

کاربرد منطق فازی در تحلیل کمی راهبردهای مقابله با بیابانزایی با رویکرد آسیب‌شناسی

محمدحسن صادقی روش^۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۰

چکیده

مبارزه با بیابانزایی مستلزم ارزیابی و پایش نوع و شدت تخریب اراضی، تعیین علل تخریب اراضی رخ داده و انتخاب و اعمال اقدامات مناسب برای مقابله با این مشکل است. 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 غیرقطعی 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، راه‌حل‌های بهینه و قابل استناد را ارائه دهد، مشهود است؛ از این رو مقاله حاضر با هدف تلفیق تئوری فازی و روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه به منظور ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابانزایی به صورت موردی در دشت یزد- خضراآباد طی سال ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۹ شکل گرفت و در این راستا از مدل دیماتل فازی استفاده شد. بر این مبنای ابتدا با تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی، شدت اثر یا میزان اثرگذاری و اثرپذیری اوزان معیارها و راهبردها برآورد شد و پس از فازی‌زدایی و تشکیل نمودار علی فازی، راهبردهای نهایی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. بر مبنای نتایج حاصل شده، از دیدگاه مدل ارزیابی دیماتل فازی، راهبرد جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{18}) با شدت تأثیر و تأثر $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = 0/903$ و تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{31}) با شدت تأثیر و تأثر $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = 0/367$ بیشترین تأثیرگذارترین راهبردها به منظور دستیابی به هدف ارزیابی شدند. بنابراین پیشنهاد شد که در طرح‌های مقابله با بیابانزایی در منطقه مطالعاتی، نتایج به دست آمده مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: ساختار سلسله‌مراتبی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل دیماتل فازی، مقایسه زوجی، نمودار علی.

۱. دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران، m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

* این مقاله برگرفته از پژوهش مستقل است.

مقدمه

(۱۹۹۴). بنابراین، این الزامات موجب استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه^۶ می‌شود که هدف آن انتخاب بهترین جواب از بین راه‌حل‌های مختلف از دیدگاه خبرگان است (اصغریور، ۲۰۱۷). از طرف دیگر از آنجا که پدیده‌های واقعی 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 (آذر و فرجی، ۲۰۱۶)، می‌توان گفت که بیابان‌زایی نیز به‌عنوان یک پدیده واقعی واجد شاخص‌هایی است که ساختار کیفی یا نامشخص دارند که نمی‌توانند به‌دقت اندازه‌گیری شوند؛ در چنین مواردی به منظور دستیابی به ماتریس ارزشیابی می‌توان از اعداد فازی در قالب روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده 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^۷ و همکاران (۲۰۱۰)، صادقی‌روش و همکاران (صادقی‌روش، ۲۰۲۱b) و سپهر و پرویان^۸ (۲۰۱۲) محدود می‌شود. گرایو در پژوهش خود در منطقه چاکو در استان سالتای کشور آرژانتین، به منظور انتخاب راهبردهای بهینه در راستای ارائه طرحی یکپارچه جهت کنترل فرسایش و بیابان‌زایی از سه مدل تصمیم‌گیری، روش حذف و انتخاب سازگار با واقعیت^۹ (ELECTRE)، فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی^{۱۰} (AHP) و روش ساختاریافته رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی^{۱۱} (PROMETHEE) استفاده کرد (گرایو و همکاران، ۲۰۱۰). در این پژوهش شش معیار فرسایش آبی و بادی، منابع آبی، مزایای اقتصادی، نیروی انسانی، تسهیلات پیاده‌سازی و اجرا، اثرات زیست‌محیطی و پذیرش اجتماعی به‌منظور ارزیابی پنج راهبرد جلوگیری از فرسایش و حفاظت از اراضی در پنج زیر حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشانگر

بیابان‌زایی عبارت است از تخریب اراضی در نواحی خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب ناشی از عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی (یوان سی سی دی^۱، ۱۹۹۴). این وضعیت شاخص مناسبی از پسرفت اکوسیستم‌هایی است که تحت تأثیر فشارهای متعدد، نوسان‌های آب‌وهوایی و بهره‌برداری‌های مفرط قرار گرفته‌اند. بروز چنین فشارهایی می‌تواند امنیت غذایی و زیست‌محیطی را با بحران مواجه کرده و ثبات اقتصادی اجتماعی و توسعه پایدار را در مقیاس محلی و منطقه‌ای با چالش روبه‌رو کند (جیانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). از این‌رو اعمال راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی باید متناسب با شرایط اقتصادی اجتماعی و محیطی به‌صورت محلی به انجام برسد (کونگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱؛ بریاسولیز^۴، ۲۰۱۹). کشور ایران نیز به دلیل قرار گرفتن ۸۵٪ از مساحتش در قلمرو سرزمین‌های خشک، نیمه‌خشک و فراخشک، و با توجه به رشد یک‌درصدی میزان سالیانه بیابان‌زایی (بخشنامه مهر و همکاران، ۲۰۱۳)، از زیست‌بومی شکننده برخوردار است. لذا تسریع روند بیابان‌زایی و تخریب آشیان‌های اکولوژیک اکوسیستم‌های طبیعی به‌عنوان یکی از دغدغه‌های اساسی مدیران و برنامه‌ریزان عرصه‌های منابع طبیعی کشور در دهه اخیر مطرح شده است (صادقی‌روش، ۲۰۲۱a) که برون‌رفت از این چالش در بسیاری از موارد نیازمند حفاظت و حمایت این مناطق در چهارچوب مدیریت علمی است (درنگه^۵، ۱۹۹۹). مسائل تصمیم‌گیری مدیریت مناطق بیابانی به دلیل وجود معیارها و شاخص‌های متعدد، مسائل پیچیده‌ای هستند و برای دستیابی به یک هدف مشخص راه‌حل‌های متعددی وجود دارد که هر یک ارجحیت‌های مختلفی را برای مسائل مختلف محیط‌زیستی، اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و سازمانی تأمین می‌کنند. لذا در کنوانسیون ملل متحد برای مبارزه با بیابان‌زایی، بر رویکردهای مشارکتی و گفت‌وگوی بین دیدگاه‌های مختلف تأکید شده است (یوان سی سی دی،

6. Multi Attribute Decision Making (MADM)

7. Grau

8. Sephr and Peroyan

9. Elimination et Choice Translating Reality (ELECTRE)

10. Analyzes Hierarchy Process (AHP)

11. Preference Ranking Organization METHod For Enrichment Evaluation (PROMETHEE)

1. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)

2. Jiang

3. Kong

4. Briassoulis

5. Dregne

صادقی‌روش، ۲۰۲۲)، در مطالعات اشاره شده معیارها و راهبردهای در نظر گرفته‌شده به‌منظور دستیابی به هدف رتبه‌بندی راهبردها، یکسان بودند که این امر امکان مقایسه تطبیقی کارایی مدل‌ها در رتبه‌بندی راهبردها را میسر می‌ساخت. در این پژوهش‌ها پنج معیار زمان، تکنولوژی، نیروی انسانی، سازگاری با محیط و پتانسیل تخریب، در رابطه با پنج راهبرد، جلوگیری از تغییر نامناسب کاربری اراضی، کنترل چرا، توسعه پوشش گیاهی، تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی و تغییر الگوی آبیاری، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعات همبستگی مناسب را دارند و تا حدود زیادی مشابه می‌باشند. سپهر و پرویان نیز با کاربرد مدل نارتبه‌ای پرومته ضمن پهنه‌بندی آسیب‌پذیری بیابان‌زایی در اکوسیستم‌های استان خراسان رضوی، اقدام به ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی کردند. در این پژوهش شش راهبرد مقابله با بیابانی شدن اراضی استان بر پایه معیارهای اکولوژیکی-اقتصادی شامل راهبردهای کنترل فرسایش، احیای پوشش گیاهی، اصلاح سیستم‌های آبیاری، روش‌های احیای خاک، کنترل و مدیریت چرا و مدیریت منابع آب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان داد، از میان راهبردهای در نظر گرفته‌شده، کنترل چرا مهم‌ترین برنامه اقدام مقابله با بیابانی شدن در استان است (سپهر و پرویان، ۲۰۱۲).

بنابراین با توجه به محدودیت مطالعات به انجام‌رسیده در خصوص کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در تحلیل راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی که تنها به کارهای صادقی‌روش و همکاران محدود می‌شود (صادقی‌روش و طهمورث، ۲۰۱۴؛ صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۵)، لزوم پرداختن به روش‌هایی که بتواند راه‌حل‌های بهینه را بر مبنای منطق و اصول قوی و مبانی نظری مستدل در چهارچوب منطق فازی ارائه دهد، در حوزه مدیریت مناطق بیابانی ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو فرض شد که با کمک تئوری فازی و تلفیق آن با روش تصمیم‌گیری چند شاخصه تکنیک آزمایشگاه آزمون و ارزیابی تصمیم‌گیری یا دیماتل، می‌توان با اجماع نظرات گروهی، از بین طیف وسیعی از راهبردهای مطرح در کنترل بیابان‌زایی، به‌صورت بومی، راهبردهای اولویت‌دار را تعیین کرد.

کارایی بالای این مدل‌ها در ارائه راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی بود. نتایج ELECTRE و PROMETHEE با داده‌های اولیه مشابه، عمدتاً مشابه برآورد شد و AHP در معرفی داده‌ها ذهنی‌تر به دست آمد که می‌تواند تأثیر معیارهای زیست‌محیطی از جمله فرسایش و بیابان‌زایی را بر معیارهای اقتصادی افزایش دهد. صادقی‌روش نیز طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ با کاربرد مدل‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی فازی^۱ (FAHP)، تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر اساس تشابه به پاسخ‌های ایدئال^۲ (TOPSIS)، تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر اساس تشابه به پاسخ‌های ایدئال فازی^۳ (FTOPSIS)، الکترا، بردا (BORDA)، مدل مجموع وزنی^۴ (WSM)، مدل جای‌گشت (PERMUTATION)، روش ساختاریافته رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی‌ها (PROMETHEE)، فرایند تحلیل شبکه^۵ (ANP)، مدل تخصیص خطی^۶ (LA)، تحلیل عاملی^۷ (PFA)، تئوری مطلوبیت چندمعیاره^۸ (MAUT)، مدل اورسته^۹ (ORESTE)، روش بهینه‌سازی چندمعیاره و حل سازشی^{۱۰} (VIKOR)، تکنیک آزمایشگاه آزمون و ارزیابی تصمیم‌گیری^{۱۱} (DEMATEL)، مدل برناردو^{۱۲} (BERNARDO)، مدل برنامه‌ریزی خطی برای تحلیل چندبعدی ترجیحات^{۱۳} (LINMAP)، روش کوک و سیفورد^{۱۴} و تکنیک مدل‌سازی ساختاری تفسیری^{۱۵} (ISM) به اولویت‌بندی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه خضراباد پرداخت (صادقی‌روش، ۲۰۲۱b؛ صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۲۱)؛

1. Fuzzy Analyzes Hierarchy Process (FAHP)
2. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
3. Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)
4. Weighted Sum Model (WSM)
5. Analytical Network Process (ANP)
6. Linear Assignment (LA)
7. Principal Factor Analysis (PFA)
8. Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)
9. Organisation Rangement Et Synthese de donnees Relationnelles (ORESTE)
10. Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje (VIKOR)
11. Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)
12. BERNARDO
13. Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preferences (LINMAP)
14. Cook-Seiford's Method
15. Interpretive Structural Modelling (ISM)

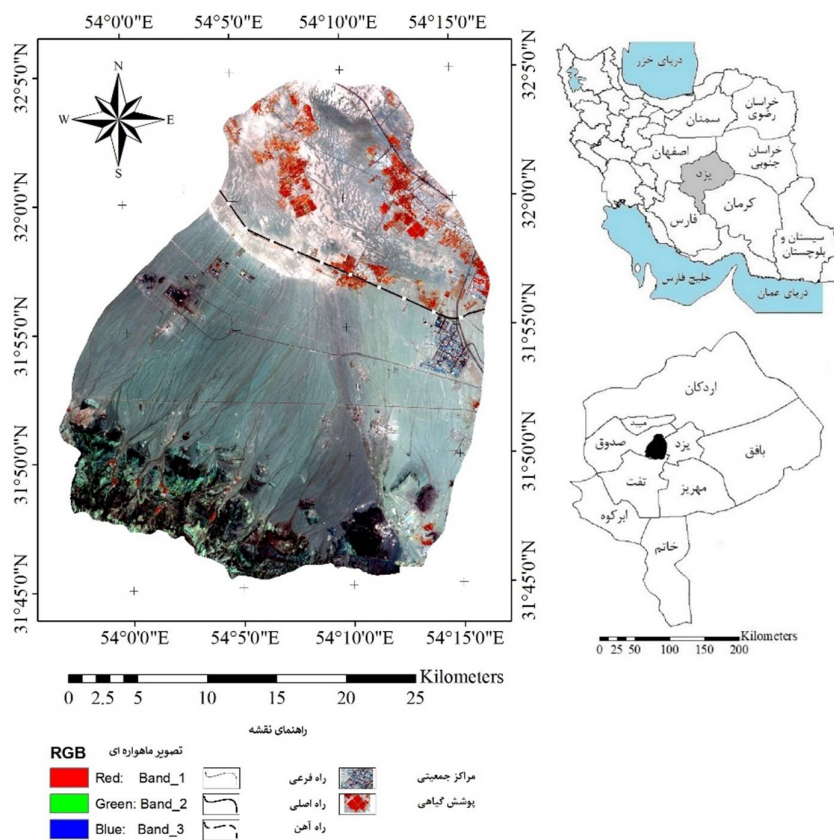
این در حالی است که هیچ سابقه‌ای از کاربرد مدل مذکور در و با ساختار سلسله‌مراتبی ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت یزد- خضرآباد با وسعتی معادل ۷۸۱۸۰ha در ۱۰km غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی ۵۳°۵۵' تا ۵۴°۲۰' طول شرقی و ۳۱°۴۵' تا ۳۲°۱۵' عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱)

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



شکل (۱): موقعیت منطقه خضرآباد

Figure (1): Location of the Khezrabad area

تخریب قرار دارد (قراچلو و همکاران، ۲۰۱۲). از نظر اقلیمی بر مبنای روش دوماتن اصلاح‌شده اقلیم منطقه در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه‌بندی می‌شود. ۱۲۹۳۰ha از اراضی منطقه را تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای شکل داده که ارگ^۳ بزرگ اشکذر با وسعتی معادل ۸۹۲۳ha در شمال منطقه با انواع رخساره‌های تخریبی و فرسایشی به چشم می‌خورد که نشان‌دهنده وضعیت

قسمت اعظم منطقه را اراضی پست متشکل از سازند قدیمی کهر تا رسوبات جوان کواترنر با شیب متوسط ۹/۴۱٪ تشکیل می‌دهد (شریفی و فرح بخش، ۲۰۱۶). منابع خاک منطقه عمدتاً در رده خاک‌های نارس بیابانی یا آنتی سول^۱ و زیر رده اورنتز^۲ است که دارای رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی آریدیک و به‌شدت تحت تأثیر فرایند فرسایش آبی و بادی و

کاملاً خاص از نظرگاه بیابان‌زایی در منطقه و بیان‌کننده لزوم پرداختن به راه‌حل‌های مقابله با بیابان‌زایی در این حوزه است (شکل ۱) (صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۲۱).

روش تحقیق

روش دیماتل اولین بار توسط گابوس و فونتلا^۱ در اواخر سال ۱۹۷۱ به‌طور عمده برای بررسی مسائل بسیار پیچیده جهانی و استفاده از قضاوت خبرگان ارائه شد (گابوس و فونتلا، ۱۹۷۲؛ تزنگ و هانگ،^۲ ۲۰۱۱) و سپس در بخش برنامه علوم انسانی و علوم مؤسسه باتل مموریال^۳ در سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۷۶ گسترش یافت و در راستای تحقیق و حل پیچیده مسائل گروهی مورد استفاده قرار گرفت (گابوس و فونتلا، ۱۹۷۳؛ گابوس و فونتلا، ۱۹۷۴؛ گابوس و فونتلا، ۱۹۷۵؛ گابوس و فونتلا، ۱۹۷۶؛ فونتلا و گابوس، ۱۹۷۶).

روش دیماتل روشی جامع برای ایجاد و تحلیل یک مدل ساختاری از روابط علی میان عوامل پیچیده و بی‌شمار است (لی^۴ و همکاران، ۲۰۱۱؛ لین و لین^۵، ۲۰۰۸) که با بهره‌مندی از قضاوت خبرگان در استخراج عوامل یک سیستم و ساختاردهی نظامند به آن‌ها با به‌کارگیری اصول نظریه گراف‌ها، ساختاری سلسله‌مراتبی از عوامل موجود در سیستم همراه با روابط تأثیر و تأثر متقابل عناصر مذکور را ارائه می‌دهد (دو و شی^۶، ۲۰۱۶؛ یانگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۴). مهم‌ترین مشخصه این روش در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره، عملکرد آن در ایجاد رابطه و ساختار بین عوامل است (لی و همکاران، ۲۰۱۱) در عین حال به‌دلیل ابهام در قضاوت خبرگان، ترکیب این روش با مفهوم فازی سودمند خواهد بود. در این تحقیق به دو منظور از روش دیماتل فازی استفاده شد. برای محاسبه ماتریس وابستگی‌ها بین عوامل اصلی و سپس برای شناسایی عوامل علی، در این مدل ارزش‌ها بر مبنای اعداد فازی تعریف می‌شوند و همانند دیماتل کلاسیک رتبه‌بندی بر اساس ترتیب اثر معیارها نسبت به هدف و راهبردها به‌ازای هر معیار به انجام می‌رسد.

این پژوهش با استفاده از روش پیمایشی انجام گرفته که در آن تعداد تصمیم‌گیرندگان، ۲۵ نفر از کارشناسان مقابله با بیابان‌زایی آشنا به منطقه مطالعاتی از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سازمان جهاد کشاورزی استان یزد، ایستگاه تحقیقات بیابان‌زدایی شهید صدوقی اشکذر، مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان اشکذر و پژوهشکده مناطق خشک و بیابانی دانشگاه یزد، به‌عنوان جامعه آماری انتخاب شدند. ابزار پژوهش، پرسشنامه بوده است و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه‌های نرم‌افزاری اکسپرت چویس^۸ و اکسل^۹ استفاده شد. به‌طور خلاصه مراحل به‌کارگیری تکنیک دیماتل فازی به‌ترتیب ذیل است (شکل ۲).

انتخاب معیارها و راهبردهای مؤثر

انتخاب معیارها و راهبردها از طیف وسیعی از معیارها و راهبردها را می‌توان از طریق طوفان مغزها، روش دلفی یا روش گروه اسمی^{۱۰} به دست آورد (قدسی‌پور، ۲۰۱۶). در فرایند تصمیم‌گیری، معیارها^{۱۱} مفاهیم کمی یا کیفی هستند که راهبردها به‌منظور دستیابی به هدف^{۱۲} بر مبنای آنها شکل می‌گیرند و راهبردها^{۱۳} مسیر و نحوه دستیابی به هدف را مشخص می‌کنند (قدسی‌پور، ۲۰۱۶). در پژوهش حاضر به‌منظور شناخت معیارها و راهبردهای مهم و اولویت‌دار از نظر گروه، در ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی لیست اولیه‌ای از معیارها و راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی مشخص شد، سپس به‌منظور دستیابی به اجماع گروهی از روش دلفی استفاده شد (ساعتی، ۱۹۹۵) و با تهیه دو نوع پرسشنامه ارجحیت معیارها و اولویت راهبردها، از متخصصان آشنا به منطقه مطالعاتی خواسته شد که هر نوع پرسشنامه را با دو تکرار، در دامنه صفر تا نه امتیازدهی کنند و همچنین پس از تکرار اول، با توجه به انحرافات پاسخ‌های اولیه‌شان از میانگین (رابطه ۱)، تغییرات نهایی را بر روی ارزش‌های مورد نظرشان اعمال و گزینه‌های مدنظر را ارائه کنند و در نهایت با به دست آوردن میانگین هندسی پاسخ‌ها و با

8. Expert Choice
9. Excel
10. Nominal Group Technique
11. Criteria
12. Goal
13. Alternatives

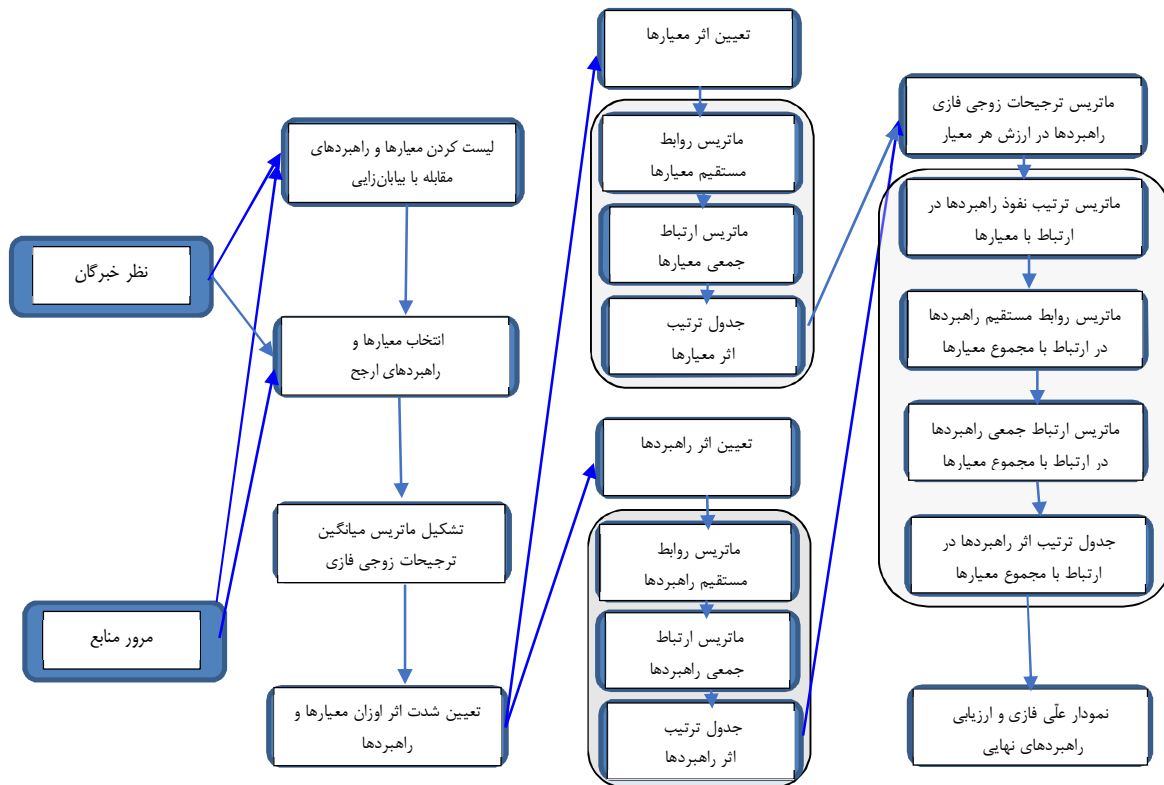
1. Gabus and Fontela
2. Tzeng and Huang
3. Battelle Memorial
4. Lee
5. Lin
6. Do and Shih
7. Yang

قرار گرفت (قدسی پور، ۲۰۱۶؛ صادقی روش و خسروی، ۲۰۱۵؛ صادقی روش و خسروی، ۲۰۱۶)

$$\bar{a}_{ij} = \left(\prod_{k=1}^N a_{ij}^k \right)^{\frac{1}{N}} \quad (1)$$

(k) \bar{a}_{ij} : مؤلفه مربوط به شخص kام برای ترجیح عنصر آم نسبت به عنصر jام، \bar{a}_{ij} : میانگین هندسی مقایسات زوجی کارشناسان.

فرض اینکه نظرات تمامی کارشناسان از درجه اهمیت یکسانی برخوردار است، از رابطه (۱)، اقدام به برآورد امتیازات نهایی هر گزینه شد (قدسی پور، ۲۰۱۶؛ آذر و رجبزاده، ۲۰۱۸). در ادامه مواردی که دارای امتیازات کمتر از هفت بودند، حذف و معیارها و راهبردهای باقی مانده به عنوان معیارها و راهبردهای مؤثر، به منظور تعیین رتبه نهایی راهبردها در مدل دیماتل فازی مدنظر



شکل (۲): فلودیاگرام روش دیماتل فازی به منظور ارزیابی راهبردهای بیابانزدایی

Figure (2): Flow diagram for fuzzy topsis method to evaluate the combat-desertification alternatives

برآورد وزن نسبی معیارها و راهبردها از روش دلفی فازی و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گروهی پس از مشخص شدن معیارها و راهبردهای مؤثر به منظور دستیابی به وزن نسبی^۳، پرسشنامه دوم تحت عنوان پرسشنامه مقایسات زوجی شکل گرفت و عناصر تصمیم در هر سطح بر اساس میزان اهمیت و اولویت آنها در ارتباط با هدف و معیارهای و زیرمعیارهای کنترلی سطوح دیگر دو به دو با سه عدد کمینه، محتمل و بیشینه یا اعداد مثلثی فازی (روابط ۲ و ۳

در پژوهش حاضر در طراحی پرسشنامه، روایی^۱ صوری با بهره‌مندی از نظر خبرگان علمی و کارشناسان در طراحی پرسشنامه حاصل شد. از سوی دیگر به منظور اطمینان از پایایی^۲ سؤالات پرسشنامه از روش آلفای کرونباخ استفاده شد و ضریب ۰/۸۹۲ برای پرسشنامه ارجحیت معیارها و ضریب ۰/۹۳۹ برای پرسشنامه اولویت راهبردها برآورد شد که نشانگر پایایی بالا در طراحی هر دو پرسشنامه بود.

در این رابطه، $M_{ij}^k =$ مؤلفه فازی مربوط به گروه k ام برای مقایسه زوجی اولویت گزینه i ام نسبت به j ام است. $\tilde{a}_{ij}^T =$ مؤلفه فازی مربوط به شخص i ام برای مقایسه زوجی اولویت راهبرد یا معیار i ام نسبت به j ام است.

$T =$ تعداد اعداد فازی مثلثی ارائه‌شده توسط پرسش‌شوندگان در مقایسات زوجی راهبردها یا معیارها. بنابراین M_{ij}^k یا میانگین هندسی برای تمامی مؤلفه‌های فازی متناظر از رابطه (۴) به دست می‌آید (زارع و احمدی ناصری، ۱۳۸۶).

بعد از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گروهی فازی، به‌منظور اعمال نظرات نهایی متخصصان، ماتریس مذکور مابین جامعه آماری توزیع و از آنها خواسته شد که با توجه به انحرافات پاسخ‌هایشان از میانگین، تغییرات نهایی را بر روی ارزش‌های مورد نظرشان اعمال کنند، در نهایت با به دست آوردن میانگین هندسی امتیازات داده‌شده (رابطه ۳) ماتریس‌های نهایی مقایسات زوجی گروهی حاصل شد (جدول ۱).

جدول (۱): ماتریس میانگین مقایسه زوجی فازی

M=	M_{11}^k	M_{12}^k	$M_{1 n_k-1}^k$
	M_{21}^k	M_{22}^k	$M_{2 n_k-1}^k$
	:	:	:	:
	$M_{n_k-1 1}^k$	$M_{n_k-1 2}^k$	$M_{n_k-1 n_k-1}^k$

نکته مهم در قضاوت‌ها و مقایسه‌های زوجی در چهارچوب پرسشنامه مقایسات زوجی، سنجش پایایی می‌باشد زیرا افراد ممکن است در قضاوت‌های خود به‌صورت ضد و نقیض عمل کنند. در این رابطه، پرفسور ساعتی برای محاسبه پایایی پرسشنامه مقایسات زوجی ضریبی به نام نرخ ناسازگاری $(IR)^3$ را پیشنهاد می‌کند که از تقسیم شاخص سازگاری $(C.I)^3$ به شاخص تصادفی بودن $(I.I.R)^4$ حاصل می‌شود (رابطه ۶).

$$IR = \frac{C.I}{I.I.R} \quad (6)$$

نرخ ناسازگاری برای هر ماتریس مقایسه زوجی محاسبه و ارائه می‌شود که اگر از ۰/۱ فراتر رود، آن قضاوت ناسازگار است و در نحوه قضاوت باید تجدید نظر شود (ساعتی، ۲۰۰۸).

و شکل (۳) مورد مقایسات زوجی^۱ قرار گرفت. بدین ترتیب ماتریس مقایسات زوجی فازی هر متخصص در زمینه اهمیت معیارها و اولویت راهبردها بر مبنای شکل کلی ماتریس مقایسه زوجی در فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره شکل گرفت (آذر و فرجی، ۲۰۱۶؛ زارع و احمدی ناصری، ۱۳۸۶).

$$\tilde{a}_{ij}^t = (l_{ij}^t, m_{ij}^t, u_{ij}^t), \quad (2)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n_k, \quad t = 1, 2, \dots$$

$$\tilde{a}_{ji}^t = \left(\frac{1}{u_{ij}^t, m_{ij}^t, l_{ij}^t} \right), \quad (3)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n_k, \quad t = 1, 2, \dots$$

در این رابطه:

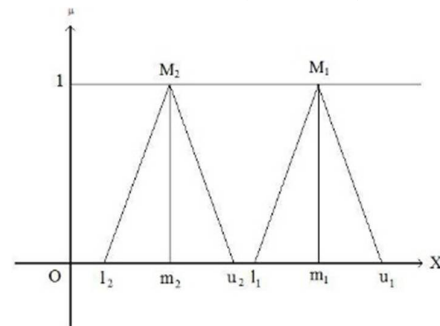
$\tilde{a}_{ij}^t =$ مؤلفه فازی مربوط به شخص i ام برای مقایسه زوجی اولویت راهبرد یا معیار i ام نسبت به j ام است.

$\tilde{a}_{ji}^t =$ مؤلفه فازی مربوط به شخص i ام برای مقایسه زوجی اولویت راهبرد یا معیار i ام نسبت به j ام است.

$l_{ij}^t =$ عدد کمینه فازی شخص i ام در مقایسه زوجی اولویت راهبرد یا معیار i ام نسبت به j ام است.

$m_{ij}^t =$ عدد محتمل فازی شخص i ام در مقایسه زوجی اولویت راهبرد یا معیار i ام نسبت به j ام است.

$u_{ij}^t =$ عدد بیشینه فازی شخص i ام در مقایسه زوجی اولویت راهبرد یا معیار i ام نسبت به j ام است.



شکل (۳): نمایش دو عدد فازی مثلثی

Figure (3): presentation of two triangular fuzzy numbers

در ادامه با استفاده از روش میانگین هندسی و با فرض یکسان بودن رأی تمام افراد پرسش‌شونده، از رابطه (۴) اقدام به تلفیق ماتریس مقایسات زوجی فازی هر متخصص و تشکیل ماتریس میانگین یا ماتریس مقایسات زوجی از نظر گروه شد.

$$M_{ij}^k = \frac{1}{T} (\tilde{a}_{ij}^1 + \tilde{a}_{ij}^2 + \dots + \tilde{a}_{ij}^T) \quad (4)$$

2. Inconsistency Ratio
3. Consistency Index
4. Random Inconsistency Index

فازی (جدول ۳) به دست آمد. ماتریس ارتباط جمعی نشان‌دهنده اثر نسبی حاکم بر روابط مستقیم و غیرمستقیم موجود در سیستم است (رابطه ۱۲).

$$[\tilde{l}_{ij}^m] = \tilde{x}_l \times (I - \tilde{x}_l)^{-1} \quad (9)$$

$$[\tilde{m}_{ij}^m] = \tilde{x}_m \times (I - \tilde{x}_m)^{-1} \quad (10)$$

$$[\tilde{u}_{ij}^m] = \tilde{x}_u \times (I - \tilde{x}_u)^{-1} \quad (11)$$

$$\tilde{T} = \lim_{K \rightarrow \infty} (\tilde{X} + \tilde{X}^2 + \dots + \tilde{X}^K) \quad (12)$$

جدول (۳): ماتریس ارتباط جمعی فازی

Table (3): Fuzzy mass communication matrix

					\tilde{D}_i
$\tilde{T}_{ij} =$	\tilde{t}_{11}^k	\tilde{t}_{12}^k	...	\tilde{t}_{1nk}^k	\tilde{D}_1
	\tilde{t}_{21}^k	\tilde{t}_{22}^k	...	\tilde{t}_{2nk}^k	\tilde{D}_2
	:	:	:	:	:
	\tilde{t}_{nk}^k	\tilde{t}_{nk}^k	...	\tilde{t}_{nknk}^k	\tilde{D}_n
\tilde{R}_i	\tilde{R}_1	\tilde{R}_2	...	\tilde{R}_n	
	$\tilde{t}_{ij} = (l_{ij}^m, m_{ij}^m, u_{ij}^m)$				

در ماتریس ارتباط جمعی فازی معیارها، جمع سطری (\tilde{D}_i) و ستونی (\tilde{R}_i) درایه‌ها و مجموع ($\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$) و تفاضل ($\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$) برای هر یک از عوامل سیستم، نشانگر اهمیت (وزن) آن عامل در سیستم است. مقدار \tilde{D}_i برای هر عامل نشانگر میزان تأثیرگذاری آن عامل بر سایر عامل‌های سیستم و مقدار (\tilde{R}_i) متناظر با آن بیانگر شدت تأثیرپذیری عامل مذکور از سایر عوامل سیستم است. بنابراین $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ مشخص‌کننده مجموع تأثیر و تأثر عامل مورد نظر در سیستم است؛ به عبارتی، عامل دارنده بیشترین مقدار $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ دارای بیشترین تعامل با سایر عوامل سیستم است. مقدار نهایی تأثر یا مقدار صرفاً اثرگذاری هر عامل بر مجموعه دیگر عوامل سیستم نیز از تفاضل $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ حاصل می‌شود، به گونه‌ای که:

عامل، یک تأثیرگذار قطعی است

$$\tilde{D}_i > \tilde{R}_i \Rightarrow \tilde{D}_i - \tilde{R}_i > 0 \Rightarrow$$

عامل، یک تأثیرپذیر قطعی است

$$\tilde{R}_i > \tilde{D}_i \Rightarrow \tilde{R}_i - \tilde{D}_i < 0 \Rightarrow$$

\Rightarrow

بدین ترتیب متناسب با میزان تأثیر و تأثر هر معیار در ارتباط با سایر معیارها، جدول ترتیب اثر معیارها بر یکدیگر در ارتباط با هدف برآورد شد. در اینجا به منظور سهولت در

در پژوهش حاضر نرخ ناسازگاری از رابطه (۶) برای تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی مابین ۰/۰۳ تا ۰/۰۷ برآورد شد که کمتر از ۰/۱ قابل قبول ساعتی است و نشان داد که قضاوت‌های انجام شده از پایایی مناسبی برخوردار است.

روایی پرسشنامه از یک جهت، نوعی اعتبار منطقی یا محتوایی است که به روش به کار گرفته شده برمی‌گردد. در روش مقایسه زوجی، تمام عوامل با هم سنجیده می‌شوند. این عمل خود تمام احتمالات مرتبط را در رابطه با در نظر گرفته نشدن یک معیار یا سؤال از بین می‌برد. از سوی دیگر در روش دیمتل فازی از آنجا که معیارها و راهبردهای مورد مقایسه زوجی از نتایج حاصل از پرسشنامه اول حاصل شده‌اند، ارزیابی روایی در این مورد موضوعیتی پیدا نمی‌کند.

تعیین شدت اثر اوزان معیارها و راهبردها

- تعیین اثر معیارها بر یکدیگر در ارتباط با هدف

پس از ایجاد ماتریس میانگین مقایسه زوجی معیارها، حال باید این ماتریس به ماتریس رابطه مستقیم و جمعی نرمال‌شده اولیه (جدول ۲) تبدیل شود، به این منظور جمع سطری درایه‌های بیشینه ماتریس میانگین محاسبه و ماتریس میانگین در معکوس بیشینه مقدار حاصل جمع‌های سطری به دست آمده (λ) ضرب شد تا ماتریس \tilde{X} که نشانگر شدت اثر نسبی حاکم بر رابطه‌های مستقیم موجود در سیستم است، از رابطه (۷) به دست آید (جدول ۲).

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l_{ij}}{r}, \frac{m_{ij}}{r}, \frac{u_{ij}}{r} \right) \quad (7)$$

که r از رابطه (۸) برآورد می‌شود.

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \quad (8)$$

جدول (۲): ماتریس رابطه مستقیم نرمال‌شده

Table (2): Normalized direct relationship matrix

	\tilde{x}_{11}^k	\tilde{x}_{12}^k	...	\tilde{x}_{1nk-1}^k
$\tilde{X} =$	\tilde{x}_{21}^k	\tilde{x}_{22}^k	...	\tilde{x}_{2nk-1}^k
	:	:	:	:
	\tilde{x}_{nk1}^k	\tilde{x}_{nk2}^k	...	\tilde{x}_{nknk-1}^k

پس از شکل‌گیری ماتریس رابطه مستقیم نرمال‌شده (جدول ۲)، با استفاده از مؤلفه‌های این ماتریس و روابط ۹ تا ۱۱، مؤلفه‌های ماتریس ارتباط جمعی در محیط نرم‌افزار صفحه گسترده اکسل برآورد شد و به این ترتیب ماتریس ارتباط جمعی

ارزش تأثیر راهبردها نسبت به هر معیار

$$\bar{P}_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij}}{N} \quad (15)$$

جدول (۴): ماتریس مقایسات زوجی راهبردها نسبت به هر معیار در

ارزش همان معیار

Table (4): The pairwise comparisons matrix of the strategies in relation with each criterion in the value of that criterion

		Alt			
		A ₁	A ₂	...	A _m
P _{ij} =	A ₁	P ₁₁	P ₁₂	...	P _{1m}
	A ₂	P ₂₁	P ₂₂	...	P _{2m}
	:	:	:	:	:
	A _m	P _{m1}	P _{m2}	...	P _{mm}

در این ماتریس m = تعداد راهبردها، و P_{ij} = ترجیح اندازه‌های زوجی راهبردها در هر شاخص است.

جدول (۵): ماتریس مقایسات زوجی میانگین ارزش تأثیر راهبردها در

مجموع معیارها

Table (5): The pairwise comparisons matrix of the average value of the effect of strategies in the sum of the criteria

		Alt			
		A ₁	A ₂	...	A _m
$\bar{P}_{ij} =$	A ₁	\bar{P}_{11}	\bar{P}_{12}	...	\bar{P}_{1m}
	A ₂	\bar{P}_{21}	\bar{P}_{22}	...	\bar{P}_{2m}
	:	:	:	:	:
	A _m	\bar{P}_{m1}	\bar{P}_{m2}	...	\bar{P}_{mm}

در این ماتریس m = تعداد راهبردها، و \bar{P}_{ij} = ترجیح نرمال اندازه‌های زوجی راهبردها در هر شاخص

در نهایت یک نمودار علی یا نمودار اثرگذاری-اثرپذیری که شامل یک دستگاه مختصات دکارتی می‌شود، به گونه‌ای که محور طولی آن برحسب مقادیر $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def}$ و محور عرضی آن برحسب $(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def}$ مدرج باشد، بر مبنای جدول ترتیب نفوذ راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با مجموع معیارها، تشکیل، و موقعیت هر یک از راهبردهای موجود با نقطه‌ای به مختصات $(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def}$, $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def}$ در این دستگاه معین شد. در این دستگاه نقاطی که بالای خط افقی قرار گیرند، نشانگر راهبردهای اثرپذیر و بالعکس و نقاطی که در سمت راست خط عمودی قرار گیرند، نشانگر راهبردهای اثرگذار و بالعکس می‌باشند (شکل ۵) (نجیب و همکاران، ۲۰۱۷؛ عبدالله و همکاران، ۲۰۱۹؛ آیسین و کایا، ۲۰۲۱).

تحلیل یافته‌ها اقدام به فازی‌زدایی^۱ مقادیر D+R و D-R از رابطه مرکز سطح^۲ یا BNP^۳ شد (رابطه ۱۳).

$$BNP_{ij} = l_{ij} + \frac{(u_{ij}-l_{ij})+(m_{ij}-l_{ij})}{3} \quad (13)$$

- تعیین اثر راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با هر معیار

در این مرحله نیز همانند مرحله قبل به منظور تعیین راهبردهای مؤثر و تعیین مقدار اثر هر کدام از آن‌ها، ماتریس میانگین یا ماتریس مقایسات زوجی فازی گروهی راهبردها نسبت به هر معیار، مدنظر قرار گرفت و پس از برآورد ماتریس رابطه مستقیم و ماتریس ارتباط جمعی، جداول ترتیب نفوذ راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با هر معیار برآورد شد. در اینجا مشاهده می‌شود که تأثیرگذاری هر راهبرد در ارتباط با هر معیار متفاوت است، لذا به منظور تعیین اثر راهبردها در دستیابی به هدف، طی مراحل ذیل تعیین اثر راهبردها در ارتباط با مجموع معیارها مدنظر قرار گرفت.

- تعیین اثر راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با مجموعه

معیارها و تعیین مؤثرترین راهبردها در دستیابی به هدف به منظور تعیین اثر راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با مجموعه معیارها، در ابتدا ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی راهبردها نسبت به هر معیار (M_{ij}) (جدول ۱)، در ارزش همان معیار (W_j)، از رابطه (۱۴) به دست آمد (جدول ۴) و سپس بر مبنای این جداول، ماتریس مقایسات زوجی میانگین ارزش تأثیر راهبردها در مجموع معیارها، طی رابطه (۱۵) برآورد شد (جدول ۵). در ادامه در چهارچوب روش دیماتل فازی و بر مبنای ماتریس میانگین حاصل شده (جدول ۵) ماتریس رابطه مستقیم و ماتریس ارتباط جمعی محاسبه شد و جدول ترتیب نفوذ راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با مجموع معیارها شکل گرفت.

$$P_{ij} = M_{ij} * W_j \quad (14)$$

W_j = مقدار نهایی فازی‌زدایی شده تأثیر هر معیار بر مجموعه دیگر معیارهای سیستم $(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def}$
 M_{ij} = ماتریس میانگین فازی مقایسات زوجی گروهی

1. defuzzification
2. Center of area
3. Best Non-fuzzy Performance

نتایج

ارائه راهبردهای بهینه بیابان‌زدایی، ماتریس‌های میانگین مقایسات زوجی فازی گروهی، از روش دلفی فازی به دست آمد. در اینجا به‌منظور جلوگیری از اطاله کلام فقط ماتریس مقایسات زوجی فازی معیارها نسبت به هدف ارائه راهبرد بهینه مقابله با بیابان‌زایی (جدول ۶) و ماتریس مقایسات زوجی فازی گروهی اولویت راهبردها نسبت به معیار زمان بیان می‌شود (جدول ۷). ماتریس‌های فازی اولویت راهبردها نسبت به سایر معیارها نیز همانند جدول (۷) شکل گرفت.

همچنان که در جدول (۶) و (۷) ملاحظه می‌شود نسبت ناسازگاری در تمامی جداول و مقایسات زوجی کمتر از ۰/۱ برآورد شده که نشان از سازگاری مقایسات دارد.

در فرایند ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی، ابتدا به‌منظور شناخت معیارها و راهبردهای مهم و اولویت‌دار از نظر گروه از میان مجموع معیارها و راهبردهای پیشنهادی، از روش دلفی و تهیه پرسشنامه استفاده شد و از میان ۱۶ معیار و ۴۰ راهبرد نهایی نظرخواهی شده به‌منظور مقابله با بیابان‌زایی، راهبردها و معیارهای مهم و اولویت‌دار از نظر گروه انتخاب و پرسشنامه مقایسات زوجی فازی تهیه شد (صادق‌روش و خسروی، ۲۰۲۱). پس از مشخص شدن معیارها و راهبردهای مهم و اولویت‌دار از نظر گروه، به‌منظور برآورد وزن نسبی معیارها و راهبردها برای دستیابی به هدف

جدول (۶): ماتریس میانگین مقایسات زوجی فازی اهمیت معیارها نسبت به هدف ارائه راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی

Table (8): The Fuzzy pairwise comparison average matrix of the significance of criteria in relation to the objective of presenting optimal strategies for de-desertification

C _{۱۶}	C _۷	C _۶	C _۵	C _۲	O
۰/۲۳، ۰/۳۲، ۰/۳۸	۰/۲۷، ۰/۳، ۰/۳۳	۰/۴۱، ۰/۴۹، ۰/۶۰	۰/۶۷، ۰/۷۶، ۰/۸۹	۰، ۰، ۰	C _۲
۰/۲۹، ۰/۳۳، ۰/۳۵	۰/۳۶، ۰/۳۹، ۰/۴۱	۰/۵۴، ۰/۵۷، ۰/۶۰	۰، ۰، ۰	۱/۱۲، ۱/۳۱، ۱/۵	C _۵
۰/۳۵، ۰/۴۳، ۰/۵۸	۰/۳۴، ۰/۳۹، ۰/۴۶	۰، ۰، ۰	۱/۶۶، ۱/۷۴، ۱/۸۶	۲/۶۵، ۳/۰۸، ۴/۳۴	C _۶
۰/۵۹، ۱/۲۴، ۱/۹۱	۰، ۰، ۰	۲/۱۷، ۲/۵۵، ۲/۹۳	۲/۴۳، ۲/۵۵، ۲/۷۸	۳/۰۵، ۳/۳۸، ۳/۷۱	C _۷
۰، ۰، ۰	۰/۵۲، ۰/۸۱، ۱/۶۰	۱/۷۱، ۲/۳۳، ۲/۸۷	۲/۸۷، ۳/۰۷، ۳/۴۰	۲/۶۵، ۳/۰۸، ۴/۳۴	C _{۱۶}

ضریب سازگاری (CR)=۰/۰۳۵

جدول (۷): ماتریس میانگین مقایسات زوجی فازی اولویت راهبردها نسبت به معیار زمان

Table (9): The Fuzzy pairwise comparison average matrix of the priority of alternatives in relation with the criterion of Time

A _{۳۳}	A _{۳۱}	A _{۳۲}	A _{۲۰}	A _{۱۸}	C _۲
۱/۰۸، ۱/۲۳، ۱/۴۲	۰/۷۸، ۱/۰۶، ۱/۳۵	۰/۵۴، ۰/۶۸، ۰/۹۵	۱، ۱/۰۸، ۱/۲	۰، ۰، ۰	A _{۱۸}
۰/۸۳، ۱/۴۷، ۰/۴	۰/۸۸، ۱/۶۴، ۲/۲۴	۰/۷۲، ۰/۸۱، ۰/۹۲	۰، ۰، ۰	۰/۸۳، ۰/۹۳، ۱	A _{۲۰}
۱/۱۸، ۱/۳۴، ۱/۵۳	۱/۳۰، ۱/۳۹، ۱/۵	۰، ۰، ۰	۱/۰۹، ۱/۲۳، ۱/۳۸	۱/۰۵، ۱/۴۶، ۱/۸۶	A _{۳۳}
۰/۹۴، ۱/۰۹، ۱/۱۶	۰، ۰، ۰	۰/۶۷، ۰/۷۲، ۰/۷۷	۰/۴۵، ۰/۶۱، ۱/۱۴	۰/۷۴، ۰/۹۴، ۱/۲۸	A _{۳۱}
۰، ۰، ۰	۰/۸۶، ۰/۹۲، ۱/۰۶	۰/۶۵، ۰/۷۵، ۰/۸۵	۰/۲۵، ۰/۶۸، ۱/۲	۰/۷، ۰/۸۱، ۰/۹۳	A _{۳۲}

ضریب سازگاری (CR)=۰/۰۵۷

در ارتباط با هدف برآورد شد (جدول ۸). مطابق جدول (۸) مؤثرترین معیار در ارائه راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی، معیار تناسب و سازگاری با محیط‌زیست (C_۷) با شدت اثرگذاری $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def} = ۰/۸۷۴$ ، و تخریب منابع و خسارات محیطی و انسانی (C_{۱۶}) با شدت اثرگذاری $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def} = ۰/۸۰۲$ ، ارزیابی شد و ابزارهای علمی و تکنولوژیکی (C_۵)، با شدت اثرگذاری $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def} = -۰/۶۳۰$ و زمان (C_۲)، با شدت اثرگذاری $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def} = -۰/۹۱۴$ کم‌اثرترین معیار برآورد شدند.

در این مرحله به‌منظور تعیین معیارهای مؤثر و میزان اثر آنها مطابق ادبیات تحقیق با در نظر گرفتن ماتریس میانگین فازی ترجیحات معیارها در ارتباط با هدف (جدول ۶)، ماتریس رابطه مستقیم که نشانگر شدت اثر نسبی حاکم بر رابطه‌های مستقیم موجود در سیستم است، از رابطه (۷) محاسبه و ماتریس ارتباط جمعی فازی که نشانگر شدت اثر نسبی حاکم بر روابط مستقیم و غیرمستقیم موجود در سیستم است، از رابطه (۹) تا (۱۱) برآورد شد. بدین ترتیب متناسب با میزان تأثیر و تأثر هر معیار در ارتباط با سایر معیارها، جدول ترتیب اثر معیارها بر یکدیگر

جدول (۸): ماتریس ترتیب اثر معیارها بر یکدیگر در ارتباط با هدف

Table (10): The order of the effect of criteria on each other in relation to the objective

معیارها	\bar{R}_i	\bar{D}_i	$(\bar{D}_i + \bar{R}_i)$	$(\bar{D}_i - \bar{R}_i)$	$(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def}$	$(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def}$
C_7	۱/۰۱۰، ۱/۱۹۹، ۱/۴۹۰	۰/۲۷۳، ۰/۳۱۵، ۰/۳۶۸	۱/۲۸۳، ۱/۵۱۴، ۱/۸۵۸	-۱/۲۱۷، -۰/۸۸۴، -۰/۶۴۲	۱/۵۵۲	-۰/۹۱۴
C_8	۰/۹۱۷، ۱/۰۰۲، ۱/۱۳۵	۰/۳۵۲، ۰/۳۷۳، ۰/۴۳۶	۱/۲۶۸، ۱/۳۷۷، ۱/۵۷۱	-۰/۷۸۳، -۰/۶۲۷، -۰/۴۸۱	۱/۴۰۵	-۰/۶۳۰
C_9	۰/۶۰۷، ۰/۷۲۴، ۰/۸۹۵	۰/۵۲۴، ۰/۶۰۰، ۰/۷۰۵	۱/۱۳۱، ۱/۳۲۴، ۱/۶۰۰	-۰/۳۷۱، -۰/۱۲۳، -۰/۰۹۸	۱/۳۵۲	-۰/۱۳۲
C_{10}	۰/۲۶۶، ۰/۳۱۸، ۰/۴۰۲	۰/۹۸۲، ۱/۱۸۹، ۱/۴۳۹	۱/۲۴۸، ۱/۵۰۶، ۱/۸۴۱	۰/۵۸۰، ۰/۸۷۱، ۱/۱۷۳	۱/۵۳۲	۰/۸۷۴
C_{16}	۰/۲۵۸، ۰/۳۶۱، ۰/۴۸۲	۰/۹۲۶، ۱/۱۲۴، ۱/۴۵۷	۱/۱۸۴، ۱/۴۸۵، ۱/۹۳۹	۰/۴۴۴، ۰/۷۶۳، ۱/۱۹۹	۱/۵۳۶	۰/۸۰۲

در ادامه با در نظر گرفتن ماتریس‌های میانگین فازی نفوذ راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با هر معیار، برآورد شد که مقایسات راهبردها نسبت به هر معیار (جدول ۷)، ماتریس‌های رابطه مستقیم و ماتریس‌های ارتباط جمعی، به‌منظور تعیین اثر راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با معیار زمان (C_7) ارائه شد راهبردها به نسبت هر معیار به انجام رسید و ماتریس‌های ترتیب (جدول ۹).

جدول (۹): ماتریس ترتیب نفوذ راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با معیار زمان (C_7)

Table (7): The order of the influence of strategies on each other with relation to the criterion of Time (C_7)

راهبردها	\bar{R}_i	\bar{D}_i	$(\bar{D}_i + \bar{R}_i)$	$(\bar{D}_i - \bar{R}_i)$	$(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def}$	$(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def}$
A_{17}	۰/۵۹۵، ۰/۳۹۲، ۰/۸۳۶	۰/۹۲۹، ۱/۱۲۳، ۱/۳۹۸	۱/۵۲۴، ۱/۵۱۵، ۲/۲۳۴	۰/۰۹۳، ۰/۴۳۱، ۰/۸۰۳	۱/۸۵۸	۰/۴۴۲
A_{18}	۰/۷۱۵، ۰/۸۹۴، ۱/۱۲۸	۰/۷۲۳، ۰/۸۸۲، ۱/۱۴۴	۱/۴۳۸، ۱/۷۷۷، ۲/۲۷۱	-۰/۴۰۴، -۰/۰۱۲، ۰/۴۲۹	۱/۸۲۹	۰/۰۰۴
A_{33}	۰/۸۳۳، ۱/۰۷۱، ۱/۷۷۰	۰/۵۷۰، ۰/۷۲۵، ۰/۹۸۴	۱/۴۰۳، ۱/۷۹۶، ۲/۷۵۵	-۱/۲۰۰، -۰/۳۴۶، ۰/۱۵۲	۱/۹۸۵	-۰/۴۶۵
A_{20}	۰/۶۱۴، ۰/۷۹۸، ۱/۱۹۶	۰/۷۰۵، ۱/۰۱۴، ۱/۷۱۳	۱/۳۱۹، ۱/۸۱۲، ۲/۹۰۹	-۰/۴۹۱، ۰/۲۱۵، ۱/۰۹۹	۲/۰۱۳	۰/۲۷۴
A_{31}	۰/۷۹۷، ۱/۰۴۶، ۱/۳۴۶	۰/۶۲۷، ۰/۷۵۸، ۱/۰۳۶	۱/۴۲۴، ۱/۸۰۴، ۲/۳۸۲	-۰/۷۱۹، -۰/۲۸۹، ۰/۲۳۹	۱/۸۷۰	-۰/۲۵۶

مطابق این جداول ملاحظه شد که برحسب هر معیار راهبردهای مؤثر متفاوت هستند. لذا برای انتخاب نهایی راهبردها و درجه‌بندی تأثیر آن‌ها، ماتریس ترتیب نفوذ راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با مجموع معیارها از نظر گروه شکل گرفت (جدول ۱۰). در نهایت به‌منظور تفسیر بهتر نتایج، نمودار علی یا تأثیر و تأثر بر مبنای جدول (۱۰) ترسیم شد (شکل ۵).

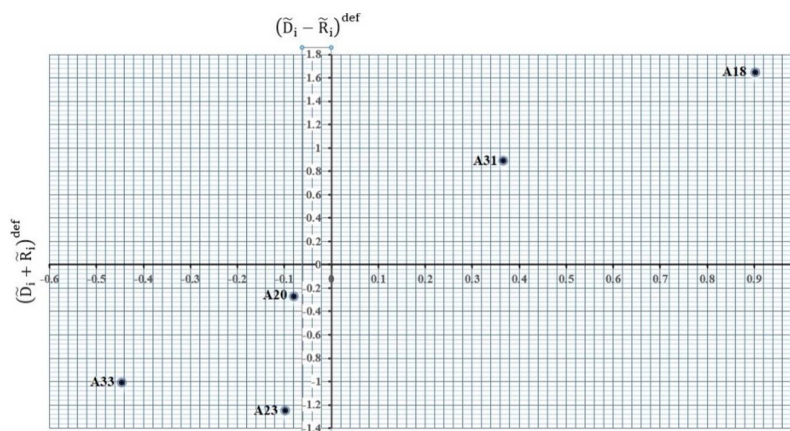
جدول (۱۰): ماتریس ترتیب نفوذ راهبردها بر یکدیگر در ارتباط با مجموع معیارها

Table (10): The matrix of the order of influence of Alternatives on each other in relation to the set of criteria

راهبردها	\bar{R}_i	\bar{D}_i	$(\bar{D}_i + \bar{R}_i)$	$(\bar{D}_i - \bar{R}_i)$	$(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def}$	$(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def}$
A_{17}	۰/۱۴۵، ۰/۳۲۳، ۱/۲۶۲	-۰/۶۲۵، -۰/۶۳۳، -۰/۷۶۷	-۰/۴۸۰، -۰/۳۱۰، ۰/۴۹۶	-۱/۸۸۷، -۱/۹۵۶، -۰/۹۱۲	-۰/۰۹۸	-۱/۲۵۲
A_{18}	-۰/۳۷۱، -۰/۴۱۰، -۰/۳۳۵	۰/۷۷۶، ۱/۱۰۵، ۱/۹۴۲	۰/۴۰۶، ۰/۶۹۵، ۱/۶۰۷	۱/۱۱۰، ۱/۵۱۵، ۲/۳۱۳	۰/۹۰۳	۱/۶۴۶
A_{33}	۰/۳۴۶، ۰/۳۷۶، ۰/۱۲۷	-۰/۴۲۱، -۰/۶۸۱، -۱/۰۸۱	-۰/۰۷۵، -۰/۳۰۵، -۰/۹۵۴	-۰/۵۴۸، -۱/۰۵۸، -۱/۴۲۷	-۰/۴۴۴	-۱/۰۱۱
A_{20}	۰/۱۵۵، ۰/۰۷۰، ۰/۰۶۴	-۰/۱۲۱، -۰/۱۹۴، -۰/۲۰۹	۰/۰۳۴، -۰/۱۲۳، -۰/۱۴۵	-۰/۱۸۶، -۰/۲۶۴، -۰/۳۶۴	-۰/۰۷۸	-۰/۲۷۱
A_{31}	-۰/۳۴۳، -۰/۲۸۳، -۰/۱۵۶	۰/۳۲۴، ۰/۴۸۰، ۱/۰۷۸	-۰/۰۱۹، ۰/۱۹۷، ۰/۹۲۲	۰/۴۸۰، ۰/۷۶۳، ۱/۴۲۱	۰/۳۶۷	۰/۸۸۹

مطابق شکل (۵) ملاحظه شد که راهبرد جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{18}) با شدت تأثیر و تأثر $((\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = ۰/۹۰۳)$ به‌طور قطع تأثیرگذارترین راهبرد به‌منظور دستیابی به هدف است و راهبردهای دیگر به‌ترتیب لحاظ از دید تأثیرگذاری و کاهش تأثیرپذیری راهبردهای تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{31}) با شدت تأثیر و تأثر $((\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = ۰/۳۶۷)$ ، کنترل چرای دام

(A_{20}) با شدت تأثیر و تأثر $((\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = -۰/۰۷۸)$ ، توسعه و احیاء پوشش گیاهی (A_{33}) با شدت تأثیر و تأثر $((\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = -۰/۰۹۸)$ و تغییر الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم‌آبخواه (A_{33}) با شدت تأثیر و تأثر $(-۰/۴۴۴)$ = $((\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def})$ ارزیابی شدند.



شکل (۵): نمودار تأثیر و تأثر یا نمودار علی از راهبردهای مقابله با بیابانزایی بر مبنای مجموعه معیارها

Figure (5): The diagram of the influencing and being influenced or causal diagram of strategies to combat desertification based on a set of criteria

سایر روش‌های ارزیابی راهبرد ذکر شده در ادبیات تحقیق، به جز روش تحلیل شبکه، واجد محدودیت در نظر نگرفتن وابستگی و ارتباط درونی بین معیارها و راهبردها در سطوح تصمیم‌گیری است. در این مدل‌ها فقط معیارها و راهبردها را با ساختار سلسله‌مراتبی و از بالا به پایین سطح‌بندی و اوزان آن‌ها مشخص می‌شود، اما روابط داخلی پیچیده بین معیارها و راهبردها و تأثیر آن‌ها بر دستیابی به هدف نهایی لحاظ نمی‌شود. این در حالی است که در بسیاری از موارد نه تنها معیارها و راهبردها از هم مستقل نیستند، بلکه گاهی اوقات میان بعضی از عوامل روابط وابستگی‌هایی وجود دارد. از این رو برآورد اولویت راهبردها بدون در نظر گرفتن وابستگی‌های درونی منجر به دستیابی به نتایج غیر واقعی خواهد شد (صادقی‌روش، ۲۰۱۶) که لازم است این مهم در پژوهش‌های بعدی و در طراحی ساختار مدل‌های ارزشیابی مورد نظر قرار گیرد.

بر مبنای مدل دیمتل فازی و در چهارچوب روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، به منظور مشارکت معیارها در فرایند تصمیم‌گیری و تعیین اولویت نهایی، اهمیت معیارها به منظور اثر در فرایند مقابله با بیابانزایی برآورد شد (جدول ۶). نتایج حاصل نشان داد که معیارهای تناسب و سازگاری با محیط‌زیست (C_7) با شدت اثرگذاری $(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def} = 0.874$ ، در بالاترین درجه اهمیت قرار دارد و تخریب منابع و خسارات محیطی و انسانی (C_{16}) با شدت اثرگذاری $(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def} = 0.802$ ، منابع انسانی متخصص (C_6)، با شدت اثرگذاری

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، اکثر اوقات شاخص‌های مؤثر مورد غفلت واقع می‌شوند. در عین حال بسیاری از راهبردها و معیارهای مؤثر ساختار کیفی و نامشخصی دارند که نمی‌توانند به دقت اندازه‌گیری شوند. علاوه 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 به عنوان یک مشکل مطرح است. با توجه به پیچیدگی این مسائل برای مقابله با وضعیت چندشاخصه و مبهم، نیاز به یک فرایند تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی^۱ می‌باشد. بنابراین استفاده از معیارهای متعدد و درگیر کردن متخصصان در چهارچوب تئوری فازی یکی از بهترین راه‌ها برای لحاظ همه فاکتورهای مؤثر در فرایند مقابله با بیابانزایی و دستیابی به ماتریس ارزشیابی است. از این رو در این پژوهش از روش چندمعیاره دیماتل فازی استفاده شد.

به رغم مزایای این روش همانند انعطاف‌پذیری، کارایی بالا و سهولت کاربرد، امکان استفاده از نرم‌افزار، ارزیابی راهبردهای مختلف بر مبنای مجموعه معیارهای طبیعی و انسانی به صورت کمی و کیفی، ساختار سلسله‌مراتبی گروهی و امکان تعیین سازگاری قضاوت‌ها، ملاحظه شد که روش دیمتل فازی، همانند

مطابق شکل (۴) ملاحظه می‌شود که راهبرد جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{18})، مؤثرترین راهبرد در فرایند مقابله با بیابان‌زایی است. تغییر نامناسب کاربری اراضی می‌تواند علاوه بر تخریب پناهگاه و زیستگاه حیات وحش، منجر به هدررفت شدید آب، خاک و مواد غذایی شده و در نهایت تخریب عرصه‌های طبیعی را به دنبال داشته باشد (دانشی و همکاران، ۲۰۲۰) در منطقه مطالعاتی، تغییر کاربری اراضی در نتیجه افزایش جمعیت، بیکاری، رشد صنایع و روحیه شهرنشینی به شدت در حال گسترش است. عمدتاً کاربری اراضی به صورت تبدیل اراضی مرتعی به اراضی زراعی و باغی در اثر توسعه چاه‌های عمیق و نیمه عمیق موتوردار، تبدیل اراضی باغی به زراعی در اثر وقوع خشکسالی‌های متوالی و تبدیل اراضی مرتعی به اراضی صنعتی و شهری در اثر رشد صنایع و شهرنشینی در سال‌های اخیر رخ داده است (صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۲۱). در این مورد پیشنهاد می‌شود که آمایش سرزمین و برآورد توان اکولوژیک و انطباق کاربری‌ها با توان زمین، جدی گرفته شود. از تبدیل نامناسب اراضی مرتعی ضعیف به اراضی زراعی با بازده کم و با توان بالقوه زیاد تخریب و فرسایش جلوگیری شود. از توسعه زیرساخت‌های صنعتی و کارگاهی در اراضی حساس و شکننده مناطق بیابانی و حاشیه‌ای خودداری شود.

بنابراین اهتمام به راهبردهای پیشنهادشده از بین طیف وسیعی از راهبردها، می‌تواند به سرعت این اوضاع نابسامان را بهبود بخشیده و ساختاری پایدار در فرایند مقابله با بیابان‌زایی پی‌ریزی کند. در نهایت پیشنهاد می‌شود طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی، مطابق سند راهبردی به دست آمده در منطقه مطالعاتی بر روی استراتژی‌های مربوط به نقش انسان در مدیریت اکوسیستم تأکید کنند تا از هدررفت سرمایه‌های محدود جلوگیری و بازدهی طرح‌های کنترل، احیا و بازسازی بالا رود.

$(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def} = -0/132$ ، ابزارهای علمی و تکنولوژیکی
 (C_5) با شدت اثرگذاری $(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def} = -0/630$ و زمان
 (C_2) با شدت اثرگذاری $(\bar{D}_i - \bar{R}_i)^{def} = -0/914$ ، به ترتیب
 در اولویت‌های بعدی قرار دارند که نشانگر اهتمام کارشناسان و صاحب‌نظران نسبت به مسائل محیط‌زیست و چالش‌های مطرح در زمینه تخریب محیط‌زیست است. در ادامه بر مبنای اولویت معیارها، تأثیر و تأثر راهبردها مورد ارزیابی قرار گرفت، به طور کلی با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی تأثیر راهبردها می‌توان بیان داشت که در صورت اجرای راهبردهای اولویت‌دار، جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{18}) با شدت تأثیر و تأثر $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = 0/903$ ، تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A_{31}) با شدت تأثیر و تأثر $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = 0/367$ ، کنترل چرای دام (A_{20}) با شدت تأثیر و تأثر $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = -0/078$ ، توسعه و احیای پوشش گیاهی (A_{33}) با شدت تأثیر و تأثر $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = -0/098$ و تغییر الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم‌آب‌خواه (A_{32}) با شدت تأثیر و تأثر $(\bar{D}_i + \bar{R}_i)^{def} = -0/444$ ، می‌توان از بیابانی شدن اراضی منطقه جلوگیری و نسبت به احیای اراضی تخریب‌یافته اقدام کرد.

نتایج حاصل‌شده از پژوهش حاضر در رابطه با راهبرد تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{18})، که مانع اصلی عدم توفیق طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی برآورد شد با نتایج پژوهش‌های بسیاری از جمله پژوهش‌های لی و همکاران (۲۰۱۳)، تانگ و همکاران (۲۰۱۳)، بارزانی و خیرالمائینی (۲۰۱۳)، جعفری و همکاران (۲۰۱۴)، زهتاییان و همکاران (۲۰۱۴) و ۲۰۱۵، مرادی و همکاران (۲۰۱۶)، هاشمی‌نسب و جعفری (۲۰۱۸)، بریاسولیز (۲۰۱۹)، که مؤید این موضوع است که تغییر نامناسب کاربری اراضی از موانع اصلی کنترل شرایط بیابانی می‌باشد هماهنگی دارد.

منابع

1. Abdullah, L., Zulkifli, N., Liao, H., Herrera-Viedma, E., Abdullah Al-Barakati, A., 2019. An interval-valued intuitionistic fuzzy DEMATEL method combined with Choquet integral for sustainable solid waste management, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 82, 207-215.
2. Asgharpour, M. J., 2017. Multi criteria decision making, Tehran university press, Tehran, Iran.

3. Ayçin, E., Kaya, S. K., 2021. Towards the circular economy: Analysis of barriers to implementation of Turkey's zero waste management using the fuzzy DEMATEL method. *Waste Management & Research*, 39 (8), 1078-1089.
4. Azar, A., Faraji, H., 2016. *Science of fuzzy management*, Mehraban press, Tehran, Iran.
5. Azar, A., Rajabzadeh, A., 2018. Applied decision making with an approach of Multi-Attribute Decision Making (MADM), Negah Danesh, Tehran, Iran.
6. 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.
7. Barzani, M., Khairulmaini, O. S., 2013. Desertification risk mapping of the Zayandeh Rood basin in Iran. *Journal of Earth System Science*, 122(5), 1269-1282.
8. Briassoulis, H., 2019. Combating land degradation and desertification: The Land-Use Planning Quandary. *Land*, 8(27), 1-26.
9. Daneshi, A., Najafinejad, A., Panahi, M., Zarandian, A., 2020. Projecting land use change effects on habitat quality of Narmab dam basin in Golestan province. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1(1), 120-130.
10. Do, T. H. N., Shih, W., 2016. Destination decision-making process based on a hybrid MCDM model combining DEMATEL and ANP: The Case of Vietnam as a destination. *Modern Economy*, 7, 966-983. Available at: <http://dx.doi.org/10.4236/me.2016.79099>
11. Dregne, H., 1999. Desertification assessment and control in: the United Nations University (Ed.). *New Technologies to Combat Desertification. Proceedings of the International Symposium held in Tehran, Iran.* Available at: <https://archive.unu.edu/env/workshops/iran-1/index.htm>
12. Fontela, E., Gabus, A., 1976. The DEMATEL pilot survey. *Futures*, 8 (4), 379-389.
13. Gabus, A., Fontela, E., 1972. World problems an invitation to further thought within the framework of DEMATEL. Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
14. Gabus, A., Fontela, E., 1973. Perceptions of the world problem Tique: Communication procedure, communicating with that bearing collective responsibility (DEMATEL Report No. 1). Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
15. Gabus, A., Fontela, E., 1974. Structural analysis of the perceptions of the world problematique (DEMATEL Report No. 2). Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
16. Gabus, A., Fontela, E., 1975. Perceptions of the word problem matique: results of a pilot survey (DEMATEL Report No. 3). Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
17. Gabus, A., Fontela, E., 1976. The DEMATEL observer, (DEMATEL Report No. 4). Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
18. Gharachelo, S., Ekhtesasi, M. R., Zareian Jahromi, M., Samadi, M. B., 2021. Evaluation of current condition of desertification using I.C.D Model, case study: Khezrabad, Yazd. *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 17(3), 402-420.
19. Ghodsipour, S. H., 2016. *Analytical Hierarchical Process (AHP)*, Amir Kabir University press, Tehran, Iran.
20. 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.
21. Hasheminasab, S., Jafari, R., 2018. Evaluation of land use changes order to desertification monitoring using remote sensing techniques. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(3), 67-82.
22. Jafary, M., Zehtabian, G., Ehsani, A. H., 2014. Investigation on the changes of desert lands using remote sensing data, Case study: Kashan. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20(4), 644-652.
23. Jiang, L., Jiapaer, G., Bao, A., Kurban, A., Guo, H., Zheng, G., De Maeyer, P., 2019. Monitoring the long-term desertification process and assessing the relative roles of its drivers in Central Asia. *Ecological Indicators*, 104, 195-208.
24. 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. Available at: <https://doi.org/10.3390/land10070702>
25. Lee, W. S., Huang, A. Y., Chang, Y. Y., Cheng, C. M., 2011. Analysis of decision-making factors for equity investment by DEMATEL and analytic network process. *Expert Systems with Applications*, 38 (7), 8375-8383.
26. Li, J., Yang, X., Jin, Y., Yang, Z., Huang, W., Zhao, L., Gao, T., Yo, H., Ma, H., Qin, Z., Xu, B., 2013. Monitoring and analysis of grassland desertification dynamics using landsat images in Ningxia China. *Remote Sensing of Environment*, 138, 19-26.
27. Lin, K., Lin, C., 2008. Cognition map of experiential marketing strategy for ho spring hotels in Taiwan using DEMATEL method. 4th International Conference on natural computation. Jinan, China.
28. Moradi, A. R., Jafari, M., Arzani, H., Ebrahimi, M., 2016. Assessment of land use changes into

- dry land using satellite images and Geographical Information System (GIS). *RS & GIS Techniques for Natural Resources*, 7(1), 89-100.
29. Najib, I., Ghani, A. T. A., Abdullah, L., Ahmad, M. F., 2017. An application of coastal erosion decision problem using interval type-2 FUZZY DEMATEL method. *Journal of Sustainability Science and Management*, 12(2), 204-217.
 30. Saaty, T. L. 1995. *Decision making for leaders*, RWS Publications, USA.
 31. Saaty, T. L., 2008. The analytical hierarchy and analytical network measurement processes: application to decisions under risk. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 1(1), 122-196.
 32. Sadeghiravesh, M. H., 2016. Decision making process to natural resources. Islamic Azad University Publishing, Tehran, Iran.
 33. 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.
 34. Sadeghiravesh, M. H., 2021-b. Application of Interpretive Structural Modelling (ISM) in analyzing obstacles to combat desertification with pathological approach in Yazd province. *Journal of Watershed Management Research*, in press.
 35. Sadeghiravesh, M. H., 2022. Prioritization of combating desertification strategies in Yazd-Kheyr Abad plain by using Cook and Seiford method. *Journal of Water and Soil Science (JWSS)*, in press
 36. Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., 2015. Application of Network Analysis Process (ANP) in assessment of combating desertification strategies. *Desert Ecosystem Engineering Journal (DEEJ)*, 4(8): 11-24.
 37. Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., Ghasemian, S., 2015. Application of Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) for Assessment of combating-desertification alternatives in the central Iran. *Journal of Natural Hazard*, 75, 653-667.
 38. Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., 2016. Evaluation of combat desertification strategies by using Individual Borda Ranking model. *Desert Ecosystem Engineering Journal (DEEJ)*, 5(12), 109-121.
 39. Sadeghiravesh, M. H., Khosravi, H., 2021. Quantitative analysis of combating desertification alternatives using LINMAP model in Lingo software environment. *Desert Management*, 8(16), 57-76.
 40. Sadeghiravesh, M. H., Tahmores, M., 2014. Assessment of Combat Desertification Alternatives Using Fuzzy Topsis Model (FTOPSIS), *Journal of Environmental Science and Engineering*, 3, 79-94.
 41. Sepehr, A., Parvian, N., 2012. Desertification vulnerability mapping and developing combating strategies in the ecosystem of Khorasan Razavi Province using PROMETHEE Algorithm. *Researches in Earth Sciences*, 2(8), 71- 85.
 42. 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.
 43. Tong, S., Sun, Y., Ranatunga, T., He, J., Yang, Y., 2013. Predicting plausible impacts of sets of climate and land use change scenarios on water resource. *Applied Geography*, 32, 477-489.
 44. Tzeng, G., Huang, J., 2011. *Multi attribute decision making: methods and applications*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
 45. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 2017. *The global land outlook*. UNCCD press, Bonn, Germany.
 46. Yang, C. K., Lee, B. J., Lei, T. C., 2014. Assessing the influential factors of fire rescue using DEMATEL method. *International Journal on Innovation, Management and Technology*, 5 (4), 239-243.
 47. Zare, A., Ahmadi Naseri, S. M. 2007. Presentation of stability index using fuzzy AHP sensitivity analysis. *The first conference on fuzzy and intelligent systems*, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
 48. Zehtabian, G. R., Ahmadi, H., Raesi, A., Rahdari, M. R., Khosravi, H., 2014. Quantitative assessment of desertification with emphasis on geo-climatology. *Elixir International Journal*, 68, 22474-22477.
 49. Zehtabian, G. R., Poorreza, M., Khosravi, H., Rahdari, M., 2015. The effects of land use change on land degradation and desertification in Ravansar watershed. *Journal of Arid Regions Geographics Studies*, 4(16), 73-85.

Applying Fuzzy Logic in Quantitative Analysis of Strategies Adopted for Combating Desertification Using Critical Analysis Approach

Mohammad Hassan Sadeghiravesh¹

Received: 11/11/2021

Accepted: 06/02/2022

Extended Abstract

Introduction

As desertification is growing rapidly, adopting appropriate managerial strategies could help reduce its extension and prevent its development and spread. Otherwise, the loss of resources such as time, energy, etc., would bring about destructive consequences for the efforts made to combat desertification. On the other hand, the process of land desertification results from the interactions between various factors that always operate under uncertain conditions, being strongly influenced by vague and implicit judgments. However, no comprehensive method has been introduced yet to offer operational and reliable solutions for evaluating the strategies used for combating desertification based on a systematic collective fuzzy approach. Therefore, this study sought to combine the fuzzy theory with multi-criteria decision-making methods to evaluate the strategies used in combating desertification, using the Fuzzy DEMATEL method.

Materials and methods: The fuzzy DEMATEL technique is a comprehensive method for creating and analyzing a structural model made out of causal relationships between a variety of complex factors under uncertain conditions. Accordingly, after determining the prioritized criteria and strategies via the fuzzy Delphi method and creating a fuzzy mean pair-wise comparison matrix, the matrix was changed to the normalized initial direct-relation matrix according to equation 1:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l_{ij}}{r}, \frac{m_{ij}}{r}, \frac{u_{ij}}{r} \right) \quad (1)$$

Then the mass communication matrix was formed by Eq. 2 (Table 1), showing the relative effect of direct and indirect relationships in a system.

$$\tilde{T} = \lim_{k \rightarrow \infty} (\tilde{X} + \tilde{X}^2 + \dots + \tilde{X}^k) \quad (2)$$

Table (1): Fuzzy Mass Communication Matrix

					\tilde{D}_i
$\tilde{T}_{ij} =$	\tilde{t}_{11}^k	\tilde{t}_{12}^k	...	\tilde{t}_{1nk-1}^k	\tilde{D}_1
	\tilde{t}_{21}^k	\tilde{t}_{22}^k	...	\tilde{t}_{2nk-1}^k	\tilde{D}_2
	:	:	:	:	:
	\tilde{t}_{nk1}^k	\tilde{t}_{nk2}^k	...	\tilde{t}_{nknk-1}^k	\tilde{D}_n
\tilde{R}_i	\tilde{R}_1	\tilde{R}_2	...	\tilde{R}_n	

$$\tilde{t}_{ij} = (l_{ij}^u, m_{ij}^u, u_{ij}^u)$$

In the fuzzy mass communication matrix, the sum line (\tilde{D}_i) indicates the extent of that factor's influence on other system's factors and its corresponding sum column (\tilde{R}_i) suggests the intensity of the influence of other system's factors on that factor. Therefore, $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ determines the total mutual impact of the desired factor and other system's factors on each other, and $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ shows the extent of each factor's final effect (only the effect) on all other system's factors.

1. Associate Professor, Department of Environment, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran; m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir
DOI: 10.22052/deej.2021.11.34.11

Then, the $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ and $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ were de-fuzzed according to Eq.3 to facilitate the analysis of the findings.

$$BNP = l_{ij} + \frac{(u_{ij}-l_{ij})+(m_{ij}-l_{ij})}{3} \quad (3)$$

Finally, a causal diagram (cause and effect) including a Cartesian coordinate system was drawn, with its horizontal and vertical axes being graded based on $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)^{def}$ and $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def}$ values, respectively. $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)^{def}$ is the total de-fuzzed cause and effect, and $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def}$ is the extent of the de-fuzzed effect. Moreover, the position of each existing strategy was determined within the system according to a point whose coordinates were (A: $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)^{def}$, $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def}$). In this system, the points above the horizontal line indicate the effect strategies and vice versa, and the points to the right of the vertical line suggest the cause strategies and vice versa (Fig. 1).

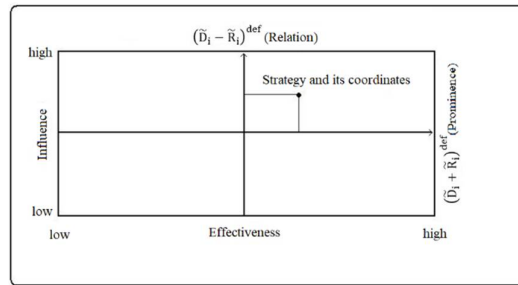


Figure (1): The causal diagram and the display of strategies

Results: According to the related literature, first, the matrix of the order of criteria's influence on each other, and the matrices of the order of strategies' influence on each other were created in terms of the goal and each criterion, respectively, finding that that the effective strategies differed based on each criterion. Therefore, to select final strategies and grade their impact, the matrix of the order of strategies' influence on each other was formed in terms of total criteria within the group.

Table (2): The matrix of the order of influence of strategies on each other in terms of total criteria

Alternatives	\tilde{R}_i	\tilde{D}_i	$(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)$	$(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)$	$(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)^{def}$	$(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def}$
A ₂₃	0.145, 0.323, 1.262	-0.625, -0.633, -0.767	-0.480, -0.31, 0.496	-1.887, -0.956, -0.912	-0.098	-1.252
A ₁₈	-0.371, -0.410, -0.335	0.776, 1.105, 1.942	0.406, 0.695, 1.607	1.110, 1.515, 2.313	0.903	1.646
A ₃₃	0.346, 0.376, 0.127	-0.421, -0.681, -1.081	-0.075, -0.305, -0.954	-0.548, 1.058, -1.427	-0.444	-1.011
A ₂₀	0.155, 0.070, 0.064	-0.121, -0.194, -0.209	0.034, -0.123, -0.145	-0.186, -0.264, -0.364	-0.078	-0.271
A ₃₁	-0.343, -0.283, -0.156	0.324, 0.480, 1.078	-0.019, 0.197, 0.922	0.480, 0.763, 1.421	0.367	0.889

Finally, the causal diagram (cause and effect) was drawn based on Table 2 (Fig. 2) to better interpret the results.

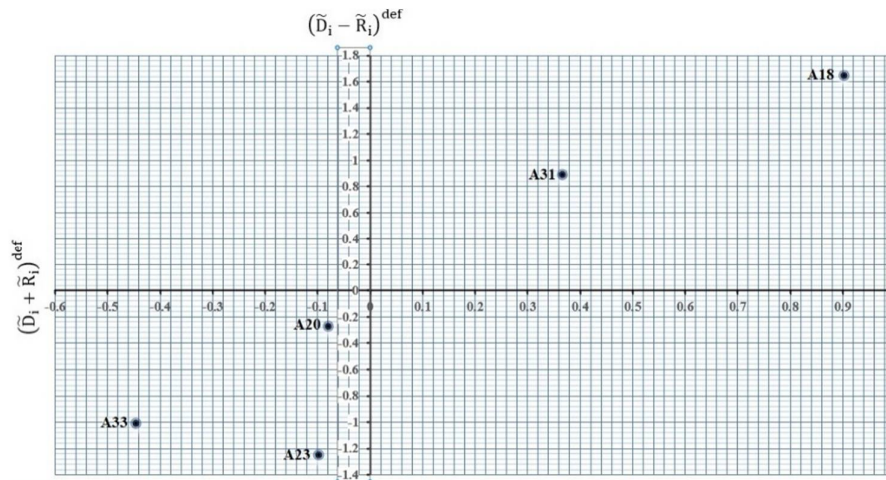


Figure (2): The diagram of cause and effect (causal) strategies to combat desertification based on total criteria

Discussion and Conclusion: According to the study's results, "appropriateness and compatibility with the environment" (C_7) with the intensity effect of $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def} = 0.874$ were the most important criteria based on the Fuzzy DEMATEL perspective, followed by "Destruction of resources, and environmental and human damages" (C_{16}), "Specialized human resources" (C_6), "Scientific and technological tools" (C_5), and "time", with their effect intensity $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def}$ being 0.802, -132, -630, and -0.914, respectively, indicating the experts' concerns for the environmental issues and the existing challenges in terms of the destruction of the environment.

Based on the above-mentioned criteria, "preventing inappropriate land-use change" (A_{18}) with the intensity effect of $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)^{def} = 0.903$ is definitely the most effective strategy to achieve the goal. Moreover, in terms of increasing cause and decreasing effect, other strategies were found to be "Reduction in extracting water from groundwater resources" (A_{31}), "Controlling livestock grazing" (A_{20}), "Developing and restoring the vegetation" (A_{23}), "Changing the irrigation pattern and implementing less water-consuming methods" (A_{33}), whose intensity effect $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)^{def}$ was 0.903, -0.078, -0.098, and -0.444, respectively. Therefore, it is suggested that the results of this study be considered in the plans devised to control and reduce the consequences of desertification and land restoration in the study area. In fact, the current study's findings enable the managers working in desert areas to use limited facilities and assets available to them to effectively control the desertification process, prevent the loss of national assets, and achieve better results.

Keywords: Causal Diagram, Fuzzy DEMATEL Method, Hierarchical Structure, Multi-Criteria Decision Making, Pair-wise Comparison.