

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره هشتم، تابستان ۱۳۹۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۴/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۹/۲۳

صفحات: ۸۳-۹۶

تعیین و اولویت‌بندی شاخص‌های موثر در بیابان‌زایی با استفاده از مدل تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی

سارا پیش‌یار^۱، حسن خسروی^{۲*}، علی طویلی^۳، آرش ملکیان^۳

چکیده

ارزیابی شدت بیابان‌زایی کار بسیار مشکل است و معیارها و شاخص‌ها برای اندازه‌گیری تخریب ابزاری کلیدی به شمار می‌روند. ارزیابی موثرترین شاخص‌های بیابان‌زایی و تعیین اولویت و اهمیت آنها با استفاده از روش‌های سیستماتیک و نظام‌مند مانند روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری پروژه‌های کنترل و احیای مناطق در خطر بیابان‌زایی و جلوگیری از هدر رفت سرمایه‌گذاری شود. بنابراین در پژوهش حاضر به‌منظور تعیین موثرترین شاخص‌ها و اولویت‌بندی و وزن‌دهی آنها از روش‌های تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. ابتدا ۳۲ شاخص مهم و تاثیرگذار با استفاده از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه در ایران و جهان و مدل‌های ارزیابی موجود تعیین و از طریق پرسشنامه به‌وسیله کارشناسان مربوطه نمره‌دهی شدند. با کمک روش آنتروپی شانون، معیارهای مناسب برای ارزشیابی شاخص‌ها، وزن‌دهی و سپس با بکارگیری روش تصمیم‌گیری رتبه‌ای تاپسیس موثرترین شاخص‌های برای مدیریت و مقابله با بیابان‌زایی تعیین و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی، وزن‌دهی و اولویت‌بندی شدند. نتایج پژوهش نشان داد که معیار حساسیت به تغییرات جزئی با وزن ۰/۳۴۱ دارای بالاترین اهمیت و معیار هزینه و زمان با وزن ۰/۱۱۱ دارای کمترین اهمیت در بین معیارهای مورد بررسی هستند. از میان ۳۲ شاخص رتبه‌بندی شده ۲۰ شاخص به‌عنوان موثرترین شاخص‌ها تعیین شد که شاخص‌های بارش سالیانه، شوری آب، درصد پوشش گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که شاخص تغییر کاربری اراضی با وزن ۰/۲۱۷ و شاخص بارش سالیانه با وزن ۰/۱۶۶ به ترتیب بالاترین اولویت را در بین شاخص‌های انسانی و طبیعی دارند و بنابراین در مدیریت و مقابله با بیابان‌زایی شدن باید در اولویت قرار گیرند.

واژگان کلیدی: بیابان‌زایی، ارزیابی، تاپسیس، آنتروپی شانون، تحلیل سلسله مراتبی

^۱- کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

^۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

^۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

مقدمه

در دهه‌های اخیر پدیده بیابان‌زایی در اقلیم‌های خشک بیش از یک سوم کره زمین از جمله کشور ایران را در بر گرفته است. طبق گزارش UNCCD پدیده بیابان‌زایی آینده بیش از ۷۸۵ میلیون نفر را تهدید می‌کند و سالانه ۵۰۰۰۰ تا ۷۰۰۰۰ کیلومتر مربع اراضی حاصل‌خیز غیرقابل استفاده می‌شوند (European Commission, 1999). طبق تعریف کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل، (UNCCD, 1994) بیابان‌زایی عبارت است از تخریب سرزمین (اراضی) در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک‌نیمه‌مرطوب تحت اثر عوامل مختلفی شامل تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی. پیامدهای ناشی از بیابانی شدن، مثل از بین رفتن اراضی بارور، کاهش زیست توده (بیوماس) در جنگل‌ها، مراتع و دشت‌های حاصل‌خیز، افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش آب‌های سطحی، شور شدن اراضی و کاهش کیفیت منابع آبی، خسارات جبران‌ناپذیری به همراه دارد. بنابراین ارائه راهکارهای مدیریتی، تدوین برنامه‌های بلند مدت کنترل بیابان‌زایی، اجرای طرح‌های آمایش سرزمین و توسعه پایدار بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. به منظور تدوین روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی و تهیه نقشه‌های بیابانی شدن و انتخاب مناسب‌ترین روش‌ها و یا مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی، به شناخت فرآیندهای بیابان‌زا، عوامل موثر در شکل‌گیری این فرآیندها و معیارها و شاخص‌های موثر در سرعت و روند بیابان‌زایی نیاز است (اختصاصی و سپر، ۱۳۹۰).

تصمیم‌گیری چند شاخصه، یکی از روش‌های متداول جهت اولویت‌بندی گزینه‌ها است که در سال‌های اخیر بسط و توسعه زیادی یافته است. در مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، گزینه‌های مورد نظر را با توجه به شاخص‌های مختلف که گاه ممکن است در تعارض با یکدیگر باشند، الویت‌بندی می‌کنند (پورطاهری، ۱۳۹۳). در این روش ملاک عمل معیارها برتری یا درجه اهمیت شاخص‌ها بر پایه هدف مطالعاتی است. در این روش تعدادی گزینه، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و در مورد آنها، یک نوع الویت‌بندی انجام می‌شود. علاوه بر گزینه‌ها، همانطور که از نام تصمیم‌گیری چندشاخصه برمی‌آید، چندین شاخص وجود دارد که تصمیم‌گیرنده، باید آنها را با دقت، در مسائل خود مشخص کند (مومنی، ۱۳۸۳).

در این پژوهش به منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها از دو روش تصمیم‌گیری چند شاخصه، تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس استفاده شد. روش تاپسیس در سال ۱۹۸۵ توسط هوانگ و یون^۱ ارائه شد. روش تحلیل سلسله مراتبی، روش تصمیم‌گیری است که با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری عملی می‌شود. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌کند، استفاده می‌شود. این روش ارزیابی چند معیاره را، ابتدا در سال ۱۹۸۰ توماس ال ساعتی پیشنهاد کرد و تا کنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است (آل‌دین و تیلور^۲، ۲۰۰۵). در این زمینه تحقیقاتی از جمله، صادقی روش و همکاران (۱۳۸۹) در ارزیابی و ارائه راهکارهای بهینه در بیابان‌زدایی در منطقه خضرآباد یزد از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده نمودند.

¹. Hwang and Yoon

². Aldian and Taylor

بر مبنای نتایج حاصل شده، راهبردهای جلوگیری از تبدیل و تغییر نامناسب کاربری اراضی با میانگین وزنی ۲۲/۹ درصد، توسعه و احیا پوشش گیاهی با میانگین وزنی ۲۱/۸ درصد و تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی با میانگین وزنی ۱۹/۱ درصد به ترتیب به عنوان مهمترین راهبردهای بیابان‌زدایی در منطقه تشخیص داده شدند. صادقی روش و خسروی (۲۰۱۴)، در مطالعه خود جهت ارزیابی شاخص‌های بیابان‌زدایی ایران مرکزی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه و مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و الکترو استفاده کردند نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ممانعت از تغییرات نامناسب کاربری اراضی، توسعه و رشد پوشش گیاهی و تغییر در استفاده از آب‌های زیرزمینی با متوسط ۲۲/۹، ۲۱/۸، ۱۹/۱ درصد با اهمیت‌ترین شاخص‌های بیابان‌زایی در این منطقه هستند. گراو و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه خود تحت عنوان استفاده از مدل ریاضی به منظور انتخاب بهینه شاخص‌ها برای ایجاد یک برنامه کامل و صحیح کنترل بیابان‌زایی و فرسایش، از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه شامل الکترو^۱، پرامسه و تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در میان این سه روش با وجود پیچیدگی سیستم مطالعه شده سطح بالایی از سازگاری و توافق وجود دارد و MCDM یک روش بسیار مفید برای تدوین یک برنامه جامع و کامل برای کنترل فرسایش و بیابان‌زایی است. سپهر و زوکا (۲۰۱۲)، در پروژه خود تحت عنوان بررسی بیابان^۲ که با هدف بررسی تخریب به وسیله سنجش از دور در ۳ کشور مختلف (برزیل، موزامبیک و پرتغال) صورت گرفته است، از الگوریتم تاپسیس به عنوان یک روش تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین مجموعه شاخص‌ها و ادغام شاخص‌های بیابان‌زایی استفاده کردند. نتایج نشان داد تاپسیس روشی با ارزش در مواجهه با افزایش پیچیدگی‌ها در مدیریت سرزمین و تصمیم‌گیری‌هاست.

بیشتر مطالعات انجام شده برای بررسی بیابان‌زایی در ایران بر پایه مدل‌هایی چون مدالوس و IMDPA استوار است. این روش‌ها می‌توانند به عنوان پایه برای تدوین معیارها و شاخص‌ها استفاده شوند ولی به دلیل اهمیت یکسانی که به هر کدام از شاخص‌ها می‌دهند، در عمل وزن و سهم اثر یکسانی به همه معیارها و شاخص‌ها می‌دهند. بنابراین 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. بنابراین در این پژوهش به منظور تعیین موثرترین شاخص‌های بیابان‌زایی و تعیین اولویت و اهمیت آنها از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس استفاده شد.

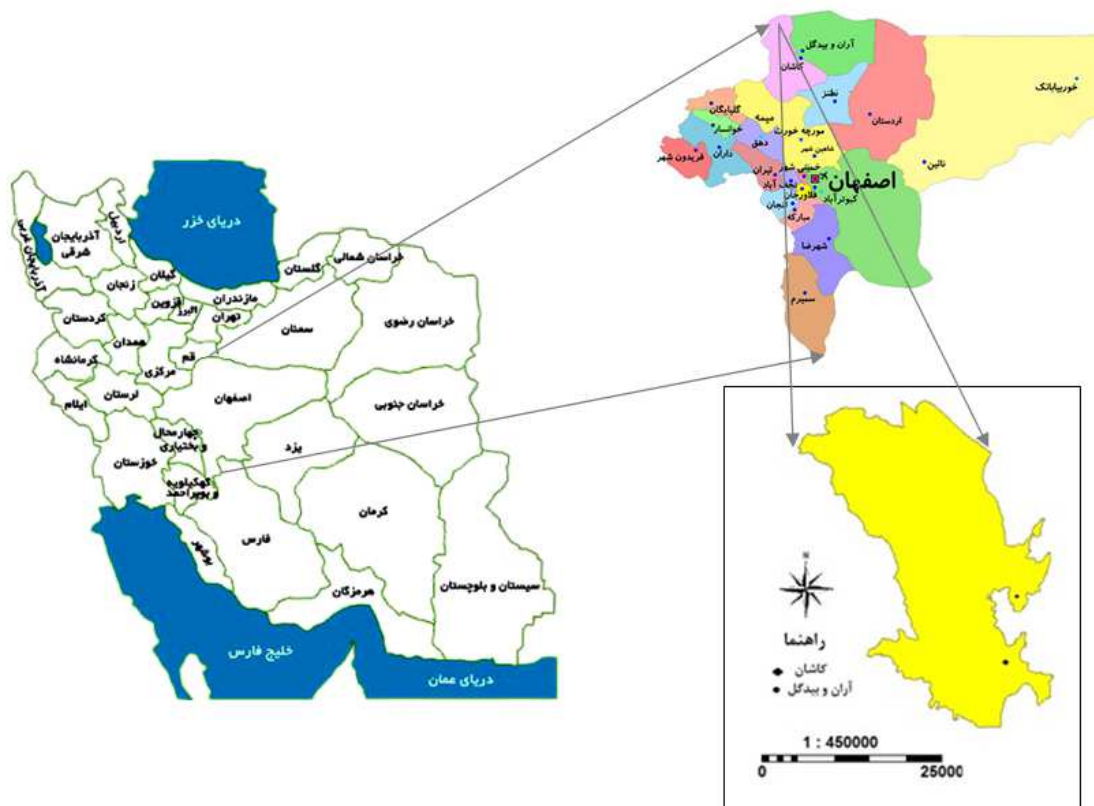
داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با وسعت حدود ۹۱۳۸۳ هکتار در فاصله ۲۴۰ کیلومتری جنوب تهران و در حاشیه کویر قرار دارد. این منطقه دارای مختصات جغرافیایی "۳۵° ۶' ۵۱" تا "۵۱° ۳۳' ۵" طول شرقی و "۳۴° ۲۰' ۳" تا "۳۳° ۵۲' ۳۴"

1. ELECTR
2. Desert Watch

عرض شمالی می‌باشد (شکل ۱). و از نظر اقلیمی، دشت کاشان با ضریب خشکی ۴/۸ جزء مناطق خشک یا بیابانی شدید محسوب می‌گردد. از سوی دیگر نواحی کوهستانی جنوب دشت کاشان از اقلیم خاصی برخوردار است که از نقطه نظر طبقه‌بندی دومارتن جزء مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌گردد. منطقه کاشان یکی از مناطق کم باران ایران است به طوری که میزان بارندگی سالانه در نواحی اطراف خود شهر کاشان کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر است که حدوداً معادل ۵۵ درصد متوسط بارندگی کشور است (اربابی سبزواری، ۱۳۸۹). در منطقه مورد مطالعه یک واحد دشت‌سر وجود دارد که خود شامل سه تیپ دشت سر فرسایشی، آپانداز یا پخش سیلاب و پوشیده می‌باشد هر یک از تیپ‌های ذکر شده در فوق خود دارای رخساره‌های تخریبی و فرسایشی می‌باشند. شرایط منطقه مورد مطالعه بیان کننده لزوم پرداختن به راه حل‌های بیابان‌زدایی در این حوزه است (خسروی، ۱۳۹۱).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان

جمع آوری داده

منابع اطلاعاتی مورد استفاده در این پژوهش شامل عکس‌های هوایی، اطلاعات موجود در قالب نقشه، اطلاعات حاصل شده از مطالعات میدانی (امتیازدهی شاخص‌ها) و آمار و گزارش‌های سازمان‌ها و ادارات ذیربط می‌باشد. این اطلاعات با توجه به دقت و قدرت تفکیکشان و ویژگی مسائل مورد بررسی، مورد استفاده قرار گرفت.

تعیین و انتخاب مهمترین شاخص‌ها

به منظور شناخت و دستیابی به موثرترین شاخص‌ها از نظرات کارشناسان بهره گرفته شد. لیستی از شاخص‌ها که شامل ۳۲ شاخص است، براساس نظرات کارشناسان و بررسی شاخص‌های مورد مطالعه در پروژه‌های بیابان‌زایی در جهان و ایران تهیه شد (جدول ۱).

جدول ۱: لیست شاخص‌های اولیه مورد مطالعه

• تعداد روزهای همراه با گرد و غبار	• اقلیم
• ظهور رخساره‌های فرسایش بادی	• بارش سالیانه (mm)
	• شاخص خشکی ترانسو P/ETP
	• تداوم خشکسالی‌های سالانه
آب و آبیاری	خاک
• افت آب زیرزمینی (cm/yr)	• عمق خاک
• نسبت توسعه چاه به قنات	• درصدموادآلی خاک
• شوری آب (EC) $\mu\text{mohs/cm}$	• میزان سنگریزه سطحی
• نوع سیستم آبیاری	• زهکشی خاک
• میزان ساعت پمپاژ	• بافت خاک
• راندمان آبیاری (%)	• هدایت الکتریکی (EC)
• کمبود منابع آب مورد استفاده دام و حیات وحش	
• میزان بیلان منفی آب برحسب میلیون متر مکعب در سال	
مدیریت	پوشش گیاهی
• رعایت اصول کشاورزی (شخم و آیش و تناوب زراعی)	• شدت چرا
• تراکم بیولوژیک جمعیت (N/Km^2)	• بوته‌کنی
• توجه به مشارکت مردم	• افزایش گونه مهاجم
• تغییر کاربری اراضی	• تجدیدپوشش گیاهی
• استفاده غیر اصولی از ماشین آلات کشاورزی	• درصد پوشش گیاهی
• سواد	
• اشتغال	فرسایش بادی
	• فراوانی بادها با سرعت متوسط بیش 6 m/s

سپس پرسشنامه‌های متشکل از شاخص‌های انتخابی طراحی شد و بین کارشناسان متخصص در این زمینه توزیع شد. از متخصصان آشنا به منطقه خواسته شد که اهمیت و الویت هر شاخص با توجه به ۵ معیار شامل: قابل درک و فهم، سهولت و دقت در پایش و اندازه‌گیری، هزینه و زمان، متناسب با هدف و حساس نسبت به تغییرات جزئی را بر اساس طیف لیکرت در مقیاس ۱ الی ۵ برآورد کنند که ۱ به معنای حداقل تاثیر و ۵ حداکثر آن می‌باشد. سپس از نتایج حاصل از تمامی این پرسشنامه میانگین گرفته شد. با توجه به این که در مسائل تصمیم‌گیری ممکن است

چندین معیار وجود داشته باشد که اهمیت نسبی آن‌ها متفاوت است. از این رو به هر یک از معیارها یک وزنی داده می‌شود، به طوری که مجموع اوزان معیارها برابر یک باشد. این وزن‌ها در واقع اهمیت نسبی و درجه ارجحیت هر معیار را نسبت به بقیه برای تصمیم‌گیری مورد نظر نشان می‌دهد. برای ارزیابی اوزان روش‌های مختلفی وجود دارد. در این پژوهش از روش آنتروپی شانون جهت وزن‌دهی معیارها در چهار گام استفاده گردید و وزن معیارها تعیین شد.

مرحله اول: با استفاده از رابطه ۱ ماتریس تصمیم‌گیری، نرمالایز (بی‌مقیاس) می‌شود.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (1)$$

مرحله دوم: در این مرحله با استفاده از رابطه ۲ مقدار E_j (آنتروپی هر معیار) به دست می‌آید.

$$E_j = -K \sum \{P_{ij} \ln P_{ij}\} \quad (2)$$

مقدار K (یک عدد مثبت) مطابق رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$k = \frac{1}{\ln(m)} = \frac{1}{\ln(32)} = 0.288 \quad (3)$$

m = تعداد گزینه‌ها

مرحله سوم: محاسبه مقدار عدم اطمینان d_j با استفاده از رابطه ۴:

$$d_j = 1 - E_j \quad (4)$$

مرحله چهارم: وزن‌های معیارها با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^m d_j} \quad (5)$$

بدین ترتیب وزن تمامی معیارها محاسبه می‌شود.

سپس با استفاده از مدل تاپسیس اقدام به تعیین موثرترین شاخص‌های بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه شد. پس از رتبه‌بندی شاخص‌ها بر اساس وزن‌های بدست آمده توسط روش تاپسیس از بین ۳۲ شاخص ۲۰ شاخص با اهمیت و در اولویت تعیین شد. در ادامه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی، موثرترین شاخص‌های بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه اولویت‌بندی و وزن‌دهی شدند. از آنجا که بر مبنای مدل تحلیل سلسله مراتبی لحاظ ماتریس‌های بیش از ۱۵ بعد باعث افزایش ناسازگاری و دستیابی به نتایج غیر واقعی می‌شود و در عین حال شاخص ناسازگاری تصادفی برای آنها تعریف نشده است، ۲۰ شاخص تعیین شده در مرحله قبل را در دو گروه شاخص‌های طبیعی یک ماتریس ۱۲ بعدی و شاخص‌های انسانی، ماتریس ۸ بعدی ارائه شد. به منظور برآورد اهمیت شاخص‌ها از جهت تاثیر در فرآیند بیابان‌زایی، تعداد ۲۰ پرسشنامه تهیه و از کارشناسان آشنا به منطقه مطالعاتی خواسته شد که اهمیت شاخص‌ها را به صورت زوجی در مقیاس ۱ تا ۹ ساعتی (جدول ۲) برآورد کنند. در ادامه پرسشنامه‌های تهیه شده به منظور تشکیل

ماتریس مقایسات زوجی و تجزیه و تحلیل وارد نرم افزار EXPERT CHOICE شد. نرم افزار EC جهت تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است و می‌تواند اجرا شود. این نرم‌افزار مورد حمایت دکتر ساعتی، بنیان‌گذار روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، است.

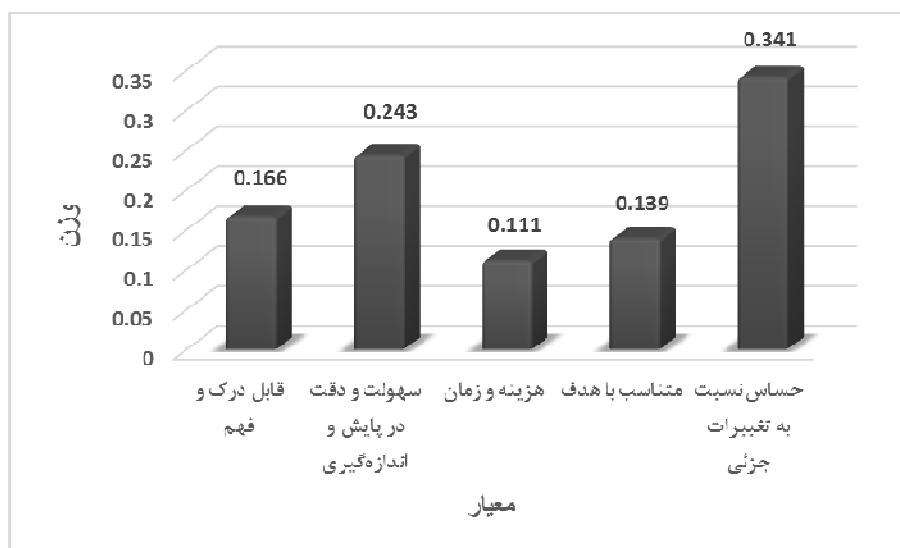
جدول ۲: اهمیت و ارجحیت (مقیاس زوجی) ۹ گانه ساعتی

درجه اهمیت	تعریف
۱	اهمیت یکسان
۳	نسبتاً مرجع یا کمی مهتر یا کمی مطلوبتر
۵	اهمیت شدید یا مطلوبیت قوی
۹	اهمیت فوق العاده زیاد با کاملاً مرجع یا کاملاً
۸,۶,۴,۲	ترجیحات بین فواصل فوق
۱/۳, ۱/۴, ۱/۵, ۱/۶, ۱/۷, ۱/۸, ۱/۹	ارزشهای متقابل ارزیابی‌های انجام شده

نتایج

محاسبه وزن نسبی معیارها با استفاده از روش آنترویی شانون

نتایج حاصل از وزندهی با کمک روش آنترویی شانون در شکل ۲ قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در میان این ۵ معیار، معیار حساس به تغییرات جزئی دارای بالاترین وزن و همچنین بیشترین اهمیت می‌باشد در مقابل معیار هزینه و زمان دارای کمترین وزن در بین پنج معیار انتخابی است.



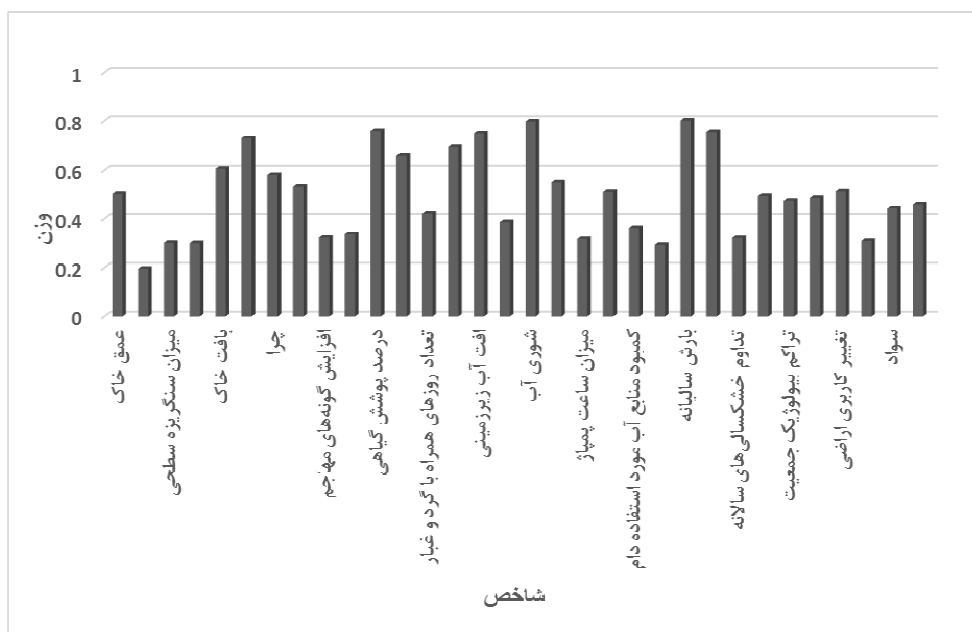
شکل ۲: نمودار وزن معیارهای مورد بررسی

الویت بندی شاخص‌ها با استفاده از روش TOPSIS

نتایج حاصل از رتبه‌بندی شاخص‌ها با استفاده از مدل تاپسیس در شکل ۳ نشان داده شده است. ترتیب رتبه‌بندی شاخص‌ها از بالاترین رتبه تا کمترین رتبه را به صورت زیر نشان می‌دهد. علامت مساوی بین شاخص‌ها نشان دهنده وزن‌های مساوی شاخص‌ها می‌باشد.

بارش سالیانه - شوری آب - درصد پوشش گیاهی - شاخص خشکی ترانسو - افت آب زیرزمینی - هدایت الکتریکی عصاره خاک - ظهور رخساره فرسایشی - فراوانی بادها با سرعت متوسط بیش ۶ m/s - بافت خاک - شدت چرا - نوع سیستم آبیاری - بوته‌کنی - تغییر کاربری اراضی - راندمان آبیاری (%) - عمق خاک - رعایت اصول کشاورزی - توجه به مشارکت مردم - تراکم بیولوژیک جمعیت - اشتغال - سواد - تعداد روزهای همراه با گرد و غبار - گرد و غبار - نسبت توسعه چاه به فئات - کمبود منابع آب مورد استفاده دام و حیات وحش - افزایش گونه‌های مهاجم مهاجم = تداوم خشکسالی‌های سالانه = میزان ساعت پمپاژ - استفاده غیر اصولی از ماشین‌آلات کشاورزی - میزان سنگریزه سطحی (%) - میزان بیلان منفی آب بر حسب میلیون متر مکعب در سال.

شاخص‌های بارش با وزن ۰/۸۰۱، شوری آب با وزن ۰/۷۹۷، درصد پوشش گیاهی با وزن ۰/۷۵۹، شاخص خشکی ترانسو با وزن ۰/۷۵۵ دارای بالاترین امتیاز هستند.



شکل ۳: نمودار وزن شاخص‌های تعیین شده توسط مدل تاپسیس

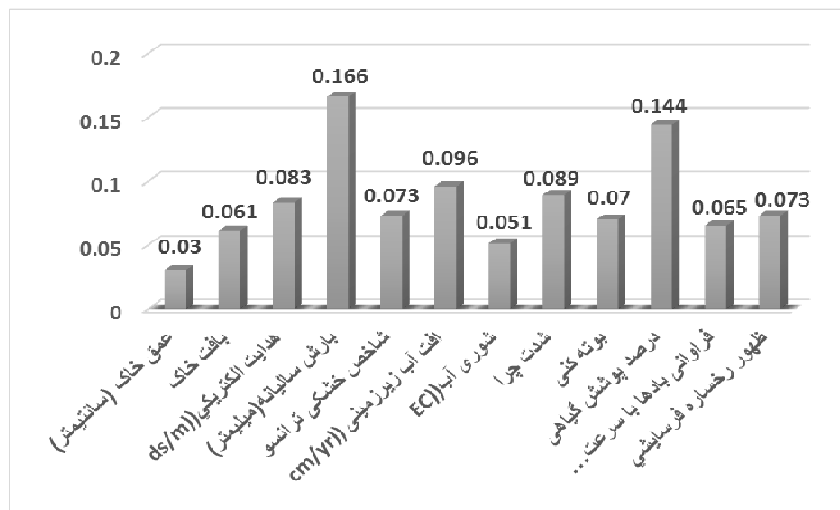
نتایج تعیین وزن و اولویت‌بندی شاخص با استفاده از تحلیل سلسه مراتبی

پس از رتبه‌بندی شاخص‌ها بر اساس وزن‌های بدست آمده توسط روش تاپسیس از بین ۳۲ شاخص ۲۰ شاخص با اهمیت و اولویت انتخاب شد و در جدول ۴ به دو گروه شاخص‌های انسانی و طبیعی دسته‌بندی گردید.

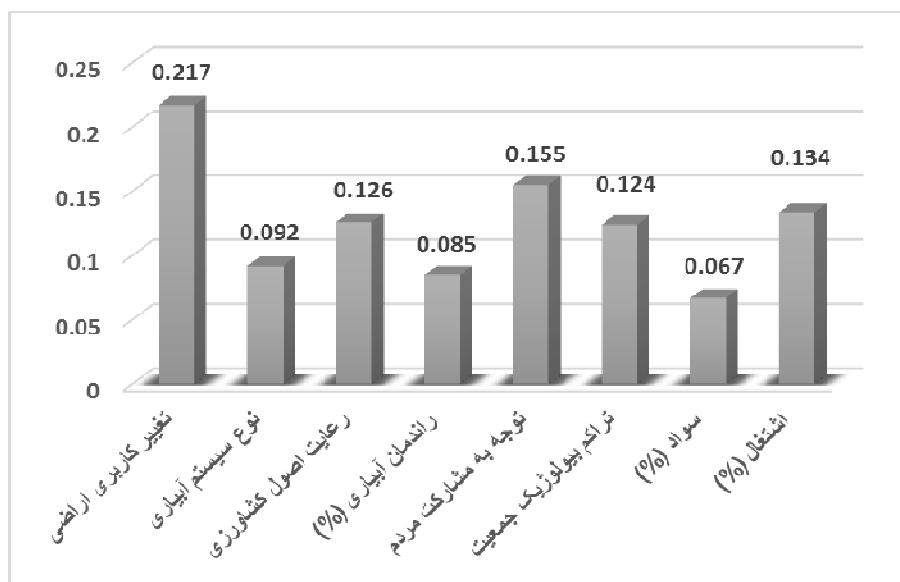
جدول ۴: نتایج حاصل از رتبه‌بندی شاخص‌ها توسط مدل تاپسیس

شاخص‌های طبیعی	شاخص‌های انسانی
عمق خاک (cm)	تغییر کاربری اراضی
بافت خاک	نوع سیستم آبیاری
هدایت الکتریکی خاک (ds/m)	رعایت اصول کشاورزی (شخم، آیش و تناوب زراعی)
بارش سالیانه (mm)	راندمان آبیاری (٪)
شاخص خشکی ترانسو	توجه به مشارکت مردم
افت آب زیرزمینی (cm/yr)	تراکم بیولوژیک جمعیت (N/KM ²)
شوری آب (EC) Mohs/cm	سواد (٪)
شدت چرا	اشتغال (٪)
بوته کنی	
درصد پوشش گیاهی	
فراوانی بادها با سرعت متوسط بیش از m/s۶	
ظهور رخساره فرسایشی	

نتایج حاصل از اولویت‌بندی و وزن‌دهی موثرترین شاخص‌های بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه توسط نرم افزار EC در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴: نتایج تعیین وزن شاخص‌های طبیعی



شکل ۵: نتایج تعیین وزن شاخص‌های انسانی

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شده است با نگرشی متفاوت به مقوله شاخص‌های بیابان‌زایی و انتخاب آنها از لحاظ نقشی که در ارزیابی، مدیریت و پایش دارند، پرداخته شود. ابتدا سعی شد با استفاده از تحقیقات انجام شده در این زمینه در ایران و جهان، مانند وصالی (۱۳۸۷)، صبوری‌راد (۱۳۹۳)، خسروی (۱۳۸۳، ۱۳۹۱) و مدل‌های ارزیابی مانند مدل حساسیت زیست محیطی نواحی (ESAs^۱, ۱۹۹۹)، مدل طبقه بندی نوع و شدت بیابان‌زایی در ایران (ICD^۲)، مدل گروه احیاء مناطق خشک دانشکده منابع طبیعی (IMDPA^۳) و مدل تاکسونومی عددی توسعه یافته (MNT^۴)، ۳۲ شاخص مهم تعیین شد. در پژوهش‌ها و ارزیابی‌های انجام شده تعیین شاخص‌ها به صورت غیر سیستماتیک و تصادفی انجام می‌شد در این پژوهش انتخاب شاخص‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری انجام شد. این موجب دستیابی به شاخص‌های مهمتر و تاثیرگذارتر در مدیریت بیابان‌زایی منطقه می‌شود و باعث نزدیکی بیشتر نتایج به واقعیت می‌شود.

نتایج تحلیل معیارها نشان می‌دهد که معیار حساس نسبت به تغییرات جزئی با وزن ۰/۳۴۱ دارای بیشترین اهمیت است. این معیار نشان دهنده ماهیت شاخص‌ها و نقش آن در بیابان‌زایی است. در این مطالعه این معیار بالاترین وزن

1. Environment Sensitive Area to Desertification (ESA)
2. Iranian Classification of Desertification (ICD)
3. Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA)
4. Modify Numerical Taxonomy

را به خود اختصاص داده و مهم‌ترین عامل ارزشیابی شاخص‌ها جهت مقابله و کنترل بیابان‌زایی می‌باشد. معیار هزینه و زمان با وزن ۰/۱۱۱ کم‌ترین وزن را دارد. با توجه به نتایج حاصل از بررسی و انتخاب شاخص‌های مناسب بیابان‌زایی، معیارهای تعیین شده در این تحقیق برای ارائه یک سیستم جامع و مناسب از معیارها و شاخص‌ها برای ارزیابی بیابان‌زایی در یک منطقه حائز اهمیت هستند. البته ممکن است با توجه به عوامل مختلف و مناطق مختلف معیارهای متنوع‌تری مورد استفاده قرار گیرند و اهمیت آنها متفاوت باشد. به‌عنوان مثال سپهر و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه خود برای تعیین سامانه‌ای برای شاخص‌های بیابان‌زایی از سه معیار اعتبار محلی، مقیاس و قابلیت پایش و ارزیابی استفاده نمود. صبوری‌راد (۱۳۹۳)، در مطالعه خود نقش بازدارندگی را با اهمیت‌ترین معیار و معیار مقیاس را کم‌اهمیت‌ترین نشان داد.

نتایج رتبه‌بندی براساس مدل تاپسیس نشان داد که شاخص‌های بارش سالیانه با وزن ۰/۸۰۱ درصد، شوری آب با وزن ۰/۷۹۷، درصد پوشش گیاهی با وزن ۰/۷۵۹، شاخص خشکی ترانسو با وزن ۰/۷۵۵، افت آب زیرزمینی با وزن ۰/۷۵۰، هدایت الکتریکی عصاره خاک با وزن ۰/۷۲۸ در درجه اول اهمیت و عمق خاک، بافت خاک، شدت چرا، بوته کنی، فراوانی باد با سرعت متوسط بیش ۶ m/s، ظهور رخساره‌ی فرسایشی، نوع سیستم آبیاری، راندمان آبیاری رعایت اصول کشاورزی، تراکم بیولوژیک جمعیت، توجه به مشارکت مردم، تغییر کاربری اراضی، سواد و اشتغال به عنوان اولویت‌های با اهمیت بالاتر به عنوان ۲۰ شاخص موثر بیابان‌زایی در مطالعات بیابان‌زایی منطقه مطرح می‌باشند. این شاخص‌ها برای پایش، مدیریت و مقابله با بیابان‌زایی باید مورد توجه قرار بگیرند. این شاخص‌ها از جهت این که بیشترین نزدیکی نسبی را در رتبه‌بندی بدست آورده‌اند در بیشترین اهمیت قرار دارند بنابراین در برنامه‌های کنترل و احیا و مدیریت بیابان در اولویت کاری طرح‌ها قرار گیرند. شاخص‌هایی چون استفاده غیر اصولی از ماشین آلات کشاورزی - میزان سنگریزه سطحی (٪) - میزان بیلان منفی آب بر حسب میلیون متر مکعب در سال در پایین‌ترین رتبه‌بندی قرار دارند و نشان دهنده اهمیت کمتر در بین سایر شاخص‌ها می‌باشند. صبوری‌راد و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش تاپسیس در منطقه فیض‌آباد شاخص‌های مدیریت اراضی کشاورزی، مدیریت چرا بالاترین اهمیت را دارا هستند. سپهر و زوکا (۲۰۱۲) شاخص‌های افزایش پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی در اولویت قرار دارند.

نتایج اولویت‌بندی موثرترین شاخص‌های بیابان‌زایی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که در شاخص‌های طبیعی بارش سالیانه با وزن ۰/۱۶۶ و درصد پوشش گیاهی با وزن ۰/۱۴۴ به ترتیب اولویت اول و دوم را دارا می‌باشند. این نشان می‌دهد که این شاخص‌ها دارای بیشترین اهمیت در فرآیند بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه هستند. در بین شاخص‌های انسانی تغییر کاربری اراضی با وزن ۰/۲۱۷ و توجه به مشارکت مردم با وزن ۰/۱۵۵ دارای اولویت اول و دوم هستند. نتایج این بخش از تحقیق با صادقی‌روش و خسروی (۲۰۱۴)، که تعدیل در برداشت منابع آب زیرزمینی، توسعه و احیا پوشش گیاهی و جلوگیری از تبدیل تغییر نامناسب کاربری اراضی را به‌عنوان مهمترین راهبردهای بیابان‌زدایی بیان کردند مطابقت دارد و از راهبردهای پیشنهادی توسط ایشان می‌توان برای مدیریت و کنترل مناطق بیابانی در کاشان استفاده کرد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در مطالعات جهت بررسی وضعیت بیابان‌زایی انتخاب شاخص‌ها به روش غیر سیستماتیک و تصادفی شیوه مناسب و کارآمدی نیست بنابراین به منظور بالا رفتن بازدهی طرح‌های کنترل، احیا و بازسازی اراضی تخریب یافته و جلوگیری از اتلاف

سرمایه‌های محدود در طرح‌های بیابان‌زایی استفاده از روش‌هایی که موثرترین شاخص‌ها و معیارها را تعیین و اولویت آنها نسبت به هم را براساس منطق و اصول قوی و مینای نظری مستدل ارائه دهد در حوزه مدیریت مناطق بیابانی بسیار ضروری است. پایش و اندازه‌گیری و ارزیابی شاخص‌های موثر در پدیده بیابان‌زایی در هر منطقه می‌تواند جهت‌گیری و روندهای موجود در زمینه بیابان‌زایی یا به عبارت دیگر میزان انحراف یا نزدیکی به طرف ایده‌آل یا بیابان‌زایی را مشخص کند. استفاده از اوزن و اهمیت شاخص‌ها در تهیه نقشه بیابان‌زایی می‌تواند نتایجی نزدیکتر به واقعیت را ارائه دهد. روش‌های تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی روش‌هایی مناسب برای انتخاب شاخص‌ها و اولویت‌بندی آنها می‌باشند این روش‌ها هم دقت را بالا می‌برند و از اشتباهات انسانی جلوگیری می‌کنند. لذا بهتر است در تحقیقات آینده در این زمینه برای اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شاخص‌ها و معیارها از این روش‌ها و یا روش‌های مشابه استفاده شود.

منابع

- اختصاصی، م. ر.، سپهر، ع. ۱۳۹۰. روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی، انتشارات دانشگاه یزد، چاپ اول، ۲۸۸.
- اربابی سبزواری، آ. ۱۳۸۹. تحلیل اثر خشکسالی با روش درون‌یابی شاخص Z نرمال بارندگی در سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه کاشان. فصل‌نامه جغرافیایی طبیعی، ۷(۳)؛ ۱۰۵-۱۲۴.
- پورطاهری، م. ۱۳۸۹. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در جغرافیا. تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی، ۲۲۳ صفحه.
- خسروی، ح. ۱۳۸۳. کاربرد مدل مدالوس در بررسی بیابان‌زایی منطقه کاشان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۰۵ ص.
- خسروی، ح. ۱۳۹۱. ارائه مدل پایش و سیستم هشدار اولیه بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه کاشان)، رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۸۶ ص.
- صادقی‌روش، م.، احمدی، ح.، زهتابیان، غ. ر.، طهمورث، م. ۱۳۸۹. کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (تحلیل سلسله مراتبی) در ارزیابی راهبردهای بیابان‌زایی مطالعه موردی: منطقه خضرآباد یزد. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷(۱)؛ ۸۹-۳۵.
- صادقی‌روش، م.، زهتابیان، غ. ر. ۱۳۹۰. ارزیابی راهبردهای بیابان‌زایی با کاربرد مدل تحلیل سلسله مراتبی (تحلیل سلسله مراتبی) و تکنیک اولویت‌بندی ترجیحی بر اساس تشابه به پاسخ‌های ایده‌آل (TOPSIS) مطالعه موردی: منطقه خضرآباد یزد. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، ۳(۶)؛ ۱۷-۳۰.
- صبوری راد، س. ۱۳۹۳. تعیین سامانه شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی بر مبنای رویکرد FUZZ_DPSIR (مطالعه موردی: منطقه فیض‌آباد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۳۴ ص.
- سپهر، ع.، اختصاصی، م. ر.، المدرسی، ذ. ع. ۱۳۹۱. ایجاد سامانه شاخص‌های بیابان‌زایی بر اساس DPSIR (بهره‌گیری از روش فازی-تاپسیس). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۴۵(۱)؛ ۵۰-۳۳.
- مومنی، م. ۱۳۸۵. مباحث نوین تحقیق در عملیات. تهران: انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
- وصالی، ع. ۱۳۸۷. بررسی شاخص‌های بیوفیزیکی شدت بیابان‌زایی متاثر از فعالیت‌های انسانی (منطقه مورد مطالعه: کاشان و آران بیدگل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۷۶ ص.

- Grau, J. M. 2010. An application of mathematical models to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control (Chaco Area salta Province-Argentina). *Biogeosciences*.7, 3421_3433.
- Mashayekhan, A., and Honardoust, F. 2011. Multi-Criteria Evaluation Model for Desertification Hazard Zonation Mapping using GIS. *Journal of Applied Biological Sciences*, 5 (3); 49-54.
- Sadeghiravesh. M., Zehtabian. Gh., Khosravi.H. 2014. Application of AHP and ELECTERE models for assessment of de_desertification alternatives. *Journal of Desert*. 19(2); 141_153.
- Sadeghiravesh. M., Khosravi, H., Ghasemian. S. 2014. Application of Fuzzy analytical hierarchy Process for assessment of combating-desertification alternatives in central Iran. *Journal of Natural Hazards*, 75(10); 653-667.
- Sepehr. A., Zucca. C. 2012. Ranking Desertification Indecators Using TOPSIS Algorithm, *Journal of Natural Hazards*. 62(3); 1137-1153.

Ranking Effective Desertification Indices using TOPSIS and Analytic Hierarchy Process

Sara Pishyar¹, Hassan Khosravi^{*2}, Ali Tavili³, Arash Malekian³

1- M Sc. Expert in Desert Management Area, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

2- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Email: hakhosravi@ut.ac.ir

3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Received: 2016.06.27

Accepted: 2016.08.05

Abstract

It is very difficult to assess desertification and criteria and indices are considered as key tools to measure the destruction. Evaluate the most effective desertification indices assessment and determination of their priorities and importance using systematic methods including Attribute Decision Making can increase the efficiency of controlling projects and, reclamation of disturbed lands, and also to avoiding investment wasting. Therefore, in this study TOPSIS and Analytic Hierarchy Process algorithm were used to determine the most effective indices and ranking their priorities and importance. The first, based on previous study in Iran and other parts of the world, 32 of effective indices on desertification were selected and weighted by relevant experts via questionnaires. Using Shannon entropy model suitable criteria for evaluating the indices were weighted, and then the most effective factors to assess desertification were determined and weighted by TOPSIS algorithm and Analytic Hierarchy Process respectively. The results showed that the criteria of sensitivity to minor changes and cost and time with the weight of 0.341 and 0.111 have the highest and the least importance among the studied criteria respectively. Among 32 ranked indices, 20 indices were determined as the most effective indices on desertification. The indices of annual rain fall, salinity, vegetation cover have the highest importance respectively. Also the results showed that indices of land use changes and annual rainfall with the weight of 0.217 and 0.166 have the highest priorities between human and natural indices respectively; so they should be prioritized in management and combat to desertification.

Keywords: Desertification, Assessment, TOPSIS, Shanon Entropy, Analytic Hierarchy Process.