مقاله مروری

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۵۷، تابستان ۱۴۰۰

مروری بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مطالعات محیط‌زیست

بهاره صمدی کوچکسرائی [1*]

samadi765@gmail.com

افشین دانه‌کار [2]

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۴ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۱**

چکیده

زمینه و هدف: تصمیم‌گیری شامل بیان درست اهداف، تعیین راه‌حل‌های مختلف و ممکن، ارزیابی امکان‌پذیری آنان، ارزیابی عواقب و نتایج ناشی از اجرای هر یک از راه‌حل‌ها و بالاخره انتخاب و اجرای آن می‌باشد. کیفیت مدیریت اساساً تابع کیفیت تصمیم‌گیری است. در اکثر موارد، تصمیم‌گیری‌ها وقتی مطلوب و مورد رضایت تصمیم‌گیرنده است که تصمیم‌گیری براساس چندین معیار مورد بررسی قرار گرفته باشد. معیارها ممکن است کمی یا کیفی باشند. در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره که در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است به‌جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی، از چندین معیار استفاده می‌شود. تصمیم‌گیری در پروژه‌های محیط‌زیستی، عملی دشوار و پیچیده است، که لزوم تعادل بین عوامل سیاسی اجتماعی، محیط‌زیستی، اکولوژیک و اقتصادی در این پروژه‌ها، مدیریت و تصمیم‌گیری در این حوزه را دشوارتر می‌سازد. در مدل های چند معیاره (MCDM)، تعدد معیارها، پیچیدگی داده‌ها و پویایی محیط، از جمله عواملی هستند که مسأله تصمیم‌گیری را به چالشی در دهه‌های اخیر مبدل نموده است.

روش بررسی: این تحقیق به‌صورت مروری می‌باشد که با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و سایت‌های مرتبط به بررسی موضوع پرداخته و معرفی فرآیند تصمیم‌گیری و اصطلاحات آن انجام شده است.

یافته‌ها: روش‌های تصمیم‌گیری به‌کار رفته در پروژه‌های مختلف محیط‌زیستی با اهداف مشخص شرح داده شد و مدل مفهومی روش‌های جبرانی به همراه کاربرد آنها ارائه شد.

بحث و نتیجه‌گیری: در نهایت، یک جمع‌بندی از انواع پروژه‌های محیط‌زیستی که می‌توانند تحت پوشش این مدل‌ها قرار گیرند و مدل‌های مورد استفاده در مورد هر نوع پروژه، ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری، مدل‌های چندمعیاره، مطالعات محیط‌زیست، پروژه‌های محیط‌زیستی.

۱- دانش‌آموخته دکتری بوم‌شناسی دریا، گروه علوم دریایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران * (مسئول مکاتبات).

۲ - استاد، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

Human and Environment, No. 57, Summer 2021

A Review on Multi-Criteria Decision-Making Methods in Environmental Studies

Bahareh Samadi Kuchaksaraei[*1]

samadi765@gmail.com

Afshin Danehkar[2]

Received: July 15, 2019 Accepted: January 11, 2020

Abstract

Background and Objective: Decision-making, includes the correct statement of purposes, determination of different and possible solutions, assessment of their possibility, evaluation of the consequences of implementing each solution, and finally, selection and implementation. Quality of management, is essentially dependent to the quality of decision-making. In most cases, decision-making is desirable and satisfactory for decision maker, when decision making is studied according to several criteria. Criteria may be quantitative or qualitative. In multi criteria decision making methods, which are taken into consideration in recent decades, several criteria are used instead of one, to measure optimality. Decision-making, is difficult and complicated in environmental projects; the necessity for balance existence between socio-economic, environmental, ecological and economic factors in these project, makes it more difficult to manage and make decision in this area. In multi-criteria decision-making models (MCDM), multiplicity of criteria, the complexity of the data and environmental dynamism are among the factors which convert decision-making, into a challenge in recent decades.

Materials and Methods: This research was a review study using library resources and related sites, along with introduction of decision making process and terms.

Discussion and Conclusion: Multi-criteria decision-making methods used in environmental projects have been explained. The conceptual model of compensatory methods was presented along with their application.

Results: Finally, a summary of environmental projects that can be covered by decision-making models and used models in each project, was presented.

Keywords: Decision-Making, Multi-Criteria Models, MCDM, Environmental Studies, Environmental Projects

1- Ph.D., Marine Ecology, Department of Marine Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran *(Corresponding Author)

2- Full Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

مقدمه

کاهش بیش از اندازه منابع طبیعی، افزایش آلودگی‌ها، نارسایی توزیع متعادل منابع، رشد صنعتی و رشد اقتصادی از دسته عواملی هستند که با رشد جمعیت دست به دست هم داده، بحران را پی‌ریزی می‌نمایند. تصمیم‌گیری و انتخاب راه‌حل مناسب از بین راه‌حل‌های گوناگون و پیچیده جهت مدیریت صحیح، می‌تواند مشکلات و بحران‌های زیست محیطی را در راستای توسعهٔ پایدار حل نماید (۲). مدیریت محیط‌زیست، مشتمل بر مجموعهٔ بسیار وسیعی از تصمیمات اتخاذ شده توسط افراد، گروه‌ها و سازمان‌های مختلف می‌باشد که مجموع این تصمیمات و عکس‌العمل متقابل آنها فرآیندی را تشکیل می‌دهد که منجر به مدیریت (یا عدم مدیریت) منابع محیط‌زیستی یک جامعه می‌گردد (۱،۲). فرآیند تصمیم‌گیری، انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های مختلف بوده و این انتخاب هنگامی عالمانه است که بیش از یک معیار در گزینش آن به‌کار گرفته شده باشد. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به ما کمک می‌کنند تا قادر شویم تصمیم‌های مناسب برای موضوعاتی پیچیده و راهبردی را با ساده نمودن مشکلات و تحلیل سیستمی آنها اتخاذ کنیم (۳، ۴، ۵، ۶). در دهۀ ۱۹۶۰، اولین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در بخش‌های اقتصادی و مالی برای کاهش مشکلات در زمان تصمیم‌گیری از طریق کاهش عدم قطعیت در یکپارچه‌سازی اطلاعات پیچیده، مورد استفاده قرار گرفت (۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱). در خصوص موضوعاتی با گستردگی فراوان و پیچیده چون مدیریت راهبردی و گرایشی از آن به نام مدیریت محیط‌زیست نیز، می‌باید ابتدا معیارها را تعیین نمود (۱۲، ۱۳).

تمام روش‌های MCDM شامل فرآیند چند مرحله‌ای شامل شناسایی صفات، انتخاب معیارها برای اندازه‌گیری صفات، تعیین متغیرها، اختصاص وزن به معیارها، انجام الگوریتم‌های متناسب ریاضی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و انتخاب بهترین گزینه است (۱۴، ۱۵، ۱۶). این پیچیدگی‌ها موجب استفاده از بسیاری از این روش‌ها برای حل مشکلات موجود شده است (۱۷، ۱۸). این تحقیق، با بررسی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مطالعات محیط‌زیست، به مطالعهٔ انواع مدل‌های مورد استفاده در هر پروژهٔ محیط‌زیستی پرداخته است. این بررسی به دنبال پاسخ به این مسأله بوده که برای هر یک از پژوهش‌ها و تحقیقات محیط‌زیستی که هر کدام هدف یا اهداف مشخص و مختص به خود را دارند، چه مدل یا مدل‌هایی ارائه‌دهندهٔ پاسخ و راه‌حل مناسب می‌باشند، و چه مدل یا مدل‌هایی، کاربرد و کارایی بیشتری در مطالعات مربوط به مدیریت محیط زیست دارند.

روش بررسی:

این تحقیق به‌صورت مروری می‌باشد که با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و سایت‌های مرتبط به بررسی موضوع پرداخته شده است.

اصطلاحات رایج در فرآیند تصمیم‌گیری

الف) ماهیت مسأله و حل مسأله: مسأله را می‌توان فاصله بین وضعیت موجود و وضعیت مطلوب تعریف کرد. حل مسأله را می توان فرآیند کاستن یا از بین‌بردن فاصلهٔ بین وضعیت موجود و مطلوب تعریف کرد (۲، ۴).

ب) ماهیت تصمیم: تصمیم، نتیجه یک فرآیند است، فرآیندی که داده‌ها و اطلاعات موجود در مورد موضوع را به جریان تجزیه و تحلیل انداخته، از ترکیب مناسب آنها به استراتژی‌های مورد نظر و بهترین راه‌حل می‌رسد (۳، ۱۹).

ج) هدف‌های تصمیم: هدف‌های تصمیم‌گیری از نظر درجه حصول، به سه دسته تقسیم می‌گردد: دسته نخست، هدف‌هایی که ممکن است به حصول کامل برسند یا بر عکس. دسته دوم، هدف‌های دارای درجات مختلف معمول بوده و در ضمن، قابل اندازه‌گیری به‌صورت کمی می‌باشند. دسته سوم، هدف‌هایی که دارای درجات مختلف حصول بوده اما در اندازه‌گیری نمی‌گنجند (۱۴، ۲۰).

د) فرآیند تصمیم‌گیری: تصمیم‌گیری عبارت است از انتخاب یک راه از میان راه‌های مختلف با توجه به عناصر و پارامترها. فرآیند

تصمیم‌گیری را می‌توان شامل این مراحل دانست: شناسایی وضعیت، شناسایی راه حل‌ها، ارزیابی راه حل‌ها، انتخاب و اجرا (۲۱).

ه) متغیرهای تصمیم‌گیری: در جریان تصمیم‌گیری، سیستم تحت تأثیر عواملی پرشمار قرار می‌گیرد که حصول درجات مختلف به هدف یا هدف‌های تصمیم را مشخص می‌کند. بر مبنای قرارداد ریاضی، این عوامل را به اصطلاح، متغیر می‌نامند. در معادله تصمیم‌گیری، هدف تصمیم‌گیری را متغیر وابسته و دیگر متغیرهای مؤثر را مستقل می‌نامند (۳، ۱۳).

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)[1] به دو دستهٔ کلی تقسیم می‌شوند: مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه[2] (MODM) که در آنها بیش از یک هدف برای تصمیم‌گیری مد نظر می‌باشد. طوری‌که این نوع مدل‌ها به‌منظور طراحی به‌کار گرفته می‌شوند و مدل‌های تصمیم‌گیری چندصفته[3] (MADM) که در آنها انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های موجود مد نظر است. در یک تعریف کلی، تصمیم‌گیری چندصفته به تصمیمات خاصی (از نوع ترجیحی) مانند ارزیابی، اولویت‌گذاری و یا انتخاب از بین گزینه‌های موجود (که گاه بین چند شاخص متضاد انجام می‌شود) اطلاق می‌گردد (۱۲، ۲۲).

در روش‌های بدون وزن‌دهی، هیچ نوع ترجیحی از طرف تصمیم-گیرنده مشخص نشده و فقط ماتریس تصمیم بیان می‌شود. اما در روش‌های همراه با وزن‌دهی، ترجیحات معیارها نسبت به هم مشخص است و ممکن است به‌صورت سطح استاندارد بر روی معیار، ترجیح معیارها به صورت کیفی و یا ترجیح معیارها به صورت کمی بیان می‌شود (۱۳).

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ چندصفته

الف) مدل غیرجبرانی[4] شامل روش‌هایی است که در آنها مبادله بین صفت‌ها مجاز نیست. یعنی ضعف موجود در یک شاخص توسط مزیت موجود در یک شاخص دیگر جبران نمی‌شود. روش غیرجبرانی شامل روش‌هایی مانند روش تسلط، لکسیکوگراف، حذف، ماکسی‌مین، مینی‌ماکس، رضایت‌بخش خاص و شمول است (۲۲، ۲۳).

ب) مدل جبرانی[5] مشتمل بر روش‌هایی است که مبادله در بین صفت‌ها در آنها مجاز است. به عبارت دیگر، تغییر (احتمالاً کوچک) یک شاخص می‌تواند توسط تغییری مخالف در صفت‌های دیگر جبران گردد. این مدل شامل روش‌هایی چون میانگین وزنی ساده، TOPSIS، ELECTRE، تخصیص خطی، AHP و غیره است (۱، ۱۴).

تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فضایی[6]

تحلیل چندمعیارهٔ فضایی را می‌توان فرآیندی تلقی کرد که طی آن، داده‌های جغرافیایی (ورودی‌ها) در قالب پیامدهای منتج از تصمیم ترکیب و تغییر شکل می‌یابند. در روش‌های مبتنی بر MCDM، روابط بین نقشه‌های ورودی و نقشه‌های خروجی مشخص می‌شود (۲۰). در زمان طرح یک ساختار سلسله‌مراتبی از اهداف و صفات، لازم است که هر معیار به صورت یک لایه نقشه در محیط پایگاه داده‌های مبتنی بر GIS نشان داده شود. مجموعه‌ای از نقشه‌های معیار، نمایان‌گر یک وضعیت تصمیم‌گیری خاص یا یک بخش خاص از سامانهٔ جغرافیایی مربوط به جهان واقعی است. جدول ۱، روش‌های چندهدفه و چندصفته را در تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی مورد مقایسه قرار داده است (۲۰، ۲۴). امروزه، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فضایی بسیار مورد توجه می‌باشد (۲۵).

1- Multi criteria decision making models
2- Multi objective decision making models
3- Multi attribute decision making models

4- Non compensatory methods
5- Compensatory methods
6- Spatial multi-criteria decision-making

جدول ۱- مقایسه روش‌های چند هدفه و چند صفته فضایی (۲۰)

روش‌های چندمعیاره (MCDM) / مبنا	روش‌های چندهدفه (MODM)	روش‌های چندصفته (MADM)
تعریف معیار به واسطه:	اهداف عینی	صفات
تعریف اهداف به صورت:	صریح	تلویحی
تعریف صفات به صورت:	تلویحی	صریح
تعریف محدودیت‌ها به صورت:	صریح	تلویحی
تعریف گزینه‌ها به صورت:	تلویحی	صریح
تعداد گزینه‌ها:	بی کران و بزرگ	کران‌دار و کوچک
کنترل تصمیم‌گیرنده:	قابل توجه	محدود
قالب مدل‌سازی تصمیم	فرآیند گرا	نتیجه گرا
مناسب با:	طراحی/جستجو	ارزیابی/انتخاب
ساختار داده‌های جغرافیایی مربوط:	GIS برداری	GIS شبکه‌ای

معرفی انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره چندصفته

روش‌های نارتبه‌ای

الف) روش ELECTRE

در این روش به‌جای رتبه‌بندی گزینه‌ها از مفهوم جدیدی معروف به مفهوم غیررتبه‌ای استفاده می‌شود. به این‌صورت که مثلاً $A_K \rightarrow A_I$ بیان‌گر آن است که اگرچه گزینه‌های K و I هیچ ارجحیتی از نظر ریاضی به یکدیگر ندارند، اما DM و آنالیست، ریسک بهتر بودن A_K بر A_I را می‌پذیرد. در این روش، کلیهٔ گزینه‌ها با استفاده از مقایسات غیررتبه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و بدین طریق گزینه‌های غیر مؤثر حذف می‌شوند. این روش تنها بهتر بودن A_K بر A_I را نشان می‌دهد و مقدار آن را نشان نمی-دهد (۲، ۱۲، ۲۶، ۲۷).

ب) روش PROMETHEE[1]

این روش شاخهٔ دیگری از روش ELECTRE است. روش ELECTRE دارای پیچیدگی نسبی بوده و به پارامترهای زیادی نیاز دارد که ممکن است برای تصمیم‌گیرنده مفهومی نداشته باشد. روش PROMETHEE شکل اصلاح شده ساده و قابل درک روش ELECTRE است. در حال حاضر دو نسخه از این روش تحت عناوین PROMETHEE I و PROMETHEE II گسترش یافته است. روش PROMETHEE I یک رابطهٔ اولویتی جزئی را با شناسایی این‌که برخی از گزینه‌های تصمیم‌گیری اصلاً قابل مقایسه با سایر گزینه‌ها نیستند، فراهم می‌کند. روش PROMETHEE II یک

1- Preference ranking organization method for enrichment evaluation

امتیاز عددی برای هر گزینه معین می‌کند که از آن می‌توان برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده کرد (۲۸، ۲۹). این روش، شش نوع تابع ترجیح را به تصمیم‌گیرنده پیشنهاد می‌کند. در گام‌های این روش، جریان رتبه‌بندی مثبت یا جریان خروجی محاسبه می‌شود که نشان‌دهندهٔ اولویت یک گزینه خاص بر سایر گزینه‌ها می‌باشد. این جریان در حقیقت قدرت یک گزینه خاص را نشان می‌دهد. همچنین جریان رتبه‌بندی منفی یا جریان ورودی، نشان می‌دهد که سایر گزینه‌ها تا چه میزان بر گزینه خاص اولویت دارند و ضعف گزینه خاص را نشان می‌دهند. برای رتبه‌بندی کامل گزینه-ها باید جریان خالص رتبه‌بندی را برای هر گزینه تعریف نمود:

$$Ø(a)= Ø^{+}(a)- Ø^{-}(a)$$

این جریان، حاصل توازن میان جریان‌های رتبه‌بندی مثبت و منفی است. جریان خالص بالاتر نشان‌دهنده گزینهٔ برتر است (۲).

مدل‌های با تخمین‌های غیرقطبی

در بسیاری از مواقع، تصمیم‌گیرندگان به‌جای در نظر گرفتن یک عدد برای بیان اهمیت نسبی یک گزینه نسبت به گزینهٔ دیگر، دامنه‌ای از این اهمیت را بیان می‌کنند. زیرا آنها نسبت به بیان یک عدد اطمینان کافی ندارند. در این روش‌ها، تصمیم‌گیرنده مجاز است تا به‌جای تعیین یک عدد خاص برای بیان اهمیت نسبی، دامنه‌ای از آن را در نظر بگیرد (۲).

الف) روش ARIADNE

ایدهٔ اصلی این روش، تشکیل یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای هر گزینهٔ تصمیم‌گیری و سپس حل آن به‌منظور یافتن حداکثر و حداقل تابع ارزش برای آن گزینه تصمیم‌گیری است تا به این ترتیب، دامنهٔ اوزان نسبی هر معیار مشخص شود. این مدل‌ها را لازم است برای هر گزینهٔ تصمیم‌گیری حل نمود. همچنین در این مدل‌سازی، فرض بر این است که فقط یک سطح از معیارها برای تصمیم‌گیری وجود دارند؛ به‌عبارت دیگر زیرمعیار نداریم (۳۰).

ب) روش HIPRE3+

در این روش نیز مدل‌های برنامه‌ریزی خطی برای هر گزینهٔ تصمیم‌گیری با دو تابع هدف حداکثرسازی و حداقل‌سازی بر روی مجموعهٔ شدنی از اوزان تشکیل خواهد شد. تفاوت آن با روش قبل، در مبادله‌ای بودن آن است. به این معنی که تصمیم‌گیرنده می‌تواند نظر خود را در میان برنامه وارد سیستم کند. به‌عبارت دیگر، تصمیم‌گیرنده می‌تواند اطلاعاتی را وارد سیستم کند و این کار را آن‌قدر انجام دهد تا حداقل امتیاز گزینهٔ دارای بیشترین امتیاز، از حداکثر امتیاز سایر گزینه‌های تصمیم‌گیری بیشتر شود. تحلیل مسأله از سطح پایین سلسله‌مراتب شروع شده و به بالای آن می‌رسد. البته ممکن است مدل برنامه‌ریزی خطی جواب شدنی نداشته باشد. در چنین حالاتی، کم‌اهمیت‌ترین اطلاعات را از مجموعهٔ محدودیت‌های مدل حذف کنید. اگر با چنین کاری گزینهٔ مطلوب شناسایی نشد، آن‌گاه گزینه‌های تصمیم‌گیری به صورت غیرقطعی رتبه‌بندی خواهند شد (۲).

ج) روش مجموع ساده وزین [1](SAW)

این روش، یک روش پرکاربرد برای تجمع چندین معیار می‌باشد و با افزودن مقادیر معیارها به یکدیگر برای هر گزینه و کاربرد وزن-ها برای تک‌تک معیارها همراه می‌باشد. معیارها باید با استفاده از مقیاس مشابهی تعیین گردند. وقتی‌که مقادیر برای همهٔ گزینه‌ها جمع شدند، گزینه‌ای که بیشترین (یا کمترین) مقدار را دارد، به عنوان راه‌حل نسبتاً بهینه انتخاب می‌گردد (۲، ۳۱، ۳۲).

د) روش TOPSIS

واژه TOPSIS مخفف Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution به‌معنی روش‌های ترجیح براساس مشابهت به راه‌حل ایده‌آل است. این مدل توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد. در این روش، m گزینه بوسیله n شاخص ارزیابی می‌شود (۳۳). بر اساس

1-Simple additive weighting method

این روش، بهترین گزینه، گزینه‌ای است که نزدیک‌ترین فاصله به راه حل ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل منفی دارا می‌باشد. راه‌حل ایده‌آل مثبت، راه‌حلی است که معیار سود را به حداکثر و معیار هزینه را به حداقل ممکن می‌رساند. درحالی‌که راه‌حل ایده‌آل منفی راه‌حلی است که معیار هزینه را به حداکثر و معیار سود را به حداقل مقدار ممکن می‌رساند (۳۲، ۳۴).

ه) روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی [1](AHP)

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این تکنیک، امکان فرموله کردن مسأله را به‌صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد (۳۵). این فرآیند، گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد (۳). روش AHP یکی از معمول‌ترین روش‌های مورد استفاده در ارزیابی حساسیت محیط-زیستی است (۳۶، ۳۷).

علاوه بر این، این فرآیند بر مبنای مقایسهٔ زوجی بنا شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (۳۵). به‌علاوه از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی[2] بنا نهاده شده است (۳۸، ۳۹). AHP مبتنی بر GIS به این صورت است که گزینه‌ها در پایگاه داده‌های مبتنی بر GIS بازنمایی و نمایش داده می‌شوند. هر لایه مشتمل بر ارزش‌ها یا مقادیری از صفت است که به گزینه‌ها اختصاص یافته و هر گزینه (مانند سلول یا چند ضلعی) در ارتباط با عناصر سطح بالاتر (یعنی صفات) قرار می‌گیرد. مفهوم صفت، روش مبتنی بر AHP را با رویه‌های مبتنی بر GIS پیوند می‌زند (۲۰).

و) روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای (ANP)

واژه ANP مخفف عبارت Analytical Network Process, به‌معنی فرآیند تحلیل شبکه است. فرآیند تحلیل شبکه یا ANP یکی دیگر از تکنیک‌های تصمیم‌گیری است که شباهت زیادی به روش AHP دارد (۳۳، ۴۰). در مدل تحلیل سلسله‌مراتبی روابط درونی معیارها و زیرمعیارها در نظر گرفته نمی‌شود، اما اگر فرض شود میان معیارها رابطه وجود دارد یا میان زیرمعیارهای هر معیار رابطه وجود دارد، در این صورت ساختار مدل به‌صورت شبکه در خواهد آمد. بنابراین می‌توان گفت که ANP همان AHP است فقط در آن روابط درونی معیارها و زیرمعیارها نیز لحاظ می‌شود (۳، ۴۱) فرآیند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای شرایطی را مهیا می‌کند که روابط متقابل بین سطوح تصمیم‌گیری و معیارهای تصمیم به شکل کلی‌تری مورد بررسی و ملاحظه قرار گیرند (۳۵). اگرچه فرآیند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای نیز یک مقیاس اندازه‌گیری نسبی مبتنی بر مقایسات زوجی را به کار می‌گیرد، اما به مانند AHP یک ساختار اکیداً سلسله‌مراتبی را به مسأله تحمیل نمی‌کند (۴۰)، بلکه مسئله تصمیم‌گیری را با به‌کارگیری دیدگاه سیستمی توأم با بازخورد، مدل‌سازی می‌کند (جدول ۲).

1-Analytic Hierarchy Process
2-Aximos

جدول ۲- مقایسهٔ روش AHP و ANP

AHP	ANP
استفاده برای تعیین اولویت عناصر	استفاده برای تعیین اولویت عناصر
اساس تعیین اولویت مبتنی بر مقایسه‌های زوجی	اساس تعیین اولویت مبتنی بر مقایسه‌های زوجی
استفاده در مسائلی که روابط یک‌طرفه بین سطوح تصمیم به کار می رود.	روابط متقابل بین سطوح تصمیم‌گیری و معیارهای تصمیم به شکل کلی‌تری مورد بررسی قرار می‌گیرد.
ساختار اکیداً سلسله‌مراتبی است.	مسأله را با به‌کارگیری دیدگاه سیستمی توأم با بازخورد مدل‌سازی می‌کند.
دارای ساختار مشخص از توالی هدف، معیار و زیر معیار	ساختار خاص و قابل پیش‌بینی ندارد
هر عنصر بر اساس عنصر بلاواسطه بالادستی مقایسه می‌شود.	ویژگی‌های مدل و دیدگاه طراح مسأله مشخص می‌کند کدام عنصر باید با کدام عنصر مقایسه شود.
وزن نهایی بر اساس ضرب ساده اهمیت هر عنصر در خوشهٔ بالای خود به دست می‌آید.	وزن نهایی با محاسبه سوپرماتریس حد وزن نهایی عناصر به‌دست می آید.

در شکل ۱، مدل‌های جبرانی به اختصار به همراه کاربرد آنها نشان داده شده‌اند. بدیهی است که دانستن کاربرد هر مدل، در انتخاب آن بسته به نوع هدف پیش رو در تحقیق، امری الزامی است. پس از انتخاب مدل، می‌بایست مطالعات مفصل‌تری برای احاطهٔ کامل بر آن جهت کاربرد در تحقیق معین، صورت پذیرد.

یافته‌ها

مکوندی و همکاران (۱۳۹۱) از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS در ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی پالایشگاه نفت فوق سنگین خوزستان استفاده کردند (۴۲). صادقی روش و طهمورث (۱۳۹۳) ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدایی را با روش TOPSIS فازی انجام دادند که شامل ۱۲ معیار شامل ۲ معیار اکولوژیک و ۱۰ معیار انسانی (اقتصادی، اجتماعی و سیاسی) بوده است (۴۳). مهتابی اوغانی و همکاران (۱۳۹۲)، دو روش AHP و TOPSIS را در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری در کرج مورد مقایسه قرار دادند. معیارها بر مبنای فاصله از منابع مهم آبی، مسکونی، معدنی و گردشگری تدوین شدند و روش AHP مناسب‌تر تشخیص داده شد (۴۴).

خدابخشی و جعفری (۱۳۸۹)، از مدل ELECTRE-TRI در فرآیند ارزیابی اثرات محیط‌زیستی (EIA) به‌منظور تعیین اهمیت اثرات محیط‌زیستی طرح‌های توسعه منابع آب، : سد و شبکهٔ آبیاری – زهکشی اردبیل استفاده کردند. از جمله ورودی-

های این مدل، علاوه بر ارزش کمی معیارهای اثر محیط‌زیستی ، وزن معیارهاست (۴۵). حسن‌شاهی و همکاران (۱۳۹۳)، مدل ارزیابی چندمعیاره مکانی (SMCE) را در اولویت‌بندی محل احداث سدهای اصلاحی توری سنگی در الیگودرز به‌کار گرفتند. ابتدا محدودیت‌ها و عوامل مشخص گردیده و سپس نقشه‌های مربوطه تهیه و به مدل درختی در SMCE در نرم افزار ILWis تبدیل شده و با دخالت دادن نظر کارشناسان، استانداردسازی و مدل‌دهی نقشه‌ها در مدل انجام و در نهایت نقشهٔ اولویت‌بندی ساخت این نوع بندهای اصلاحی به‌دست آمد استفاده از این نوع مدل موجب تسریع در مکان‌یابی بندهای اصلاحی، افزایش دقت و کاهش هزینه‌ها در مدیریت حوضهٔ آبخیز خواهد شد (۴۶).

عابدی و همکاران (۱۳۹۰)، کاربرد ارزیابی چندمعیاره مکانی (SMCE) را در مکان‌یابی دفن پسماند شهری در تبریز مورد مطالعه قرار دادند. ابتدا کلیهٔ مشاهدات محیطی (اکولوژیکی و اقتصادی اجتماعی) مربوط به محدودهٔ شهرستان تبریز به محیط نرم‌افزارهای IDRISI و ArcGIS وارد و پایگاههای اطلاعاتی ویژه دفن پسماندهای شهری تشکیل شد. سپس لایه‌های رقومی بر اساس استانداردهای موجود وزن‌دهی و طبقه‌بندی گردید. در مرحلهٔ سوم با هدف یافتن مکان‌های مناسب دفن، الگوریتم‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیارهٔ مکانی نظیر تحلیل سلسله-مراتبی، ترکیب خطی وزن‌دار، به ترتیب بر لایه‌های موجود اعمال شد. محدوده‌های غربال‌شده توسط دو مدل AHP و WLC در محیط ArcGIS هم‌پوشان و از مجموع اشتراک آنها، محدودهٔ نهایی دفن پسماندها مکان‌یابی شد (۴۷). ساری صراف و همکاران (۱۳۹۰) سنجش تناسب اراضی را به منظور کشت کلزای پاییز به انجام رساندند (۴۸). اردکانی و همکاران (۱۳۹۰)، زون‌بندی خلیج چابهار را با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره جهت کاربری تفرج متمرکز انجام دادند. استانداردسازی معیارها با استفاده از تئوری فازی صورت پذیرفت و برای وزن‌دهی به معیارها از روش مقایسات زوجی در قالب تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد و سپس با روش ترکیب خطی وزن داده‌شده، لایه‌ها با هم ترکیب شده و شاخص مطلوبیت سرزمین محاسبه شد (۴۹).

احمدی‌زاده و کریم‌زاده مطلق (۱۳۹۳)، ارزیابی قابلیت توسعهٔ استان خراسان جنوبی را با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) مورد بررسی قرار دادند. برای مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها، ماتریس وابستگی‌های درونی و بیرونی گروه‌ها و معیارها محاسبه شده و با استفاده از مدل شبکهٔ طراحی شده، راهبردهای تعیین وزن و مهم‌ترین راهبردها در ماتریس ارزیابی، اولویت‌بندی شدند (۵۰).

Afshari و Yusuff (۲۰۱۲) در مقاله ای مروری، کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فضایی در ۴ بخش زمین‌لغزه، ارزیابی ریسک سیل، انتخاب محل و ارزیابی آسیب‌پذیری مورد بررسی قرار گرفت. در زمینهٔ انتخاب سایت، روش‌های AHP، WLC، TOPSIS، و برای ارزیابی آسیب‌پذیری، روش‌های AHP، AHP فازی (FAHP) در سطح جهانی مورد استفاده قرار گرفته است (۴). Jiang و Eastman (۲۰۰۰) دو روش MCDM شامل Boolean overlay و WLC را برای سنجش حساسیت به زمین لغزه بررسی کردند (۵۱).

در مطالعات Ayalew و همکاران (۲۰۰۴)، Rashed و Weeks (۲۰۰۳)، و Gorsevski و همکاران (۲۰۰۶) نظر کارشناسان از اجزای مهم ارزیابی ریسک زمین‌لغزه بود (۵۲، ۵۳، ۵۴). Brouwer و van Ek (۲۰۰۴) و Bana و Costa (۲۰۰۴) مدیریت ریسک بلندمدت سیل را به ترتیب در هلند و پرتغال بررسی کردند (۵۵، ۵۶) . Akter و Simonovic (۲۰۰۵) ریسک سیل را در کانادا با روش‌های MODM بررسی نمودند (۵۷). Simonovic (۲۰۰۵) از روش‌های فازی برای برآورد عدم قطعیت در معیارها در زمینهٔ مدیریت ریسک سیلاب بهره برد (۵۸) و Meyer و همکاران (۲۰۰۹) از روش‌های GIS-MCDM برای ارزیابی احتمال طغیان در آلمان بهره بردند (۵۹). روش AHP نقش پررنگی در مطالعات محیط‌زیستی داشته است.

محققان زیادی از روش AHP برای مکان‌یابی (۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳) و تجزیه و تحلیل تناسب اراضی (۶۴) استفاده نمودند. AHP توسط Dey و Ramcharan (۲۰۰۸) برای مکان‌یابی برای عملیات معدن سنگ آهک مورد استفاده برای تولید سیمان مورد استفاده قرار گرفت (۶۱). همچنین این روش در مطالعاتی برای اولویت‌بندی مناطق برای دفن زباله به‌کار گرفته شد (۶۳، ۶۵، ۶۶). AHP فضایی برای انتخاب محل دفن زباله توسط Wang و همکاران (2009) استفاده شد (۶۰).ادغام GIS و AHP یک ابزار قوی برای حل مسأله انتخاب محل دفن پسماند می‌باشد(۶۶، ۶۷، ۶۸). Zambon و همکاران (۲۰۰۵) با روش‌های چندمعیارهٔ فضایی مکان‌یابی برای احداث نیروگاه حرارتی در سائوپائولو در برزیل را بررسی کردند (۶۹). Nyeko (۲۰۱۲) روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فضایی را برای طرح-ریزی کاربری منابع مورد بررسی قرار داد (۷۰).

Sumathi و همکاران (۲۰۰۸) استفاده از روش‌های چندمعیاره فضایی را برای انتخاب محل دفع پسماند در هندوستان به انجام رساندند (۷۱). یکپارچه‌سازی تجزیه و تحلیل تناسب اراضی برای احداث یک پارک محلی، توسط Zucca و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد (۷۲). تحلیل تناسب اراضی در یک حوزهٔ دریاچه‌ای در مکزیک توسط مدل Boolean logic انجام شد (۷۳). همچنین روش‌های چندمعیاره فضایی برای مکان‌یابی مزرعه پرورش اسکالوپ انجام شد (۷۴). Li و همکاران (۲۰۰۹) از روش fuzzy AHP-GIS برای سنجش حساسیت محیط‌زیستی در منطقهٔ دانجیانگو ریزرور[1] استفاده کرد (۷۵). Lee و همکاران (۲۰۱۳) حساسیت به سیل را با روش TOPSIS فازی بررسی کردند (۷۶).

Jozi و Ebadzadeh (۲۰۱۴) از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای سنجش قابلیت اراضی شهرستان مرند برای کشت زعفران بهره بردند (۷۷). Pourkhabbaz و همکاران (۲۰۱۴) پتانسیل کاربری کشاورزی را با مدل‌های SAW و AHP مطالعه نمودند (۷۸). صمدی کوچکسرائی (۱۳۹۸) و Samadi Kuchaksaraei و همکاران (۲۰۱۹) از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب مناطق تحت حفاظت ساحلی-دریایی در ایران استفاده کردند. روش AHP برای شناسایی مناطق معرف در استان هرمزگان، تعیین کدهای زیستگاهی و اولویت‌بندی آنها، و روش ANP برای تعیین وضعیت حساسیت بالقوهٔ کدهای زیستگاهی نسبت به عوامل بیرونی مورد استفاده قرار گرفت (۷۹، ۸۰).

1- Danjiangkou Reservoir

شکل ۱- مدل‌های جبرانی به همراه کاربرد آنها به اختصار

بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و چندمعیارهٔ فضایی، به‌طور گسترده در مطالعات محیط‌زیستی مورد استفاده قرار گرفته است (۲، ۹). مسألهٔ اصلی، انتخاب روش مناسب برای پیوند معیارهای متفاوت ارزیابی، استاندارد کردن نقشهٔ معیارها و اختصاص وزن مناسب به معیارهاست. روش‌های متفاوت، نتایج متفاوت به‌دست می‌دهند. روش کاملاً پذیرفته‌شده‌ای برای وزن نسبی به نقشه‌های معیار وجود ندارد. همچنین، روش‌های وزن‌دهی متفاوت می‌توانند به اشکال متفاوت کاربری پایدار بی‌انجامند. طرح‌هایی برای ادغام روش‌های MCDM که عدم قطعیت، عدم اطمینان و فازی بودن را پوشش می‌دهد وجود دارد. ادغام این روش‌ها در یک تصمیم-گیری فضایی، باعث افزایش قدرت تحلیلی آنها می‌شود. هر چند اکثر تحقیقات در زمینه MCDM فضایی، مبتنی بر تصمیم-گیری‌های فردی بوده تا تصمیم‌گیری گروهی (۴، ۱۳).

این مدل‌ها برای نیل به اهداف متنوعی مد نظر قرار گرفته‌اند که با مطالعه در منابع، در یک جمع‌بندی، می‌توان آنها را به تفکیک اهداف، به این شرح تقسیم‌بندی نمود:

۱- سنجش توان و قابلیت اراضی (۴۸، ۷۰، ۷۷، ۷۸، ۸۱، ۸۲).

۲- مکان‌یابی و سنجش تناسب اراضی (۴۴، ۴۷، ۴۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۵، ۶۶، ۶۷، ۶۸، ۶۹، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۹).

۳- سنجش حساسیت و آسیب‌پذیری اراضی (۳۶، ۷۵، ۷۶، ۸۰، ۸۳).

۴- ارزیابی ریسک مخاطرات طبیعی (۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹، ۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶).

۵- پایش و نظارت محیط‌زیستی (۴۵، ۸۷، ۸۸، ۸۹).

۶- احیاء محیط‌زیستی (۴۳، ۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۳).

برای هر کدام از اهداف مذکور، مدل یا مدل‌های خاصی بیشترین بازدهی را داشته‌اند و در مطالعات مختلف زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که به اختصار و به‌طور منجسم در جدول ۳ به آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۳- مدل‌های مورد استفاده برای اهداف مختلف حفاظتی و محیط‌زیستی در تحقیقات مختلف به تفکیک اهداف

مدل‌های مورد استفاده اهداف	مدل جبرانی										مدل غیرجبرانی		
	ELECTRE	PROMETHEE	SAW	WLC	TOPSIS	Fuzzy TOPSIS	AHP	Fuzzy AHP	ANP	رضایت‌بخش	حذف	عطفی
سنجش توان و قابلیت اراضی			✓				✓		✓			
مکان‌یابی و سنجش تناسب اراضی			✓	✓	✓		✓		✓			✓
سنجش حساسیت و آسیب‌پذیری اراضی					✓	✓	✓	✓	✓			
ارزیابی ریسک مخاطرات محیط-زیستی	✓				✓		✓		✓			
ارزیابی ریسک مخاطرات طبیعی				✓								
پایش و نظارت محیط‌زیستی					✓		✓		✓			
احیاء محیط‌زیستی	✓	✓				✓	✓	✓				

چنان‌چه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، روش تحلیل سلسله‌مراتبی، پرکاربردترین مدل مورد استفاده برای تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی است که طیف گسترده‌ای از تحقیقات و ارزیابی‌های این حیطه را پوشش می‌دهد. از ۷ هدف مورد اشاره در جدول ۳، ۶ هدف با این مدل قابل دست‌یابی است. رتبهٔ بعدی از آن روش تحلیل شبکه‌ای می‌باشد که جهت نیل به ۵ هدف کاربرد دارد. بنابراین دو روش اخیر، که به اختصار، AHP و ANP نامیده می‌شوند، نقش مهمی در ارزیابی‌های محیط‌زیستی ایفا می‌نمایند. همچنین این جدول نشان‌دهندهٔ اهمیت بالاتر مدل‌های جبرانی نسبت به مدل‌های غیرجبرانی جهت مدیریت محیط‌زیست می‌باشد. در میان مدل‌های جبرانی نیز، روش PROMETHEE، کم‌کاربردترین روش در این حیطه می‌باشد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی شیوه‌ای منطقی برای مقایسهٔ گزینه‌ها و معیارها و انتخاب گزینه بهینه با در نظر گرفتن تمامی مشخصه‌های تاثیرگذار است و چارچوب مناسبی برای مشارکت گروهی در تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند. همین امر سبب کاربرد گستردهٔ آن در مطالعات محیط زیست شده است (۳، ۳۵). روش تحلیل شبکه‌ای نیز با شباهت فراوان به AHP، با لحاظ نمودن روابط درونی بین معیارها و زیرمعیارها، شرایط بررسی روابط متقابل بین سطوح تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند (۴۰). همچنین سادگی استفاده، این دو روش را به روش‌هایی مطلوب جهت مدیران زیست‌محیطی بدل کرده است. این نکته نیز شایان توجه است که بسته به هدف یا اهداف مورد نظر، می‌توان از دو یا چند مدل تصمیم‌گیری استفاده کرده و در نهایت با تلفیق نتایج حاصله، به الگوریتم نهایی تصمیم‌گیری دست یافت (۷۹، ۸۰).

با توجه به مطالب ذکر شده، برای استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مطالعات محیط‌زیستی، نخست باید هدف یا اهداف مورد نظر را بر اساس اهداف کلی ذکرشده در بالا مشخص نمود و سپس بر اساس هدف یا اهداف، انواع مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره محیط‌زیستی و کاربرد آن‌ها را برای آن هدف خاص مطالعه کرد و همزمان، سابقه استفاده از آن مدل برای نیل به آن هدف و همچنین امکان نوآوری در مدل را مورد بررسی قرار داد و سرانجام مدل یا مدل‌های متناسب را انتخاب نمود.

مراجع:

۱- شناور, بامشاد؛ سید محسن حسینی و ندا اورک، ۱۳۸۸، استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) در مدیریت محیط‌زیست، دومین کنفرانس بین‌المللی سلامت، ایمنی و محیط‌زیست، اصفهان، شرکت تجارت آروین پیشرو، http://www.civilica.com/Paper-IRANSAFETY02-IRANSAFETY03_017.html

۲- جوزی، س. ع.، صفاریان، ش. و شفیعی، م.، ۱۳۹۳. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مطالعات محیط‌زیست. علم کشاورزی ایران. تهران. ایران. ۱۹۲ ص.

۳- اصغرپور، م. ج.، ۱۳۹۴. تصمیم‌گیری های چند معیاره. انتشارات دانشگاه تهران. تهران. ایران. ۳۹۹ ص.

4- Afshari, A. R. and Yusuff, R. M., 2012. A Review of Spatial Multi Criteria Decision Making. 6th International Symposium on Advances in Science and Technology. Malaysia. Kuala Lampur.

5- Hajkowicz, S.A., McDonald, G.T., and Smith, P.N., 2000. An Evaluation of Multiple Objective Decision Support Weighting Techniques in Natural Resource Management. Environmental Planning and Management, 43(4) 505-518.

6- Steuer, R. E., Gardiner, L. R., and Gray. J,, 1996. A Bibliographic Survey of the Activities and International

Nature of Multiple Criteria Decision Making. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. 5(3): 195-217.

7- Triantaphyllou, E., 2000. Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

8- Zopounidis, C. and Doumpos, M., 2002. Multi-Criteria Decision Aid in Financial Decision Making: Methodologies and Literature Review. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. 11 (4-5): 167- 186.

9- Figueira, J., S. Greco, and M. Ehrgott (eds.). 2005a. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art survey. New York: Springer. 1045 pp.

10- Dodgson, J. S., Spackman, M., Pearman, A. and Phillips, L. D., 2009. Multi-Criteria Analysis: A Manual. Department for Communities and Local Government: London, UK. Available from:
http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf [Accessed 7 March 2011].

11- Koksalan, M., Wallenius, J., and Zionts, S., 2011. Multiple Criteria Decision Making: From Early History to the 21st Century. World Scientific Publishing Company.

12- Figueira, J., Mousseau, V. and Roy, B., 2005b. ELECTRE Methods, in: J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott (Eds.). 2005 Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Springer.
pp. 133– 153.

13- Linkov, I., Moberg, E., 2011. Multi-Criteria Decision Analysis: Environmental Applications and Case Studies. CRC Press.

14- Herath, G., Prato T., 2006. Using Multi-Criteria Decision Analysis in Natural Resource Management, Burlington: Ashgate Publisher.

15- Ananda, J. and Herath G., 2009. A Critical Review of Multi-Criteria Decision Making Methods with Special Reference to Forest Management and Planning. Ecological Economics, 68 (10): 2535-2548.

16- Mosadeghi, R., Tomlinson R., Mirfenderesk, H., and Warnken, J., 2009. Coastal Management Issues in Queensland and Application of the Multi-Criteria Decision Making Techniques. Journal of Coastal Research. SI56, 1252-1256.

17- Ananda, J. and Herath G., 2003. The Use of Analytic Hierarchy Process to Incorporate Stakeholder Preferences into Regional Forest Planning. Forest Policy and Economics. 5 (1): 13-26.

18- Lai, E., Lundie, S., and Ashbolt, N.J., 2008. Review of Multi-Criteria Decision Aid for Integrated Sustainability Assessment of Urban Water Systems. Urban Water, 5(4): 315-327.

19- Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P. and Linkov, I., 2005. Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. Integrated Environmental Assessment and Management. 1 (2): 95-105.

۲۰- مالچفسکی، ی.، ۱۳۹۲. سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاری. ترجمه:

پرهیزکار، ا. و غفاری گیلانده، . سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت). تهران. ایران. ۵۹۷ ص.

۲۱- نبی بیدهندی، غلامرضا، کرمی، شاهو و امیری، محمد جواد، ۱۳۹۴. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در محیط‌زیست. انتشارات کیاجور. ۱۲۰ ص.

22- Kahraman, C., 2008. Fuzzy Multi-Criteria Decision Making : Theory and Applications with Recent Developments. New York: Springer.

23- Rao, R. V., 2007. Introduction to Multiple Attribute Decision-Making (MADM) Methods; In: Decision Making in the Manufacturing Environment. Springer Series in Advanced Manufacturing. Pp: 27-41.

24- Eastman, J. R., 1999. Multi-Criteria Evaluation and GIS. Chap. 35. In: Longley PA, Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. (eds) Geographical information systems. Wiley, New York. pp. 493-502.

25- Feick, R. D. and Hall, B. G., 2004, A Method for Examining the Spatial Dimension of Multicriteria Weight Sensitivity. International Journal of Geographical Information Science, 18: 815–840.

26- Roy, B., 1990. The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods, in: C. Bana e Costa (Ed.), Readings in Multiple Criteria Decision Aid, Springer-Verlag,
1990. pp. 155– 183.

27- Roy, B., Bouyssou, D., 1993. Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas, Ec onomica, Paris.

28- Brans, J. P. and Mareschal, B., 2005. Promethee Methods. In: Multiple Criteria Decision Analysis. Volume 78 of the Series International Series in Operations Research and Management Science. pp: 163-186.

29- Taillandier, P. and Stinckwich, S., 2011. Using the PROMETHEE Multi-criteria Decision Making Method to Define New Exploration Strategies for Rescue robots. IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR). Kyoto, Japan. pp.321 – 326.

30- Diaz, P., Montero, S. and Aedo, I., 2005. Modelling Hypermedia and Web Applications: the Ariadne Development Method. Information Systems. 30: 649-673.

31- Coutinho-Rodrigues, J., Current, J., Climaco, J. and Ratick, S., 1997. An Interactive Spatial Decision Support System for Multiobjective HA ZMAT Location-Routing Problems, Transportation Research Record 1602: 101– 109.

32- Yoon, K. P. and Hwang, C. L., 1995. Multiple Attribute Decision-Making: An Introduction, Sage Publications, London.

۳۳- حبیبی، آ.، ایزدیار، ص. و سرافرازی، اعظم. ۱۳۹۳. تصمیم‌گیری چند معیارهٔ فازی. انتسارات کتیبهٔ گیل.

34- Massam, B. H., 1988. Muti-criteria Decision Making (MCDM) Techniques

in Planning, Progress in Planning. 30 (1): 1– 84.

۳۵- قدسی‌پور، س. ح.، ۱۳۸۵. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP. انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

36- Ying, X., Zeng, G. M., Chen, G. Q., Tang, L., Wang, K. L., & Huang, D. Y., 2007. Combining AHP with GIS in Synthetic Evaluation of Eco-Environment Quality--A Case Study of Hunan Province, China. Ecological Modelling. 209 (2-4): 97-109.

37- Li, Z. W., Zeng, G. M., Zhang, H., Yang, B., & Jiao, S., 2007. The Integrated Ecoenvironment Assessment of the Red Soil Hilly Region Based on GIS--A Case Study in Changsha City, China. Ecological Modelling. 202 (3-4): 540-546.

38- de Steiguer, J. E., Duberstein, J. and Lopes, V., 2003. The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management. In Renard, Kenneth G. First Interagency Conference on Research on the Watersheds. Benson, Arizona: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. pp. 736–740.

39- Saaty, T. L. and Peniwati, K., 2008. Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications.

۴۰- ساعتی، تی. ال.، ۱۳۹۲. نظریه و کاربردهای فرآیند تحلیل شبکه‌ای. ترجمه: عزیزی، م.، حسین‌زاده، ا. و حجاریان، م. انتشارات دانشگاه تهران. تهران. ایران. ۳۵۵ ص.

41- Saaty, T. L. and Brady C., 2009. The Encyclicon, Volume 2: A Dictionary of Complex Decisions Using the Analytic Network Process. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications.

۴۲- مکوندی، ر.، مقصودلو کمالی، ب. و محمدفام، ا.، ۱۳۹۱. بهره‌مندی از مدل تصمیم‌گیری چند معیارهٔ TOPSIS در ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی پالایشگاه‌های نفت (مطالعهٔ موردی: پالایشگاه نفت فوق سنگین خوزستان). دو فصلنامه پژوهشهای محیط‌زیست. شماره ۵.

۴۳- صادقی روش، م. ح. و طهمورث، م.، ۱۳۹۳. ارزیابی راهبردهای بیابان‌زدایی با کاربرد مدل تاپسیس فازی (FTOPSIS). علوم و مهندسی محیط‌زیست. ۳: ۹۴-۷۹.

۴۴- مهتابی اوغانی، م.، نجفی، ا. و یونسی، ح.، ۱۳۹۲. مقایسه دو روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری (مطالعهٔ موردی: انتخاب محل دفن پسماند شهری کرج). مجلهٔ سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران. ۶ (۳): ۳۵۲-۳۴۱.

۴۵- خدابخشی، ب. و جعفری، ح. ر.، ۱۳۸۹. کاربرد مدل تصمیم‌گیری چند معیاره ELECTRE-TRI در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌های توسعه منابع آب، مطالعهٔ موردی: سد و شبکهٔ آبیاری – زهکشی اردبیل. آب و فاضلاب. شماره ۳: ۷۴-۶۴.

۴۶- حسن شاهی، ج.، جمالی، ع. ا. و رحیم‌آبادی، ا.، ۱۳۹۳. به‌کارگیری مدل ارزیابی چند معیارهٔ مکانی (SMCE) در اولویت‌بندی محل احداث سدهای اصلاحی توری سنگی (گابیون) (مطالعهٔ موردی حوضه آبخیز گندمینه الیگودرز). نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و

GIS) در آمایش سرزمین. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد یزد.

۴۷- عابدی، ت.، خیرخواه، م.، اوجاقی، م.، محمدی آشنانی، م. ح. و اوجاقی، م.، ۱۳۹۰. کاربرد ارزیابی چند معیارهٔ مکانی (SMCE) در مکان‌یابی دفن پسماند شهری (مطالعهٔ موردی شهر تبریز). فصلنامه علمی محیط‌زیست. ۵۱: ۳۶-۲۶.

۴۸- ساری صراف، بهروز؛ بهروز سبحانی؛ محمد آزادی مبارکی و سیداسعد حسینی، ۱۳۹۰، سنجش تناسب اراضی به‌منظور کشت گلزای پائیز بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعهٔ موردی استان آذربایجان شرقی). اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، تهران، دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری، http://www.civilica.com/Paper-NCAGM01-NCAGM01_062.html

۴۹- اردکانی، ط.، دانه کار، ا.، کرمی، م.، عقیقی، ح.، رفیعی، غ. ر. و عرفانی، م.، ۱۳۹۰. زون‌بندی خلیج چابهار با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند متغیره جهت کاربری تفرج متمرکز. مکان (فصلنامه جغرافیا و آمایش سرزمین). ۱: ۲۰-۱.

۵۰- احمدی زاده، س. س. ر. و کریم زاده مطلق، ز.، ۱۳۹۳. ارزیابی قابلیت‌های توسعهٔ استان خراسان جنوبی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP). ویژه‌نامه پژوهش‌های محیط‌زیست. ۱ (زمستان): ۲۲-۱۱.

51- Jiang, H., & Eastman, J. R., 2000. Application of Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation in GIS. International Journal of Geographical Information Science. 14(2): 173-184.

52- Ayalew, L., Yamagishi, H., & Ugawa, N., 2004. Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Based Weighted Linear Combination, the Case in Tsugawa Area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. Landslides. 1(1): 73-81.

53- Rashed, T., & Weeks, J., 2003. Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards Through Spatial Multi-Criteria Analysis of Urban areas. International Journal of Geographical Information Science. 17(6): 547-576.

54- Gorsevski, P., V., Jankowski, P., and Gessler, P. E., 2006. A Heuristic Approach for Mapping Landslide Hazard by Integrating Fuzzy Logic with Analytic Hierarchy Process. Control and Cybernetics. 35 (1): 1-26.

55- Brouwer, R., & Van Ek, R., 2004. Integrated Ecological, Economic and Social Impact Assessment of Alternative Flood Control Policies in the Netherlands. Ecological Economics. 50(1-2): 1 -21.

56- Bana e Costa, C. A., Antão da Silva, P., & Nunes Correia, F., 2004. Multicriteria Evaluation of Flood Control Measures: The Case of Ribeira do Livramento. Water Resources Management. 18 (3): 263-283.

57- Akter, T., & Simonovic, S. P., 2005. Aggregation of Fuzzy Views of a Large Number of Stakeholders for Multi-Objective Flood Management Decision-Making. Journal of Environmental Management. 77(2): 133-143.

58- Simonovic, S. P., 2005. A Spatial Multi-Objective Decision-Making under Uncertainty for Water Resources Management. Journal of Hydroinformatics: 7(2). 117-133.

59- Meyer, V., Scheuer, S., & Haase, D., 2009. A Multi-Criteria Approach for Flood Risk Mapping Exemplified at the Mulde River, Germany. Natural Hazards. 48(1): 17-39.

60- Wang, G., Qin, L., Li, G., & Chen, L., 2009. Landfill Site Selection Using Spatial Information Technologies and AHP: A Case Study in Beijing, China. Journal of Environmental Management. 90 (8): 2414-2421.

61- Dey, P. K., & Ramcharan, E. K., 2008. Analytic Hierarchy Process Helps Select Site for Limestone Quarry Expansion in Barbados. Journal of Environmental Management. 88(4): 1384-1395.

62- Tuzkaya, G., Onüt, S., Tuzkaya, U. R., & Gülsün, B., 2008. An Analytic Network Process Approach for Locating undesirable facilities: An example from Istanbul, Turkey. Journal of Environmental Management, 88(4), 970-983.

63- Kontos, T. D., Komilis, D. P., & Halvadakis, C. P., 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. Waste Management. 25(8): 818- 832.

64- Yang, F., Zeng, G., Du, C., Tang, L., Zhou, J., & Li, Z., 2008. Spatial Analyzing System for Urban Land-Use Management Based on GIS and Multi-Criteria Assessment Modeling. Progress in Natural Science. 18(10): 1279-1284.

65- Gemitzi, A., Tsihrintzis, V., Voudrias, E., Petalas, C., & Stravodimos, G., 2007. Combining Geographic Information System, Multi-Criteria Evaluation Techniques and Fuzzy Logic in Siting MSW Landfills. Environmental Geology. 51 (5): 797-811.

66- Sener, B., Suzen, M. L., & Doyuran, V., 2006. Landfill Site Selection by Using Geographic Information Systems. Environmental Geology. 49 (3): 376-388.

67- Sener, Å., Sener, E., and Karag, R., 2011. Solid Waste Disposal Site Selection with GIS and AHP Methodology: A Case Study in Senirkentâ€“Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment. 173 (1): 533-554.

68- Vatalis, K., & Manoliadis, O., 2002. A Two-Level Multi-Criteria DSS for Landfill Site Selection Using GIS: Case Study in Western Macedonia, Greece. Journal of Geographic Information and Decision Analysis. 6(1): 49-56.

69- Zambon, K. L., Carneiro, A. A. F. M., Silva, A. N. R. S., & Negri, J. C., 2005. AnaÌ•lise de decisaÌƒo multicriteÌ•rio na localizacÌ§aÌƒo de usinas termoeleÌ•ctricas usando SIG.

70- Nyeko, M., 2012. GIS and Multi-Criteria Decision Analysis for Land Use Resource Planning. Journal of Geographic Information System. 4: 341-348.

71- Sumathi, V. R., Natesan, U., & Sarkar, C., 2008. GIS-Based Approach for Optimized Siting of Municipal Solid Waste Landfill. Waste Management. 28(11): 2146-2160.

72- Zucca, A., Sharifi, A. M., & Fabbri, A. G. 2008. Application of Spatial Multi-Criteria Analysis to Site Selection for a Local Park: A Case Study in the

Bergamo Province, Italy. Journal of Environmental Management. 88(4): 752-769.

73- Delgado, O. B., Mendoza, M., Granados, E. L., & Geneletti, D., 2008. Analysis of Land Suitability for the Siting of Inter-Municipal Landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. Waste Management: 28 (7): 1137-1146.

74- Radiarta, I. N., Saitoh, S. I., & Miyazono, A., 2008. GIS-Based Multi-Criteria Evaluation Models for Identifying Suitable Sites for Japanese Scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) Aquaculture in Funka Bay, Southwestern Hokkaido, Japan. Aquaculture. 284 (1-4): 127-135.

75- Li, L., Shi, Z. H., Yin, W., Zhu, D., Ng, S. L., Cai, C. F., 2009. A Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach to Eco-Environmental Vulnerability Assessment for the Danjiangkou Reservoir Area, China. Ecological Modelling. 220 (23): 3439-3447.

76- Lee, G., Jun, K. S. and Chung E. S., 2013. Integrated Multi-Criteria Flood Vulnerability Approach Using Fuzzy TOPSIS and Delphi TechniqueNat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 1293–1312.

77- Jozi, S. A. and Ebadzadeh, F., 2014. Application of Multi-Criteria Decision-Making in Land Evaluation of Agricultural Land Use. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 42 (2): 363-371.

78- Pourkhabbaz, H. R., Javanmardi, S., Faraji Sabokbar, H. A., 2014. Suitability Analysis for Determining Potential Agricultural Land Use by the Multi-Criteria Decision Making Models SAW and VIKOR-AHP (Case Study: Takestan-Qazvin Plain). J. Agr. Sci. Tech. 15: 1005-1016.

۷۹- صمدی کوچکسرائی، بهاره. ۱۳۹۸. توسعهٔ مدل-های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ مکانی برای انتخاب مناطق تحت حفاظت ساحلی – دریایی در ایران: مطالعه موردی استان هرمزگان. رساله دکتری رشته بوم‌شناسی دریا. دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات.

80- Samadi Kuchaksaraei, B., Fatemi, S. M. R., Danehkar, A. Jozi, S. A. and Ramezani-Fard, E, 2019. Int. J. Environ. Sci. Technol. (2019). https://doi.org/10.1007/s13762-019-02238-1

۸۱- یزدچی، سعید، رسولی، علی‌اکبر، محمودزاده، حسن و زرین‌بال، محمد، ۱۳۸۹. سنجش قابلیت اراضی شهرستان مرند برای کشت زعفران بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. مجله دانش آب و خاک. ۱ (۳): ۱۷۰-۱۵۱.

۸۲- امینی، عباس، نوری، سید هدایت‌اله و اصلانی سنگده، بینا، ۱۳۹۴. ارزیابی و سنجش پایدار زراعت برنج با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مورد مطالعه: شهرستان رضوان‌شهر). علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. ۱۱ (۱): ۱۲۶-۱۰۱.

83- Kim, Y. and Chung, E. S., 2013. Assessing climate change vulnerability with group multi-criteria decision making approaches. Climatic Change. 121 (2): 301-315.

84- Barredo, J. I., Benavides, A., Hervas, J., and van Western, C. J., 2000. Comparing Heuristic Landslide Hazard

Assessment Technique Using GIS in the Tirajana Basin, Gran Canaria Island, Spain. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2 (1): 9-23.

85- van Westen, C. J., Soeters, R., and Sijmons, K., 2000. Digital Geomorphological Landslide Hazard Mapping of the Alpago Area, Italy. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2(1): 51 -60.

86- Komac, M., 2006. A Landslide Susceptibility Model Using the Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in Perialpine Slovenia. Geomorphology. 74(1-4): 17-28.

۸۷- امینی، ا.، مهردادی، ن.، کرمی، ش.، گیوه‌چی، س. و هویدی، ح.، ۱۳۹۳. ارائهٔ مدل چندمعیاره برای ارزیابی اثرات محیط‌زیست جاده‌های آسفالت (مطالعهٔ موردی: کمربندی شرقی همدان). مهندسی حمل و نقل. ۵ (۴): ۴۴۸-۴۳۵.

88- Zhu, J., Zhou, Y., Wang, S., Wang, L., Wang, F., Liu, W. and Guo, B., 2015. Multicriteria decision analysis for monitoring ecosystem service function of the Three-River Headwaters region of the Qinghai-Tibet Plateau, China. Environ. Monit. Assess., 187 (6): 355-365.

89- Ezzati, S., Najafi, A. and Bettinger, P., 2015. Fuzzy Spatial Multi-Criteria Decision Making for Monitoring Low Volume Forest Road under Steep Terrain. 16th Symposium for Systems Analysis in Forest Resources 19-21, Uppsala, Sweden.

90- Ocampo-Melgar, A., 2013. Participatory multi-criteria assessment for monitoring actions and supporting decision making to combat desertification in the San Simon watershed (Arizona). A Partial Fulfillment of the Requirements For the Degree of Doctor of Philosophy. The University of Arizona.

91- Linkov, I., Varghese, A. Jamil, S., Seager, T. P., Kiker, G. and Bridges, T., 2004. Multi-Criteria Decision Analysis: A Framework for Structuring Remedial Decisions at Contaminated Sites. In: Strategic Management of Marine Ecosystems. Kluwer. Amsterdam (in Press): 15-54. http://citeseerx.ist.psu.edu

92- Linkov, I., Satterstrom, F. K., Kiker, G., Seager, T. P., and Bridges, T., 2006. Multi-criteria Decision Analysis: A Comprehensive Decision Approach for Management of Contaminated Sediments. US Army Corps of Engineers, Omaha District. Paper 165. http://digitalcommons.unl.edu/usarmyceomaha/165.

93- Ellis, B. and Garelick, H., 2008. A multi-criteria approach for assessing options to remediate arsenic in drinking water. Rev Environ Contam Toxicol. 197: 129-61.