تهیه نقشه آسیب‌پذیری بیابان‌زایی و اولویت‌بندی راهبردهای مقابله در اکوسیستم‌های استان خراسان رضوی بر پایه الگوریتم نارتبه‌ای پرامسه

عادل سپهر[1]*، ناصر پرویان[2]

1- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
2- کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: 1391/11/9
تأیید نهایی مقاله: 24 /1392/6

چکیده:

بیابانی شدن را می‌توان نمود عینی فروپاشی اکوسیستم در مناطقی دانست که تغییرات و اغتشاشات محیطی، مجال حفظ تعادل را از اکوسیستم ربوده است. اکوسیستم‌هایی که به واسطه قرار داشتن در محیط‌های شکننده از آسیب‌پذیری بالایی در برابر تغییرات حاصل از نیروهای موثر در بیابان‌زایی برخوردارند. بخش وسیعی از اراضی کشور ایران را محیط‌های خشک و نیمه خشک آسیب‌پذیر به خطر بیابانی شدن احاطه کرده‌اند، بطوریکه در حدود 75% از اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه خشک کشور، با آثار و پیامدهای بیابانی شدن روبرو هستند. هدف از این پژوهش تهیه نقشه آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های استان خراسان رضوی به بیابانی شدن و ارائه مدیریت راهبردی اکوسیستم‌های مذکور در چارچوب معیارهای اکولوژیکی-اقتصادی است. بدین منظور در دو مرحله روش پژوهش حاضر انجام گرفت. در مرحله نخست، بر پایه تغییرات کاربری اراضی در بین سال‌های 1990 الی 2012، نقشه آسیب‌پذیری بیابان‌زایی با استفاده از الگوریتم نارتبه‌ای پرامسه II و معیارهای اصلی بیابان‌زایی برای سال 2012 تهیه شد. در مرحله بعد، بر اساس نقشه آسیب-پذیری تهیه شده و نظرات کارشناسان، شش راهبرد (استراتژی) مقابله با بیابانی شدن اراضی استان بر پایه معیارهای اکولوژیکی-اقتصادی ارائه و سند مدیریت راهبردی مقابله با این پدیده بر پایه الگوریتم نارتبه‌ای پرامسه تدوین شد. نتایج پژوهش نشان داد که 91/7% از مساحت استان خراسان رضوی در محدوده کلاس کیفی آسیب‌پذیری زیاد، 2/36% در کلاس آسیب‌پذیری متوسط و 5/85% در کلاس آسیب‌پذیری پایین قرار دارد. از میان راهبردهای در نظر گرفته شده، کنترل چرا مهم‌ترین برنامه اقدام مقابله با بیابانی شدن در استان است. همچنین به ترتیب راهبرد اصلاح سیستم‌های آبیاری، کنترل فرسایش، مدیریت منابع آبی و روش‌های احیاء خاک در رتبه‌های بعدی این سند قرار گرفتند.

واژه های کلیدی: آسیب‌پذیری بیابان‌زایی، اکوسیستم، پرامسه، مدیریت استراتژیک

*- نویسنده مسئول: 09155085732
Email: adelsepehr@um.ac.ir

مقدمه

از نشست بیابان‌زایی در دهه 70 میلادی و بیان این پدیده به عنوان معضلی جهانی، بیش از 40 سال سپری شده است و همچنان بسیاری از اکوسیستم‌های واقع در مناطق آسیب‌پذیر جهان بویژه مناطق در حال توسعه، شاهد آثار مخرب این خطر محیطی می‌باشند.

بیابان‌زایی را می‌توان جلوه تغییرات تعادلی اکوسیستم در پاسخ به تغییرات و اغتشاشات محیطی دانست (سپهر، 1392). اغتشاشات محیطی که ریشه در تغییرات اقلیمی و فعالیت-های انسانی دارد و شرایط تعادلی اکوسیستم را دستخوش تغییر می‌کند. حفظ این شرایط به ویژگی ذاتی ارتجاع پذیری (دامنه بردباری)[1] اکوسیستم‌ها بر می‌گردد. از آنجا که اکوسیستم-های مناطق خشک و نیمه خشک از دامنه ارتجاع پذیری کوتاه‌تری در برخورد با تغییرات محیط برخوردارند، آسیب‌پذیری بالاتری در برابر اغتشاشات محیطی وارده به اکوسیستم داشته و پاسخ آن‌ها به این تغییرات با ظهور چشم‌اندازهای بیابانی به عنوان نمودی از تغییر حالات تعادلی، بروز می‌نماید (سپهر، 1392).

در سال‌های اخیر تغییرات کاربری اراضی و فعالیت‌های غیر اصولی انسان، دامنه ارتجاع پذیری اکوسیستم‌ها را در بسیاری از نقاط ایران تا حد ممکن تقلیل داده است و این امر باعث تشدید روند تخریب منابع محیطی گردیده است تا آنجا که در گزارش فائو – یونپ (1994)، ایران از جمله کشورهایی نام برده شده است که اراضی کشاورزی و عرصه‌های منابع طبیعی آن به شدت تحت تأثیر فرسایش و تخریب هستند. بدین سبب امروزه ظهور جلوه‌های بیابانی شدن در بسیاری از اکوسیستم‌های مناطق آسیب‌پذیر کشور دور از انتظار نیست.

لذا شناخت و طبقه‌بندی اکوسیستم‌ها در مواجه با مخاطره بیابانی شدن را باید در توان طبیعی اکوسیستم و اغتشاشات و تغییرات محیطی (طبیعی- انسانی) جستجو کرد. بنابراین شناخت عوامل و معیارهای اصلی که اغتشاشات محیطی را دامن می‌زنند، در بحث روش‌های مقابله با بیابانی شدن ضروری است.

تاکنون روش‌های مختلفی در ارتباط با انتخاب معیارها و اولویت‌بندی گزینه‌های مورد هدف، پیشنهاد شده است. روش‌هایی چون الگوریتم‌های رتبه‌ای و نارتبه‌ای[2]، استفاده از تئوری مطلوبیت[3]، الگوریتم برنامه‌ریزی خطی[4]، دلفی[5]، روش انتروپی[6] و سایر روش‌های تحقیق در عملیات[7]، نمونه‌ای از روش‌های اتخاذ تصمیم بهینه است.

مطالعات مرتبط با کاربرد روش‌های رتبه‌ای در علوم محیطی و ارزیابی بیابان‌زایی در ایران عمدتاً بر کارآیی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[8] متمرکز شده است. از زمره پژوهش‌های سال‌های اخیر در این مورد می‌توان به ارزیابی آسیب‌پذیری زیست محیطی نسبت به خطر بیابان‌زایی با استفاده از AHP توسط صادقی روش و همکاران (1391)، بررسی موردی انتخاب محل و نوع تصفیه‌خانه آب به روش AHP توسط شاه منصوری و همکاران (1391)، تحلیل فضایی سطح توسعه یافتگی تهران توسط رفیعیان و شالی (1391)، اولویت سنجی مکانی توسعه فضاهای

1- Resilience

2 -Ranking and Outranking
3 -Utility Theory
4 -Linear Programming
5 -Delphi
6 -Entropy
7 -Operations Research
8 -Analytical Hierarchy Process

سبز و پارک‌های شهری با استفاده از روش AHP توسط محمدی و همکاران (1391) اشاره داشت.
تعداد پژوهش‌های صورت گرفته در ایران و جهان در ارتباط با استفاده از روش‌های نارتبه‌ای در آمایش سرزمین و مدیریت بیابان‌زایی بسیار اندک است. از آن‌جمله می‌توان به پژوهش‌های گرائو و همکاران (2010)، گرائو و همکاران (2007)، سپهر و زوکا (2012)، سپهر و همکاران (1391) و نصیری و همکاران (1391) اشاره داشت. خانواده روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)[1] یکی از زیر شاخه‌های روش‌های تصمیم‌گیری است که خود زیرشاخهٔ مجموعهٔ مدل‌های تحقیق در عملیات می‌باشد (پوهکر و راماچاندران، 2004). تصمیم‌گیری‌های چند معیاره عبارتند از مسائلی که در آنها فرد تصمیم‌گیرنده در پی یافتن راه حل بهینه از میان گزینه‌های پیش رو، آن هم بر اساس معیارهای کمی و کیفی متعدد که گاهی در تضاد با یگدیگر نیز هستند، می‌باشد (نیک نفس و همکاران ، 1387، دیاز و همکاران، 1998). مسائل تصمیم‌گیری به دو دستهٔ اصلی تقسیم می‌شوند. دستهٔ اول شامل روش‌هایی است که از توابع کاربردی استفاده می‌کنند و دسته دوم از روش‌های برتری بهره می‌برند. از جمله روش-های رتبه‌برتری با الگوریتم نارتبه‌ای می‌توان به روش‌های الکترا[2] و پرامسه[3] اشاره داشت.
روش پرامسه از زمره روش‌های نارتبه‌ای تصمیم-گیری چندمعیاره است که در سال 1982 توسط برنز توسعه یافت (برنز و همکاران، 1984). روش پرامسه 3 (رتبه‌بندی بازه‌ای، فازی)، پرامسه 4 (گوسی، پیوسته) و روش نمایش تصویری گایا به دنبال پژوهش‌های برنز و مارشال و همکاران (1984) ارائه شد.

در این پژوهش، قصد بر آن است تا با استفاده از الگوریتم نارتبه‌ای پرامسه و بر پایه تغییرات کاربری اراضی، نقشه آسیب پذیری اکوسیستم‌های خراسان رضوی به بیابانی شدن تهیه و بر اساس نقشه خروجی و معیارهای اقتصادی-اکولوژیکی موثر در اجرای طرح‌های مقابله با بیابان‌زایی، نقشه راهبردی (برنامه استراتژیک) مقابله با پدیده مذکور تدوین شود.

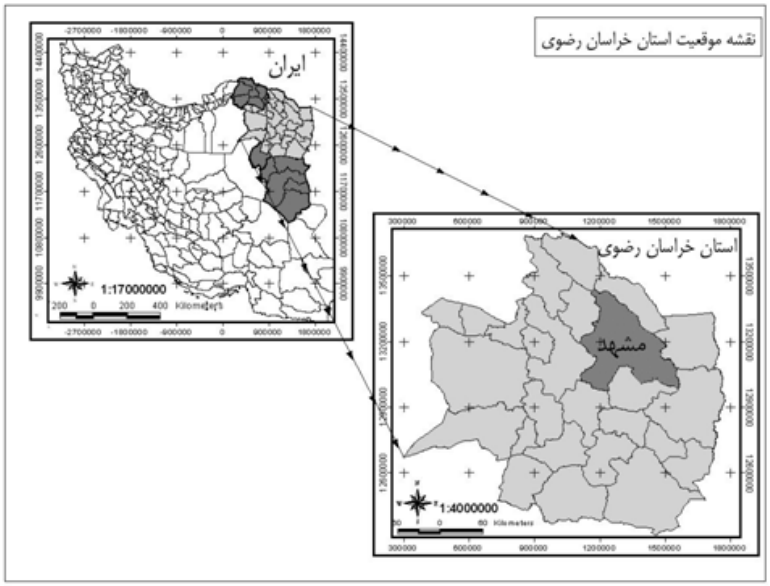
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در این پژوهش را استان خراسان رضوی با مساحت در حدود 145 هزار کیلومتر مربع تشکیل داده است. این استان به عنوان چهارمین استان پهناور کشور در شمال شرقی کشور و در محدوده مختصات 55 تا 61 درجه طول شرقی و 30 تا 38 درجه عرض شمالی واقع شده است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن جزء اقلیم‌های خشک و نیمه خشک محسوب می-شود. عوامل مختلفی از قبیل کوه‌های مرتفع، مناطق پست کویری، دوری از دریاها و همچنین برخورد جبهه‌های مختلف آب و هوایی که از غرب، شمال، شمال غرب، شمال شرق و جنوب وارد منطقه می‌شوند، سبب تنوع و گوناگونی اکوسیستمی در استان شده است. میزان بارش منطقه از شمال به سمت جنوب کاهش پیدا می-کند. بطوریکه بیشترین میزان بارش مربوط به ایستگاه‌های قوچان و درگز با حدود 304/9 میلیمتر و کمترین میزان در ایستگاه‌های گناباد و تایباد با میزان در حدود 143/9 ثبت شده است (فرجزاده و همکاران، 1387). به طور کلی اکوسیستم‌های واقع در بخش‌های شمالی استان از تنوع پوششی و زیستی بالاتری در مقایسه با اکوسیستم‌های شکننده و حساسیت‌پذیر بخش-

1 -Multi-Criteria Decision Making
2 -ELECTRE
3 -PROMETHEE

های جنوبی، برخوردارند. شکل 1 موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد. متاسفانه مدیریت غیر اصولی در بهره‌برداری از منابع آب زیر زمینی، کشاورزی سنتی و رهاسازی اراضی، امروز این استان را به یکی از کانون‌های بحران فرسایش تبدیل کرده است. تغییرات کاربری اراضی، فشار جمعیت و چرای بی‌رویه مراتع همراه با فرسایش خاک، زمینه خسارت 11 میلیارد تومان در سال را در اثر فرآیند بیابانی شدن در این استان فراهم کرده است (اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی، 1387).

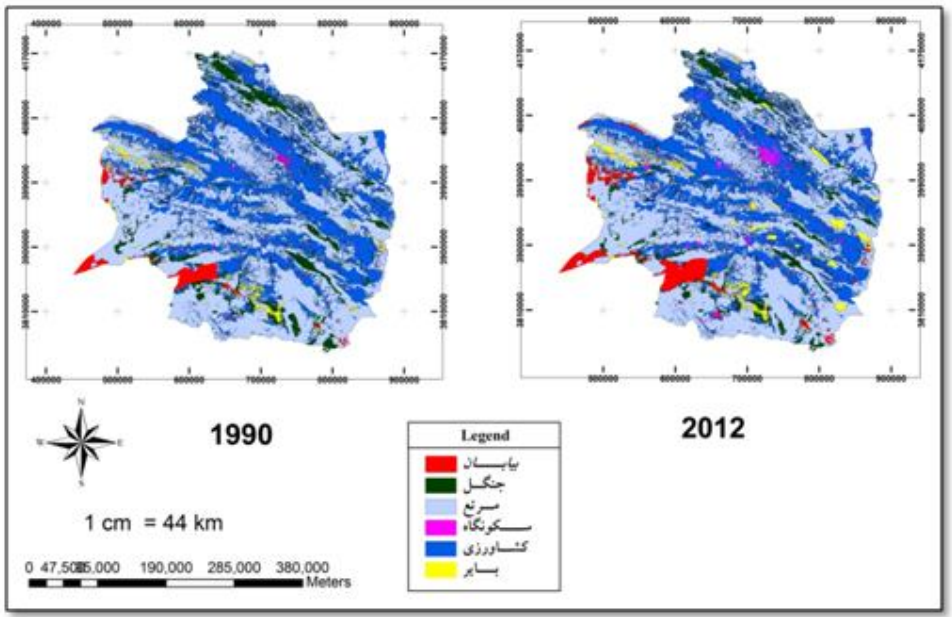


شکل 1: موقعیت جغرافیایی استان خراسان رضوی

روش کار

در این پژوهش، به منظور بررسی دینامیک اکوسیستم و با تاکید بر اصل ارتجاع پذیری (دامنه بردباری)، مقایسه کاربری اراضی سال‌های 1990 و 2012 با کمک داده‌های سنجنده TM و ETM^+ سال‌های مذکور انجام و نقشه آسیب-پذیری بیابان‌زایی استان بر پایه نقشه کاربری اراضی سال 2012 تهیه گردید. با توجه به تنوع چشم‌انداز و تحمل‌پذیری اکوسیستم‌های موجود در استان و نیز توان تفکیک داده‌های لندست، نقشه کاربری اراضی در شش طبقه (کلاس) تفکیک و تهیه شد. این طبقات شامل بیابان، اراضی جنگلی، اراضی مرتعی، مناطق مسکونی (شهری و روستایی)، اراضی کشاورزی (آبی و دیم) و اراضی بایر و رخنمودهای سنگی می‌باشند. در شکل 2، نقشه کاربری اراضی سال 1990 و 2012 استان نشان داده شده است.

از آنجا که یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین روش‌های طبقه‌بندی در اکثر مطالعات، الگوریتم حداکثر احتمال می‌باشد (جانسن و آنتونیو، 2002)، از الگوریتم مذکور در طبقه‌بندی نظارت شده و تهیه نقشه کاربری اراضی استان برای دوره زمانی مورد نظر (1990-2012) استفاده شد. تهیه نقشه‌ها با استفاده از نرم افزار IDRISI نسخه Taiga انجام و پس از اطمینان از صحت طبقه‌بندی تصاویر، عملیات آشکارسازی تغییرات در محیط نرم‌افزار مذکور صورت گرفت.



شکل 2: نقشه کاربری اراضی استان خراسان رضوی برای سال‌های 1990 و 2012

به منظور درک واضح‌تر از شیوه پژوهش، روش کار در دو مرحله تشریح شده است. مرحله اول را الگوریتم تهیه نقشه آسیب‌پذیری بیابان‌زایی و مرحله دوم را الگوریتم تدوین مدیریت راهبردی مقابله با بیابان‌زایی و ارائه برنامه استراتژیکی تشکیل می‌دهد.

مرحله نخست: در این مرحله در ابتدا با شناخت منطقه و جمع‌آوری اطلاعات پایه، معیارهای موثر در بیابانی شدن اکوسیستم‌های استان، شناسایی و پس از جمع‌بندی نظرات خبرگان، 8 معیار اصلی در دو بعد انسانی و طبیعی (اقلیمی) تفکیک و مطابق جدول 1 دسته‌بندی شد. لازم به ذکر است برخی از معیارها نظیر شوری‌زایی هم جنبه انسانی و هم جنبه طبیعی دارند.

جدول شماره 1: معیارهای موثر در بیابانی شدن اکوسیستم‌های استان

معیارهای انسانی	تغییرات کاربری اراضی	تخریب پوشش گیاهی و جنگل تراشی	بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی	فشار چرا
معیارهای طبیعی	شوری‌زایی	خشکسالی	قدرت فرسایش دهندگی	فرسایش‌پذیری خاک

پس از تعیین معیارهای موثر در بیابانی شدن، با استفاده از روش نارتبه‌ای پرامسه اقدام به وزن-دهی معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌های مورد نظر گردید. همانطور که بیان شد گزینه‌های تحقیق حاضر را انواع کاربری اراضی استان و معیارهای مورد نظر را معیارهای طبیعی- انسانی تشکیل داده است. بنابراین ماتریس تصمیم پژوهش متشکل از شش گزینه و هشت معیار و وزن‌دهی گزینه‌ها بر پایه معیارهای نام‌برده انجام گردید (جدول 2). در این پژوهش از عدم قطعیت حاصل از وزن‌دهی و تصمیم‌گیری چشم‌پوشی گردید، لذا

اوزان قطعی و بر مبنای یک تا نه (1-9) ارزش گذاری گزینه‌ها انجام شده است.

جدول 2 : ماتریس وزنی استفاده شده در مقایسه انواع کاربری اراضی بر حسب نقش معیارهای موثر در بیابان-زایی

عوامل موثر در بیابان-زایی / طبقات کاربری اراضی	پتانسیل فرسایش	قدرت فرسایش دهندگی	خشکسالی	فشار چرا	بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی	شوری زایی	تخریب پوشش گیاهی	تغییرات کاربری اراضی
بیابان	9	8	6	5	5	7	7	1
جنگل	3	2	4	2	2	1	5	8
مرتع	7	6	6	9	9	7	8	8
مناطق مسکونی	1	1	1	1	6	2	2	6
کشاورزی	7	7	8	6	8	7	6	7
مناطق بایر و رخنمودهای سنگی	9	9	4	1	3	2	1	1

جهت پیاده‌سازی روش نارتبه‌ای پرامسه مراحل زیر صورت گرفت:

فرض کنید A مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که انتخاب باید از میان آن‌ها صورت گیرد. با فرض وجود K شاخص موثر در تصمیم‌گیری، برای هر $a \in A$ مقدار $f_j(a)$ نشان دهنده ارزش شاخص j ام در گزینه a است. رتبه‌بندی با این روش در سه گام صورت گرفته است:

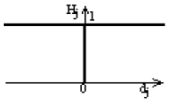
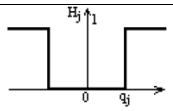
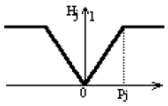
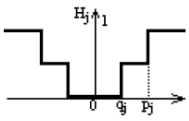
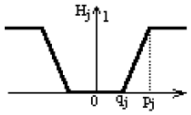
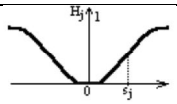
گام اول: تابع ترجیح P_j به هریک از شاخص‌های j اختصاص داده می‌شود. مقدار $P_j(a,b)$ برای هر زوج محاسبه گردید. این مقدار بین صفر و یک متغیر است. اگر رابطه $f_j(b) = f_j(a)$ برقرار باشد، مقدار $P_j(a,b)$ برابر صفر می‌شود و با افزایش $f_j(b) - f_j(a)$ این مقدار افزایش می‌یابد و هنگامی-که اختلاف به اندازه کافی زیاد شود، مقدار $P_j(a,b)$ هم به 1 می‌رسد. شکل‌های مختلفی را می‌توان برای تابع Pj فرض کرد که به وضعیت رابطه 1)

مدل‌سازی شاخص j ام بستگی دارد. در روش پرامسه شش نوع از معیارهای تعمیم یافته پیشنهاد شده‌اند که به سادگی قابل تعریف هستند. در هر معیار حداکثر اندازه پارامترها باید ثابت باشد؛ مقدار آستانه بی‌تفاوتی (q) و مقدار آستانه ترجیح (p) یا مقدار ترجیح بین p و q مشخص می‌شوند. در هر مورد این پارامترها برای تصمیم‌گیرنده مشخص و معنی‌دار هستند. در جدول 3 معیارهای تعمیم یافته مشخص شده است (دیاز و همکاران، 1998؛ برنز و همکاران، 1986).

گام دوم: میزان اولویت کلی $\pi(a,b)$ برای هر گزینه a روی گزینه b محاسبه می‌شود. هرچه میزان $\pi(a,b)$ بیشتر باشد، گزینه a ترجیح بیشتری دارد. $\pi(a,b)$ با استفاده از رابطه 1 محاسبه می‌شود در این رابطه W_j وزن شاخص-هاست.

$$\pi(a,b) = \sum w\, P(a,b), \quad \sum w = 1$$

جدول3: معیارهای تعمیم یافته و انواع توابع ترجیح برای روش پرامسه II (بارنز و همکاران ، 1984)

نوع	نام	پارامتر	رابطه	شکل	شرح
1	معیار عادی	-	P(d)= 0 d=0 1 d>0		در صورتی که امتیازات دو گزینه برابر باشد، هیچ تفاوتی وجود نخواهد داشت
2	معیار بخشی (u شکل)	q	P(d)= 0 d ≤ 0 1 d>p		تا زمانی که تفاوت امتیازات دو گزینه کمتر از q باشد، هیچ تفاوتی وجود نخواهد داشت.
3	معیار v شکل (معیار خطی)	p	P(d)= – d ≤ p 1 d>p		با تغییر امتیازات در فاصله صفر تا p میزان اولویت به صورت خطی تغییر می کند، اگر تفاوت بیشتر از P باشد، گزینه مورد نظر کاملا اولویت دارد.
4	معیار هم سطح	q, p	P(d) = 0 d ≤ 0 – < ≤ 1 d>p		اگر تفاوت امتیازات دو گزینه کمتر از q باشد، هیچ تفاوتی وجود ندارد، درصورتی که تفاوت بین دو مقدار p و q باشد، یک برتری نسبی وجود دارد. اگرمیزان تفاوت بیش از p باشد، اولویت کامل وجود دارد.
5	معیار v شکل با ناحیه بی تفاوتی	q, p	P(d) = 0 d ≤ q – < ≤ 1 d>p		اگر تفاوت امتیازات دو گزینه کمتر از q باشد، هیچ تفاوتی وجود ندارد، با تغییر امتیازات در فاصله q تا p میزان اولویت به صورت خطی تغییر می کند، اگر میزان تفاوت بیش از p باشد، اولویت کامل وجود دارد.
6	معیار گاوسی	δ	P(d) = –		با تفاوت میان امتیازات گزینه ها، میزان اولویت بر طبق رابطه افزایش می یابد.

گام سوم: $\pi(a,b)$ نشان دهنده درجه اولویت گزینه a نسبت به گزینه b است. برای محاسبه قدرت ترجیح کلی گزینه a بر سایر گزینه‌ها، جریان خروجی با استفاده از رابطه 2 محاسبه می-شود.

رابطه 2) $\varphi(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x \in A} \pi(a,x)$

این جریان نشان می‌دهد که گزینه a چقدر بر سایر گزینه‌ها اولویت دارد. این جریان در حقیقت قدرت گزینه a است. بزرگترین $\varphi^+(a)$ به معنای بهترین گزینه است. ترجیح سایر گزینه‌ها بر گزینه a که جریان ورودی نامیده می‌شود با استفاده از رابطه 3 محاسبه می‌شود.

رابطه 3) $\varphi(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x \in A} \pi(a,x)$

این جریان نشان می‌دهد که سایر گزینه‌ها تا چه میزان بر گزینه a اولویت دارد. این جریان در حقیقت ضعف گزینه a است. کوچکترین $\varphi^-(a)$ نشان دهنده بهترین گزینه است (بابیک و پلازیبت، 1998). بنابراین، با داشتن و بررسی جداگانه دو جریان $\varphi^+(a)$ و $\varphi^-(a)$ می‌توان

جریان خالص رتبه‌بندی را برای هر گزینه با استفاده از رابطه 4 محاسبه کرد.

$$\varphi(a) = \varphi^{+}(a) - \varphi^{-}(a) \qquad \text{(رابطه 4)}$$

این جریان حاصل توازن جریان‌های رتبه‌بندی مثبت و منفی است. جریان خالص بالاتر نشان دهنده گزینه برتر است (اصفهانی‌پور و لسانی، 1390). از سوی دیگر با استفاده از پرامسه و تحلیل اطلاعات در آن می‌توان از یک روش نموداری به نام گایا (GAIA) نیز بهره جست.

محاسبات الگوریتم پرامسه در این پژوهش توسط نرم‌افزار D-SIGHT انجام و تحلیل شده است. به همین جهت ماتریس اوزان (جدول 2)، به محیط نرم‌افزار مذکور وارد و نوع اثر معیار، نوع تابع ترجیح، پارامترهای مورد نیاز برای تابع ترجیح و وزن‌های مرتبط با معیارها مطابق جدول 4 تعیین گردید. انتخاب توابع ترجیح بر مبنای مباحث نظری و نظرات گروه کارشناسان انجام شد. برای توابع پیوسته تابع ترجیح گوسین با توجه به ماهیت این توابع مورد استفاده قرار می‌گیرد (برنز و همکاران، 1984). از این رو برای عوامل پتانسیل فرسایش، قدرت فرسایش دهندگی، خشکسالی، تراکم چرا و تراکم پوشش، تابع ترجیح گوسین، برای عامل بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی تابع ترجیح V شکل و برای عامل شوری‌زایی تابع ترجیح خطی به کار گرفته شد. ولی در مورد کاربری اراضی تابع ترجیح گسسته از نوع معمولی به آن اختصاص یافت. همچنین ضریب اهمیت معیارهای انتخابی با استفاده از نرم‌افزار مذکور بر پایه الگوریتم نارتبه‌ای پرامسه II مشخص شد (جدول 4).

در پایان، بر حسب میزان مشارکت وزنی از نقطه نظر تاثیر عوامل بیابانی شدن و توان اکوسیستم در پاسخ و تحمل تغییرات، درجه آسیب‌پذیری اکوسیستم در سه کلاس کیفی آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد تفکیک و طبقه بندی و نقشه آسیب‌پذیری اکوسیستم به بیابانی شدن تهیه شد. در جدول 5، کلاس‌های کمی و کیفی درجه آسیب‌پذیری مشخص شده است.

جدول 4 : نوع اثر معیار، نوع تابع ترجیح و وزن‌های مربوط به معیارهای به کار گرفته شده در روش پرامسه II

نام معیار	نوع اثر معیار	نوع تابع ترجیح	ضریب اهمیت (وزن) معیار (%)
پتانسیل فرسایش	Maximize	Gaussian	% 12/2
قدرت فرسایش دهندگی	Maximize	Gaussian	% 10/7
خشکسالی	Maximize	Gaussian	% 16/1
فشار چرا	Maximize	Gaussian	% 9/2
بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی	Maximize	V-shape	% 15/5
شوری زایی	Maximize	Linear	% 7/5
تخریب پوشش گیاهی	Maximize	Gaussian	% 19/2
تغییرات کاربری اراضی	Maximize	Usual	% 9/6

جدول 5 : رتبه بندی کلاس‌های کاربری اراضی به 3 کلاس کمی و کیفی جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری بیابان

تاثیر وزنی عوامل بیابان‌زایی (%)	کلاس کیفی	کلاس کمی
< 30	کم	I
30 -60	متوسط	II
> 60	زیاد	III

مرحله دوم: پس از تهیه نقشه آسیب‌پذیری، مرحله دوم شامل تدوین سند راهبردی مقابله با بیابانی شدن در اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر استان با کمک نقشه آسیب‌پذیری تهیه شده در مرحله اول می‌باشد. بدین منظور در ابتدا با توجه به ارزیابی عوامل موثر در بیابانی شدن و وضعیت کاربری اراضی و نقشه آسیب‌پذیری تهیه شده، 6 راهکار مدیریتی بر مبنای نظرات کارشناسی، مطابق جدول 6 تدوین گردید. جهت ارزیابی و مقایسه استراتژی‌های تعیین شده، 5 معیار هزینه اجرا، زمان، تسهیلات اجرایی، درصد مناطق حفاظت شده و مقاوم (بدون آسیب پذیری) و اثرات محیطی اجرای استراتژی‌ها، تعیین گردید (جدول 6).

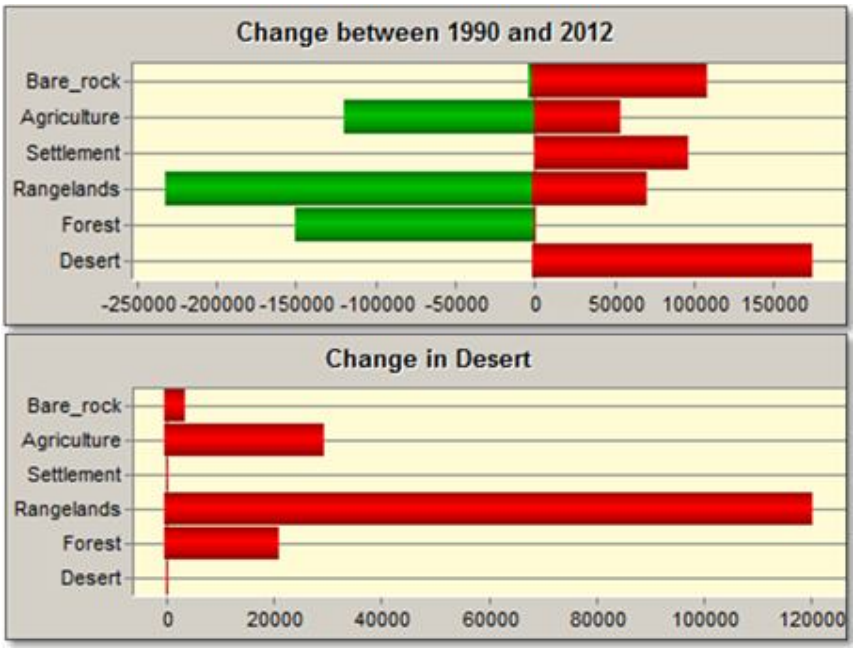
جدول 6 : ماتریس تصمیم راهکارها و عوامل تعیین کننده موثر در انتخاب و اجرای استراتژی‌های مقابله

معیارها / راهکار مدیریتی	هزینه	زمان	تسهیلات اجرایی	درصد مناطق حفاظت شده	اثرات محیطی
	0/2613	0/2798	0/3824	0/0213	0/055
کنترل فرسایش	5	5	3	6	4
بازسازی اکوسیستم (احیاء پوشش)	4	3	2	7	8
اصلاح سیستم های آبیاری	6	2	2	4	7
روش های احیا خاک	3	1	1	3	7
کنترل و مدیریت چرا	8	7	8	2	9
مدیریت منابع آب	8	7	7	2	9

سپس بر پایه الگوریتم انتروپی، ضریب اهمیت 5 معیار مذکور در ارتباط با نقش معیارها در اجرای استراتژی مشخص شد. پس از تعیین ضرایب اهمیت، ماتریس تصمیم بر اساس وزن‌دهی گزینه‌های راهبردی و معیارهای انتخابی تشکیل شد (جدول 6).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات نشان داد که در بازه زمانی مورد مطالعه، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در کاربری اراضی استان ایجاد شده است. همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است، بر اساس تغییرات کاربری اراضی در طی دوره مطالعاتی، بخش وسیعی از اکوسیستم‌های مرتعی و جنگلی تخریب و به چشم‌اندازهای بیابانی افزوده شده است. طبق نظر اندرسون، دقت قابل قبول طبقه‌بندی پوشش و کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، 85 درصد می‌باشد (اندرسون و همکاران ، 2007). میزان کاپای حاصل از بررسی درستی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سال‌های 1990، 2012 به ترتیب برابر 0/89 و 0/92 حاصل شد. مقادیر بالای شاخص کاپای حاصل از ارزیابی صحت این نقشه‌ها، قابلیت بالای اعتماد به این نقشه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل4: نمودار میزان تغییرات مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی در طی دوره زمانی مورد مطالعه (ha)

همچنین نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات اراضی بیابان نشان داد که تغییرات این اراضی در دوره زمانی مورد مطالعه همواره روند افزایشی داشته است و تغییرات شدید کاربری در اکوسیستم‌های مرتع، جنگل و اراضی کشاورزی سبب ظهور چشم‌اندازهای بیابانی استان گردیده است (شکل 4).

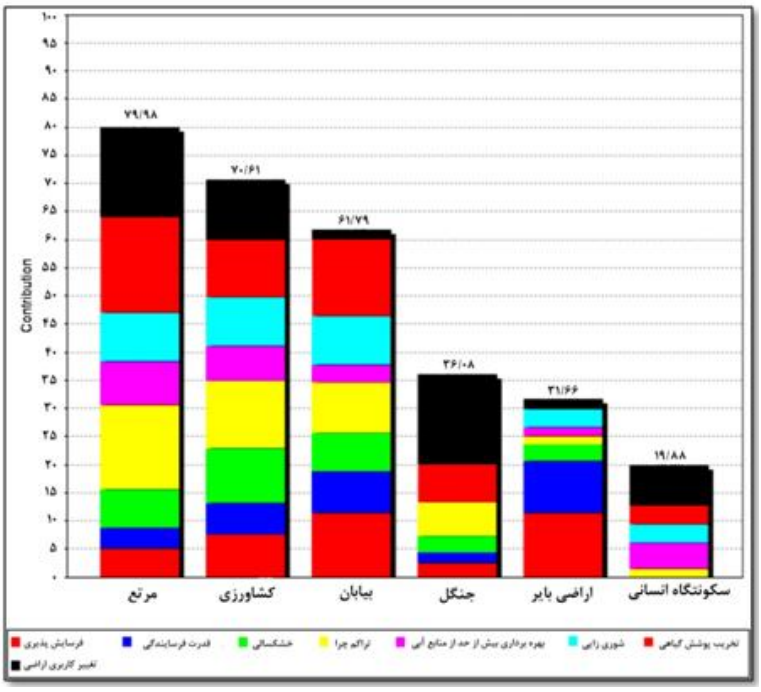
همانطور که در نمودار شکل 5 نشان داده شده است، تغییرات کاربری اراضی، فرسایش‌پذیری و فشار چرا، مهمترین عوامل افزایش آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های خراسان رضوی می‌باشند. مشارکت عوامل تخریبی اکوسیستم نشان می‌دهد که در اکوسیستم‌های مرتعی، اراضی کشاورزی و بیابانی، فعالیت‌های غیر اصولی انسان که عمدتاً مربوط به بحث تغییرات کاربری اراضی، چرای بی‌رویه و بهره‌برداری غیر اصولی از منابع آبی می‌گردد، بر حساسیت پذیری و آسیب‌پذیری اکوسیستم به فرآیند بیابانی شدن افزوده است (شکل 5). همانطور که مشخص است تغییرات کاربری اراضی در اکوسیستم‌های جنگلی استان، نقش پررنگی در تغییر چهره این اکوسیستم‌ها در سال‌های اخیر داشته است.

در نمودار شبکه عنکبوتی نشان داده در شکل 6، در اکوسیستم مرتعی استان، تخریب پوشش گیاهی، فشار چرا، تغییرات کاربری اراضی و بهره-برداری بی‌رویه از منابع آبی، موجب تبدیل این اکوسیستم‌ها در دراز مدت به چشم‌اندازهای بیابانی خواهد شد. در اکوسیستم‌های بیابانی، با توجه به استعداد ذاتی این مناطق، فرسایش‌پذیری بالا که بازگوکننده توان اندک خاک در مقابل فرسایش است، موجب تسریع فرآیندهای شوری-زایی، خشکسالی و بدنبال آن تخریب پوشش گیاهی در این مناطق شده است.

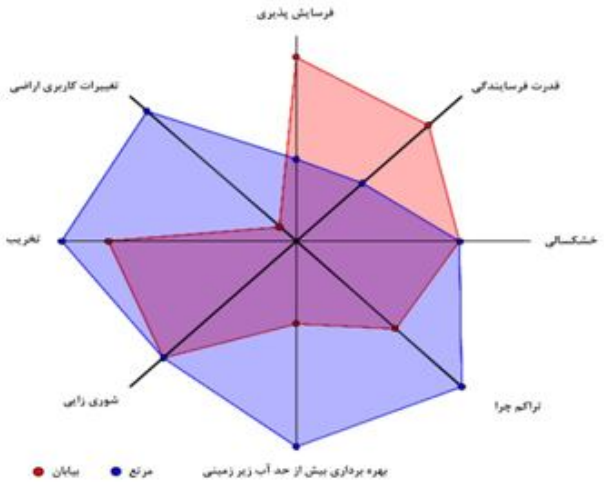
در سالهای اخیر، به علت تغییرات شدید کاربری اراضی، نابودی پوشش گیاهی و جنگل‌تراشی، با روند کاهشی دامنه بردباری و تحمل‌پذیری روبرو بوده‌اند، به گونه‌ای که بخش قابل توجهی از مساحت استان در اثر فشارهای محیطی و تغییرات

تعادلی شدید، از آسیب‌پذیری بالایی نسبت به عوامل موثر در بیابانی شدن برخوردارند.
شکل 7، نقشه نهایی آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های خراسان رضوی را نسبت به بیابانی شدن نشان می‌دهد.

مطابق نقشه آسیب‌پذیری استان، 10691535 هکتار از مساحت استان خراسان رضوی (91/7 %) در محدوده کلاس کیفی آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد. 274838,5 هکتار (2/36 %) در کلاس آسیب‌پذیری متوسط و 682324 هکتار (5/85 %) در کلاس آسیب‌پذیری پایین قرار دارد.



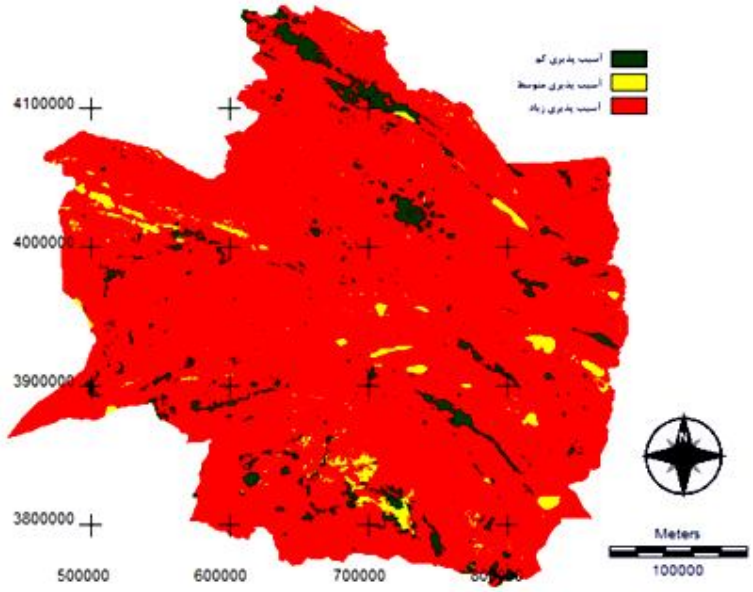
شکل 5 : وزن عوامل موثر در بیابان‌زایی در هر یک از کلاس‌های کاربری به همراه مقادیر خالص رتبه‌بندی



شکل 6 : مقایسه مشارکت عوامل موثر در بیابانی شدن اکوسیستم‌های مرتعی و بیابانی

نقشه آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های استان به بیابان‌زایی نشان داد که با وجود اشغال بخش قابل توجهی از مساحت استان از اکوسیستم‌های شکننده، بخش وسیعی از اکوسیستم‌های مطالعه شده در استان در سال‌های مقایسه نقشه آسیب-پذیری اکوسیستم با نقشه کاربری اراضی حال حاضر، موید این مطلب است که عمده اکوسیستم‌های آسیب‌پذیری استان در طبقه چشم‌اندازهای مرتعی قرار دارند. اکوسیستم‌هایی که در پی فشار چرا، تغییرات کاربری متوالی، بهره‌برداری و تخریب پوشش مراتع، می‌روند تا در آینده‌ای شاید نزدیک جلوه‌ای از چشم‌اندازهای بیابانی را نشان جوامع انسانی دهند.

اولویت‌بندی راهبردهای مقابله با بیابانی شدن در استان نیز با نتایج حاصل از درجه آسیب‌پذیری و درصد مشارکت نیروهای موثر در تغییر چهره اکوسیستم برابری می‌کند. بر طبق اولویت‌بندی استراتژی‌های تدوین شده، مدیریت اکوسیستم‌ها از نقطه‌نظر جلوگیری از تغییرات کاربری اراضی و کنترل چرای دام باید در محور برنامه‌های اقدام استانی مقابله با بیابانی شدن قرار گیرد. بطور کلی انتخاب راهبردهای مقابله باید بر کنترل چرا و در رتبه‌های بعدی به ترتیب بر اصلاح سیستم‌های آبیاری، کنترل فرسایش، مدیریت منابع آبی و روش‌های احیاء خاک قرار گیرد.



شکل 7 : نقشه آسیب‌پذیری بیابان‌زایی اکوسیستم‌های خراسان رضوی سال 2012

بنابراین سند راهبردی استان نشان می‌دهد که توجه به استراتژی‌های مربوط به نقش انسان در مدیریت اکوسیستم باید در دستور کار قرار گیرد. بررسی‌ها نشان داد که روش نارتبه‌ای پرامسه از نتایج مثبتی با توجه به واقعیت زمینی و شرایط فعلی اکوسیستم برخوردار است. این تحقیق می-تواند راهگشای تحقیقات آتی در بحث مدیریت اکوسیستم‌های استان و مدیریت فرآیند بیابان‌زایی باشد.

منابع

اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی، 1387. گزارش کانون‌های بحرانی فرسایش برای خراسان رضوی، 157 ص.

- اصفهانی‌پور، ا.، و لسانی، ت.، 1390. تعیین سناریوی برتر حمل و نقل همگانی مسافر درون شهری با فازی- تاپسیس، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هشتم، شماره 4، ص 323-343.

- رفیعیان، م.، و شالی، م.، 1391. تحلیل فضایی سطح توسعه یافتگی تهران، نشریه مدرس علوم انسانی، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره یازدهم، شماره 4، ص 25- 49.

- سپهر، ع.، 1392. تعادل ترمودینامیکی و فروپاشی کاتاستروفیک اکوسیستم: بیابانی‌شدن و گذرهای بحرانی. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (ویژه نظریه پردازی)، شماره 25، در دست چاپ.

- سپهر، ع.، اختصاصی، م.ر.، و المدرسی، س.ع.، 1391. ایجاد سامانه شاخص‌های بیابان زایی بر اساس DPSIR (بهره‌گیری از روش فازی- تاپسیس). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی شماره 23 (45)، 1، ص 33-50.

- شاه‌منصوری، آ.، سلمان صباحی، م.، و رضایی آدریانی، ر.، 1391. بررسی موردی انتخاب محل و نوع تصفیه‌خانه آب به روش AHP، مجله آب و فاضلاب، شماره 4، ص 134- 139.

- صادقی روش، م. ح.، زهتابیان، غ.ر.، و طهمورث، م.، 1391. ارزیابی آسیب‌پذیری زیست محیطی نسبت به خطر بیابان‌زایی (مطالعه موردی منطقه خضرآباد یزد)، نشریه پژوهش‌های آبخیزداری، شماره 96، ص 75-87.

- فرج زاده اصل، م.، کاشکی، ع.ر.، و شایان، س.، 1387. تحلیل تغییرپذیری عملکرد محصول گندم دیم با رویکرد تغییرات اقلیمی (منطقه مورد مطالعه استان خراسان رضوی)، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره13 ، شماره 3، ص 227-256.

- محمدی، ج.، ضرابی، ا و احمدیان، م.، 1391. اولویت سنجی مکانی توسعه فضاهای سبز و پارک‌های شهری با استفاده از روش AHP، فصلنامه علمی- پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، سال چهارم، شماره دوم، ص 41-62.

- نصیری، ح.، علوی پناه، س. ک.، متین فر، ح.ر.، عزیزی، ع.، و حمزه، م.، 1391. پیاده سازی مدل اکولوژیکی کشاورزی با رویکرد PROMETHEE II و Fuzzy AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: شهرستان مرودشت)، مجله محیط شناسی، سال سی و هشتم، شماره 3 ، ص 109-122.

- نیک نفس، آ.، مقدم چرکری، ن. ، و نیک نفس، ع. ا.، 1387. سیستم توصیه‌گر مبتنی بر روش PROMETHEE II برای دسته‌های مختلف اقلام با تکرار خرید پایین. چهاردهمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) ایران.

- Anderson, J.R., Hardy, E., Roach. J.T., and Witmer, R.E., 2001. A Land Use and Land Cover Classification System for use with Remote Sensor Data. Geological Survey professional United State. Washington, 41 p.

- Babic, Z., and Plazibat, N., 1998. Ranking of enterprises based on multi-criteria analysis; International Journal of Production Economics, v. 56-57, p. 29-35.

- Brans J. P., Mareschal B., and Vincke P., 1984. "PROMETHEE: A new family of outranking methods in multi criteria analysis," Operational Research, p. 477-490.

(Chaco Area – Salta Province – Argentina. Biogeosciences,v. 7, p. 3421–3433.
- Grau, J., Anton, J. M., Tarquis, A. M., 2007. MCDM Methods for Waste Management Planning in a rural Area, Proceedings of CITSA 2007, session Soft Computing and Signal Processing, Orlando Florida, USA, p.15–17.
- Jansen, L.J.M., and Antonio, D. G., 2002. Parametric land cover and land-use classification as tools for environment change detection, Agriculture, Ecosystems and Environment. v. 91, Issues 1–3, P. 89–100.
- Pohekar, S. D., and Ramachandran, M., 2004. "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 8, p. 365-381.
- Sepehr, A., and Zucca, C., 2012. Ranking desertification indicators using TOPSIS. Journal of Natural Hazards, v. 62, P. 1-19.
- Brans, J.P., Vincke, Ph., and Mareschal, B., 1986. How to select and how to rank project: The PROMETHEE method. European Journal of Operational Research, v. 24, p. 228-238.
- Dias L. C., Costa J. P., and Climaco J. N., 1998. "A parallel implementation of the PROMETHEE method," European journal of operational research, v. 104, p. 521-531.
- FAO, UNEP., 1994. Land degradation in South Asia: its severity causes and effects upon the people, World Soil Resources Reports. No. 78.
- Figueira, J., Greco, S., and Ehrgott, M., 2005. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys, Springer eBook, ISBN: 0-387-23081-5.1045 p.
- Grau, J. B., Anton, J. M., Tarquis, A. M., Colombo, F., de los R´ıos, L., and Cisneros, J. M., 2010. An application of mathematical models to select the optimal alternative for an integral plan to desertification and erosion control