

ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدایی با کاربرد مدل تاپسیس فازی

(FTOPSIS)

محمد حسن صادقی روش*، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، گروه مهندسی محیط زیست، تاکستان، ایران.

محمد طهمورث، دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، کرج، ایران.

E-mail*: m.sadeghiravesh@tiau.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۰ - پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۲۹

چکیده

انتخاب راهبردهای مناسب با توجه به جمیع معیارهای موثر در فرایند بیابان‌زدایی می‌تواند کمک موثری در کنترل، احیاء و بازسازی اراضی تخریب یافته و جلوگیری از تخریب عرصه‌های در معرض خطر بکند. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی راهبردهای بهینه به صورت نظام‌مند و در قالب یک مدل تصمیم‌گیری گروهی انجام گرفت. در این پژوهش سعی شد از تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر اساس تشابه به پاسخهای ایده‌آل فازی (FTOPSIS)، به منظور ارزیابی راهکارهای بهینه در بیابان‌زدایی استفاده شود. بر این مبنای تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری فازی، شاخص ضریب نزدیکی بوسیله محاسبه فاصله از راهبرد ایده‌آل مثبت و منفی به صورت همزمان برای هر راهبرد تعریف گردید و اولویت نهایی راهبردها بدست آمد. این مدل به منظور ارزیابی کارایی در ارزیابی راهبردهای بهینه، در منطقه خضرآباد یزد مورد استفاده قرار گرفت. بر مبنای نتایج حاصل شده، راهبرد تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی (A۳۱) با نزدیکی نسبی ۵۶/۵۹ درصد به عنوان مهمترین راهبرد بیابان‌زدایی در منطقه تشخیص داده شد. از این دیدگاه راهبردهای کنترل چرای دام (A۲۰)، تغییرالگوی آبیاری و اجرای روشهای کم آب خواه (A۳۳)، توسعه واحیاء پوشش گیاهی (A۲۳) و جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A۱۸) به ترتیب با نسبتهای نزدیکی ۱۵/۷۶٪، ۱۳/۵۳٪، ۱۱/۳۴٪ و ۲/۷۸٪ به عنوان اولویتهای بعدی ارزیابی شدند. بنابراین پیشنهاد شد که در فرایند کنترل و کاهش اثرات بیابان‌زدایی و احیاء اراضی تخریب یافته، نتایج و رتبه‌بندی به دست آمده مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زدایی، تاپسیس فازی، تصمیم‌گیری چند معیاره، خضرآباد، مقایسه زوجی.

۱- مقدمه

شدن، یا احیاء و ترمیم مناطق تخریب‌یافته، ضروری به نظر می‌رسد. از آنجا که اکوسیستم‌های خشک و نیمه خشک بیوم‌های حاشیه‌ای هستند که از نظر طبیعی شکننده بوده و دخالت نابجا در آنها به آسانی سبب برهم خوردن تعادل موجود شده و سبب تخریب و زوال این محیط‌ها می‌شود، از این‌رو اعمال تمهیداتی به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی جهت مقابله بهینه با پدیده بیابان‌زدایی ضروری است. با مطالعه منابع تحقیقاتی، پیشینه

بیابان‌زدایی پدیده‌ای است که در اثر عوامل طبیعی و عملکرد نادرست انسانی در مناطق خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب ایجاد می‌شود. این پدیده به عنوان یک معضل گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای در حال توسعه می‌باشد که نتیجه آن از بین رفتن منابع محدود تجدید شونده در هر یک از این کشورهاست (احمدی و همکاران، ۱۳۸۳). از این رو لزوم پرداختن به راهکارهای بهینه به منظور جلوگیری از بیابانی

چارچوب مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، روش تاپسیس فازی (FTOPSIS^۱)، که نوعی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جبرانی سازشی^۲ است، به منظور رتبه‌بندی راهکارهای بیابانزادانی مد نظر قرار گرفت.

این روش اولین بار توسط چن و هوانگ در سال ۱۹۹۲ ارائه شد (Chen and Hwang, 1992). در این مدل ارزش‌ها بر مبنای اعداد فازی تعریف می‌شوند و همانند تاپسیس کلاسیک، رتبه‌بندی بر اساس فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی به انجام می‌رسد (Ertugrul and Karakasoglu, 2007, Mohammadi et al, 2011).

این روش با منطق قوی و مستدلی که داشت به سرعت در حوزه‌های مختلف علوم توسعه یافت، از پژوهش‌های انجام شده در زمینه کاربرد FTOPSIS می‌توان به اختصار به موارد ذیل اشاره کرد. تری آنتافیلو و لین (Triantaphyllou and Lin, 1996) اقدام به توسعه روش تاپسیس بر مبنای محاسبات فازی کردند به طوری که الگوی آنها بیانگر نزدیکی نسبی فازی هر راهبرد بود. چن (Chen, 2000) روش تاپسیس را در محیط فازی توسعه داد و مثال عددی از فرایند تجزیه و تحلیل سیستمی به منظور انتخاب مهندس در یک شرکت نرم افزاری ارائه داد. چو (Chu, 2002) مدل تاپسیس فازی بر مبنای تصمیم‌گیری گروهی را به منظور حل مسائل مرتبط با مکان‌یابی بهینه ارائه کرد. چو و لین (Chu and Lin, 2003) از روش تاپسیس فازی به منظور انتخاب روبات استفاده کردند. ابوسینا و آمر (Abo-Sinna and Amer, 2005) دیدگاه تاپسیس را به منظور حل مسائل برنامه‌ریزی غیر خطی چند هدفه بزرگ مقیاس توسعه دادند. سقفیان و حجازی (Saghafian and Hejazi, 2005) روش تاپسیس فازی توسعه یافته‌ای را به منظور حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی ارائه کردند و همچنین اندازه فاصله‌ای جدیدی ارائه دادند. بوتانی و ریزی (Bottani and Rizzi, 2006) دیدگاه چند شاخصه بر

به کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری در رتبه‌بندی و ارائه راهبردهای بهینه در چارچوب مدیریت مناطق بیابانی به کارهای گرایو و همکاران و صادقی روش و همکاران محدود می‌شود. گرایو (Grau et al, 2010) در پژوهش خود به منظور رتبه‌بندی و انتخاب راهبردهای بهینه به منظور ارائه طرحی یکپارچه جهت کنترل فرسایش و بیابانزایی از سه مدل تصمیم‌گیری^۱ ELECTRE،^۲ AHP و^۳ PROMETHEE استفاده کرد. نتایج حاصله نشانگر کارایی بالای این مدل‌ها در رتبه‌بندی و ارائه راهبردهای بهینه بیابانزادایی بود و با وجود روش‌های پیچیده مورد استفاده در هر مدل نتایج حاصله تا حدود زیادی یکسان بود. صادقی روش نیز با کاربرد مدل‌های AHP (صادقی روش و همکاران، ۱۳۸۹)،^۴ TOPSIS ELECTERE (Sadeghi Ravesh et al, 2012)،^۵ و WSM (Sadeghi Ravesh et al, 2014) (صادقی روش و زهتابیان، ۱۳۹۲) به اولویت‌بندی راهبردهای بیابانزادایی در منطقه خضرآباد پرداخت، نتایج حاصله از این مطالعات تا حدود زیادی مشابه ارزیابی می‌شود.

طبق تعریف، بیابانزادایی فعالیت‌هایی را شامل می‌شود که بخشی از توسعه جامع سرزمین در مناطق خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب در راستای توسعه پایدار را در بر گرفته و هدف آن، جلوگیری و یا کاهش تخریب سرزمین و احیای زمین‌هایی که جزئی تخریب و بیابانی شده می‌باشد (دفتر حقوقی و امور مجلس سازمان محیط زیست، ۱۳۸۳). بر مبنای این چارچوب، این پژوهش با هدف ارائه روشی نظام‌مند به منظور انتخاب راه‌حل‌های مؤثر از میان راه‌حل‌های متعدد و بر مبنای معیارهای مختلف در فرایند بیابانزادایی انجام شد. به منظور دستیابی به این هدف و با توجه به این موضوع که پدیده‌های واقعی همواره فازی، نادقیق و مبهم هستند و زمانی که نیاز به پیروی از رفتار انسانی وجود دارد (فرایند تصمیم‌گیری) منطق فازی به صورت واقعی‌تر و نزدیک‌تر به رفتار انسانی است (آذر و فرجی، ۱۳۸۱، Aiello et al, 2009، Meixner, 2012). در

نیز با تغییرات اندکی از این روش مشتق شده‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

منطقه خضرآباد با وسعتی معادل ۷۸۱۸۰ هکتار در ۱۰ کیلومتری غرب شهر یزد در موقعیت جغرافیایی ۵۳°، ۵۵' الی ۲۰°، ۵۴' طول شرقی و ۴۵°، ۳۱' الی ۱۵°، ۳۲' عرض شمالی قرار گرفته است. (شکل ۱) و از نظر اقلیمی در شرایط خشک و سرد بیابانی طبقه بندی می‌شود. ۱۲۹۳۰ هکتار (۱۶/۵٪) از اراضی منطقه را تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای شکل داده که ارگ بزرگ اشکذر با وسعتی معادل ۸۹۲۳ هکتار در شمال منطقه با انواع رخساره‌های تخریبی و فرسایشی به چشم می‌خورد 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 که نشان دهنده وضعیت کاملاً تپیک از نظرگاه بیابان‌زایی در منطقه و بیان کننده لزوم پرداختن به راه حل‌های بیابان‌زدایی در این حوزه است. بدین منظور از منطق فازی در چارچوب مدل تاپسیس که از مهمترین و جامع‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد جهت ارائه راه حل‌های بهینه بیابان‌زدایی استفاده شد. ساختار این مدل از سه سطح هدف، معیارها و راهبردها شکل یافته است. که دو سطح معیارها و راهبردها به منظور دستیابی به هدف، دارای اهمیت هستند.

- انتخاب معیارها و راهبردها و ترسیم درخت سلسله

مراتب تصمیم‌گیری

با توجه به فرایند پیچیده بیابان‌زایی که در اثر برهم کنش‌های متغیرهای مختلفی حاصل می‌شود. معیارها و راهبردهای مختلفی نیز از نظر متخصصان در هر منطقه مطرح می‌شود. از آنجا که در استقرار یک ساختار سلسله مراتبی به منظور کاهش ناسازگاری مقایسات می‌بایستی تعداد عناصر در هر سطح 2 ± 7 باشد (آذر و رجب زاده،

مبنای روش تاپسیس و تئوری مجموعه‌های فازی را به منظور انتخاب و طبقه‌بندی شرکت‌های خدماتی ارائه دادند. وانگ و چانگ (Wang and Chang, 2007) دیدگاه ارزیابی را بر اساس تاپسیس فازی به منظور انتخاب مناسب‌ترین هواپیمای آموزشی برای آکادمی نیروی هوایی تایوان ارائه دادند. لی (Li, 2007) تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای مابین روش نسبت سازشی و تاپسیس فازی به انجام رساند و به منظور نشان دادن شباهت‌ها و تفاوت‌های دو روش از یک مثال عددی بهره‌جست. ارت‌وگرال و کاراکاسوگلو (Ertugrul and Karakasoglu, 2007) به مقایسه دو روش FAHP^a و FTOPSIS به منظور حل مسائل مربوط به مکان یابی طرح‌ها پرداختند. سلیک و همکاران (Celik et al, 2009) به منظور اولویت بندی استراتژی‌ها در بنادر ترکیه به منظور افزایش توان رقابتی از روش تاپسیس فازی استفاده کردند. وانگ و همکاران (Wang et al, 2009) به منظور انتخاب تامین‌کنندگان از روش سلسله مراتبی تاپسیس فازی استفاده کردند و در این رابطه الگوریتمی جهت توسعه مدل چن ارائه دادند. معین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مدل تاپسیس فازی اقدام به مکان یابی محل دفن پسماند در شهر کرج کردند. آقاجانی و احمدپور (۱۳۸۹) اقدام به ارزیابی کارایی چهار شرکت تهیه‌کننده قطعات برای شرکت‌های خودروسازی از روش تاپسیس فازی کردند. سپهر و همکاران (۱۳۹۱) به منظور اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شاخص‌های بیابان‌زایی از روش FTOPSIS استفاده کرد و یو و همکاران (Yu et al, 2012) روشی نوین به منظور طبقه بندی اعداد فازی بر مبنای مفهوم شاخص مرکزی را ارائه دادند.

مروری بر تحقیقات انجام شده در این حوزه حاکی از روش‌های متعدد برای استفاده از تکنیک تاپسیس به صورت فازی است. با توجه به ساختار ارائه شده، در این پژوهش از روش چن (Chen, 2000, Chen et al, 2006) استفاده شده است. سایر روش‌های محاسبه تاپسیس فازی

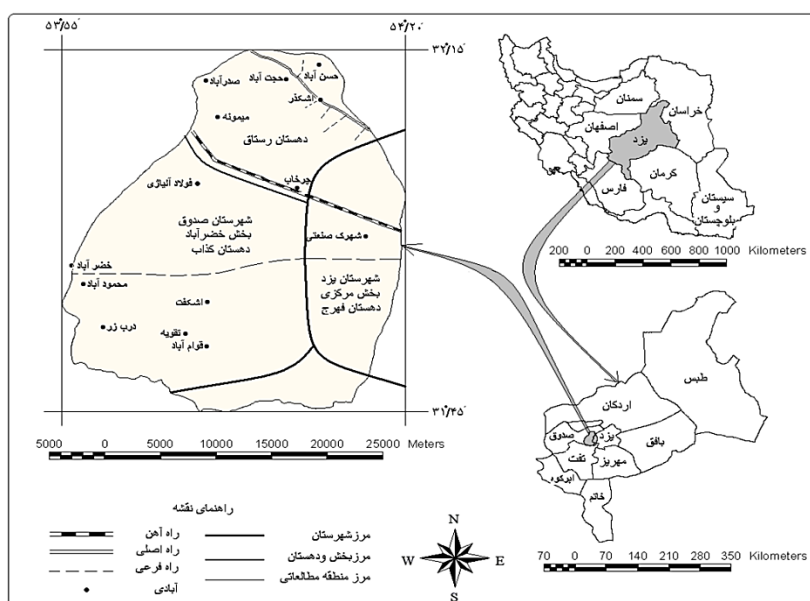
آوردن میانگین امتیازات داده شده به هر معیار یا راهبرد، مواردی که دارای امتیازات کمتر از ۷ بودند ($\bar{X} < 7$) حذف و معیارها و راهبردهای باقی مانده ($\bar{X} \geq 7$) جهت ترسیم نمودار سلسله مراتبی تصمیم گیری در سه سطح به ترتیب هدف، معیارها و راهبردها، به کار رفت (شکل ۲) (آذر و رجب زاده، ۱۳۸۱).

– محاسبه وزن نسبی معیارها و راهبردها از روش دلفی

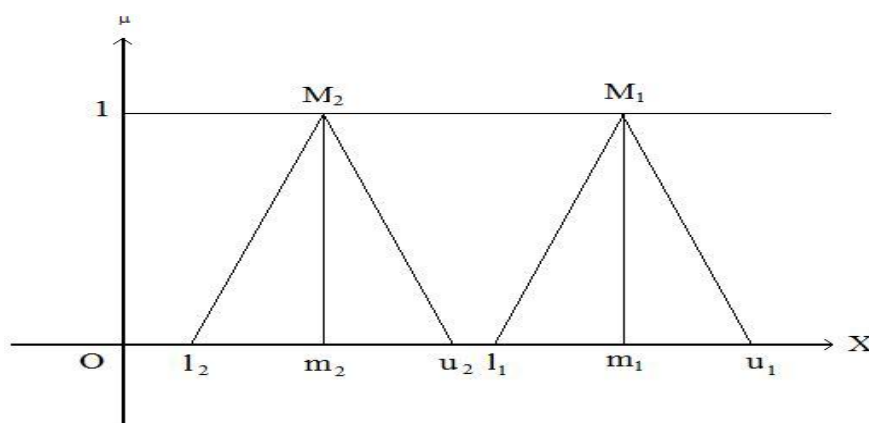
فازی و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گروهی

در ادامه به منظور دستیابی به وزن نسبی^۹، با استفاده از روش دلفی فازی، پرسشنامه دوم تحت عنوان " پرسشنامه

(۱۳۸۱)، لذا به منظور شناخت معیارها و راهبردهای مهم و اولویت دار از نظر گروه و تشکیل نمودار سلسله مراتبی از روش دلفی استفاده شد. بدین منظور پرسشنامه‌ای در بین متخصصان آشنا به منطقه مطالعاتی توزیع و از متخصصان خواسته شد که اهمیت و اولویت هر معیار یا راهبرد را در مقیاس ۱ الی ۹ برآورد کنند. در ادامه، نتایج حاصله میانگین‌گیری و دوباره در میان جامعه آماری اولیه توزیع شد و از آنها خواسته شد که با توجه به انحرافات پاسخ‌های اولیه شان از میانگین، تغییرات نهائی را بر روی ارزش‌های مورد نظرشان اعمال کنند. در نهایت با بدست



شکل ۱. موقعیت منطقه خضر آباد



شکل ۲. نمایش دو عدد فازی مثلثی

جدول ۱. ماتریس مقایسه زوجی فازی

$$\begin{pmatrix} M_{11}^k & M_{12}^k & \dots & M_{1n_k-1}^k \\ M_{21}^k & M_{22}^k & \dots & M_{2n_k-1}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{n_k 1}^k & M_{n_k 2}^k & \dots & M_{n_k n_k-1}^k \end{pmatrix}$$

محاسبه ارزش \tilde{S}_k یا اعداد فازی مثلثی ترکیبی^{۱۱} برای هر سطر ماتریس مقایسات زوجی فازی از رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$\tilde{S}_k = \sum_{j=1}^{n_k} M_{kj}^k \left[\sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} M_{ij}^k \right]^{-1}, \quad i=1,2,\dots,n_k \quad (4)$$

در این رابطه k بیانگر شماره سطر و i و j به ترتیب نشان دهنده راهبردها یا معیارها می‌باشد. محاسبه درجه بزرگی ارزش \tilde{S}_k هر سطر ماتریس مقایسات زوجی گروهی نسبت به هم از رابطه ۵ حاصل می‌شود.

$$\begin{cases} v(\tilde{S}_{ij}^k \geq \tilde{S}_{jk}^k) = 1, & m_1 \geq m_2, \quad j=1,2,\dots,n_k, \quad j \neq i \\ v(\tilde{S}_{ij}^k \geq \tilde{S}_{jk}^k) = \frac{u_1 - l_2}{(u_1 - l_2) + (m_2 - m_1)} \\ \text{Otherwise,} & j=1,2,\dots,n_k, \quad j \neq i \end{cases} \quad (5)$$

محاسبه درجه بزرگی هر عدد فازی مثلثی ترکیبی از K عدد مثلثی فازی ترکیبی دیگر از رابطه ۶ می‌باشد.

$$P_{ih}^K(A_i^k) = \min V(\tilde{S}_i^k \geq \tilde{S}_j^k), \quad i=1,2,\dots,n_k \quad (6)$$

در این رابطه A_i^k بیانگر معیار یا راهبرد i ام از جدول ماتریس مقایسات زوجی فازی k ام می‌باشد. اعداد حاصل از این فرایند بیانگر اوزان غیر بهنجار شده معیارها یا راهبردهای ماتریس مقایسات زوجی ارجحیت معیارها و اولویت راهبردها می‌باشند.

مقایسات زوجی " شکل گرفت و از متخصصان خواسته شد که معیارها و راهبردهای مهم حاصل شده از نتایج پرسشنامه اول را به ترتیب از نظر اهمیت نسبت به هدف و اولویت نسبت به تک تک معیارها با سه عدد کمینه، محتمل و بیشینه (اعداد مثلثی فازی) (روابط ۱ و ۲ و شکل ۲) بر مبنای درجه ارجحیت ۹ گانه ساعتی مورد مقایسات زوجی^{۱۱} قرار دهند. بدین ترتیب ماتریس مقایسات زوجی فازی هر متخصص در زمینه اهمیت معیارها و اولویت راهبردها شکل گرفت (آذر و فرجی، ۱۳۸۱).

$$\tilde{a}_{ij}^t = (l_{ij}^t, m_{ij}^t, u_{ij}^t), \quad i, j=1,2,\dots,n_k, \quad t=1,2,\dots \quad (2)$$

$$\tilde{a}_{ji}^t = \left(\frac{1}{u_{ij}^t, m_{ij}^t, l_{ij}^t} \right), \quad i, j=1,2,\dots,n_k, \quad t=1,2,\dots$$

در این رابطه \tilde{a}_{ij}^t مؤلفه فازی مربوط به شخص t ام برای مقایسه i با j است. در ادامه با استفاده از روش میانگین هندسی و با فرض یکسان بودن رأی تمام افراد پرسش شونده، از رابطه ۳، اقدام به تلفیق ماتریس مقایسات زوجی فازی هر متخصص و تشکیل ماتریس مقایسات زوجی از نظر گروه شد.

$$M_{ij}^k = \frac{1}{T} (\tilde{a}_{ij}^1 + \tilde{a}_{ij}^2 + \dots + \tilde{a}_{ij}^T) \quad (3)$$

در این رابطه M_{ij}^k مؤلفه فازی مربوط به گروه k ام برای مقایسه i با j است. بنابراین M_{ij}^k (میانگین هندسی) برای تمامی مؤلفه‌های فازی متناظر از رابطه ۳ به دست می‌آید.

بعد از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گروهی فازی، به منظور اعمال نظرات نهائی متخصصان، ماتریس مذکور ما بین جامعه آماری توزیع و از آنها خواسته شد که با توجه به انحرافات پاسخ هایشان از میانگین، تغییرات نهایی را بر روی ارزش‌های مورد نظرشان اعمال کنند، در نهایت با بدست آوردن میانگین هندسی امتیازات داده شده (رابطه ۳) ماتریس‌های نهائی مقایسات زوجی گروهی حاصل شد (جدول ۱).

- تعیین وزن نهائی راهبردها

با محاسبه اولویت راهبردها بر مبنای هر معیار و تشکیل ماتریس تصمیم گیری فازی (جدول ۲)، مشاهده می شود که اولویت ها بر مبنای معیارهای مختلف، متفاوت خواهد بود؛ لذا به منظور دستیابی به راهبردهای مهم بر مبنای تمامی معیارها و درجه بندی اولویت نهایی آنها عمل تلفیق طی مراحل ذیل بر روی نتایج حاصله از مراحل قبل اعمال شد (Chen, 2000, Chen et al, 2006, Ertugrul and Karakasoglu, 2007, Mohammadiet al, 2011) تشکیل ماتریس تصمیم گیری فازی موزون (HFDM) از رابطه ۱۱ حاصل می شود.

$$HFDM = FDM \times W_{n \times n} \quad (11)$$

در این رابطه:

$$FDM = \text{ماتریس تصمیم گیری فازی}$$

$W_{n \times n}$ = ماتریس قطری از وزن معیارها که در این ماتریس هر مولفه (H_{ij}) از رابطه ۱۲ حاصل می شود.

$$H_{ij} = a_{ij} \times w_j \quad (12)$$

در این رابطه:

H_{ij} = مقدار وزنی موزون که هر راهبرد با توجه به معیار مربوطه کسب می کند.

a_{ij} = مقدار وزنی که هر راهبرد با توجه به معیار مربوطه کسب می کند.

w_j = مقدار وزنی (عددی) معیار مربوطه.

- تعیین مقادیر عددی راهبردهای ایده آل مثبت (A_i^+)

و ایده آل منفی (A_i^-).

در ماتریس تصمیم گیری موزون هر راهبردی که بیشترین مقادیر عددی را در ارتباط با هر معیار به خود اختصاص دهد، مناسبترین راهبرد در کنترل فرایند بیابانزایی در نظر گرفته می شود و تحت عنوان راهبرد ایده آل مثبت (A_i^+) بیان می شود. لذا حداکثر مقادیر عددی راهبردها در ارتباط

نرمالیزه کردن اوزان نابهنجار معیارها و راهبردها از رابطه ۷ و دستیابی به ارجحیت و اولویت معیارها و راهبردها از نظر گروه از رابطه ۸ حاصل می شود.

$$P_h^K = \frac{P_{ih}^K(A_i^k)}{\sum_{i=1}^k P_{ih}^K(A_i^k)} \quad i = 1, 2, \dots, n_k \quad (7)$$

$$P_h^K = P_{1h}^K, P_{2h}^K, \dots, P_{n_k h}^K \quad (8)$$

این رابطه بیانگر ارجحیت یا اولویت هر معیار یا راهبرد از ماتریس مقایسات زوجی فازی k ام نسبت به معیار یا هدف سطوح بالاتر سلسله مراتب تصمیم گیری است. بنابراین ارجحیت معیارها نسبت به هدف (راهبرد بهینه بیابانزایی) را می توان به صورت رابطه ۹ نمایش داد.

$$C^{K-1} = (c_{1,1}^{K-1}, c_{1,2}^{K-1}, \dots, c_{n_k-1}^{K-1}) \quad (9)$$

در این رابطه ارجحیت (وزن نسبی) هر معیار (C) نسبت به هدف که در سطح بالاتر (K-1) قرار گرفته بیان می شود. اولویت هر راهبرد (A) نسبت به هر معیار (C) که در سطح بالاتر (K) از راهبردها واقع شده به صورت رابطه ۱۰ نمایش داده می شود.

$$a_{ij}^K = (a_{1h}^K, a_{2h}^K, \dots, a_{n_k h}^K)^T \quad (10)$$

- تشکیل ماتریس تصمیم گیری فازی

بر مبنای شکل کلی ماتریس تصمیم گیری در مدل های تصمیم گیری چند معیاره (MADM) و با توجه به روابط ۹ و ۱۰ ماتریس تصمیم گیری فازی شکل گرفت (جدول ۲).

جدول ۲. ماتریس تصمیم گیری فازی

A_i^k	Criterion			
	$c_{1,1}^{K-1}$	$c_{1,2}^{K-1}$	-----	$c_{n_k-1}^{K-1}$
A^1	a_{11}^k	a_{12}^k	-----	$a_{1n_k-1}^k$
A^2	a_{21}^k	a_{22}^k	-----	$a_{2n_k-1}^k$
:	:	:	:	:
A^k	a_{nk1}^k	a_{nk2}^k	-----	a_{nknk-1}^k

در انتها برای نمایش بهتر نتایج، درصد نزدیکی نسبی راهبردها از رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود.

$$\%C_i = \frac{C_i}{\left(\sum_{i=1}^n C_i\right)} \quad (18)$$

۴- نتایج و بحث

در فرایند ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدایی در منطقه مطالعاتی، ابتدا به منظور شناخت معیارها و راهبردهای مهم و اولویت دار 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 به منظور بیابان‌زدایی، راهبردها و معیارهای مهم و اولویت‌دار از نظر گروه انتخاب و به منظور ترسیم نمودار سلسله مراتب تصمیم‌گیری (شکل ۳) و تهیه پرسشنامه مقایسات زوجی فازی در نظر گرفته شدند (جدول ۴، ۳، و ۵).

پس از مشخص شدن معیارها و راهبردهای مهم و اولویت‌دار از نظر گروه، به منظور برآورد وزن نسبی معیارها و راهبردها جهت دستیابی به هدف "ارائه راهبردهای بهینه بیابان‌زدایی" از روش دلفی فازی ماتریس‌های مقایسات زوجی گروهی شکل گرفت. در اینجا به منظور جلوگیری از اطاله کلام فقط ماتریس مقایسات زوجی فازی معیارها نسبت به هدف "ارائه راهبرد بهینه بیابان‌زدایی" (جدول ۶) و ماتریس مقایسات زوجی 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. در ادامه برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی فازی، ارزش \tilde{S}_k که خود یک عدد فازی مثلثی ترکیبی است از رابطه ۴ محاسبه شد. به عنوان نمونه نتایج حاصل از برآورد ارزش \tilde{S}_k به دست آمده از جداول ۶ و ۷ در ذیل آمده است (مثال ۱ و ۲).

با هر معیار مطابق رابطه ۱۳ در مجموعه‌ای تحت عنوان مقادیر عددی راهبردهای ایده آل مثبت بیان می‌شود.

(۱۳)

$$A^+ = \left\{ \left(\max_i H_{ij} \mid j \in j=1 \right), \left(\max_i H_{ij} \mid j \in j=2 \right) \mid i=1,2,\dots,n \right\}$$

و همچنین حداقل مقادیر عددی راهبردها در ارتباط با هر معیار مطابق رابطه ۱۴ در مجموعه‌ای تحت عنوان مقادیر عددی راهبردهای ایده آل منفی (A_i^-) بیان می‌شود.

(۱۴)

$$A^- = \left\{ \left(\min_i H_{ij} \mid j \in j=1 \right), \left(\min_i H_{ij} \mid j \in j=2 \right) \mid i=1,2,\dots,m \right\}$$

محاسبه اندازه فاصله (d^+) هر گزینه ماتریس تصمیم‌گیری فازی موزون بر اساس نرم اقلیدوسی به ازای راهبردهای ایده آل مثبت و منفی از روابط ۱۵ و ۱۶ به دست می‌آید.

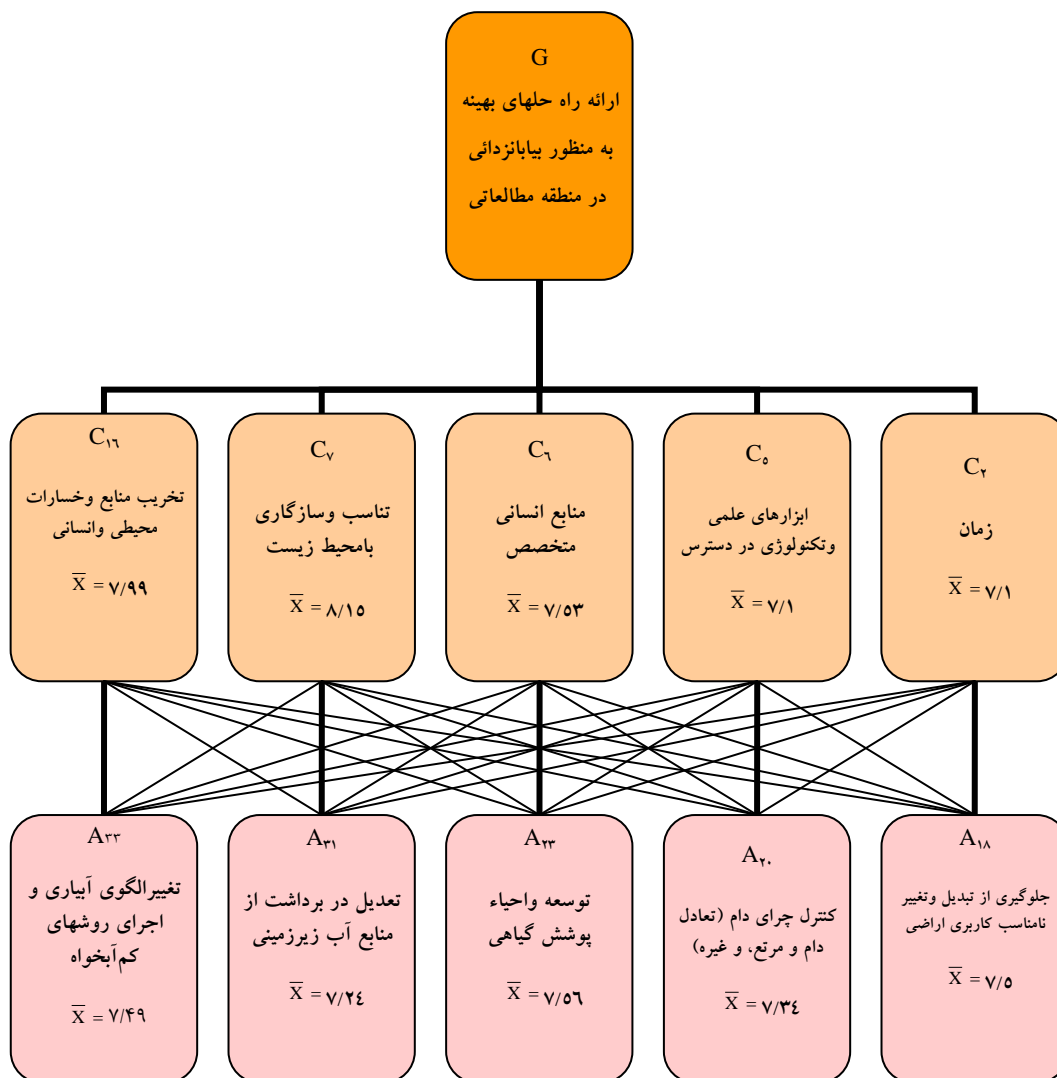
$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(H_{ij} - A_j^+ \right)^2}, (i=1,2,\dots,m) \quad (15)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(H_{ij} - A_j^- \right)^2}, (i=1,2,\dots,m) \quad (16)$$

هر قدر فاصله راهبردها از مقادیر راهبردهای ایده آل مثبت کمتر باشد، آن گزینه می‌تواند نقش موثرتری در فرایند بیابان‌زدایی داشته باشد و برعکس. محاسبه نزدیک^{۱۴} نسبی راهبردها به راهبرد ایده آل از رابطه ۱۷ و رتبه بندی راهبردها بر اساس انحرافات به دست می‌آید.

$$C_i = \frac{d_i^-}{\left(d_i^- + d_i^+ \right)}, (1,2,\dots,n) \quad (17)$$

چنانچه $A_i = A_i^+$ باشد، آنگاه $d_i^+ = 0$ و $C_i = 1$ می‌شود و در صورتی که $A_i = A_i^-$ باشد، آنگاه $d_i^- = 0$ و $C_i = 0$ ، بنابراین هر راهبردی که به راهبرد ایده آل نزدیکتر باشد، مقدار نزدیکی (C_i) آن به یک نزدیکتر خواهد بود.



شکل ۳. نمودار سلسله مراتب تصمیم‌گیری به منظور انجام مقایسات زوجی فازی در منطقه مطالعاتی

مثال ۱: ارزش \tilde{S}_k به دست آمده از ماتریس مقایسات زوجی گروهی اهمیت معیارها نسبت به هدف "ارائه راهبردهای بهینه بیابانزدایی در منطقه".

$$\tilde{S}_2 = (2/57, 2/87, 3/20) \times (0/346, 0/302, 0/256) = (0/189, 0/187, 0/182)$$

$$\tilde{S}_5 = (3/31, 3/60, 3/86) \times (0/346, 0/302, 0/256) = (0/114, 0/109, 0/98)$$

$$\tilde{S}_6 = (5/10, 5/60, 6/32) \times (0/346, 0/302, 0/256) = (0/173, 0/169, 0/162)$$

$$\tilde{S}_7 = (9/24, 10/72, 12/33) \times (0/346, 0/302, 0/256) = (0/320, 0/324, 0/316)$$

$$\tilde{S}_{16} = (8/75, 10/29, 13/3) \times (0/346, 0/302, 0/256) = (0/302, 0/310, 0/340)$$

<p>A_{۲۲} - جلوگیری از بوته‌کشی و قطع اشجار</p> <p>A_{۲۳} - توسعه و احیای پوشش گیاهی</p> <p>A_{۲۴} - حفاظت از تاغ زارها (جوان سازی و زاد آوری تاغ‌ها)</p> <p>- حفاظت خاک</p> <p>A_{۲۵} - حفاظت از سطوح سنگریزه ای در منطقه (رگ)</p> <p>A_{۲۶} - جلوگیری و کاهش تردد ماشین الات سنگین کشاورزی و صنعتی</p> <p>A_{۲۷} - ایجاد بادشکن‌های زنده و غیرزنده دارای کاربری حفاظت خاک</p> <p>A_{۲۸} - اصلاح بافت خاک</p> <p>- توسعه کشاورزی پایدار</p> <p>A_{۲۹} - اصلاح روش‌های تناوب زراعی و آیش</p> <p>A_{۳۰} - اصلاح روش‌های شخم زنی، کوددهی، سمپاشی</p> <p>- توسعه و مدیریت پایدار منابع آب (آبخوانداری)</p> <p>A_{۳۱} - تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی</p> <p>A_{۳۲} - کاهش مصرف آب (مصرف بهینه آب در مزارع)</p> <p>A_{۳۳} - تغییر در الگوی آبیاری و اجرای روش‌های کم آبخواه</p> <p>A_{۳۴} - تبدیل سیستم های آبیاری از سنتی با بازده کم به مدرن و تحت فشار با بازده زیاد</p> <p>A_{۳۵} - جمع آوری و استحصال بهینه منابع آب (شامل: ایزوله نمودن انهار، مرمت و لایروبی قنات‌ها، استفاده از کانال‌ها و مجاری، تعبیه آب انبارها و استخرها، نمک زدایی از آب‌های لب شور و شور و غیره)</p> <p>A_{۳۶} - تغذیه آب‌های زیرزمینی</p> <p>A_{۳۷} - احداث شبکه‌های پخش سیلاب و استفاده از آبرفت آن</p> <p>A_{۳۸} - ایجاد بارش‌های مصنوعی جهت تغذیه آبخوانه ها</p> <p>A_{۳۹} - ترویج و گسترش کشت گلخانه‌ای و تحت کنترل از نظر مصرف آب و تبخیر و تعرق</p> <p>A_{۴۰} - معرفی ارقام گیاهی جدید و مقاوم به خشکی و تنش‌های کم آبی از طریق مهندسی ژنتیک</p>	<p>- اصلاح، ایجاد و تقویت زیرساخت‌های اقتصادی - اجتماعی مناطق حاشیه‌ای</p> <p>A_۱ - کاهش نرخ رشد جمعیت</p> <p>A_۲ - فقر زدایی</p> <p>A_۳ - ایجاد و تقویت سازمان‌های روستایی</p> <p>A_۴ - افزایش اشتغال</p> <p>A_۵ - افزایش مشارکت مردمی و حمایت از NGO ها</p> <p>A_۶ - به کارگیری نیروهای بومی و تکنولوژی محلی در طرح‌ها (دانش بومی)</p> <p>A_۷ - آموزش مردم در بکارگیری روش‌های جدید و استفاده از دانش روز جهت کاربرد بهینه منابع</p> <p>A_۸ - تصویب، تقویت و اجرای قوانین و تناسب جرم با مجازات</p> <p>A_۹ - تأمین نیازهای ساکنان بومی</p> <p>A_{۱۰} - تعدیل الگوهای مصرف ناپایدار و تغییر و اصلاح شیوه‌های معیشتی مردم</p> <p>A_{۱۱} - توجه به نقش زنان و جوانان در بیابان‌زدایی</p> <p>A_{۱۲} - سازمان‌دهی نواحی شهری و جلوگیری از مهاجرت</p> <p>A_{۱۳} - ایجاد هماهنگی بین ادارات و سازمان‌های مسئول در امر بیابان‌زدایی و حفاظت محیط زیست</p> <p>A_{۱۴} - بالا بردن نرخ باسوادی</p> <p>A_{۱۵} - توسعه طبیعت‌گردی بیابانی</p> <p>A_{۱۶} - استفاده چند منظوره از بیابان به جای استفاده موردی</p> <p>A_{۱۷} - سپردن مسئله بیابان‌زدایی به بخش خصوصی</p> <p>A_{۱۸} - جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی</p> <p>A_{۱۹} - تهیه نقشه آمایش سرزمین و تعیین محدوده‌های بیابانی و حواشی کویرها و بیابان‌ها</p> <p>- حفاظت از پوشش گیاهی</p> <p>A_{۲۰} - کنترل چرای دام (تعادل دام و مرتع، تناسب نوع دام، جلوگیری از چرای خاج از فصل و غیره)</p> <p>A_{۲۱} - تولید علوفه و افزایش پتانسیل اقتصاد پایدار دامدار</p>
--	--

صادقی روش و طهمورث

جدول ۴. معیارهای پیشنهادی و میانگین اهمیت آنها از نظر گروه

نشانه	C _۱	C _۲	C _۳	C _۴	C _۵	C _۶
معیار (Criteria)	هزینه - سود	زمان	مشارکت مردمی	زیبائی 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	دولت سالاری در بیابان‌زدایی	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)	راحت طلبی سیستم‌های اداری دولتی	فشارهای سیاسی و اجتماعی	مسائل اورژانسی ناشی از بیابان‌زدایی	تخریب منابع و خسارات محیطی انسانی		
میانگین امتیازها	۲/۲۹	۵/۳۵	۶/۳۴	۷/۹۹		

جدول ۵. میانگین اولویت راهبردها از نظر گروه

راهبرد (Alternative)	A _۱	A _۲	A _۳	A _۴	A _۵	A _۶	A _۷	A _۸	A _۹	A _{۱۰}
میانگین امتیازها	۵	۵/۶۸	۵/۳۵	۶/۷	۶/۱	۶/۵۶	۶/۴۷	۵/۷۳	۵/۸۹	۵/۶
راهبرد (Alternative)	A _{۱۱}	A _{۱۲}	A _{۱۳}	A _{۱۴}	A _{۱۵}	A _{۱۶}	A _{۱۷}	A _{۱۸}	A _{۱۹}	A _{۲۰}
میانگین امتیازها	۴/۵	۵/۲۳	۶/۸۶	۴/۸	۵/۳۲	۵/۲۷	۳/۷۹	۷/۵	۶/۴۴	۷/۳۴
راهبرد (Alternative)	A _{۲۱}	A _{۲۲}	A _{۲۳}	A _{۲۴}	A _{۲۵}	A _{۲۶}	A _{۲۷}	A _{۲۸}	A _{۲۹}	A _{۳۰}
میانگین امتیازها	۶/۶	۶/۴۶	۷/۵۶	۶/۷۶	۶/۴۵	۵/۵۷	۶/۸۶	۴/۶۶	۵/۴۲	۵/۱
راهبرد (Alternative)	A _{۳۱}	A _{۳۲}	A _{۳۳}	A _{۳۴}	A _{۳۵}	A _{۳۶}	A _{۳۷}	A _{۳۸}	A _{۳۹}	A _{۴۰}
میانگین امتیازها	۷/۲۴	۶/۶	۷/۴۹	۶/۵۳	۶/۶۴	۶/۰۸	۵/۳	۳/۴۷	۶/۲	۶

جدول ۶. ماتریس مقایسات زوجی گروهی اهمیت معیارها نسبت به هدف "ارائه راهبردهای بهینه بیابان‌زدایی در منطقه"

معیار	C _۲	C _۵	C _۶	C _۷	C _{۱۶}	مجموع
C _۲	۰،۰،۰	۰/۶۷، ۰/۷۶، ۰/۸۹	۰/۴۱، ۰/۴۹، ۰/۶۰	۰/۲۷، ۰/۳، ۰/۳۳	۰/۲۳، ۰/۳۲، ۰/۳۸	۲/۵۷، ۲/۸۷، ۳/۲
C _۵	۱/۱۲، ۱/۳۱، ۱/۵	۰،۰،۰	۰/۵۴، ۰/۵۷، ۰/۶۰	۰/۳۶، ۰/۳۹، ۰/۴۱	۰/۲۹، ۰/۳۳، ۰/۳۵	۳/۳۱، ۳/۶، ۳/۸۶
C _۶	۲/۶۵، ۳/۰۸، ۴/۳۴	۱/۶۶، ۱/۷۴، ۱/۸۶	۰،۰،۰	۰/۳۴، ۰/۳۹، ۰/۴۶	۰/۳۵، ۰/۴۳، ۰/۵۸	۵/۰، ۵/۶، ۶/۳۲
C _۷	۳/۰۵، ۳/۳۸، ۳/۷۱	۲/۴۳، ۲/۵۵، ۲/۷۸	۲/۱۷، ۲/۵۵، ۲/۹۳	۰،۰،۰	۰/۵۹، ۱/۲۴، ۱/۹۱	۹/۲۴، ۱۰/۷۲، ۱۲/۳۳
C _{۱۶}	۲/۶۵، ۳/۰۸، ۴/۳۴	۲/۸۷، ۳/۰۷، ۳/۴۰	۱/۷۱، ۲/۳۳، ۲/۸۷	۱/۵۲، ۰/۸۱، ۱/۶۰	۰،۰،۰	۸/۷۵، ۱۰/۲۹، ۱۳/۳

جدول ۷. ماتریس مقایسات زوجی گروهی اولویت راهبردها نسبت به معیار "زمان"

معیار	A ₁₈	A ₂₀	A ₂₃	A ₃₁	A ₃₃	مجموع
A ₁₈	۰،۰،۰	۱، ۱/۰۸، ۱/۲	۰/۵۴، ۰/۶۸، ۰/۹۵	۰/۷۸، ۱/۰۶، ۱/۳۵	۱/۰۸، ۱/۲۳، ۱/۴۲	۴/۴، ۵/۰۵، ۵/۹۲
A ₂₀	۰/۸۳، ۰/۹۳، ۱	۰،۰،۰	۰/۷۲، ۰/۸۱، ۰/۹۲	۰/۸۸، ۱/۶۴، ۲/۲۴	۰/۸۳، ۱/۴۷، ۴	۴/۲۶، ۵/۸۵، ۹/۱۶
A ₂₃	۱/۰۵، ۱/۴۶، ۱/۸۶	۱/۰۹، ۱/۲۳، ۱/۳۸	۰،۰،۰	۱/۳۰، ۱/۳۹، ۱/۵	۱/۱۸، ۱/۳۴، ۱/۵۳	۵/۶۲، ۶/۴۲، ۷/۲۷
A ₃₁	۰/۷۴، ۰/۹۴، ۱/۲۸	۰/۴۵، ۰/۶۱، ۱/۱۴	۰/۶۷، ۰/۷۲، ۰/۷۷	۰،۰،۰	۰/۹۴، ۱/۰۹، ۱/۱۶	۳/۸، ۴/۳۶، ۵/۳۵
A ₃₃	۰/۷، ۰/۸۱، ۰/۹۳	۰/۲۵، ۰/۶۸، ۱/۲	۰/۶۵، ۰/۷۵، ۰/۸۵	۰/۸۶، ۰/۹۲، ۱/۰۶	۰،۰،۰	۳/۴۶، ۴/۱۶، ۵/۰۴

مثال ۲: ارزش \tilde{S}_k به دست آمده از ماتریس مقایسات زوجی گروهی اولویت راهبردها نسبت به معیار "زمان".

$$\begin{aligned}\tilde{S}_{18} &= (4/4, 5/0.5, 5/92) \times (0.346, 0.302, 0.256) = (0.204, 0.195, 0.181) \\ \tilde{S}_{20} &= (4/26, 5/85, 9/16) \times (0.346, 0.302, 0.256) = (0.198, 0.216, 0.279) \\ \tilde{S}_{23} &= (5/62, 6/42, 7/27) \times (0.346, 0.302, 0.256) = (0.261, 0.248, 0.222) \\ \tilde{S}_{31} &= (3/8, 4/36, 5/35) \times (0.346, 0.302, 0.256) = (0.176, 0.168, 0.163) \\ \tilde{S}_{33} &= (3/46, 4/16, 5/4) \times (0.346, 0.302, 0.256) = (0.161, 0.160, 0.154)\end{aligned}$$

دنبال آن درجه بزرگی هر عدد فازی مثلثی ترکیبی از $K = 4$ عدد مثلثی فازی ترکیبی از رابطه ۶ برآورد شد. (مثال ۳ و ۴)
 مثال ۳: اوزان غیر بهنجار ارجحیت معیارها نسبت به هدف "ارائه راه حل‌های بهینه بیابان‌زدایی".

حال با توجه به ارزش \tilde{S}_k های بدست آمده برای هر ماتریس مقایسه زوجی فازی، ارزش هر عدد فازی مثلثی ترکیبی (\tilde{S}_k) نسبت به هم از رابطه ۵ مورد مقایسه قرار گرفت و درجه بزرگی آنها نسبت به هم برآورد شد و به

$$\begin{aligned}\min V(\tilde{S}_7 \geq \tilde{S}_2, \tilde{S}_5, \tilde{S}_6, \tilde{S}_{16}) &= (1, 1, 1, 1) = 1 \\ \min V(\tilde{S}_{16} \geq \tilde{S}_2, \tilde{S}_5, \tilde{S}_6, \tilde{S}_7) &= (1, 1, 1, 0.61) = 0.61 \\ \min V(\tilde{S}_6 \geq \tilde{S}_2, \tilde{S}_5, \tilde{S}_7, \tilde{S}_{16}) &= (1, 1, 0.44, -1.41) = -1.41 \\ \min V(\tilde{S}_3 \geq \tilde{S}_2, \tilde{S}_6, \tilde{S}_7, \tilde{S}_{16}) &= (1, 0.5/22, 0.35/67, 1.02) = 1 \\ \min V(\tilde{S}_2 \geq \tilde{S}_5, \tilde{S}_6, \tilde{S}_7, \tilde{S}_{16}) &= (3/31, 1.0/47, 0.396/66, -0.67) = -0.67\end{aligned}$$

مثال ۴: اوزان غیر بهنجار اولویت راهبردها نسبت به معیار زمان.

$$\begin{aligned}\min V(\tilde{S}_{18} \geq \tilde{S}_{20}, \tilde{S}_{23}, \tilde{S}_{31}, \tilde{S}_{33}) &= (-4/25, 2/82, 1, 1) = -4/25 \\ \min V(\tilde{S}_{23} \geq \tilde{S}_{18}, \tilde{S}_{20}, \tilde{S}_{31}, \tilde{S}_{33}) &= (1, 1, 1, 1) = 1 \\ \min V(\tilde{S}_{33} \geq \tilde{S}_{18}, \tilde{S}_{20}, \tilde{S}_{23}, \tilde{S}_{31}) &= (3/13, -4.5/35, 1/46) = -4\end{aligned}$$

$$\min V(\tilde{S}_{20} \geq \tilde{S}_{18}, \tilde{S}_{23}, \tilde{S}_{31}, \tilde{S}_{33}) = (1, 0/36, 1, 1) = 0/36$$

$$\min V(\tilde{S}_{31} \geq \tilde{S}_{18}, \tilde{S}_{20}, \tilde{S}_{23}, \tilde{S}_{33}) = (-30, -2/69, -5/44, 1) = -30$$

پس از تشکیل ماتریس تصمیم گیری فازی راهبردهای بیابانزدایی (جدول ۸)، هر یک از مولفه‌های ماتریس فوق از رابطه (۱۲) به صورت موزون درآمد و طی رابطه (۱۱) ماتریس تصمیم گیری فازی موزون شکل گرفت (جدول ۹). در این مرحله پس از تشکیل ماتریس تصمیم گیری فازی موزون با استفاده از روابط ۱۳ و ۱۴ مقادیر عددی راهبردهای ایده آل مثبت (A_i^+) و ایده آل منفی (A_i^-) برآورد و مجموعه‌های مربوطه شکل گرفت. پس از برآورد مجموعه راهبردهای ایده آل مثبت و منفی، به منظور محاسبه اندازه فاصله (d) بر اساس نرم اقلیدوسی، به دلیل حجم بالای محاسبات از نرم افزار Excel استفاده شد و بر مبنای روابط ۱۵ و ۱۶ اندازه فاصله هر راهبرد ماتریس تصمیم گیری موزون به ازاء راهبردهای ایده آل مثبت و منفی برآورد شد.

پس از دستیابی به اوزان نابهنجار، این اوزان از رابطه ۷ بهنجار شد و ارجحیت و اولویت معیارها و راهبردها از نظر گروه حاصل شد. (مثال ۵ و ۶).

مثال ۵: اوزان بهنجار شده ارجحیت معیارها نسبت به هدف " ارائه راه حل های بهینه بیابانزدایی "

$$P_{\tilde{S}_k} = (0/326, -0/0296, 0/686, -0/048, -0/0296)$$

مثال ۶: اوزان بهنجار شده اولویت راهبردها نسبت به معیارزمان.

$$P_{\tilde{S}_k} = (0/115, -0/0976, -0/27, 0/813, 0/108)$$

در نهایت با برآورد کلیه اوزان بهنجار شده معیارها نسبت به هدف و راهبردها نسبت به هر معیار، در قالب کلی ماتریس تصمیم گیری در محیط فازی (جدول ۲)، ماتریس تصمیم گیری فازی راهبردهای بهینه بیابانزدایی از نظر گروه (جدول ۸) شکل گرفت.

جدول ۸. ماتریس تصمیم گیری فازی بیابانزدایی از راهبردهای بهینه گروه

C_{16}	C_7	C_1	C_0	C_2	اهمیت معیارها (C) ◀
-0/0296	-0/048	0/686	-0/0296	0/326	الویت راهبردها (A)
0/186	-0/11	-0/299	-0/035	0/115	A_{18}
0/177	-0/172	0/075	0/768	0/098	A_2
0/186	0/051	-0/299	-0/035	-0/27	A_{33}
0/076	0/209	0/972	0/279	0/813	A_{31}
0/373	0/102	0/125	0/23	0/108	A_{33}

جدول ۹. ماتریس تصمیم گیری فازی موزون راهبردهای بهینه بیابانزدایی از نظر گروه

C_{16}	C_7	C_1	C_0	C_2	اهمیت معیارها (C) ◀
0/000556	0/000528	-0/205114	0/0001036	0/03749	الویت راهبردها (A) ▼
0/0005239	0/0008256	0/05145	0/022733	0/031948	A_{18}
0/00055056	-0/0002448	-0/205114	0/0001036	-0/008802	A_2
0/00022496	0/0010032	0/66792	-0/0008258	0/265038	A_{33}
0/00110408	-0/0004896	0/008575	0/000681	0/035208	A_{31}

جدول ۱۰. رتبه بندی راهبردهای بیابان‌زدایی

رتبه	C_i	d_i^-	d_i^+	معیار
۵	۰/۰۴۸۸۸۴	۰/۰۶۳۱۳۶۷۳	۰/۹۰۱۱۱۲۳۱	(A _{۱۸})
۲	۰/۲۷۷۵۱۳	۰/۲۵۶۸۶۶۵۶۳	۰/۶۶۸۷۳۶	(A _{۲۰})
۴	۰/۱۹۹۶۹۱	۰/۱۸۴۶۰۵۳۸۱	۰/۷۳۹۸۵۱۹۳	(A _{۲۳})
۱	۰/۹۹۶۴۸۸	۰/۹۱۳۸۹۸۵۹۶	۰/۰۰۳۲۲۱۳	(A _{۳۱})
۳	۰/۲۳۸۳۴۹	۰/۲۱۸۱۷۷۵۴۲	۰/۶۹۷۱۹۳۳۲۸	(A _{۳۳})

خواهد بود و بالعکس، اولویت نهایی راهبردها برآورد شد. و درصد اولویت به دست آمد (رابطه ۱۸).

بر مبنای نتایج حاصل شده از فرایند تحقیق، راهبرد " تعدیل در برداشت از منابع آب زیر زمینی " (A_{۳۱}) با نسبت نزدیکی ۵۶/۵۹ درصد به عنوان مهمترین راهبرد و راهبردهای کنترل چرای دام (A_{۲۰})، تغییرالگوی آبیاری و اجرای روشهای کم آب خواه (A_{۳۳})، توسعه و احیاء پوشش گیاهی (A_{۲۳}) و جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی (A_{۱۸}) به ترتیب با نسبتهای نزدیکی، ۱۵/۷۶، ۱۳/۵۳، ۱۱/۳۴ و ۲/۷۸ به عنوان اولویتهای بعدی مطرح در کنترل و کاهش اثرات بیابانزایی و احیاء اراضی تخریب یافته ارزیابی شدند.

طی مطالعات انجام شده ملاحظه شد که حوزه آبریز دشت یزد- اردکان که منطقه مطالعاتی بخشی از آن می‌باشد، از بیلان آبی نامناسبی برخوردار است و با کسری بیلانی معادل ۱۸۷ میلیون متر مکعب در سال مواجه است. این در حالی است که در منطقه مطالعاتی هر چقدر از ارتفاعات و دشت سر لخت در نواحی جنوبی که دارای شدت بیابانزایی و حساسیت کمتری است به مناطق دشت سر پوشیده و پلایا که در نواحی شمالی واقع شده و دارای حساسیت بیشتری نسبت به بیابانی شدن است پیش می‌رویم افت سطح آب زیر زمینی بیشتر شده که در نتیجه اضافه برداشت بیشتر است. که نقش موثری در تسریع روند بیابانی شدن اراضی دارد. به طوری که طی برآوردهای انجام شده افت متوسط سفره آب زیر زمینی

- مجموعه راهبردهای ایده آل مثبت:

$$A_i^+ = \{ ۰/۲۶۵۰۳۸, ۰/۰۰۲۲۷۳۲۸, ۰/۶۶۶۷۹۲, ۰/۰۰۱۰۰۳۲, ۰/۰۰۱۱۰۴۰۸ \}$$

- مجموعه راهبردهای ایده آل منفی:

$$A_i^- = \{ -۰/۰۰۸۸۰۲, -۰/۰۰۰۸۲۵۸۴, -۰/۲۰۵۱۱۴, -۰/۰۰۰۴۸۹۶, ۰/۰۰۰۲۲۴۹۶ \}$$

- اندازه فاصله به ازای راهبردهای ایده آل مثبت:

$$d_i^+ = \{ d_{23}^+ = ۰/۷۳۹۸۵۱۹۳, d_{18}^+ = ۰/۹۰۱۱۱۲۳۱, d_{33}^+ = ۰/۶۹۷۱۹۳۳۲۸, d_{31}^+ = ۰/۰۰۳۲۲۱۳, d_{20}^+ = ۰/۶۶۸۷۳۶ \}$$

- اندازه فاصله به ازای راهبردهای ایده آل منفی:

$$d_i^- = \{ d_{23}^- = ۰/۱۸۴۶۰۵۳۸۱, d_{18}^- = ۰/۰۶۳۱۳۶۷۳, d_{33}^- = ۰/۲۱۸۱۷۷۵۴۲, d_{31}^- = ۰/۹۱۳۸۹۸۵۹۶, d_{20}^- = ۰/۲۵۶۸۶۶۵۶۳ \}$$

- اولویت راهبردها:

$$C_i = \{ C_{23} = ۰/۱۹۹۶۹۱, C_{18} = ۰/۰۴۸۸۸۴, C_{33} = ۰/۲۳۸۳۴۹, C_{31} = ۰/۹۹۶۴۸۸, C_{20} = ۰/۲۷۷۵۱۳ \}$$

- درصد اولویت راهبردها:

$$\%C_i = \{ \%C_{23} = ۱۱/۳۴, \%C_{18} = ۲/۷۸, \%C_{33} = ۱۳/۵۳, \%C_{31} = ۵۶/۵۹, \%C_{20} = ۱۵/۷۶ \}$$

در نهایت نزدیکی نسبی راهبردها نسبت به راهبرد ایده آل بیابان‌زدایی در منطقه مطالعاتی از رابطه (۱۷) برآورد شد و با توجه به این اصل که هر راهبردی که به راهبرد ایده آل نزدیکتر باشد، مقدار نزدیکی (C_i) آن به یک نزدیکتر

فازی تصمیم سازان را در فرایند تصمیم سازی جامع عمل می‌پوشاند.

به طور کلی با توجه به نتایج اولویت بندی نهائی راهبردها، تنها راهبرد " تعدیل در برداشت از منابع آب زیر زمینی" (A_{31}) با ضریب اولویت $0/99$ (نسبت نزدیکی $06/09$ درصد) مهمترین راهبرد بر مبنای مجموعه معیارها در منطقه مطالعاتی ارزیابی شد و سایر راهبردها نقش ناچیزی در کنترل و کاهش این پدیده بازی می‌کنند. بنابراین با تمرکز بر روی این راهبرد می‌توان به صورت موثر و کارآمد اقدامات کنترلی و اصلاحی را به انجام رساند.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Elimination et Choice Translating Reality (ELECTRE)
2. Analytical Hierarchy Process (AHP)
3. Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation (PROMETHEE)
4. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
5. Weighted Sum Model (WSM)
6. Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)
7. Compensatory Methods
8. Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)
9. Local Priority
10. Pirewise
11. Synthetic Triangular Fuzzy Number
12. Harmonic Fuzzy Decision Matrix
13. distance
14. Convergence

۷- مراجع

- احمدی، ح.، زهتاییان، غ.، ر.، جعفری، م.، (۱۳۸۳) "طرح تدوین شرح خدمات و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های بیابانزائی"، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، گروه بیابانزدایی، ۳۰۰ صفحه.
- آذر، ع و رجب زاده، ع.، (۱۳۸۱) "تصمیم‌گیری کاربردی (رویکرد MADM)"، نشر نگاه، ۱۸۳ صفحه.
- آذر، ع و فرجی، ح.، (۱۳۸۱) "علم مدیریت فازی"،

در مناطق جنوبی ۲۰ سانتیمتر در سال و در مناطق شمالی به ۴۵ سانتیمتر می‌رسد.

افت سفره یا به عبارتی اضافه برداشت از منابع آب زیر زمینی در نتیجه عوامل چندی در منطقه مطالعاتی حادث می‌شود که به منظور دستیابی به نتایج بهینه با ضریب اطمینان بیشتر به منظور کنترل بیابانزایی لازم است مورد توجه قرار گیرد. که از آن جمله می‌توان به روش آبیاری سنتی (غرقابی و کرتی) با بازدهی کم و مصرف آب زیاد ($73/8$ درصد کشاورزان از سیستم آبیاری سنتی استفاده می‌کنند)، افزایش تعاونی‌های کشت و افزایش حفر چاه های عمیق، وجود استخرها و جویهای روباز با خلل و فرج زیاد با راندمان پایین (راندمان کمتر از ۴۰ درصد به دلیل بدون پوشش بودن ۷۷ درصد شبکه‌های آبیاری)، وسعت کم اراضی زراعی (به طور متوسط کمتر از ۱۰ هکتار برای هر کشاورز)، افزایش صنایع با مصرف آب زیاد (آبخواه) همچون صنایع شن و ماسه و رنگرزی و نساجی، افزایش برداشت در نتیجه موتوردار شدن چاه‌ها، ابعاد نامناسب کرت‌ها، افزایش برداشت به منظور آبیاری مناطق کشت شده با گونه تاغ که در سال‌های اخیر به منظور کنترل فرسایش بادی در مناطق رسی و تپه‌های ماسه‌های ارگ اشکذر توسعه زیادی یافته است اشاره کرد.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش روشی نوین را به منظور رتبه بندی راهبردهای مطرح در فرایند بیابانزدایی بیان کردیم. این روش به منظور تعیین اولویت راهبردهای بیابانزدایی در منطقه خضرآباد یزد مورد استفاده قرار گرفت. کارائی بالا و سهولت کاربرد مدل مذکور و ارزیابی راهبردها بر مبنای مجموعه معیارهای موثر، از ویژگی‌های این مدل می‌باشد. از طرفی در این مدل با کاربرد روش دلفی فازی به منظور اجماع نظرات گروهی، از متاثر شدن تصمیم‌گیری بر مبنای نظر اشتباه کارشناسی پرهیز می‌شود و همچنین با کاربرد اعداد فازی در فرایند تصمیم‌گیری قضاوت‌های

- Aiello, G., M. Enea., G. Galante, and G. L. Scalia., (2009) "Clean Agent Selection Approached by Fuzzy TOPSIS Decision-Making Method", Journal of Fire Technology, 45: 405-418.
- Bottani, E, and A. Rizzi., (2006) "A fuzzy TOPSIS methodology to support outsourcing of logistics services", Journal of Supply Chain Management, 11: 294-308.
- Celik, M., A. Kandakoglu., I. Deha Er., (2009) "Structuring Fuzzy Integrated Multi-stages Evaluation Model on Academic Personnel Recruitment in MET Institutions", Journal of Expert Systems with Applications, 36: 6918-6927.
- Chen, C. T., (2000) "Extensions of the TOPSIS for group decision making under fuzzy environment", Journal of Fuzzy Sets and Systems, 114:1-9.
- Chen, C. T., C. T. Lin, and S. F. Huang., (2006) "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management", Journal of International Journal of Production Economics, 102: 289-301.
- Chen, S, and C. Hwang., (1992) "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications", Springer Verlag Inc, 536 pp.
- Chu, T. C., (2002) "Selecting plant location via a fuzzy TOPSIS approach. Journal of Advanced Manufacturing Technology", 20:859-864.
- Chu, T. C, and Y. C. Lin. (2003) "A fuzzy TOPSIS method for robot selection", Journal of Advanced Manufacturing Technology, 21:284-290.
- Ertugrul, I, and N. Karakasoglu., (2007) "Performance evaluation of Turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods", Journal of Expert Systems with Applications, 36: 702-715.
- Grau, J. B., J. M. Anton., A. M. Tarquis., F. Colombo., L. Rios, and J. M. Cisneros., (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 Discuss, 7: 2601-2630.
- Li, D. F., (2007) "Compromise ratio method for fuzzy multi-attribute group decision making", Journal of Applied Soft Computing. 7: 807-817.
- Meixner, O., (2012) "Fuzzy AHP group decision analysis and application for the evaluation of energy sources", Institute of marketing, Vienna, Austria, 295 pp.
- انتشارات اجتماع (دانشگاه تربیت مدرس)، ۳۲۰ صفحه.
- دفتر حقوقی و امور مجلس سازمان محیط زیست، (۱۳۸۳) "معاهدات بین المللی، مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست"، انتشارات سازمان محیط زیست، ۸۴۷ صفحه.
- سپهر، ع.، اختصاصی، م. ر و مدرسی، س.ع.، (۱۳۹۱) "ایجاد سامانه شاخص های بیابانزایی بر اساس DPSRI (بهره گیری از روش تاپسیس فازی)"، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۱، پیاپی ۴۵، صفحه ۵۰-۳۳.
- صادقی روش، م. ح.، احمدی، ح.، زهتابیان، غ. ر.، (۱۳۸۹) "کاربرد فرایند تحلیلی سلسله مراتب (AHP) در ارزیابی راهبردهای بیابانزدایی مطالعه موردی: منطقه خضر آباد یزد"، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۷، صفحه ۳۵-۵۰.
- صادقی روش، م. ح.، زهتابیان، غ. ر.، (۱۳۹۲) رتبه بندی راهبردهای بیابانزدایی با استفاده از رویکرد MADM و مدل مجموع وزنی (WSM) مطالعه موردی: منطقه خضرآباد یزد، پژوهشهای آبخیزداری، شماره ۱۰۰، ص ۱ تا ۱۱
- معین الدینی، م.، خراسانی، ن. ا.، دانه کار، ا و درویش صفت، ع. ا.، (۱۳۹۰) "مکانیابی محل دفن پسماند شهر کرج با استفاده از تاپسیس فازی سلسله مراتبی"، محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران) جلد ۶۴، شماره ۲، صفحات ۱۶۷-۱۵۵.
- Abo-Sinna, M. A, and A. H. Amer., (2005) "Extensions of TOPSIS for multi-objective large-scale nonlinear programming problems", Journal of Applied Mathematics and Computation, 162: 243-256.
- Aghajani, H, and M. Ahmadpour., (2011) "Application of Fuzzy Topsis for Ranking Suppliers of Supply Chain in Automobile Manufacturing Companies in Iran", Journal of Fuzzy Information Engineering, 4: 433-444.

Technologies and International Commerce", November 28-30, Vienna, Austria, pp. 215-221. Available from: ieeexplore.ieee.org

-Triantaphyllou, E, and C. T. Lin., (1996) "Development and evaluation of five fuzzy multiattribute decision-making methods", Journal of Approx Reason. 14: 281- 310.

-Wang, J. W., C. H. Cheng, and H. K. Cheng., (2009) "Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection", Journal of Applied Soft Computing, 9: 377-386.

-Wang, T. C, and T. H. Chang., (2007) "Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under fuzzy environment", Journal of Expert Systems with Applications, 33: 870-880.

-Yu, V. F., L. Q. Dat., N. H. Quang., T. A. Son., S. Y. Chou, and A. C. Lin., (2012) "An extension of fuzzy TOPSIS approach based on centroid-index ranking method", Journal of Scientific Research and Essays, 7: 1485-1493 Available from: <http://www.academicjournals.org/SRE>

-Mohammadi, A., A. Mohammadi, and H. Aryaeefar., (2011) "Introducing a new method to expand TOPSIS decision making model to fuzzy TOPSIS. Journal of Mathematics and Computer Science", 2: 150-159. Available from: <http://www.TJMCS.com>

- Sadeghi Ravesh, M. H., G. Zehtabian., H. Khosravi., (2014) "Application of AHP and ELECTRE models for Assessment of de-desertification alternatives", DESERT,19-2:141-153.

-Sadeghi Ravesh, M. H., G. Zehtabian., H. Ahmadi, and H. Khosravi., (2012) "Using analytic hierarchy process method and ordering technique to assess de-desertification alternatives", Case study: Khezrabad, Yazd, IRAN. Journal of Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 7: 51- 60.

-Saghafian, S, and S. R. Hejazi., (2005) "Multi-criteria group decision making using a modified fuzzy TOPSIS procedure Proceeding of the International Conference on Intelligent Agents Web