

فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی

سال دوم/ شماره ۲/ بهار ۱۳۹۵/ صفحات ۱۶۷-۱۴۳

ارائه مدلی به منظور رتبه‌بندی پيشران‌های استراتژیک انرژی تجدیدپذیر با استفاده از رویکرد ترکیبی دلفی، دیمتل و تحلیل شبکه‌ای (فازی)

امیر شریفیان

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش آینده‌پژوهی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

sharifian_amir@yahoo.com

حسین رضایی دولت‌آبادی

استادیار گروه مدیریت دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

ho.rezaie@gmail.com

در این مقاله، پيشران‌های حوزه انرژی تجدیدپذیر در کشور با استفاده از یک رویکرد ترکیبی رتبه‌بندی شده است. از آن‌جا که شناسایی اهمیت پيشران‌ها یکی از ارکان اساسی انجام پروژه‌های کلان آینده‌نگاری و همچنین برنامه‌ریزی استراتژیک در حوزه مدیریت انرژی محسوب می‌شود، وجود مدلی در راستای رتبه‌بندی اهمیت پيشران‌ها می‌تواند بسیار کارساز واقع شود. در این مقاله، این مدل با استفاده از نظرات جمعی از خبرگان به صورت نمونه‌وار انجام شده است. ابتدا پيشران‌های حوزه انرژی تجدیدپذیر مطرح شده در پژوهش‌های مختلف داخلی و خارجی را جمع‌آوری کرده‌ایم، سپس با استفاده از روش دلفی فازی معیارها را غربال نموده‌ایم. در مرحله بعد با استفاده از روش دیمتل فازی میزان وابستگی خوشه‌ها با یکدیگر بررسی شده است و نتایج این بخش در مرحله نهایی تحلیل شبکه‌ای فازی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که پيشران "توانمندی تکنولوژیک" و "ثبات سیاسی" به عنوان با اهمیت‌ترین پيشران‌های آینده می‌تواند مبنای طیف عدم قطعیت در تدوین سناریوهای آینده در حوزه انرژی تجدیدپذیر و همچنین خلق برنامه‌های استراتژیک قرار گیرد.

کلمات کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، پيشران انرژی، تدوین سناریو

۱. مقدمه

از زمان بحران نفت در دهه ۱۹۷۰ میلادی توجه دنیا به طور فزاینده‌ای به انتشار و توسعه منابع انرژی جایگزین و برای کمتر شدن وابستگی به سوخت‌های فسیلی جلب شده است. از انرژی مصرفی جهان در سال ۲۰۱۳، ۲/۶ درصد توسط انرژی هسته‌ای و ۷۵/۳ درصد نیز توسط سوخت فسیلی تأمین شده است. با عنایت به رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی باید گفت انرژی مصرفی جهان تا سال ۲۰۳۵ میلادی ۴۱ درصد افزایش خواهد یافت. این درصد رشد بسیار بیشتر از آن‌چه در دهه‌های گذشته شاهد آن بوده‌ایم می‌باشد. همچنین با توجه به رشد اقتصادهای در حال ظهور تولید دی‌اکسید کربن نیز تا سال ۲۰۳۵ به مقدار ۲۹ درصد افزایش خواهد یافت. علاوه بر مشکلات اعظم محیط زیستی ناشی از افزایش مصرف انرژی سؤال اصلی اینجاست که جهان چگونه به این افزایش مصرف واکنش نشان خواهد داد و آیا با شرایط کنونی توان تولید این حجم از انرژی تا سال ۲۰۳۵ و تقریباً دو برابر مقدار فعلی در ۵۰ سال آینده وجود دارد؟ (چشم انداز سالانه انرژی، ۲۰۱۴).

مصرف انرژی در کشور ما نیز روندی رو به رشد دارد و به علت پایین بودن بهره‌وری و مصرف بالاتر از متوسط جهانی بحران مقوله انرژی در ایران جدی‌تر می‌نماید. با توجه به ترازنامه‌ی انرژی در سال ۱۳۹۱ در کشور ایران سرانه مصرف انرژی در بخش‌های کشاورزی، خانگی، عمومی و تجاری، صنعت و حمل و نقل به ترتیب ۳/۳، ۱/۹، ۱/۵، ۱/۵ برابر متوسط جهانی است (ترازنامه انرژی سال ۹۱).

توجه به این نکته ضروری است که رابطه تنگاتنگ میان تولید و مصرف انرژی همواره باعث ایجاد عدم قطعیت‌ها در دنیای آینده می‌شود (حصاری، ۲۰۰۵). طبق آمار منتشر شده سهم مصرفی انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیا از مقدار معادل ۶۶/۹ میلیون بشکه به رکورد ۲۴۰/۸ میلیون بشکه در سال ۲۰۱۰ رسیده است. این در حالی است که آمار مصرف انرژی تجدیدپذیر در ایران با مقداری نزدیک به ۰/۱ میلیون بشکه سهم بسیار کوچکی از این آمار را پوشش می‌دهد (بازبینی آماری انرژی

1. Annual Energy Outlook

جهان، ۲۰۱۴). لذا با توجه به روبه اتمام بودن منابع فسیلی لزوم تدوین سیاست‌های کارا برای مدیریت انرژی، به خصوص در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر غیرقابل انکار است.

انرژی‌های تجدیدپذیر در جهت رشد اقتصادی، افزایش امنیت عرضه انرژی و تنوع عرضه انرژی نقش مهمی دارند و از آن‌جا که سیاست‌ها و استراتژی‌های دولت در رشد فناوری‌ها و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر نقش اساسی ایفا می‌کند، (چن^۱ و همکاران، ۱۹۸۷) تدوین راهبردهای کلان در این حوزه از اهمیت خاصی برخوردار است.

به منظور برنامه‌ریزی و تدوین این راهبردها استفاده از ابزارهایی چون تدوین سناریو یا برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو^۲ بسیار کاراست. چرا که تدوین سناریو نیازهای آینده را پاسخ‌گویی می‌کند (سوئورنرنگسون و همکاران^۳، ۲۰۰۳). همچنین طراحی سناریو کمک می‌کند تا راهبردها را بهبود بخشیم، برنامه‌هایی برای مقابله با رویدادهای غیرمنتظره طراحی کنیم و مراقب باشیم که در مسیر درست و به درستی ره‌پویم (لیندگرن و بندهولد^۴، ۲۰۰۲).

روش‌های مختلف برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو را می‌توان در سه دسته کلی تقسیم‌بندی نمود. در دسته نخست پیشران‌های کلیدی زمان حال در آینده نیز مؤثر و مبنای تغییرات آینده هستند. در دسته دوم سناریوها بر اساس یک یا دو پیشران اصلی باعث تدوین سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه می‌گردد و در سومین دسته سناریوها با پیش فرض وقوع حوادث مهم شکل می‌گیرد (گروه آینده^۵، ۱۹۹۴).

شناسایی اهمیت پیشران‌های آینده و رتبه‌بندی آنها یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو در روش‌های مختلف تدوین سناریو به شمار می‌آید (رینگلند و شوارتز^۶، ۱۹۹۸). پیشران‌ها، عناصری هستند که طراحی یک سناریو را بر مبنای آن‌ها انجام می‌گیرد (شوارتز، ۱۹۹۱).

- 1 . Chen et al.
2. Scenario planning
- 3 . Soontornrangson et al.
- 4 . Lindgren M. and Bandhold H.
- 5 . Future Group
- 6 . Ringland and Schwarts

هرچند به منظور برنامه‌ریزی در حوزه انرژی تا کنون از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره متنوعی استفاده شده است (پوهکار و رامانچاندران^۱، ۲۰۰۴)، اما استفاده از روش‌های ترکیبی تصمیم‌گیری چند معیاره در فرایند تدوین سناریو و رتبه‌بندی پیشران‌های حوزه‌های مختلف تا کنون مورد استفاده قرار نگرفته است در این مقاله قصد داریم الگویی علمی و در عین حال عملی برای رتبه‌بندی این پیشران‌ها ارائه دهیم. استفاده از این الگو علاوه بر این که در مسیر طراحی برنامه‌های آینده‌نگاری و تدوین چشم‌انداز می‌تواند به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم‌قلمداد گردد، باعث ایجاد بینشی عمیق‌تر در واکاوی نیازهای آینده در بخش مدیریتی و تکنولوژیک خواهد شد.

۲. مروری بر ادبیات پژوهش

در زمینه رتبه‌بندی پیشران‌ها در حوزه‌های مختلف بیشتر استفاده از روش‌هایی روش‌هایی همچون دلفی و پنل خبرگان عمومیت دارد. بررسی مطالعات تدوین سناریو نشان می‌دهد که در اکثریت رتبه‌بندی‌ها از نظرخواهی خبرگان و تکنیک دلفی استفاده شده است. برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو در حوزه انرژی نیز از این قاعده مستثنی نیست. در ادامه به چند پژوهش انجام شده در این راستا و ابزارهای استفاده شده به منظور رتبه‌بندی پیشران‌ها در آن‌ها اشاره خواهیم کرد.

قانادان و کومی^۲ (۲۰۰۵) در پژوهشی با عنوان "استفاده از سناریوهای انرژی به منظور پیداکردن مسیر انرژی‌های جایگزین در کالیفرنیا" چهار سناریو انرژی را در تحلیل نموده‌اند. پیشران‌های انرژی در این پژوهش با استفاده از دو معیار عدم قطعیت و اهمیت با استفاده از نظر خبرگان امتیازدهی شده‌اند و پیشران‌هایی که بالاترین امتیازات را داشته‌اند با عنوان "عدم قطعیت‌های بحرانی" نام‌گذاری و مبنای طراحی سناریوها قرار گرفته‌اند.

1 . Pohekar and Ramachandran

2 . Ghanadan and Koomey

چن و همکاران^۱ (۲۰۰۹) پژوهشی با عنوان طراحی پورتفولیوی تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر با استفاده از تحلیل سناریو انجام داده‌اند. این پژوهش که کشور تایلند را به عنوان مطالعه موردی تحت بررسی قرار می‌دهد با شناسایی معیارهای مؤثر در مورد تصمیم‌گیری توسعه تکنولوژی آغاز می‌شود. سپس با استفاده از نظرات متخصصان و مطالعات کتابخانه‌ای دسته‌ای از آلترناتیوهای مهم تکنولوژی را معرفی می‌نماید. سپس با انتخاب دو عدم قطعیت شامل آلترناتیوهای تکنولوژی و معیارهای تصمیم به تدوین سه سناریو (با نام‌های فصل خورشید، مطلوب‌تر از انرژی و قلعه‌ای در هوا) می‌پردازد.

سناریوهای آینده برای صنعت فوتولتایک آلمان^۲ (۲۰۱۰) یکی از نمونه‌های گزارشات آینده‌نگاری در حوزه انرژی تجدیدپذیر است. در این پژوهش سناریوهای بر مبنای پژوهش‌های چندبعدی، کارگاه‌های خبرگان و بررسی‌های بینشی و ترکیبی طراحی شده‌اند. در نهایت ۴ سناریو تدوین شده‌اند که ناشی از دو عدم قطعیت با نام‌های توسعه‌های پیش‌روی محیطی و توسعه تکنولوژی‌های جایگزین می‌باشند (ولف و همکاران^۳، ۲۰۱۰).

سلیکتاس و کوکار (۲۰۱۰) در پژوهش خود با عنوان "از پیش‌بینی بالقوه تا آینده‌نگاری انرژی‌های تجدیدپذیر ترکیه با رویکرد دلفی" پس از استفاده از تحلیل بیلیومتریک^۴ به منظور شناسایی روندها و پیشران‌ها، با بهره‌گیری از دلفی دو مرحله‌ای به تشخیص و اندازه‌گیری تقاضای انرژی‌های تجدیدپذیر و آینده‌نگاری آن پرداخته‌اند.

علیزاده کردآباد؛ علیدوستی و گنجی (۱۳۹۳) در پژوهش خود با عنوان بررسی وضعیت آینده انرژی در ایران و ارائه راهکارهای پدافندی مناسب برای کاهش آسیب‌پذیری در بخش انرژی با رویکرد برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو، با بهره‌گیری از ترکیبی از روش‌های دلفی، پویش محیطی PEST، تحلیل اثرات متقابل و تکنیک ریپ ون وینکل به تدوین سناریو پرداخته‌اند. پیشران‌های

- 1 . Chen et al.
2. Futures scenario for the German photovoltaic industry
- 3 . Wolf. et al.
4. Bibliometric

کلیدی وزن‌دهی شده در این پژوهش به کمک نرم‌افزار، تحلیل و ۳ عامل کلیدی برای پردازش سناریوها در مکعب مدل فولتون اسکیزانتخاب شده که منجر به خلق ۳ سناریو مادر گردیده است.

۲-۱. وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور

منابع عمده شناخته شده انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی بادی، انرژی امواج، زمین گرمایی، زیست توده، هیدروژن و انرژی خورشیدی می‌باشد. پتانسیل هر کدام از انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران وضعیت مناسبی برای سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت بر روی پتانسیل‌های بالقوه آن‌ها ایجاد کرده است به طوری که طبق آمار منتشر شده توسط سازمان انرژی‌های نو ایران در انرژی بادی طبق اطلس بادی تهیه شده و بر اساس اطلاعات دریافتی از ۶۰ ایستگاه و در مناطق مختلف کشور، میزان ظرفیت اسمی سایتها در حدود ۶۰۰۰۰ مگاوات می‌باشد.

در خصوص انرژی خورشیدی با وجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم کشور و متوسط تابش ۵.۵-۴.۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز ایران یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است. موقعیت قرارگیری ایران در مرزهای تکتونیکی، نیروی عظیم نهفته در کالبد کشور را نشان می‌دهد. همچنین براساس طبقه‌بندی‌های صورت گرفته جهانی، ایران در گروه کشورهای که دارای ذخایر احتمالی برای تولید برق از انرژی زمین گرمایی با استفاده از سیکل‌های تبخیر لحظه‌ای و باینری (برای دوره ۳۰ ساله) قرار گرفته و قابلیت تولید برق زمین گرمایی با ظرفیت بیش از ۲۰۰ مگاوات است برای آن پیش‌بینی شده است.

پتانسیل حداکثر تولید برق از انواع نیروگاه‌های زیست توده در سال ۸۶ برای شهرهای بالاتر از ۲۵۰ هزار نفر (۳۰ شهر) بالغ بر ۸۰۰ مگاوات به تفکیک ۳۱۱ مگاوات نیروگاه زباله سوز، ۲۱۷ مگاوات نیروگاه پیرولیز-گازی‌سازی، ۱۵۹ مگاوات نیروگاه هضم بی‌هوازی و ۱۱۲ مگاوات نیروگاه لندفیل بوده است. شایان ذکر است به کارگیری پتانسیل‌های برآورد شده نه تنها به استحصال انرژی بلکه به رفع بخش عظیمی از مشکلات مربوط به آلودگی و مسائل زیست محیطی ناشی از مدیریت پسماندها نیز کمک شایانی خواهد نمود. (وزارت نیرو سازمان انرژی‌های نو ایران)

۲-۲. پیشران‌های حوزه انرژی تجدیدپذیر

پیشران‌ها معمولاً عواملی خارج از کنترل هستند و می‌توانند سیاسی، اجتماعی یا روندهایی مانند روندهای تکنولوژیک باشد. به همان اندازه که این پیشران‌ها در ساخت و تعریف محیط اهمیت دارند، فهم آن‌ها نیز در فرایند تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی حائز اهمیت است (بواسون، ۲۰۰۴). شوارتز ادعا می‌کند کارکردن با نیروهای پیشران اغلب به ایجاد بیشه عمیق‌تر در مورد روندهای قدرتمند و اساسی که در ورای این پیشران‌ها قرار دارند کمک می‌نماید (شوارتز، ۲۰۰۳). جدول شماره ۱ نشان‌دهنده انواع پیشران‌های مرتبط با سیاست‌گذاری‌های انرژی تجدیدپذیر می‌باشد که در مقالات مختلف به آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۱. پیشران‌های انرژی تجدیدپذیر مستخرج از مرور ادبیات

| پیشران | بعد |
|---------------------------------------|--------------|
| امنیت منابع انرژی ^(p1) | سیاسی (P) |
| فشار قوانین محیط‌زیست (s1) | اجتماعی (S) |
| جنبه‌های کارآفرینی (s2) | اجتماعی (S) |
| پتانسیل نوآوری (t1) | فناورانه (T) |
| روندهای تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر (t2) | فناورانه (T) |
| رشد فناوری‌های کم‌مصرف (t3) | فناورانه (T) |
| رشد اقتصادی کشور (e1) | اقتصادی (E) |
| پویایی جمعیت و شهرنشینی (s3) | اجتماعی (S) |
| تغییر الگوهای مصرف (s4) | اجتماعی (S) |
| تقاضای انرژی (s6) | اجتماعی (S) |
| سراجه مصرف انرژی (s7) | اجتماعی (S) |
| سطح فناوری‌های حوزه انرژی (t3) | فناورانه (T) |

۱. امنیت انرژی از جمله مواردی است که مستقیماً با دولت‌ها در واحدهای سیاسی سروکار دارد. گرچه بنگاه‌های بزرگ بزرگ بین‌المللی نفت و گاز نیز در این زمینه نگرانی‌های خاص خود را دارند، اما انرژی و تأمین آن از جمله دغدغه‌های همیشگی حکومت‌ها و دولت‌هاست.

| پیش‌ران | بعد |
|--|--------------|
| کل ذخایر انرژی فسیلی (e2) | اقتصادی (E) |
| میزان سرمایه‌گذاری خارجی در بخش انرژی (e3) | اقتصادی (E) |
| شدت انرژی ^۱ (e4) | اقتصادی (E) |
| اجرای شدن پروتوکل کیوتو (s8) | اجتماعی (S) |
| توانمندی تکنولوژیک داخلی (t4) | فناورانه (T) |
| وابستگی به واردات انرژی (p2) | سیاسی |
| قیمت نفت (e5) | اقتصادی |
| سیاست خارجه کشور (p3) | سیاسی |
| تحریم و فشارهای غرب (p4) | سیاسی |
| جنگ و حملات تروریستی (p5) | سیاسی |
| ثبات سیاسی (p6) | سیاسی |

مأخذ: نتایج تحقیق.

۳. روش پژوهش

این مطالعه یک رویکرد ترکیبی تحلیلی بر اساس روش‌های دلفی، دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای شناسایی و رتبه‌بندی پیش‌ران‌های حوزه انرژی تجدیدپذیر در کشور می‌باشد. در مرحله اول، عوامل تأثیرگذار بر سبک و روش اکتساب تکنولوژی را شناسایی می‌کنیم. در این مرحله، ابتدا پیش‌ران‌های موجود در ادبیات را مورد مطالعه قرار داده و در ادامه با بررسی ادبیات و نظرات کارشناسان مربوطه و استفاده از روش دلفی فازی پیش‌ران‌های حوزه انرژی تجدیدپذیر را غربال و دسته‌بندی می‌کنیم. در مرحله دوم، ابعاد این پیش‌ران‌ها را با استفاده از گام‌های دیمتل فازی ساختاردهی کرده و روابط علت و معلولی آنها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. سپس در مرحله سوم، ساختار سلسله مراتب شکل می‌گیرد که هدف در اولین سطح و خوشه‌ها و پیش‌ران‌ها در سطوح

۱. شدت انرژی از جمل شاخص‌های معتبر در بررسی کارایی مصرف انرژی می‌باشد که از تقسیم مقدار مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی به دست می‌آید.

بعدی قرار می‌گیرند تا با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای پیشران‌ها را بر اساس میزان اهمیت رتبه‌بندی نماییم.

این پژوهش از نظر هدف کاربردی است؛ زیرا از دانش و تئوری‌های موجود، برای استفاده در محیط واقعی بهره برده است و از نظر ماهیت، توصیفی است. تحقیق توصیفی به توصیف و تفسیر آنچه را که هست می‌پردازد. در این پژوهش، برای جمع‌آوری اطلاعات لازم برای بررسی عوامل مؤثر از پرسشنامه استفاده می‌شود. بنابراین، از روش پیمایش سود جسته است. همچنین در این پژوهش از نظرات ۱۰ خبره شامل ۲ نفر دکتری اقتصاد انرژی، ۲ نفر دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی، ۲ نفر کارشناسی ارشد مهندسی انرژی تجدیدپذیر، ۲ نفر دانشجوی کارشناسی ارشد آینده‌پژوهی، ۱ نفر دکترای مدیریت استراتژیک و ۱ نفر دکترای آینده‌پژوهی استفاده شده است.

۳-۱. دلفی فازی

این روش توسط ایشی کاوا در سال ۱۹۹۳ ارائه شد (ایشیکاوا و همکاران^۱، ۱۹۹۳)، و از تکنیک دلفی سنتی و نظریه مجموعه فازی استخراج شده است. نوردرهان^۲ در سال ۱۹۹۵ نشان داد روش دلفی فازی می‌تواند ابهام درک مشترک از نظرات خبرگان برای تصمیم‌گیری گروهی را حل کند. محققان قبلی از اعداد فازی مثلثی، اعداد فازی ذوزنقه‌ای و عدد فازی گاوسی برای انتخاب توابع عضویت فازی استفاده کردند. گام‌های دلفی فازی بشرح ذیل است:

گام ۱: نظرات تصمیم‌گیری گروهی جمع‌آوری می‌شود. نمره ارزیابی هر معیار توسط هر کارشناس با استفاده از متغیرهای زبانی در پرسشنامه‌ها جمع‌آوری می‌گردد.

گام ۲: اعداد فازی مثلثی را ایجاد می‌کنیم. مقدار ارزیابی عدد فازی مثلثی هر یک از معیارها توسط کارشناسان محاسبه می‌شود. برای رسیدن به یک درک مشترک تصمیم‌گیری گروهی از میانگین هندسی استفاده می‌کنیم. فرمول محاسباتی به شرح رابطه ۱ می‌باشد:

1 . Ishikawa, A. et al.

2 . Noorderhoben, N.

$$a_j = \min_i \{a_{ij}\}, b_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ij}, C_j = \max_i \{c_{ij}\} \quad (1)$$

گام ۳: دی‌فازی کردن: برای دی‌فازی کردن وزن هر گزینه از رابطه ۲ استفاده می‌کنیم.

$$S_j = \frac{a_j + b_j + c_j}{3}, j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

گام ۴: غربال‌سازی شاخص‌های ارزیابی: در نهایت معیارهای مناسب را از بی‌شمار معیار با استفاده از حد آستانه α مورد غربال قرار می‌دهیم. اگر $S_j \geq \alpha$ معیار مورد نظر شاخص ارزیابی است و اگر $S_j < \alpha$ معیار مورد نظر حذف می‌گردد.

۳-۲. دیمتل فازی

روش دیمتل، از موسسه باتل مموریال مرکز تحقیقات ژنو نشأت گرفته است (گابوس و همکاران^۱، ۱۹۷۳)، و برای به تصویر کشیدن ساختار پیچیده روابط علت و معلولی به کار می‌رود. دیمتل برای ایجاد، و تجزیه و تحلیل مدل‌های ساختاری که روابط علی بین فاکتورها پیچیده می‌باشد یک روش جامع است و در هنگام بررسی یک مسأله، روابط علت و معلولی معیارها را می‌توان به وضوح مشاهده کرد (چن و همکاران، ۲۰۰۷). اگرچه دیمتل یک روش خوب برای ارزیابی مسائل می‌باشد، اما روابط سیستم‌ها عموماً توسط مقادیر قطعی در ایجاد یک مدل ساختاری مشخص می‌شوند. با این حال، در این دنیای واقعی، مقادیر قطعی ناکافی و بسیاری از معیارهای ارزیابی قطعاً ناقص و فاکتورها احتمالاً نامشخص هستند. بنابراین، تئوری فازی (زاده^۲، ۱۹۶۵) در روش دیمتل برای حل چنین مشکل MCDM بکار می‌رود. روش دیمتل فازی را محققان زیادی در ادبیات (چانگ و همکاران^۳، ۲۰۱۱) با توجه به این واقعیت که قضاوت انسان در مورد ترجیحات اغلب مبهم و ارزیابی توسط مقادیر عددی دقیق دشوار می‌باشد مورد استفاده قرار دادند.

1. Gabus, A. et al.
2. Zadeh, L. A.
3. Chang, B.

مراحل دیمتال فازی بشرح ذیل است:

گام ۱: ایجاد ماتریس روابط مستقیم فازی. کارشناسان مجموعه‌ای $n \times n$ از مقایسات زوجی به منظور تأثیر و نفوذ معیارهای ضروری ماتریس \tilde{A} را ایجاد می‌کنند. که در آن $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ نشان دهنده درجه‌ای که معیار i بر معیار j کارشناسان تأثیر می‌گذارد. گام ۲: ایجاد ماتریس روابط مستقیم فازی نرمالایز شده. پس از ایجاد ماتریس روابط مستقیم در گام قبل، می‌توانیم با نرمالایز کردن ماتریس روابط مستقیم به روش دیمتال ادامه دهیم. بر اساس ماتریس رابطه مستقیم \tilde{A} ، ماتریس روابط مستقیم نرمالایز شده \tilde{X} می‌تواند از طریق رابطه ۳ ایجاد شود.

$$S = 1 / \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n U_{ij}, \quad \tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$$

$$\tilde{X} = s \times \tilde{A}. \quad (3)$$

گام ۳: ایجاد ماتریس روابط کل فازی. هنگامی که ماتریس روابط مستقیم نرمالایز شده \tilde{X} ایجاد شد، ماتریس روابط کل \tilde{T} ، می‌تواند با استفاده از روابط زیر که در آن I نشان‌دهنده ماتریس واحد می‌باشد، ایجاد شود. $\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ را بیابید و سه ماتریس قطعی که عناصرش از \tilde{X} استخراج شده به شرح ذیل تعریف کنید:

$$T_z = \begin{bmatrix} z & & z & & z \\ t_{11} & \dots & t_{1j} & \dots & t_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z & & z & & z \\ t_{i1} & \dots & t_{ij} & \dots & t_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z & \dots & z & & z \\ t_{n1} & & t_{nj} & \dots & t_{nn} \end{bmatrix} \quad X_2 = \begin{bmatrix} 0 & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & 0 & \dots & m_{2n} \\ \vdots & & \vdots & \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad X_3 = \begin{bmatrix} 0 & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & 0 & \dots & u_{2n} \\ \vdots & & \vdots & \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

ماتریس روابط کل فازی بر اساس رابطه ۴ تا ۷ به شرح ذیل به دست می‌آید:

$$\tilde{T} = \tilde{X}(I - \tilde{X})^{-1}. \quad (4)$$

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \tilde{t}_{12} & \cdots & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{21} & \tilde{t}_{22} & \cdots & \tilde{t}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{n1} & \tilde{t}_{n2} & \cdots & \tilde{t}_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{t}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$$

$$\text{Matrix } [l'_{ij}] = X_l(I - X_l)^{-1}, \quad (5)$$

$$\text{Matrix } [m'_{ij}] = X_m(I - X_m)^{-1}, \quad (6)$$

$$\text{Matrix } [u'_{ij}] = X_u(I - X_u)^{-1}, \quad (7)$$

گام ۴: ایجاد ماتریس وابستگی درونی. در این گام، بعد از دیفازی کردن ماتریس روابط کل \tilde{T} با استفاده از رابطه ۸، جمع هر ستون در ماتریس روابط کل با روش نرمالایز کردن برابر یک خواهد شد.

$$F(\tilde{t}_{ij}) = 1/2 \int_0^1 \inf_{x \in R} \tilde{t}_{ij}^\alpha + \sup_{x \in R} \tilde{t}_{ij}^\alpha d\alpha. \quad (8)$$

سپس ماتریس وابستگی درونی را می‌توان ایجاد کرد تا در سوپر ماتریس وزن‌دهی نشده ANP مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۳. فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی

هدف از روش ANP حل مسائل دارای وابستگی درونی و بازخورد راه حل‌ها در میان معیارها یا گزینه‌ها می‌باشد. فرآیند تحلیل شبکه‌ای شکل کامل‌تری از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است، که در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره به منظور در نظر گرفتن ساختارهای غیر سلسله مراتبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. MCDM برای انتخاب پروژه، برنامه‌ریزی تولید و غیره بکار می‌رود.

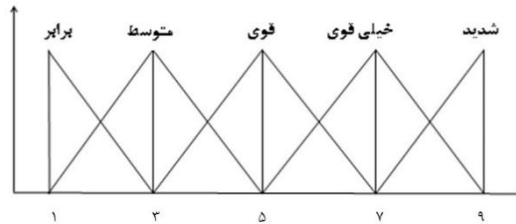
در اولین مرحله ANP معیارهای اندازه‌گیری در کل سیستم برای ایجاد یک سوپرماتریس با استفاده از مقایسات زوجی انجام مقایسه می‌شوند. اهمیت نسبی مقادیر مقایسات زوجی می‌تواند از ۱ تا ۹ به منظور اهمیت مساوی ۱ تا اهمیت شدید ۹ دسته‌بندی شوند (ساعتی^۱، ۱۹۸۰).

در ابتدا باید مقیاس زبانی فازی را برای ارزیابی طراحی کنیم و روابط درون و میان ویژگی‌ها با استفاده از نظر کارشناسان از طریق تجزیه و تحلیل مقایسات زوجی مورد نیاز است. اولاً، به منظور اندازه‌گیری روابط، تابع عضویت فازی در جدول ۲ نشان داده شده است. درجات مختلف نفوذ و ارزش‌های زبانی متناظر با آن‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۲. تعاریف و تابع عضویت عدد فازی

| عدد فازی | متغیر زبانی | عدد فازی مثلثی |
|----------|----------------|----------------|
| 9 | اهمیت شدید | (۷,۹,۹) |
| 7 | اهمیت خیلی قوی | (۵,۷,۹) |
| 5 | اهمیت قوی | (۳,۵,۷) |
| 3 | اهمیت متوسط | (۱,۳,۵) |
| 1 | اهمیت برابر | (۱,۱,۳) |

مأخذ: نتایج تحقیق.



نمودار ۱. تابع عضویت فازی برای متغیر زیبایی

پس از آن، سوپرماتریس موزون به وسیله ضرب سوپرماتریس تأثیر، که مطابق با روش دیمتل به دست آمده است، حاصل می‌شود. سوپرماتریس موزون، با تغییر مجموع تمام ستون‌ها به ستون واحد ایجاد می‌شود. این گام بیشتر شبیه مفهوم زنجیره مارکوف است که در آن اطمینان حاصل می‌کنیم مجموع این احتمالات از همه حالات برابر ۱ است. هر چند، می‌دانیم که تأثیر هر معیار ممکن است مطابق با نتایج روش دیمتل متفاوت است. اگر درجات تأثیر این معیار مساوی در نظر گرفته شود، می‌توان از روش میانگین برای حصول سوپرماتریس موزون استفاده نمود. نتایج وزن‌های ارزیابی شده بالاتر و پایین‌تر از موقعیت واقعی خواهد بود. به این دلیل، روش دیمتل را برای غلبه بر محدودیت‌ها به کار می‌گیریم و فرض می‌کنیم که سوپرماتریس تأثیر T_p مطابق با نتایج روش دیمتل تعیین می‌شوند. به دلیل سطح تأثیر بین معیارها در ماتریس روابط کلی T_p متفاوت هستند، تمام معیارهای ماتریس تأثیر کلی T_p باید نرمال‌سازی شوند. عناصر نرمال شده ماتریس تأثیر نهائی T_p عبارتند از:

$$t_{ij}^z = \frac{t_{ij}^p}{\sum_{i=1}^n t_{ij}^p}$$

و ماتریس تأثیر نهائی T_z به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_z = \begin{bmatrix} t_{11}^z & \cdots & t_{1j}^z & \cdots & t_{1n}^z \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{i1}^z & \cdots & t_{ij}^z & \cdots & t_{in}^z \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{n1}^z & \cdots & t_{nj}^z & \cdots & t_{nn}^z \end{bmatrix}$$

بعد از ایجاد سوپرماتریس، سوپرماتریس وزن‌دهی شده با تبدیل کردن مجموع همه ستون‌ها ایجاد می‌شود. سپس، از سوپرماتریس وزن‌دهی شده برای ایجاد سوپرماتریس محدود با رابطه ۹ برای محاسبه وزن نهایی استفاده می‌کنیم.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} w^k \quad (9)$$

در این مرحله، اگر سوپرماتریس نشان‌دهنده علامت تکرار باشد، پس بیشتر از یک سوپرماتریس محدود وجود خواهد داشت. یعنی سوپرماتریس‌های محدود بیشتری وجود خواهد داشت، و برای ایجاد اولویت در میان ماتریس‌ها باید مجموع آن‌ها محاسبه شود. مجموع با استفاده رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{k=1}^N W^k \quad (10)$$

از رابطه ۱۰ تأثیر به طور متوسط سوپرماتریس محدود محاسبه می‌شود. در غیر اینصورت، سوپرماتریس می‌تواند با توان بیشتر برای ایجاد اولویت وزن‌ها افزایش پیدا کند. مراحل محاسبه ANP فازی به شرح ذیل می‌باشد:

گام ۱: ابعاد و معیارهای مدل تأیید شوند.

گام ۲: مدل سلسله مراتبی ANP با استفاده از ابعاد و معیارها توسعه پیدا می‌کند.

گام ۳: وزن‌های محلی ابعاد و معیارها را با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی تعیین کنید. فرض کنید که هیچ وابستگی بین معیارها وجود ندارد. اهمیت نسبی مقادیر مقایسات زوجی در جدول ۲ ارائه شده است.

گام ۴: ماتریس وابستگی درونی هر بعد را با در نظر گرفتن ابعاد دیگر تعیین کنید. در مرحله ۳، وابستگی وزن‌های محلی در ماتریس داخلی محاسبه می‌شود، در این گام به دنبال محاسبه وزن‌های به یکدیگر وابسته ابعاد هستیم.

گام ۵: وزن‌های نهایی برای زیر معیارها محاسبه می‌شود. این را می‌توان با ضرب وزن‌های محلی هر زیرمعیار با وزن‌های به یکدیگر وابسته مرتبط با ابعاد انجام داد.

۴. تحلیل داده‌های پژوهش

در مرحله نخست پس از جمع‌آوری پیشران‌ها با استفاده از مرور ادبیات (جدول ۱)، با استفاده از نظرات خبرگان هر کدام از پیشران‌ها طبق گام‌های پنج‌گانه (ذکر شده در بخش ۵.۱) نمره ارزیابی داده شد. به منظور انجام دلفی فازی در این قسمت از مقیاس زبانی مطابق با جدول ۳ استفاده شد.

جدول ۳. مقیاس زبانی دلفی فازی

| مقیاس زبانی | مقیاس‌های فازی مثلثی (l,m,r) |
|--------------------------|------------------------------|
| پیشران خیلی مهم: ۴ | (۰/۷۵, ۱/۰۰, ۱/۰۰) |
| پیشران مهم: ۳ | (۰/۵۰, ۰/۷۵, ۱/۰۰) |
| پیشران با اهمیت متوسط: ۲ | (۰/۲۵, ۰/۵۰, ۰/۷۵) |
| پیشران با اهمیت کم: ۱ | (۰/۰۰, ۰/۲۵, ۰/۵۰) |
| پیشران بی‌اهمیت: ۰ | (۰/۰۰, ۰/۰۰, ۰/۲۵) |

مأخذ: نتایج تحقیق

پس از میانگین‌گیری هندسی از ارزیابی‌ها و دی‌فازی کردن نتایج با توجه به میانگین و انحراف معیار داده‌ها مقدار حد آستانه α با استفاده از توزیع نرمال استاندارد (با ضریب اطمینان ۹۰ درصد) محاسبه شد و مورد تأیید خبرگان نیز قرار گرفت. نتایج نهایی حاکی از آن بود که با توجه به مقدار آلفا برابر ۰/۶۳۷/۸۰، پیشران در پایان مرحله دوم دلفی از جمع پیشران‌ها حذف شوند. دلایل حذف (نمره ارزیابی کم) این پیشران‌ها در مرحله اول دلفی توسط برخی خبرگان مطرح شد و در مرحله دوم مورد تأیید دیگر خبرگان قرار گرفت. عمده دلایل حذف این پیشران‌ها مفهوم یکسان و یا همبستگی زیادشان با دیگر پیشران‌های موجود عنوان شد. به طور مثال پیشران "تقاضای انرژی" خود

در برگرفته پیشران‌های "سرانه مصرف انرژی" و همچنین "تغییر در الگوهای مصرف" می‌باشد. پیشران‌های "امنیت انرژی، جنبه‌های کارآفرینی، پتانسیل نوآوری، رشد فناوری‌های کم مصرف، تغییر الگوهای مصرف، سرانه مصرف انرژی، شدت انرژی و اجرایی شدن پروتوکل کیوتو" پیشران‌های حذف شده در پایان مرحله دوم دلفی بودند.

در مرحله بعد که میزان وابستگی ابعاد را به یکدیگر بررسی می‌کند، ابتدا با نظرخواهی از خبرگان گرافی بدست آمد که تمامی ابعاد آن با یکدیگر تأثیر گذار و از هم تأثیر پذیر بود. پس از نمره‌دهی بر اساس متغیر فازی کلامی مطابق با جدول ۴، روابط مستقیم توأم با شدت نسبی بدست آمد.

جدول ۴. متغیر فازی کلامی دیمتل

| مقیاس زبانی | | مقیاس های فازی مثلثی | | |
|-------------|---------------|----------------------|-----|-----|
| ۴ | اثر خیلی زیاد | ۰/۷ | ۰/۹ | ۱ |
| ۳ | اثر زیاد | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ |
| ۲ | اثر کم | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ |
| ۱ | اثر خیلی کم | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۵ |
| ۰ | بدون تأثیر | ۰ | ۰/۱ | ۰/۳ |

مأخذ: نتایج تحقیق.

بنابراین از خبرگان خواسته شد تا روابط بین ۴ بعد پیشران‌های مهم در آینده حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر را اندازه‌گیری کنند. بر اساس میانگین نظرات خبرگان در ابتدا، ماتریس روابط مستقیم فازی F_4 با استفاده مقایسات زوجی شکل گرفت (جدول ۵) و با توجه به رابطه (۳) ماتریس روابط مستقیم فازی نرمالایز شده \tilde{X} ایجاد شد. سپس از روابط ۴ تا ۷ برای محاسبه ماتریس روابط کل فازی

\tilde{T} استفاده می‌کنیم. پس از آن با استفاده از رابطه ۸ ماتریس وابستگی داخلی را به دست آوردیم. پس از دی‌فازی‌سازی با توجه به مذاکره با خبرگان، ارزش آستانه‌ای در این تحقیق، میانگین کل اعداد حاصل از جدول ماتریس روابط مستقیم و غیرمستقیم دی‌فازی شده در نظر گرفته شد. بدین جهت، ارزش آستانه‌ای در این پژوهش ۰/۱۶۷ در نظر گرفته شد و میزان وابستگی برای اعداد کمتر از ارزش آستانه‌ای صفر قرار داده شد. بر اساس این فرایند تأثیر ابعاد فناورانه بر سیاسی، فناورانه بر اجتماعی، اقتصادی بر سیاسی و اجتماعی بر فناورانه به ترتیب با اعداد دی‌فازی شده ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۱ و ۰/۰۴ در نظر گرفته خواهد شد. ماتریس وابستگی نهایی که نشان‌دهنده اثرات مستقیم و غیرمستقیم تأیید شده ابعاد بر یکدیگر است و از آن در سوپر ماتریس وزن‌دهی نشده ANP استفاده خواهد شد در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵. ماتریس روابط مستقیم فازی

| | S | E | P | T | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---|
| | (۰.۳, ۰.۴۱, ۰.۴۸) | (۰.۲۲۵, ۰.۴۵, ۰.۷) | (۰.۱, ۰.۳۵, ۰.۵۲) | (۰, ۰, ۰) | T |
| | (۰.۶, ۰.۷۶, ۰.۹۶) | (۰.۵, ۰.۷, ۰.۹۲) | (۰, ۰, ۰) | (۰.۳۲, ۰.۶۵, ۰.۸۶) | P |
| | (۰.۴, ۰.۶۵, ۰.۸۷۵) | (۰, ۰, ۰) | (۰.۱۵, ۰.۳۲, ۰.۴۵) | (۰.۳۵۵, ۰.۵۷۵, ۰.۸) | E |
| | (۰, ۰, ۰) | (۰.۲۵, ۰.۵, ۰.۷۲۵) | (۰.۲۷۵, ۰.۵, ۰.۷۵) | (۰.۰۷, ۰.۱۵, ۰.۲) | S |

مأخذ: نتایج تحقیق.

جدول ۶. ماتریس وابستگی نهایی ابعاد

| | S | E | P | T | |
|--|------|------|------|------|---|
| | ۰/۰۰ | ۰/۲۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | T |
| | ۰/۴۳ | ۰/۴۰ | ۰/۰۰ | ۰/۳۰ | P |
| | ۰/۳۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۲۳ | E |
| | ۰/۰۰ | ۰/۲۲ | ۰/۱۸ | ۰/۰۰ | S |

مأخذ: نتایج تحقیق.

پس این مرحله از ANP فازی برای محاسبه وزن پیشران‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها استفاده کردیم. در این رابطه مقایسه زوجی بر اساس جدول ۲ انجام گرفت. سپس بردارهای ویژه هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی به دست آمده و در درون سوپر ماتریس قرار داده گرفت. ماتریس‌های مربوط به وابستگی‌های داخلی در سوپر ماتریس نیز از جدول نهایی وابستگی داخلی در مرحله قبل استخراج شد. جهت محاسبه وزن نهایی پیشران‌ها، سوپر ماتریس به دست آمده را با استفاده از رابطه ۹ به توان مراتب فرد بالا می‌رسانیم.

سوپر ماتریس نهایی با استفاده از نرم‌افزار Super Decision به دست آمد. وزن نهایی هر معیار مستخرج از سوپر ماتریس محدود در جدول ۷ قابل مشاهده است.

جدول ۷. وزن نهایی پیشران‌ها منتج از سوپر ماتریس محدود

| وزن نهایی سوپر ماتریس | پیشران | نماد |
|-----------------------|---------------------------------------|------|
| ۰/۰۴۳ | فشار قوانین محیط‌زیست | (s1) |
| ۰/۰۵۲ | روندهای تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر | (t2) |
| ۰/۰۳۸ | رشد اقتصادی کشور | (e1) |
| ۰/۰۲۲ | پویایی جمعیت و شهرنشینی | (s3) |
| ۰/۰۸۷ | تقاضای انرژی | (s6) |
| ۰/۰۶۵ | سطح فناوری‌های حوزه انرژی | (t3) |
| ۰/۰۲۱ | کل ذخایر انرژی فسیلی | (e2) |
| ۰/۱۰۴ | میزان سرمایه‌گذاری خارجی در بخش انرژی | (e3) |
| ۰/۱۴۳ | توانمندی تکنولوژیک داخلی | (t4) |
| ۰/۰۴۳ | وابستگی به واردات انرژی | (p2) |
| ۰/۰۱۳ | قیمت نفت | (e5) |
| ۰/۰۸۴ | سیاست خارجه کشور | (p3) |
| ۰/۰۸۵ | تحریم و فشارهای غرب | (p4) |
| ۰/۰۷۶ | جنگ و حملات تروریستی | (p5) |
| ۰/۱۲۴ | ثبات سیاسی | (p6) |

مأخذ: نتایج تحقیق.

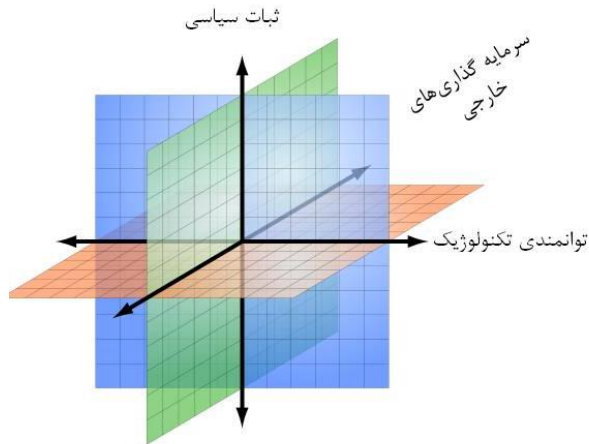
۵. نتیجه‌گیری

طبق نتایج نهایی سوپرماتریس تحلیل شبکه‌ای سه پیشران نخست بدست آمده از مدل رتبه‌بندی پیشران‌های حوزه انرژی تجدیدپذیر، عبارت‌اند از "توانمندی تکنولوژیک"، "ثبات سیاسی" و "سرمایه‌گذاری‌های خارجی در بخش انرژی" که به ترتیب با اوزان ۰/۱۴۳، ۰/۱۲۴ و ۰/۱۰۴ در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند. بنابراین توانمندی تکنولوژیک که به قابلیت‌های بومی کشور برای شناسایی، اکتساب، جذب، استفاده، تغییر یا ایجاد تکنولوژی اشاره دارد مهم‌ترین پیشران وضعیت آینده انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور در این مدل معرفی شده است. افزایش توانمندی تکنولوژیک کشور در وضعیت آینده انرژی تجدیدپذیر و فناوری‌های آن حتی می‌تواند منجر به صادرات انرژی و کسب درآمدهای ارزی از طریق دانش و فناوری گردد. توجه به مفهوم اکتساب تکنولوژی به جای انتقال تکنولوژی از کشورهای پیشرفته می‌تواند یکی از مهم‌ترین راه‌کارها در بهبود مسیر این پیشران قلمداد گردد.

ثبات سیاسی از طرفی به منزله سیاست‌های خارجی کشور و نوع ارتباطات جهانی در حوزه‌های فناوری و از طرفی به ثبات سیاست‌گذاری‌های بخش انرژی در درازمدت اشاره دارد. تجربه کشورهای پیشرفته نیز نشان داده است که عدم ثبات سیاست‌گذاری برای انتخاب نوع فناوری‌ها و انرژی مورد استفاده اغلب به نتایجی غیرمؤثرتر تبدیل خواهد شد. پیشران جذب سرمایه‌گذاری‌های خارجی نیز مؤید آن است که مبنای ثبات سیاسی باید هرچه بیشتر به سمت ارتباطات گسترده جهانی و درک بیشتر مفاهیمی چون نوآوری باز پیش رود.

لذا می‌توان با استفاده از نتایج بدست آمده ماتریس سناریوهای انرژی تجدیدپذیر را در سه بعد طراحی نمود. نمودار ۱ این ماتریس ۳ بعدی را نمایش می‌دهد. این ماتریس می‌تواند در برگزیده ۸ سناریو متفاوت باشد و سناریو مطلوب نیز در آن اساس برنامه‌ریزی‌های استراتژیک و پروژه‌های آینده‌نگاری قرار گیرد. به طور یقین با توجه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم پیشران توانمندی تکنولوژی بر توسعه اقتصادی کشور از جنبه‌های گوناگون می‌توان گفت سناریو مطلوب در نیمه

سمت راست ماتریس سناریو خواهد بود و با توجه به اندازه مطلوبیت سرمایه‌گذاری خارجی و ثبات سیاسی محل دقیق آن به عنوان هدف برنامه‌های بلندمدت مشخص خواهد شد.



نمودار ۳. ماتریس سناریو ۳بعدی انرژی‌های تجدیدپذیر

همچنین نتایج حاصله حاکی از آن است که در زمینه مدیریت استراتژیک و تدوین چشم‌انداز در حوزه انرژی تجدیدپذیر کشور، در وهله اول برنامه‌های بلندمدت اکتساب تکنولوژی و از سوی دیگر ثبات سیاست‌گذاری‌ها در این حوزه و همچنین جذب سرمایه‌های خارجی باید مبنای اصلی برنامه‌ها قرار گیرد.

با توجه به استفاده از روش‌های مبتنی بر نظر خبرگان در این مدل واضح است که نتایج حاصل، با افزایش تعداد خبرگان اعتبار بیشتری پیدا خواهد کرد. همان‌طور که در زمینه اجرای فرآیندهای آینده‌نگاری در سطح کلان در تمام کشورها از خبرگان بسیار زیادی نظر خواهی می‌شود. به هر حال با توجه به محدودیت‌های پژوهشگران در این راستا نتایج به دست آمده مبنای تئوریک قابل قبولی در برداشت و به نظر می‌رسد چنین فرایندی می‌تواند به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم علمی، مبنای رتبه‌بندی پیشران‌ها در پروژه‌های آینده‌نگاری در حوزه‌های دیگر نیز قرار گیرد.

منابع

- پوراحمدی، حسین و مهدی ذوالفقاری (۱۳۸۸) "دیپلماسی انرژی و منافع ملی جمهوری اسلامی ایران"، دانش سیاسی، شماره ۱۰.
- علیزاده کردآباد، رضا؛ علیدوستی و گنجی (۱۳۹۳)، "بررسی وضعیت آینده انرژی در ایران و ارائه راهکارهای پدافندی مناسب برای کاهش آسیب‌پذیری در بخش انرژی: با رویکرد برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو"، دومین همایش علمی مهندسی فرآیند، تهران، هم‌اندیشان انرژی کیمیا.
- معاونت امور برق و انرژی. دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۹۳)، ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱، ویراسته فریبا نیلچانی، تهران: وزارت نیرو. معاونت امور برق و انرژی.

- Al-Saleh, Y.(2009), "Renewable Energy Scenarios for Major Oil-producing Nations: the case of Saudi Arabia", *Futures*, 41(9), pp. 650-662, 2009.
- Boasson Y.(2004), "An Evaluation of Scenario Planning for Supply chain Design", *Massachusetts Institute of technology*.
- BP Statistical Review of world Energy (2014), *BP Statistical Review of world Energy Reviews*, 63rd edition.
- Celiktas, M. S. and Kocar, G. (2010), "From Potential Forecast to Foresight of Turkey's Renewable Energy with Delphi Approach", *Energy*, 35(5).
- Chang, B., Chang, C.-W., and Wu, C.-H. (2011), "Fuzzy DEMATEL Method for Developing Supplier Selection Criteria", *Expert Systems with Applications*, 38(3), pp.1850–1858.
- Chen, C.C., Tseng, M.L., and Lin, Y.H.(2008), "Using fuzzy DEMATEL to Develop a Causal and Effect Model of Hot Spring Service Quality Expectation", *In IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, No. 25, pp. 1004–1008.
- Chen, T.-Y.; Yu, O. S.; Hsu, G. J.-y.; Hsu, F.-M. and Sung, W.-N. (2009), "Renewable Energy Technology Portfolio Planning with Scenario Analysis: A Case Study for Taiwan", *Energy Policy*, 37(8), pp. 2900-2906.
- Chen-Yi, H.; Ke-Ting, C. and Gwo-Hshiung, T. (2007), "FMCDM with Fuzzy DEMATEL Approach for Customers' Choice Behavior Model", *International Journal of Fuzzy Systems*, 9(4), pp. 236–246.
- Costescu Badea, A. (2010), "Energy Security Indicators", *Institute for Energy Security Unit of the Joint Research Centre within the European Commission*, 19th–21st May, [online], <http://www.jrc.ec.europa.eu>, 2010.
- Future Group, Scenarios (1994), "AC/UNU Millennium Project", *Futures Research Methodology*.
- Gabus, A. and Fontela, E. (1973), "Perceptions of the World Problematique: Communication Procedure, Communicating with Those Bearing Collective Responsibility", *Dematel*, Switzerland Geneva: Battelle Geneva Research Centre, No.1.
- Ghanadan, R. and Koomey, J. G. (2005), "Using Energy Scenarios to Explore Alternative Energy Pathways in California", *Energy Policy*, 33(9), pp.1117-1142.
- Guan, D.; Hubacek, K.; Weber, C. L.; Peters, G. P. and Reiner, D. M. (2008), "The Drivers of Chinese CO 2 Emissions from 1980 to 2030", *Global Environmental Change*, 18(4), pp. 626-634.

- Hessari, F.A. (2005), "Sectional Energy Consumption in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 9, pp.203-214.
- Ishikawa, A.; Amagasa, M.; Shiga, T.; Tomizawa, G.; Tatsuta, R., and Mieno, H. (1993), "The Max–min Delphi Method and Fuzzy Delphi Method via Fuzzy Integration", *Fuzzy Sets and Systems*, No. 55, pp. 241-253.
- Kruyt, B.; van Vuuren, D. P.; De Vries, H. and Groenenberg, H. (2009), "Indicators for Energy Security", *Energy Policy*, 37(6), pp. 2166-2181.
- Lindgren, M. and Bandhold, H. (2002), "Scenario Planning: The link between future and strategy", *Palgrave Macmillan*.
- Liu, Y.; Guo, H.; Zhang, Z.; Wang, L.; Dai, Y. and Fan, Y. (2007), "An Optimization Method Based on Scenario Analysis for Watershed Management Under Uncertainty", *Environmental Management*, 39(5), pp. 678-690.
- Lund, H. and Mathiesen, B. V. (), "Energy System Analysis of 100% Renewable Energy Systems—the case of Denmark in years 2030 and 2050", *Energy*, 34(5), pp.524-531.
- Noorderhaben, N. (1995), *Strategic Decision Making*, UK: Addison-Wesley.
- Ong, C. S.; Huang, J. J. and Tzeng, G. H. (2004), "Multidimensional Data in Multidimensional Scaling Using the Analytic Network Process", *Pattern Recognition Letters*, 26(6), pp. 755-767.
- Patlitzianas, K. D.; Doukas, H.; Kagiannas, A. G. and Psarras, J. (2008), "Sustainable Energy Policy Indicators: Review and Recommendations", *Renewable Energy*, 33(5), pp. 966-973.
- Pohekar, S. and Ramachandran, M., "Application of Multi-criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning—a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), pp. 365-381.
- Ringland, G., and Shwartz, P. (1998), *Scenario Planning: Mmanaging for the Future*, John Wiley and Sons.
- Saaty, T. L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, NY: McGraw-Hill.
- Schwartz, P. (2003), *Inevitable Surprises: Thinking Ahead In Time of Turbulence*, New York: Gotham Books.
- Schwartz, P. (1991), *The Art of the long View: Paths to strategic insight for yourself and your company*, New York: currency/Doubleday.
- Sheikh, M. A. (2010), "Energy and Renewable Energy Scenario of Pakistan", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), pp. 354-363.
- Soontornrangson, W.; Evans, D.; Fuller, R. and Stewart, D. (2003), "Scenario planning for Electricity Supply", *Energy Policy*, 31(15), pp. 1647-1659.

Tser-Yieth Chen; Oliver S.; George Jyh-yih Hsu; Fang-Ming Hsu; Wei-Nown Sung f Chen.T and Yo.o, Hsu.G. (1987), "Renewable Energy Technology Portfolio Planning with Scenario Analysis: A case Study for Taiwan", *IBM Systems Journal*, Vol. 26, No. 3.

Wu, W., and Lee, Y.-T. (2007), "Developing Global Managers' Competencies Using the Fuzzy DEMATEL Method", *Expert Systems with Applications*, No. 32, pp.499–507.

Wulf, T., Meissner, P. and von Bernewitz, F. F (2010), *Future Scenarios for the German Photovoltaic Industry*.

Wuppertal institute (2006), "Driving Forces and Barriers for long Term Utilization of Renewable Energies", *an integrated approach*.

Zadeh, L. A. (1965), "Fuzzy Sets", *Information & Control*, No. 8, pp. 338–353.