مجلـه جغرافیـا و برنامـه‌ریـزی محیطـی
سـال ۲۳، پیـاپی ٤٥، شـماره ۱، بهـار ۱۳۹۱

ایجاد سامانه شاخص‌های بیابان‌زایی بر اساس DPSIR
(بهره گیری از روش فازی- تاپسیس)

عـــادل ســـپهر: استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایـران *
محمدرضا اختصاصی: دانشـیار دانشـکده منـابع طبیعـی و کویرشناسـی، دانشـگاه یـزد، یـزد، ایـران
سـیدعلی المدرسـی: اسـتادیار دانشـکده فنـی و مهندسـی، دانشـگاه آزاد اسـلامی، واحـد یـزد، یـزد، ایـران

وصـول: ۱۳۸۹/۱۱/۸ پـذیرش: ۱۳۹۰/۹/۲۷، صص ۵۰-۳۳

چکیده

مطالعات ارزیابی و پایش بیابان‌زایی بر روی داده‌ها و شاخص‌های درست و دقیق به منظور تعیین شاخص‌های بیابـان‌زایـی بـرای بکارگیری در برنامه‌های کاهش و جلوگیری از فرایند بیابان‌زایی متمرکز شده است. آنچه در ارزیابی بیابان‌زایی مهم بـه نظـر مـی‌رسـد امتیازدهی برای اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شاخص‌های بیابان‌زایی به گونه‌ای است که در برنامه‌های کاهش اثرات این فرایند، قابل استناد باشد. هدف رتبه‌بندی، ترتیب‌بندی، آرایش داده‌ها و دادن امتیاز به شاخص‌هاست. در بسیاری از موارد در رتبه‌بندی شاخص‌ها، ابهام و عدم اطمینان وجود دارد. در این پژوهش با کمک تئوری فازی و تلفیق آن با روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصـه بـه تعیـین سـامانه شاخص بیابان‌زایی به منظور مدیریت ریسک این پدیده پرداخته شده است. در ابتدا شاخص‌های موثر در بیابـان‌زایـی شناسـایی و بـه وسیله گروه خبرگان ارزیابی و اهمیت هر شاخص تعیین گردید. در نهایت، با تلفیق فازی و روش تاپسیس در قالـب مجموعـه مثلثـی فازی، شاخص‌ها رتبه‌بندی و سامانه شاخص‌های بیابان‌زایی برای مـدیریت ریسـک تعیـین شـد. نتـایج پـژوهش نشـان مـی‌دهـد کـه شاخص‌های مربوط به پوشش گیاهی و شاخص‌های فشار، اهمیت بالا در بیابانی شدن دارند. بنابراین، در مدیریت ریسک بیابـان‌زایـی نقش مهم‌تری نیز دارند. همچنین ارزیابی‌ها موید توان بالای تلفیق فازی و روش تاپسیس در کاهش ابهام است. لازم به ذکر است این پژوهش در قالب پروژه DesertWatch و انتخاب شاخص‌ها بر اساس DPSIR بوده است.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، مدیریت ریسک، فازی-تاپسیس، DPSIR

۱- مقدمه

بیابان‌زایی (یا بـه طـور صـحیح‌تـر، بیابـانی شـدن اراضی)، به عنوان یکی از نمودهای تخریب اراضـی و از جمله خطرات طبیعـی (Natural Hazards) اسـت، که در دهه‌های اخیر با رشـد روز افـزون جمعیـت در جهان و به ویژه در کشورهای در حال توسعه به عنوان خطری که زندگی ساکنین مناطق مستعد بیابان‌زایـی را مخصوصاً در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه مرطـوب تهدیـد مـی‌کنـد، بـه عنـوان بلایـای طبیعـی (Natural Disaster) مطرح گردیده است.

امـروزه بـا دخالـت‌هـای بشـر در طبیعـت و مـدیریت‌هـای غیـر اصـولی وی در اسـتفاده از منـابع

*نویسنده مسؤول: ۰۹۱۵۵۰۸۵۷۳۲
email: adelsepehr@um.ac.ir & adelsepehr@aol.com

Archive of SID
www.SID.ir

طبیعی، شاهد مطرح شدن بیابان‌زایی انسانی[1] و بیابان‌زایی تکنوژنیک (Anthropogenic Desertification) (بیابانی شدن در اثر رشد فن‌آوری و صنعتی شدن) هستیم.

بنابراین، بیان پدیده بیابانی شدن که یکی از پیامدهای تخریب اراضی است با عنوان خطر محیطی[2]، نقش انسان را در توسعه، شدت و همچنین کنترل این پدیده نمایان‌تر می‌سازد. پیامدهای ناشی از بیابانی شدن، هم‌چون از بین رفتن اراضی بارور، کاهش زیست‌توده (بیوماس) در جنگلها، مراتع و دشت‌های حاصل‌خیز، افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش آب‌های سطحی، شور شدن اراضی و کاهش کیفیت منابع آبی، خسارات غیر قابل جبرانی به همراه دارد. بنابراین ارائه راهکارهای مدیریتی، تدوین برنامه‌های بلندمدت کنترل بیابان‌زایی، اجرای طرح‌های آمایش سرزمین و توسعه پایدار بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. ارائه راهکارهای مدیریتی باید به گونه‌ای باشد که بتوان همواره بیابانی شدن را به عنوان یک خطر طبیعی- محیطی مطرح نمود و به عبارت دیگر فعالیت‌ها باید در قالب مدیریت ریسک[3] یعنی قبل از وقوع خسارات جانی و مالی و تبدیل خطر به بلیه معطوف گردد. بنابراین باید مدیریت ریسک مقدم بر مدیریت بحران[4] که در زمان مطرح شدن بلایا و خسارات جانی و مالی است، باشد. یکی از روش‌های بکار رفته در مدیریت ریسک بیابان‌زایی، استفاده از سامانه‌های پیش‌آگاهی[5] است که لازمه آن ایجاد سامانه‌های شاخص‌های بیابان‌زایی[6]، برای تبیین سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری[7] می‌باشد. برای تدوین روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی و تهیه نقشه‌های بیابانی شدن (اعم از وضعیت حال و خطر) و تدوین طرح‌ها و برنامه‌های کنترل این پدیده، نیازمند شناسایی فرایندهای بیابان‌زا، عوامل مؤثر در توسعه این فرایندها و معیارها و شاخص‌های مؤثر در روند بیابان‌زایی هستیم.

آنچه در تصمیم‌گیری مهم است این که چطور باید معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی، انتخاب و برای ارزیابی امتیاز و وزن‌دهی گردند، به گونه‌ای که مورد توافق همه کارشناسان و صاحبنظران بوده و بتواند تصویری دقیق و گویا از وضعیت بیابان‌زایی را نشان دهد.

تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)[8] شامل یک سری از تکنیک‌ها از جمله جمع وزن‌دهی یا تحلیل‌های همگرایی است که اجازه می‌دهد، طیفی از معیارهای وابسته به یک مبحث امتیازدهی و سپس بوسیله کارشناسان و گروه‌های ذینفع رتبه‌بندی شوند (هیگز، ۲۰۰٦)[9]. تصمیم‌گیری چند معیاره بر یک فرآیند، دادن ارزش به گزینه‌هایی که بوسیله چند معیار ارزیابی شده‌اند، دلالت دارد. تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند به دو طبقه وسیع زیر تقسیم شود: تصمیم‌گیری چند شاخصه (Multi-Attributes) و تصمیم‌گیری چند هدفه (Multi-Objectives).

اگر مسأله مورد ارزیابی، یک مجموعه محدود از گزینه‌ها به منظور انتخاب بهترین آنها بر اساس

1 - Anthropogenic Desertification
2 - Environmental Hazards
3 - Risk Management
4 - Crisis Management
5- Early Warning Systems

6 - Desertification Indicators System
7 - Decision Support System
8 - Multi Criteria Decision Making (MCDM)
9 - Higgs

Archive of SID

www.SID.ir

وزن‌های مربوط به ویژگی‌های آن گزینه‌ها باشد، این مسأله یک تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) است. تصمیم‌گیری چند هدفه (MODM) به انتخاب بهترین گزینه‌ها بر مبنای یک سری اهداف کم و بیش ناسازگار سروکار دارد (فوئا و مینووا، ۲۰۰۵)[1]. روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه زیادی به منظور ارزیابی اوزان برای شاخص‌های موجود در یک تصمیم و انتخاب گزینه برتر توسعه یافته‌اند، که از این میان می‌توان به روش‌هایی نظیر روش آنتروپی[2]، روش روش کمترین مجذورات وزین شده[3] و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[4] اشاره کرد (اصغرپور، ۱۳۸۵).

در یک تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌توان از روش‌هایی مانند روش دلفی برای گزینش معیارهای مناسب برای تصمیم‌گیری استفاده کرد و از روش‌هایی مانند AHPیا تاپسیس برای وزن‌دهی به این معیارها و نهایتاً تعیین درجه اهمیت گزینه‌های مورد تصمیم‌گیری درمسأله مورد نظر بهره برد. به طور کلی روش‌های MADM به دو گروه روش‌هایی که مبتنی بر رتبه‌بندی گزینه‌ها است و به روش‌های رتبه‌بندی[5] شناخته می‌شوند مانند AHP و تاپسیس، و روش‌هایی که لزوماً به رتبه‌بندی گزینه‌ها منتهی نمی‌شود و بر اساس روابط رتبه- برتری است و به روش‌های غیر رتبه‌ای یا نارتبه‌ای[6] معروفند و از آن جمله می‌توان به به انواع روش‌های الکترا[7] و پراموسه[8] اشاره نمود.

اما مسأله قابل تأمل عدم اطمینان در الویت‌بندی شاخص‌ها و معیارها و تردید در تصمیم‌گیری‌ها است. در چنین شرایطی می‌توان از تئوری فازی، بهره جست. این روش این امکان را فراهم می‌کند تا با انتخاب و طبقه‌بندی شاخص‌ها در شرایطی که با اطلاعات مبهم و غیر دقیق روبرو هستیم، همراه با تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری به راه‌حل بهینه دست یابیم. ساسیکالا و پتروف (۲۰۰۱)[9]، با استفاده از دو جنبه متفاوت تئوری منطق فازی شامل استفاده از مجموعه‌های فازی و عملگرهای فازی برای وزن‌دهی، تلفیق و طبقه‌بندی شاخص‌ها و نیز روش وزن‌دهی با ارزش کمی بالاتر از یک و ارتباط توابع فازی، خطر بیابان‌زایی را برای نواحی جنگلی که در اثر آتش‌سوزی دچار تخریب شده بودند محاسبه کردند.

کمال (۲۰۰۱)[10]، نتایج مثبت کاربرد فرایند سلسله مراتبی (AHP)، را در مدیریت، به ویژه در تعیین معیارها و الویت‌بندی گزینه‌ها مشخص نمود. نتایج پژوهش وی حاکی از آن بود که در بررسی و الویت‌بندی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های معیارهای مختلف کاربرد روش فرایند سلسله مراتبی نتایج مثبتی به همراه دارد.

احمدزاده و پتروف (۲۰۰۳)، به کمک تئوری دمستر-شافر و فازی کلاس‌های فرسایش خاک را در محدوده‌های کلاسی متفاوت مشخص نمود. ایشان پیشنهاد کردند که در مسایل طبقه‌بندی شاخص‌ها به ویژه در حالتی که شاخص‌های مشابه رتبه‌های متفاوتی دارند، تئوری دمستر-شافر در فازی می‌تواند رتبه‌های کمیّ و دقیقی در کلاس‌های متفاوت، ترکیب

1 - Phua and Minova
2 - Entropy Method
3 - Least Weighted Square
4 - Analytical Heirarchy Process
5 - Ranking Methods
6 - Outranking Methods
7 - ELECTRE
8 - PRMOTHEE
9 - K.R Sasikala and M. Petrou
10 - Kamal M. Al-Subhi Al-Harbi

Archive of SID

www.SID.ir

و ارائه کند. جمالی و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده ار تلفیق GIS و روش AHP، شاخص‌ها و معیارهای موثر در بیابان‌زایی را انتخاب و روش مدیریتی بر مبنای سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS) برای کاهش شدت بیابان‌زایی در حوضه‌های آبخیز ارائه نمودند. اولسن و وو (۲۰۰۵)[1]، نشان دادند که چگونه می‌توان از شبیه‌سازی برای انعکاس ورودی‌های فازی در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده کرد و تحلیل احتمالی کامل‌تری از نتایج مدل ارائه داد.

پیترسن (۲۰۰٦)[2]، با کمک تحلیل روش‌های تصمیم‌گیری و با تعیین شاخص‌های مختلف موثر در کیفیت آب‌های زیرزمینی در چارچوب تصمیم‌گیری گروهی، دیدگاه مدیریت پایدار برای منابع آب زیرزمینی در جنوب آفریقا ارائه نمود. نتایج پژوهش وی منجر به ایجاد سامانه شاخص‌های موثر در ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی شد. مین وو (۲۰۰۷)[3]، مدل شبیه‌سازی تاپسیس-ای.اچ.پی (TOPSIS-AHP) را در مدیریت، وزن‌دهی و الویت‌بندی معیارها بیان داشتند. نتایج مطالعات وی پیشنهاد نمود که فرایند سلسله مراتبی همراه با مدل تصمیم‌گیری تاپسیس می‌تواند خطای انتخاب و الویت‌بندی معیارها را در شرایط عدم قطعیت کاهش دهد.

در این مقاله کوشش شده است تا با کمک روش‌های تصمیم‌گیری و فازی، به اولویت‌بندی و تعیین اهمیت شاخص‌ها به منظور مدیریت ریسک بیابان‌زایی پرداخته شود. از آنجایی که پژوهشگر مقاله، به عنوان همکار پژوهشی پروژه بین المللی DesertWatch و Desurvey با اتحادیه اروپا همکاری می‌نماید، این پژوهش به عنوان بخشی از اجرای پروژه DesertWatch (۲۰۱۰-۲۰۰٤)، برای پایش و تعیین شاخص‌های بیابان‌زایی در چارچوب DPSIR[4] صورت گرفته است. به همین منظور و در راستای پروژه مذکور، بررسی شاخص‌ها و مطالعه کارآیی روش‌های تصمیم‌گیری در سه کشور برزیل (Brazil)، موزامبیک (Mozambique) و پرتغال (Portugal) انجام گردید (لازم به ذکر است که فاز اول پروژه در چهار کشور اصلی مدیترانه شامل ایتالیا، پرتغال، یونان و ترکیه که حساسیت به بیابانی شدن در آن‌ها بیشتر است انجام گرفته است).

۲- پروژه DesertWatch (۲۰۱۰-۲۰۰٤)

رسیدن به اهداف UNCCD[5]، نیازمند توسعه قابل اطمینان و مقرون به صرفه این امر است که بتوان نیروی انسانی و اطلاعات دقیق، بهنگام و پیوسته را در موارد زیر تأمین نمود:

- شناخت وضعیت فرآیندهای بیابان‌زایی با توجه به منطقه در حال بیابانی شدن؛
- عوامل محرک در شروع و ایجاد فرآیندها؛
- مناطق با ریسک بیابانی شدن که به طور شدید نیازمند ارزیابی و پایش می‌باشند (سپهر، ۱۳۸۹).

پروژه DesertWatch، به دنبال تحقیقات پروژه مدالوس و توسط گروه تحقیقاتی پروژه ESA[6] تعریف تعریف و در سال ۲۰۰٤ مرحله اول اجرای پروژه آغاز

1 - Olson. D.L., Wu. D
2 - Kevin Pietersen
3 - Min Wu

4 - Driving Force, Pressure, State, Impacts, Response (DPSIR)
5 - United Nation Convention on Combating Desertification
6 - Environmental Sensitive Areas

Archive of SID

www.SID.ir

گردید. پروژه مذکور، یک کار تحقیقاتی محض نیست، بلکه، یک فعالیت توسعه‌ای کاربرگرا (user-oriented) در جهت ارائه یک پاسخ عملی به نیازها و ملزومات کشورهای کاربرانی است که به منظور شناخت فرایندهای بیابان‌زایی در کشور خود مشارکت می‌نمایند. پروژه در سال ۲۰۰٤ به منظور پایش بیابان‌زایی در چهار کشور اصلی منطقه مدیترانه با شرایط حساس به بیابانی شدن شامل ایتالیا، پرتغال، یونان و ترکیه آغاز شد.

۲-۱- اهداف پژوهش

اهداف پروژه در توسعه سیستم شاخص‌های بیابان‌زایی، در راستای دستورالعمل ضمیمه ٤ کنوانسیون UNCCD در مقیاس ملی و منطقه‌ای تنظیم یافته است. از جمله اهداف این پروژه، تعریف یک سیستم جامع از شاخص‌های مؤثر در ارزیابی بیابان‌زایی بطوریکه برای کاربران، ساده و قابل درک و در عین حال استاندارد باشد و با تکنولوژی EO (Earth Observation)، کاربرد داشته و بتواند نیازهای ملی و منطقه‌ای ٤ کشور UNCCD محل اجرای پروژه را برآورد نماید و نیز توان ارزیابی و بررسی بیابان‌زایی و جنبه‌های آن در طی زمان را داشته باشد.

به منظور تأمین اطلاعات لازم برای کاربران خبره، پارامترهای اقتصادی- اجتماعی، اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و دیگر پارامترهای زیست-فیزیکی با فن‌آوری GIS ترکیب می‌شود. اهداف پروژه عبارتست از: ایجاد داده‌های زمینی رقومی قابل مقایسه و استاندارد در رابطه با وضعیت و جنبه‌های بیابان‌زایی در کشورهای مختلف اجرای پروژه، ایجاد چارچوبی معمولی و مشترک برای گزارش به UNCCD در کشورهای اجرای پروژه، ایجاد یک شالوده مشترک اساسی به عنوان مبنایی برای توسعه‌های بعدی که EO در آن‌ها نقش اساسی ایفا می‌کند و توسعه یک روش مشترک برای تمام کشورهای اجرای پروژه، به منظور ارزیابی و نظارت مسائل بیابان‌زایی و شناسایی جنبه‌ها و سناریوهای بالقوه. گروه کاربران همکار در کشورهای فاز اول اجرای پروژه شامل؛ کمیته ملی مقابله با بیابان زایی یونان، کمیته ملی مقابله با خشکسالی و بیابان‌زایی ایتالیا، هیأت ملی هماهنگی برنامه اقدام ملی پرتغال و وزارت محیط زیست و جنگل ترکیه بودند.

۳- معرفی چارچوب DPSIR[1]

شاخص‌های بیابان‌زایی را می‌توان برای تعریف خطر بیابان‌زایی برای یک عرصه یا زمین خاص و یا سطحی وسیع‌تر بکار برد. اینگونه شاخص‌ها می‌توانند به انواع مختلفی تقسیم شوند که شامل شاخص‌های زیر هستند:

۱) شاخص‌های پیش برنده (انسانی) (Driving force): این شاخص‌ها در ارتباط با فعالیت‌های غیر اصولی کشاورزی، چرای بی‌رویه، افزایش جمعیت محلی و اجرای سیاست‌های افزایش صنعت توریسم می‌باشد؛ ۲) شاخص‌های فشار (Pressure): که ناشی از نیروهای پیش‌برنده هستند، مانند کاربری‌های ناپایدار اراضی و بهره‌برداری مفرط از منابع طبیعی (قطع درختان جنگلی، آتش‌سوزی جنگل، استفاده بیش از حد از آبهای زیرزمینی)؛ ۳) شاخص‌های وضعیت (State): بسته به محیط فیزیکی (دسترسی به آب و خاک، آسیب‌پذیری در برابر فرسایش خاک، تناسب زمین برای کاربرد نوع خاص زمین Land Suitability) و وسعت منطقه‌ای که در معرض بیابان‌زایی است؛ می‌باشند. ٤) شاخص‌های اثر (Impact): که از فرسایش خاک و بیابان‌زایی ناشی

1 - Driving Force-Pressure-State-Impact-Respond (DPSIR)

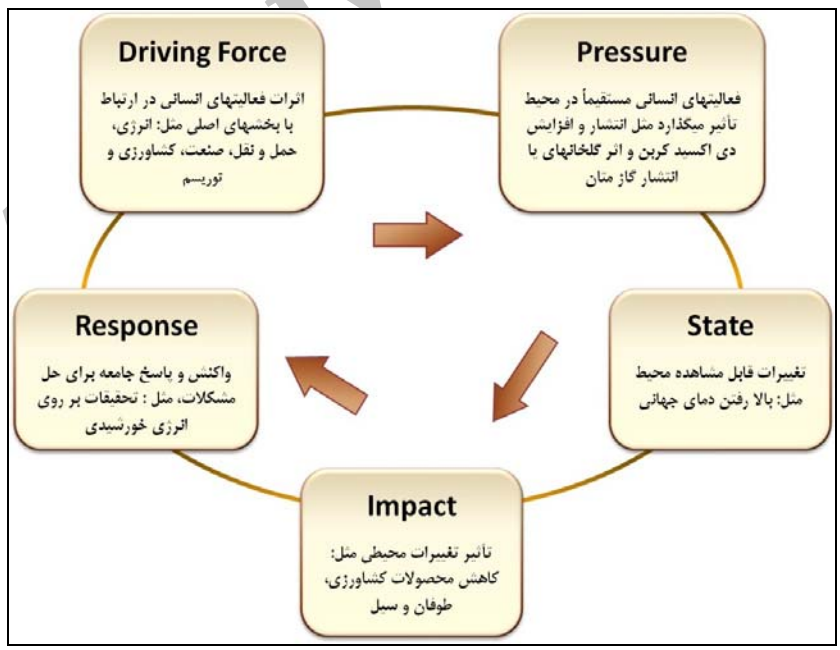
Archive of SID

www.SID.ir

می‌شوند و شامل اثرات مستقیم (خسارت به محصولات کشاورزی، کاهش عملکرد گیاهان و افت درآمد) و اثرات غیر مستقیم (سیل، رسوب سدها) است. ۵) شاخص‌های واکنشی (پاسخ) (Response): که در ارتباط با واکنش دولتمردان در اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی است (مثل استفاده از سیستم‌های کشاورزی پایدار، تراس‌بندی، آبخوان‌داری، پخش سیلاب، کنترل چرا و مراقبت از جنگل‌ها در مقابل آتش سوزی).

همان طور که بیان شد یکی از عوامل بیابان‌زایی، فعالیت‌های نادرست انسانی، مانند کشاورزی مفرط، چرای بیش از حد، جنگل‌تراشی و تغییر جمعیت محلی همراه با ایجاد محیطی ناسازگار روستاها است. فعالیت‌های مختلف انسانی (Driving force) به عنوان نیروهای پیش برنده در محیط باعث اعمال فشار روی محیط فیزیکی (Pressure) و به دنبال آن تغییرات کیفی در وضعیت موجود محیط (State) می‌شود. تغییرات محیط تأثیراتی (Impact) بر دیگر پیآمدهای اقتصادی- اجتماعی و محیطی مانند اثر بر حاصلخیزی و رشد گیاهان، کاهش درآمد کشاورزی و طغیان آب و سیل دارد. جامعه نیز به منظور کاهش خسارات و جلوگیری از خطر، معمولاً به وسیله اجرای سیاست‌های اقتصادی و محیطی به تغییرات واکنش نشان داده و به تأثیرات پاسخ می‌دهد (Response) (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰). شکل ۱ شمای کلی از این مدل را نشان می‌دهد. مثال زیر نحوه ارتباط این عوامل را بهتر نشان می‌دهد (سپهر، ۱۳۸۹):

عدم مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی (شاخص←پیش‌برنده) برداشت بیش از حد آبخوان‌ها (شاخص ←فشار) افت سفره‌های آبی (شاخص←وضعیت) ایجاد پدیده شق (شاخص ← اثر) ممنوع کردن آبخوانه‌ها و دشت‌ها، نصب کنتور (شاخص← پاسخ)



شکل ۱- شمای مدل چرخشی عوامل و اثرات مستقیم، ثانویه و نهایی چارچوب DPSIR

(اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰)

Archive of SID

www.SID.ir

٤- مواد و روش‌ها

برای انجام رتبه‌بندی شاخص‌های DesertWatch در این پژوهش از الگوریتم فازی-تاپسیس استفاده شده است.

٤-١- مدل فازی- تاپسیس (Fuzzy-TOPSIS)[1]

مدل تاپسیس، توسط هوانگ و یون[2] در سال ۱۹۸۱، پیشنهاد شد. این مدل، یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است و از آن، استفاده‌ی زیادی می‌شود، در این روش نیز مانند سایر روش‌های MADM، m گزینه به وسیله‌ی n شاخص، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اساس این تکنیک، بر این مفهوم استوار است که گزینه‌ی انتخابی، باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص، به طور یکنواخت افزایشی یا کاهشی است.

اساس این روش تقریباً همان پایه و اساس روش تاپسیس معمولی است و تنها تفاوت موجود در این روش استفاده از متغیرهای فازی برای بیان ترجیح گزینه‌ها نسبت به شاخص‌های مسأله است، که این مطلب خود سبب استفاده از روابط محاسبات فازی در طول حل مسأله می‌شود. مراحل این روش به شرح زیر است (اکبری و زاهدی، ۱۳۸۷):

۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری: در این مرحله همانند رابطه (۱) ماتریس تصمیم‌گیری، بین شاخص‌ها و گزینه‌ها تشکیل می‌شود.

(۱)

$$\begin{array}{c} \begin{matrix} C_1 & C_2 & . & . & . & C_n \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & . & . & . & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & . & . & . & \tilde{x}_{2n} \\ . & . & & & & . \\ . & . & & & & . \\ . & . & & & & . \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & . & . & . & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ . \\ . \\ . \\ A_m \end{matrix}$$

همان طور که از رابطه (۱) مشخص است، داده‌های مورد استفاده در این ماتریس به صورت فازی است. اعداد فازی مورد استفاده در این پژوهش از نوع اعداد فازی مثلثی (TFN)[3] است که می‌توان آن را به صورت رابطه (۲) نشان داد.

(۲)

$$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \rightarrow i = 1,2,...,m; j = 1,2,...n$$

۲- یافتن بردار اوزان شاخص‌ها: در این مرحله در صورتی که درجه اهمیت شاخص‌های مسأله متفاوت از یکدیگر باشد، به هر یک از شاخص‌ها، وزنی مناسب با نظر تصمیم‌گیرنده داده می‌شود. رابطه (۳) بردار وزن‌های داده شده به شاخص‌ها را نشان می‌دهد، همانطور که ملاحظه می‌شود وزن‌های انتخابی نیز می‌توانند به صورت فازی بیان شوند.

(۳)

$$\tilde{W} = \left[\tilde{W}_1 \ \tilde{W}_2 \ . \ . \ . \ \tilde{W}_n\right]$$

۳- بی‌مقیاس‌سازی (بی بعد سازی) داده‌های ماتریس تصمیم‌گیری: در صورتی که اعداد فازی مثلثی ایجاد شده، در بازه [۰،۱] تولید شده باشند، دیگر نیازی به بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری وجود ندارد، ولی در غیر این صورت به کمک رابطه (٤)

1- Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)
2 - Hwang and Yoon
3 - Triangular Fuzzy Number

Archive of SID

www.SID.ir

می‌توان ماتریس تصمیم‌گیری فازی را بی مقیاس نمود. با این کار، کلیه‌ی اعداد فازی مثلثی موجود، در بازه قابل قبول یعنی [۱،۰] قرار می‌گیرند.

(۴)

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+}\right)$$

$$\frac{a_{ij}}{c_j^+} = \max_i c_{ij}$$

ماتریس تصمیم‌گیری مقیاس شده‌ی فازی را می‌توان در رابطه (۵) مشاهده نمود.

$$\begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \cdots & \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \cdots & \tilde{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \tilde{r}_{m1} & \tilde{r}_{m2} & \cdots & \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix} = \tilde{R} \qquad (۵)$$

۴- تشکیل ماتریس وزنی: در این مرحله، ماتریس تصمیم‌گیری فازی (در صورت لزوم، ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده فازی) را در ماتریس $n \times n$ اوزان شاخص‌ها ضرب نموده که می‌توان ماتریس حاصل را که به ماتریس وزنی معروف است در رابطه (۶) مشاهده نمود.

$$\begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \cdots & \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \cdots & \tilde{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \tilde{r}_{m1} & \tilde{r}_{m2} & \cdots & \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{W}_1 & & & \\ & \tilde{W}_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \tilde{W}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{W}_1\tilde{r}_{11} & \tilde{W}_2\tilde{r}_{12} & \cdots & \tilde{W}_n\tilde{r}_{1n} \\ \tilde{W}_1\tilde{r}_{21} & \tilde{W}_2\tilde{r}_{22} & \cdots & \tilde{W}_n\tilde{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \tilde{W}_1\tilde{r}_{m1} & \tilde{W}_2\tilde{r}_{m2} & \cdots & \tilde{W}_n\tilde{r}_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} & \cdots & \tilde{v}_{1n} \\ \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} & \cdots & \tilde{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \tilde{v}_{m1} & \tilde{v}_{m2} & \cdots & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۶)$$

۵- یافتن جواب‌های ایده‌آل مثبت و منفی: بعد از تشکیل ماتریس وزنی به کمک روابط (۷) و (۸) به ترتیب جواب‌های ایده‌آل مثبت (A^+) و منفی (A^-) گزینه‌های پیش روی در مسأله مشخص می‌شود. نکته قابل توجه در این قسمت وجود عدد فازی مثلثی (۱،۱،۱) به عنوان جواب ایده‌آل مثبت و عدد فازی مثلثی (۰،۰،۰) به عنوان جواب ایده‌آل منفی برای همه شاخص‌ها است.

(۷)

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, ..., \tilde{v}_n^+\} \rightarrow \tilde{v}_j^+ = (1,1,1),\ j = 1,2,..., n$$

(۸)

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, ..., \tilde{v}_n^-\} \rightarrow \tilde{v}_j^- = (.,.,.), j = 1,2,..., n$$

۶- محاسبه فواصل مثبت و منفی گزینه‌ها: در این قسمت به کمک روابط (۹) و (۱۰) به ترتیب، فاصله اقلیدسی هر یک از گزینه‌ها از جواب‌های ایده‌آل مثبت و منفی مربوط به شاخص‌های مورد نظر در مسأله، محاسبه می‌شود.

(۹)

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \rightarrow i = 1,2,..., m$$

(۱۰)

$$d_i^- = \sum_{j=1}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \rightarrow i = 1,2,..., m$$

Archive of SID

www.SID.ir

۷- تعیین فاصله نسبی گزینه‌ها: دراین مرحله به کمک فواصل اقلیدسی مثبت و منفی محاسبه شده برای گزینه‌ها و با استفاده از رابطه (۱۱)، فاصله نسبی هر گزینه محاسبه می‌شود.

(۱۱)

$$cc_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \rightarrow i = 1,2,..., m$$

۸- رتبه‌بندی: آخرین مرحله در روش تاپسیس فازی، رتبه‌بندی گزینه‌های پیش روی و تعیین بهترین گزینه است. برای این منظور کافی است، فاصله نسبی هر گزینه که به کمک رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود، به ترتیب بزرگ به کوچک مرتب شود. در این حالت گزینه‌ای که دارای بزرگترین فاصله نسبی نسبت به سایر گزینه‌های است، بالاترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهد. نکته قابل توجه این‌که، در صورتی‌که در محاسبه فاصله نسبی هر گزینه صورت کسر با d_i^+ جایگزین شود، در این صورت گزینه‌ای که دارای کمترین فاصله نسبی است، بالاترین رتبه را کسب می‌نماید.

۵- روش کار

به منظور تهیه شاخص‌های مناسب در پروژه DesertWatch، رایزنی و جمع‌آوری نظرات متخصصین توسط تیم پروژه ملاک عمل قرار گرفت. در ابتدا با توجه به اهداف پروژه، یک لیست شامل ۲۹ شاخص به متخصصین محلی و خبرگان سازمانی در سه کشور فاز دوم پروژه شامل برزیل، موزامبیک و پرتغال معرفی و ارایه گردید.

شاخص‌ها بر اساس چهارچوب DPSIR سازماندهی و گروه‌بندی و در چهار گروه اصلی شاخص‌های DPSIR دسته‌بندی شدند (جدول ۳). این گروه‌ها شامل: الف) شاخص‌ها یا متغیرهای وضعیت با مجموعه شاخص‌های تخریب پوشش گیاهی و تخریب خاک، ب) شاخص‌های فشار که شاخص‌های مربوط به چرای بی‌رویه، کشت بی‌رویه و سیستم‌های نامناسب آبیاری، نابودی جنگل‌ها و قطع چوب برای سوخت را در برمی‌گیرد، ج) شاخص‌های اثر و محرک شامل کاهش و رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، محدودیت‌های سیاسی و عمرانی، توسعه زیرساخت‌ها و عوامل سیاسی و د) شاخص‌های پاسخ و واکنش که شاخص‌های احیا اراضی کشاورزی، بهبود سیستم‌های آبیاری، افزایش پوشش گیاهی و جنگل‌کاری، محافظت و احیای خاک را تشکیل می‌دهد، می‌شدند.

سپس در قالب یک کارگاه مشارکتی، متخصصین اطلاعات و نظراتشان را در رابطه با درک خود از تناسب، اعتبار، قابلیت اجرا و پایش شاخص‌ها فراهم آوردند. در این مرحله ۹ کارشناس زبده شناسایی شده در هر سه کشور و در مجموع ۲۷ خبره، پرسشنامه‌های اهمیت بندی شاخص‌ها را ارزیابی و تکمیل کردند (جدول ۲).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- درجه اهمیت هر شاخص به همراه پاسخ تصمیم‌گیرندگان سه کشور اجرای پروژه

*	Grade of preference: 1 to 5 (1- inexistent; 2- small; 3 – medium; 4 – high; 5 – very high)																			
	N. of answers (Bra)						N. of answers (Moz)							N. of answers (Por)						
	grade					Scale	grade						Scale	grade						Scale
	1	2	3	4	5		NA	1	2	3	4	5		NA	1	2	3	4	5	
A_1	0	0	1	2	6	R,N	3	0	0	0	3	3	N	1	0	1	2	1	3	-
.	0	1	2	3	3	N	3	0	1	2	1	2	N	1	0	1	1	3	2	-
.	0	0	0	2	7	N,L	3	0	1	1	0	4	N	1	0	1	1	2	3	RNL
	0	0	0	1	8	R,N,L	2	0	0	0	1	6	R	1	0	0	1	0	6	NL
.	2	2	3	0	2	L	3	0	1	1	2	2	R	2	1	1	2	0	2	-
.	0	0	2	5	2	N	3	0	0	2	1	3	L	1	0	0	3	2	2	RNLL
	0	1	4	2	2	N	2	0	1	3	2	1	N	1	0	1	2	1	3	L
.	0	0	0	4	5	L	2	0	0	0	3	4	N	1	0	0	1	0	6	RNL
.	0	1	2	4	2	N	2	0	1	3	1	2	N	2	0	2	2	2	0	L
.	0	0	1	1	7	R,N	2	0	0	2	2	3	N	1	0	0	4	1	2	L
.	0	1	2	1	5	N	2	1	1	1	2	2	R	1	0	1	2	1	3	L
A_{12}	0	0	1	5	3	N,L	2	0	0	0	0	7	N	1	0	0	2	2	3	NL
.	0	1	1	2	5	R,N,L	2	0	0	1	3	3	R	2	1	0	3	1	1	NL
.	0	0	0	2	7	R,N,L	2	0	0	3	1	3	N	2	1	0	2	2	1	L
.	0	0	3	2	4	N,L	2	2	1	3	1	0	N	2	0	1	5	0	0	L
.	2	0	1	0	6	R,N	2	0	1	1	0	5	N	2	0	0	1	0	5	RNL
.	0	1	3	4	1	R,N	2	1	1	3	0	2	N	1	0	1	1	1	4	RNL
.	1	1	3	3	1	R,N	2	0	0	3	2	2	N	1	1	1	3	1	1	RNL
.	0	0	1	1	7	N,L	4	0	0	2	0	3	N	1	0	0	0	2	5	RNL
.	1	0	2	4	1	R,N	2	0	1	5	0	1	N	2	1	0	1	2	2	RNL
.	0	0	2	3	3	N	3	0	2	2	1	1	N	1	1	0	1	3	2	RNL
.	0	0	4	3	2	R,N	2	0	1	2	2	2	N	1	1	0	0	2	4	NL
.	1	0	4	1	1	R,N	3	1	0	3	0	2	N	1	1	1	2	2	1	NL
.	0	1	0	1	7	N	3	1	0	1	1	3	L	1	0	0	2	1	4	RNL
.	0	1	1	4	3	N	3	0	2	0	1	3	N	1	1	0	1	1	4	RNL
.	0	1	1	1	6	N	3	0	0	1	1	4	R	2	1	0	0	0	5	RNL
.	1	2	0	3	3	N	3	1	1	0	2	2	R	1	1	0	1	1	4	NL
A_{28}	0	1	2	3	3	N	3	1	0	1	2	2	N	3	0	0	1	1	3	NL
	1	0	3	1	4	N	3	2	2	0	1	1	R	3	1	0	0	1	3	-

* Grade of preference: 1 to 5 (1- inexistent; 2- small; 3 – medium; 4 – high; 5 – very high)(سپهر، ۲۰۰۹/۲۰۱۰)

سه معیار برای اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شاخص‌ها پیشنهاد شدند:

۱) اعتبار محلی یا اهمیت شاخص (Preference)، که به وسیله کارشناسان خبره در سه کشور برزیل، موزامبیک و پرتغال ارزیابی و امتیازدهی شد. ۲) مناسب بودن شاخص برای استفاده در تهیه نقشه‌های ملی و سه مقیاس محلی (Local)، منطقه‌ای (Regional) و ملی (National) در نظر گرفته شد (Scale)، ۳) قابلیت پایش و ارزیابی شاخص با استفاده از داده‌های دورسنجی (RS potential or Technical Quality).

ارزش ۵-۱ به منظور تعیین اهمیت شاخص‌ها (بند ۱)، و دامنه ۲-۰ برای تناسب مقیاس (بند ۲) در نظر گرفته شد.

ارزش‌های دامنه اهمیت و برتری به عنوان یکی از معیارهای مطالعاتی در جدول ٤ آورده شده است. جدول ۳ شاخص‌های رتبه‌بندی شده را به ترتیب جدول ۲ نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- شاخص‌های (Alternatives) رتبه‌بندی شده به ترتیب جدول ۲ (شاخص‌های DesertWatch در سه کشور اجرا شده)

کاهش در تعداد گونه‌های گیاهی (A1)	شاخص‌های تخریب خاک و پوشش گیاهی (شاخص‌های وضعیت و اثر)
تغییر در ترکیب نوع گونه‌های گیاهی خاص منطقه (A2)	
کاهش درصد تاج پوشش گیاهی (کانوپی) (A3)	
فرسایش آبی (A4)	
فرسایش بادی (A5)	
شوری‌زایی و برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی (A6)	
سخت شدن خاک (A7)	
کاهش مواد آلی و تنوع زیستی خاک (A8)	
افت گونه‌های گیاهی ارزشمند و جایگزینی با گونه‌های کم ارزش‌تر (A9)	شاخص‌های چرای بی‌رویه و نابودی جنگل‌ها (شاخص‌های فشار و پیش-برنده)
کاهش تراکم گیاهی (A10)	
سله بستن خاک (A11)	
افت حاصلخیزی خاک (A12)	
توسعه اراضی زیر کشت (A13)	
تهیه چوب برای سوخت (A14)	
قطع و نابودی درختان (A15)	
آتش‌سوزی (A16)	
رهاسازی مزارع و زمین (A17)	شاخص‌های جمعیتی و انسانی (شاخص‌های پیش‌برنده)
تقاضا برای تولید بیشتر (A18)	
تغییرات در کاربری اراضی (A19)	
مهاجرت (A20)	
صنعتی شدن (A21)	
افزایش بازارهای تجاری (A22)	
فشار جمعیت (A23)	
افزایش پوشش گیاهی (A24)	شاخص‌های حفاظتی (شاخص‌های واکنش و پاسخ)
اصلاح سیستم آبیاری (A25)	
افزایش پوشش جنگلی و نهال کاری (A26)	
مدیریت روناب (A27)	
اصلاح خاک (A28)	
مدیریت چرا برای کاهش تخریب اکوسیستم (A29)	

جدول ٤- دامنه اهمیت و برتری برای شاخص‌های مطالعاتی

نقش و برتری معیار	دامنه اهمیت ۵-۱
اهمیت بسیار ناچیز (شاخص نقشی در پایش بیابان‌زایی ندارد)	۱
اهمیت کم	۲
اهمیت و نقش متوسط	۳
اهمیت و نقش زیاد	٤
اهمیت خیلی زیاد	۵

Archive of SID

www.SID.ir

و برای امتیازات مقیاس، به این صورت کـه ارزش ۲ برای زمانیکه شاخص‌ها به طور مناسب و خوبی بـا نیازهای مقیاس ملی در ارتباطند. ارزش ۱ برای وقتیکه شاخص‌ها معمولا قابلیت اسـتفاده در مقیـاس ملـی و بیشتر مقیاس‌های منطقه‌ای را دارند. امتیـاز صـفر (۰)، زمانیکه شاخص قابلیت اجرا و کاربرد در سطح ملی را ندارد (مقیاس محلی).

هم‌چنین درجه ارزش ۵-۱ برای قابلیـت پـایش و نظارت شاخص‌ها با اسـتفاده از داده‌هـای دورسـنجی استفاده شد (جدول ۵).

جدول ۵- دامنه امتیازات استفاده از RS در پایش و ارزیابی

میزان قابلیت و توانایی کاربرد RS در پایش شاخص	دامنه اهمیت ۵-۱
امکان پایش با داده‌های دورسنجی نیست	۱
امکان بکارگیری کم	۲
امکان استفاده متوسط از داده‌های دورسنجی	۳
قابلیت زیاد تصاویر رقومی‌در پایش شاخص	٤
امکان پایش و ارزیابی مناسب و خیلی زیاد شاخص با داده‌های دورسنجی	٥

به منظور تعیین وزن نهایی گزینه‌هـا، بـا توجـه بـه میزان درجه اهمیتی که افـراد مختلـف در نظـر گرفتـه بودند، از میانگین وزنی استفاده شد (رابطه ۱۲). بـرای مثال وزن شاخص «کاهش تعداد گونه‌ها» (Decrease of Species Number) در کشور برزیل بـا اسـتفاده از میانگین وزنی برابر ٤/٥ برآورد شـده اسـت. ایـن امـر بازگوکننده درجـه اهمیـت زیـاد کـاهش گونـه‌هـا در بیابان‌زایی کشور برزیل است.

(۱۲)

$$\bar{X} = \frac{\Sigma(w \times n)}{N}$$

N: تعداد کل پاسخ‌هـا؛ w: وزن یـا درجـه اهمیـت داده شده به شاخص به‌وسیله تصمیم‌گیرنده؛ n: تعـداد افراد پاسخ‌دهنده به شـاخص مـدنظر. بـرای شـاخص کاهش تعداد گونه‌ها در برزیل:

(۱×۳)+(٤×۲)+(٥×٦) /۹ = ٤/٥٥ ~٤/٥

پس از انجام محاسبات مربوط به تعیین وزن نهایی برای سه کشور برزیل، موزامبیک و پرتغـال، مـاتریس تصمیم به صورت ماتریس رابطه ۱۳ تشـکیل شـد. در این پژوهش، همانطور که بیـان شـد درجـه اهمیـت و مقیاس هر شاخص بـه همـراه قابلیـت کـاربرد RS در پایش شاخص که بوسیله کارشناسان هر کشـور بـرای آن اهمیتـی در نظـر گرفتـه شـده اسـت، بـه عنـوان معیارهای ارزیابی شاخص یا گزینه‌هـا در نظـر گرفتـه شـده اسـت. بنـابراین مـاتریس تصـمیم ۷ معیـار (Criteria) و ۲۹ شـاخص (Alternatives) را شـامل شده است که بـه ترتیـب سـطر و سـتون مـاتریس را تشکیل می‌دهد.

(۱۳)

$$\begin{array}{c} A_1 \quad A_2 \; A3 \; . \; . \; . A29 \\ \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & . & . & . & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & . & . & . & w_{2n} \\ . & . & & & & . \\ . & . & & & & . \\ . & . & & & & . \\ w_{m1} & w_{m2} & . & . & . & w_{mn} \end{bmatrix} \begin{array}{l} C_1 \\ C_2 \\ . \\ . \\ . \\ C_7 \end{array} \end{array}$$

به منظور اولویـت‌بنـدی شـاخص‌هـا بـا الگـوریتم فـازی-تاپسـیس، مرزهـای فـازی بـه صـورت مثلثـی (TFN) با توجه به نظر کارشناسان و تعـداد پاسـخ‌هـا بـرای معیارهـا تعیـین شـد. بـرای معیـار اهمیـت (Preference)، مرزهـای فـازی بـا توجـه بـه تعـداد پاسخ‌دهندگان و معیار مربـوط بـه صـورت جـدول ٦ برآورد شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦- مرزهای فازی (اعداد فازی مثلثی) برای دامنه امتیازات معیار اهمیت

اهمیت شاخص	TFN
درجه ناچیز (۱)	(۰/۵، ۱، ۱/۵)
درجه کم (۲)	(۱/۵، ۲، ۲/۵)
درجه متوسط (۳)	(۲/۵، ۳، ۳/۵)
درجه زیاد (٤)	(۳/۵، ٤، ٤/۵)
درجه خیلی زیاد (۵)	(٤/۵، ۵، ۵/۵)

لازم به ذکر است که برای معیارهای مقیاس (Scale) و توانایی کاربرد با داده‌های دورسنجی (RS Potential)، از آنجا که ابهام در وزن‌بندی ناچیز است، مرزها به صورت یکسان برای حدود بالا و پایین اعمال شدند. جدول ۷، اوزان و مرزهای شاخص‌ها را با اعداد فازی برای معیار اهمیت در سه کشور مطالعه شده نشان می‌دهد.

جدول ۷- اعداد فازی (مرزهای فازی مثلثی) برای معیار اهمیت در شاخص‌های مطالعاتی

پرتغال			موزامبیک			برزیل		
3.81	3.38	2.94	5	4.5	4	5.06	4.56	4.06
3.81	3.38	2.94	4.17	3.67	3.17	4.39	3.89	3.39
3.94	3.5	3.06	4.67	4.17	3.67	5.28	4.78	4.28
4.56	4.13	3.69	5.36	4.86	4.36	5.39	4.89	4.39
3.14	2.71	2.29	4.33	3.83	3.33	3.28	2.78	2.28
3.81	3.38	2.94	4.67	4.17	3.67	4.5	4	3.5
3.81	3.38	2.94	3.93	3.43	2.93	4.06	3.56	3.06
4.56	4.13	3.69	5.07	4.57	4.07	5.06	4.56	4.06
3	2.57	2.14	4.07	3.57	3.07	4.28	3.78	3.28
3.69	3.25	2.81	4.64	4.14	3.64	5.17	4.67	4.17
3.81	3.38	2.94	3.93	3.43	2.93	4.61	4.11	3.61
4.06	3.63	3.19	5.5	5	4.5	4.72	4.22	3.72
3.14	2.71	2.29	4.79	4.29	3.79	4.72	4.22	3.72
3.29	2.86	2.43	4.5	4	3.5	5.28	4.78	4.28
2.86	2.43	2	2.93	2.43	1.93	4.61	4.11	3.61
4.43	4	3.57	4.79	4.29	3.79	4.39	3.89	3.39
4.06	3.63	3.19	3.64	3.14	2.64	4.06	3.56	3.06
3.06	2.63	2.19	4.36	3.86	3.36	3.72	3.22	2.72
4.56	4.13	3.69	4.7	4.2	3.7	5.17	4.67	4.17
3.57	3.14	2.71	3.64	3.14	2.64	3.56	3.11	2.67
3.69	3.25	2.81	3.67	3.17	2.67	4.11	3.67	3.22
4.06	3.63	3.19	4.21	3.71	3.21	4.28	3.78	3.28
3.19	2.75	2.31	3.83	3.33	2.83	2.83	2.44	2.06
4.19	3.75	3.31	4.33	3.83	3.33	5.06	4.56	4.06
3.94	3.5	3.06	4.33	3.83	3.33	4.5	4	3.5
4.14	3.71	3.29	5	4.5	4	4.83	4.33	3.83
3.94	3.5	3.06	4	3.5	3	4.06	3.56	3.06
4.08	3.67	3.25	4.17	3.67	3.17	4.39	3.89	3.39
3.75	3.33	2.92	3	2.5	2	4.28	3.78	3.28

Archive of SID

www.SID.ir

پس از تعیین جدول و مرزهای فازی مثلثی، با توجه به الگوریتم کار فازی-تاپسیس، شاخص‌ها (گزینه‌های) ماتریس رتبه‌بندی و اولویت برتری هر کدام مشخص شد.

٦- نتایج و بحث: نتایج ارزیابی و رتبه‌بندی شاخص‌ها براساس مرزهای فازی و متغیرهای فازی شده برای شاخص‌ها و معیارها در جدول ۸ نمایش داده شده است. همانطورکه در بخش روش کار بیان شد، اعداد فازی به صورت مثلثی (TFN) برای رتبه‌بندی شاخص‌ها با توجه به معیارها برای هر معیار خاص ارائه شدند.

جدول ۸- رتبه‌بندی شاخص‌ها براساس مرزهای فازی و متغیرهای فازی شده (TFN) با FTOPSIS

Indicators (Alternatives)	d^*	d^-	$d^* + d^-$	$CC = d^- / (d^- + d^*)$	Class
A24	0.197	0.7067	0.9037	0.782	Main Alternative
A3	0.287	0.6167	0.9037	0.6824	Main Alternative
A16	0.287	0.6167	0.9037	0.6824	Main Alternative
A26	0.2915	0.6086	0.9001	0.6761	Main Alternative
A19	0.2972	0.6078	0.905	0.6716	Main Alternative
A9	0.3111	0.5724	0.8835	0.6479	Main Alternative
A13	0.3232	0.5799	0.9031	0.6421	Main Alternative
A22	0.3382	0.5691	0.9073	0.6272	Main Alternative
A17	0.3436	0.5618	0.9054	0.6205	Main Alternative
A2	0.3413	0.5441	0.8854	0.6145	Main Alternative
A27	0.354	0.5501	0.9041	0.6085	Main Alternative
A21	0.3696	0.5334	0.903	0.5907	Low Risk Alternative
A20	0.3854	0.5144	0.8998	0.5717	Low Risk Alternative
A7	0.3957	0.4902	0.8859	0.5533	Low Risk Alternative
A11	0.3957	0.4902	0.8859	0.5533	Low Risk Alternative
A8	0.4123	0.4888	0.9011	0.5424	Low Risk Alternative
A28	0.4122	0.4881	0.9003	0.5422	Low Risk Alternative
A14	0.4188	0.463	0.8818	0.5251	Low Risk Alternative
A25	0.4429	0.4621	0.905	0.5106	Low Risk Alternative
A10	0.4334	0.4498	0.8832	0.5093	Low Risk Alternative
A1	0.4393	0.4459	0.8852	0.5037	Low Risk Alternative
A6	0.463	0.4373	0.9003	0.4857	Low Risk Alternative
A4	0.4841	0.4159	0.9	0.4621	Low Risk Alternative
A18	0.5062	0.3954	0.9016	0.4386	Low Risk Alternative
A12	0.5227	0.381	0.9037	0.4216	Low Risk Alternative
A29	0.5283	0.3572	0.8855	0.4034	Low Risk Alternative
A15	0.5396	0.3463	0.8859	0.3909	Minor Alternative
A23	0.5542	0.3446	0.8988	0.3834	Minor Alternative
A5	0.5538	0.3293	0.8831	0.3729	Minor Alternative

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج رتبه‌بندی براساس الگوریتم فازی تاپسیس نشان داد که شاخص‌های افزایش پوشش گیاهی (شاخص پاسخ)، کاهش کانوپی (تاج پوشش) و بیومس (شاخص وضعیت)، شاخص آتش‌سوزی (شاخص محرک) و شاخص جنگل کاری (شاخص پاسخ) و شاخص تغییرات کاربری اراضی (شاخص اثر) به عنوان اولویت‌های با اهمیت بالاتر در مطالعات بیابان‌زایی مطرح می‌باشند و رتبه‌های بالاتر را به عنوان شاخص‌هایی که باید در دستورکار پایش و توجه قرارگیرند به خود اختصاص دادند.

شاخص‌های قطع درختان، توسعه نقاط سکونتگاهی و فرسایش بادی، با توجه به اینکه کمترین نزدیکی نسبی (CL) را در رتبه‌بندی بدست آورده‌اند، در کم‌ترین اهمیت قرار دارند. می‌توان چنین استنباط کرد که در برنامه‌های مدیریت ریسک در مرحله آخر توجه برای پایش قرار می‌گیرند، چون عملاً تاثیر چندانی در فرایند بیابانی شدن ندارند (دقت شود که این پژوهش برای کشورهای خاص با شرایط ویژه آن مناطق انجام یافته است و قطعا این شاخص‌ها در شرایط ایران رتبه‌های بالایی را به دست می‌آوردند. برای مثال فرسایش بادی و نابودی درختان از شاخص‌های عمده موثر در بیابانی شدن در ایران است). جدول ۹، کلاس‌بندی شاخص‌ها در قالب مرزهای فازی را برای هر معیار نشان می‌دهد.

جدول ۹- کلاس‌بندی مرزهای اهمیت شاخص‌ها با توجه به معیارهای ارزیابی در FTOPSIS

کلاس	میزان اهمیت و برتری	مرز (بازه)
I	خیلی زیاد	۵ – ۴/ ۵
II	زیاد	۴/ ۲۴ – ۳/ ۵
III	نسبتاً زیاد	۳/ ۴۹ – ۲/ ۷۵
IV	متوسط	۲/ ۷۴ – ۲
V	نسبتاً ضعیف	۱/ ۹۹ – ۱/ ۲۵
VI	ضعیف	۱/ ۲۴ – ۰/ ۵
VII	ناچیز و ضعیف	۱/ ۴۹ – ۰

با توجه به رتبه‌بندی شاخص‌ها، شاخص‌های زیر به ترتیب بالاترین اولویت‌ها را در رتبه‌بندی فازی تاپسیس از آنجایی که بیشترین نزدیکی نسبی را با ایده‌آل مثبت داشتند کسب کردند:

کاربری اراضی < جنگل کاری < آتش سوزی < کاهش کانوپی و بیومس < افزایش پوشش گیاهی؛

سیاست های اقتصادی < توسعه اراضی زیرکشت < کاهش گونه های مرتعی (تخریب مراتع) < تغییرات؛

کاهش تغییرات در رواناب < تغییرات در ترکیب گونه ای < رها سازی اراضی سازی.

با توجه به رتبه‌بندی بدست آمده می‌توان استنباط کرد که تا چه حد فعالیت‌های انسانی نقش موثری در تخریب و یا کاهش آن ایفاء می‌کند. شاخص افزایش پوشش گیاهی به عنوان یکی از واکنش‌های انسانی درمقابله با بیابان‌زایی باید در دستورکار پروژه‌های مقابله با بیابانی شدن قرار گیرد. ضمناً باید اشاره شودکه شاخص‌های اثری چون تغییرکاربری اراضی که خود از فعالیت‌های انسانی ناشی می‌شود می‌تواند به عنوان یک عامل تسریع کننده فرایند بیابان‌زایی مطرح باشد. بنابراین، پایش و نظارت بر شاخص‌های رتبه‌بندی شده با تاکید برشاخص‌های پاسخ و نیز

Archive of SID

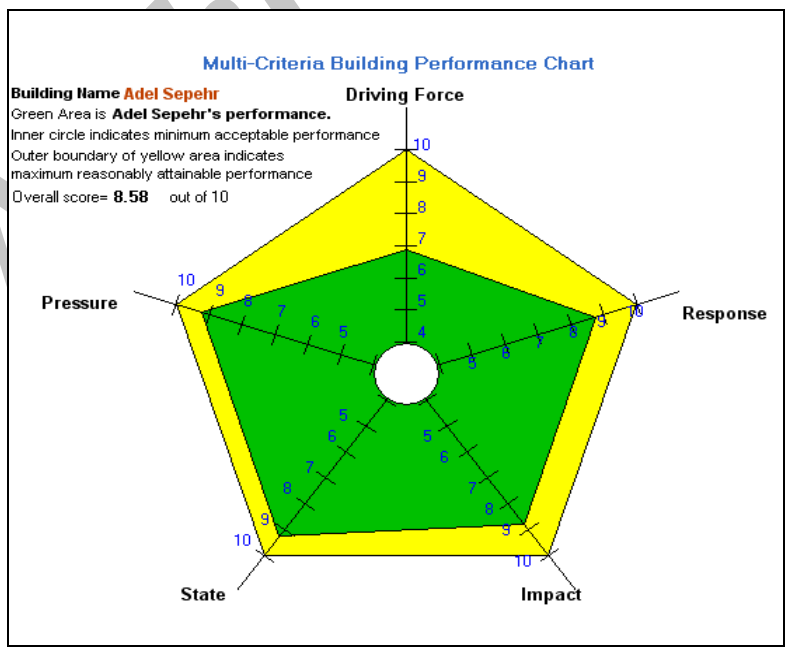
www.SID.ir

پایش شاخص‌های وضعیت و اثر در مدیریت بیابان زایی ضروری می‌نماید.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، رتبه‌بندی و اولویت‌بندی شاخص‌ها با روش رتبه‌بندی فازی- تاپسیس مشخص شد که شاخص‌های فشار، پاسخ و وضعیت در مطالعات بیابان‌زایی پروژه DesertWatch در اولویت اهمیتی هستند. به عبارت دیگر چنانچه در برنامه‌ریزی اقدامات مربوط به مدیریت ریسک شامل کلیه فعالیت‌هایی که به منظور جلوگیری از پیشروی بیابان‌زایی صورت می‌گیرد، تمرکز بر روی شاخص‌های فشار و وضعیت صورت گیرد، حداکثر سودمندی را در موفقیت طرح‌های بازدارنده به همراه دارد. در زمینه اقدامات پس از وقوع خطر بیابانی شدن اراضی، شاخص‌های پاسخ با تأکید بر افزایش پوشش گیاهی می‌بایست در دستور کار قرار گیرد.

آنچه در شکل ۲ ارایه شده است نمایی کلی از رتبه‌بندی و اهمیت شاخص‌ها را در مدیریت ریسک نشان می‌دهد، آنچه به عنوان یک سامانه شاخص بیابان‌زایی می‌تواند در مدیریت ریسک پروژه DesertWatch مدنظر قرار گیرد.

این پژوهش کوشیده است تا با نگرشی متفاوت به مقوله شاخص‌های بیابان‌زایی، توجه را معطوف به انتخاب شاخص‌هایی کند که بالاترین نقش را در مدیریت، پایش و ارزیابی بیابان‌زایی داشته‌اند. یعنی اینکه شاخص‌های فشار (Pressure) و سپس وضعیت (State) می‌توانند مناسب‌ترین الگو برای مدیریت ریسک قلمداد گردند و در این میان شاخص کاهش تاج پوشش گیاهی می‌تواند به عنوان شاخص محوری بیابان‌زایی و مدیریت ریسک مطرح گردد. برعکس شاخص‌های نیروهای پیش‌برنده (Driving Force) و پاسخ (Response)، می‌توانند الگوی مناسبی برای مدیریت بحران باشند. در عین حال شاخص احیاء و افزایش پوشش گیاهی به عنوان برجسته‌ترین شاخص مدیریت بحران شناخته می‌شود که نقش محافظتی و کنترلی آن در برنامه‌های مقابله با بیابانی شدن کاملاً مشخص است.



شکل ۲- رتبه‌بندی و اهمیت شاخص‌ها در مدیریت ریسک بیابان‌زایی (شاخص های فشار و وضعیت بالاترین اهمیت را دارند)

Archive of SID

www.SID.ir

(اعداد روی محورها بازگوکننده درجه اهمیت گزینه‌ها هستند و یا به عبارتی شاخص‌های فشار و وضعیت، سطح بیشتری را اشغال کرده و اهمیت بالاتری دارند).

سپاسگزاری

این مقاله با همکاری اعضای تیم لادا (LADA) و DesertWatch در دانشگاه ساساری ایتالیا، در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۱ انجام یافته است. نویسندگان مقاله سپاس ویژه از افراد تیم مذکور به ویژه دکتر کلادیو زوکا (C. Zucca) و دکتر سالواتور مادرائو (S. Madra) را دارند.

منابع

اختصاصی، محمدرضا و عادل سپهر، (۱۳۹۰)، مدل‌ها و روش‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی، انتشارات دانشگاه یزد، چاپ اول: ۳۱۲ صفحه

اصغرپور، محمدجواد، (۱۳۸۵)، تصمیم گیری‌های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم: ۲۳۷ صفحه

اکبری، نعمت‌الله و کیوان زاهدی، (۱۳۸۷)، کاربرد روش‌های رتبه‌بندی و تصمیم‌گیری چند شاخصه، انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، چاپ اول: ٤٦٣ صفحه

سپهر، عادل، (۱۳۸۹)، ارائه الگوی مدیریت ریسک بیابان‌زایی در شرایط عدم قطعیت، رساله دکتری (Ph.D) ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان.

Ahmadzadeh, M.R., M. Petrou. (2003). Use of Dempster-Shafer Theory to Combine Classifiers Which Use Different Class Boundaries, Journal of IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 6: 41-46

Higgs, G. (2006). Integrating multi-criteria techniques with geographical information systems in waste facility location to enhance public participation, Journal of Waste Management & Research, Vol 24: 105-117

Harris, R. (1998). Introduction to Decision Making, VirtualSalt. http://www.virtualsalt.com/crebook5.htm

Hurley W.J. (2001). "The analytic hierarchy process: A note on an approach to sensitivity which preserves rank order"; Computers & Operations Research, Vol 28.

Jamali, A.K., J. Ghodusi, and M. Farahpour. (2005). GIS and Spatial Decision Support System for Desertification Mitigation in Watershed, ACRS 2005.

Kamal M. Al-Subhi Al-Harbi. (2001). Application of the AHP in Project Management. International Journal of Project Management. Vol 19: 19-27

Kosmas, C., A. Ferrara, H. Briassouli, and A. Imeson. (1999). Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification, In: Kosmas, C.; Kirkby, M.; Geeson, N. (eds.), The Medalus project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, Project report, European Commission

Levy, J. K. (2005). Multiple Criteria Decision Making and Decision Support Systems for Flood Risk Management, Journal of Stochastic Environmental Research for Risk Assessment. Vol 19: 438-447

Min Wu. (2007). TOPSIS-AHP Simulation Model and Its Application to Supply Chain Management, World Journal of Modeling and Simulation. Vol 3 (3): 196-201

Olson D.L., D. Wu. (2005). "Simulation of fuzzy multi attribute models or grey

Archive of SID

www.SID.ir

Pietersen, K. (2006). Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA), a Tool to Support Sustainable Management of Groundwater Resources in South Africa. Journal of Water Research, Vol 32 (2): 119-128

Sasilkala, K.R., M. Petrou. (2001). Generalized Fuzzy Aggregation in Estimating the Risk Desertification of a Burned Forest. Journal of Fuzzy Set and Systems, Vol 118(1): 121-137

relationships"; European Journal of Operational Research

Phua, Mui-How., M. Minowa. (2005). A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia, Journal of Landscape and Urban Planning, Vol 71: 207-222

Archive of SID

www.SID.ir

Geography and Environmental Planning Journal
23rd Year, vol. 45, No.1, Spring 2012

Development of Desertification Indicator System Base on DPSIR (Take advantages of Fuzzy-TOPSIS)

A. Sepehr. M. R. Ekhtesasi. S.A. Almodaresi
Received: January 28, 2011 / Accepted: December 18, 2011, 9-11 P

Archive of SID

Extended abstract

1- Introduction

Desertification assessment and monitoring studies have focused on providing reliable data and information sources, to underscore the understanding of the causes of desertification, in order to forecast and combat future desertification, as well as to mitigate the effects of on-going processes. Seems whatever has most important in all of desertification studies is selecting, ranking, scoring and preference of desertification indicators to develop desertification indicator systems which is guideline to apply management projects to combat desertification process. Ranking objects is a simple and natural procedure for organizing data.

It is often performed by assigning a quality score to each indicator according to its relevance to the problem at hand. Ranking is widely used for indicator selection, when resources are limited and it is necessary to select a subset of most relevant objects for further processing. In real world situations, the object's scores are often calculated from noisy measurements, casting doubt on the ranking reliability.

2- Methodology

In this paper have been introduced a Fuzzy-MCDM method for developing desertification indicator system. This paper tries to illustrate TOPSIS method for selection, scoring and preference of desertification indicators. In the first step, were identified the main desertification indicators based on main criteria. Then, to reduce uncertainty a triangular fuzzy set was applied for weighting borders of indicators. Ultimately a Fuzzy TOPSIS algorithm was developed.

Author(s)

A. Sepehr (✉)
Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University Of Mashhad (FUM)., Mashhad, Iran
e-mail: adelsepehr@um.ac.ir & adelsepehr@aol.com

M. R. Ekhtesasi
Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

S.A. Almodaresi
Assistant Professor, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran

www.SID.ir

3- Discussion

According to the applied Fuzzy-TOPSIS algorithm, the anthropogenic parameters such as human activities and land use alternations are main criteria to desertification process.

Also to make a risk management pattern, attention to the pressure and state indicators must be notable. Another word, the results indicated the pressure and state indicators as main and high preference indicators for desertification risk management.

Results indicated that selection of fuzzy borders can be a reliable way to reduce uncertainty. Also TOPSIS method of decision making is a suitable tool to rank indicators.

4- Conclusion:

TOPSIS proved to be a cost-effective and flexible method, as it provides a screening tool to identify, prefer and weight indicators for further investigation. However, this approach is not intended to substitute a scientific analysis of the indicators based on experimental research. After ranking indicators based on expert (and policy) relevance, they have then to be transformed into operational indicators, by conducting field research where necessary, to actually develop and integrate them into structured indicator sets. Furthermore, indicators can be selected and substituted to match the specific characteristics of each region. Since the land degradation conditions are various in different regions, the method can be applied with proper adjustment, provided the principal factors affecting desertification are identified and the relevant data layers are available.

Keywords: TOPSIS, Fuzzy, MCDM, Risk Management, Desertification Indicators

Refrences

Ahmadzadeh, M.R., M. Petrou. (2003). Use of Dempster-Shafer Theory to Combine Classifiers Which Use Different Class Boundaries, Journal of IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 6: 41-46

Akbari, N., K. Zahedi (2008). Application of MCDM, Shahrdari Press, first edition, 463p

Asgharpoor, M.J (2005). Multi Criteria Decision Making (MCDM), University of Tehran Press, 4th Edition, 237p

Ekhtesasi, M.R., A. Sepehr (2011). Methods and Models of Desertification Assessment and Mapping, Yazd University Press, First Edition, 312p

Harris, R. (1998). Introduction to Decision Making, VirtualSalt. http://www.virtualsalt.com/crebook5.htm

Higgs, G. (2006). Integrating multi-criteria techniques with geographical information systems in waste facility location to enhance public participation, Journal of Waste Management & Research, Vol 24: 105-117

Hurley W.J. (2001). "The analytic hierarchy process: A note on an approach to sensitivity which preserves rank order"; Computers & Operations Research, Vol 28.

Archive of SID

www.SID.ir

Jamali, A.K., J. Ghodusi, and M. Farahpour. (2005). GIS and Spatial Decision Support System for Desertification Mitigation in Watershed, ACRS 2005.

Kamal M. Al-Subhi Al-Harbi. (2001). Application of the AHP in Project Management. International Journal of Project Management. Vol 19: 19-27

Kosmas, C., A. Ferrara, H. Briassouli, and A. Imeson. (1999). Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification, In: Kosmas, C.; Kirkby, M.; Geeson, N. (eds.), The Medalus project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, Project report, European Commission

Levy, J. K. (2005). Multiple Criteria Decision Making and Decision Support Systems for Flood Risk Management, Journal of Stochastic Environmental Research for Risk Assessment. Vol 19: 438-447

Min Wu. (2007). TOPSIS-AHP Simulation Model and Its Application to Supply Chain Management, World Journal of Modeling and Simulation. Vol 3 (3): 196-201

Olson D.L., D. Wu. (2005). "Simulation of fuzzy multi attribute models or grey relationships"; European Journal of Operational Research

Phua, Mui-How., M. Minowa. (2005). A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia, Journal of Landscape and Urban Planning, Vol 71: 207-222

Pietersen, K. (2006). Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA), a Tool to Support Sustainable Management of Groundwater Resources in South Africa. Journal of Water Research, Vol 32 (2): 119-128

Sasilkala, K.R., M. Petrou. (2001). Generalized Fuzzy Aggregation in Estimating the Risk Desertification of a Burned Forest. Journal of Fuzzy Set and Systems, Vol 118(1): 121-137

Sepehr. A (2010). Development of Desertification Risk Managenet Pattern under Uncertainty, Ph.D Thesis, University of Isfahan

Archive of SID

www.SID.ir