

# اولویت‌بندی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای

## ایران با رویکرد تاپسیس

(مطالعه موردی: زیربخش‌های بخش کشاورزی، صنعت و پزشکی)

عباس مجدآبادی\*

عبداله علم‌خواه\*\*

### چکیده

با توجه به محدودیت‌های تأمین مالی و بودجه‌ای، سازمان انرژی اتمی به‌عنوان متولی عملیاتی‌کردن کاربردهای فناوری هسته‌ای در بخش‌های مختلف، امکان سرمایه‌گذاری و تحقیق و توسعه در همه بخش‌ها را نداشته و به‌ناچار مجبور به انتخاب برخی بخش‌ها و سرمایه‌گذاری در آنهاست. مقاله حاضر که مبتنی بر تحقیقات اسنادی، کتابخانه‌ای و شاخص‌سازی اقتصادی (روش تاپسیس از سری مدل‌های MADM) و استفاده از دیدگاه خبرگان در قالب پرسشنامه تهیه شده است، به اولویت‌بندی زیربخش‌های هفت‌گانه بر اساس معیارهای سیزده‌گانه - که شامل چهار بخش اصلی اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و اجتماعی است - پرداخته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که پزشکی (تشخیص) اولویت نخست، پزشکی (درمان) اولویت دوم، صنعت اولویت سوم، شیلات و آبیاری اولویت چهارم، خاک و آب اولویت پنجم، زراعت، باغداری و جنگل‌داری اولویت ششم و دام و طیور اولویت هفتم را در سرمایه‌گذاری و تحقیق و توسعه به خود اختصاص داده‌اند.

### واژگان کلیدی

بخش پزشکی، بخش صنعت، بخش کشاورزی، رویکرد تاپسیس، فناوری هسته‌ای

Email: amajdabadi@aeoi.org.ir

\* دانشیار پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای

\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای (نویسنده مسئول)

Email: abdelmkhah@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۰

تاریخ ارسال: ۹۶/۴/۵

فصلنامه راهبرد / سال بیست‌وششم / شماره ۸۵ / زمستان ۱۳۹۶ / صص ۱۶۷-۱۵۱

## جستار گشایی

محدودیت فزاینده در استفاده از منابع فسیلی برای تأمین الکتریسیته و نیاز روزافزون کشورهای در حال توسعه به انرژی باعث شده است تا بهره‌گیری از دیگر منابع در تولید الکتریسیته اهمیت ویژه‌ای پیدا کند. از میان این منابع، انرژی هسته‌ای سهم قابل توجهی را به خود اختصاص داده و با توجه به ویژگی‌های ذاتی آن مانند انتشار اندک گازهای گلخانه‌ای، کسب فناوری برتر و سهم پایین هزینه سوخت آن، در سیاست‌های بلندمدت کشورهای مختلف مورد توجه خاص قرار گرفته است. جمهوری اسلامی ایران نیز به‌عنوان کشوری در حال توسعه و نیز پیشرو در میان کشورهای منطقه، بنا به دلایلی مانند نیاز برنامه‌های توسعه کشور به انرژی، کسب فناوری‌های برتر، ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی، ملاحظات زیست‌محیطی و مزایای فنی اقتصادی، بهره‌گیری از انرژی تولیدشده در نیروگاه‌های هسته‌ای را در برنامه‌های بلندمدت خود مدنظر قرار داده است (دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ۱۳۹۲: ۲۶۵). بهره‌گیری از فناوری هسته‌ای نه تنها در بحث تأمین انرژی و تولید الکتریسیته، بلکه در دیگر امور به‌ویژه بخش‌های کشاورزی، صنعت و پزشکی نیز مورد توجه خاص قرار گرفته است.

در صورت استفاده از فناوری هسته‌ای، دلایل و شواهد مختلفی از جمله صرفه اقتصادی نسبت به سایر منابع انرژی، صنعتی و تکنولوژیک (کاربردهای گسترده و متنوع در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعتی، پزشکی و ...)، سیاسی و بین‌المللی (افزایش قدرت چانه‌زنی در عرصه نظام بین‌الملل)، فرهنگی و اجتماعی (معیاری برای تعیین و تشخیص توان و قدرت علمی و فنی)، زیست‌محیطی (پاکیزه بودن، انتشار اندک گازهای گلخانه‌ای و ...)، دفاعی و امنیتی (ایجاد اثر بازدارندگی برای کشور صاحب فناوری)، اثرات جانبی مثبت (نقش توسعه فناوری هسته‌ای در پیشرفت علمی کشور)، دانش‌بنیان بودن فناوری هسته‌ای و درنهایت تأکیدات مقام معظم رهبری بر توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای به صورت مستقیم و غیرمستقیم (سیاست‌های کلی برنامه سوم تا ششم توسعه، سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی، سیاست‌های کلی نظام در بخش انرژی و ...) وجود دارد که موجب مزیت این فناوری نسبت به سایر فناوری‌ها شده و بیش از پیش مورد توجه مردم و مسئولان قرار گرفته است (علم‌خواه، ۱۳۹۴: ۵۹-۵۱).

از طرفی با توجه به محدودیت‌های مالی و بودجه‌ای که همه‌ساله وجود دارد، سازمان انرژی اتمی به‌عنوان متولی عملیاتی کردن کاربردهای فناوری هسته‌ای در بخش‌های مختلف - با توجه به تعیین خطوط قرمز مذاکرات هسته‌ای جمهوری اسلامی ایران و کشورهای +۱ و ۵ توسط مقام معظم رهبری و تأکیدات ایشان بر توجه هر چه بیشتر بر مسئله تحقیق و توسعه<sup>۱</sup> این فناوری -

امکان سرمایه‌گذاری در همه بخش‌ها را نداشته و به‌ناچار مجبور به انتخاب برخی بخش‌ها و سرمایه‌گذاری در آنهاست.

پرسش مطرح در این پژوهش عبارت است از اینکه سازمان انرژی اتمی، بخش‌ها را چگونه باید انتخاب کند تا تحقیق و توسعه را در آن گسترش دهد؟ به‌عبارت‌دیگر، در صورت وجود محدودیت‌های تأمین مالی در اجرای طرح‌ها، ترتیب اولویت‌بندی سازمان انرژی اتمی، برای سرمایه‌گذاری باید چگونه باشد؟ برای پاسخ به پرسش مطرح‌شده، از دو روش اسنادی و میدانی استفاده شده است. در بخش اسنادی به مطالعه و بررسی نظریه‌ها، روش و فنون و عوامل مختلف مؤثر بر اولویت‌بندی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در بخش‌های مختلف، به‌صورت کتابخانه‌ای پرداخته و در تعیین شاخص‌های اولویت‌بندی از نظرات صاحب‌نظران اقتصادی استفاده شده که در زمینه کاربردهای فناوری هسته‌ای مطالعه و فعالیت داشته‌اند. در بخش میدانی و در تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری نیز با تهیه پرسشنامه از نظرات ۴۲ تن از پژوهشگران و صاحب‌نظران سازمان انرژی اتمی استفاده شده است. وزن شاخص‌ها نیز با روشی به نام آنتروپی شانون<sup>۲</sup> محاسبه شده است. از میان روش‌ها و تکنیک‌های ذکر شده، با استفاده از روش و تکنیک تاپسیس<sup>۳</sup> به اولویت‌بندی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش‌های بخش کشاورزی شامل زیربخش زراعت، باغداری و جنگل‌داری، زیربخش دام و طیور، زیربخش شیلات و آبزیان و زیربخش خاک و آب، بخش صنعت و بخش پزشکی شامل تشخیص و درمان پرداخته شده است.

**مطالعات پیشین.** تاکنون مطالعه‌ای مرتبط با تحقیق حاضر یعنی اولویت‌بندی توسعه کاربردهای فناوری هسته‌ای در زیربخش‌های بخش کشاورزی، بخش صنعت و بخش پزشکی، در کشورهای دیگر صورت نپذیرفته و مطالعات صورت‌گرفته نیز در مورد کاربردهای فناوری هسته‌ای می‌باشند که دارای حداقل ارتباط با تحقیق حاضر است. لذا این پژوهش به‌نوعی برای نخستین‌بار است که به این موضوع پرداخته است.

غریب‌آبادی (۱۳۸۶) در مقاله خود با عنوان «انرژی هسته‌ای: نیاز/امروز، ضرورت فردا» ضمن اشاره به محدودیت نفت و دیگر انرژی‌های فسیلی، محور برنامه‌ریزی اقتصادی کشورهای توسعه‌یافته را استفاده بهینه از نفت خام و رو آوردن به سایر منابع انرژی به‌ویژه انرژی هسته‌ای معرفی می‌کند. نویسنده به این نتیجه رسیده است که در جهان آینده، قدرت اقتصادی از آن بازیگرانی خواهد بود که منابع انرژی را در اختیار داشته باشند. در این مقاله با مطالعه موردی

2. Shanon Entropy

3. Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS)

جمهوری اسلامی ایران به‌عنوان کشوری که دارای منابع غنی نفت و گاز است و از طرف دیگر در جهت بهره‌مندی صلح‌آمیز از انرژی هسته‌ای گام‌های مهمی برداشته است، اثبات می‌کند که انرژی هسته‌ای، نیاز امروز و ضرورت فردا برای کشوری مثل جمهوری اسلامی ایران است.

اهری مصطفوی و صفایی (۱۳۸۷) در کتابی با عنوان «کاربرد فناوری هسته‌ای در گیاه‌پزشکی» ضمن آشنایی با فناوری هسته‌ای، به‌صورت اجمالی به کاربردهای آن در علم گیاه‌پزشکی پرداخته‌اند. نویسندگان به این جمع‌بندی رسیده‌اند که فنون هسته‌ای در مقایسه با دیگر روش‌ها، ابزاری دقیق و سریع به شمار می‌رود و شیوه‌های کاربرد آن بر اساس نیاز گرایش‌های مختلف این علم متفاوت است، اما به‌طور کلی شامل دو فناوری اصلی پرتوتابی و ردیابی می‌باشند.

نیک‌نژاد (۱۳۸۷) در مقاله‌ای با عنوان «نقش فناوری هسته‌ای در ایمنی مواد غذایی و سلامتی» روند روزافزون جمعیت را عاملی برای نیاز بیشتر بشر به مواد غذایی معرفی کرده که این امر باعث استفاده بیش‌ازپیش از مواد شیمیایی و سمی شده که در نهایت باعث مسمومیت مواد غذایی و آلودگی زیست‌محیطی می‌شود. نویسنده در جمع‌بندی خود، به‌کارگیری فناوری هسته‌ای را عاملی برای رهایی از این معضل معرفی کرده و پرتودهی با استفاده از مواد پرتوزا یا مواد رادیواکتیو با نیمه‌عمر پایین به مواد غذایی کشاورزی و دامی مانند پیاز و سیب‌زمینی، غلات و حبوبات را در مراحل بسته‌بندی و انبارداری، باعث از بین‌بردن آلودگی‌های قارچی، میکروبی و انگلی و کاهش ضایعات کشاورزی دانسته است.

خادمیان و بابایان جلودار (۱۳۸۷) در مقاله خود با عنوان «کاربرد فناوری هسته‌ای در اصلاح گیاهان زراعی و باغی» ضمن اشاره به نقش تکنیک‌های هسته‌ای در ایجاد تنوع و انتخاب و ارزیابی آن، مهم‌ترین کاربردهای فناوری هسته‌ای در اصلاح گیاهان زراعی و باغی را افزایش تنوع ژنتیکی، تولید موتاسیون‌های القایی، حذف موانع ناسازگاری و تسریع تکامل طبیعی معرفی کرده‌اند.

مشاک و همکاران (۱۳۸۷) در اثر خود با عنوان «کاربرد فناوری هسته‌ای در مواد غذایی: روشی نوین در نگهداری و تضمین امنیت غذایی» ضمن برشماری عوامل مولد فساد و بیماری‌ها در سلامت انسان‌ها از جمله افزایش جمعیت، مهاجرت، توسعه صنعت توریسم، تغییر در سیستم‌های پرورشی (دام، طیور و آبزیان)، تنوع و کثرت انواع غذای فراوری شده و بالاخره افزایش تجارت جهانی، استفاده از روش‌های نوین نگهداری مواد غذایی نظیر پرتودهی را به‌عنوان یک روش ایمن و مؤثر در فراوری مواد غذایی، مورد توجه محققان بهداشت مواد غذایی، متولیان صنایع غذایی و دولتمردان قرار داده است. در ادامه مدعی شده‌اند که امروزه

بیش از ۴۰ کشور در جهان و بیش از ۶۰ نوع ماده پرتودهی مورد استفاده قرار گرفته است و ۳۵ کشور از آنها تولید تجاری این نوع غذاها را پذیرفته است.

سرخ‌ی لؤلؤ و خداداده (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان «توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در کشاورزی» با بهره‌گیری از روش مطالعه کتابخانه‌ای و پایگاه‌های اطلاعاتی، معتقدند تکنیک‌های هسته‌ای در جوار دیگر روش‌های کلاسیک می‌توانند به‌عنوان یک وسیله کمکی در حل مؤثر و سریع بسیاری از مسائل کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار گیرند. در این زمینه می‌توان به پرتودهی توسط پرتوهای یون‌ساز اشاره کرد که یکی از موارد آن پرتودهی مواد غذایی برای از بین بردن میکروارگانیسم‌هاست که سبب فساد و آلودگی آنها می‌شود. پرتودهی باعث تولید مقدار کمی حرارت در ماده غذایی می‌شود که می‌تواند سبب کشته‌شدن میکروارگانیسم‌ها در آن گردد، بدون آنکه ماده غذایی منجمد، آب شود.

والتر<sup>۴</sup> (۲۰۰۳) در مقاله‌ای با عنوان «کاربردهای فناوری هسته‌ای در پزشکی، کشاورزی و صنعت» ضمن اشاره به اینکه اکثر شهروندان آمریکایی از کاربرد فناوری هسته‌ای در تولید برق از طریق دستگاه‌های تولید برق هسته‌ای آگاه هستند، اما بیشتر آنها از تأثیر این فناوری بر برنامه‌های کاربردی دیگر غیر از تولید برق اعم از کاربرد در بخش‌های کشاورزی، پزشکی و صنعت غافل هستند. نویسنده در اثر خود به برشماری تعدادی از کاربردهای تکنیک هسته‌ای در بخش‌های مختلف پزشکی، کشاورزی و صنعت پرداخته و معتقد است جهان پزشکی، کشاورزی و صنعت به لطف بهره‌برداری از رادیو ایزوتوپ‌ها، به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای مدرن شده است و برنامه‌های کاربردی صلح‌آمیز جدید، سهم عمده‌ای در بهبود و ارتقا سطح زندگی بشر داشته است.

کامبی<sup>۵</sup> (۲۰۰۶) در مقاله‌ای با عنوان «فواید انرژی هسته‌ای» ضمن برشمردن فواید و کاربردهای فناوری هسته‌ای در بخش‌های مختلف، انرژی هسته‌ای را یک منبع انرژی پاک، امن، قابل‌اعتماد و رقابتی معرفی کرده و معتقد است این انرژی تنها منبع انرژی است که می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی (زغال‌سنگ، نفت و گاز) باشد که به‌صورت انبوه موجب آلودگی جو و تولید اثر گلخانه‌ای می‌شوند.

عسکری و دیگران (۲۰۱۴)، در مقاله‌ای با عنوان «تکنیک‌های هسته‌ای در بخش کشاورزی و ژنتیک» ضمن بیان نقش فناوری هسته‌ای در تولید انرژی، به کاربردهای دیگر این فناوری اشاره دارد. نویسندگان مقاله به این نتیجه رسیده‌اند که در طول نیم‌قرن گذشته، جهان

4. Waltar

5. Comby

پزشکی، کشاورزی و صنعت با بهره‌مندی از رادیوایزوتوپ‌ها به صورت قابل توجهی بهبود یافته‌اند. همچنین استفاده از تکنیک‌های هسته‌ای به جای روش کلاسیک آن در حل بسیاری مسائل و مشکلات مؤثرتر و سریع‌تر خواهد بود.

## ۱. مواد و روش‌ها

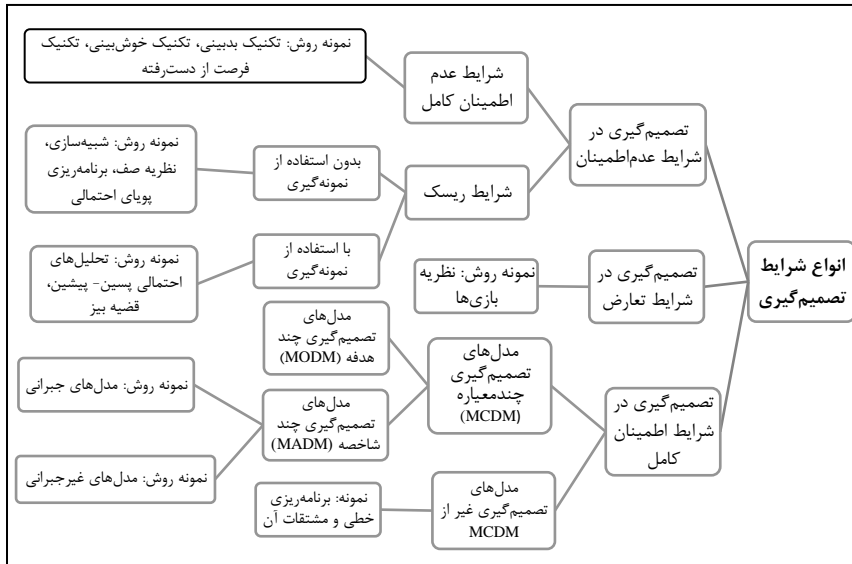
در این مطالعه، منظور از تصمیم‌گیری، انتخاب از میان چند جایگزین است. این رویکرد کاربرد فراوانی در انواع مسائل مربوط به تصمیم‌گیری در حوزه انرژی دارد. در مسائلی که ملاحظات مربوط به توسعه پایدار در تصمیم‌گیری‌ها مطرح باشد، استفاده از این رویکرد بسیار متداول است. توانایی اصلی این رویکرد در ساختاربخشی به مسائل و دخیل کردن وجوه مختلف مسئله در تصمیم‌گیری است.

فنون ریاضی تصمیم‌گیری، یکی از با ارزش‌ترین دستاوردهای فعالیت پژوهشگران است که اغلب با عناوین تحقیق در عملیات، تحقیق عملیاتی یا تکنیک‌های کمی تصمیم‌گیری در محافل علمی مطرح می‌شوند. در نگرش فرایندی به تصمیم‌گیری، محور تأکید و کاربرد این فنون به ایجاد مدل از مسئله تصمیم، ارزیابی راه‌حل‌های ممکن و گزینش بهترین راه‌حل مربوطه می‌شود (رحیمی، ۱۳۹۳: ۵۶-۵۵).

به عبارت دیگر در گذر زمان همراه با افزایش درجه پیچیدگی و تنوع مسائل تصمیم‌گیری، روش‌های تصمیم‌گیری نیز متنوع و از توانمندی‌های بیشتری برخوردار شده‌اند. نتایج گزارش شده از کاربرد این روش‌ها به خوبی دلالت بر استفاده گسترده از آنها از حوزه‌های مختلف تصمیم‌گیری دارد، اما باید توجه داشت که هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری با توجه به مفروضات خاص خود در برخی شرایط تصمیم، نسبت به دیگر روش‌ها ارجحیت دارد (علم‌خواه، ۱۳۹۴: ۱۵۱-۱۵۰).

در نمودار (۱) دسته‌بندی شرایط حاکم بر مسئله تصمیم‌گیری بر مبنای میزان اطلاعات موجود در خصوص عوامل تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری به همراه برخی از مهم‌ترین روش‌های قابل استفاده در هر شرایط نشان داده شده است.

## نمودار (۱) - دسته‌بندی شرایط حاکم بر مسئله تصمیم‌گیری



(منبع: رحیمی، ۱۳۹۳: ۵۷)

## ۲. تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)<sup>۶</sup>

تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌عنوان یک علم دارای مفاهیم، رویکردهای خاص خود است و به تصمیم‌گیرنده در شناسایی، توصیف و ارزیابی گزینه‌ها کمک می‌کند و گزینه‌ها را رتبه‌بندی و یا انتخاب می‌نماید (De Montis et al, 2000)، در این‌گونه تصمیم‌گیری‌ها چندین معیار که گاه باهم متضاد هستند در نظر گرفته می‌شوند که در زندگی روزمره نیز به‌طور مرتب اتفاق می‌افتند. برای مثال، در زندگی شخصی یک فرد در انتخاب شغل، وجهه شغل، محل انجام کار، حقوق و دستمزد، فرصت‌های پیشرفت، شرایط کاری و غیره به‌عنوان معیار در نظر گرفته می‌شوند و می‌توانند برای این فرد خیلی مهم باشند (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۹: ۱۷). به‌طور کلی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به دودسته کلی تقسیم می‌شوند: مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM)<sup>۷</sup> و مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM)<sup>۸</sup>. با توجه به نیاز این پژوهش به بررسی مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌پردازیم.

6. Multiple Criteria Decision Making  
 7. Multiple Objective Decision Making  
 8. Multiple Attribute Decision Making

## ۲-۱. مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM)

در این مدل‌ها، عموماً متغیر مسئله گسسته است (Zimmermann, 1990) و انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های موجود، مدنظر است. در یک تعریف کلی تصمیم‌گیری چندشاخصه به تصمیمات خاصی (از یک نوع ترجیحی) مانند ارزیابی، اولویت‌گذاری و یا انتخاب از بین گزینه‌های موجود (که گاه بین چند شاخص متضاد انجام می‌شود) اطلاق می‌شود (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۹: ۲۱).

### ۲-۱-۱. دسته‌بندی مدل‌های MADM

MADM در سال ۱۹۵۷ توسط چرچمن، اکاف و آرنوف<sup>۹</sup> مطرح شد (De Montis et al, 2000). اگرچه روش‌های MADM دارای تنوع تکنیکی گسترده‌ای هستند، با این حال، این تکنیک‌ها دارای جنبه‌های مشترک خاصی مانند وجود گزینه‌ها، شاخص‌های چندگانه، تعارض بین شاخص‌ها، ماتریس تصمیم‌گیری و وزن معیارهای تصمیم هستند (Triantaphyllou et al, 1998: 179). آرگای تکل<sup>۱۰</sup> بیش از ۷۰ تکنیک چند معیاره را شناسایی کرده است (Tecele, 1998).

مدل‌های MADM از دیدگاه‌های مختلفی قابل بررسی و ارزیابی هستند که یکی از آنها رویکرد فنون مختلف در ارزشیابی اطلاعات و ارزیابی گزینه‌ها بر مبنای شاخص‌ها و معیارهای ارائه شده توسط تصمیم‌گیرنده است. در این راستا، مدل‌های MADM به مدل‌های جبرانی<sup>۱۱</sup> و غیرجبرانی<sup>۱۲</sup> تقسیم می‌شوند. بر اساس نیاز این پژوهش به بررسی مدل‌های جبرانی می‌پردازیم (Rolander et al, 2003).

### ۲-۲. مدل‌های جبرانی

آن دسته از مدل‌های MADM را شامل می‌شوند که در آنها تبادل بین شاخص‌ها صورت می‌گیرد. بدین معنی که تغییر در یک شاخص توسط تغییری مخالف (در جهت عکس) در شاخص یا شاخص‌های دیگر جبران می‌شود. روش جبرانی، روش‌هایی مانند میانگین وزنی ساده، تاپسیس، الکتراه، تخصیص خطی، تاکسونومی عددی، AHP و غیره است (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۹: ۲۵). مدل‌های جبرانی، خود به سه زیرگروه نمره‌گذاری و امتیازدهی<sup>۱۳</sup>، زیرگروه سازی<sup>۱۴</sup> و زیرگروه هماهنگ<sup>۱۵</sup> دسته‌بندی می‌شود. با توجه به روش مورد استفاده در این پژوهش، به توضیح زیرگروه سازی می‌پردازیم.

---

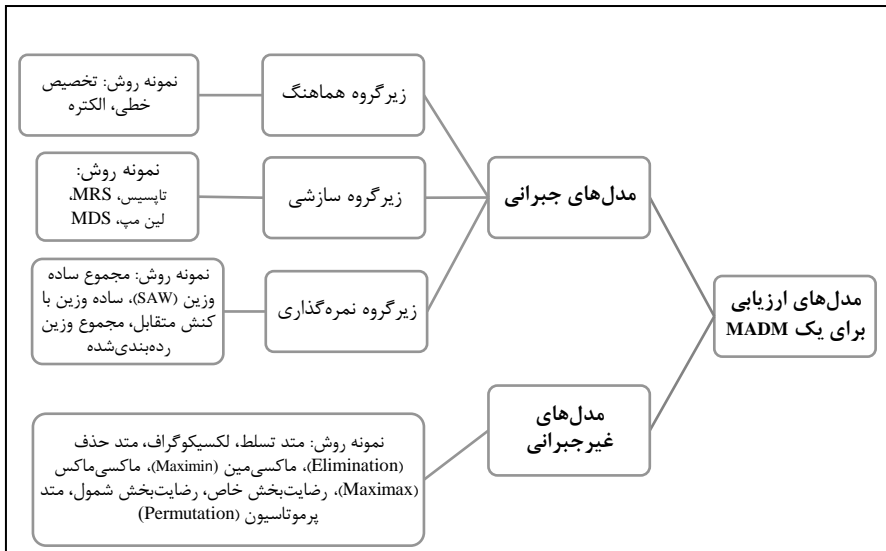
9. Churchman, Ackoff & Arnoff  
10. Aregai Tecele  
11. Compensatory methods  
12. Non-compensatory methods  
13. Scoring-Subgroup  
14. Compromising-Subgroup  
15. Concordance-Subgroup



یکی از زیرگروه‌های مدل جبرانی زیرگروه سازشی است. به این صورت که گزینه‌ای در روش‌های مربوط به این زیرگروه ارجح خواهد بود که نزدیک‌ترین گزینه به راه‌حل ایده‌آل باشد (اصغرپور، ۱۳۷۷: ۲۵۲). از این زیرگروه روش تاپسیس که روش مورد استفاده در تحقیق است، مورد بحث قرار خواهد گرفت.

در نمودار ۲، تقسیم‌بندی روش‌های MADM، بر اساس مدل‌های جبرانی و غیرجبرانی نشان داده شده است.

### نمودار (۲) - تقسیم‌بندی روش MADM بر اساس مدل‌های جبرانی و غیرجبرانی



(منبع: آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۹: ۲۶؛ اصغرپور، ۱۳۷۷: ۲۱۴)

### ۳. روش تاپسیس

با توجه به اینکه روش‌ها و فنون مختلفی برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه وجود دارد، اما این روش حساسیت کمتری نسبت به روش وزن‌دهی به معیارها دارد (Malczewski, 1997). این روش در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون<sup>۱۶</sup> ارائه شد. در این روش  $m$  گزینه به‌وسیله  $n$  شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و هر مسئله را می‌توان به‌عنوان یک سیستم هندسی شامل  $m$  نقطه در یک فضای  $n$  بُعدی در نظر گرفت. این تکنیک بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی باید کم‌ترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن،  $A_i^+$ ) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن،  $A_i^-$ ) داشته باشد (آذر و رجب‌زاده،

۱۳۸۹: ۶۰ و اصغری‌پور، ۱۳۷۷: ۲۱۶). به عبارت دیگر این روش بر مبنای محاسبه فاصله گزینه‌ها از راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی استوار است (Lin, 2010, 519).

#### ۴. الگوریتم روش تاپسیس

الف- تشکیل ماتریس شاخص‌ها. چنانچه مقدار شاخص n برای گزینه m با  $X_{mn}$  نشان داده شود، ماتریس شاخص‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

ب- محاسبه رتبه‌های نرمال شده. به دلیل تفاوت در واحدهای سنجش شاخص‌ها (دلار، کیلووات ساعت، درصد، سال، نفر و...)، مقایسه مستقیم آنها ممکن نیست و ما را به نتایج غلط سوق می‌دهد، لذا بهتر است این شاخص‌ها طوری مقیاس‌بندی شوند که رتبه آنها بین صفر و یک قرار گیرد:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (2)$$

که Z نمره نرمال شده است.

ج- محاسبه رتبه‌های نرمال شده موزون. برای احتساب سطح اهمیت مختلف مرتبط با شاخص‌ها، ماتریس بالا، باید موزون شود. مقدار نرمال شده موزون به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{ij} = W_j \cdot Z_{ij} \quad (3)$$

که W وزن‌های تخصیص یافته برای هر شاخص و V رتبه‌های نرمال شده موزون است.

د- تعیین جواب ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی. در تاپسیس، جواب سطح بالا،  $A^+$ ، گزینه‌ای است که از تمام مقادیر انتسابی بزرگ‌تر ساخته شده و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$A^+ = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+\} = \{(\max V_{i1}), \dots, (\max V_{in})\} \quad (4)$$

و جواب سطح پایین،  $A^-$ ، گزینه‌ای است که از تمام مقادیر انتسابی کوچک‌تر ساخته شده و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\} = \{(\min V_{i1}), \dots, (\min V_{in})\} \quad (5)$$

ه- ارزیابی معیار جداسازی و نزدیکی نسبی. ارزیابی فاصله می‌تواند بر اساس فاصله اقلیدسی در فضای n بُعدی حاصل شود. برای گزینه i ام، معیار جداسازی که فاصله را از جواب‌های سطح بالا و پایین نشان می‌دهد، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij}^+ - V_j^+)^2}, \dots, S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij}^- - V_j^-)^2} \quad (6)$$

و- محاسبه شباهت‌ها با جواب ایده‌آل مثبت. شاخص اولویت (PI) برای هر گزینه i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$PI_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (7)$$

وقتی یک مؤلفه به جواب سطح بالاتر نزدیک می‌شود، PI افزایش می‌یابد. اگر  $PI \rightarrow 1$  میل کند، آنگاه گزینه‌ها به صورت ایده‌آل طبقه‌بندی می‌شوند و اگر  $PI \rightarrow 0$  میل کند آنگاه گزینه‌ها به صورت غیر ایده‌آل تلقی می‌شوند.

ز- رتبه‌بندی ترجیحات. گزینه با بالاترین PI را در نظر گرفته و بر اساس آن سایر گزینه‌ها را به ترتیب نزولی مرتب می‌کنیم (علم‌خواه، ۱۳۹۴: ۱۷۸-۱۷۶ و محمودیان، ۱۳۸۶: ۷۸-۸۰).

## ۵. تعیین گزینه‌ها و شاخص‌ها

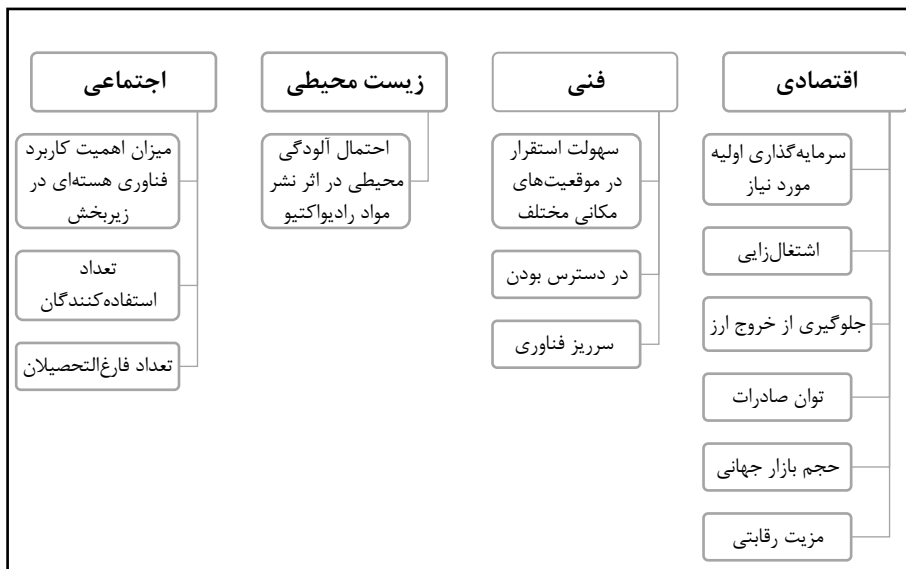
گزینه (زیربخش‌های) مورد نظر در این پژوهش، پس از بحث و بررسی با متخصصان و پژوهشگران شناسایی شده‌اند. دسته‌بندی زیربخش‌ها و گزینه‌های انتخابی در نمودار شماره سه نشان داده شده است.

### نمودار (۳) - دسته‌بندی زیربخش‌ها



یکی از مهم‌ترین مراحل در اولویت‌بندی اقتصادی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش‌ها، انتخاب شاخص‌ها است که شاخص‌ها و معیارها نیز پس از مشورت با صاحب‌نظران انتخاب شده‌اند. در نمودار ۴، درخت نهایی شاخص‌های تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی کاربردهای فناوری هسته‌ای در زیربخش‌های اقتصادی با معیارهای ۱۳ گانه نشان داده شده است.

نمودار (۴) - دسته‌بندی شاخص‌های اولویت‌بندی زیربخش‌ها



(منبع: یافته‌های تحقیق)

در رابطه با شاخص‌ها، ذکر چند نکته حائز اهمیت است. نخست اینکه از بین شاخص‌های سیزده‌گانه تعیین‌شده، پنج شاخص کمی و هشت شاخص دیگر کیفی هستند. نکته دیگر اینکه از میان شاخص‌ها، شاخص سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز و شاخص احتمال آلودگی محیطی در اثر نشر مواد رادیواکتیو منفی و بقیه شاخص‌ها مثبت هستند. به این معنا که هر قدر مقادیر شاخص‌های منفی به صفر میل کند، مناسب‌تر بوده و هر قدر از صفر دور شود، نامناسب است. خلاصه‌ای از نکات بالا در نگاره (۱) نشان داده شده است.

نگاره شماره (۱) - نوع معیارها از نوع کمی و کیفی و اوزان آنها

ردیف	معیار	معیارهای فرعی	نوع معیار	مثبت یا منفی
۱	اقتصادی	سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز	کمی	منفی
۲	اقتصادی	اشتغال‌زایی	کمی	مثبت
۳	اقتصادی	جلوگیری از خروج ارز	کیفی	مثبت
۴	اقتصادی	توان صادرات	کیفی	مثبت
۵	اقتصادی	حجم بازار جهانی	کیفی	مثبت
۶	اقتصادی	مزیت رقابتی	کیفی	مثبت
۷	فنی	سهولت استقرار در موقعیت‌های مکانی مختلف	کیفی	مثبت
۸	فنی	در دسترس بودن	کیفی	مثبت
۹	فنی	سرریز فناوری	کیفی	مثبت

۱۰	زبست محیطی	احتمال آلودگی محیطی در اثر نشر مواد رادیواکتیو	کیفی	منفی
۱۱	اجتماعی	میزان اهمیت کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش	کیفی	مثبت
۱۲	اجتماعی	تعداد استفاده‌کنندگان	کمی	مثبت
۱۳	اجتماعی	تعداد فارغ‌التحصیلان	کمی	مثبت

منبع: (یافته‌های تحقیق)

## ۶. گام‌های اولویت‌بندی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش‌های بخش کشاورزی

پس از اینکه شاخص‌های سیزده‌گانه با مشورت استادان و متخصصان سازمان انرژی اتمی انتخاب شدند، گام‌هایی که باید برداشته شود، به شرح زیر است:

گام نخست- تشکیل ماتریس شاخص‌ها یا همان ماتریس تصمیم‌گیری است که برای انجام این کار، پرسشنامه‌ای تنظیم و میان ۴۲ نفر از متخصصان، استادان و دانشجویان دکترای سازمان انرژی اتمی توزیع و پس از تکمیل، پرسشنامه‌ها جمع‌آوری شد.

گام دوم- نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری، به این معنا که به‌منظور آماده‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری و قابل‌مقایسه بودن گزینه‌ها، باید همه شاخص‌ها به مقیاس واحدی تبدیل شوند. لذا در این مقاله از میان روش‌های چهارگانه موجود یعنی نرم اقلیدسی، نرم ساعتی، نرم خطی و بی‌مقیاسی فازی، از نرم اقلیدسی به‌منظور بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری استفاده شده است.<sup>(۱)</sup>

گام سوم- تعیین میزان اهمیت نسبی معیارها (شاخص‌ها) نسبت به یکدیگر که برای تعیین میزان اهمیت شاخص‌ها، هم از روش کیفی- تهیه پرسشنامه به‌صورت مجزا برای وزن‌دهی به شاخص‌ها- استفاده می‌شود و هم از روش کمی- استفاده از پرسشنامه تکمیل‌شده برای تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و در ادامه وزن‌دهی با کمک روش‌های وزن‌دهی- که در تحقیق حاضر از روش کمی استفاده شده است.

نکته دیگر این است که با توجه به اطلاعات در دسترس از میان روش‌های چهارگانه وزن‌دهی یعنی روش مک‌گراناهان، روش لین‌مپ، روش آنترویی شانون<sup>(۲)</sup> و روش جدول دوتایی، روش آنترویی شانون انتخاب شده است. نگاره (۲)، اوزان معیارهای اولویت‌بندی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش‌های اقتصادی (به همراه راه‌حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی در گام پنجم) را نشان می‌دهد.

نگاره (۲)، نشان‌دهنده این است که طبق نظر استادان و کارشناسان، معیار جلوگیری از خروج ارز با وزن ۰/۱۹۶، معیار اشتغال‌زایی با وزن ۰/۱۱۳ و معیار سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز با وزن ۰/۰۵۷ نسبت به سایر معیارها از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

گام چهارم- محاسبه رتبه‌های نرمال شده موزون، به این صورت که وزن‌های محاسبه شده هر سطر را در سطر مربوطه ضرب می‌کنیم.

گام پنجم- تعیین جواب ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی (به همراه اوزان معیارهای اولویت‌بندی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش‌های اقتصادی در گام سوم) که در نگاره (۲) نشان داده شده است.

**نگاره شماره (۲) - اوزان معیارها و راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی (گام سوم و پنجم)**

ردیف	معیار	معیارهای فرعی	اوزان	مثبت	منفی
۱	اقتصادی	سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز	۰/۰۵۷	۰/۰۰۹۵۶۸	۰/۰۳۵۸۷۹
۲	اقتصادی	اشتغال‌زایی	۰/۱۱۳	۰/۰۷۲۵۵	۰/۰۰۸۵۳۵
۳	اقتصادی	جلوگیری از خروج ارز	۰/۱۹۶	۰/۱۲۳۸۲۹	۰/۰۰۸۲۵۵
۴	اقتصادی	پتانسیل صادرات	۰/۰۳۷	۰/۰۲۱۶۱۶	۰/۰۰۶۹۷۳
۵	اقتصادی	حجم بازار جهانی	۰/۰۵۳	۰/۰۳۶۰۵۵	۰/۰۰۸۰۱۲
۶	اقتصادی	مزیت رقابتی	۰/۰۱۴	۰/۰۰۷۰۷۵	۰/۰۰۳۷۴۶
۷	فنی	سهولت استقرار در موقعیت‌های مکانی مختلف	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴۵۵۵	۰/۰۰۲۵۹۹
۸	فنی	در دسترس بودن	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲۸۰۴	۰/۰۰۱۷۲۵
۹	فنی	سرریز فناوری	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹۱۳۱	۰/۰۰۴۷۰۸
۱۰	زیست‌محیطی	احتمال آلودگی محیطی در اثر نشر مواد رادیواکتیو	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲۰۱۸	۰/۰۰۳۲۵۹
۱۱	اجتماعی	میزان اهمیت کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶۷۸۱	۰/۰۰۳۶۸۱
۱۲	اجتماعی	تعداد استفاده‌کنندگان	۰/۰۱۲	۰/۰۸۳۷۷۴	۰/۰۰۵۵۸۵
۱۳	اجتماعی	تعداد فارغ‌التحصیلان	۰/۰۳۵	۰/۲۵۷۱۶۹	۰/۰۱۰۸۲۸

منبع: (یافته‌های تحقیق)

گام ششم- تعیین اندازه فاصله گزینه‌ها از راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی که در نگاره (۳) اندازه فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی بیان شده است.

**نگاره شماره (۳) - میزان فاصله گزینه‌ها از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی**

گزینه‌ها	فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت	فاصله از راه‌حل منفی
زراعت، باغداری و جنگل‌داری	۰/۲۸۶۳۴	۰/۰۵۶۰۰۹
دام و طیور	۰/۲۸۷۹۳۶	۰/۰۲۰۹۳۹
شیلات و آبزیان	۰/۲۸۶۴۵۵	۰/۰۳۳۰۲۵
خاک و آب	۰/۲۸۲۷۵۳	۰/۰۳۱۱۵۸
صنعت	۰/۲۳۸۰۸۷	۰/۱۰۱۸۱۲
پزشکی (تشخیص)	۰/۰۲۹۵۸۹	۰/۲۸۰۷۳۶
پزشکی (درمان)	۰/۰۳۷۹۶۷	۰/۲۸۳۹۶

منبع: (یافته‌های تحقیق)

گام هفتم- محاسبه نزدیکی گزینه‌ها یا همان زیربخش‌ها به راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی که در نگاره (۴) نشان داده شده است.

#### نگاره شماره (۴) - نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی

ضریب نزدیکی	گزینه‌ها
۰/۰۸۳۲۶۸	زراعت، باغداری و جنگلداری
۰/۰۶۷۷۹۱	دام و طیور
۰/۱۰۳۳۷	شیلات و آبزیان
۰/۰۹۹۲۵۸	خاک و آب
۰/۲۹۹۵۳۶	صنعت
۰/۹۰۴۶۵۱	پزشکی (تشخیصی)
۰/۸۸۲۰۶۴	پزشکی (درمان)

منبع: (یافته‌های تحقیق)

### فرجام

با توجه به محدودیت‌های تأمین مالی و بودجه‌ای، سازمان انرژی اتمی به‌عنوان متولی عملیاتی کردن کاربردهای فناوری هسته‌ای در بخش‌های مختلف، امکان سرمایه‌گذاری و تحقیق و توسعه در همه بخش‌ها را نداشته و به‌ناچار مجبور به انتخاب برخی بخش‌ها و سرمایه‌گذاری در آنهاست.

در این مطالعه اولویت‌بندی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش‌های بخش کشاورزی اعم از زراعت، باغداری و جنگلداری، دام و طیور، شیلات و آبزیان و خاک و آب، زیربخش پزشکی اعم از مرحله تشخیص، درمان و بخش صنعت با استفاده از معیارهای سیزده‌گانه شناسایی شده و با جمع‌آوری نظرات متخصصان و خبرگان در سازمان انرژی اتمی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس گفتگوهای انجام‌شده، چهار معیار اصلی اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فنی به‌عنوان معیارهای اصلی شناسایی شدند.

طبق نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی و با توجه به نظرات خبرگان و بر اساس روش آنتروپی شانون، معیارهای فرعی جلوگیری از خروج ارز، اشتغال‌زایی، سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز، حجم بازار جهانی و توان صادرات نسبت به سایر معیارهای فرعی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

برای پاسخ به پرسش مقاله- مبنی بر این که در صورت وجود محدودیت‌های تأمین مالی در اجرای طرح‌های سازمان انرژی اتمی، ترتیب اولویت‌بندی سازمان برای سرمایه‌گذاری در

زیربخش‌های کشاورزی، صنعت و پزشکی چگونه باید باشد؟- می‌توان ادعا کرد طبق داده‌ها و اطلاعات موجود و نیز تکمیل پرسشنامه توسط استادان و پژوهشگران سازمان انرژی اتمی و همچنین انجام عملیات در قالب روش تاپسیس، نتایج حاصله در رتبه‌بندی و اولویت‌بندی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش‌های هفت‌گانه و بر اساس معیارها و شاخص‌های سیزده‌گانه مطابق نگاره (۵) از قرار زیر است:

#### نگاره شماره (۵) - رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

رتبه	گزینه‌ها	ضریب نزدیکی
۱	پزشکی (تشخیص)	۰/۹۰۴۶۵۱
۲	پزشکی (درمان)	۰/۸۸۲۰۶۴
۳	صنعت	۰/۲۹۹۵۲۶
۴	شیلات و آبزیان	۰/۱۰۳۳۷
۵	خاک و آب	۰/۰۹۹۲۵۸
۶	زراعت، باغداری و جنگل‌داری	۰/۰۸۳۲۶۸
۷	دام و طیور	۰/۰۶۷۷۹۱

منبع: (یافته‌های تحقیق)

این رتبه‌بندی به‌وضوح نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن معیارهای مانند جلوگیری از خروج ارز، اشتغال‌زایی و سایر معیارها و بر اساس نگاره بالا، زیربخش پزشکی (تشخیص) اولویت نخست، زیربخش پزشکی (درمان)؛ اولویت دوم، زیربخش صنعت؛ اولویت سوم و زیربخش شیلات و آبزیان؛ اولویت چهارم، زیربخش خاک و آب؛ اولویت پنجم، زیربخش زراعت، باغداری و جنگل‌داری؛ اولویت ششم و زیربخش دام و طیور اولویت هفتم را برای سرمایه‌گذاری و تحقیق و توسعه به خود اختصاص داده‌اند.

نکته پایانی اینکه نگاره بالا یک نوع رتبه‌بندی را مشخص می‌کند و بدین معنا نیست که چون ضریب نزدیکی زیربخش پزشکی (تشخیص) نه برابر ضریب نزدیکی زیربخش شیلات و آبزیان است، پس سرمایه‌گذاری در زیربخش پزشکی (تشخیص) باید نه برابر بیشتر از سرمایه‌گذاری در شیلات و آبزیان باشد. به‌عبارت‌دیگر نگاره بالا نشان می‌دهد سرمایه‌گذاری و تحقیق و توسعه در زیربخش پزشکی (تشخیص) نسبت به بقیه زیربخش‌ها دارای اهمیت بیشتری است.

#### پی‌نوشت‌ها:

(۱) برای کسب اطلاعات در مورد روش‌های نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس کردن مراجعه شود به (اصغرپور، ۱۳۷۷: ۱۹۴).

(۲) برای کسب اطلاعات در مورد روش آنتروپی شانون، مراجعه شود به (اصغرپور، ۱۳۷۷: ۶-۱۹۴).



## منابع فارسی

- آذر، عادل و علی رجبزاده (۱۳۸۹)، *تصمیم‌گیری کاربردی (رویکرد MADM)*، چاپ چهارم، تهران: نگاه دانش.
- اصغرپور، محمدجواد (۱۳۷۷)، *تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره*، تهران: دانشگاه تهران.
- دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۹۲)، *ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰*، تهران: معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو.
- رحیمی، علیرضا (۱۳۹۳)، *اولویت‌بندی نیروگاه‌های کشور در راستای تدوین طرح جامع انرژی: رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره*، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه امام صادق (ع).
- علم‌خواه، عبدالله (۱۳۹۴)، *اولویت‌بندی توسعه کاربرد فناوری هسته‌ای در زیربخش‌های اقتصادی در راستای تحقق اقتصاد دانش‌بنیان*، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه امام صادق (ع).
- محمودیان، یعقوب (۱۳۸۶)، *الگوی توسعه یافتگی روستایی* (مطالعه موردی: روستاهای استان کرمانشاه)، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه امام صادق (ع).

## منابع لاتین

- De Montis, A., De Toro, P., Droste-Franke, B., Omann, I., & Stagl, S. (2000, May), Criteria for quality assessment of MCDA methods, *In 3rd Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics*, Vienna (pp. 3-6).
- Lin, H. T. (2010), "Fuzzy application in service quality analysis: An empirical study", *Expert systems with Applications*, Vol.37, No.1: 517-526.
- Malczewski, J. (1999), *GIS and multicriteria decision analysis*, John Wiley & Sons.
- Rolander, N., Ceci, A. & Berdugo, M. (2003), "A framework for MCDM method selection", *Georgia Institute of Technology*, Tech. Rep, 5th December.
- Tecele, A. (1998), *Choice of multi-criteria decision making techniques for watershed management*, Ph.D. dissertation, the University Of Arizona.
- Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez, S. N., & Ray, T. (1998), "Multi-criteria decision making: an operations research approach", *Encyclopedia of electrical and electronics engineering*, Vol.15: 175-186.
- Yoon, K. P., & Hwang, C. L. (1995), *Multiple attribute decision making: an introduction (Vol.104)*, Sage publications.
- Zimmermann, H. J. (2011), *Fuzzy set theory—and its applications*, Springer Science & Business Media.

