$M \ge i \ge 1, and\ \ N \ge J \ge 1$$

- **مقایسه ضرایب حساسیت راهبردها و تعیین حساس‌ترین راهبرد:** پس از محاسبه ضریب حساسیت راهبردهاا، این ضرایب با هم مقایسه شدند. بنابراین هر ضریب

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]

حساسیتی که بیشترین مقدار عددی را کسب نماید به‌عنوان حساس‌ترین معیار معرفی شد.

- **اصلاح مقدار عددی حساس‌ترین راهبرد:** در نهایت با مشخص شدن حساس‌ترین راهبرد با استفاده از رابطه ۱۴ مقدار جدیدی برای حساس‌ترین راهبرد تعیین شد.

رابطه (۱۴) $a_{ij}^{*}=a_{ij}- i, j, k$

در این رابطه: a_{ij}^{*}= مقدار عددی مربوط به گزینهٔ حساس a_{ij}= مقدار عددی گزینه حساس در شرایط اولیه

طبق تعریف مقدار i, j, k از رابطه (۱۵) بدست آمد.

رابطه (۱۵) $i,j,k=\frac{i,j,k\times a_{ij}}{100}$

- **نرمال‌سازی مقادیر:** پس از تعیین مقدار جدید برای حساس‌ترین راهبرد، و نیز با توجه به اینکه تغییر ایجاد شده در حساس‌ترین راهبرد موجب ضرورت اصلاح سایر راهبردها خواهد بود، تمامی راهبردهای واقع در ستونی که حساس‌ترین راهبرد در آنجا قرار دارد، مطابق رابطه ۷ اصلاح شد.

-تعیین اولویت نهایی راهبردها:

به دنبال تعیین اوزان جدید معیارها و راهبردها بر مبنای حساس‌ترین معیار و راهبرد و به منظور برآورد اولویت اصلاح شده یا نهایی راهبردها برای دستیابی به هدف، ماتریس تصمیم‌گیری فازی (جدول ۱) را مدنظر قرار داده و مقادیر اصلاح شده معیارها و راهبردها را جایگزین مقادیر اولیه کرده و سپس با محاسبه میانگین موزون هر سطر از ماتریس نرمالیزه اصلاح شده، درجه ترجیح یا اوزان نهایی راهبردها تعیین شدند.

نتایج و بحث

تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی و برآورد اولویت اولیه راهبردها

به‌منظور انجام فرایند تحلیل حساسیت فازی بر روی راهبردهای مقابله با بیابانزایی در منطقه مطالعاتی از روش تری‌آنتاافیلو استفاده شد. در ابتدا مطابق ادبیات تحقیق و در چارچوب فرایند تصمیم‌گیری اقدام به تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی از نظر گروه شد. سپس به منظور انتخاب نهایی راهبردها و درجه‌بندی اولویت آنها، فرایند تلفیق بر روی اوزان این ماتریس از روش میانگین موزون به انجام رسید. و اولویت نهایی راهبردها به دست آمد (جدول ۲). بر مبنای نتایج حاصل شده از فرایند تحقیق راهبرد "تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی" ($A_{۳۱}$) با ضریب اولویت ۰/۹۳ مهم‌ترین راهبرد در کنترل و کاهش اثرات بیابان‌زایی و احیاء اراضی تخریب یافته بر مبنای مجموعه معیارها در منطقه مطالعاتی ارزیابی شد (۳۳،۳۶).

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری فازی راهبردهای بهینه بیابان‌زدایی از نظرگروه

Table 2. Fuzzy decision-making matrix for the optimum alternatives of combat-desertification according to the group

اهمیت معیارها(C) ◀ / الویت راهبردها($A_{۳۱}$) ▼	$C_{۲}^{۶}$	$C_{۵}^{۷}$	$C_{۶}^{۸}$	$C_{۷}^{۹}$	$C_{۱۶}^{۱۰}$	$\overline{Pi}$
	۰/۳۲۶	-۰/۰۰۲۹۶	۰/۶۸۶	-۰/۰۰۴۸	-۰/۰۰۲۹۶	
$A_{۱۸}^{۱}$	۰/۱۱۵	-۰/۰۳۵	-۰/۲۹۹	-۰/۱۱	۰/۱۸۶	۰/۰۱۸
$A_{۲۰}^{۲}$	۰/۰۰۹۸	۰/۷۶۸	۰/۰۷۵	-۰/۱۷۲	۰/۱۷۷	۰/۰۵۲
$A_{۳۳}^{۳}$	-۰/۰۲۷	-۰/۰۳۵	-۰/۰۲۹۹	۰/۰۵۱	۰/۱۸۶	۰/۰۳۰
$A_{۳۱}^{۴}$	۰/۸۱۳	۰/۲۷۹	۰/۹۷۲	۰/۲۰۹	۰/۰۷۶	۰/۹۳
$A_{۳۳}^{۵}$	۰/۱۰۸	۰/۰۲۳	۰/۰۱۲۵	۰/۱۰۲	۰/۳۷۳	۰/۰۳۸

$A_{۱۸}^{۱}$ – جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی
$A_{۲۰}^{۲}$ – کنترل چرای دام (تعادل دام و مرتع، تناسب نوع دام، جلوگیری از چرای خاج از فصل و غیره)
$A_{۳۳}^{۳}$ – توسعه و احیای پوشش گیاهی
$A_{۳۱}^{۴}$ – تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی
$A_{۳۳}^{۵}$ – تغییردر الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آبخواه
$C_{۲}^{۶}$– زمان
$C_{۵}^{۷}$ – ابزارهای علمی و تکنولوژی دردسترس
$C_{۶}^{۸}$ – منابع انسانی متخصص
$C_{۷}^{۹}$ – تناسب و سازگاری با محیطزیست (پایداری)
$C_{۱۶}^{۱۰}$ – تخریب منابع وخسارات محیطی و انسانی

آنالیز حساسیت معیارها

به منظور تجزیه و تحلیل حساسیت معیارها در ابتدا، ماتریس تصمیم‌گیری (جدول ۲) مدنظر قرار گرفت. سپس با تشکیل ماتریس دو بعدی $\delta'_{k,i,j}$ (جدول ۳)، مقادیر عددی ماتریس مذکور، با در نظر گرفتن اعداد ماتریس تصمیم‌گیری و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]

جدول ۳-کمترین درصد تغییر در وزن معیارها جهت معکوس سازی اولویت‌بندی راهبردها

Table 3. The lowest percentage change in the criterion weights in order to reverse the alternatives priority

گزینه (راهبرد) Alternative	معیار (Criterion)				
	$C_{۲}$	$C_{۵}$	$C_{۶}$	$C_{۷}$	$C_{۱۶}$
$A_{۱۸}-A_{۲۰}$	−۹۹/۱۳۹۲	N/F	−۲۲/۱۲۶۲	۱۱۴۲۴/۷۳	۱۲۷۶۲۷/۶
$A_{۱۸}-A_{۲۳}$	−۲۵/۹۲۲۴	N/F	−۵/۳۱۸۶	N/F	N/F
$A_{۱۸}-A_{۳۱}$	N/F	N/F	N/F	N/F	۲۸۰۰۹۸/۳
$A_{۱۸}-A_{۳۳}$	−۸۷۶/۴۲۴	N/F	−۱۰/۱۷۶۱	N/F	N/F
$A_{۲۰}-A_{۲۳}$	N/F	N/F	۴/۱۱۲۱	۲۰۵۵/۳۰۶	۸۲۵۸۲/۵۸
$A_{۲۰}-A_{۳۱}$	N/F	۶۰۶۵۸/۸۲	N/F	N/F	۲۹۳۶۸۴/۸
$A_{۲۰}-A_{۳۳}$	−۴۳/۷۳۲	N/F	**۲/۷۶۷۲**	۱۰۶۴/۴۷۷	۲۴۱۳/۱۲۷
$A_{۲۳}-A_{۳۱}$	N/F	N/F	N/F	N/F	۲۷۶۴۱۲/۸
$A_{۲۳}-A_{۳۳}$	۱۸/۱۷۷۷	N/F	۲۷/۵۰۴۳	N/F	N/F
$A_{۳۱}-A_{۳۳}$	N/F	N/F	N/F	N/F	۱۰۱۴۶۵/۱

سپس اقدام به برآورد کمترین مقدار قدر مطلق موجود در هر ستون مربوط به هر معیار از رابطه (۴) شد که این اعداد نمایانگر درجه بحرانی بودن معیارها (D'_k) می‌باشند.

جدول ۴- درجه بحرانی بودن معیارها

Table 4. The critical degrees of criterion

علائم	$D'_{۲}$	$D'_{۵}$	$D'_{۶}$	$D'_{۷}$	$D'_{۱۶}$
درجه بحرانی بودن معیار (D'_k)	۱۸/۱۷۷۷	۶۰۶۵۸/۸۲	۲/۷۶۷۲	۱۰۶۴/۴۷۷	۲۰۴۱۳/۱۳

در نهایت به منظور محاسبه ضرایب حساسیت معیارها و تعیین حساس‌ترین معیار، عکس درجه بحرانی آن معیار، مطابق رابطه (۵) در نظر گرفته شد، از آنجا که حساس‌ترین معیار بزرگترین درجه حساسیت را به خود اختصاص می‌دهد لذا معیار" منابع انسانی متخصص" ($C_{۶}$) با ضریب حساسیت ۰/۳۶۱۴، به‌عنوان حساس‌ترین معیار، در نظر گرفته شد (جدول ۵)

جدول ۵- ضرایب حساسیت معیارها

Table 5. Sensitivity coefficient of criterion

علائم	$Sens(C_2)$	$Sens(C_5)$	$Sens(C_6)$	$Sens(C_7)$	$Sens(C_{16})$
ضریب حساسیت معیار k $Sens(C_k)$	۰/۰۵۵۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۶۵	۰/۳۶۱۳۷۵	۰/۰۰۰۹۳۹	۰/۰۰۰۰۴۹

با مشخص شدن ضرایب حساسیت معیارها و حساس‌ترین معیار، مطابق رابطه ۱۶، مقدار عددی جدید معادل ۰/۶۶۷۰برای حساس‌ترین معیار بدست آمد.

$$W^{*}_{C6}= ۰/۶۸۶ - (۰/۰۱۸۹۸) = ۰/۶۶۷۰ \qquad (۱۶)$$

با توجه به این مطلب که تغییر ایجاد شده در وزن حساس‌ترین معیار، لزوم اصلاح سایر وزن‌های معیارها را به همراه خواهد داشت، اقدام به نرمال‌سازی وزن معیارها از رابطه (۷) شد و نتایج اولویت‌بندی معیارها بر اساس وزن عددی بدست آمده به عنوان اولویت نهایی تلقی شد (جدول ۶). نتایج حاصله از تحلیل حساسیت فازی بر روی معیارها (جدول ۶) نشان داد که هر چند مقادیر عددی وزن معیارها در مقایسه با اوزان اولیه اندکی تغییر یافت ولی همچنان اولویت‌بندی اولیه معیارها ثابت ماند و معیار منابع انسانی متخصص ($C_{۶}$) با ضریب حساسیت ۰/۳۶۱۴ به عنوان حساس‌ترین معیار در اولویت اول (با درجه ترجیح ۶۷/۹٪) قرار گرفت که نشان از اهمیت نیروی متخصص و آموزش دیده در مسائل و چالش‌های مطرح در فرایند مقابله با بیابان‌زایی است.

جدول ۶- نرمال‌سازی وزن معیارها

Table 6. Normalization of criterion weights

معیار	وزن اولیه	رتبه اولیه	اعمال وزن جدید	وزن جدید (نرمال شده)	رتبه جدید
$C_{۲}$	۰/۳۲۶	۲	۰/۳۲۶	۰/۳۳۱۹	۲
$C_{۵}$	−۰/۰۰۲۹۶	۳	−۰/۰۰۲۹۶	−۰/۰۰۳۰۱۳	۳
$C_{۶}^{*}$	**۰/۶۸۶**	**۱**	**۰/۶۶۷۰**	**۰/۶۷۹۰۳۸**	**۱**
$C_{۷}$	−۰/۰۰۴۸	۴	−۰/۰۰۴۸	−۰/۰۰۴۸۸۶	۴
$C_{۱۶}$	−۰/۰۰۲۹۶	۳	−۰/۰۰۲۹۶	−۰/۰۰۳۰۱۳۳	۳
	$\sum$ = ۱		$\sum$ =.۰/۹۸۲۲۹۷	$\sum$ = ۱	

*: حساس‌ترین معیار

آنالیز حساسیت راهبردها

به‌منظور بررسی حساسیت راهبردهای مطرح شده جهت بیابان‌زدایی، همانند آنالیز حساسیت مربوط به معیارها، ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری (جدول ۹) مد نظر قرار گرفت، سپس با استفاده از رابطه ۹ ماتریس i,j,k حاصل شد (جدول ۷).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]

جدول ۷- حداقل درصد تغییر در ارزش عملکرد هر راهبرد (a_{ij}) در ارتباط با هر معیار (C_j) جهت تغییر الویت‌بندی راهبردها
Table 7. The lowest percentage change in action value of each alternative (aij) in accordance with each criterion (Cj) for ranking change of the alternative

راهبرد Alternative (A_i)	معیار (Criterion)					راهبرد Alternative (A_k)
	$C_۲$	$C_۵$	$C_۶$	$C_۷$	$C_{۱۶}$	
$A_{۱۸}$	N/F	−۲۸۴۱/۸۹	N/F	−۹۰۴/۹۹۸	N/F	$A_{۲۰}$
$A_{۱۸}$	N/F	−۲۸۴۸/۶۹	N/F	−۹۰۴/۰۲۵	N/F	$A_{۲۳}$
$A_{۱۸}$	N/F	−۲۸۴۶/۰۳	N/F	−۹۰۳/۳۳۵	N/F	$A_{۳۱}$
$A_{۱۸}$	N/F	−۲۸۴۸/۲	N/F	−۹۰۳/۸۰۲	N/F	$A_{۳۳}$
$A_{۲۰}$	N/F	N/F	N/F	−۵۸۷/۴۳۲	N/F	$A_{۱۸}$
$A_{۲۰}$	N/F	N/F	N/F	−۵۷۷/۹۸۲	N/F	$A_{۲۳}$
$A_{۲۰}$	N/F	N/F	N/F	−۵۷۷/۵۴۱	N/F	$A_{۳۱}$
$A_{۲۰}$	N/F	N/F	N/F	−۵۷۷/۸۴۰	N/F	$A_{۳۳}$
$A_{۲۳}$	−۵۰۸۲/۵۶	−۲۸۴۸/۶۹	−۶۳۹۳/۴	N/F	N/F	$A_{۱۸}$
$A_{۲۳}$	−۴۹۵۵/۵۴	−۲۸۴۱/۸۹	−۵۸۷۹/۴۷	N/F	N/F	$A_{۲۰}$
$A_{۲۳}$	−۵۹۲۵/۳۳	−۲۸۴۶/۰۳	−۷۹۷۳/۴۷	N/F	N/F	$A_{۳۱}$
$A_{۲۳}$	−۵۰۷۴/۱۱	−۲۸۴۸/۲	−۵۷۳۶/۰۷	N/F	N/F	$A_{۳۳}$
$A_{۳۱}$	N/F	N/F	N/F	N/F	N/F	$A_{۱۸}$
$A_{۳۱}$	N/F	N/F	N/F	N/F	N/F	$A_{۲۰}$
$A_{۳۱}$	N/F	N/F	N/F	N/F	N/F	$A_{۲۳}$
$A_{۳۱}$	N/F	N/F	N/F	N/F	N/F	$A_{۳۳}$
$A_{۳۳}$	N/F	N/F	N/F	N/F	N/F	$A_{۱۸}$
$A_{۳۳}$	N/F	N/F	N/F	N/F	N/F	$A_{۲۰}$
$A_{۳۳}$	N/F	N/F	N/F	N/F	N/F	$A_{۲۳}$
$A_{۳۳}$	N/F	N/F	N/F	N/F	N/F	$A_{۳۱}$

در ادامه درجه بحرانی بودن راهبردها در ارتباط با هر معیار از رابطه (۱۱) بدست آمد و ماتریس دو بعدی تحت عنوان "درجه بحرانی بودن راهبردها (ij)" شکل گرفت (جدول ۸). سپس مطابق جدول ۸ و بر مبنای رابطه (۱۲)، راهبرد کنترل چرای دام ($A_{۲۰}$) بحرانی‌ترین راهبرد و راهبرد جلوگیری ازتبدیل و تغییر نامناسب کاربری ($A_{۱۸}$) در درجه دوم قرار گرفت.

جدول ۸- درجه بحرانی بودن راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی (ij)
Table 8. The critical degrees of de-desertification alternatives (ij)

راهبرد (Alternative)	معیار (Criterion) – C_j				
	$C_۲$	$C_۵$	$C_۶$	$C_۷$	$C_{۱۶}$
$A_{۱۸}$	–	$۲۸۴۱/۸۹_{(A20)}$	–	$۹۰۳/۳۳۵_{(A31)}$	–
$A_{۲۰}$	–	–	–	**$۵۷۷/۵۴۱_{(A31)}$**	–
$A_{۲۳}$	$۴۹۵۵/۵۴_{(A20)}$	$۲۸۴۱/۸۹_{(A20)}$	$۵۷۳۶/۰۷_{(A33)}$	–	–
$A_{۳۱}$	–	–	–	–	–
$A_{۳۳}$	–	–	–	–	–

حال به‌منظور برآورد ضریب حساسیت بحرانی‌ترین راهبرد، ضریب حساسیت هر راهبردها از رابطه (۱۳) بدست آمد (جدول ۹) و با توجه به ماتریس مذکور، راهبرد کنترل چرای دام ($A_{۲۰}$) با ضریب حساسیت (۰/۰۰۱۷۳۱)، حساس‌ترین راهبرد در ارتباط با معیار $C_۷$ برآورد شد.

جدول ۹- ضرایب حساسیت راهبردها
Table 9. Sensitivity coefficients of desertification alternatives

راهبرد (Alternative)	معیار (Criterion) – C_j				
	$C_۲$	$C_۵$	$C_۶$	$C_۷$	$C_{۱۶}$
$A_{۱۸}$	۰	$۰/۰۰۰۳۵۲_{(A20)}$	۰	$۰/۰۰۱۱۰۷_{(A31)}$	۰
$A_{۲۰}$	۰	۰	۰	**$۰/۰۰۱۷۳۱_{(A31)}$**	۰
$A_{۲۳}$	$۰/۰۰۰۲۰۲_{(A20)}$	$۰/۰۰۰۳۵۲_{(A20)}$	$۰/۰۰۰۱۷۴_{(A33)}$	۰	۰
$A_{۳۱}$	۰	۰	۰	۰	۰
$A_{۳۳}$	۰	۰	۰	۰	۰

با مشخص شدن ضرایب حساسیت راهبردها و حساس‌ترین راهبرد، با استفاده از رابطه (۱۴)، مقدارعددی جدید معادل ۱/۱۶۵۴- برای حساس‌ترین راهبرد برآورد شد. (رابطه ۱۷)

$a_{ij}^{*} = -۰/۱۷۲ - ۰/۹۹۳۴ = -۱/۱۶۵۴$ (رابطه ۱۷)

در این مرحله نیز با توجه به این موضوع که تغییر ایجاد شده در وزن حساس‌ترین راهبرد نسبت به معیار مربوطه لزوم اصلاح سایر وزن‌های راهبردهای مربوط به آن معیار را به همراه خواهد داشت، اقدام به نرمال‌سازی وزن راهبردها شد (جدول ۱۰).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]

جدول ۱۰- نرمال‌سازی وزن راهبردها نسبت به معیار $C_{۷}$

Table 10. Normalization of alternatives weights in accordance with the C7 criteria

معیار $C_{۷}$	وزن اولیه	رتبه اولیه	اعمال وزن جدید	وزن جدید(نرمال شده)	رتبه جدید
$A_{۱۸}$	-۰/۱۱	۴	-۰/۱۱	۰/۱۲۰۴	۲
$A_{۲۰}$*	**-۰/۱۷۲**	**۵**	**-۱/۱۶۵٤**	**۱/۲۷۵۹**	**۱**
$A_{۲۳}$	۰/۰۵۱	۳	۰/۰۵۱	-۰/۰۵۵۸	۳
$A_{۳۱}$	۰/۲۰۹	۱	۰/۲۰۹	-۰/۲۲۸۸	۵
$A_{۳۳}$	۰/۱۰۲	۲	۰/۱۰۲	-۰/۱۱۱۷	۴
	$\sum$ = ۰/۰۸		$\sum$ = -۰/۹۱۳۴	۱	

*: حساس‌ترین راهبرد

نتایج آنالیز حساسیت فازی بر روی اوزان راهبردها (جدول ۱۰) بیانگر تغییر قابل توجه‌ای در اولویت‌بندی اولیه است، به این صورت که راهبرد کنترل چرای دام ($A_{۲۰}$) با ضریب حساسیت ۰/۰۰۱۷، حساس‌ترین راهبرد در ارتباط با معیار تناسب و سازگاری با محیط زیست ($C_{۷}$)، از رتبه ۵ به رتبه ۱ ارتقاء پیدا کرد و به این ترتیب اولویت سایر راهبردها نیز دچار تغییر شد. که نشان از اهمیت این عامل در ایجاد شرایط بیابانی و کنترل آن و از دیدگاه خبرگان راهبرد اصلی در فرایند مقابله با بیابان‌زایی و ایجاد پایداری زیستی در ارتباط با معیار سازگاری با محیط زیست است.

تعیین اولویت نهایی راهبردها

به‌دنبال برآورد اوزان جدید معیارها و راهبردها بر مبنای حساس‌ترین معیار و راهبرد و به‌منظور محاسبه اولویت اصلاح شده یا نهایی راهبردها برای دستیابی به هدف ارائه راهبردهای مناسب جهت مقابله با بیابان‌زایی، اقدام به تشکیل ماتریس دو بعدی تحت عنوان"ماتریس تصمیم‌گیری اصلاح شده" شد (جدول ۱۱) و معیارهای اصلاح شده حاصل از عملیات نرمال‌سازی با توجه به حساس‌ترین معیار ($C_{۶}$) در ردیف افقی ماتریس و راهبردهای اصلاح شده حاصل از عملیات نرمال‌سازی با در نظر گرفتن حساس‌ترین راهبرد ($A_{۲۰}$) نسبت به معیار مربوطه ($C_{۷}$) در ردیف عمودی قرار گرفت و سپس میانگین موزون هر سطر از ماتریس نرمالیزه اصلاح شده فازی محاسبه و درجه ترجیح یا وزن نهایی راهبردها را بدست آمد.

جدول ۱۱- ماتریس تصمیم‌گیری اصلاح شده

Table 11. Corrected decision-making matrix

اهمیت معیارها(C) ◀ / الویت راهبردها(A) ▼	$C_{۲}$	$C_{۵}$	$C_{۶}$	$C_{۷}$	$C_{۱۶}$	$\overline{Pi}$
	۰/۳۳۱۹	**-۰/۰۰۳۰۱۳**	**۰/٦۷۹۰۳۸**	**-۰/۰۰٤۸۸٦**	**-۰/۰۰۳۰۱۳۳**	
$A_{۱۸}$	۰/۱۱۵	-۰/۰۳۵	-۰/۲۹۹	**۰/۱۲۰٤**	۰/۱۸۶	**۰/۲٤۰۲**
$A_{۲۰}$*	۰/۷۶۸	۰/۰۰۹۸	۰/۰۷۵	**۱/۲۷۵۹**	۰/۱۷۷	**۰/۰٤۵۱**
$A_{۲۳}$	-۰/۰۲۷	-۰/۰۳۵	-۰/۰۲۹۹	**-۰/۰۵۵۸**	۰/۱۸۶	**-۰/۰۲۹۵**
$A_{۳۱}$	۰/۸۱۳	۰/۲۷۹	۰/۹۷۲	**-۰/۲۲۸۸**	۰/۰۷۶	**۰/۹۲۹۹**
$A_{۳۳}$	۰/۱۰۸	۰/۰۲۳	۰/۰۱۲۵	**-۰/۱۱۱۷**	۰/۳۷۳	**۰/۰٤۳۷**

در نهایت نتایج نهایی حاصل از فرایند تحلیل حساسیت (جدول ۱۱) موید تغییر در اوزان و رتبه‌بندی اولیه راهبردها می‌باشد، به صورتی که تنها راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی ($A_{۳۱}$) همچنان همانند نتایج اولیه با درجه ترجیح ۹۲٪/۹، مهمترین راهبرد قلمداد می‌شود و رتبه‌بندی سایر راهبردها دستخوش تغییرات جدی شده است. کاهش سطح و شوری آب‌های زیرزمینی که حاصل برداشت بیش از حد از منابع آبی می‌باشد مانع بسیار مهمی در قابلیت توسعه مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود و در برگیرنده مجموعه پیچیده و درهم تنیده از تأثیرات منفی نظیر خشکیدگی پوشش‌گیاهی، پدیده فرسایش بادی و ریزگردها، شور شدن خاک، نشست زمین و غیره است که بر ابعاد مختلف فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی هر منطقه و تشدید پدیده بیابانزایی و تخریب محیط‌زیست تأثیر مستقیم دارد (۱۶). لذا نتیجه می‌شود که با اجرای طرح‌های مدیریت آب و آبخوانداری، اصلاح روش‌های آبیاری، اصلاح اراضی، کنترل رشد صنایع و کشت‌های آبخواه روند پر سرعت بیابانی شدن را کند و نسبت به احیای اراضی تخریب‌یافته اقدام کرد.

در این پژوهش از روش تری‌آنتافیلو به‌منظور انجام آنالیز حساسیت راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در محیط فازی و در حوزه مسائل تحلیلی سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج نشان داد که روش تری‌آنتافیلو را می‌توان به‌عنوان ابزاری برای بررسی سیستماتیک آنالیز حساسیت و تحلیل تغییرات راهبردها دانست. در عین حال همانند نتایج حاصل از پژوهش های ماسودا (۲۴)، اینسوا (۳۱) و آرماکوست و حسینی (۳) در چارچوب روش‌های سلسله مراتبی، این روش با معرفی معیارهای بحرانی و ارزیابی مجدد آنالیز اوزان، قادر است معیارهای کیفی را به صورت بهینه کمی کند و فرایندهای تصمیم‌گیری حاصل از این معیارها را بهبود بخشد. این در حالی است که تنها معدودی از روش‌ها به مانند به روش راینجست (۳۰) قادر به شناسایی معیارهای حیاتی یعنی معیارهایی که بیشترین تأثیر را بر رتبه‌بندی راهبردها دارند، هستند. همچنین نتایج به دست آمده این پژوهش، مطابق نتایج حاصل از پژوهش‌های چن و همکاران (۸)، بیانگر این واقعیت بود که این روش قادر است چگونگی اثرگذاری تغییرات احتمالی و نحوه پاسخ‌دهی به آن‌ها را پیش‌بینی و به تعمیق بینش مدیران کمک کند و به منظور سهولت در دستیابی به تصمیم‌گیری بهینه در ارزیابی راهبردها و در

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]

محیط‌های ناپایدار و به شدت متغییر، اقدام به شناسایی شرایط کند در حالی که اولویت‌بندی فعلی راهبردها ثابت می‌ماند. به طور کلی اجرای روش ذکر شده تصمیم‌گیران را قادر می‌سازد روند جامعی را برای تحلیل حساسیت راهبردها در فرایند تصمیم‌گیری لحاظ کنند.

لازم به ذکر است که نرم‌افزار Expert Choice که در سال ۱۹۹۰ به منظور محاسبه آنالیز تصمیم‌گیری ارائه گردید نیز اگر چه قابلیت انجام محاسبات تحلیل حساسیت را داراست ولی کاربر صرفاً می‌تواند با تغییر وزن معیارها، تغییرات اولویت‌بندی گزینه‌ها را مشاهده نماید یا به عبارت دیگر نرم‌افزار مذکور توانایی برآورد عددی حساسیت معیارها و راهبردها را ندارد و صرفا نمایشی گرافیکی از تغییرات اولویت‌بندی گزینه‌ها را ارائه می‌دهد این درحالی است که نرم‌افزار فوق قادر به تعیین حساس‌ترین معیار و راهبرد نخواهد بود. علاوه بر اینکه هیچ روشی را برای آنالیز و بررسی اعمال تغییرات در مقدار عملکرد راهبردها ارائه نمی‌کند (۴۰).

در نهایت پیشنهاد می‌شود طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی بر روی این راهبردها تأکید کنند تا از هدر رفت سرمایه‌های محدود جلوگیری و بازدهی طرح‌های کنترل، احیاء و بازسازی بالا رود.

نتایج این پژوهش به مدیران مناطق بیابانی این امکان را می‌دهد که امکانات و سرمایه‌های محدود اختصاص یافته به منظور کنترل روند بیابان‌زایی را به شیوه‌های صحیح و کارآمد به کار بندند تا ضمن دستیابی به نتایج بهتر، از هدر رفتن سرمایه‌های ملی جلوگیری کنند.

منابع

1. Alpert, M.I. 1971. Identification of determinant attributes: A comparison of methods. Journal of Marketing Research, 8(5): 184-191.
2. Arabjazi, N., M. Rostamy Malkhalifeh, F. Hosseinzadeh Lotfi and M. Behzadi. 2021. Stochastic sensitivity analysis in data envelopment analysis. Fuzzy Optimization and Modelling Journal, 2(4): 52-64.
3. Armacost, R.L and J.C. Hosseini. 1994. Identification of determinant attributes using the analytic hierarchy process. Journal of the Academy of Marketing Science, 22(4): 383- 392.
4. Athari, Z., G. Pezeshki Rad, E. Abbasi and A. Alibaygi. 2017. Technical report, challenges facing watershed management in Iran by using Delphi technique. Journal of Watershed Management Research, 8(15): 268-279 (In Persian).
5. Azar, A. 2015. operations research (implications and applications of linear planning). Samt press, Tehran, Iran, 712 pp (In Persian).
6. Azar, A. and H. Faraji. 2016. Science of fuzzy management, Mehraban press, Tehran, Iran, 408 pp (In Persian).
7. Barron, H. and C.P. Schmidt. 1988. Sensitivity analysis of additive multi-attribute value models. Operations Research, 36(1):122-127.
8. Chen, Y., J. Yu and S. Khan. 2010. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. Environmental Modelling & Software, 25(12): 1582-1591.
9. Delgado, M.G and J.B. Sendra. 2004. Sensitivity Analysis in Multicriteria Spatial Decision-Making: A Review. Human and Ecological Risk Assessment, 10(6): 1173-1187.
10. Ebrahimnejad, A. 2011. Sensitivity analysis in fuzzy number linear programming problems. Mathematical and Computer Modelling, 53(9-10): 1878-1888.
11. Evans, J.R. 1984. Sensitivity analysis in decision theory. Decision Sciences, 1(15): 239-247.
12. Eldrandaly, K. A. N. Eldin., D. Sui., M. Shouman and G. Nawara. 2005. Integrating GIS and MCDM using COM technology. International Arab Journal of Information Technology, 2(2):162-167.
13. Farhadinia, A.B. 2014. Sensitivity analysis in interval-valued trapezoidal fuzzy number linear programming problems. Applied Mathematical Modelling, 38(1): 50-62.
14. Fuller, R. 1989. On stability in fuzzy linear programming problems, Fuzzy Sets and Systems, 30(3): 339-344.
15. Gharachelo, S., M.R. Ekhtesasi, M. Zareian Jahromi and M.B. Samadi. 2010. 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).
16. Gharechaee, H., A. Nazari Samani, S. Khalighi Sigarudi, A. Fathabadi and K.A. Alee. 2020. Assessing the factors affecting the salinity risk of groundwater using data mining and statistical methods in arid and semi-arid regions. Degradation and Rehabilitation of Natural Land, 1(1): 45-60 (In Persian).
17. Hamacher, H., H. Leberling and H.J. Zimmermann. 1978. Sensitivity analysis in fuzzy linear programming, Fuzzy Sets and Systems, 1(4): 269-281.
18. Hyde, K.M. 2006. Uncertainty analysis methods for multi-criteria decision analysis. School of Civil and Environmental Engineering. Ph.D Thesis. University of Adelaide, School of Civil and Environmental Engineering, Adelaide, Australia, 395 pp.
19. Hyde, K.M., H.R. Maier and C.B. Colby. 2005. A distance-based uncertainty analysis approach to multi-criteria decision analysis for water resource decision making. Journal of Environmental Management, 77(4): 278-290.
20. Ivanco, M. 2015. Development of analytical sensitivity analysis for AHP applications. Master Thesis. Old Dominion University, Norfolk, Virginia, United State of America.
21. Kahraman, C., I. Kaya and S. Cebi. 2009. A comparative analysis for multi–attribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. Energy, 34 (10):1603-1616. DOI: 10.1016/j.energy.2009.07.008
22. Khalili-Damghani, K. and B. Taghavifard. 2013. Sensitivity and stability analysis in two-stage DEA models with fuzzy data. International Journal of Operational Research, 17(1): 1-37.
23. Maleki, H.R., M. Tata and M. Mashinchi. 2000. Linear programming with fuzzy variables, Fuzzy Sets and Systems, 109(1): 21-33.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]

24. Masuda, T. 1990. Hierarchical sensitivity analysis of the priorities used in the Analytic Hierarchy Process. Systems Science, 21(2): 415-427.
25. Mehregan, M.R. 2020. Operational research (linear programming and its applications). Markaze Nashre Daneshgahi Publication, 524 pp.
26. Mohamadi, S. 2018. Prioritization of sub-catchments for operation of watershed management projects via Multi-Criteria Decision Making Techniques, case study: Asyabjofeth Watershed), Journal of Watershed Management Research, 10(18): 36-46 (In Persian).
27. Pamucar. D.S., D. Bozanic and A. Randelovic. 2017. Multi-criteria decision making: An example of sensitivity analysis. Serbian Journal of Management, 12(1): 1-27.
28. Pascual, N.R., R.M. Krug, D.M. Richardson and C. Hui. 2010. Spatially-explicit sensitivity analysis for conservation management: exploring the influence of decisions in invasive alien plant management. Diversity and Distributions, 16(3): 426-438.
29. Rashnavadi, Y. and M.A. Rouhollahi. 2018. Technology strategic planning model in petrochemical industry using the Network Analysis Process: Case Study of Iranian Petrochemical Industry. Strategic Management Researches, 24(68): 37-63.
30. Ringuest, J.L. 1997. Lp-metric sensitivity analysis for single and multi-attribute decision analysis. European Journal of Operational Research. 98(3): 563–570.
31. Ríos Insua, D. 1990. Sensitivity analysis in multi-objective decision making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag Press, Berlin, Germany, 186 pp.
32. Saaty, T.L. 2012. Decision making for leaders: The Analytic Hierarchs Process for Decision in a complex world. Rws Publications, Pittsburgh, United States of America, 323 pp.
33. Sadeghiravesh, M.H. 2022. Application of fuzzy logic in quantitative analysis of combat-desertification alternatives with pathological approach. Desert Ecosystem Engineering Journal (DEEJ), 15(34): 15-32 (In Persian)
34. Sadeghi Ravesh, 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).
35. Sadeghiravesh, M.H. and H. Khosravi. 2021. Quantitative analysis of combating desertification alternatives using LINMAP model in Lingo software environment. Desert Management, 8(16): 57-76 (In Persian).
36. Sadeghiravesh, M.H., H. Khosravi and S. Ghasemian. 2015. Application of Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) for Assessment of combating-desertification alternatives in the central Iran. Journal of Natural Hazard, 75: 653-667.
37. Saltelli, A., K. Chan and E.M. Scott. 2009. Sensitivity Analysis. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, England, 504 pp.
38. Sharifi, M. and Z. Farahbakhsh. 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).
39. Sindhu, S.P., V. Nehra and S. Luthra. 2016. Recognition and prioritization of challenges in growth of solar energy using analytical hierarchy process: Indian Outlook. Energy, 100: 332-48. DOI: 10.1016/j.energy.2016.01.091.
40. Sindhu, S.P., V. Nehra and S. Luthra. 2017. Investigation of feasibility study of solar farms deployment using Hybrid AHP-TOPSIS analysis: case study of India. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73(c): 496-511. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.135.
41. Tabatabaei, S.M., M.J. zeynali and B.S. Hamraz. 2021. Prioritization of strategic policies for water right harvesting of iranian boundary rivers by AHP and ANP method. Iranian Water Research Journal. 14(4): 39-51 (In Persian).
42. Triantaphyllou, E. 1992. A sensitivity analysis of a (Ti, Si) inventory policy with increasing demand. Operations Research Letters, 11(3): 167-172.
43. Triantaphyllou, E. and C.T. Lin. 1996. Development and evaluation of five fuzzy multi-attribute decision-making methods. International Journal of Approximate Reasoning, 14(4): 281-310.
44. Triantaphyllou, E. and A. Sanchez. 1997. A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods. Decision Sciences, 28(1): 151-194.
45. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 2017. The global land outlook. UNCCD press, Bonn, Germany, 340 pp.
46. Von Winterfeldt, D. and W. Edwards.1986. Decision analysis and behavioral research. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 624 pp.
47. Watson, S. and D. Buede. 1987. Decision synthesis. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom , 373 pp.
48. Wendel, R.E. 2007. Sensitivity analysis revisited and extended, Decision Sciences, 23(5): 1127-1142.
49. Winebrake, J.J. and B.P. Creswick. 2003. The future of hydrogen fueling systems for transportation: An application of perspective-based scenario analysis using the analytic hierarchy process. Technological Forecasting and Social Change, 70(4): 359-84.
50. Zimmermann, H.J. 1976. Description and optimization of fuzzy systems, International Journal of General Systems, 2(4): 209-215.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]

Sensitivity Analysis of Combat Desertification Strategies in Fuzzy Environment in Yazd-Khezrabad Sub-Catchment (Saduq County)

Mohammad Hassan Sadeghi Ravesh

Associate Professor, Department of Environment, College of Agriculture, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran, (Corresponding author: m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir)
Received: 6 May, 2022 Accepted: 22 August, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Desertification is a complex socio-economic issue resulting from the interaction of several factors. This phenomenon is always in uncertain environments and is strongly influenced by vague and implicit judgments. Therefore, the use of multi-criteria fuzzy decision-making mechanisms seems necessary in evaluating desertification strategies. On the other hand, often the input data to these devices are inaccurate and variable. So, performing sensitivity analysis on output data is an important step in such evaluations. The aim of this study was to analyze the sensitivity of priority strategies in the Yazd-Khezrabad sub-catchment in central Iran.

Material and Methods: In order to achieve this goal, first in the framework of fuzzy multi-criteria decision-making method and with using triangular number, fuzzy pairwise comparison decision matrix was formed and the initial priority of strategies was estimated. Then the sensitivity analysis process was performed separately on the criteria and strategies in the framework of the Triantaphyllou-sensitivity analysis model. Following the determination of the most sensitive criteria and strategy, new weights of criteria and strategies were replaced based on the most sensitive criteria and strategy in the decision matrix. By calculating the weighted average of each row of the modified normalized matrix, the degree of preference or final weight of the strategies was estimated.

Results: The results showed that the adjustment strategy in groundwater abstraction (A_{31}) is still considered as the most important strategy as the initial results with a degree of preference of 92.9%. While the ranking of other strategies has undergone serious changes.

Conclusion: It is concluded that according to the mentioned macro strategy, the process of desertification can be slowed down and the destroyed areas revived by implementing aquifer projects, improving irrigation methods, land improvement, controlling the growth of industries and aquaculture crops.

Keywords: Combat Desertification, Fuzzy linear programming, Pirewise comparative, Triangular Fuzzy Number, Triantaphyllou model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-07-01]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1401.13.26.29.7]

[DOI: 10.52547/jwmr.13.26.203]