محیط‌زیست و توسعه، سال ۱۰، شماره ۱۹، بهار و تابستان ۱۳۹۸، از صفحه ۸۷ تا ۹۸

متداول‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در مسایل محیط‌زیستی

مرضیه احمدزاده*[۱]، سید حسین هاشمی[۲]

۱ کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست- آلودگی‌های محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲ دانشیار، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۱؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۰۴/۱۰)

چکیده

دنبال کردن آینده پایدار برای محیط زیست، یک چالش مهم برای تصمیم‌گیری در تمام سطوح مدیریت است. تصمیم‌گیری برای ایجاد، کنترل یا هدایت سیستم‌ها، نیازمند مدل‌هایی است که بتوانند همه‌ی عوامل اثرگذار، ذی‌نفعان و محیط پذیرنده را در نظر بگیرند. هدف این مطالعه کمک به مدیران و فعالان در حوزه محیط‌زیست برای انتخاب بهترین مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه، با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد هر روش، برای پروژه مورد نظر است. تنوع تکنیکی گسترده مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه سبب سردرگمی کاربران و تحلیلگران در انتخاب و بکارگیری مدل مناسب در مواجهه با مسائل دنیای واقعی شده است. در مسایل مشابه، مدل‌های مختلف تصمیم‌گیری چندشاخصه حداقل در ۴۰ درصد مواقع رتبه‌بندی و نتیجه‌ای متفاوت با یگدیگر ارایه می‌کنند. بنابراین، شناسایی نقاط ضعف و قوت هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری ضروری است، تا هنگام مواجهه با مسائل مختلف بتوانند مناسب‌ترین روش را بیابند. در این مقاله پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه از جمله AHP، ANP، TOPSIS، SAW، VIKOR، ELECTRE، PROMETHEE و Grey معرفی و مقایسه شده‌اند. هم‌چنین چند مطالعه مقایسه‌ای میان این روش‌ها و برخی مطالعات محیط‌زیستی که با این روش‌ها انجام شده، مرور شده‌اند.

کلید واژه‌ها: تصمیم‌گیری چندشاخصه، محیط‌زیست، ANP، AHP، ELECTRE، TOPSIS، VIKOR، SAW، PRMETHEE

*نویسنده مسئول: Email: Mari.ahmadzade69@gmail.com

سرآغاز

در سال‌های اخیر پایداری محیطزیست به‌عنوان یک عامل کلیدی برای حفظ رفاه آینده انسان معرفی می‌شود. دنبال کردن آینده پایدار برای یک سیستم، یک چالش مهم برای تصمیم‌گیری در تمام سطوح مدیریت است. تصمیم‌گیری برای ایجاد، کنترل یا هدایت سیستم نیازمند مدل‌هایی است که بتواند همه‌ی عوامل اثرگذار بر سیستم، ذی‌نفعان و محیط پذیرنده سیستم را در نظر گیرد. محققان و شاغلین در عرصه مدیریت محیطزیست از انواع مختلفی از مدل‌های پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند، و این موضوع انتخاب مدل مناسب برای هدف مدیریت مورد نظر را تبدیل به یک کار پیچیده کرده است.

در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از میان راه‌های موجود یا اولویت‌بندی راه‌کارها مطرح است، چند سالی است که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جای خود را باز کرده‌اند (Montis, et al., 2002). تصمیم‌گیری چند معیاره یا MCDM[1] بیانگر شرایطی است که معیارهای چندگانه اما اغلب متعارض در تصمیم‌گیری وجود دارند (Cho, 2003). هدف از این مطالعه کمک به مدیران و فعالان عرصه محیطزیست برای انتخاب بهترین مدل تصمیم‌گیری با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد هر تکنیک برای پروژه مورد نظرشان است. در این مقاله رایج‌ترین مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به اختصار شرح داده و در مورد جوانب مثبت منفی آنها بحث می‌شود، هم‌چنین کاربردهای آن‌ها در تصمیم‌گیری‌های محیطزیستی و مطالعات مقایسه‌ای میان آنها، مرور می‌شود.

اولویت اول در تصمیم‌گیری این است که تعیین شود تصمیم‌گیرندگان، ذی‌نفع‌ها و مخاطب‌های تصمیم‌گیری چه کسانی هستند. تعیین تصمیم‌گیرنده (یا تصمیم‌گیرندگان) در ابتدای فرایند تصمیم‌گیری، اختلاف نظرها در مورد تعریف مساله، الزامات مورد نیاز، اهداف و معیارها را کاهش می‌دهد. شکل (۱) به اختصار مراحل تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. روند جریان از بالا به پایین است، اما در هر نقطه از فرایند، هنگامی که اطلاعات جدیدی کشف شود، امکان برگشت به مرحله قبل وجود دارد (Baker et al., 2001).

شکل (۱): مراحل تصمیم‌گیری (Baker et al., 2001)

مواد و روش‌ها

- **دسته‌بندی کلی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره**

دسته‌بندی‌های مختلفی برای مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره وجود دارد که سه تقسیم‌بندی مهم آن عبارتند از (قدسی‌پور، ۱۳۸۳):

مدل‌های فردی و گروهی: مدل‌های فردی بر اساس نظرات

یک نفر ساخته می‌شود، در حالی‌که مدل‌های گروهی بر نظرات جمع استوار است.

مدل‌های جبرانی و غیرجبرانی: در مدل‌های جبرانی ضعف یک معیار با قوت معیار دیگر جبران می‌شود. برای مثال، در انتخاب یک روش برای مدیریت محیط‌زیست اگر یک فناوری هزینه زیاد ولی کیفیت و کارایی مناسب داشته باشد، در این حالت هزینه زیاد با کیفیت خوب جبران می‌شود. اما در مدل‌های غیرجبرانی چنان‌چه یکی از معیارها در رابطه با گزینه مورد نظر امتیاز لازم را کسب نکند، هیچ یک از معیارهای دیگر باعث جبران ضعف این معیار نشده و موجب مردود شدن آن گزینه می‌شود.

مدل‌های گسسته و پیوسته: انتخاب گزینه از میان گزینه های موجود، مانند انتخاب یک فناوری مناسب از بین چند فناوری موجود برای جمع‌آوری و دفع فاضلاب، از مسائل چند معیاره گسسته هستند. برخی مولفین مانند هوانگ و یون و زیمرمن این نوع مسایل را به اختصار MADM[۲] نام‌گذاری کرده‌اند (Hwang & Yoon, 1981; Zimmermann, 1996). هم‌چنین کورهنن و همکاران اظهار می‌دارند که در مدل‌های گسسته گزینه‌ها به‌طور صریح تعریف می‌شوند (Korhonen et al., 1992). مدل‌های چند معیاره پیوسته اغلب برای طراحی استفاده می‌شوند. برای مثال تعیین عمر بهینه یک قطعه برای تعویض، به‌طوری که هزینه‌ها کمینه و قابلیت اطمینان بیشینه شود، یک مساله تصمیم‌گیری پیوسته است. هوانگ و مسعود و زیمرمن این نوع مسایل را با برخی استثناها (MODM)[۳] نامیده‌اند (Hwang & Masud, 1979; Zimmermann, 1996).

در یک تعریف کلی تصمیم‌گیری چند شاخصه به تصمیم‌های خاصی (از نوع ترجیحی) مانند ارزیابی، اولویت‌گذاری یا انتخاب از بین گزینه‌های موجود که گاه باید با استفاده از چند شاخص متضاد انجام شود، اطلاق می‌گردد. انواع مختلفی از مسائل MADM وجود دارد که تمامی آنها در چهار ویژگی ۱. گزینه‌ها، ۲. شاخص‌های چندگانه، ۳. واحدهای بی‌مقیاس و ۴. وزن شاخص‌ها مشترک هستند (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۸).

از آن‌جا که در این مقاله هدف طراحی سیستم نیست و تنها روش‌های مناسب جهت انتخاب گزینه‌های موجود برای مدیریت محیط‌زیست بررسی می‌شوند، از معرفی روش‌های چند هدفه چشم پوشی کرده و تنها تکنیک‌های چندشاخصه یا MADM معرفی می‌شوند.

دسته‌بندی مدل‌های تصمیم گیری چند شاخصه براساس رویکرد مدل‌ها در پردازش اطلاعات

یک دیدگاه برای دسته‌بندی مدل‌های MADM رویکرد فنون مختلف به کار گرفته شده برای پردازش اطلاعات بر مبنای شاخص‌های ارایه شده توسط تصمیم‌گیرنده است. در این زمینه مدل‌های MADM به دو دسته کلی مدل‌های جبرانی و مدل‌های غیرجبرانی تقسیم می‌شوند (شکل ۲). مزیت مهم مدل‌های غیرجبرانی سادگی آنها است که با رفتار تصمیم‌گیرنده و محدود بودن اطلاعات او مطابقت دارد (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۸).

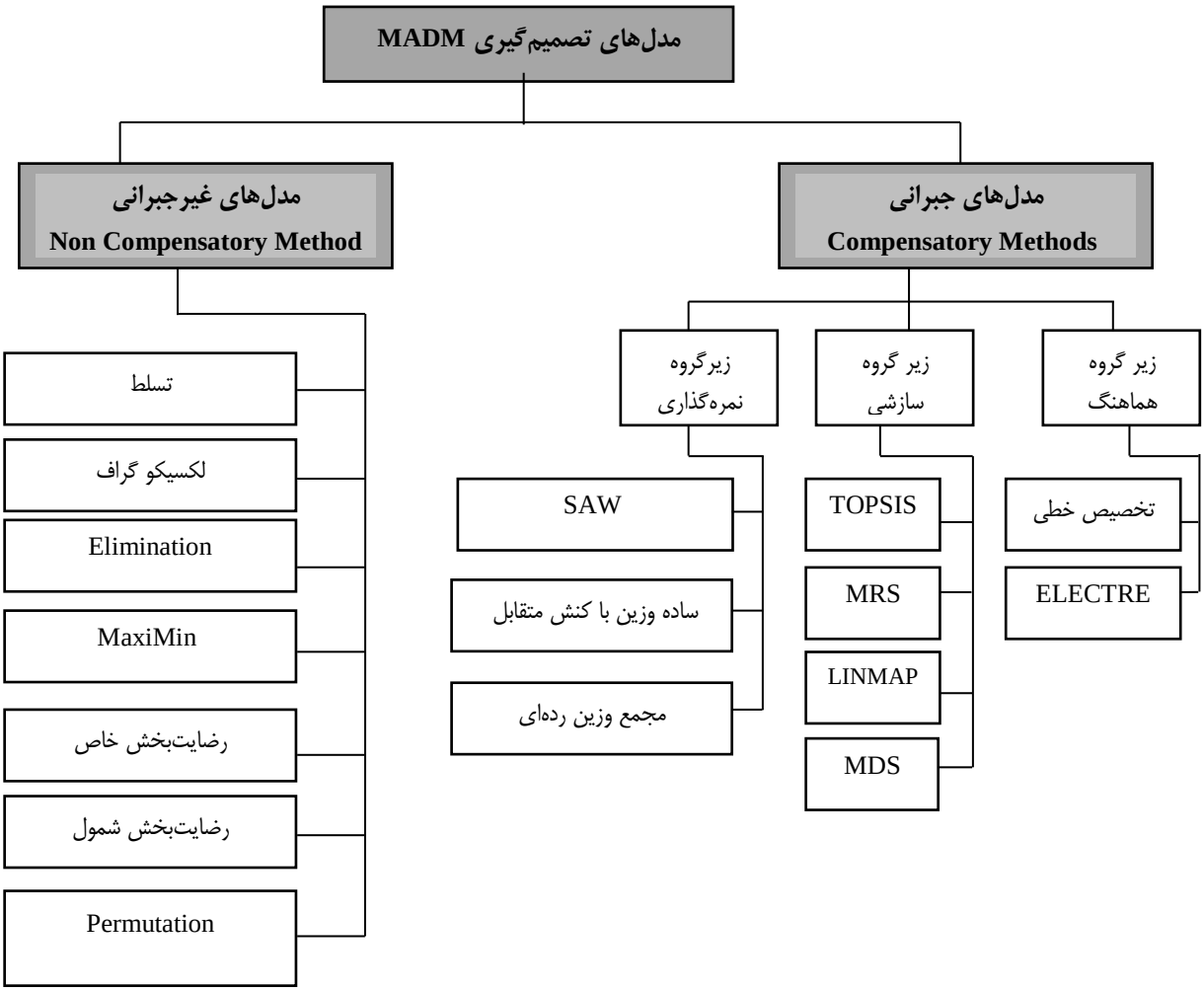
معرفی مدل های MADM برای حل مسائل تصمیم‌گیری

مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه که یکی از شناخته شده‌ترین شاخه‌های تصمیم‌گیری است، تنوع روش‌های بسیار گسترده‌ای دارد. در ادامه، به اختصار هشت روش پرکاربرد معرفی می شوند.

- **تحلیل سلسله مراتبی AHP[۴]**

فرآیند تحلیل سلسه مراتبی یک روش سیستماتیک برای نمایش عناصر مساله به‌صورت سلسله مراتبی است (Baker et al., 2001). شرط اصلی این روش استقلال معیارها از یکدیگر است (Hwang & Tzeng, 2011). این روش سه مرحله مجزا دارد که از سه اصل مشتق شده‌اند: ۱. اصل ساخت سلسله مراتب، ۲. اصل تعیین اولویت و ۳. اصل ثبات منطقی (Saaty & Alexander, 1989). این روش بحث در مورد اهمیت معیارها و توانایی هر یک از گزینه‌ها برای مواجه شدن با معیارها را تسهیل می‌کند (Baker et al., 2001). چهار روش برای به دست آوردن وزن با استفاده از AHP وجود دارد: ۱. مقدار ویژه، ۲. میانگین هندسی، ۳. برنامه‌ریزی خطی و ۴. Lambada-Max (Hwang & Tzeng, 2011). این تکنیک از یک طرف وابسته به تصورات شخصی و تجربه جهت شکل دادن و طرح‌ریزی سلسله مراتبی یک مساله است و از طرف دیگر به منطق، درک و تجربه جهت تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی مربوط می‌شود. امتیاز دیگر فرآیند این است که ساختار و چهارچوبی را جهت همکاری و مشارکت گروهی در تصمیم‌گیری‌ها یا حل مشکلات مهیا می‌کند (قدسی‌پور، ۱۳۷۹). تحلیل سلسله مراتبی فازی در ارزیابی‌های بازاری رایج استفاده می‌شود و مانند AHP چند گزینه با استفاده از مقایسه‌های زوجی ارزیابی

می‌شوند (Rigoglioso, 2005). در AHP فازی وزن از طریق اندازه ضروری یا اندازه امکان‌پذیر تعیین می‌شود (Aruldoss et al., 2013). این روش توسط یک برنامه نرم‌افزاری به‌نام Expert Choice اجرا می‌شود (Montis et al., 2002).



شکل (۲): طبقه‌بندی مدل‌های MADM جبرانی و غیرجبرانی (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۸)

- **تحلیل شبکه‌ای ANP[۵]**

این تکنیک توسط ساتی برای گسترش AHP و به‌منظور رهایی از محدودیت ساختار سلسله مراتبی در زمینه استقلال معیارها از یکدیگر، پیشنهاد شد. با ایجاد سوپر ماتریس در میان سلسله محدود کننده، بردار سراسری پیشین را می‌توان با ساختار شبکه‌ای ویژه‌ای برای تعیین وابستگی و بازخورد مشکلات در میان معیارها به دست آورد. گام اول ANP مقایسه معیارها در کل سیستم به شکل سوپر ماتریس است. این کار از طریق مقایسه زوجی با پرسیدن این سوال «با توجه به منافع و ترجیحات ما، یک معیار در مقایسه با معیار دیگر چه مقدار اهمیت دارد؟» انجام می‌شود. ارزش اهمیت نسبی می‌تواند با استفاده از یک مقیاس ۱ تا ۹ (برای نمایش اهمیت برابر تا اهمیت فوق‌العاده بیش‌تر) تعیین شود. مزیت استفاده از ANP این است که نه تنها برای هر دو نوع داده‌های کمی و کیفی مناسب است، بلکه می‌تواند بر مساله وابستگی و بازخورد میان ویژگی‌ها و معیارها غلبه کند. اگرچه ANP به طور گسترده به‌منظور انتخاب گزینه، تصمیم‌های راهبردی و برنامه‌ریزی بهینه استفاده می‌شود، اما به‌نظر می‌رسد مشکل عدم قطعیت در آن نادیده گرفته شده است (Hwang & Tzeng, 2011).

- **وزن‌دهی افزاینده ساده SAW [۶]**

این روش را می‌توان قابل درک‌ترین و راهی ساده برای مقابله با مشکلات تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه دانست، به این دلیل که تابع افزاینده خطی می‌تواند ترجیحات تصمیم‌گیرنده را نشان

دهد. با این‌حال این روش تنها زمانی درست است که فرض تفکیک اولویت‌ها را در نظر گرفت. چرچمن و آکوف در ۱۹۵۴ برای اولین بار برای مقابله با مساله انتخاب گزینه ها روش SAW را استفاده کردند (Hwang & Tzeng, 2011). در این روش پس از تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده یا استفاده از روش‌های تعیین وزن مانند آنتروپی شانون، با استفاده از میانگین موزون ضریب اهمیت هر یک از گزینه‌ها به دست می‌آید (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۸). SAW گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که بیشینه نتیجه میانگین وزنی را داشته باشد (Hwang & Yoon, 1981). به بیان دیگر در SAW گزینه‌ای انتخاب می‌شود که حاصل جمع مقادیر بی‌مقیاس شده‌ی وزنی آن بیش از دیگر گزینه‌ها باشد (مومنی، ۱۳۸۵). اختلاف زیاد گزینه‌ها می‌تواند به ساخت یک جایگزین برای دستیابی به سطح مطلوب موردنظر در هر معیار منجر شود (Hwang & Tzeng, 2011). هنگامی‌که در واقعیت بتوان ویژگی‌ها را مستقل از یکدیگر در نظر گرفت (برای مثال هنگامی‌که رابطه متممیت مهمی وجود نداشته باشد)، روش میانگین وزنی ساده می‌تواند یک روش بسیار قدرتمند در MADM باشد.

- **TOPSIS [۷]**

این روش توسط هوانگ و یون در ۱۹۸۱ ارایه شد و در آن m گزینه به‌وسیله n شاخص ارزیابی می‌شوند و هر مساله را می‌توان به‌صورت یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت. این روش برای مرتب‌سازی اولویت‌ها از طریق تشابه به راه‌حل ایده‌آل ارایه شده است. ایده اصلی از مفهوم راه‌حل توافقی برای انتخاب بهترین گزینه آمده است و بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی باید نزدیک‌ترین گزینه به راه حل ایده آل مثبت (راه حل بهینه) و دورترین از راه حل ایده آل منفی (راه حل تحتانی) باشد. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص به طور یکنواخت افزایشی یا کاهشی است (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۸). راه حل توافقی (سازشی) می‌تواند به‌عنوان انتخاب بهترین راه حل با کوتاه‌ترین فاصله اقلیدسی از راه حل ایده‌آل و دورترین فاصله اقلیدسی از راه حل ایده‌آل منفی در نظر گرفته شود (Hwang & Tzeng, 2011). این روش ز نرمال‌سازی برداری استفاده می‌کند و یکی از ابزارهای بسیار فراگیر و محبوب MADM در میان جوامع علمی است (Chauhan & Vaish, 2014).

- **VIKOR [۸]**

روش VIKOR برای بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده چند معیاره توسعه داده شده است. این روش فهرست رده‌بندی توافقی، راه حل توافقی و فاصله‌های ثبات وزن برای ثبات اولویت‌های راه حل توافقی به دست آمده با وزن اولیه را تعیین می‌کند. این روش بر روی رتبه‌بندی و انتخاب مجموعه‌ای از گزینه‌ها در حضور معیارهای متناقض تمرکز دارد (Opricovic, 1998). این روش از نرمال‌سازی خطی و یک وزن توافقی (سودمندی) برای انتخاب سیاست تصمیم‌گیرنده که می‌تواند خوشبینانه، بدبینانه یا خنثی باشد، استفاده می‌کند (Chauhan & Vaish, 2014). روش VIKOR شاخص رتبه‌بندی چند معیاره بر اساس اندازه‌گیری‌های مخصوصی از «نزدیکی» به راه حل «ایده آل» را معرفی می‌کند (Hwang & Tzeng, 2011) و گزینه‌های A_i ($i=1,2,\ldots n$) را مطابق با مقادیر ۳ کمیت (S_i, R_i, Q_i) که باید برای هر گزینه محاسبه شوند، رتبه‌بندی می‌کند (Caterino et al., 2008).

- **ELECTRE [۹]**

روی و همکاران در ۱۹۶۸ ابتدا مفهوم روابط غیررتبه‌ای را معرفی کردند. پس از آن مدل‌های مختلف ELECTRE بر اساس بیان ماهیت مساله (یعنی یافتن یک شالوده یا رتبه‌بندی نظام‌مند گزینه‌ها) توسعه یافت که درجه اهمیت معیارها (درست یا کذب) به حساب آورده و اطلاعات امتیازی (وزن، شاخص تطابق، شاخص عدم تطابق، مفهوم حق وتو) در نظر گرفته شد (Hwang & Tzeng, 2011). این تکنیک بر اساس تعیین روابط غیررتبه‌ای میان گزینه‌ها استوار است (Caterino et al., 2008) و از مهم‌ترین فنون جبرانی است. جواب به دست آمده از این روش بر اساس مجموعه‌ای از رتبه‌ها است (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۸). در روش غیر رتبه‌ای، فرض بر این است که تصمیم‌گیرنده هنگام مقایسه یک گزینه با گزینه دیگر می‌تواند برای هر معیار یک اولویت سخت‌گیرانه یا سهل‌گیرانه یا یک اولویت ضعیف مشخص کند (Kalbar et al., 2012). رابطه غیررتبه‌ای $A_p \rightarrow A_q$ می‌گوید که حتی اگر بین دو گزینه P و

q هیچ برتری ریاضی وجود نداشته باشد، تصمیم‌گیرنده ریسک مربوط به A_P را هنگامی‌که تقریبا بهتر از Aq باشد، می‌پذیرد. این روش هر دو طبقه یعنی طبقه‌ای که وزن اولویت‌ها در توافق با روابط غالبیت زوجی و طبقه‌ای که ارزیابی‌های وزنی با بقیه متفاوت هستند، امتحان می‌کند. این مراحل بر اساس یک مجموعه «هماهنگ و ناهماهنگ» استوار هستند، از این رو این روش تحلیل هماهنگی نیز نامیده می‌شود (Hwang & Yoon, 1981).

- **PROMETHEE[۱۰]**

برانس و همکاران طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۸۵ خانواده جدیدی از روش‌های غیررتبه‌ای به نام PROMETHEE (روش‌های رتبه‌بندی ترجیحی سازمان یافته برای ارزیابی‌های غنی) را برای حل مشکلات MADM مطرح کردند. این روش‌ها بر اساس یک مفهوم کلی از معیار هستند. در این دوره، یک مفهوم اساسی از رابطه غیررتبه‌ای فازی برای اولین بار نسبت به هر معیار توسط مقایسات زوجی برای گزینه‌ها بر حسب روابط درجات اختلاف در بین هر یک از معیارهای دیگر در نظر گرفته و ساخته شد. روابط درجات اختلاف سپس برای راه‌اندازی یک پیش ترتیب جزئی (PROMETHEE I)، یک پیش ترتیب کامل (PROMETHEE II)، یا یک ترتیب فاصله‌ای (PROMETHEE III) در یک مجموعه‌ی متناهی از راه‌های عملی استفاده شد. روش دیگری که PROMETHEE IV نامیده شد، برای موردی که مجموعه‌ای از راه حل‌های عملی پیوسته است، معرفی شد. این نتایج به‌راحتی می‌تواند توسط تصمیم‌گیرنده درک شوند (Hwang & Tzeng, 2011). PROMETHEE I بر اصولی مشابه ELECTRE استوار است و شش تابع برای توصیف اولویت‌های تصمیم‌گیری در راستای هر معیار معرفی می‌کند. این روش کار یک ترتیب جزئی از گزینه‌ها را با استفاده از روند وارد و خارج کردن فراهم می‌کند. PROMETHEE II بر اصولی مشابه PROMETHEE I بنا شده است و روش کارش نیز مانند PROMETHEE I یک پیش ترتیب کلی از گزینه‌ها با استفاده از تجمع جریان‌های وارد و خارج کردن را مهیا می‌کند (Guitouni & Martel, 1998).

- **Grey**

تئوری Grey توسط Deng در سال ۱۹۸۲ ارایه شد و بر این فرض استوار است که یک سیستم نامشخص وجود دارد و اطلاعات در مورد آن برای ساخت یک تحلیل رابطه‌ای یا مدل برای توصیف کافی است. تئوری Grey یک فضای ارتباط خاکستری و یک سری از مدل‌های غیرکاربردی را ارایه می‌کند (Hwang & Tzeng, 2011). در واقع تئوری گری یک آنالیز ریاضی عالی از سیستم‌هایی است که تا حدی شناخته شده و تاحدی ناشناخته‌اند و باعنوان «داده ناکافی» و «شناخت ضعیف» تعریف می‌شوند (Aruldoss et al., 2013).

انتخاب مدل مناسب

تنوع گسترده روش‌های MADM سبب سردرگمی کاربران و تحلیلگران در انتخاب و بکارگیری مدل‌های مناسب در مواجهه با مسائل دنیای واقعی شده است. هر روش MADM حداقل در ۴۰ درصد مواقع رتبه‌بندی و نتیجه‌ای متفاوت از سایر روش‌ها را ارایه می‌کند (Voogd et al., 1984). این تفاوت از به کارگیری وزن‌های متفاوت، تفاوت در الگوریتم‌ها، کمی کردن شاخص‌های کیفی و در نهایت به کارگیری پارامترهایی توسط برخی از روش‌ها ناشی می‌شود (Zanakis et al., 1998). برای تصمیم‌گیرندگان حیاتی است که آگاهانه نقاط ضعف و قوت هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری را بدانند و هنگام مواجهه با مسائل دنیای واقعی مناسب‌ترین روش را انتخاب کنند (Al-Shemmeri et al., 1997). برای سهولت انتخاب مدل تصمیم‌گیری MADM مناسب در جدول (۱) به اختصار مزایا و معایب هریک از روش‌ها بیان شده است.

جدول (۱): مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری MADM

روش تصمیم‌گیری	مزایا	معایب
AHP	– برای تصمیم‌گیری با هر دو نوع معیار کمی و کیفی مناسب است (Baker et al., 2001) – تنها مدلی که می‌تواند ناسازگاری قضاوت تصمیم‌گیرندگان را اندازه گیرد (Mahmoodzadeh et al., 2007) – افراد متخصص و غیر متخصص می‌توانند از آن استفاده کنند. – قابلیت در نظرگرفتن تعداد زیادی معیار – قابلیت وارد کردن جنبه‌های بحرانی یک مساله به داخل ساختار سلسله مراتبی – اندازه‌گیری ناسازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان (Mahmoodzadeh et al., 2007) – اهمیت اهداف محیط‌زیستی و اجتماعی را به‌اندازه اهداف اقتصادی در نظر می‌گیرد (Ellis & Tang, 1991)	– شرط اصلی عدم وابستگی معیارها است (Hwang & Tzeng, 2011) – برای رسیدن به ثبات در اولویت‌ها، تعداد گزینه‌ها باید کم‌تر از هفت گزینه نگه داشته شود. – هنگامی‌که اطلاعات درباره ویژگی‌ها در مقیاس کاردینال (اعداد اصلی) موجود است، قابل استفاده نیست (Kalbar et al., 2012)
ANP	– مناسب برای هر دو نوع داده کمی و کیفی – غلبه بر مساله وابستگی و بازخورد میان ویژگی‌ها و معیارها	– مشکل عدم قطعیت در آن نادیده گرفته شده (برای رفع این مشکل از FANP استفاده می‌شود) (Hwang & Tzeng, 2011) – طراحی شبکه بسیار پیچیده تر از طراحی سلسله مراتب در AHP است، چرا که روابط داخلی و گاهی دوطرفه میان معیارها و گزینه‌ها باید به دقت شناسایی و لحاظ شود. – مشکل اساسی این مدل در انجام مقایسات زوجی است. به این دلیل که تصمیم‌گیرنده همواره با حالت‌های دقیق نظردهی مواجه نیست و در بسیاری موارد تصمیم‌گیرندگان نمی‌توانند با قطعیت در مورد مقایسات زوجی تصمیم‌گیری کنند.
ELECTRE	– از تکنیک‌های جبرانی است – منطق آن ساده است – بکارگیری تمام اطلاعات موجود در ماتریس تصمیم‌گیری – استفاده از رابطه برتری (Aruldoss, 2013) – در تصمیم‌گیری از تصمیم‌گیرنده کمک گرفته و پس از آن به قضاوت و حل مشکل مورد نظر می‌پردازد (عموشاهی و همکاران، ۱۳۹۴) – توانایی جمع‌آوری و تحلیل تعداد زیادی از معیارهای ارزیابی – توانایی مقابله با عدم قطعیت و دقت کم داده‌های ورودی	– نقطه ضعف این روش استفاده از مقادیر آستانه c و d است. این مقادیر با این‌که اثرشان روی راه حل نهایی قابل توجه است، اما اختیاری هستند (Hwang & Yoon, 1981) – زمان‌بر است (Aruldoss, 2013) – ضعف در انجام تحلیل حساسیت (آذر و وفایی، ۱۳۸۹) – دارای روابط ریاضی دشوار و غیرقابل فهم – عدم ارایه یک رتبه‌بندی کامل از گزینه‌ها – اغلب برای مسائل تصمیم‌گیری که توسط معیارهای زیاد و گزینه‌های مختلفی توصیف می‌شوند مناسب نیست (Caterino et al., 2008)
PROMETHEE	– از تکنیک‌های جبرانی است – بزرگ‌ترین مزیت سادگی آن است؛ در هر مورد از این روش بیش از ۲ پارامتر وجود ندارد که هرکدام از آنها اهمیت و صرفه آشکار دارند – به‌دلیل همراه بودن با تکنیک گرافیکی GAIA قدرت نمایش بسیار عالی دارد – انعطاف پذیر است و همه داده‌های کمی و کیفی را پوشش می‌دهد – فهم آن بسیار ساده است (عموشاهی و همکاران، ۱۳۹۴)	– PROMETHEE I برای برخی گزینه‌ها هیچ رتبه‌بندی پیشنهاد نمی‌کند (اصغری‌زاده و نصراللهی، ۱۳۸۵) – نسخه II آن یک رتبه‌بندی کامل از گزینه‌ها فراهم می‌کند، اما نیاز به دست‌کاری اطلاعات وجود دارد که همیشه دارای یک معنی منطقی نیست (Caterino et al., 2008)

ادامه جدول (۱): مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری MADM

روش تصمیم‌گیری	مزایا	معایب
TOPSIS	– تکنیک جبرانی است – ارزیابی هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی – می‌توان تعداد قابل توجهی معیار در نظر گرفت – نتایج حاصل از این مدل کاملا مطابق با روش‌های جبرانی است – ضرایب وزنی اولیه را می‌پذیرد – تضاد و تطابق بین شاخص‌ها را در نظر می‌گیرد – ترتیب اولویت گزینه‌ها را مشخص و به‌صورت کمی بیان می‌کند – از نظر قابلیت اعتماد نتایج، ایده‌آل است (آذر و وفایی، ۱۳۸۹) – روابط مورد استفاده برای نرمال کردن اطلاعات، محاسبه فواصل و روش تعیین وزن شاخص‌ها اختیاری بوده و قابل تطبیق با نوع اطلاعات موجود در مساله است (طاهرخانی، ۱۳۸۶)	– دارای ضعف در تحلیل حساسیت (آذر و وفایی، ۱۳۸۹) – به میزان فاصله از راه حل مثبت اهمیتی نمی‌دهد – تنها هنگامی‌که تعداد شاخص‌ها و اطلاعات در دسترس محدود است، استفاده از این روش توصیه می‌شود (Naumann, 1998) – ریسک گریز بودن آن در برخی مواقع می‌تواند محدودکننده باشد (میان‌آبادی و افشار، ۱۳۸۷)
Grey	– با اطلاعات کامل یک راه حل منحصربه‌فرد به‌دست می‌آورد (Aruldoss et al., 2013)	– بر این فرض استوار است که یک سیستم نامشخص وجود دارد، اما اطلاعات در مورد سیستم برای ساخت یک تحلیل رابطه‌ای یا مدل برای توصیف کافی است – راه حل بهینه را فراهم نمی‌کند (Aruldoss et al., 2013)
VIKOR	– یافتن نزدیک‌ترین نقطه به ایده‌آل (آریش و شاکری‌روش، ۱۳۹۲) – ابزاری مفید در تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌ویژه در شرایطی که تصمیم‌گیرنده قادر نیست اولویت‌های خود را در آغاز طراحی سیستم بیان کند. راه‌حل توافقی به دست آمده می‌تواند برای تصمیم‌گیرنده مقبول باشد زیرا که بیشینه بهره‌وری گروه «اکثریت» و کمینه تاسف فردی «مخالف» را فراهم می‌کند (Nooy & Gwanh, 1981)	
SAW	– از تکنیک‌های جبرانی است. – به‌دلیل نمایش ترجیحات تصمیم‌گیرنده از طریق تابع افزاینده خطی به‌عنوان قابل درک‌ترین و محبوب‌ترین روش در مسائل MADM است (میان‌آبادی و افشار، ۱۳۸۷)	– تنها زمانی درست است که فرض استقلال معیارها را در نظر بگیریم (Nooy & Gwan,h 1981) – در مواردی که نرخ تبادل بین شاخص‌ها ثابت و برابر با واحد باشد، استفاده می‌شود (اصغرپور، ۱۳۸۳) – فقط هنگامی‌که تعداد شاخص‌ها و اطلاعات در دسترس محدود است، استفاده از این روش توصیه می‌شود (Naumann, 1998) – فقط خود معیار را وزن‌دهی می‌کند، اما از اهمیت موقعیت رتبه‌بندی معیار چشم پوشی می‌کند (میان‌آبادی و افشار، ۱۳۸۷)

مقایسه روش‌ها

که می‌تواند به انتخاب روش مناسب کمک کند، بیان شده‌اند.

در جدول (۲) نکات کلیدی برگرفته از نتایج مطالعات مقایسه‌ای

جدول (۲): مطالعات مقایسه‌ای انجام شده میان روش‌های تصمیم‌گیری

عنوان مقاله	نتایج
"Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach" (Kalbar et al., 2012)	در بیش‌تر موارد AHP و TOPSIS رقیب یکدیگر هستند. AHP در مواقعی که اطلاعات درباره ویژگی ها در مقیاس کاردینال (اعداد اصلی) موجود است قابل استفاده نیست. اگر اطلاعات در مقیاس ساعتی موجود باشد AHP ارجحیت دارد و اگر تعداد گزینه‌ها زیاد باشد TOPSIS ترجیح داده می‌شود.
"A Survey On Multi Criteria Decision Making Methods and Its Applications, American Journal of Information Systems" (Aruldoss et al., 2013)	در مقایسه ELECTRE با TOPSIS و Grey، روش‌های ELECTERE (I, IS, II, III, IV, A) در مقایسه با سایر روش‌ها به مقدار بیش‌تری در حل مسائل کنونی در ارزیابی محیطزیستی و مدیریت محیطزیستی به کار برده می‌شوند. روش TOPSIS نه تنها در عرصه‌هایی مانند برآورد کارایی، کاربرد دارد بلکه در مسایلی مانند انتخاب فرآیند تولید و سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر و مدیریت بهره‌برداری نیز استفاده می‌شود. تکنیک Grey اغلب در مسایل تصمیم‌گیری هم‌چون ارزیابی کارایی مالی، انتخاب تهیه کننده، انتخاب چیدمان سازه‌ها، پیش‌بینی تقاضا و انتخاب مواد اولیه به‌گونه‌ای موفقیت آمیز استفاده شده است.
«بررسی روش‌های فرارتبه‌ای PROMETHEE و ELECTRE در تصمیم‌گیری محیطزیستی صنعت نفت و پتروشیمی» (عموشاهی و همکاران، ۱۳۹۴)	PROMETHEE نسبت به ELECTRE دارای قابلیت فهم بیش‌تر و فرمول‌های ریاضی ساده‌تری است. به‌علاوه دارای محاسبات دقیق‌تر و جزئیات بیش‌تر و استفاده آسان است. هم‌چنین توانایی بالقوه‌ای برای انجام تصمیم‌گیری‌های محیطزیستی دارد.
«مقایسه سه روش VIKOR، DEA و TOPSIS در کارایی مدل مدیریت پاسخ ریسک A2R2P» (آریش و شاکری‌روش، ۱۳۹۲)	راه حل ارایه شده توسط TOPSIS همیشه نزدیک‌ترین نقطه به راه حل ایده‌آل نیست. در حالی‌که VIKOR نزدیکترین نقطه به ایده‌آل را نشان می‌دهد.
"Multiple Attribute decision Making Method And Applications: A sate of The Art Survey" (Hwang & Yoon, 1981)	در مقایسه روش TOPSIS و VIKOR، روش TOPSIS دو نقطه مرجع مشخص می‌کند، اما اهمیت نسبی فاصله از این نقاط را در نظر نمی‌گیرد. اما VIKOR رتبه‌بندی‌ها را بر اساس اندازه‌گیری‌های ویژه‌ای از «نزدیکی» به راه حل ایده‌آل معرفی می‌کند. مقدار نرمال شده در روش VIKOR به واحد سنجش معیار وابسته نیست. این در حالی است که مقادیر نرمال شده توسط TOPSIS ممکن است به واحد سنجش معیار وابسته باشند. VIKOR از نرمال‌سازی خطی و TOPSIS از نرمال‌سازی برداری استفاده می‌کند.
«کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای با تاکید بر روش‌های TOPSIS و SAW » (نوجوان و همکاران، ۱۳۹۰)	روش SAW در مقایسه با TOPSIS دارای خطای یکسانی است. در این مطالعه هر دو تکنیک اولویت‌های یکسانی ارایه دادند.
"A Comparative Analysis of Decision Making Methods for The Seismic Retrofit of RC Buildings" (Caterino et al., 2008)	PROMETHEE I اغلب منجر به رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها نمی‌شود، در واقع مساله داده شده را حل نمی‌کند. نسخه II این تکنیک همیشه یک رتبه‌بندی کامل از گزینه‌ها فراهم می‌کند، اما نیاز به دست‌کاری در اطلاعات وجود دارد. ELECTRE اغلب قادر به رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها نیست، بلکه یک زیرمجموعه از گزینه‌هایی که نسبت به سایرین برتری دارند را انتخاب می‌کند. دو روش TOPSIS و VIKOR جنبه‌های مشترک زیادی در رویکرد عمومی خود دارند، با این تفاوت که VIKOR به صراحت گزارشی در رابطه با میزان رضایت از یک معیار واحد در کنار عملکرد سراسری نسبت به تمامی معیارها می‌دهد. در نتیجه روش‌های VIKOR و TOPSIS باتوجه به توانایی‌شان برای سروکار داشتن با هر نوع از معیارهای داوری و متغیرها، وضوح نتایج و کاهش تاثیر هدف مورد نظر ذهن تصمیم‌گیرنده، مناسب‌ترین روش‌ها هستند.

جدول (۲): مطالعات مقایسه‌ای انجام شده میان روش‌های تصمیم‌گیری

عنوان مقاله	نتایج
«به کارگیری و مقایسه روش‌های ELECTRE، TOPSIS و AHP در انتقال تکنولوژی تولید ترنسفورماتورهای خشک رزینی» (باقری مقدم و زارعی، ۱۳۸۶)	پاسخ‌های به دست آمده از روش AHP تطابق بیشتری با نظر تصمیم گیرندگان دارد، به این دلیل که ضرایب اهمیت در روش AHP از مقایسات زوجی آنها و محاسبه بردار ویژه ماتریس این مقایسات و ضرب سلسله مراتبی شاخص‌ها در سطوح قبلی خود به دست می‌آید. در صورتی‌که ضرایب در دو روش TOPSIS و ELECTRE با روش آنتروپی شانون محاسبه می‌شوند. هم‌چنین مشخص شد که اگر ضرایب اهمیت به دست آمده از روش AHP در دو روش TOPSIS و ELECTRE استفاده شود، رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با تقریب بسیار زیادی مانند رتبه‌بندی روش AHP خواهد شد. بنابراین، به نظر می‌رسد هم‌گرایی معنی‌داری بین هر سه روش ایجاد خواهد شد، به‌شرطی که روش تعیین اوزان نسبی اهمیت شاخص‌ها از روش بردار ویژه و با استفاده از مقایسات زوجی به دست آید. بدین‌ترتیب نتایج روش AHP به‌عنوان روش برتر انتخاب و می‌تواند مورد استفاده تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد.
"Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS" (Opricovic & Tzeng, 2004)	هر دو روش TOPSIS و VIKOR بر اساس توابع تجمعی هستند و نزیکی به ایده‌آل را ارایه می‌کنند. تکنیک VIKOR شاخص رتبه‌بندی بر اساس اندازه‌گیری ویژه‌ای از «نزدیکی» به راه‌حل ایده‌آل را معرفی می‌کند. در مقابل، اصل اساسی روش TOPSIS این است که گزینه انتخابی باید «کوتاه‌ترین فاصله» را از راه‌حل ایده‌آل و «کوتاه‌ترین فاصله» را از راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد. روش TOPSIS دو نقطه مرجع را معرفی می‌کند، اما اهمیت نسبی فاصله از این نقاط را در نظر نمی‌گیرد. تحلیل مقایسه‌ای نشان می‌دهد که این دو تکنیک MCDM از انواع مختلف نرمال‌سازی برای رفع واحد توابع معیارها استفاده می‌کنند و توابع تجمعی متفاوتی را برای رتبه‌بندی ارایه می‌کنند. روش VIKOR از نرمال‌سازی خطی و روش TOPSIS از نرمال‌سازی برداری استفاده می‌کند. مقادیر نرمال شده در تکنیک VIKOR به واحد سنجش تابع معیار بستگی ندارد، اما مقادیر نرمال شده از طریق نرمال‌سازی برداری در TOPSIS ممکن است به واحد سنجش وابسته باشند.
«رتبه‌بندی فنون تصمیم‌گیری چندشاخصه MADM با استفاده از برخی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در محیط فازی و مقایسه آن با رتبه‌بندی به روش DEA» (آذر و وفایی، ۱۳۸۹)	۲۰ روش MADM جبرانی انتخاب و ۱۳ شاخص موثر در انتخاب مدل مناسب برای ارزیابی آن‌ها استفاده شد. معیارهای توانایی حل مسائل دنیای واقعی و توانایی حل مسائلی با داده‌های غیرکمی به‌عنوان موثرترین شاخص‌های انتخاب یک روش تصمیم‌گیری شناخته شدند. روش‌های ترکیبی به‌کار رفته نشان دادند که از میان روش‌های مورد بررسی، روش‌های AHP، Fuzzy AHP، Fuzzy TOPSIS، مدل یاگر و روش های مبتنی بر منطق فازی بهترین و روش‌های Permutation، Median Ranking و MRS ضعیف‌ترین روش‌ها به‌شمار می‌آیند. بر اساس روش DEA نیز روش‌های AHP، Fuzzy AHP، TOPSIS، Fuzzy TOPSIS کاراترین روش‌ها و MRS و Median Ranking ناکاراترین روش‌ها هستند. از نتایج روش‌های برتر می‌توان نتیجه گرفت که اغلب آنها روش‌های مبتنی بر رویکرد فازی هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به این دلیل که هر یک از روش منحصر به خود برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند و روابط ریاضی متفاوتی با یکدیگر دارند تقریبا امری نشدنی است، اما در این مقاله رایج‌ترین مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌طور اختصار شرح داده شد و جوانب مثبت منفی آنها بررسی گردید، تا پژوهشگران بتوانند به کمک آن تکنیک متناسب با کار خود را برگزینند. به علاوه در این پژوهش به نکات مهمی که در مطالعات مقایسه‌ای میان تکنیک‌ها بیان شده بود، اشاره شد. طبق نتایج این بررسی، بزرگترین محدودیت دو روش AHP و ANP که اصولی کاملا مشابه دارند، این است که برای صحت نتایج تعداد گزینه‌ها باید محدود باشد. روش‌های ELECTRE و PROMETHEE نیز اصول مشابهی دارند و در مسائل محیط‌زیستی بسیار کارآمد هستند، اما پاسخ این روش‌ها اغلب بیش از یک گزینه است. دو روش TOPSIS و VIKOR با اصول راه‌حل سازشی محدودیت‌های کم‌تری نسبت به سایر روش‌ها دارند. روش SAW یکی از قابل فهم‌ترن روش‌های تصمیم‌گیری می‌باشد که تنها در مواردی که معیارها دارای ارتباط مفهومی باشند، محدودیت دارند. هم‌چنین تئوری Grey برای سیستم‌های تصمیم‌گیری دارای محدودیت در اطلاعات

یک گزینه بسیار مناسب است.

یادداشت‌ها

1. Multiple Criteria Decision Making
2. Multiple Attribute Decision Making
3. Multiple Objective Decision Making
4. Analytic Hierarchy Process
5. Analytic Network Process
6. Simple Additive Weighting
7. The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
8. Multicriteria Optimization and Compromise Solution
9. The Elimination and Choice Translating Eeality
10. The Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations

فهرست منابع

آریش، الف. و شاکری روش، م. ۱۳۹۲. مقایسه سه روش VIKOR، DEA و TOPSIS در کارایی مدل مدیریت پاسخ ریسک A2R2P، دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، دانشگاه تهران.

آذر، ع. و رجب زاده، ع. ۱۳۸۸. تصمیم‌گیری کاربردی (رویکردMADM)، انتشارات نگاه دانش.

آذر، ع. و وفایی، ف. ۱۳۸۹. رتبه‌بندی فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه MADM با استفاده از برخی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط فازی و مقایسه آن با رتبه‌بندی به روش DEA، دوماهنامه علمی- پژوهشی دانشور رفتار، مدیریت و پیشرفت، دانشگاه شاهد، سال هفدهم، شماره ۴۱، ص ۲۳- ۳۸.

آذریوند، ع. و بنی حبیب، م، الف. ۱۳۹۴. تصمیم‌گیری چند شاخصه دو مرحله‌ای برای ارزیابی پایداری گزینه‌های احیای دریاچه ارومیه، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۸، شماره ۲. ص ۱۹۷-۲۱۲.

اصغرپور، م، ج. ۱۳۸۳. تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره (چاپ سوم)، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

اصغری‌زاده، ع. و نصراللهی، م. ۱۳۸۵. مقایسه وزن‌دهی آنتروپی و فازی در به کارگیری PROMETHEE برای تعیین قطعه‌سازان برتر سایپا، چهارمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، دانشگاه صنعتی شریف.

باقری‌مقدم، ن. و زارعی، ع. ۱۳۸۶. به کارگیری و مقایسه روش‌های ELECTRE، TOPSIS و AHP در انتقال تکنولوژی تولید ترنسفورماتورهای خشک رزینی، اولین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، دانشگاه کیش.

سمیعی، م. و رئیسی، م، الف. ۱۳۷۹. ارزیابی چند معیاره پروژه‌های منابع آب از دیدگاه توسعه پایدار در ایران، چهارمین کنفرانس سدسازی ایران.

حیاتی، م.؛ توکلی محمدی، م، ر.؛ رضایی، ع. و شایسته‌فر، م، ر. ۱۳۹۳. ارزیابی مخاطرات زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین با استفاده از روش ELECTRE III (مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه کرمان)، نشریه علمی- پژوهشی روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره ۸، ص ۱- ۱۵.

دباغیان، م.؛ هاشمی، س، ح. و عبادی، ت. ۱۳۸۸. ارزیابی فنی اقتصادی و زیست محیطی روش‌های تصفیه فاضلاب صنایع آبکاری به روش AHP، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست ، دوره ۱۱، شماره ۳، ص ۱۰۷- ۱۱۵.

رفیعی، ی.؛ جعفری، ح.؛ رمضانی مهریان، م. و نصیری، ح. ۱۳۹۱. مکان‌یابی دفن پسماندهای شهری با استفاده از AHP و SAW در محیط GIS (مطالعه موردی: استان کهگلویه و بویر احمد)، نشریه محیط شناسی، سال ۳۸، شماره ۶۱، ص ۱۳۱-۱۴۰.

طاهرخانی، م. ۱۳۸۶. کاربرد تکنیک TOPSIS در اولویت‌بندی مکانی استقرار صنایع تبدیلی کشاورزی در مناطق روستایی، فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی، سال ششم، شماره ۳، ص ۵۹- ۷۱.

عموشاهی، س.؛ نژاد کورکی، ف. و پورابراهیم، ش. ۱۳۹۴. بررسی روش‌های فرارتبه‌ای PROMETHEE و ELECTRE در تصمیم‌گیری محیط‌زیستی صنعت نفت و پتروشیمی، فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۳۳، ص ۱۷- ۳۴.

فتائی، الف. ۱۳۹۳. امکان‌سنجی احداث شهرک‌های صنعتی مرزی با استفاده از TOPSIS و AHP (مطالعه موردی: استان اردبیل)، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۱۲، شماره ۳۷، ص۱۸۱-۱۹۴.

قدسی‌پور، ح. ۱۳۷۹. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

قدسی‌پور، ح. ۱۳۸۳. مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره (برنامه‌ریزی چند هدفه) روش‌های وزن‌دهی بعد از حل، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

کریمی، ع.؛ مهردادی، ن.؛ هاشمیان، س، ج.؛ نبی بیدهندی، غ. و توکلی مقدم، ر. ۱۳۸۹. انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP، نشریه آب و فاضلاب، شماره ۴.

مومنی، م. ۱۳۸۵. مباحث نوین تحقیق در عملیات، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، تهران.

موسوی، س. ح.؛ معیری، م.؛ سیف، ع. و ولی، ع. ۱۳۹۱. انتخاب مناسب‌ترین نوع گونه گیاهی نبکا برای تثبیت ماسه‌های روان با استفاده از مدل AHP (مطالعه موردی: ریگ نجارآباد، شمال‌شرق طرود)، نشریه محیط شناسی دانشگاه تهران، دوره ۳۸، شماره ۱، ص ۱۰۵-۱۱۶.

میان آبادی، ح. و افشار، ع. ۱۳۸۷. کاربرد روش میانگین وزنی مرتب شده (OWA) در تصمیم‌گیری و مدیریت ریسک. چهارمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت استراتژک پروژه‌ها، دانشگاه صنعتی شریف.

نایب، ح.؛ ترابیان، ع.؛ مهردادی، ن. و حبشی، ن. ۱۳۹۲. انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب شهری در اقلیم‌های مختلف کشور به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، نخستین همایش ملی بازیافت آب.

نبی بیدهندی، غ.؛ امیری، م، ج. و کرمی، ش. ۱۳۹۱. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در محیط زیست. انتشارات کیاجور، تهران.

نوجوان، م.؛ محمدی، ع. الف. و صالحی، الف. ۱۳۹۰. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای با تاکید بر روش‌های TOPSIS و SAW، دو فصل‌نامه مدیریت شهری، شماره ۲۸، ص ۲۸۵- ۲۹۶.

Aruldoss, M.; Lakshmi, T. M. & Venkatesan, V. P. 2013. A Survey on Multi Criteria Decision Making Methods and Its Applications. American Journal of Information Systems, 1(1), pp.31–43.

Baker, D.; Bridges, D.; Hunter, R.; Johnson, G.; Krupa, J.; Murphy, J. & Sorenson, K. 2001. Guidebook to decision-making methods. Developed for the Department of Energy.

Voogd, J.H. 1982. Multicriteria evaluation for urban and regional planning. Pion, London, Taylor & Francis.

Caterino, N.; Lervolino, I.; Manfredi, G. & Cosenza, E. 2008. A Comparative Analysis of Decision Making Methods for the Seismic Retrofit of RC Buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.

Chauhan, A. & Vaish, R. 2014. A Comparative Study on Decision Making Methods with Interval Data, Journal of Computational Engineering, Hindawi Publishing Corporation.

Cho, K. T. 2003. Multicriteria decision methods: An attempt to evaluate and unify. Mathematical and Computer Modelling, 37(9), pp.1099–1119.

Ellis, K. V. & Tang, S.L. 1991. Wastewater Treatment Optimization Model for Developing World. I: Model Development. Journal of Environmental Engineering, 117(4), pp.501–518.

Govindan, K. & Jepsen, M. B. 2016. ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. European Journal of Operational Research, 250(1), pp.1–29.

Guitouni, A. & Martel, J. M. 1998. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. European Journal of Operational Research, 109(2), pp.501–521.

Tzeng, G. H. & Huang, J. J. 2011. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Taylor & Francis Group.

Hwang, C. L. & Masud, A. S. 1979. Multiple Objective Decision Making Methods And Applications: A State of the Art Survey, Springer – Verlag, berlin.

Hwang, C. L. & Yoon, K. 1981. Multiple Attribute decision Making Method and Applications: A sate of The Art Survey, Springer – Verlag, Berlin.

Kalbar, P. P.; Karmakar, S. & Asolekar, S. R. 2012. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. Journal of Environmental Management, 113, pp.158–169.

Korhonen, P.; Moskowitz, H. & Wallenius, J. 1992. Multiple criteria decision support-A review. European Journal of Operational Research, Elsevier, 63, pp.361–375.

Mahmoodzadeh, S.; Shahrabi, J.; Pariazar, M. & Zaeri, M. S. 2007. Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering Vol:1, No:6, pp.333–338.

Montis, A. De.; Toro, P. De.; Droste, B. F.; Omann, I. & Stagl, S. 2002. Criteria for quality assessment of MCDA methods, Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics, Vienna.

Naumann, F. 1998. Data fusion and data quality. Institut fur informatik Humboldt, Universitat zu Berlin.

Opricovic, S. & Tzeng, G. H. 2004. Compromise Solution by MCDM Methods: A Copmparative analysis of VIKOR and TOPSIS, European Journal of Operational Research 156, 445–455.

Opricovic, S. 1998. Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems, Faculty of Civil Engineering, Belgrade.

Rigoglioso, M. 2005. Nonfinancial Data Can Predict Future Profitability, Stanford business School of Gradute.

Saaty, T. L. & Alexander, J. M. 1989. Conflict Resolution - The Analytic Hierarchy Process, New York: Praeger.

Zanakis, S. H.; Solomon, A.; Wishart, N. & Dublish, S. 1998. Multi-Attribute Decision Making: A Simulation Comparison of Selected Methods, European Journal of Operational Research, Vol.107, pp.507–529.

Zimmermann. 1996. Fuzzy set Theory – and It's Applications, Kluwer Academic Publishers Boston, USA.