فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی

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

ارائه مدلی به منظور رتبه‌بندی پیشران‌های 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 دولت آبادی

استادیار گروه مدیریت دانشگاه اصفهان،اصفهان، ایران

ho.rezaie@gmail.com

در این مقاله، پیشران‌های حوزه انرژی تجدیدپذیر در کشور با استفاده از یک رویکرد ترکیبی رتبه‌بندی شده است. از آن‌جا که شناسایی اهمیت پیشران‌ها یکی از ارکان اساسی انجام پروژه‌های کلان آینده‌نگاری و همچنین برنامه‌ریزی استراتژیک در حوزه مدیریت انرژی محسوب می‌شود، وجود مدلی در راستای رتبه‌بندی اهمیت پیشران‌ها می‌تواند بسیار کارساز واقع شود. در این مقاله، این مدل با استفاده از نظرات جمعی از خبرگان به صورت نمونه‌وار انجام شده است. ابتدا پیشران‌های 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 پیشران"توانمندی تکنولوژیک" و "ثبات سیاسی" به عنوان با اهمیت‌ترین پیشران‌های آینده می‌تواند مبنای طیف عدم‌قطعیت در تدوین سناریوهای آینده در حوزه انرژی تجدیدپذیر و همچنین خلق برنامه‌های استراتژیک قرار گیرد.

کلمات کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، پیشران انرژی، تدوین سناریو

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۲۶

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۱. مقدمه

از زمان بحران نفت در دهه ۱۹۷۰ میلادی توجه دنیا به طور فزاینده‌ای بـه انتشـار و توسـعه منـابع انرژی جایگزین وبرای کمتر شدن وابستگی به سوخت های 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 جهـان تـا سـال ۲۰۳۵ میلادی ۴۱ درصد افزایش خواهد یافت. این درصد رشد بسـیار بیشـتر از آن چـه در دهـه‌هـای گذشته شاهد آن بوده‌ایم می‌باشد. همچنین با توجـه بـه رشـد اقتصـادهای در حـال ظهـور تولیـد دی اکسید کربن نیز تا سال ۲۰۳۵ به مقدار ۲۹ درصد افزایش خواهـد یافـت. عـلاوه بـر مشـکلات اعظـم محیط زیستی ناشی از افزایش مصرف انرژی سؤال اصلی اینجاست که جهان چگونه به ایـن افـزایش 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[1]،۲۰۱۴).

مصرف انرژی در کشور ما نیز روندی رو به رشد دارد و به علت پـایین بـودن بهـره‌وری و مصـرف بالاتر از متوسط جهانی بحران مقوله انرژی در ایران جدی‌تر می‌نماید. با توجـه بـه ترازنامـه‌ی انـرژی در سال ۱۳۹۱ در کشور ایران سرانه مصرف انرژی در بخش‌های کشـاورزی، خـانگی، عمـومی و تجـاری، صنعت و حمل و نقل به ترتیب ۳/۳، ۱/۹، ۱/۵، ۱/۵ برابر متوسط جهانی است (ترازنامه انرژی سال۹۱).

توجه به این نکته ضروری است که رابطه تنگاتنگ میان تولید و مصـرف انـرژی همـواره باعـث ایجاد عدم قطعیت‌ها در دنیای آینده می‌شود (حصاری،۲۰۰۵). طبق آمار منتشـر شـده سـهم مصـرفی انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیا از مقدار معادل ۶۶/۹ میلیون بشکه به رکـورد ۲۴۰/۸ میلیـون بشـکه در سال ۲۰۱۰ رسیده است. این در حالی است که آمار مصرف انرژی تجدیدپذیر در ایـران بـا مقـداری نزدیک به ۰/۱ میلیون بشکه سهم بسیار کوچکی از این آمار را پوشش می‌دهد (بازبینی آماری انرژی

1. Annual Energy Outlook

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 رشدفناوری‌ها و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر نقش اساسی ایفا می‌کند، (چن[1] 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[2] بسیار کاراست. چرا که تدوین سناریو نیازهای آینده را پاسخ‌گویی می‌کند (سونتومرانگسون و همکاران[3]،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 ره بپوییم (لیندگرن و بندهولد[4]،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 پیش‌فرض وقوع حوادث مهم شکل می‌گیرد (گروه آینده[5]، 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[6]، 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

هرچند به منظور برنامه‌ریزی در حوزه انرژی تا کنون از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره متنوعی استفاده شده است (پوهکار و راماچاندران[1]، 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 تصمیم قلمداد 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[2] (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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

چن و همکاران[1] (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 فوتوولتاییک آلمان[2] (۲۰۱۰) یکی از نمونه‌های گزارشات آینده‌نگاری در حوزه انرژی تجدیدپذیر است. در این پژوهش سناریوها برمبنای 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[3]،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 بیبلیومتریک[4] 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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

۲-۱. وضعیت انرژی‌های تجدید پذیر 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 می باشد.

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 می دهد. همچنین براساس طبقه‌بندی‌های صورت گرفتهٔ جهانی، ایران در گروه کشورهایی که دارای ذخایر احتمالی برای تولید برق از انرژی زمین گرمایی با استفاده از سیکل‌های تبخیر لحظه‌ای و باینری (برای دورهٔ 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 کار گیری 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)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 بینشی 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

بعد	پیشران
سیاسی(P)	امنیت منابع انرژی[۱](p1)
اجتماعی(S)	فشار قوانین محیط‌زیست(s1)
اجتماعی(S)	جنبه‌های کارآفرینی(s2)
فناورانه(T)	پتانسیل نوآوری(t1)
فتاورانه(T)	روندهای تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر(t2)
فناورانه(T)	رشد فناوری‌های کم‌مصرف(t3)
اقتصادی(E)	رشد اقتصادی کشور(e1)
اجتماعی(S)	پویایی جمعیت و شهرنشینی(s3)
اجتماعی(S)	تغییر الگوهای مصرف(s4)
اجتماعی(S)	تقاضای انرژی(s6)
اجتماعی(S)	سرانه مصرف انرژی(s7)
فناورانه(T)	سطح فناوری‌های حوزه انرژی(t3)

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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

بعد	پیشران
اقتصادی(E)	کل ذخایر انرژی فسیلی(e2)
اقتصادی(E)	میزان سرمایه‌گذاری خارجی در بخش انرژی(e3)
اقتصادی(E)	شدت انرژی[1](e4)
اجتماعی(S)	اجرایی شدن پروتوکل کیوتو(s8)
فناورانه(T)	توانمندی تکنولوژیک داخلی(t4)
سیاسی	وابستگی به واردات انرژی(p2)
اقتصادی	قیمت نفت(e5)
سیاسی	سیاست خارجه کشور(p3)
سیاسی	تحریم و فشارهای غرب(p4)
سیاسی	جنگ و حملات تروریستی(p5)
سیاسی	ثبات سیاسی(p6)

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 می کنیم. 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 می دهیم. سپس در مرحله سوم، ساختار سلسله مراتب شکل می گیرد 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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 درمحیط 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[1]، ۱۹۹۳)، و از تکنیک دلفی سنتی و نظریه مجموعه فازی استخراج شده است. نوردربان[2] در سال ۱۹۹۵ نشان داد روش دلفی فازی می تواند 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:

گام۱: 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 . Noorderhaben, N.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

$$a_j = \min_i\{a_{ij}\}, b_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} b_{ij}, \quad C_j = \max_i\{c_{ij}\} \qquad (۱)$$

گام۳: دی‌فازی کردن: برای دی فازی کردن وزن هر گزینه از رابطه ۲ استفاده می‌کنیم.

$$S_j = \frac{a_j + b_j + c_j}{3}, j = 1,2,...,m \qquad (۲)$$

گام۴: 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 باتِل مموریال مرکز تحقیقات ژنو نشأت گرفته است (گابوس و همکاران[1]،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 می باشد یک روش جامع است و در هنگام بررسی یک مسأله ، روابط علت و معلولی معیارها را می توان 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[2]، ۱۹۶۵) در روش دیمتل برای حل چنین مشکل MCDM بکار می رود. روش دیمتل فازی را محققان زیادی در ادبیات (چانگ و همکاران[3]،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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

مراحل دیمتل فازی بشرح ذیل است:

گام۱: ایجاد ماتریس روابط مستقیم فازی. کارشناسان مجموعه‌ای n*n از مقایسات زوجی به منظور تأثیر و نفوذ معیارهای ضروری ماتریس $\tilde{A}$ را ایجاد می کنند. که در آن $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ نشان دهنده درجه ای که معیار i بر معیار j کارشناسان تأثیر می گذارد.

گام۲: ایجاد ماتریس روابط مستقیم فازی نرمالایز شده. پس از ایجاد ماتریس روابط مستقیم در گام قبل، می توانیم با نرمالایز کردن ماتریس روابط مستقیم به روش دیمتل ادامه دهیم. بر اساس ماتریس رابطه مستقیم $\tilde{A}$ ، ماتریس روابط مستقیم نرمالایز شده $\tilde{X}$ می‌تواند از طریق رابطه ۳ ایجاد شود.

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

$$\tilde{X} = s \times \tilde{A}. \qquad (۳)$$

گام۳: ایجاد ماتریس روابط کل فازی. هنگامی که ماتریس روابط مستقیم نرمالایز شده $\tilde{X}$ ایجاد شد، ماتریس روابط کل $\tilde{T}$، می تواند با استفاده از روابط زیر که در آن I نشان‌دهنده ماتریس واحد می باشد، 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:

$$T_z = \begin{bmatrix} z & & z & & z \\ t11 & \cdots & t1j & \cdots & t1n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z & \cdots & z & \cdots & z \\ ti1 & & tij & & tin \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ z & \cdots & z & \cdots & z \\ tn1 & & tnj & & tnn \end{bmatrix} \quad X_2 = \begin{bmatrix} 0 & m_{12} & \cdots & m_{1n} \\ m_{21} & 0 & \cdots & m_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad X_3 = \begin{bmatrix} 0 & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & 0 & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

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

$$\tilde{T} = \tilde{X}(I - \tilde{X})^{-1}. \qquad (۴)$$

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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

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

$$\text{Matrix}\left[l'_{ij}\right] = X_l (I - X_l)^{-1}, \quad (۵)$$

$$\text{Matrix}\left[m'_{ij}\right] = X_m (I - X_m)^{-1}, \quad (۶)$$

$$\text{Matrix}\left[u'_{ij}\right] = X_u (I - X_u)^{-1}, \quad (۷)$$

گام۴: 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 نرمالایزکردن برابر یک خواهد شد.

$$F(\tilde{t}_{ij}) = 1/2 \int_0^1 \inf_{x \in R} \tilde{t}_{ij}^{\alpha} + \sup_{x \in R} \tilde{t}_{ij}^{\alpha}) d\alpha. \quad (۸)$$

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 می باشد. 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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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[1]، ۱۹۸۰).

در ابتدا باید مقیاس زبانی فازی را برای ارزیابی طراحی کنیم و روابط درون و میان ویژگی‌ها با استفاده 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.

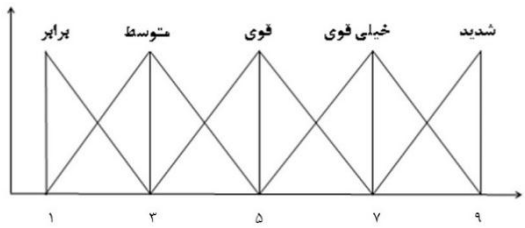
جدول۲. تعاریف و تابع عضویت عدد فازی

عدد فازی	متغیر زبانی	عدد فازی مثلثی
$\tilde{9}$	اهمیت شدید	(۷،۹،۹)
$\tilde{7}$	اهمیت خیلی قوی	(۵،۷،۹)
$\tilde{5}$	اهمیت قوی	(۳،۵،۷)
$\tilde{3}$	اهمیت متوسط	(۱،۳،۵)
$\tilde{1}$	اهمیت برابر	(۱،۱،۳)

مأخذ: نتایج تحقیق.

1 . Saaty

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



نمودار ۱. تابع عضویت فازی برای متغیر زبانی

پس از آن، سوپرماتریس موزون به وسیله ضرب سوپرماتریس تأثیر ، که مطابق با روش دیمتل به دست آمده است، حاصل می‌شود. سوپر ماتریس 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 :

$t_{ij}^{z} = \dfrac{t_{ij}^{p}}{\sum_{i=1}^{n} t_{ij}^{p}}$ و ماتریس تأثیر نهائی T_z به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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.

$$\lim_{k\to\infty} w^{k} \qquad (۹)$$

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:

$$\lim_{k\to\infty}\left(\frac{1}{N}\right)\sum_{k=1}^{N} W^{k} \qquad (۱۰)$$

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

گام۱: ابعاد و معیارهای مدل تأیید شوند.

گام۲: مدل سلسله مراتبی ANP با استفاده از ابعاد و معیارها توسعه پیدا می‌کند.

گام۳: 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.

گام۴: 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.

گام۵: 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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

٤. تحلیل داده‌های پژوهش

در مرحله نخست پس از جمع‌آوری پیشران‌ها با استفاده از مرور ادبیات (جدول۱)، با استفاده از نظرات خبرگان هرکدام 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.

جدول۳. مقیاس زبانی دلفی فازی

مقیاس زبانی	مقیاس های 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، ۸ 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

در برگیرنده 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 تأثیرگذار 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.

جدول۴. متغیرفازی کلامی دیمتل

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

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 ۴*۴ با استفاده مقایسات زوجی شکل گرفت (جدول ۵) و با توجه به رابطه (۳) ماتریس روابط مستقیم فازی نرمالایزشده $\tilde{X}$ ایجاد شد. سپس از روابط ۴ تا ۷ برای محاسبه ماتریس روابط کل فازی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

$\tilde{T}$ 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 شده‌ی ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۱و ۰/۰۴ در نظر گرفته نخواهد شد. ماتریس وابستگی نهایی که نشان‌دهنده اثرات مستقیم و غیرمستقیم تأیید شده ابعاد بر یکدیگر است و از آن در سوپرماتریس وزن‌دهی نشده ANP استفاده خواهد شد در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول۵. ماتریس روابط مستقیم فازی

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

مأخذ: نتایج تحقیق.

جدول۶. ماتریس وابستگی نهایی ابعاد

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

مأخذ: نتایج تحقیق.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 هریک از ماتریس‌های مقایسات زوجی به دست آمده و در درون سوپرماتریس 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، سوپرماتریس به دست آمده را با استفاده از رابطه ۹ به توان مراتب فرد بالا می رسانیم.

سوپرماتریس 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 سوپرماتریس محدود

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

مأخذ: نتایج تحقیق.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۵. نتیجه‌گیری

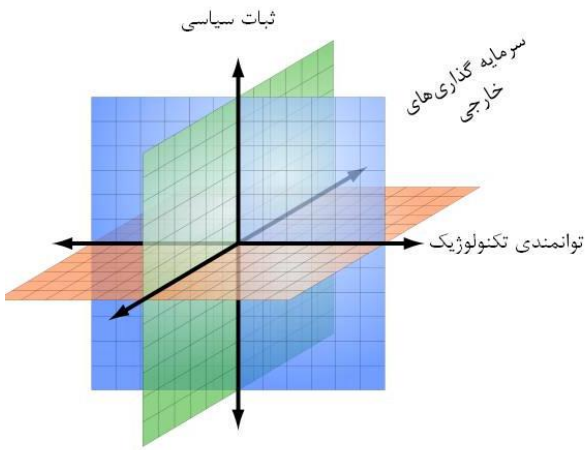
طبق نتایج نهایی سوپرماتریس تحلیل شبکه‌ای سه پیشران نخست بدست آمده از مدل رتبه‌بندی پیشران‌های حوزه انرژی تجدیدپذیر، عبارت‌اند از"توانمندی تکنولوژیک"، "ثبات سیاسی" و "سرمایه‌گذاری‌های خارجی در بخش انرژی" که به ترتیب با اوزان ۰/۱۴۳، ۰/۱۲۴و ۰/۱۰۴ در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند. بنابراین توانمندی 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 برگیرنده 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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، هم اندیشان انرژی کیمیا.

معاونت امور برق و انرژی.دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی(۱۳۹۳)، *ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱*، ویراستهٔ فریبا نیلچانی، تهران: وزارت نیرو.معاونت امور برق و انرژی.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 Shwarts, 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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]