



"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 تری‌انتافیلو^۱ 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_۶) 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 فرآیند مقابله با بیابان‌زایی است. در عین حال اولویت‌بندی نهایی راهبردها موبد تغییر در اوزان و رتبه‌بندی اولیه راهبردها بود، به صورتی که تنها راهبرد تعدیل برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{۳۱}) 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 برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{۳۱}) و با اجرای طرح‌های آبخوانداری، اصلاح روش‌های آبیاری، اصلاح اراضی، کنترل رشد صنایع و کشت‌های آبخواه، می‌توان روند پسرعت بیابانی شدن را کند و نسبت به احیای اراضی تخریب یافته اقدام کرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی فازی، بیابان‌زایی، عدد فازی مثلثی، مدل تری‌انتافیلو، 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 به دلیل وجود معیارها و شاخص‌های متعدد، مسائل پیچیده‌ای هستند و انجام فرآیند 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. عبارت 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 (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 تصمیم‌گیرنده در انتخاب بهترین گزینه از میان تعدادی گزینه تحت تأثیر 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 (۱۰۶)، 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

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 ارائه 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- خضرباد بخشی از حوضه آبخیز بزرگ یزد- اردکان می‌باشد که با وسعتی معادل ۷۸۱۸۰ هکتار در ۱۰ کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی ۵۳° ۵۵' الی ۲۰° ۵۴' طول شرقی و ۴۵° ۳۱' الی ۱۵° ۳۲' عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱) ارتفاع متوسط زیرحوضه یزد- خضرباد ۱۳۹۷ متر و ۸۴/۷۹ درصد منطقه شیبی کمتر از ۱۰ درصد دارد. بنابراین، قسمت اعظم منطقه را اراضی پست با شیب متوسط ۹/۴۱ درصد تشکیل می‌دهد. از نظر زمین‌شناسی این منطقه از سازند قدیمی کهر تا رسوبات جوان کواترن را در بر گرفته 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^{۱۱} بزرگ اشکذر با وسعتی معادل ۸۹۲۳ هکتار در شمال قرار گرفته است که نشان‌دهنده وضعیت کاملاً خاص از نظر بیابان‌زایی در منطقه و بیان‌کننده لزوم پرداختن به راه‌حل‌های مقابله با بیابان‌زایی در این حوضه است (۳۵).

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)، هامپر 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 سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) توسط ساعتی (۳۲)، اولین بار اینسوا (۳۱) با توسعه دیدگاه وان فیندرفلت و ادوارد آنالیز حساسیت در تصمیم‌گیری چند هدفه^۲ (MODM) را مطرح کرد، و ماسودا (۲۴) آنالیز حساسیت را در فرایند تصمیم‌گیری تحلیلی سلسله‌مراتبی مورد بررسی قرار داد و همچنین آرماگوست و حسینی (۳) روندی را برای تعیین بحرانی‌ترین معیار برای یک سطح از سلسله‌مراتب در مسائل تحلیلی سلسله‌مراتبی ارائه دادند و در نهایت تری‌آتافیلو 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 در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره برای سه مدل مجموع وزنی^۳ (WSM)، تولید وزنی (WPM) و تحلیلی سلسله‌مراتبی (AHP) توسعه دادند و به دنبال آن تحلیل حساسیت برای مسائل برنامه‌ریزی خطی فازی در چارچوب مدل‌های ذکر شده، بعلاوه مدل تاپسیس^۵ (TOPSIS) و تحلیلی سلسله‌مراتبی (AHP) ارتقا یافته را ارائه کردند (۴۳). که این روند بعداً توسط محققینی همانند، پاموکار و همکاران (۲۷) با کاربرد چهار مدل تاپسیس^۶، کوپراس^۷ (COPRAS)، ویکور^۸ (VIKOR) و الکترا^۹ (ELECTRE) در محیط فازی، رشنوادی و روح الهی (۲۹) با کاربرد مدل تحلیل شبکه فازی^{۱۰} (FANP)، عربجزی و همکاران (۱) با تحلیل پوششی داده‌های فازی^{۱۱} (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

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

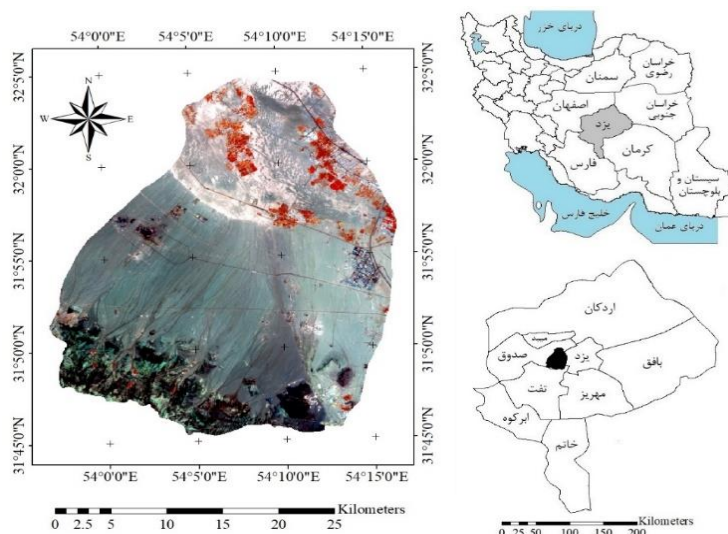
8- Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje

9- Elimination et Choice Translating Reality

10- Fuzzy Analytical Hierarchy Process

11- Fuzzy Data Envelopment Analysis

12- Erg



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

ترکیبی از K عدد مثلثی فازی ترکیبی دیگر شد و به این ترتیب اوزان غیر بهنجار شده معیارها یا راهبردهای ماتریس مقایسات زوجی ارجحیت معیارها و اولویت راهبردها به دست آمد. سپس اقدام به نرمالیزه کردن اوزان ناهنجار معیارها و راهبردها و دستیابی به ارجحیت و اولویت معیارها و راهبردها شد. با دستیابی به ارجحیت و اولویت معیارها و راهبردها 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 مبنای راهبردی که بیشترین ضریب اولویت را داشته باشد به عنوان بهترین راهبرد ارزیابی شد و به همین ترتیب سایر راهبردها اولویت‌بندی شدند.

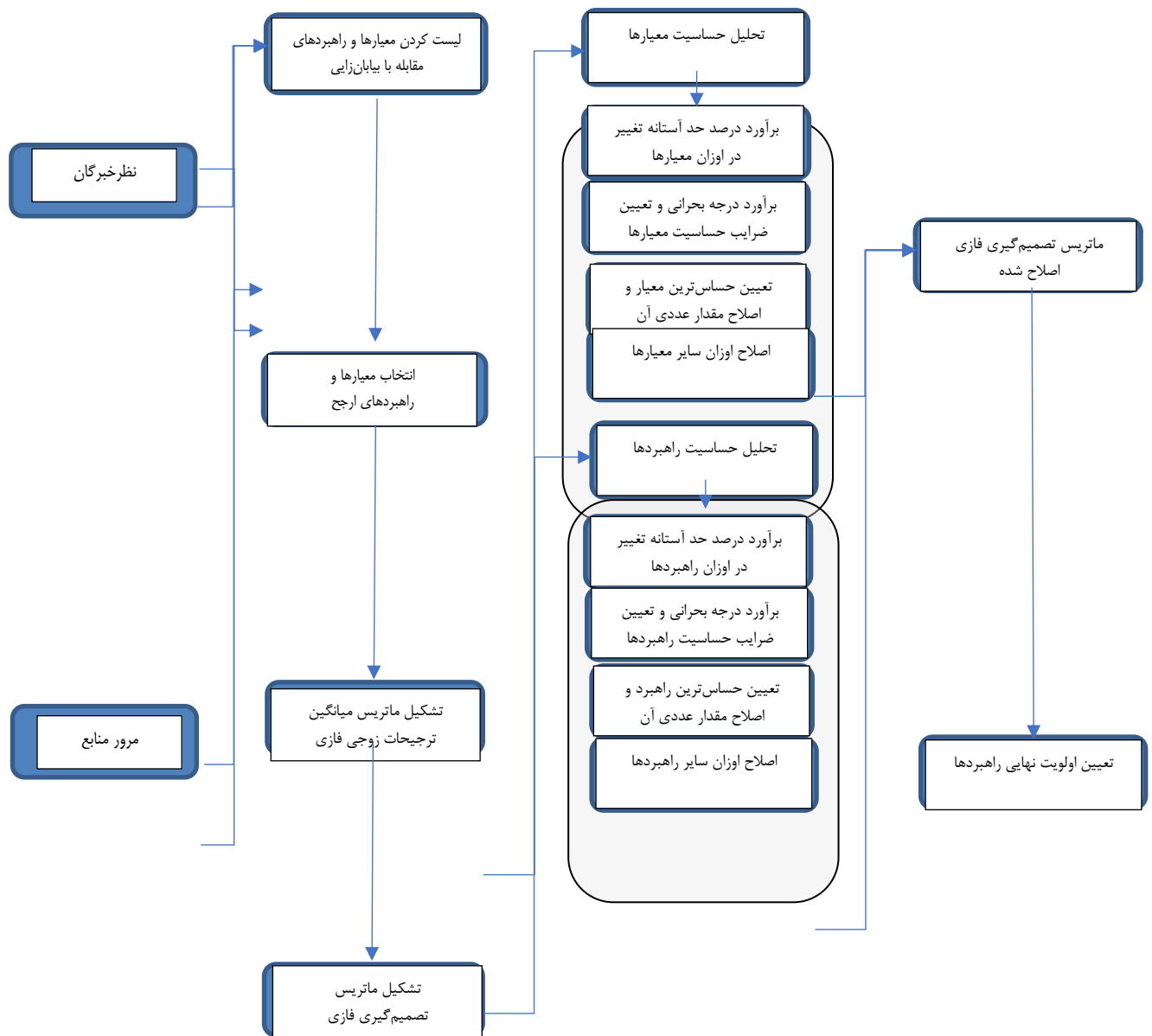
در این مرحله به منظور تمرکز بر روی هدف مطالعه از تشریح مراحل اولویت‌بندی راهبردها در محیط تصمیم‌گیری چند معیاره فازی خودداری شد و به تشریح فرایند تحلیل حساسیت راهبردهای اولویت‌بندی شده پرداخته شد، علاقه‌مندان می‌توانند به منظور مطالعه و نحوه برآورد اولویت‌بندی فازی راهبردها به منابع شماره ۳۳ و ۳۶، مراجعه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

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 مقابل با بیان‌زایی 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 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



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

آنالیز حساسیت مربوط به معیارها

نظر به اینکه مقادیر عددی 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).

تحلیل حساسیت^۱

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.

جدول ۱- ماتریس تصمیم‌گیری 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^k	a_{11}	a_{12}	...	a_{1N}	P_1
A_2^k	a_{21}	a_{22}	...	a_{2N}	P_2
...
A_M^k	a_{M1}	a_{M2}	...	a_{MN}	P_M

W = مقدار عددی مربوط به معیار حساس در شرایط اولیه.
نرمال سازی مقادیر: پس از تعیین مقدار جدید برای حساس ترین معیار و با توجه به اینکه تغییر ایجاد شده در حساس ترین معیار موجب ضرورت اصلاح سایر معیارها خواهد بود، لذا تمام معیارها با استفاده از رابطه (۷) مجدداً براساس تغییری که در حساس ترین معیار به وجود آمده اصلاح گردید.

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

آنالیز حساسیت مربوط به راهبردها:

در این مرحله نیز همانند مرحله قبل، مقدماً ماتریس تصمیم گیری 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 می دهد و سبب تغییر اولویت بندی آنها در ارتباط با هر یک از معیارها می شود که از رابطه ۸ بدست آمد.

$$i, j, k = \frac{(pi - pk)}{[pi - pk + wj(a_{kj} - a_{ij} + 1)]} \quad \text{رابطه (۸)}$$

- **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

$$i, j, k = \frac{ij, k \times 100}{aij}$$

$$1 \leq i, k \leq M, \text{ AND } 1 \leq j \leq N$$

- **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.

$$i, j, k \leq 100 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

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

$$'ij = \min\{i, j, k\} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$M \geq i \geq 1, \text{ and } N \geq j \geq 1 \quad k \neq i$$

- **برآورد بحرانی ترین راهبرد (LK):** بحرانی ترین راهبرد معادل قدر مطلق کمترین مقدار درجه بحرانی راهبردها می باشد که از رابطه ۱۲ بدست آمد.
 رابطه (۱۲) برای بعضی مقادیر

$$'Lk = \min\left\{\min\{ij\} \mid N \geq i \geq 1\right\}$$

$$N \geq k \geq 1, \quad M \geq i \geq 1$$

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

$$sens(a_{ij}) = \frac{1}{ij} \quad \text{رابطه (۱۳)} \quad \text{برای هر مقدار}$$

$$M \geq i \geq 1, \text{ and } N \geq j \geq 1$$

- **مقایسه ضرائب حساسیت راهبردها و تعیین حساس ترین راهبرد:** پس از محاسبه ضرائب حساسیت راهبردها، این ضرائب با هم مقایسه شدند. بنابراین هر ضرائب

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 می شود.

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

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 می شود، 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 اولویت بندی غیرممکن می باشد. به عبارت دیگر معیار مورد نظر از ثبات کامل جهت حفظ اولویت بندی موجود میان گزینه های A_i, A_j برخوردار می باشد. بنابراین در خانه مربوطه در جدول $\delta_{k,i,j}$, N/F یعنی عدم امکان پذیر بودن اعمال تغییر قرار گرفته و در محاسبات بعدی وارد نمی شود.

$$\delta_{k,i,j} \leq WK \quad \text{رابطه (۲)}$$

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.

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

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

$$D'K = \min\{|\delta'_{k,i,j}|\} \quad N \leq K \leq 1, 1 \leq i < j \leq M$$

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

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

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

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

$$W^* = W - \delta_{kij} \quad \text{رابطه (۶)}$$

W^* = مقدار عددی جدید مربوط به معیار حساس

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

به منظور انجام فرایند تحلیل حساسیت فازی بر روی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی از روش تری‌آنتا فیلو 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_{31}) با ضریب اولویت $0/93$ مهم‌ترین راهبرد در کنترل و کاهش اثرات بیابان‌زایی و احیاء اراضی تخریب یافته بر مبنای مجموعه معیارها در منطقه مطالعاتی ارزیابی شد ($33,36$).

حساسیتی که بیشترین مقدار عددی را کسب نماید به عنوان 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.

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

در این رابطه: a_{ij}^* = مقدار عددی مربوط به گزینه حساس a_{ij} = مقدار عددی گزینه حساس در شرایط اولیه طبق تعریف مقدار i, j, k از رابطه (۱۵) بدست آمد.

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

- 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

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری فازی راهبردهای بهینه بیابان‌زدایی از نظر گروه

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

\bar{P}_i	اهمیت معیارها (C)					اولویت راهبردها (A_{31})
	C_1^1	C_2^1	C_3^1	C_4^1	C_5^1	
	$-0/0296$	$-0/048$	$0/686$	$-0/0296$	$-0/326$	
$-0/18$	$-0/186$	$-0/11$	$-0/299$	$-0/035$	$-0/115$	A_{18}^1
$-0/52$	$-0/177$	$-0/172$	$-0/075$	$0/768$	$0/098$	A_{27}^2
$-0/30$	$-0/186$	$0/051$	$-0/0299$	$-0/035$	$-0/027$	A_{23}^3
$-0/93$	$-0/076$	$0/209$	$-0/972$	$0/279$	$-0/113$	A_{31}^4
$-0/38$	$-0/373$	$0/102$	$-0/125$	$0/023$	$-0/108$	A_{33}^5

A_{18}^1 - جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی

A_{27}^2 - کنترل چرای دام (تعادل دام و مرتع، تناسب نوع دام، جلوگیری از چرای خاج از فصل و غیره)

A_{23}^3 - توسعه و احیای پوشش گیاهی

A_{31}^4 - تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی

A_{33}^5 - تغییر در الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آبخواه

C_2^1 - زمان

C_5^1 - ابزارهای علمی و تکنولوژی در دسترس

C_3^1 - منابع انسانی متخصص

C_4^1 - تناسب و سازگاری با محیط‌زیست (پایداری)

C_1^1 - تخریب منابع و خسارات محیطی و انسانی

مذکور، با در نظر گرفتن اعداد ماتریس تصمیم‌گیری و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

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

جدول ۳- کمترین درصد تغییر در وزن معیارها جهت معکوس سازی اولویت بندی 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

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 حساس ترین معیار، عکس درجه بحرانی آن معیار، مطابق رابطه (۵) در نظر گرفته شد، از آنجا که حساس ترین معیار بزرگترین درجه حساسیت را به خود اختصاص می دهد

جدول ۵- ضرایب حساسیت معیارها

Table 5. Sensitivity coefficient of criterion

علائم	Sens(C _۲)	Sens(C _۵)	Sens(C _۶)	Sens(C _۷)	Sens(C _{۱۶})
ضریب حساسیت معیار k (Sens(C _k))	۰/۰۵۵۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۶۵	۰/۳۶۱۳۷۵	۰/۰۰۰۰۹۳۹	۰/۰۰۰۰۴۹

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 اولویت بندی اولیه معیارها ثابت ماند و معیار منابع انسانی متخصص (C_۶) با ضریب حساسیت ۰/۳۶۱۴ (با درجه ترجیح ۶۷/۹٪) قرار گرفت که نشان از اهمیت نیروی متخصص و آموزش دیده در مسائل و چالش های مطرح در فرایند مقابله با بیابان زایی است.

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

$$W_{C_6}^* = 0/686 - (0/1898) = 0/6670 \quad (16)$$

با توجه به این مطلب که تغییر ایجاد شده در وزن حساس ترین معیار، لزوم اصلاح سایر وزن های معیارها را به همراه خواهد داشت، اقدام به نرمال سازی وزن معیارها از رابطه (۷) شد و نتایج اولویت بندی معیارها بر اساس وزن عددی بدست آمده به عنوان اولویت نهایی تلقی شد (جدول

جدول ۶- نرمال سازی وزن معیارها

Table 6. Normalization of criterion weights

رتبه جدید	وزن جدید (نرمال شده)	اعمال وزن جدید	رتبه اولیه	وزن اولیه	معیار
۲	۰/۳۳۱۹	۰/۳۳۶	۲	۰/۳۳۶	C _۲
۳	-۰/۰۰۳۰۱۳	-۰/۰۰۲۹۶	۳	-۰/۰۰۲۹۶	C _۵
۱	۰/۶۷۹۰۳۸	۰/۶۶۷۰	۱	۰/۶۸۶	C _۶ *
۴	-۰/۰۰۴۸۸۶	-۰/۰۰۴۸	۴	-۰/۰۰۴۸	C _۷
۳	-۰/۰۰۳۰۱۳۳	-۰/۰۰۲۹۶	۳	-۰/۰۰۲۹۶	C _{۱۶}
Σ =	۱	Σ = ۰/۹۸۲۲۹۷	Σ =	۱	

* حساس ترین معیار

ماتریس تصمیم گیری (جدول ۹) مد نظر قرار گرفت، سپس با استفاده از رابطه ۹ ماتریس i, j, k حاصل شد (جدول ۷).

آنالیز حساسیت راهبردها

به منظور بررسی حساسیت راهبردهای مطرح شده جهت بیابان زدایی، همانند آنالیز حساسیت مربوط به معیارها، ابتدا

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 (a_{ij}) in accordance with each criterion (C_j) 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 _{۳۳}
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 _{۳۳}
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 _{۳۳}	-۵۰۸۲/۵۶	-۲۸۴۸/۶۹	-۶۳۹۳/۴	N/F	N/F	A _{۱۸}
A _{۳۳}	-۴۹۵۵/۵۴	-۲۸۴۱/۸۹	-۵۸۷۹/۴۷	N/F	N/F	A _{۲۰}
A _{۳۳}	-۵۹۲۵/۳۳	-۲۸۴۶/۰۳	-۷۹۷۳/۴۷	N/F	N/F	A _{۳۱}
A _{۳۳}	-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 _{۳۳}
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 _{۳۳}
A _{۳۳}	N/F	N/F	N/F	N/F	N/F	A _{۳۱}

چرای دام (A_{۲۰}) بحرانی‌ترین راهبرد و راهبرد جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری (A_{۱۸}) در درجه دوم قرار گرفت.

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

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 _(A33)	-
A _{۳۳}	۴۹۵۵/۵۴ _(A20)	۲۸۴۱/۸۹ _(A20)	۵۷۳۶/۰۷ _(A33)	-	-
A _{۳۱}	-	-	-	-	-
A _{۳۳}	-	-	-	-	-

دام (A_{۲۰}) با ضریب حساسیت (۰/۰۰۱۷۳۱)، حساس‌ترین راهبرد در ارتباط با معیار C_۷ برآورد شد.

حال به منظور 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

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}	.	۰/۰۰۰۳۵۲ _(A20)	.	۰/۰۰۱۱۰۷ _(A31)	.
A _{۲۰}	.	.	.	۰/۰۰۱۷۳۱ _(A33)	.
A _{۳۳}	۰/۰۰۰۲۰۲ _(A20)	۰/۰۰۰۳۵۲ _(A20)	۰/۰۰۰۱۷۴ _(A33)	.	.
A _{۳۱}
A _{۳۳}

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).

با مشخص شدن ضرایب حساسیت راهبردها و حساس‌ترین راهبرد، با استفاده از رابطه (۱۴)، مقدار عددی جدید معادل ۱/۱۶۵۴- برای حساس‌ترین راهبرد برآورد شد. (رابطه ۱۷)
 (رابطه ۱۷) $a_{ij}^* = -۰/۱۷۳ - ۰/۹۹۳۴ = -۱/۱۶۵۴$
 در این مرحله نیز با توجه به این موضوع که تغییر ایجاد شده

جدول ۱۰- نرمال سازی وزن راهبردها نسبت به معیار C_۷Table 10. Normalization of alternatives weights in accordance with the C₇ criteria

رتبه جدید	وزن جدید(نرمال شده)	اعمال وزن جدید	رتبه اولیه	وزن اولیه	معیار C _۷
۲	۰/۱۲۰۴	-۰/۱۱	۴	-۰/۱۱	A _{۱۸}
۱	۱/۲۷۵۹	-۱/۱۶۵۴	۵	-۰/۱۷۲	A _{۲۰} *
۳	-۰/۰۵۵۸	۰/۰۵۱	۳	۰/۰۵۱	A _{۲۳}
۵	-۰/۲۲۸۸	۰/۲۰۹	۱	۰/۲۰۹	A _{۲۱}
۴	-۰/۱۱۱۷	۰/۱۰۲	۲	۰/۱۰۲	A _{۲۳}
	۱	Σ = -۰/۹۱۳۴		Σ = ۰/۰۸	

* حساس ترین راهبرد

شده یا نهایی راهبردها برای دستیابی به هدف ارائه راهبردهای مناسب جهت مقابله با بیابان زایی، اقدام به تشکیل ماتریس دو بعدی تحت عنوان "ماتریس تصمیم گیری اصلاح شده" شد (جدول ۱۱) و معیارهای اصلاح شده حاصل از عملیات نرمال سازی با توجه به حساس ترین معیار (C_۶) در ردیف افقی ماتریس و راهبردهای اصلاح شده حاصل از عملیات نرمال سازی با در نظر گرفتن حساس ترین 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.

نتایج آنالیز حساسیت فازی بر روی اوزان راهبردها (جدول ۱۰) بیانگر تغییر قابل توجهی در اولویت بندی اولیه است، به این صورت که راهبرد کنترل چرای دام (A_{۲۰}) با ضریب حساسیت ۰/۰۰۱۷، حساس ترین 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 بیابان زایی و ایجاد پایداری زیستی در ارتباط با معیار سازگاری با محیط زیست است.

تعیین اولویت نهایی راهبردها

به دنبال برآورد اوزان جدید معیارها و راهبردها بر مبنای حساس ترین معیار و راهبرد و به منظور محاسبه اولویت اصلاح

جدول ۱۱- ماتریس تصمیم گیری اصلاح شده

Table 11. Corrected decision-making matrix

P _i	اهمیت معیارها (C)					الویت راهبردها (A)
	C _۶	C _۷	C _۶	C _۵	C _۲	
	-۰/۰۰۳۰۱۳۳	-۰/۰۰۴۸۸۶	۰/۶۷۹۰۳۸	-۰/۰۰۳۰۱۳	۰/۳۳۱۹	
۰/۲۴۰۲	۰/۱۸۶	۰/۱۲۰۴	-۰/۲۹۹	-۰/۰۲۵	۰/۱۱۵	A _{۱۸}
۰/۰۴۵۱	۰/۱۷۷	۱/۲۷۵۹	۰/۰۷۵	۰/۷۶۸	-۰/۰۹۸	A _{۲۰} *
-۰/۰۲۹۵	۰/۱۸۶	-۰/۰۵۵۸	-۰/۰۲۹۹	-۰/۰۳۵	-۰/۰۲۷	A _{۲۳}
۰/۹۲۹۹	۰/۰۷۶	-۰/۲۲۸۸	۰/۹۷۲	۰/۲۷۹	۰/۸۱۳	A _{۲۱}
۰/۰۴۳۷	-۰/۲۷۳	-۰/۱۱۱۷	۰/۰۱۲۵	۰/۰۲۳	۰/۱۰۸	A _{۲۳}

حساسیت راهبردهای مقابله با بیابان زایی در محیط فازی و در حوزه مسائل تحلیلی سلسله مراتبی استفاده شد. نتایج نشان داد که روش تری آناتافیلو را می توان به عنوان 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 آزماکوست و حسینی (۳) در چارچوب روش های 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 تصمیم گیری حاصل از این معیارها را بهبود بخشد. این در حالی است که تنها معدودی از روش ها به مانند به روش راینجست (۳۰) قادر به شناسایی معیارهای حیاتی یعنی معیارهایی که بیشترین تأثیر را بر رتبه بندی راهبردها دارند، هستند. همچنین نتایج به دست آمده این پژوهش، مطابق نتایج حاصل از پژوهش های چن و همکاران (۸)، بیانگر این واقعیت بود که این روش قادر است چگونگی اثرگذاری تغییرات احتمالی و نحوه پاسخدهی به آن ها را پیش بینی و به تعمیق بینش مدیران کمک کند و به منظور سهولت در دستیابی به تصمیم گیری بهینه در ارزیابی راهبردها و در

در نهایت نتایج نهایی حاصل از فرایند تحلیل حساسیت (جدول ۱۱) موید تغییر در اوزان و رتبه بندی اولیه راهبردها می باشد، به صورتی که تنها راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{۲۱}) همچنان همانند نتایج اولیه با درجه ترجیح ۹۲٪/۹، مهمترین راهبرد قلمداد می شود و رتبه بندی سایر راهبردها دستخوش تغییرات جدی شده است. کاهش سطح و شوری آب های زیرزمینی که حاصل برداشت بیش از حد از منابع آبی می باشد مانع بسیار مهمی در قابلیت توسعه مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود و در برگیرنده مجموعه پیچیده و درهم تنیده از تأثیرات منفی نظیر خشکیدگی پوشش گیاهی، پدیده فرسایش بادی و ریزگردها، شور شدن خاک، نشست زمین و غیره است که بر ابعاد مختلف فعالیت های اقتصادی و اجتماعی هر منطقه و تشدید پدیده بیابانزایی و تخریب محیط زیست تأثیر مستقیم دارد (۱۶). لذا نتیجه می شود که با اجرای طرح های مدیریت آب و آبخوانداری، اصلاح روش های آبیاری، اصلاح اراضی، کنترل رشد صنایع و کشت های آبخواه روند پر سرعت بیابانی شدن را کند و نسبت به احیای اراضی تخریب یافته اقدام کرد. در این پژوهش از روش تری آناتافیلو به منظور انجام آنالیز

نرم‌افزار فوق‌قادر 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.

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 صرفاً نمایشی گرافیکی از تغییرات اولویت‌بندی گزینه‌ها را ارائه می‌دهد این درحالی است که

منابع

- Alpert, M.I. 1971. Identification of determinant attributes: A comparison of methods. *Journal of Marketing Research*, 8(5): 184-191.
- 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.
- 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.
- 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).
- Azar, A. 2015. operations research (implications and applications of linear planning). Samt press, Tehran, Iran, 712 pp (In Persian).
- Azar, A. and H. Faraji. 2016. Science of fuzzy management, Mehraban press, Tehran, Iran, 408 pp (In Persian).
- Barron, H. and C.P. Schmidt. 1988. Sensitivity analysis of additive multi-attribute value models. *Operations Research*, 36(1):122-127.
- 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.
- 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.
- Ebrahimnejad, A. 2011. Sensitivity analysis in fuzzy number linear programming problems. *Mathematical and Computer Modelling*, 53(9-10): 1878-1888.
- Evans, J.R. 1984. Sensitivity analysis in decision theory. *Decision Sciences*, 1(15): 239-247.
- 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.
- Farhadinia, A.B. 2014. Sensitivity analysis in interval-valued trapezoidal fuzzy number linear programming problems. *Applied Mathematical Modelling*, 38(1): 50-62.
- Fuller, R. 1989. On stability in fuzzy linear programming problems, *Fuzzy Sets and Systems*, 30(3): 339-344.
- 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).
- Gharechae, 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).
- Hamacher, H., H. Leberling and H.J. Zimmermann. 1978. Sensitivity analysis in fuzzy linear programming, *Fuzzy Sets and Systems*, 1(4): 269-281.
- 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.
- 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.
- Ivanco, M. 2015. Development of analytical sensitivity analysis for AHP applications. Master Thesis. Old Dominion University, Norfolk, Virginia, United State of America.
- 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
- 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.
- Maleki, H.R., M. Tata and M. Mashinchi. 2000. Linear programming with fuzzy variables, *Fuzzy Sets and Systems*, 109(1): 21-33.

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.

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, Pairwise comparative, Triangular Fuzzy Number, Triantaphyllou model