

ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی با کاربرد تکنیک بردار ویژه و مدل رتبه‌بندی برناردو

محمدحسن صادقی‌روش^۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴

چکیده

بیابان‌زایی، کاهش توان اکولوژیکی و بیولوژیکی زمین می‌باشد که ممکن است به صورت طبیعی یا غیرطبیعی اتفاق بیفتد. فرایند بیابان‌زایی عمدتاً مناطق خشک را تحت تأثیر قرار داده و با شتابی فزاینده، کارایی سرزمین‌ها را کاهش می‌دهد. از این رو پرداختن به روش‌های بهینه کنترل و کاهش بیابان‌زایی ضروری است. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی به صورت موردی در دشت اردکان- خضراباد انجام گرفت. در انجام این پژوهش، به منظور اجماع نظریات گروهی از روش دلفی استفاده شد و اهمیت معیارها از روش بردار ویژه برآورد شد. در نهایت به منظور انتخاب راهبردها و درجه‌بندی اولویت آن‌ها از روش تصمیم‌گیری برناردو استفاده شد. در چهارچوب این مدل، پس از تأثیر اوزان معیارها در برتری راهبردها در قالب ماتریس توافقی تراکمی و شکل‌گیری مدل تخصیص به‌ازای هر راهبرد، اقدام به حل مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار لینگو و تعیین اولویت راهبردها شد. به‌طور کلی با توجه به نتایج اولویت‌بندی نهایی، بیشترین ارزش از توابع هدف برابر ۶/۷ برآورد شد. بنابراین زیرمجموعه راهبردهای «جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی»، «تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی» و «توسعه و احیاء پوشش گیاهی» به‌عنوان مناسب‌ترین زیرمجموعه از راهبردهای موجود انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، ساختار سلسله‌مراتبی، مدل تصمیم‌گیری برناردو.

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

* این مقاله مستخرج از پژوهش مستقل است.

مقدمه

منابع طبیعی کشور در دهه اخیر مطرح گردیده است. با توجه به محدودیت منابع، حساسیت اکوسیستم‌های مناطق بیابانی و افزایش ضریب موفقیت در اجرای طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی و احیای اراضی تخریب‌یافته، امروزه جای بحثی درباره این موضوع که ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی باید به‌عنوان عامل تعیین‌کننده در پروژه‌های اجرایی مد نظر قرار گیرد، نگذارده است.

با مطالعه منابع تحقیقاتی، پیشینه به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری در ارائه راهبردهای بهینه در چهارچوب مدیریت مناطق بیابانی به کارهای گرایو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۰)، صادقی‌روش و همکاران (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹) و سپهر و پرویان^{۱۱} (۲۰۱۱) محدود می‌شود. گرایو در پژوهش خود با هدف انتخاب راهبردهای بهینه و به‌منظور ارائه طرحی یکپارچه جهت کنترل فرسایش و بیابان‌زایی از سه مدل تصمیم‌گیری، روش حذف و انتخاب سازگار با واقعیت^{۱۲} (ELECTRE)، فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی^{۱۳} (AHP) و روش ساختار یافته رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی‌ها^{۱۴} (PROMETHEE) استفاده کرد (گرایو و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج حاصل، نشانگر کارایی بالای این مدل‌ها در ارائه راهبردهای بهینه مقابله با بیابان‌زایی بود و با وجود روش‌های پیچیده مورد استفاده در هر مدل، نتایج به‌دست‌آمده تا حدود زیادی یکسان بود. صادقی‌روش نیز با کاربرد مدل‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۰)، فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی فازی^{۱۵} (FAHP) (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۵)، تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر اساس تشابه به پاسخ‌های ایدئال^{۱۶} (TOPSIS) (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۲)، تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر اساس تشابه به پاسخ‌های ایدئال فازی^{۱۷} (FTOPSIS) (صادقی‌روش

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). در حال حاضر، بیابان‌زایی به‌عنوان معضل، گریبانگیر بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای در حال توسعه است و با تشدید روند گرم شدن زمین توسعه می‌یابد (گیست^۲، ۲۰۱۷؛ ای پی بی ای اس^۳، ۲۰۱۸؛ یوان سی سی دی، ۲۰۱۷). این پدیده مستقیماً منابع سرزمینی^۴ زیادی از جمله خاک، آب و پوشش گیاهی و بخش‌های اقتصادی، گروه‌ها و نهادهای اجتماعی را در سطوح محلی و جهانی تحت‌تأثیر قرار داده است. منابع سرزمینی و جمعیت‌های انسانی که در معرض بیابان‌زایی و تخریب اراضی قرار گرفته‌اند، مستعد تهدیدات مختلفی از جمله کاهش بهره‌وری زمین، ناامنی غذایی، کمبود و نقصان آب، مشکلات اقتصادی، محرومیت‌های اجتماعی و خطرات سلامتی می‌شوند (بویر^۵ و همکاران، ۲۰۰۹؛ رینولد و استفورد اسمیت^۶، ۲۰۰۲)؛ به‌طوری که یکی از اهداف توسعه پایدار^۷ که در کنفرانس ریو در سال ۲۰۱۲ مطرح شد، «دستیابی به حفاظت، احیا و ترویج استفاده پایدار از اکوسیستم‌های زمینی، مدیریت پایدار جنگل‌ها، مبارزه با بیابان‌زایی، و متوقف و معکوس کردن تخریب اراضی و جلوگیری از کاهش تنوع زیستی می‌باشد» (یونایتد نیشن^۸، ۲۰۱۵). از این‌رو در کنوانسیون سازمان ملل در رابطه با مقابله با بیابان‌زایی (UNCCD) به نقش مهم اقدامات محلی مناسب و درخور، در مقابله با تهدیدات جهانی و بیابان‌زایی و تخریب اراضی تأکید شده است (بریساولیز^۹، ۲۰۱۹)؛ لذا تسریع روند بیابان‌زایی و تخریب آشیان‌های اکولوژیک اکوسیستم‌های طبیعی به‌عنوان یکی از دغدغه‌های اساسی مدیران و برنامه‌ریزان عرصه‌های

10. Grau

11. Sepehr and Peroyan

12. Elimination et Choice Translating Reality (ELECTRE)

13. Analyzes Hierarchy Process (AHP)

14. Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)

15. Fuzzy Analyzes Hierarchy Process (FAHP)

16. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

17. Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)

1. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)

2. Geist

3. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)

4. Land resources

5. Bowyer

6. Reynolds and Stafford-Smith

7. Sustainable Development Goal (SDG)

8. United Nations (UN)

9. Briassoulis

برای ارزشیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی و انتخاب راهبرد(های) بهینه است. برای دستیابی به این هدف، در چهارچوب مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، روش برناردو (چن شاخصه گروهی با مقیاس رتبه‌ای) به‌منظور رتبه‌بندی راهکارهای بیابان‌زدایی مد نظر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

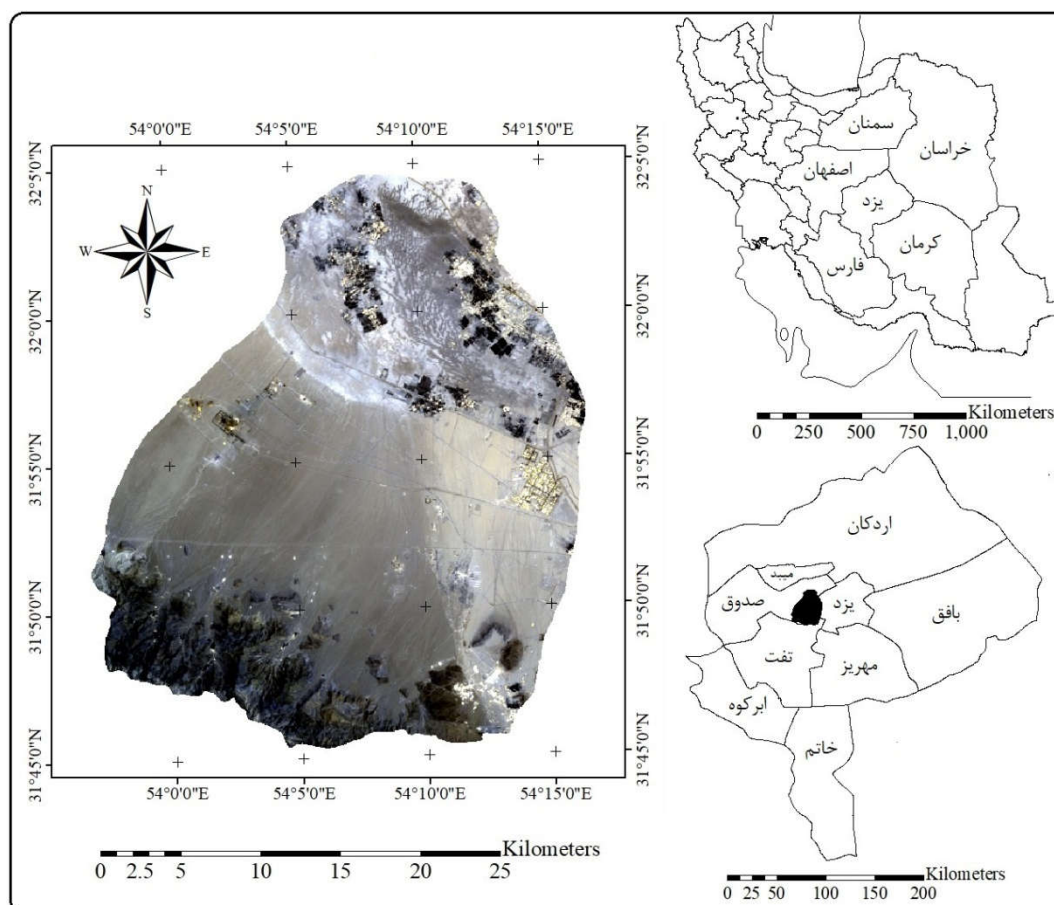
منطقه مورد مطالعه

دشت اردکان - خضرآباد با وسعتی معادل ۷۸۱۸۰ هکتار در ۱۰ کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی $53^{\circ}55'$ الی $54^{\circ}20'$ طول شرقی و $31^{\circ}45'$ الی $32^{\circ}15'$ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱) که از نظر اقلیمی در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه‌بندی می‌شود. متوسط بارندگی سالانه ۱۲۱ میلی‌متر و جهت باد غالب شمال غربی با فراوانی وقوع ۱۶/۹۴٪ و حداکثر سرعت ۱۶/۳ کیلومتر در ساعت می‌باشد. ۱۲۹۳۰ هکتار (۱۶/۵٪) از اراضی منطقه را تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای شکل داده که ارگ^۸ بزرگ اشکذر با انواع رخساره‌های تخریبی و فرسایشی و با وسعتی معادل ۸۹۲۳ هکتار در شمال منطقه، به چشم می‌خورد. منطقه مطالعاتی، قلمرو وقوع طوفان‌های ماسه‌ای با فراوانی بیش از ۱۰ تکرار در سال در جهت غالب غربی و شمال غربی است. در عین حال از کل اراضی زراعی منطقه ۱۹۹۵ هکتار (۲۶/۵٪) را اراضی مخروبه حاصل از عملیات انسانی و فرایندهای طبیعی تشکیل داده است (صادقی‌روش، ۲۰۰۸) که نشان‌دهنده وضعیت کاملاً خاص از نظرگاه بیابان‌زایی در منطقه و بیان‌کننده لزوم پرداختن به راه‌حل‌های مقابله با بیابان‌زایی در این حوزه است.

و طهمورث، ۲۰۱۴)، الکترا (صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۱۴)، بردا (BORDA) (صادقی‌روش، ۲۰۱۴؛ صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۱۶)، مدل مجموع وزنی^۱ (WSM) (صادقی‌روش و زهتابیان، ۲۰۱۳)، مدل جای‌گشت (PERMUTATION) (صادقی‌روش، ۲۰۱۳)، روش ساختاریافته رتبه‌بندی ترجیحی برای غنی‌سازی ارزیابی‌ها (PROMETHEE) (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۶)، فرایند تحلیل شبکه^۲ (ANP) (صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۱۵)، مدل تخصیص خطی^۳ (LA) (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۶)، تحلیل عاملی^۴ (PFA) (صادقی‌روش و خسروی، ۲۰۱۸)، تئوری مطلوبیت چند معیاره^۵ (MAUT) (صادقی‌روش و جبالبارزی، ۲۰۱۹) و مدل اورسته^۶ (ORESTE) (صادقی‌روش، ۲۰۱۹) به اولویت‌بندی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه خضرآباد پرداخت. سپهر و پرویان نیز با کاربرد مدل نارتبه‌ای پرومته^۷ ضمن پهنه‌بندی آسیب‌پذیری بیابان‌زایی در اکوسیستم‌های استان خراسان رضوی، اقدام به ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی کردند (سپهر و پرویان، ۲۰۱۱).

با توجه به منابع محدود به‌انجام‌رسیده، لزوم پرداختن به روش‌هایی که بتواند راه‌حل‌های بهینه را بر مبنای منطق و اصول قوی و مبانی نظری مستدل ارائه دهد، در حوزه مدیریت مناطق بیابانی ضروری به نظر می‌رسد. ازاین‌رو هدف اصلی پژوهش حاضر، ارائه یک مدل مناسب و راستی‌آزمایی این مدل در عرصه، برای ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی است. در همین راستا، عوامل تأثیرگذار بر ایجاد شرایط بیابانی و شیوه‌های ارزشیابی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش با استفاده از روش پیمایشی انجام گرفته که در آن، تعداد تصمیم‌گیرندگان (جامعه آماری)، پنج نفر از کارشناسان مقابله با بیابان‌زایی آشنا به منطقه مطالعاتی از اداره جهاد کشاورزی بخش خضرآباد شهرستان صدوق انتخاب شدند. نتیجه تحقیق حاضر به‌منظور دستیابی به یک مدل مناسب

1. Weighted Sum Model (WSM)
2. Analytical Network Process (ANP)
3. Linear Assignment (LA)
4. Principal Factor Analysis (PFA)
5. Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)
6. Organisation Rangement Et Synthese de donnees Relationnelles (ORESTE)
7. Promethee



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی دشت اردکان- خضرآباد

Figure (1): Location of the Ardekan- Khezr Abad plain

روش گروه اسمی^۴ به دست آورد (قدسی پور، ۲۰۱۶). در پژوهش حاضر به صورت سیستماتیک و در یک ساختار سلسله مراتبی با استفاده از تکنیک دلفی و با تهیه پرسشنامه از متخصصان آشنا به منطقه مطالعاتی خواسته شد که در دو نوبت، معیارها و راهبردهای مؤثر را بیان و در دامنه صفر تا نه امتیازدهی کنند. در نهایت، با به دست آوردن میانگین امتیازات داده شده به هر معیار یا راهبرد، مواردی که دارای امتیازات کمتر از هفت بودند، حذف و معیارها و راهبردهای باقی مانده به عنوان معیارها و راهبردهای مؤثر مد نظر قرار گرفت (آذر و رجبزاده، ۲۰۱۴؛ آذر و معماریانی، ۲۰۰۳).

در این پژوهش، در طراحی پرسشنامه، روایی^۵ صوری با بهره‌مندی از نظر خبرگان علمی و کارشناسان حاصل شد. از سوی دیگر به منظور اطمینان از پایایی^۶ سؤالات پرسشنامه، از

روش تحقیق

مدل برناردو اولین بار توسط برناردو و بلین^۱ در سال ۱۹۷۷ از ارتقای مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه شد (برناردو و بلین، ۱۹۷۷). این مدل، یک مدل ریاضی برگرفته از مدل تخصیص برای اولویت‌بندی مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که هدفش، یافتن تخصیصی از یک مجموعه گزینه‌ها به مجموعه‌ای از رتبه‌هاست؛ به گونه‌ای که بیشترین سازگاری را با نظریات تصمیم‌گیرندگان در خصوص رتبه‌بندی گزینه‌ها دارد (رضوی و همکاران، ۲۰۱۳).

به‌طور خلاصه مراحل به‌کارگیری این روش بدین شرح است.

انتخاب معیارها و راهبردهای مؤثر مورد توافق گروه

انتخاب معیارها و راهبردها از طیف وسیعی از معیارها و راهبردها را می‌توان از طریق طوفان مغزها^۲، روش دلفی^۳ یا

3. Delphi

4. Nominal Group Technique

5. Validity

6. Reliability

1. Bernardo & Blin

2. Brain Storming

جدول (۲): دترمینان ماتریس $A - \lambda I$

Table (2): Determinant of the matrix $A - \lambda I$

$A - \lambda =$	$1 - \lambda$	a_{12}	...	a_{1n}
	a_{21}	$1 - \lambda$...	a_{2n}
	:	:	:	:
	a_{m1}	a_{m2}	...	$1 - \lambda$

بردار ویژه یکی از روش‌های مناسب در شرایط عدم ثبات کامل برای ماتریس مقایسات زوجی است که اولین بار توسط ساعتی (۱۹۹۵) از تجزیه ماتریس مربع و عکس‌پذیر D به بردار ویژه به‌زای عنصر ماکزیمم ویژه آن (λ) استفاده کرد (رابطه ۱).

$$D.W = \lambda_{\max} \times W \quad (1)$$

یک طریقه محاسبه بردار ویژه W ، استفاده از توان افزایشی (k) برای ماتریس D است و سپس نرمالیزه کردن نتایج حاصل از آن می‌باشد (رابطه ۲).

$$W_j = \frac{\lim_{k \rightarrow \infty} D^k \times e}{e^t \times D^k \times e} \quad (2)$$

که W_j مقدار وزنی نرمال است که هر معیار در ارتباط با هدف کسب می‌کند و D ماتریس مقایسات زوجی گروهی برتری معیارها نسبت به هدف است.

$$e = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{به طوری که}$$

بر مبنای این روش، معیاری که بیشترین وزن را دارد، بیشترین نقش در تصمیم‌گیری را نیز دارد (اصغرپور، ۲۰۱۷). نکته مهم در قضاوت‌ها و مقایسه‌های زوجی در چهارچوب پرسشنامه مقایسات زوجی معیارها، سنجش پایایی می‌باشد؛ زیرا افراد ممکن است در قضاوت‌های خود به صورت ضد و نقیض عمل کنند. پرفسور ساعتی برای محاسبه پایایی پرسشنامه مقایسات زوجی ضریبی به نام «نرخ ناسازگاری»^۶ را پیشنهاد می‌کند که از تقسیم «شاخص سازگاری»^۷ به «شاخص تصادفی بودن»^۸ حاصل می‌شود

روش آلفای کروناخ استفاده شد و ضریب 0.84 برآورد شد که نشانگر پایایی بالا در طراحی پرسشنامه بود.

محاسبه اوزان معیارهای مؤثر با استفاده از تکنیک بردار ویژه

تکنیک‌هایی برای شناخت و دانستن اهمیت نسبی عوامل مؤثر موجود وجود دارد. در این تکنیک‌ها، مجموع وزن هر مجموعه برابر با واحد (نرمالیزه) بوده و اهمیت نسبی درجه برتری هر معیار را نسبت به بقیه معیارها برای تصمیم‌گیری در زمینه مورد نظر می‌سنجد. در این زمینه، چهار روش برای ارزیابی اوزان معیارها در تصمیم‌گیری وجود دارد که عبارت‌اند از: روش آنتروپی^۱، روش لینمپ^۲، روش کمترین مجذورات وزین‌شده^۳ و تکنیک بردار ویژه^۴ (جعفری و همکاران، ۲۰۰۹؛ اصغرپور، ۲۰۱۷).

در این تحقیق، از روش تکنیک بردار ویژه استفاده شده است. در این روش، اگر ماتریس مقایسات زوجی گروهی معیارها را A در نظر بگیریم (جدول ۱) و دترمینان ماتریس $(A - \lambda)$ (جدول ۲) را برابر صفر قرار دهیم (که در آن λ مجهول و I ماتریس یک $m \times n$ است)، مقادیر ویژه ماتریس A به دست می‌آید. همچنین اگر بزرگ‌ترین مقدار ویژه A (λ_{\max}) را در ماتریس $(A - \lambda I)^t (W_1, W_2, \dots, W_n)^t$ به جای λ قرار دهیم و حاصل را مساوی صفر فرض کنیم، با حل معادله ایجادشده، بردار ویژه ماتریس A که همان وزن‌های نسبی (W_1, W_2, \dots, W_n) است، به دست خواهد آمد. با استفاده از این روش، ناسازگاری ماتریس در وزن‌ها اعمال و نتایج به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود (رمضانی مهربان و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول (۱): ماتریس مقایسات زوجی معیارها

Table (1): Criterion Pair wise matrix

$A =$	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
	:	:	:	:
	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

$A = [a_{ij}^t], i = 1, 2, \dots, m$
 $j = 1, 2, \dots, n$

5. Eigenvalue
6. IR= Inconsistency Ratio
7. C.I= Consistency Index
8. IIR= Random Inconsistency Index

1. Entropy
2. Linmap
3. Weighted least squares
4. Eigen Vector

جدول (۳): ماتریس فردی رتبه‌بندی راهبردها به‌ازای هر معیار (D^p)

Table (3): Individual matrix ranking alternatives for each criterion (D^p)

Alt	Criterion				
	C ₁	C ₂	C ₃	...	C _m
A ₁	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	...	X _{1m}
A ₂	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	...	X _{2m}
:	:	:	:	:	:
A _m	X _{m1}	X _{m2}	X _{m3}	...	X _{mm}

در این ماتریس m = تعداد راهبردها و معیارها = C عنوان معیار و X_{ij} = رتبه‌ای است که هر راهبرد با توجه به معیار مربوط از نظر هر تصمیم‌گیرنده کسب می‌کند.

- برآورد ماتریس‌های تکرار رتبه n_m از راهبردها (A_m) از

نظر هر شاخص زام (جدول ۴)

جدول (۴): ماتریس تکرار رتبه n_m از هر راهبرد به تفکیک شاخص‌ها

Table (4): matrix of repeat the n rank of each alternative for each criterion

Criterion	رتبه				
	یکم	دوم	سوم	...	n _m
C ₁	n ₁₁	n ₁₂	n ₁₃	...	n _{1n}
C ₂	n ₂₁	n ₂₂	n ₂₃	...	n _{2n}
:	:	:	:	:	:
C _m	n _{m1}	n _{m2}	n _{m3}	...	n _{mn}

در این ماتریس m = تعداد معیارها = n، تعداد رتبه‌ها = C عنوان معیار و n_{ij} = تکرار رتبه n_m از راهبرد زام از نظر شاخص زام می‌باشد.

- بعد از برآورد ماتریس‌های تکرار هر راهبرد (جدول

۴)، با ضرب ماتریس اوزان معیارها (W_j) در ماتریس‌های مذکور (رابطه ۴)، ماتریس‌های تکرار وزین شده به‌ازای هر راهبرد که ماتریس‌های سطری می‌باشند شکل می‌گیرد.

$$[W_j] \times [n_{ij}] = [q_{i,1} \dots q_{i,t} \dots q_{i,m}], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

- پس از برآورد ماتریس‌های سطری وزین شده به‌ازای

راهبردها، ماتریس توافق گروهی m_m × m (Q_G) از رتبه‌ها را تشکیل می‌دهیم؛ به‌گونه‌ای که عنصر q_{it} از آن نشان‌دهنده تعداد ترجیحات گروه (به‌ازای همه معیارها) از راهبرد A_m در رتبه t_m خواهد بود (جدول ۵).

جدول (۵): ماتریس توافق گروهی به‌ازای m رتبه و m راهبرد

Table (5): Group agreement matrix for m rank and m alternative

	1	...	t	...	m
A ₁	q _{1,1}	...	q _{1,t}	...	q _{1,m}
⋮	⋮		⋮		⋮
A _i	q _{i,1}	...	q _{i,t}	...	q _{i,m}
⋮	⋮		⋮		⋮
A _m	q _{m,1}	...	q _{m,t}	...	q _{m,m}

رابطه (۳).

$$IR = \frac{C \cdot I}{IIR} \quad (3)$$

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 (آذر و رجب‌زاده، ۲۰۱۴).

در پژوهش حاضر، نرخ ناسازگاری از رابطه (۳) برای تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی مابین ۰/۱ تا ۰/۰۲ برآورد شد که کمتر از ۰/۱ قابل قبول ساعتی است و نشان داد که قضاوت‌های انجام‌شده 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 از بین می‌برد. از سوی دیگر در روش برناردو از آنجا که معیارهای مورد مقایسه زوجی از نتایج حاصل از پرسشنامه اول حاصل شده‌اند، لذا ارزیابی روایی در این مورد موضوعیتی پیدا نمی‌کند.

ارزیابی اولویت راهبردها با کاربرد مدل برناردو

روش برناردو یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و گروهی است؛ به‌طوری که گروه تصمیم‌گیرندگان برای اولویت‌بندی m راهبرد در مقابل هریک از n معیار موجود نیز از رتبه‌بندی استفاده می‌کند. علاوه بر رتبه‌بندی راهبردها با استفاده از توافق گروهی در این روش می‌توان مدل موجود را برای هر زیرمجموعه دلخواهی از راهبردها بسط داد و مناسب‌ترین آن‌ها را انتخاب کرد. مدل برناردو علاوه بر استفاده از معیارهای متعدد برای تصمیم‌گیری، محدودیت منابع را در اجرای راهبردها یا پروژه‌ها مورد توجه قرار می‌دهد (اصغریور، ۲۰۱۷). به‌منظور بسط مدل برناردو نکات زیر می‌بایست مورد توجه قرار گیرد:

- اخذ رتبه‌بندی راهبردها به‌ازای معیارها از هر

تصمیم‌گیرنده p_m (D^p) (جدول ۳)

در این مدل، مطلوبیت تصمیم‌گیرنده (DM)، انتخاب یک ماتریس خاص H است که تطابق زیادی با ماتریس Q داشته باشد؛ به بیان دیگر هدف، قرار دادن اعداد یک در ماتریس جایگشت (واحد) ¹ (H) می‌باشد به طوری که $\sum q_{ij}h_{ij}$ ، ماکزیمم شود (h_{ij} عناصر ماتریس H می‌باشند).

اگر هدف فقط رتبه‌بندی و اولویت‌بندی راهبردها باشد، از رابطه (۵) استفاده می‌کنیم؛ به طوری که ماتریس غیر منفی $h_{m \times m}$ یک ماتریس جایگشت خواهد بود (عباسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ کشاورز حدادها و همکاران، ۲۰۱۶).

$$\sum h_{ij} - \sum h_{ik} \geq 0 \rightarrow k \geq j \quad (۷)$$

که k و j نشان‌دهنده رتبه هستند.

به دلیل محدودیت منابع بعضی از رتبه‌ها ممکن است مانع از قرارگیری ترکیبی از راهبردها در ناحیه عملی (ناحیه‌ای که در محدودیت‌ها صدق می‌کند) شوند.

$$\max : \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m q_{ij} \times h_{ij} \quad (۵)$$

$$s.t : \sum_{i=1}^m h_{ij} = 1 ; j = 1, \dots, m$$

$$s.t : \sum_{j=1}^m h_{ij} = 1 ; i = 1, \dots, m \quad h_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

اگر ارزش d_{ig} را به عنوان فاکتور محدودیت در آمین راهبرد باشد و cg، آمین منبع در دسترس باشد، آنگاه محدودیت مربوط می‌تواند به صورت رابطه (۸) نوشته شود.

$$\sum_{j=1}^m d_{ig} \sum h_{ij} \leq cg, \quad g = 1, 2, \dots, G \quad (۸)$$

که d_{ig} = مقدار مصرفی راهبرد iam از منبع g، cg موجودی از منبع g و G تعداد منابع است.

ولی ممکن است هدف تنها اولویت‌بندی راهبردها نباشد، بلکه رتبه‌بندی زیرمجموعه‌ای از راهبردها و منظور کردن محدودیت منابع نیز از خواسته‌های مهم باشد. مدل برناردو برای منظور کردن محدودیت منابع در اجرای راهبردها و انتخاب زیرمجموعه‌ای از آن‌ها، به گونه‌ای که محدودیت‌ها را تأمین کند، نیاز به بسط ریاضی دارد. اجرای برخی از راهبردها ممکن است تأمین‌کننده محدودیت و یا محدودیت‌هایی از منابع موجود نباشد؛ از این رو نمی‌تواند انتخاب شوند، بدان معنی که راهبردها مورد رتبه‌بندی واقع نمی‌شوند. همچنین همه راهبردها در یک زیرمجموعه انتخابی گنجانده نشده، از این رو برخی از آن‌ها در رتبه‌بندی واقع نمی‌شوند. این امر موجب خواهد شد که رتبه ماتریس جایگشت $H_{m \times m}$ کمتر از m گردیده و در نتیجه محدودیت‌ها در ماتریس به صورت رابطه (۶) بشود.

تصمیم‌گیرنده (DM) ممکن است تمایلی به مشخص کردن رتبه‌بندی‌ها برای هر راهبرد نداشته باشد بلکه مایل باشد که رتبه‌بندی‌ها را برای مجموعه‌ای از راهبردها که می‌تواند انتخاب شوند، بدون توجه به رتبه‌بندی درون مجموعه مشخص کنند. همچنین ممکن است DM تمایلی به پیشینه کردن توافق رتبه‌ای که با Q_{ij} نشان داده شده است، نداشته باشد بلکه تمایل به ماکزیمم کردن توافق جمعی باشد. این مسئله می‌تواند به صورت رابطه (۹) بیان شود.

$$R = [r_{ik}] \quad (۹)$$

$$r_{ik} = \sum_{j=1}^m Q_{ij}, \quad i, k = 1, 2, \dots, m$$

که r_{ik} بیانگر تعداد دفعاتی است که آمین راهبرد در موقعیت ۱ تا k رتبه‌بندی می‌شود. در نتیجه تابع هدف می‌تواند به صورت رابطه (۱۰) بیان شود.

$$\max : \sum_i \sum_j r_{ij} . h_{ij} \quad (۱۰)$$

اکنون به منظور قضاوت بین مجموعه‌های متفاوت از راهبردها (به طور نمونه دوتایی در مقابل سه‌تایی) و انتخاب

$$\begin{aligned} \sum_i h_{ij} &\leq 1 \\ \sum_j h_{ij} &\leq 1 \\ h_{it} &\in [0, 1], I \end{aligned} \quad (۶)$$

۱. یک ماتریس جایگشت H، یک ماتریس غیر منفی $m \times m$ است که هر ردیف و ستون آن شامل یک ضرب مساوی یک و بقیه صفر هستند.

مطالعاتی، ابتدا به منظور 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 (صادقی‌روش و همکاران، ۲۰۱۰؛ صادقی‌روش، ۲۰۰۸) و از میان ۱۶ معیار و ۴۰ راهبرد نهایی نظرخواهی شده به منظور مقابله با بیابان‌زایی (جدول ۶ و ۷)، راهبردها و معیارهای مهم و اولویت‌دار از نظر گروه انتخاب و به منظور ترسیم نمودار سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری (شکل ۲) و تهیه پرسشنامه مقایسات زوجی در نظر گرفته شدند.

– برآورد ماتریس مقایسات زوجی گروهی اهمیت معیارها

همان‌طور که در ادبیات تحقیق ذکر آن رفت، لازمه برآورد اوزان برتری معیارها دستیابی به ماتریس مقایسات زوجی گروهی معیارهاست؛ به این منظور با استفاده از روش دلفی ماتریس مقایسات زوجی هر متخصص در زمینه اهمیت معیارها برآورد و سپس با به دست آوردن میانگین هندسی امتیازات فردی، ماتریس نهایی مقایسات زوجی گروهی حاصل شد (جدول ۸).

جدول (۸): ماتریس مقایسات زوجی گروهی اهمیت معیارها نسبت به

هدف «ارائه راهبرد مناسب برای بیابان‌زدایی منطقه»

Table (8): Group pairwise comparisons matrix of criteria importance relative to the goal of "offering optimal combat-desertification alternatives in region"

C_7	C_6	C_5	C_{16}	C_6	G
۳/۳۸۹۵	۲/۵۵۳۸	۲/۵۵۸۸	۱/۲۴۵۱	۱	C_7
۳/۰۸۰۲	۳/۰۷۷۳	۲/۳۳۵۵	۱	۰/۸۰۳۱	C_{16}
۲/۰۴۴۷	۱/۷۴۲۰	۱	۰/۴۲۸۲	۰/۳۹۰۸	C_6
۱/۳۱۷۸	۱	۰/۴۱/۵۷	۰/۳۲۵۰	۰/۳۹۱۶	C_5
۱	۰/۷۵۸۸	۰/۴۸۹۱	۰/۳۲۴۷	۰/۲۹۵۰	C_2

بهینه، تابع هدف به صورت رابطه (۱۱) تغییر داده می‌شود.

$$\max : \frac{1}{kn} \sum_j r_{ij} \cdot h_{ij}, \quad \left\{ \begin{array}{l} k = \text{number of decision making} \\ n = 1, 2, \dots, m \end{array} \right. \quad (11)$$

در این حالت، تابع هدف برای تمامی ارزش‌هایی از $k=1, 2, \dots, m$ و n (تعداد رأی‌دهندگان) قابل مقایسه است. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، نیازی نیست که تمامی راهبردها انتخاب شوند؛ در ضمن مجموعه‌ای که برتری آن را داشته، موردی است که توافق جمعی را ماکزیمم می‌کند؛ درحالی‌که ارزش تابع هدف نه تنها با ماتریس r اندازه‌گیری می‌شود، بلکه با تعداد افرادی که تصمیم دسته‌جمعی گرفته‌اند و با تعداد راهبردها نیز مشخص می‌گردد. تعداد رأی‌دهندگان ثابت باقی می‌ماند اما تعداد راهبردها تغییر می‌کند. حداکثر قابل قبول در ماتریس $R, m \times n$ می‌باشد که در آن، m تعداد راهبردها و n تعداد رأی‌دهندگان است. با در نظر گرفتن مفاهیم گفته‌شده (روابط ۵، ۶، ۷ و ۱۰)، رابطه کلی روش برناردو به صورت رابطه (۱۲) خواهد بود (عباسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ کریم‌زاده فرد، ۲۰۱۱؛ اصغری‌پور، ۲۰۱۰؛ اصغری‌زاده، ۲۰۱۷؛ کشاورز حدادها و همکاران، ۲۰۱۶؛ لی^۱ و همکاران، ۲۰۰۹؛ هوانگ و لین^۲، ۱۹۸۷؛ رجیبیان، ۲۰۱۷).

$$\max_k \left\{ \frac{1}{kn} \sum_j r_{ij} \cdot h_{ij}, k = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (12)$$

$$st : \sum_{i=1}^m h_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^m h_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m h_{ij} - \sum_{i=1}^m h_{ik} \geq 0, \left\{ \begin{array}{l} j < k : (k = j + 1) \\ j = 1, 2, \dots, m - 1 \end{array} \right.$$

$$\sum_{i=1}^m d_{ig} \sum_{i=1}^m h_{ij} \leq cg, g = 1, 2, \dots, G; \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, m \end{array} \right.$$

$$h_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

نتایج

– انتخاب معیارها و راهبردهای مهم و اولویت‌دار

در فرایند ارزیابی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه

1. Li

2. Hwang and Lin

جدول (۶): راهبردهای پیشنهادی و میانگین اولویت آن‌ها از نظر گروه

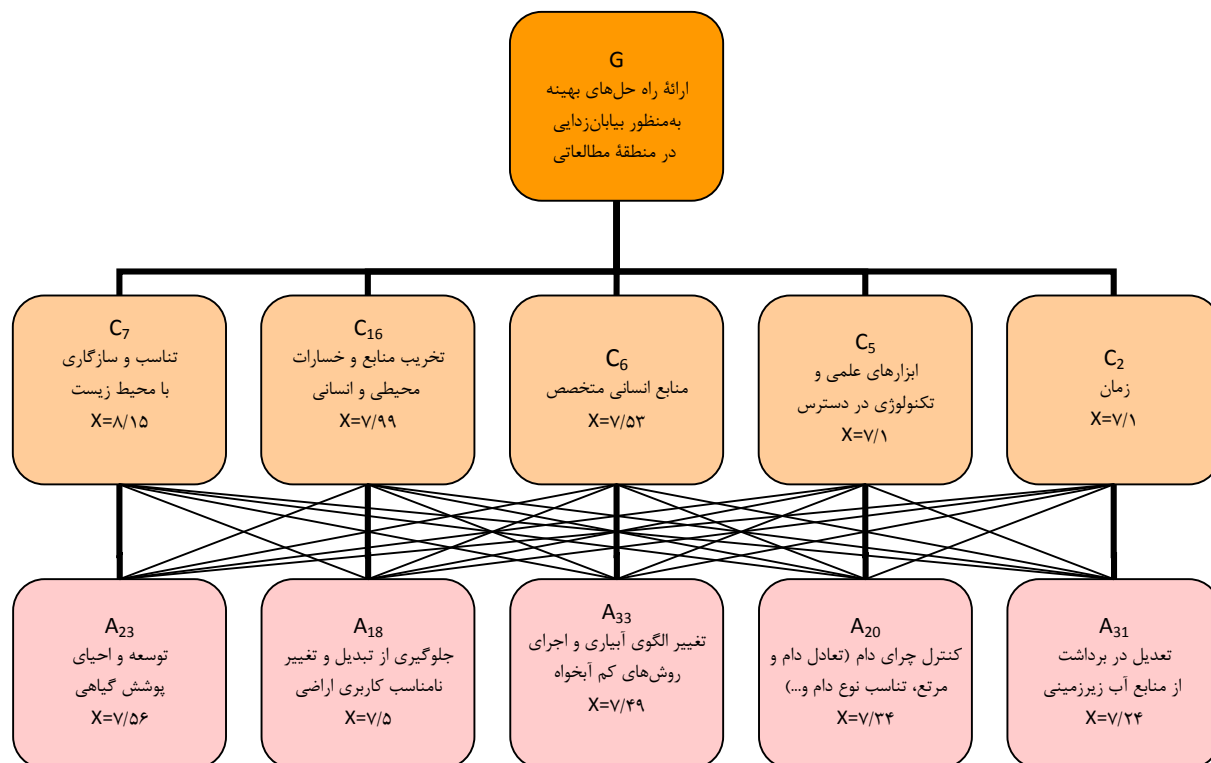
Table (6): Recommended alternatives and their priority average from the viewpoint of the groups

میانگین	راهبردها	میانگین	راهبردها
۶/۴۶	A22- جلوگیری از بوته‌کشی و قطع اشجار		- اصلاح، ایجاد و تقویت زیرساخت‌های اقتصادی- اجتماعی مناطق حاشیه‌ای
۷/۵۶	A23- توسعه و احیای پوشش گیاهی	۵	A1- کاهش نرخ رشد جمعیت
۶/۷۶	A24- حفاظت از تاغ‌زارها (جوان‌سازی و زادآوری تاغ‌ها)	۵/۶۸	A2- فقرزدایی
	- حفاظت خاک	۵/۳۷	A3- ایجاد و تقویت سازمان‌های روستایی
۶/۴۵	A25- حفاظت از سطوح سنگریزه‌ای در منطقه (رگ)	۶/۷	A4- افزایش اشتغال
۵/۵۷	A26- جلوگیری و کاهش تردد ماشین‌آلات سنگین کشاورزی و صنعتی	۶/۱	A5- افزایش مشارکت مردمی و حمایت از NGO ها
۶/۸۶	A27- ایجاد بادشکن‌های زنده و غیرزنده دارای کاربری حفاظت خاک	۶/۵۶	A6- به‌کارگیری نیروهای بومی و تکنولوژی محلی در طرح‌ها (دانش بومی)
۴/۶۶	A28- اصلاح بافت خاک	۶/۴۷	A7- آموزش مردم در به‌کارگیری روش‌های جدید و استفاده از دانش روز
	- توسعه کشاورزی پایدار	۵/۷۳	A8- تصویب، تقویت و اجرای قوانین و تناسب جرم با مجازات
۵/۴۲	A29- اصلاح روش‌های تناوب زراعی و آیش	۵/۸۹	A9- تأمین نیازهای ساکنان بومی
۵/۱	A30- اصلاح روش‌های شخم‌زنی، کوددهی، سم‌پاشی	۵/۶	A10- تعدیل الگوهای مصرف ناپایدار و تغییر و اصلاح شیوه‌های معیشتی مردم
	- توسعه و مدیریت پایدار منابع آب (آبخوان‌داری)	۴/۵	A11- توجه به نقش زنان و جوانان در مقابله با بیابان‌زایی
۷/۲۴	A31- تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی	۵/۲۳	A12- سازمان‌دهی نواحی شهری و جلوگیری از مهاجرت
۶/۶	A32- کاهش مصرف آب (مصرف بهینه آب در مزارع)	۶/۸۶	A13- ایجاد هماهنگی بین ادارات مسئول در امر مقابله با بیابان‌زایی
۷/۴۹	A33- تغییر در الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آبخواه	۴/۸	A14- بالا بردن نرخ باسوادی
۶/۵۳	A34- تبدیل سیستم‌های آبیاری از سنتی با بازده کم به مدرن و تحت فشار با بازده زیاد	۵/۳۲	A15- توسعه طبیعت‌گردی بیابانی
۶/۶۴	A35- جمع‌آوری و استحصال بهینه منابع آب (شامل ایزوله نمودن انهار، مرمت و لایروبی قنات‌ها، استفاده از کانال‌ها و مجاری، تعبیه آب‌انبارها و استخرها، نمک‌زدایی از آب‌های لب شور و شور و...)	۵/۲۷	A16- استفاده چندمنظوره از بیابان به‌جای استفاده موردی
۶/۰۸	A36- تغذیه آب‌های زیرزمینی	۳/۷۹	A17- سپردن مسئله مقابله با بیابان‌زایی به بخش خصوصی
۵/۳	A37- احداث شبکه‌های پخش سیلاب و استفاده از آبرفت آن	۷/۵	A18- جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی
۳/۴۷	A38- ایجاد بارش‌های مصنوعی برای تغذیه آبخوان‌ها	۶/۴۴	A19- تهیه نقشه آمایش سرزمین و تعیین محدوده‌های بیابانی و حواشی کویرها و بیابان‌ها
۶/۲	A39- ترویج و گسترش کشت گلخانه‌ای و تحت کنترل از نظر مصرف آب و تبخیر و تعرق		- حفاظت از پوشش گیاهی
۶	A40- معرفی ارقام گیاهی جدید و مقاوم به خشکی و تنش‌های کم‌آبی از طریق مهندسی ژنتیک	۷/۳۴	A20- کنترل چرای دام (تعادل دام و مرتع، تناسب نوع دام، جلوگیری از چرای خاج از فصل و...)
		۶/۶	A21- تولید علوفه و افزایش پتانسیل اقتصاد پایدار دامدار

جدول (۷): معیارهای پیشنهادی و میانگین اهمیت آنها از نظر گروه

Table (7): The criteria and their importance mean according to the group

نشانه	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵	C _۶
معیار (Criteria)	هزینه- سود	زمان	مشارکت مردمی	زیبایی چشم انداز	ابزارهای علمی و تکنولوژی در دسترس	منابع انسانی متخصص
میانگین امتیازها	۵/۳۸	۷/۱	۵/۷۸	۵/۱	۷/۱	۷/۵۳
نشانه	C _۷	C _۸	C _۹	C _{۱۰}	C _{۱۱}	C _{۱۲}
معیار (Criteria)	تناسب و سازگاری با محیط زیست (پایداری)	مدیریت سنتی و دانش بومی	دولت‌سالاری در مقابله با بیابانزایی	درآمدهای نفتی دولت	مدیریت‌های موقتی	مشکلات مربوط به نوآوری و تغییر روش‌ها
میانگین امتیازها	۸/۱۵	۵/۲۳	۵/۲۸	۵/۷۲	۲/۳۹	۲/۸۴
نشانه	C _{۱۳}	C _{۱۴}	C _{۱۵}	C _{۱۶}		
معیار (Criteria)	راحت‌طلبی سیستم‌های اداری دولتی	فشارهای سیاسی و اجتماعی	مسائل اورژانسی ناشی از بیابانزایی	تخریب منابع و خسارات محیطی و انسانی		
میانگین امتیازها	۲/۲۹	۵/۳۵	۶/۳۴	۷/۹۹		



شکل (۲): سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری به منظور ارائه راه‌حل‌های بهینه در زمینه بیابان‌زدایی منطقه مطالعاتی

Figure (2): Hierarchical decision structure to select optimal combat-desertification alternatives in study region

- تعیین اهمیت معیارهای مطرح در فرایند مقابله با بیابان‌زایی از روش بردار ویژه پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گروهی معیارها (جدول ۶)، وزن هر کدام از معیارها با استفاده از تکنیک بردار ویژه (رابطه ۴) در نرم‌افزار MATLAB محاسبه و نتایج آن در جدول (۹) ارائه شد.

جدول (۹): اوزان معیارها در پنج انتقال

Table (9): Criteria weights in the five transitions

معیارها (C)	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵
W ₁	۰/۳۲۶۰۰۱	۰/۳۱۲۳۱۸	۰/۱۷۰۰۴۱	۰/۱۰۴۶۵۴	۰/۰۸۶۹۸۴
W ₂	۰/۳۳۹۹۸۹۸	۰/۳۱۱۱۵۹	۰/۱۵۷۱۰۵	۰/۱۰۳۰۶۴	۰/۰۸۸۷۷۱
W ₃	۰/۳۳۸۶۷۵	۰/۳۱۱۲۷۳	۰/۱۵۷۰۷۲	۰/۱۰۳۹۳۳	۰/۰۸۹۰۴۵
W ₄	۰/۳۳۸۶۷۷	۰/۳۱۱۲۶۲	۰/۱۵۷۰۶۸	۰/۱۰۳۹۴۹	۰/۰۸۹۰۴۱
W ₅	۰/۳۳۸۶۷۷	۰/۳۱۱۲۶۲	۰/۱۵۷۰۶۸	۰/۱۰۳۹۴۹	۰/۰۸۹۰۴۱

همان طور که مشاهده می‌کنیم، همگرایی فرایند انتقالات بردار ویژه نهایی و تعیین‌کننده اوزان معیارهای تأثیرگذار در انتقال پنجم رخ داده است؛ به طوری که W₅ اوزانی برابر با W₄ را نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان W₅ را مشخص‌کننده

جدول (۱۰): برآورد اوزان معیارهای مطرح در ارائه راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی در منطقه خضرآباد

Table (10): Estimation of the weights of effective criteria in providing combating-desertification alternatives in Khezrabad region

معیارها (C)	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵
W _j	۰/۳۳۸۶۷	۰/۳۱۱۲۶	۰/۱۵۷۰۶	۰/۱۰۳۹۴	۰/۰۸۹۰۴

$$\begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 \\ 0.33867 & 0.31126 & 0.15706 & 0.10394 & 0.08904 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.0122 \\ 0.1211 \\ 0.0221 \\ 0.0131 \\ 0.0122 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \text{پنجم} & \text{چهارم} & \text{سوم} & \text{دوم} & \text{یکم} \\ 1/427701 & 1/792667 & 1/46832 & 0.311262 & 0 \end{bmatrix}$$

به همین منوال، برای بقیه راهبردها عمل می‌شود؛ در نتیجه ماتریس توافق گروهی در قالب جدول (۵) از رتبه‌ها شکل می‌گیرد (جدول ۱۳).

جدول (۱۳): ماتریس توافق گروهی از رتبه‌های راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

Table (13): Group Agreement Matrix from combat-desertification alternatives rankings

	یکم	دوم	سوم	چهارم	پنجم
A _{۳۳}	۰	۰/۳۱۱۲۶۲	۱/۴۶۸۳۲	۱/۷۹۲۶۶۷	۱/۴۲۲۷۰۱
A _{۲۰}	۰	۰/۳۱۱۲۲۶	۱/۱۳۹۸۶۱	۱/۵۴۵۹۷۳	۲/۰۰۲۸۵۴
A _{۱۸}	۲/۲۰۵۰۰۴	۱/۵۸۷۶۴۳	۰/۲۴۶۱۰۹	۰/۶۴۹۹۳۲	۰/۳۱۱۲۶۲
A _{۲۱}	۱/۷۴۱۸۳۷	۱/۲۵۸۱۳۳	۱/۱۴۵۶۷	۰/۳۵۰۰۵۸	۰/۵۰۴۲۵۲
A _{۳۲}	۱/۰۵۳۱۰۹	۱/۶۸۸۷۱۸	۰/۹۹۹۹۹	۰/۵۰۴۲۵۲	۰/۷۵۳۸۱۱

پس از شکل‌گیری ماتریس توافقی و با توجه به رابطه (۹)، مجموع تعداد دفعاتی است که هر راهبرد در موقعیت رتبه یکم تا پنجم قرار می‌گیرد در قالب ماتریس توافق تراکمی برآورد شد (جدول ۱۴).

– ارزیابی اولویت راهبردها با کاربرد مدل رتبه‌بندی برناردو

در این مرحله، هر تصمیم‌گیرنده، راهبردهای موجود را مطابق جدول (۳) به‌ازای هریک از معیارها رتبه‌بندی کرد. برای مثال، رتبه‌بندی راهبردها توسط کارشناس شماره ۱ به صورت جدول (۱۱) به دست آمد.

جدول (۱۱): رتبه‌بندی راهبردها به وسیله کارشناس شماره ۱

Table (11): Ranking of alternatives by Expert No. 1

معیارها (C)	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵
A _{۳۳}	۵	۳	۳	۵	۴
A _{۲۰}	۴	۵	۵	۳	۳
A _{۱۸}	۲	۲	۲	۱	۲
A _{۲۱}	۱	۱	۴	۲	۵
A _{۳۲}	۳	۴	۱	۴	۱

در ادامه، به منظور تأثیر اوزان معیارها برای هر راهبرد، مطابق جدول (۴)، ماتریس رتبه/معیار تشکیل داده (جدول ۱۲) و اوزان معیارها بر مبنای رابطه (۴) در این ماتریس‌ها ضرب می‌شوند.

جدول (۱۲): رتبه nth ام از راهبرد اول (A_{۳۳})

Table (12): nth rank from of first alternative (A₃₃)

رتبه	یکم	دوم	سوم	چهارم	پنجم
C _۱	۰	۰	۱	۲	۲
C _۲	۰	۱	۲	۱	۱
C _۳	۰	۰	۲	۲	۱
C _۴	۰	۰	۱	۳	۱
C _۵	۰	۰	۱	۲	۲

$$\sum_{i=1}^2 h_{A33,t} = \sum_{t=1}^2 h_{A33,t} = h_{A33,1} + h_{A33,2} \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^2 h_{A20,t} = \sum_{t=1}^2 h_{A20,t} = h_{A20,1} + h_{A20,2} \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^2 h_{A18,t} = \sum_{t=1}^2 h_{A18,t} = h_{A18,1} + h_{A18,2} \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^2 h_{A31,t} = \sum_{t=1}^2 h_{A31,t} = h_{A31,1} + h_{A31,2} \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^2 h_{A23,t} = \sum_{t=1}^2 h_{A23,t} = h_{A23,1} + h_{A23,2} \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^5 h_{i,t} - \sum_{i=1}^5 h_{i,(t+1)} = \sum_{i=1}^5 h_{i,1} - \sum_{i=1}^5 h_{i,2} = (h_{A33,1} + h_{A20,1} + h_{A18,1} + h_{A31,1} + h_{A23,1}) - (h_{A33,2} + h_{A20,2} + h_{A18,2} + h_{A31,2} + h_{A23,2}) \geq 0$$

پس از حل مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار لینگو (شکل ۳) و گرفتن خروجی (شکل ۴) برای تمامی آن‌ها، ملاحظه شد که بیشترین ارزش از توابع هدف برابر ۶/۷ است (جدول ۱۵). بنابراین زیرمجموعه A₂₃ و A₃₁ و A₁₈ به‌عنوان مناسب‌ترین زیرمجموعه از راهبردهای موجود انتخاب شد. این انتخاب عملی بوده و بیشترین تأمین از ۵ شاخص موجود را با توافق گروهی موجب می‌شود.

جدول (۱۴): ماتریس توافقی تراکمی راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی

Table (14): Compression Agreement Matrix of cmobat-desertification alternatives

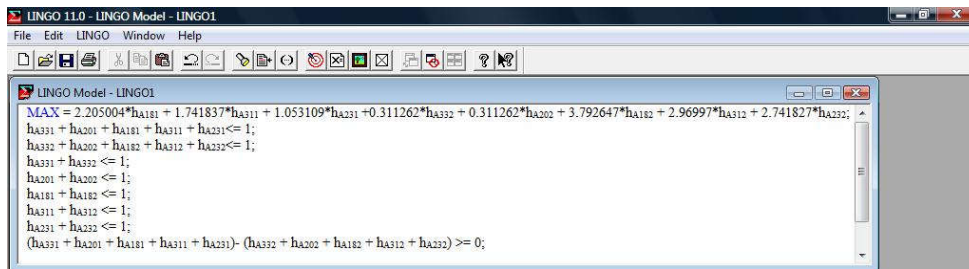
	یکم	دوم	سوم	چهارم	پنجم
A _{۳۳}	۰	۰/۳۱۱۲۶۲	۱/۷۷۹۵۸۲	۳/۵۷۲۲۴۹	۴/۹۹۹۹۵
A _{۲۰}	۰	۰/۳۱۱۲۶۲	۱/۴۵۱۱۲۳	۲/۹۹۷۰۹۶	۴/۹۹۹۹۵
A _{۱۸}	۲/۲۰۵۰۰۴	۳/۷۹۲۶۴۷	۴/۰۳۸۷۵۶	۴/۶۸۸۶۸۸	۴/۹۹۹۹۵
A _{۳۱}	۱/۷۴۱۸۳۷	۲/۹۶۹۹۷	۴/۱۴۵۶۴	۴/۴۹۵۶۹۸	۴/۹۹۹۹۵
A _{۲۳}	۱/۰۵۳۱۰۹	۲/۷۴۱۸۲۷	۳/۷۴۱۸۱۷	۴/۲۴۶۰۶۹	۴/۹۹۹۹۵

در نهایت به‌منظور رتبه‌بندی راهبردها از مدل تخصیص (رابطه ۱۲) بر مبنای ماتریس توافقی تراکمی (جدول ۱۴) استفاده شد و مدل تخصیص چهار مرتبه با چهار تابع هدف متفاوت به دست آمد. برای نمونه، برنامه‌ریزی خطی برای انتخاب زیرمجموعه‌ای از دو راهبرد به‌صورت زیر به دست آمد (رابطه ۱۳).

$$\frac{1}{2(5)} \text{Max} \left\{ \begin{aligned} &2.205004h_{A18,1} + 1.741837h_{A31,1} \\ &+ 1.053109h_{A23,1} + 0.311262h_{A33,2} \\ &+ 0.311262h_{A20,2} + 3.792647h_{A18,2} \\ &+ 2.96997h_{A31,2} + 2.741827h_{A23,2} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^5 h_{i,t} = \sum_{i=1}^5 h_{i,t} = h_{A33,1} + h_{A20,1} + h_{A18,1} + h_{A31,1} + h_{A23,1} \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^5 h_{i,2} = \sum_{i=1}^5 h_{i,t} = h_{A33,2} + h_{A20,2} + h_{A18,2} + h_{A31,2} + h_{A23,2} \leq 1$$



شکل (۳): برنامه خطی نوشته‌شده به زبان لینگو در محیط نرم‌افزار برای انتخاب زیرمجموعه‌ای از دو راهبرد

Figure (3): A linear program written in lingo language in the software environment to select a subset of two alternatives

Variable	Value	Reduced Cost
HA181	0.000000	0.000000
HA311	1.000000	0.000000
HA231	0.000000	0.6887289
HA332	0.000000	3.018218
HA202	0.000000	3.018218
HA182	1.000000	0.000000
HA312	0.000000	0.3595100
HA232	0.000000	0.5876539
HA331	0.000000	1.741837
HA201	0.000000	1.741837

شکل (۴): نتایج حاصل از محاسبه مدل تخصیص دوم

Figure (4): The results of the calculation, the second allocation model

مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار لینگو و تعیین اولویت راهبردها شد.

به‌طور کلی، با توجه به نتایج اولویت‌بندی نهایی راهبردها ملاحظه شد که بیشترین ارزش از توابع هدف برابر ۶/۷ است. بنابراین زیرمجموعه راهبرد «جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی» (A_{18})، «تعديل در برداشت از منابع آب زیرزمینی» (A_{31}) و «توسعه و احیای پوشش گیاهی» (A_{23}) به‌عنوان مناسب‌ترین زیرمجموعه از راهبردهای موجود انتخاب می‌شوند.

نتایج حاصل از رتبه‌بندی نهایی توسط رویکرد چندشاخصه برناردو برای راهبردهای تصمیم موجود نشان داد که راهبرد «جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی» (A_{18})، مؤثرترین راهبرد در فرایند مقابله با بیابان‌زایی است. تغییر کاربری اراضی در نتیجه افزایش جمعیت، بیکاری، رشد صنایع و روحیه شهرنشینی به‌شدت در حال گسترش است. عمدتاً کاربری اراضی به‌صورت تبدیل اراضی مرتعی به اراضی زراعی و باغی در اثر توسعه چاهای عمیق و نیمه‌عمیق 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، ۲۰۰۸). 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.

همچنین نتایج حاصل نشان داد که راهبردهای «تعديل در برداشت از منابع آب زیرزمینی» (A_{31}) و راهبرد «توسعه و احیای پوشش گیاهی» (A_{23})، به‌ترتیب پس از راهبرد «جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی» (A_{18})، به‌عنوان راهبردهای مهم و مؤثر در فرایند مقابله با بیابان‌زایی می‌باشند.

در این رابطه، مطالعات میدانی نشان داد افزایش برداشت

جدول (۱۵): راه‌حل‌های نهایی مقابله با بیابان‌زایی از محاسبه مدل‌های

برنامه‌ریزی خطی

Table (15): The combat-desertification ultimate solutions from the calculation of linear programming models

ارزش بهینه از تابع هدف	مناسب‌ترین زیرمجموعه	از حل برنامه‌ریزی خطی آما
۲/۲۰۵۰۰۴	A_{18}	یکم
۵/۵۳۴۴۸۴	A_{18}, A_{31}	دوم
۶/۳۵۰۶۴	A_{18}, A_{31}, A_{23}	سوم
۶/۷۰۰۷۰۲	A_{18}, A_{31}, A_{23}	چهارم

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه برناردو، شرایط لحاظ کردن هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی را به‌صورت گروهی ایجاد و این فرصت را برای تصمیم‌گیران حوزه منابع طبیعی ایجاد می‌کند که امکانات و سرمایه‌های محدود اختصاص‌یافته به‌منظور 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.

بر مبنای مدل برناردو و در چهارچوب روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه به‌منظور مشارکت اهمیت معیارها در فرایند تصمیم‌گیری و تعیین اولویت نهایی، اهمیت معیارها به‌منظور اثر در فرایند مقابله با بیابان‌زایی از روش بردار ویژه برآورد شد (جدول ۱۰). نتایج حاصل نشان داد که معیارهای «تناسب و سازگاری با محیط زیست» (C_7) با ضریب اهمیت ۰/۳۳۸۷ در بالاترین درجه اهمیت قرار دارد و «تخریب منابع و خسارات محیطی و انسانی» (C_{16}) با ضریب اهمیت ۰/۳۱۱۳، «منابع انسانی متخصص» (C_6) با ضریب اهمیت ۰/۱۵۷۱، «ابزارهای علمی و تکنولوژیکی» (C_5) با ضریب اهمیت ۰/۱۰۳۹ و زمان (C_2) با ضریب اهمیت ۰/۰۸۹۰ به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار دارند که نشانگر اهتمام کارشناسان و صاحب‌نظران نسبت به مسائل محیط‌زیست و چالش‌های مطرح در زمینه تخریب محیط‌زیست می‌باشد.

در نهایت، به‌منظور انتخاب نهایی راهبردها و درجه‌بندی اولویت آن‌ها در چهارچوب مدل برناردو پس از تأثیر اوزان معیارها در راهبردها در قالب ماتریس توافقی تراکمی و شکل‌گیری مدل تخصیص به‌ازای هر راهبرد، اقدام به حل

و آبیاری در جهت مدیریت مطلوب، بهینه و پایدار آبیاری توجه شود.

از مجموع اراضی منطقه، ۵۹٪ به اراضی مرتعی و ۱۴/۲۵٪ به اراضی تاغ‌کاری شده اختصاص دارد. تیپ قالب گیاهی مراتع منطقه را عمدتاً درمنه - بوه‌شور (*Ar-sat: Artemisia-*) و درمنه - کوزینیا (*Ar-Co: Artemisia-*) و درمنه - کوزینیا (*Salsolactomentosa*) با تراکم ۶ تا ۱۵٪ تشکیل می‌دهد که به شدت تحت تأثیر عملکردهای انسانی در قالب بوته‌کنی و چرای مفرط دام است؛ به طوری که ۴۰ تا ۵۰٪ پوشش گیاهی بر اثر بوته‌کنی به منظور تعلیف دام، سوخت و مصالح ساختمانی از بین می‌رود. در همین حال ۲۰ تا ۳۰٪ پوشش مراتع را گیاهان مهاجم با ارزش غذایی ناچیز همانند گیاه *Cousinia* و سالسولا (*Salsola.spp*) اشغال نموده است. به طور کلی حدود ۵۹٪ از عرصه‌های منطقه مطالعاتی را مراتع درجه چهار و پنج (فقیر تا خیلی فقیر) شکل داده؛ این در حالی است که در اراضی مرتفع جنوبی ۵/۱ برابر بیشتر از ظرفیت قابل چرا (به طور متوسط ۰/۱۵ واحد دامی در ۱۰۰ روز در هکتار) بهره‌برداری می‌شود که فشار دامی معادل ۰/۱۹ به عرصه‌های کوهستانی وارد می‌کند و در اراضی پست شمالی دام‌ها ۳/۷ برابر بیشتر از ظرفیت مجاز تعلیف استفاده می‌کنند که فشاری معادل ۰/۲۷ را به عرصه‌های پست منطقه وارد می‌کنند؛ از این رو مطابق ارزیابی‌های صورت گرفته وضعیت مراتع فقیر با گرایش منفی برآورد شده است که نشان از چرای شدید مرتع دارد (صادقی‌روش، ۲۰۰۸). بنابراین پیشنهاد می‌شود از گونه‌های بومی و مقاوم مرتعی استفاده شود؛ اقدام به کپه‌کاری یا بذرپاشی، مالچ پاشی، احداث بادشکن در اراضی حساس شود؛ از روند تخریب تاغ‌زارها جلوگیری و نسبت به احیا و بازسازی آن‌ها اهتمام لازم به عمل آید؛ تعادل و تناسب تعداد و نوع دام با ظرفیت و وضعیت مراتع رعایت شود؛ از چرای خارج از فصل جلوگیری شود. بخشی از چرا از اراضی حساس منتقل شود، به منظور حمایت از دامدار و حفاظت از مراتع به تولید و واردات علوفه اقدام و در جهت افزایش پتانسیل اقتصاد پایدار دامدار حرکت شود تا دامدار، اقدام به بوته‌کنی جهت تعلیف شبانه و همچنین زمستانه و یا تعلیف

از منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر که با توسعه فعالیت‌های معدنی و کشاورزی همراه بوده است، باعث افت سطح آب به میزان ۳۰cm تا ۴۵cm در سال شده که این امر به نوبه خود، باعث افزایش شوری آب منطقه به بیش از $5000 \mu\text{mhos/cm}$ تا $7000 \mu\text{mhos/cm}$ شده است. این مسئله با وضعیت آبیاری اراضی کشاورزی تشدید می‌شود؛ به طوری که آبیاری در اراضی کشاورزی، اغلب به صورت سنتی غرقابی و کرتی با استخرها و جوی‌های روباز و بسترهای با خلل و فرج زیاد صورت می‌گیرد، به صورتی که بیش از ۵۰٪ آب مصرفی هدر می‌رود و راندمان آبیاری در مزرعه و انتقال کمتر از ۴۰٪ برآورد می‌شود. از دیگر عوامل افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی، می‌توان به وسعت کم اراضی زراعی (به طور متوسط کمتر از ۱۰ هکتار برای هر کشاورز)، فاصله طولانی منابع آب تا محل مصرف (۷۳٪ مابین ۱ تا ۳ کیلومتر)، عدم استفاده از وسایل مدرن تقسیم و توزیع آب مانند دریچه‌های تقسیم آب، سیفون‌های آبیاری، گسیلنده‌های سطحی، لوله‌ها و دریچه‌های سوراخ‌دار و...، افزایش صنایع با مصرف آب زیاد (آبخواه) همچون صنایع شن و ماسه و رنگرزی و نساجی، افزایش برداشت به منظور آبیاری مناطق کشت شده با گونه تاغ که در سال‌های اخیر به منظور کنترل فرسایش بادی در مناطق رسی و تپه‌های ماسه‌ای ارگ اشکذر توسعه زیادی یافته است، خشکسالی‌های رخ داده در سال‌های اخیر و... اشاره کرد. بررسی‌های میدانی نشان داد که در سیستم‌های آبیاری معمول در منطقه، به محض اینکه آب به ابتدای کرت و زمین کشاورزی می‌رسد، رها می‌گردد و تمهیداتی از قبیل تسطیح زمین، ابعاد مناسب کرت‌ها، طراحی بهینه سیستم آبیاری نشتی، مانند فاصله نشتی، دبی نشتی، شیب و... در نظر گرفته نمی‌شود و در نتیجه با توجه به وضعیت اقلیمی و تبخیر بالا، هدررفت آب بسیار بالاست (صادقی‌روش، ۲۰۰۸). بنابراین به منظور بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی پیشنهاد می‌شود که به آموزش و ترویج روش‌های آبیاری مناسب، به‌کارگیری روش‌های مدرن و تحت فشار، توجه به پوشش‌دار کردن جوی‌ها و کانال‌ها، تسطیح و یکپارچه‌سازی اراضی و به طور کلی تغییر نظام مدیریت آب

هدررفت سرمایه‌های ملی جلوگیری کنند؛ از این‌رو پیشنهاد می‌شود طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی بر روی راهبردهای نتیجه‌شده از این پژوهش‌های سیستماتیک تأکید کنند تا از هدررفت سرمایه‌های محدود جلوگیری و بازدهی طرح‌های کنترل، احیا و بازسازی بالا رود.

پس چر مزارع و باغات نکند.

نتیجه پژوهش حاضر 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

منابع

- Abbasi, A., Kiani Moghadam, M., Saeidi, S. N. and Amir Saeid Nooramini, A. S., 2012. Study and ranking of Factors Influencing the Optimum Operation of Container Terminals by using Bernardo's Approach, *Journal of Marine Science and Technology*, 11(3), 70-80. *Science and Technology*, 11(3), 70-80.
- Asghari Zadeh, E., 2017. Multi criteria decision making techniques, Tehran University Publishing, Tehran, Iran.
- Asgharpur, M. J., 2010. Group decision and game theory, operations research approach. Tehran University Publishing, Tehran, Iran.
- Asgharpour, M. J., 2017. Multi criteria decision making, Tehran university press, Tehran, Iran.
- Azar, A. and Memariani, A., 2003. AHP a new technique for group decision making. *Journal of Management Knowledge*, 27-28, 22-32.
- Azar, A. and Rajabzadeh, A., 2014. Applied Decision Making with an Approach of Multi-Attribute Decision Making (MADM), *Negah Danesh*, Tehran, Iran.
- Bernardo, J. J. and Blin, J. M. 1977. A programming model of consumer choice among Multi-Attributed brands. *Journal of Consumer Research*, 4(2), 111-118.
- Bowyer, C., Withana, S., Fenn, I., Bassi, S., Lewis, M., Cooper, T., Benito, P. and Mudgal, S., 2009. Land degradation and desertification. European Parliament; Policy Department A, Economic and Scientific Policy, Brussels, Belgium.
- Briassoulis, H., 2019. Combating land degradation and desertification: The Land-Use Planning Quandary. *Land*, 8(27), 1-26.
- Geist, H., 2017. The Causes and progression of desertification. Routledge, London, UK.
- Ghodsipour, S. H., 2016. Analytical Hierarchical Process (AHP), Amir Kabir University press, Tehran, Iran.
- Grau, J. B., Anton, J. M., Tarquis, A. M., Colombo, F., Rios, L. and 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.
- Hwang, C. L., Lin, M. J., 1987. Group decision making under multiple criteria: methods and applications. Springer, Berlin, Germany.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). 2018. Summary for Policymakers of the Assessment Report on Land Degradation and Restoration of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services; Scholes, R., Montanarella, L., Brainich, A., Barger, N., Brink, B., Cantele, M., Erasmus, B., Fisher, B., Gardner, T., Holland, T.J., et al., Eds.; IPBES Secretariat: Born, Germany.
- Jafari, H. R., Nejadi, A. and Jahromi, A., 2009. Risk assessment of industrial sites of Asalouye by using analytical hierarchy process (AHP). *Journal of Environmental Studies (JES)*, 35(49), 53-60.
- Keshavarz Haddadha, A., Namazian, A. and Haji Yakhchali, S. 2016. Project selection by using AHP and Bernardo technique. *International Journal of Humanities and Applied Sciences (IJHAS)*, 5(1), 69-74.
- Li, W., Zhang, X. and Chen, Y., 2009. Information integration approach to vendor selection group decision making under multiple criteria. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009, pp. 1138-1143.
- Rajabian, A., 2017. Applying Bernardo's approach to group decision making for small and medium-sized organizations. National Conference on Accounting and Management Research with New Business Approach. Islamic Azad University, Tonekabon Branch. Available from: https://www.civilica.com/Paper-MAMB01-MAMB01_019.html.
- Ramezani Mehriyan, M., Malek Mohammadi, B., Jafari, H. R. and Rafiee, Y., 2011. Location of artificial nutrition groundwater operations using multi-criteria decision making and geographic information systems, case study: Hormozgan province, Shamil and Ashekara plain. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 5(14), 1-10.
- Razavi Hajiagha, S. H., Amoozad Mahdiraji, H., akrami, H. and Hashemi, S. S., 2013. Topsis- based non-linear programming model for calculating the Ideal weights of the decision. *Industrial Management Studies*, 11(29), 21-39.
- Reynolds, J. F. and Stafford-Smith, M., 2002. Global desertification: do humans cause deserts? Dahlem University Press, Berlin, Germany.
- Saaty, T. L. 1995. Decision making for leaders, RWS Publications, USA.
- Sadeghi Ravesh, M. H., 2008. Investigation of effective desertification factors on environmental degradation. Ph.D Thesis. Faculty of Environment, Department of Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University. 395 pp.
- Sadeghi Ravesh, M. H., 2013. Assessment of combat desertification alternatives using Permutation method, case study: Khezrabad region, Yazd province. *Journal of environmental management and planning*, 3 (4), 5-14.
- Sadeghi Ravesh, M. H., 2014. Evaluation of combat desertification alternatives by using BORDA ranking model, Case study: Khezrabad region, Yazd province. *Journal of environmental management and planning*, 4(2), 5-16.
- Sadeghi Ravesh, M. H., Ahmadi, H., Zehabian, G. H. and Tahmores, M., 2010. Application of analytical

- hierarchy process (AHP) in assessment of de-desertification alternatives, case study: Khezerabad region, Yazd province. Iranian journal of Range and Desert Research, 17(1), 35-50.
27. Sadeghi Ravesh, M. H. and Jabalbarezi, B., 2019, Rating the alternatives to combat desertification alternatives by using Multi-Attribute Utility Theory (MAUT), Case study of Khezerabad region in Yazd Province, Journal of Environmental Science and Technology, 21(8), 101-112.
 28. Sadeghi Ravesh, M. H. and Khosravi, H., 2014. Application of AHP and ELECTRE models for assessment of de-desertification alternatives in central Iran. DESERT, 19-2, 141-153.
 29. Sadeghi Ravesh, M. H. and Khosravi, H., 2015. Application of network analysis process (ANP) in assessment of combating desertification alternatives. Desert Ecosystem Engineering Journal (DEEJ), 4(8), 11-24.
 30. Sadeghi Ravesh, M. H. and Khosravi, H., 2016. Evaluation of combat desertification alternatives by using individual Borda ranking model, Desert Ecosystem Engineering Journal (DEEJ), 5(12), 109-121.
 31. Sadeghi Ravesh, M. H. and Khosravi, H., 2018. Assessment of de-desertification approaches using Multi Attribute Decision Making (MADM) and Principal Factor Analysis (PFA), Journal of Geographic exploration in desert areas, 6(1), 255-229.
 32. Sadeghi Ravesh, M. H., 2019. Evaluation of De-Desertification Alternatives by using shannon entropy method and ORESTE model, Case Study of Khezerabad Region in Yazd Province. Journal of Environmental Erosion Research, 4(8), 19-40.
 33. Sadeghi Ravesh, M. H., Khosravi, H. and Abolhasani, A., 2016. Evaluation of combating desertification alternatives using PROMETHEE model. Journal of Geography and Geology, 8 (2), 1-14.
 34. Sadeghi Ravesh, M. H., Khosravi, H. and 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.
 35. Sadeghi Ravesh, M. H., Khosravi, H. and Ghasemian, S., 2016. Assessment of combating strategies using the Liner Assignment (LA) method. Journal of Solid Earth, 7, 773-683.
 36. Sadeghi Ravesh, M. H. and Tahmores, M., 2014. Assessment of Combat Desertification Alternatives Using Fuzzy Topsis Model (FTOPSIS), Journal of Environmental Science and Engineering, 3, 79-94.
 37. Sadeghi Ravesh, M. H. and Zehtabian, G., 2013. Combat desertification alternatives classification with using of Multi Attribute Decision Making (MADM) view point and Weighted Sum Model (WSM), Case study: Khezerabad region, Yazd province. Journal of Pajouhesh & Sazandeghi, 100, 1-11.
 38. Sadeghi Ravesh, M. H., Zehtabian, G. R., Ahmadi, H. and Khosravi, H., 2012. Using analytic hierarchy process method and ordering technique to assess de-desertification alternatives, case study: Khezerabad, YAZD, IRAN. Carpathian journal of earth and environmental sciences, 7(3), 51-60.
 39. Sepehr, A. and Peroyan, N., 2011. Vulnerability mapping of desertification and combat desertification alternative ranking in Korasan-e-razavi province ecosystems with application PROMETHEE model. Journal of Earth science researches, 8, 58-71.
 40. United Nations (UN), 2015. Transforming our world, the 2030 agenda for sustainable development; resolution adopted by the general assembly on 25 September 2015; A/RES/70/1; 4th Plenary Meeting; United Nations: New York, NY, USA.
 41. UNCCD. 1994. United Nations Convention to Combat Desertification. UNCCD press. Paris, France. Available from: https://www.unccd.int/sites/default/files/relevantlinks/201701/UNCCD_Convention_ENG_0.pdf
 42. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 2017. The global land outlook. UNCCD press, Bonn, Germany.

Evaluating Optimal Anti-Desertification Alternatives, Using Special Vector Technique and Bernardo Ranking Model

Mohammad Hassan Sadeghi Ravesh¹

Received: 04/03/2020

Accepted: 14/11/2020

Extended Abstract

Introduction: Desertification is the process of ecological and biological reduction of land potential in a natural or unnatural way, mainly affecting arid regions. Moreover, it decreases land efficiency with increasing acceleration. Land resources and human populations exposed to desertification and land destruction are prone to various threats, including loss of land productivity, food insecurity, water scarcity, economic problems, social deprivation, and health risks. Therefore, the complex and important dimensions of this issue prompted the international community to state at the Rio Environment and Development Conference that one of the goals of sustainable development is to fight against desertification, and to stop and reverse land degradation.

Subsequently, the important role of appropriate and appropriate local measures in dealing with global threats, desertification, and land degradation was emphasized at the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Therefore, considering the limited resources and inputs, the sensitivity of ecosystems in desert areas, increasing success in implementing control plans and reducing the effects of desertification and restoration of destroyed lands, today the evaluation of desertification alternatives is considered as a determining factor in executive projects. Thus, it is necessary to design optimal methods for controlling and reducing this process. Therefore, this case study which was carried out in the Ardekan-Khezrabad plain sought to systematically evaluate optimal alternatives via a group decision model.

Materials and methods: To analyze and present effective alternatives, this study used Delphi method within the framework of multi-criteria decision-making method so that it can consolidate group opinions and use a pairwise comparison questionnaire, followed by a qualitative identification of the most important and prioritized criteria and alternatives. Then the significance of the criteria was estimated via special vector method. Finally, Bernardo's decision-making method was applied to finalize the alternatives and prioritize them. In the framework of this model, a ranking/criterion matrix was formed for each strategy in order to influence the weight of criteria in the selection of alternatives. The weights of the criteria were multiplied in these matrices based on the relation (1), and an agreement line matrix was formed for each strategy.

$$[W_j] \times [n_{ij}] = [q_{i,1} \dots q_{i,j} \dots q_{i,m}], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Then, the consensus matrix of the total alternatives was created from the sum of the consecutive line matrices of each strategy. After the formation of the agreement matrix, the total number of times that each strategy ranked in position 1 to k was estimated in the form of a compression agreement matrix according to the relationship 2.

$$R = [r_{ik}] \quad (2)$$

$$r_{ik} = \sum_{j=1}^m Q_{ij}, \quad i, k = 1, 2, \dots, m$$

Finally, after influencing the weights of the criteria in the alternatives in the form of a consensual consensus matrix and the formation of an allocation model (Equation 3) for each strategy, the models were solved and the

1. Associate Professor, Department of Environment, College of Agriculture, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran; m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir
DOI: 10.22052/deej.2020.9.29.31

final priority of the alternatives was determined, using Lingo software.

$$\begin{aligned} & \max_k \left\{ \frac{1}{kn} \sum r_{ij} \cdot h_{ij}, k = 1, 2, \dots, m \right\} \quad (3) \\ & st : \sum_{i=1}^m h_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{j=1}^m h_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{i=1}^m h_{ij} - \sum_{i=1}^m h_{ik} \geq 0, \begin{cases} j < k : (k = j + 1) \\ j = 1, 2, \dots, m - 1 \end{cases} \\ & \sum_{i=1}^m d_{ig} \sum_{i=1}^m h_{ij} \leq cg, g = 1, 2, \dots, G; \begin{cases} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, m \end{cases} \\ & h_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \end{aligned}$$

Results: According to the research literature, the importance of criteria in the desertification process was estimated from a special vector method. The results showed that the criteria of "Proportionality and compatibility with environment" (C7) was at the highest level of importance with a coefficient significance of 0.33877, followed by "Destruction of Resources and Environmental and Human Damages" (C16) with a coefficient significance of 0.3111, "Expert Human Resources" (C6) with a coefficient significance of 0.1571, "Scientific tools and technology available" (C5) with a coefficient significance of 0.1039, and "time" (C2) with a coefficient significance of 0.9090, respectively, indicating the attention of experts and specialists to environmental issues and challenges in the field of environmental degradation. In general, according to the results of the final prioritization of alternatives, the highest value of the objective functions was found to be 6.7. Therefore, "Prevention of unsuitable land-use changes" (A₁₈), "Modification of groundwater harvesting" (A₃₁), and "Vegetation cover development and reclamation" (A₂₃) were selected as the most appropriate subsets of current alternatives.

Discussion and Conclusion: The results of the application of the final prioritization of alternatives based on Bernardo's method showed that this method was catheterized by flexibility, high efficiency, ease of use, the possibility of using software such as Lingo and EC, and evaluation of alternatives based on a set of effective quantitative and quantitative criteria in-group format. In addition to using multiple criteria for decision making, it considers resource constraints in implementing alternatives or projects, providing an opportunity for decision-makers in the field of natural resources to use the limited facilities and capital allocated to control the desertification process in the right and efficient ways for better results while preventing the waste of national capital.

Keywords: Bernardo decision-making model, Hierarchical structure, Multi criteria decision making, Ranking.