DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2023.19507.1914

طراحی مدل جامع سبد منطقه‌ای انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران با تمرکز بر مناطق خشک (مقالهٔ پژوهشی)

۱- سنا محمدی‌شاهیوردی، دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشکده اقتصاد مدیریت و حسابداری، یزد، ایران.
۲- سیدحبیب‌الله میرغفوری*، دانشیار مدیریت تولید و عملیات، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، یزد، ایران.
mirghafoori@yazd.ac.ir
۳- علیرضا ناصرصدرآبادی، دانشیار مدیریت تولید و عملیات، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، یزد، ایران.

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۰

چکیده

کشور ایران علاوه بر دارابودن منابع سرشار از سوخت‌های فسیلی، دارای ظرفیت بالقوه فراوان انرژی‌های تجدیدپذیر است. از طرفی با توجه به تنوع آب‌وهوایی، شرایط طبیعی و قابلیت های موجود در مناطق مختلف کشور، می‌بایست به جای برنامه‌ریزی کشوری به سمت برنامه‌ریزی انرژی منطقه‌ای و تدوین یک سبد انرژی تجدیدپذیر منطقه‌ای حرکت کرد. در پژوهش حاضر، ابتدا معیارهای ظرفیت‌سنجی انواع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، برق آبی و زیست‌توده، بر اساس نقشه‌های سامانه جغرافیایی و اطلاعات دریافت شده در سازمان هواشناسی و ساتبا، برای ۱۳۶۱ طول و عرض جغرافیایی، امتیازدهی گردیده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار Rapidminer نقاط جغرافیایی در پنج خوشه، تقسیم‌بندی گردید که هر خوشه شامل مناطق هم ظرفیت با بیشترین تشابه است. از این ۵ خوشه، دو خوشه جزو مناطق خشک کشور محسوب می‌شوند. سپس بر اساس بررسی منابع کتابخانه‌ای و استفاده از نظرات خبرگان ساتبا (گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر)، یک مدل استنتاج فازی بر اساس ۵ معیار توسعهٔ پایدار شامل: دسترسی به فناوری، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌وری سرمایه، میزان اشتغال، و پیامدهای محیط زیستی به همراه معیار ظرفیت‌سنجی طراحی گردید و براساس قوانین فازی تعریف‌شده بر روی این معیارها، درصد سهم هر نوع انرژی در سبد انرژی هر خوشه محاسبه شد. در گام نهایی، بر اساس معیارهای جمعیت‌شناختی شامل نرخ بیکاری، نرخ رشد جمعیت، فرهنگ پذیرش (نرخ باسوادی)، امنیت سرمایه‌گذاری، به اولویت‌بندی خوشه‌ها برای برنامه‌ریزی راهبردی دولت و سایر نهادهای تأثیرگذار همچون استانداری‌ها، شهرداری‌ها و اتاق‌های بازرگانی پرداخته شد. بطور نمونه، در خوشهٔ ۴ که شامل برخی شهرهای استان‌های اصفهان، خراسان، یزد، کرمانشاه، فارس و کهکیلویه است که براساس تقسیم‌بندی آب‌وهوایی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور هستند، مطابق با معیارهای ظرفیت‌سنجی و معیارهای توسعهٔ پایدار دارای سبد انرژی با ۲۵٪ سهم انرژی بادی، ۳۹٪ سهم انرژی خورشیدی، ۱۰٪ سهم انرژی برق آبی و ۲۶٪ سهم انرژی زیست‌توده است و از لحاظ اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری دولت بر اساس معیارهای اجتماعی (درصد بیکاری، پذیرش انرژی‌های نو، رشد جمعیت و امنیت سرمایه‌گذاری) در اولویت اول قرار می‌گیرند.

واژگان کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، سیستم استنتاج فازی، توسعه پایدار، سبد انرژی.

مقدّمه

انرژی‌های تجدیدپذیر در میان عوامل مورد نیاز برای توسعهٔ پایدار جایگاهی اساسی دارد. همچنین با کاهش هزینه‌های فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش هزینه‌های سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدیدپذیر از قبیل انرژی بادی و خورشیدی جهت پاسخگویی به نیازهای رو به رشد جهان از محبوبیت بالایی برخوردار است. بنابراین کشورها، بایستی سیاست‌هایی در جهت افزایش عرضهٔ انرژی‌های نو در ترکیب انرژی‌های خود تدوین نمایند [۴].

بر اساس آمار بیان‌شده توسط آزمایشگاه ملّی اوک ریج، بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۲، اقتصاد ایالات متحده بیش از ۲ تریلیون دلار ضرر و زیان در تولید ناخالص داخلی

خود بواسطهٔ وابستگی به نفت داشته است. انواع انرژی‌های نو در جهان، در حال حاضر، شامل انرژی ورشیدی (سیستم‌های فتوولتائیک)، انرژی بادی، زیست‌توده، انرژی زمین گرمایی، آبی و سوخت‌های زیستی است [۳].

کشور ایران علاوه بر دارابودن منابع غنی از سوخت‌های فسیلی، دارای ظرفیت فراوان انرژی‌های تجدیدپذیر نیز هست. از طرفی، کشور ایران دارای شرایط مختلف آب‌وهوای به طور همزمان، منابع متغیر، و ویژگی‌های جمعیت‌شناختی متفاوتی است. همهٔ این تغییرات باعث عدم‌تشابه میان انرژی مورد نیاز از مناطق و برنامه‌ریزی پیرامون آیندهٔ انرژی این مناطق می‌گردد. بنابراین، با توجه به شرایط طبیعی و توانمندی موجود در مناطق مختلف کشور، می‌بایست به سمت برنامه‌ریزی انرژی منطقه حرکت نمود.

از این رو، در پژوهش حاضر، بعد از تعریف و استخراج داده‌های مربوط به معیارهای ظرفیت‌سنجی مناطق مختلف، ابتدا با استفاده از تکنیک داده‌کاوی به خوشه‌بندی مناطق موجود در کشور از نظر ظرفیت‌های نسبی هر منطقه پرداخته می‌شود. هدف داده‌کاوی، کشف و تعریف ارتباطات و الگوهای قابل فهم، سودمند و معتبر در داده‌ها و یافتن الگوهای مفید در داده‌هاست [۱۲].

با استفاده از داده‌کاوی، مناطق مشابه از نظر ظرفیت انرژی‌های نو در خوشه‌های مجزا قرار خواهند گرفت. هر خوشه دارای ویژگی‌های مشابهی از نظر درجهٔ تابش خورشید، تعداد روزهای آفتابی، شدت وزش باد و سایر متغیرهای تأثیرگذار بر ظرفیت نسبی مناطق در هر خوشه است. بعد از انجام خوشه‌بندی، با طراحی مدل استنتاج فازی در متلب و تعریف قوانین اگر-آنگاه، به تخصیص یک پورتفوی بهینه انرژی بر اساس معیارهای توسعه پایدار (در کنار امتیاز نهایی ظرفیت‌سنجی) برای هر خوشه پرداخته می‌شود. این پورتفوی شامل انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی، برق آبی و زیست‌توده است.

بعد از تعیین یک پورتفوی بهینه برای هر خوشه، لازم است با توجه به متغیرهای اجتماعی همچون امنیت سرمایه‌گذاری، نرخ پذیرش اجتماعی و غیره، به اولویت‌بندی سیاست‌ها و استراتژی‌های لازم جهت تحقّق پورتفوی انرژی پرداخت. از این رو، در قسمت پایانی این پژوهش به ارائه سیاست‌های اولویت‌بندی‌شده در حوزهٔ سرمایه‌گذاری انرژی تجدیدپذیر منطقه‌ای پرداخته خواهد شد.

وزارت نیرو می‌تواند با استفاده از نتایج این مدل و بر اساس ظرفیت‌های منطقه‌ای، به برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیمات سرمایه‌گذاری جهت استفاده از پورتفوی منطقه‌ای انرژی‌های نو در تأمین انرژی برق، اقدام نماید و از تخصیص غیربهینهٔ منابع کشور در این راستا، جلوگیری نماید. همچنین سازمان انرژی‌های نو ایران (ساتبا) بر اساس نتایج این مدل می‌تواند در تعریف اولویت‌های پژوهشی انرژی‌های نو و ارائه مشوق‌های سرمایه‌گذاری در مناطق مستعد کشور، تصمیم های درستی اتخاذ نماید.

انرژی‌های تجدیدپذیر و وضعیت استفاده از آن در ایران و جهان

تجدیدپذیر[1] اصطلاحی است که برای شکل‌هایی از انرژی استفاده می‌شود که از استفاده از آنها خسته نمی‌شوند به این معنی که منابع تجدیدپذیر را می‌توان در مدت زمان نسبتاً کوتاه، بازسازی و یا تجدید نمود [۱۰]. منابع انرژی تجدیدپذیر شامل زیست‌توده، زمین گرمایی، خورشیدی و برق‌آبی و بادی است [۹].

در حال حاضر، انرژی‌های تجدیدپذیر توسعهٔ خوبی در دنیا پیدا کرده است و در این شرایط در ایران تا کنون، ۶۵۰ مگاوات برق از طریق نیروگاه‌های تجدیدپذیر تولیدشده که این میزان کمتر از یک درصد کل ظرفیت برق ایران است. بیش از ۵۱ درصد از ظرفیت نیروگاه‌های نصب‌شدهٔ برق در آلمان تجدیدپذیر است و با وجود پیشرفتی که این کشور تا کنون در حوزهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر داشته، قصد دارد تا سال ۲۰۳۰ ظرفیت نیروگاهی تجدیدپذیر خود را به بیش از ۶۵ درصد برساند.

حدود ۴۰ درصد ظرفیت نیروگاه‌های نصب‌شدهٔ برق انگلستان هم تجدیدپذیر است و این کشور در نظر دارد تا دو سال دیگر ۳۰ درصد کل انرژی خود را از طریق تجدیدپذیرها تولید کند[۱۳].

در حال حاضر، ۳۰ درصد ظرفیت نیروگاهی نصب‌شده در اسپانیا نیز انرژی‌های تجدیدپذیر است. تا سال ۲۰۵۰

[1] Renewable

این عدد به ۱۰۰ درصد می‌رسد، علاوه بر این، در کشور شیلی تا سال ۲۰۵۰، ظرفیت نیروگاه‌های نصب‌شدهٔ تجدیدپذیر به ۷۰ درصد خواهد رسید.

در حال حاضر، دو درصد از ظرفیت نیروگاه‌های نصب‌شده در مالزی را نیروگاه‌های تجدیدپذیر تشکیل می‌دهند، قرار است تا سال ۲۰۳۰، ظرفیت این نیروگاه‌ها در آن کشور به ۲۰ درصد برسد. در ژاپن نیز ۳۲ هزار گیگاوات برق از طریق نیروگاه‌های تجدیدپذیر تولید می‌شود که تا سال ۲۰۳۰، ظرفیت این نیروگاه‌ها به ۲۴ درصد می‌رسد [۵].

همچنین باید گفت کشورهای همسایه در توسعهٔ تجدیدپذیرها غافل نبودند و پیشرفت خوبی در این حوزه داشته‌اند. ترکیه در میان کشورهای همسایهٔ ایران، در زمینهٔ تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر پیشروتر بوده است تا در حال حاضر این کشور بدون محاسبهٔ نیروگاه‌های برق آبی، ۱۲/۵ گیگاوات از نیروگاه‌های تجدیدپذیر تولید کرده که ۱۵ درصد از ظرفیت کل برق تولیدشده در تمام نیروگاه‌ها را شامل می‌شود. ترکیه در نظر دارد تا سال ۲۰۳۰، ظرفیت تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر را به بیش از دو برابر تولید کنونی، یعنی ۲۷ گیگاوات یا ۲۵ درصد برساند [۷].

عراق در حال حاضر، ۱۰۰ مگاوات برق از طریق نصب نیروگاه‌های تجدیدپذیر به ویژه نیروگاه خورشیدی تولید کرده است و قصد دارد تا سال ۲۰۲۰ ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر خود را به ۱۰ درصد، معادل ۳۵ گیگاوات برساند. با بیان این که کویت در حال حاضر ۷۰ مگاوات برق از طریق نیروگاه‌های تجدیدپذیر تولید کرده است. این کشور بنا دارد تا سال ۲۰۳۰ ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر خود را به ۱۵ درصد معادل دو گیگاوات برساند و در نظر دارد برای این کار ۸ میلیارد هزینه کند.

امارات متحده عربی ۱۵ درصد از برق خود را از طریق تجدیدپذیرها تولید کرده که معادل ۷/۸ گیگاوات برق است. عربستان در حال حاضر ۹۲ مگاوات برق از طریق نیروگاه‌های تجدیدپذیر است این کشور در نظر دارد تا سال ۲۰۳۲ میزان برق تولیدی خود از نیروگاه‌های تجدیدپذیر را به ۵۴ گیگاوات برساند که این رقم ۸۰ درصد برق تولیدی ایران در حال حاضر را شامل می شود.

اردن نیز در حال حاضر ۶۴۶ مگاوات برق از طریق نیروگاه‌های تجدیدپذیر تولید کرده و بنا دارد تا سال ۲۰۲۰ ظرفیت نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر خود را به ۱۰ درصد برساند و ۱۸ گیگاوات برق تولید کند [۴].

بر اساس مطالعات انجام شده، ظرفیت بالقوه ایران در تولید انواع انرژی تجدیدپذیر بصورت جدول ۱ است.

جدول ۱- ظرفیت بالقوه ایران در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (وزارت نیرو، ۱۴۰۰)

انرژی‌های تجدیدپذیر	توان
برق آبی	۲۶۰۰۰
انرژی خورشیدی	۸۶۱۹۸,۲
انرژی بادی	۱۸۰۰۰
انرژی زیست توده	۱۹,۰۴
انرژی زمین گرمایی	۱۸۷

توسعه پایدار و معیارهای آن

عبارت «توسعه پایدار» در اوایل سال‌های ۱۹۷۰ در زمان اعلامیه «کوکویک» دربارهٔ محیط زیست و توسعه به کار رفت. از آن زمان، سازمان‌های بین‌المللی که خواهان دستیابی به محیطی مناسب و مساعد با توسعه‌ای سودمند بودند، نام خاص و ویژگی آنها در راهبرد توسعه پایدار شکل گرفت.

به کار بردن واژهٔ توسعهٔ پایدار بعد از کنفرانس ریودوژانیو و در سال ۱۹۹۲ در محافل علمی فراگیر شد. هرچند می‌توان ریشه‌های عمیق نظریه توسعه پایدار را در اوایل قرن ۲۰ بازجست، با وجود این، مطرح‌شدن آن در سال‌های اخیر به خصوص از گزارش «آینده مشترک ما» در سال ۱۹۸۷ از سوی «کمیسیون جهان محیط زیست و توسعه (WCED)» نشان از وخامت اوضاع زیست محیطی جهان دارد.

توسعه پایدار به علّت گسترش موضوعی، ابعاد گسترده‌ای را شامل می‌شود. در پژوهش حاضر بر اساس نظر خبرگان سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و الگوبرداری از فناوری اجرایی کشور آلمان در خصوص برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای (با نظر مشاورین آلمانی ساتبا) ابعاد دسترسی به فناوری، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌وری سرمایه، میزان

اشتغال، و پیامدهای زیست محیطی انتخاب و مبنای پژوهش حاضر قرار گرفت [۱۶، ۶، ۱۴].

سیستم استنتاج فازی

روند تبدیل متغیرهای صریح به متغیرهای زبانی را فازی‌سازی می‌گویند. موتور استنتاج با استفاده از الگوریتم‌های استنتاج، قوانین را ارزیابی و استنتاج می‌کند و پس از تجمیع قوانین، خروجی توسط واحد دفازی‌ساز به مقدار صریح یا عددی تبدیل می‌شود. استفاده از سیستم‌های فازی روز به روز گسترش یافت و کاربرد آن در زمینه‌های مختلفی مانند سیستم‌های خبره فازی [۳] سیستم‌های پشتیبانی تصمیم [۳]، برآورد هزینه احتمالی پروژه با استفاده از تجزیه و تحلیل ریسک[۴] سیستم‌های کنترل، پردازش تصویر، ارتباطات، بازرگانی، پزشکی، نظامی و آموزشی، ربات‌ها، سیستم قدرت و رآکتور هسته‌ای و مهندسی خودرو به کار گرفته شد.

امروزه کاربردهای فازی در طراحی‌های مختلف سیستم‌های غیرقطعی، نشان‌دهندهٔ عملکرد بالا و رشد سریع این سیستم‌هاست، هرچند که علمکرد الگوریتم‌های استنتاج فازی مشابه هم هستند اما رعایت تفاوت‌های آنها در طراحی سیستم‌های فازی می‌تواند در خروجی سیستم مؤثر باشد [۱۲].

پیشینه پژوهش

در پژوهشی با عنوان ابزار ارزیابی پورتفوی انرژی برنامه‌ریزی انرژی پایدار با استفاده از رویکرد پیوند WEF مورد مطالعه تگزاس، چارچوب جامعی برای مشخص کردن ارتباط بین انرژی و سایر سیستم‌ها (آب، زمین، محیط زیست، مالی، و غیره) معرفی شد و تأثیرات اوراق بهادار انرژی اندازه‌گیری شد تا پایهٔ محکمی برای بهترین تصمیم‌گیری پایدار در برنامه‌ریزی انرژی فراهم کند [۸].

نتایج پژوهشی با عنوان تجزیه و تحلیل پورتفوی و تخصیص جغرافیایی منابع تجدیدپذیر: رویکرد تصادفی، ثابت نمود که ما از نظریه مدرن پورتفوی که توسط Markowitz معرفی شده است، جهت ارائه راهبرد ساده برای مدیریت پورتفوی منابع انرژی تجدیدپذیر بر اساس نوسانات گاوسی با همبستگی‌های قابل تنظیم قابل اقتباس است [۱۱]. با تجزیه و تحلیل اثر نوسانات تولید، نشان می‌دهیم که چگونه بسته به الگوهای همبستگی زمانی منابع، تخصیص جغرافیایی دقیق از انواع مختلف منابع انرژی تجدید پذیر می‌تواند نیازهای انرژی را برای تعادل سیستم، تأمین نموده و عدم‌اطمینان آن را کاهش دهد.

هوسینه و همکاران در پژوهشی با عنوان بهینه‌سازی پورتفوی انرژی تجدیدپذیر تحت عدم‌قطعیت: یک رویکرد برنامه‌نویسی هدف چند بعدی فازی، عنوان نمودند که انتخاب پروژهٔ پورتفوی انرژی تجدیدپذیر یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) نامشخص است [۳]. به طور خاص، این پروژه شامل جستجوی بهترین سبد از انرژی‌های تجدیدپذیر است که مطابق با ترجیحات تصمیم‌گیرنده با در نظر گرفتن معیارهای متضاد مانند معیارهای فنی، محیط زیست، اجتماعی و اقتصادی است. برای مقابله با چنین مشکلات پیچیده، این مقاله یک روش کارآمد، به نام برنامه‌نویسی هدف چندضلعی فازی (MS-FGP) پیشنهاد می‌کند که در آن، مشکلات مربوط به تصمیم‌گیری با سطوح بالای عدم‌اطمینان را مورد توجه قرار می‌دهد.

کاسچیلا و همکاران در پژوهشی با عنوان تحلیل پورتفوی انرژی ایتالیا: یک ابزار سرمایه‌گذاری انرژی، عنوان نمودند که پورتفوی انرژی روشی جهت انتخاب استراتژیک منابع انرژی است که می تواند منجر به توسعه پایدار و ایجاد تعادل انرژی گردد [۳]. در این پژوهش، تئوری پورتفولیو در بازار برق ایتالیا برای منابع مختلف انرژی شامل انرژی‌های زیست‌توده، برق آبی، خورشیدی و انرژی بادی با هدف انتخاب یک پورتفوی بهینه که ریسک سرمایه‌گذاری را حداقل نماید، استفاده شده است. این تحلیل می‌تواند نتایج مفیدی را برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران انرژی به منظور انتخاب سناریوهای آینده بر مبنای افزایش استفاده از انرژی‌های نو فراهم آورد.

ژانگ و همکاران در پژوهش خود در خصوص ارائه پورتفوی بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر از روش‌های اختیارات سرمایه‌گذاری استفاده کرده‌اند که براساس برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو به ارائه راهکارهایی جهت سرمایه‌گذاری دولت پیش رفته است [۱۷].

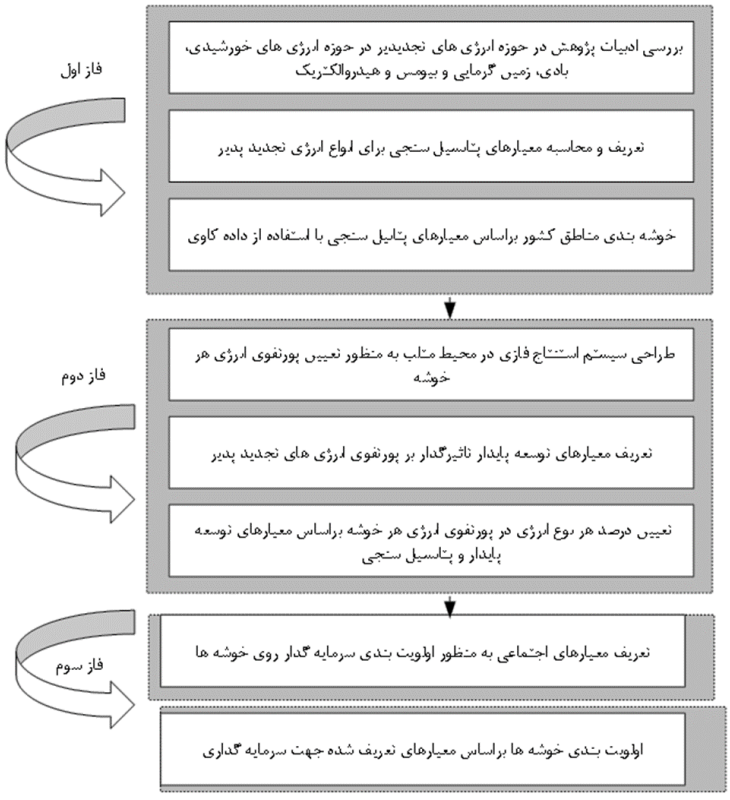
ژوانگ و همکاران در پژوهشی برای بهینه‌سازی سبد انرژی‌های تجدیدپذیر پایدار با استفاده از یک رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه فازی، رویکرد فازی را بهترین رویکرد در مسایل بهینه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر عنوان کردند که استفاده از تصمیم‌گیری چندهدفه فازی (F-MODM) برای مسائل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی انرژی تجدیدپذیر (RE) با عدم‌قطعیت، به طور فزاینده‌ای محبوب شده است [۱۸].

در تحقیقات و پژوهش‌های گذشته مسایل مربوط به سبد انرژی‌های تجدیدپذیر با رویکرد منطقه‌ای و مبتنی بر خوشه‌بندی بررسی نشده است. با توجه به این که تصمیم‌گیری در این حوزه نیازمند در نظر گرفتن معیارهای کمّی و کیفی متعددی است، نیاز به استفاده از سیستم‌های خبره وجود دارد که بتوان در قالب منطق فازی، به استخراج نتایج دقیق با استفاده از مجموعه‌ای از قوانینی که توسط افراد خبره و متخصص تعریف شده است دست یافت. به نحوی که با توسعه و گسترش گزینه‌های تصمیم، سیستم استنتاج فازی طراحی شده، پایداری لازم را برای اجراشدن بر روی جمیع گزینه‌ها را داشته باشد. سیستم‌های استنتاج فازی بر پایه شبیه‌سازی تفکّرات و ایده‌های ذهن انسان طراحی می‌گردند و ابزاری ارزشمند در جهت مدیریت دانش خبرگان می‌باشند. منطق دیجیتال برای هر تصمیم فقط دو وضعیت درست و غلط را در نظر می‌گیرد، در حالی که تفکّر انسانی درجاتی از درستی یا نادرستی را برای تصمیم محسوب می‌کند.

در واقع، این نوع سیستم‌ها به نوعی شبیه‌سازی منطق و طرز تفکّر انسانی است، زیرا قوانین استنتاج فازی بر اساس تجربیات متخصصان هر حوزه تعریف می‌شود. از این رو، مدل پیشنهادی در این پژوهش یک الگوریتم چندبُعدی شامل جمیع متغیرهای کمّی توان‌سنجی، متغیرهای کیفی مدیریتی مرتبط با توسعهٔ پایدار و همچنین ابعاد جمعیت‌شناختی و فرهنگی تأثیرگذار بر سرمایه‌گذاری در مناطق در قالب یک مدل استنتاج فازی است که در سازمان ساتبا بر روی کل اطلاعات و داده‌های کشور پیاده‌سازی گردیده است.

مواد و روش‌ها

مراحل اجرای پژوهش در قالب این نمودار به صورت شکل ۲ نمایش داده شده است:



شکل۲- نمودار جریانی مراحل اجرایی پژوهش

گام اول: تعریف معیارهای اصلی مسأله جهت ارزیابی ظرفیت مناطق مختلف کشور و خوشه‌بندی

در این مرحله متغیرها و معیارهای ظرفیت‌سنجی مناطق مختلف کشور از لحاظ انرژی‌های خورشیدی، بادی، زمین گرمایی و زیست‌توده و برق آبی مشخص می‌گردد تا بتوان بر اساس آن به خوشه‌بندی مناطق مختلف کشور (که به صورت ۱۳۶۱ نقطه جغرافیایی است) با استفاده از ابزار داده‌کاوی پرداخت.

در این گام تمامی نقاط تعریف شده بر روی نقشه ایران، براساس معیارهای ظرفیت‌سنجی، خوشه‌بندی می‌گردند. فهرست هر خوشه شامل شهرهای کشور ایران است که از لحاظ انرژی های تجدیدپذیر هم‌ظرفیت هستند.

گام دوم: تعیین پورتفوی بهینه انرژی در هر خوشه

در این گام با استفاده از مدل استنتاج فازی و ساختار FIS در متلب به تعیین پورتفوی بهینه مناطق موجود در هر خوشه بر اساس ابعاد توسعهٔ پایدار پرداخته می‌شود. به عبارتی تمامی معیارهای توسعهٔ پایدار به همراه امتیاز نهایی ظرفیت سنجی برای هر خوشه به عنوان معیارهای ورودی در تدوین قوانین اگر/آنگاه فازی، تعریف می‌گردد. خروجی مدل استنتاج فازی، درصد هر نوع انرژی در پورتفوی انرژی‌های تجدیدپذیر است. قوانین اگر/آنگاه با توجه به توابع مثلثی فازی هر معیار که دارای سه وضعیت (پایین-متوسط-بالا) است که با اعداد مثلثی تعریف شده است بر اساس نظرات خبره تنظیم می‌گردد. به طور مثال، قانون اگر/انگاه در خوشهٔ ۱ در خصوص انرژی خورشیدی به این صورت تنظیم می‌گردد:

اگر دسترسی به فناوری *بالا*، هزینه سرمایه‌گذاری *پایین*، میزان اشتغال *بالا*، بهره‌وری سرمایه *بالا*، تاثیر مخرب محیط زیستی *پایین* و امتیاز نهایی ظرفیت‌سنجی انرژی خورشیدی در این خوشه *بالا* باشد، آنگاه امتیاز نهایی انرژی خورشیدی در خوشه ۱ *بالا* است.

هر معیار دارای ۳ حالت پایین، متوسط و بالا است و از ترکیب حالات مختلف معیارها، کلیه قوانین فازی اگر/آنگاه استخراج و وارد سیستم FIS در متلب می‌گردد.

گام سوم: اولویت‌بندی برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری در هر خوشه بر اساس معیارهای اجتماعی

در گام نهایی بعد از تعیین یک پورتفوی بهینه برای هر خوشه، لازم است با توجه به متغیرهای اجتماعی همچون امنیت سرمایه‌گذاری، نرخ پذیرش اجتماعی و غیره به اولویت‌بندی سیاست‌ها و استراتژی‌های لازم جهت تحقق پورتفوی انرژی پرداخت. از این رو، در قسمت پایانی این پژوهش به ارائه سیاست‌های اولویت‌بندی‌شده در حوزهٔ سرمایه‌گذاری انرژی منطقه‌ای پرداخته خواهد شد.

محاسبات مربوط به الگوی پیشنهادی پژوهش

گام اول: استخراج مقادیر معیارها

ابتدا معیارهای مورد استفاده در ظرفیت‌سنجی انواع مختلف انرژی بر اساس بررسی پیشینه پژوهش و گزارش‌ها و مستندات سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر استخراج گردید (جدول ۲). معیارهای مثبت، معیارهایی هستند که تأثیر مثبت در ظرفیت منطقه مورد نظر دارند و معیارهای منفی نقش منفی در ظرفیت‌سنجی استان‌ها دارند.

مقادیر این معیارها بر اساس اطلاعات سازمان ساتبا، سازمان هواشناسی کشور و برخی نقشه‌های GIS استخراج گردید. این معیارها جهت ورود به نرم‌افزار خوشه‌بندی، نرمالایز و هم‌جهت گردید. فهرست معیارهای مورد استفاده در مورد هر نوع انرژی تجدیدپذیر در جدول ۲ آورده شده است.

گام دوم: داده‌کاوی در نرم‌افزار Rapidminer 9

ابتدا همه نقاط جغرافیایی تعریف‌شده در کشور ایران همراه با داده‌های معیارهای ظرفیت‌سنجی وارد نرم‌افزار داده‌کاوی گردید تا روی ۱۳۶۰ شهر ایران، خوشه‌بندی صورت گیرد. در واقع، هدف از خوشه‌بندی، کم‌شدن تعداد گزینه‌ها از طریق دسته‌بندی آنها بر اساس معیارهای تشابه است تا ادامه پروژه که شامل تعریف پورتفوی انرژی‌های تجدیدپذیر و همچنین برنامه‌ریزی بلندمدت برای سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، فقط برای خوشه‌ها (که دارای شهرهایی با ظرفیت مشابه هستند) صورت پذیرد.

همانطور که عنوان شد هر یک از معیارهای ظرفیت‌سنجی، براساس ارجحیت بین صفر تا ۱ امتیازدهی گردید و سپس مبنای خوشه‌بندی قرار گرفت. خروجی به دست آمده برای تمامی زیرمعیارهای مربوط به هر نوع انرژی در هر خوشه میانگین گرفته شده و در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۲- معیارهای ظرفیت سنجی انواع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر

عنوان	معیارهای ظرفیت‌سنجی
معیارهای انرژی خورشیدی	۱- شدت تابش- معیار مثبت ۲- تعداد روزهای آفتابی در سال- معیار مثبت ۳- ساعات آفتابی در روز- معیار مثبت ۴- دما- معیار منفی ۵- رطوبت- معیار منفی ۶- ارتفاع- معیار مثبت ۷- فشار- معیار منفی
معیارهای انرژی بادی	۱- سرعت وزش باد- معیار مثبت ۲- ماکسیمم فراوانی روزهای هم‌جهت وزش باد- معیار مثبت ۳- تغییرپذیری جهت باد- معیار منفی ۴- چگالی- معیار منفی ۵- شیب زمین- معیار منفی ۶- ناهمواری زمین- معیار منفی
معیارهای انرژی زمین گرمایی	۱- تعداد تقریبی چشمه‌های آب گرم- معیار مثبت ۲- بخارفشان یا گازفشان- معیار مثبت ۳- نواحی دگرسان‌شده- معیار مثبت ۴- کوه‌های آتشفشان فعال- معیار مثبت
معیارهای انرژی زیست‌توده	۱- میزان زائدات کشاورزی و جنگلی- معیارمثبت ۲- میزان ضایعات جامد و زباله‌ها- معیارمثبت ۳- میزان فضولات دامی- معیارمثبت ۴- میزان فاصلاب‌های شهری- معیارمثبت ۵- میزان فاصلاب‌های صنعتی- معیارمثبت
معیارهای انرژی برق آبی	۱- تعداد رودخانه- معیارمثبت ۲- دبی سالانه (مترمکعب/ثانیه)- معیارمثبت ۳- مساحت حوضه آبریز (کیلومترمربع)- معیارمثبت ۴- متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)- معیارمثبت

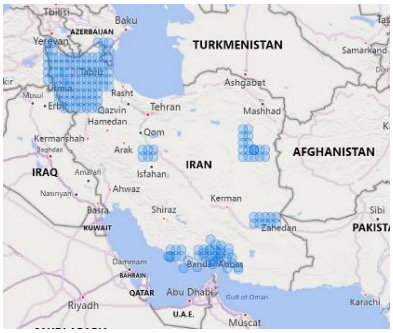
بر اساس جدول ۳، استنباط می‌گردد که مثلاً در خوشهٔ اول، بیشترین سهم سبد انرژی به نوع زمین گرمایی و بادی تخصیص یابد، اما این نتیجه صرفاً بر اساس امتیازات ظرفیت‌سنجی است. جهت تدوین یک پوتفوی عملیاتی‌تر و واقع‌بینانه‌تر لازم است معیارهای توسعهٔ پایدار همچون میزان دسترسی به فناوری‌های مورد نیاز در هر نوع انرژی، میزان اشتغال ایجادشده در هر نوع انرژی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و دوره بازگشت سرمایه و تبعات زیست محیطی نیز در تصمیم‌گیری لحاظ گردد. بنابراین در مرحله بعدی، بر اساس یک ساختار استنتاج فازی، معیارهای مربوط به توسعه پایدار نیز در کنار امتیاز ظرفیت‌سنجی، بررسی خواهد شد.

جدول ۳- میانگین امتیاز معیارهای مرتبط با هر نوع انرژی جهت تدوین پورتفوی

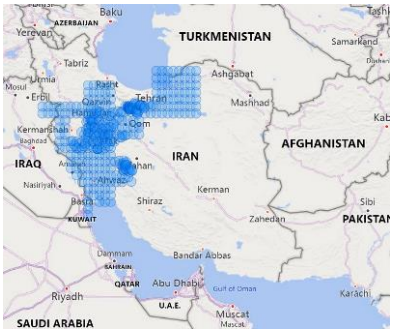
مراکز دسته	میانگین معیارهای مربوط به انرژی زمین گرمایی	میانگین معیارهای مربوط به انرژی خورشیدی	میانگین معیارهای مربوط به انرژی بادی	میانگین معیارهای مربوط به انرژی برق آبی	میانگین معیارهای مربوط به انرژی زیست توده
خوشه ۰	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۸۲	۰/۳۶	۰/۶۶
خوشه ۱	۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۶۰	۰/۵۵
خوشه ۲	۰/۷۸	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۵۷	۰/۶۸
خوشه ۳	۰/۰۵	۰/۷۲	۰/۷۷	۰/۰۶	۰/۴۲
خوشه ۴	۰/۰۰	۰/۶	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۷۰
میانگین	۰/۳۳	۰/۵۱	۰/۵۶	۰/۳۷	۰/۶۰

شهرهای هر خوشه، بصورت جدول‌های پیوست ۱ است.

بر اساس نتایج به دست آمده از نرم‌افزار Rapidminer، نقاطی که در خوشه‌های مختلف قرار گرفته‌اند با استفاده از نرم‌افزار Power bi بر روی نقشهٔ ایران ترسیم شده است که بصورت شکل‌های ۳ تا ۷ که نشان‌دهنده خوشه‌های تعیین شده هستند، می‌باشد.



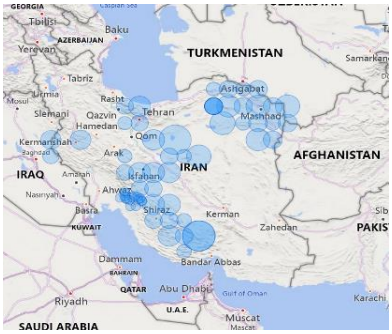
شکل ۳- موقعیت جغرافیایی نقاط جغرافیایی خوشه ۰



شکل ۴- موقعیت جغرافیایی نقاط جغرافیایی خوشه ۱

شکل ۵- موقعیت جغرافیایی نقاط جغرافیایی خوشه ۲

شکل ۶- موقعیت جغرافیایی نقاط جغرافیایی خوشه ۳



شکل ۷- موقعیت جغرافیایی نقاط جغرافیایی خوشه ۴

گام سوم: تعریف معیارهای تعیین ارزش نهایی سرمایه‌گذاری هر یک از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر بر اساس ابعاد توسعه پایدار

در این مرحله، بعد از تعیین امتیاز ظرفیت هر یک از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر، لازم است بر اساس متغیرهای توسعه پایدار، ارزش نهایی سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاری روی هر یک از انواع انرژی مشخص گردد. بر اساس ابعاد مطرح‌شده و مصاحبه با خبرگان ساتبا، معیارهای زیر به عنوان معیارهای توسعه پایدار در حیطه موضوع مورد بررسی، انتخاب گردید.

بعد از بررسی معیارهای توسعه پایدار، جدول تصمیم‌گیری مربوط به ابعاد توسعه پایدار، بر اساس اطلاعات کمی موجود در آمار و ارقام معیارهای کمی بصورت جدول ۴ تکمیل گردید. همچنین برای معیارهای کیفی، بر اساس نظر خبرگان ساتبا بر اساس اعداد ۱ تا ۵ امتیازدهی گردید.

جدول ۴- ماتریس کمی تصمیم‌گیری در خصوص ابعاد توسعه پایدار

ماتریس کمی تصمیم‌گیری	انرژی زمین گرمایی	انرژی خورشیدی	انرژی بادی	انرژی برق آبی	انرژی زیست‌توده
دسترسی به فناوری-امتیاز	۲	۵	۴	۳	۴
هزینه سرمایه‌گذاری (دلار/کیلو وات)	۳۹۹۱	۸۵۷	۲۸۵۸	۲۱۳۵	۲۳۵۳
میزان اشتغال- نفر	۹۴	۳۶۰۵	۱۱۶۰	۲۰۵۴	۷۸۷
بهره‌وری سرمایه-بازگشت سرمایه-سال	۶	۵	۳	۵	۶
میزان تبعات زیست محیطی-امتیاز	۳	۳	۲	۵	۴

اعداد جدول ۵، بر اساس تکنیک‌های نرمال‌سازی، نرمالایزشده و در جدول ۵ درج گردیده است. به عنوان نمونه، امتیاز دسترسی به فناوری در انرژی خورشیدی بین ۱ تا ۵، بالاترین امتیاز یعنی عدد ۵ را به خود اختصاص داده است و به همین ترتیب دسترسی به فناوری انرژی زمین گرمایی کمترین امتیاز یعنی عدد ۲ را به خود اختصاص داده است. مقادیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری و میزان اشتغال و بهره‌وری سرمایه بر اساس آمار و ارقام موجود در مستندات سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر بدست آمده است.

جدول ۵- ماتریس نرمالایزشده معیارهای ورودی سیستم استنتاج فازی

ماتریس نرمالایزشده	انرژی زمین گرمایی	انرژی خورشیدی	انرژی بادی	انرژی برق آبی	انرژی زیست‌توده
دسترسی به فناوری	۰/۴۰	۱/۰۰	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۸۰
هزینه سرمای‌گذاری (دلار/کیلو وات)	۰/۲۱	۱/۰۰	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۳۶
میزان اشتغال	۰/۰۳	۱/۰۰	۰/۳۲	۰/۵۷	۰/۲۲
بهره‌وری سرمایه-بازگشت سرمایه	۰/۵۰	۰/۶۰	۱/۰۰	۰/۶۰	۰/۵۰
میزان تبعات زیست محیطی	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۱/۰۰	۰/۸۰
امتیاز ظرفیت‌سنجی خوشه ۰	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۸۲	۰/۳۶	۰/۶۶
امتیاز ظرفیت‌سنجی خوشه ۱	۰/۰۰	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۶۰	۰/۵۵
امتیاز ظرفیت‌سنجی خوشه ۲	۰/۷۸	۰/۲۳	۰/۴۱	۰/۵۷	۰/۶۸
امتیاز ظرفیت‌سنجی خوشه ۳	۰/۰۵	۰/۷۲	۰/۷۷	۰/۰۶	۰/۴۲
امتیاز ظرفیت‌سنجی خوشه ۴	۰/۰۰	۰/۵۹	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۷۰

گام چهارم: تعیین امتیاز نهایی مربوط به هر نوع انرژی تجدیدپذیر بر اساس ابعاد مدل توسعه پایدار استفاده از سیستم استنتاج فازی FIS

به منظور تعیین درصد نهایی هر یک از انواع انرژی تجدیدپذیر در سبد انرژی هر خوشه، لازم است بر اساس معیارهای توسعه پایدار، امتیاز هر یک از انواع انرژی مشخص گردد. چه بسا ظرفیت یک نوع انرژی، امتیاز بالایی را به خود اختصاص دهد اما براساس معیارهای توسعه پایدار، سرمایه‌گذاری روی آن نوع انرژی، راهکار بهینه‌ای نباشد. از طرفی به دلیل عدم‌قطعیت در اطلاعات عنوان‌شده و تلاش برای ایجاد یک سیستم تصمیم‌گیری منعطف بر اساس قوانین استنتاجی، به گونه‌ای که هر نوع ورودی دیگر را نیز بتواند با استفاده از قوانین تعریف‌شده با خروجی مرتبط نمود از یک ساختار استنتاج فازی استفاده می‌شود. ابتدا برای هر معیار یک تابع عضویت در ساختار FIS در متلب تعریف می‌شود.

نمونه قوانین اگر-آنگاه تعریف شده بصورت جدول ۶ است.

جدول ۶- علامت اختصاری مربوط به معیارها در قوانین اگر-آنگاه تعریف‌شده در سیستم FIS

نام اختصاری ورودی‌ها در متلب	معیار(ورودی)ها و خروجی در متلب	نوع
ATs1	دسترسی به فناوری	ورودی در سه حالت (پایین:L- متوسط:M- بالا:H)
ICs1	هزینه سرمایه‌گذاری (دلار/کیلووات)	ورودی در سه حالت (پایین:L- متوسط:M- بالا:H)
ERs1	میزان اشتغال	ورودی در سه حالت (پایین:L- متوسط:M- بالا:H)
ROIs1	بهره‌وری سرمایه-بازگشت سرمایه	ورودی در سه حالت (پایین:L- متوسط:M- بالا:H)
ECs1	عدم‌تأثیر مخرب زیست محیطی	ورودی در سه حالت (پایین:L- متوسط:M- بالا:H)
SP1	امتیاز نهایی ظرفیت خورشیدی (بر اساس معیارهای ظرفیت‌سنجی)	ورودی در سه حالت (پایین:L- متوسط:M- بالا:H)
S1	امتیاز نهایی انرژی خورشیدی در خوشه ۱	خروجی در سه حالت (پایین:L- متوسط:M- بالا:H)

If (ATs1 is M) and (ICs1 is M) and (ERs1 is M) and (ROIs1 is M) and (ECs1 is M) and (SP1 is M) then (S1 is M) (1)
If (ATs1 is H) and (ICs1 is H) and (ERs1 is H) and (ROIs1 is H) and (ECs1 is H) and (SP1 is H) then (S1 is H) (1)
If (ATs1 is M) and (ICs1 is L) and (ERs1 is L) and (ROIs1 is M) and (ECs1 is H) and (SP1 is H) then (S1 is M) (1)
If (ATs1 is H) and (ICs1 is H) and (ERs1 is H) and (ROIs1 is M) and (ECs1 is H) and (SP1 is M) then (S1 is H) (1)
If (ATs1 is H) and (ICs1 is L) and (ERs1 is L) and (ROIs1 is H) and (ECs1 is H) and (SP1 is H) then (S1 is H) (1)
If (ATs1 is M) and (ICs1 is M) and (ERs1 is M) and (ROIs1 is M) and (ECs1 is M) and (SP1 is L) then (S1 is L) (1)
If (ATs1 is H) and (ICs1 is L) and (ERs1 is L) and (ROIs1 is M) and (ECs1 is M) and (SP1 is M) then (S1 is M) (1)
If (ATs1 is M) and (ICs1 is L) and (ERs1 is L) and (ROIs1 is M) and (ECs1 is H) and (SP1 is L) then (S1 is L) (1)

بعد از تعریف قوانین اگر-آنگاه فازی، سیستم استنتاج فازی کامل می‌گردد. سطرها نشان‌دهندهٔ قوانین اگر-آنگاه فازی و ستون‌ها نشان‌دهندهٔ ورودی‌ها و خروجی است که با تغییر میزان ورودی‌ها (معیارها) می‌توان میزان خروجی را تعیین کرد. برای تمامی انواع انرژی تجدیدپذیر و برای هر خوشه، این ساختار ایجاد می‌گردد و قوانین استنتاجی آن تعریف می‌شود. هدف تعیین وزن نهایی هر انرژی در هر خوشه بر اساس جمیع معیارهای ظرفیت‌سنجی و معیارهای توسعه پایدار است.

خروجی FIS بر اساس اعداد جدول نرمال‌شده

بر اساس ساختار FIS ایجادشده برای معیارهای تعریف‌شده، ابتدا متغیرهای زیر در محیط متلب تعریف می‌گردد تا مقادیر کریسپ تعریف شده (امتیازات نرمال‌شده معیارها) به مدل استنتاج فازی داده می‌شود. بر اساس قوانین اگر-آنگاه تعریف‌شده روی توابع فازی معیارها، خروجی مورد نظر که همان امتیاز نهایی انرژی تجدیدپذیر برای خوشه مورد نظر است محاسبه و سپس بر اساس تابع دیفازی‌سازی centroid، عدد نهایی را بصورت کریسپ نشان داده می شود (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج مدل استنتاج فازی مربوط به معیارهای توسعه پایدار

عدد نهایی حاصل از ساختار FIS	میانگین امتیازات معیارهای زمین گرمایی	میانگین امتیازات معیارهای خورشیدی	میانگین امتیازات معیارهای بادی	میانگین امتیازات معیارهای برق آبی	میانگین امتیازات معیارهای زیست توده
خوشه ۰	۰/۵	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۵	۰/۵
خوشه ۱	۰	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
خوشه ۲	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
خوشه ۳	۰	۰/۷۶	۰/۵	۰/۲	۰/۵
خوشه ۴	۰	۰/۷۶	۰/۲	۰/۲	۰/۵

گام پنجم: تعیین پورتفوی انرژی برای هر خوشه

بعد از تکمیل ماتریس تصمیم بر اساس ساختار FIS، ماتریس خروجی نرمال‌سازی می‌گردد تا درصد سهم هرکدام از انواع انرژی در سبد انرژی هر خوشه تعیین شود (جدول ۸).

بر اساس جدول ۸، سهم انرژی زمین گرمایی در خوشهٔ ۰ برابر با ۱۷ درصد، سهم انرژی خورشیدی ۲۵ درصد، سهم انرژی بادی ۱۷ درصد و سهم زیست‌توده در سبد انرژی مناطق خوشهٔ ۰ برابر با ۱۶ درصد است.

جدول ۸- پورتفوی نهایی (پیشنهادی) بر اساس ۲۵ مدل استنتاج فازی طراحی‌شده

عدد نهایی حاصل از ساختار FIS	میانگین امتیازات معیارهای زمین گرمایی	میانگین امتیازات معیارهای خورشیدی	میانگین امتیازات معیارهای بادی	میانگین امتیازات معیارهای برق آبی	میانگین امتیازات معیارهای زیست توده
خوشه ۰	٪۱۷	٪۲۵	٪۲۵	٪۱۷	٪۱۶
خوشه ۱	۰٪	٪۲۵	٪۲۵	٪۲۵	٪۲۵
خوشه ۲	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰	٪۲۰
خوشه ۳	۰٪	٪۳۹	٪۲۵	٪۱۰	٪۲۶
خوشه ۴	۰٪	٪۴۶	٪۱۲	٪۱۲	٪۳۰

گام ششم: سیاست‌گذاری و جهت‌دهی برنامه‌های راهبردی دولت و سازمان‌های دولتی و خصوصی

به منظور برنامه‌ریزی راهبردی در خصوص اجرایی‌نمودن سبد پیشنهادی در خوشه‌های مختلف، و اولویت‌بندی دولت در تخصیص بودجه حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در هر استان و همچنین برنامه‌ریزی راهبردی استانداری‌ها، شهرداری‌ها و اتاق‌های بازرگانی هر استان در راستای بهبود وضعیت اقتصادی هر استان و توسعه سرمایه‌گذاری خارجی، برخی معیارهای اجتماعی لازم است تا تأثیرگذار بر تصمیمات اخذشده نیز مد نظر قرار گیرد. معیارهایی که در ترغیب سرمایه‌گذار به سرمایه‌گذاری در هر شهر تأثیرگذار است. این معیارها شامل معیارهای جدول ۹ هستند که اطلاعات آن برای هر یک از استان‌های کشور از مرکز آمار ایران، دریافت گردیده است و سپس برای هر خوشه، میانگین آن محاسبه شده است (جدول ۹) (اعداد مربوط به هر استان در پیوست ۱ است).

بعد از نرمال‌سازی معیارها و وزن‌دهی آنها بر اساس نظرات خبرگان، جدول نهایی محاسبه شد (جدول ۱۰) .

جدول ۹- معیارهای اجتماعی تأثیرگذار در برنامه‌ریزی راهبردی در حوزه سرمایه‌گذاری انرژی تجدیدپذیر

مراکز دسته	درصد نرخ بیکاری	درصد نرخ رشد جمعیت	درصد فرهنگ پذیر(نرخ باسوادی)	امتیاز امنیت سرمایه‌گذاری
خوشه ۰	۹/۸	۱/۳	۸۱/۴	۳/۸
خوشه ۱	۱۱/۱	۱/۱	۸۴/۱	۴/۵
خوشه ۲	۶/۹	۰/۹	۸۵/۵	۵/۰
خوشه ۳	۹/۴	۱/۴	۸۰/۹	۳/۸
خوشه ۴	۹/۴	۱/۵	۸۶/۲	۴/۶

جدول ۱۰- جدول نهایی نرمال‌شده و امتیاز نهایی هر خوشه

وزن معیارها	۰/۸	۰/۵	۰/۴	۰/۷	
مراکز دسته	درصد نرخ بیکاری	درصد نرخ رشد جمعیت	درصد فرهنگ پذیر(نرخ باسوادی)	امتیاز امنیت سرمایه‌گذاری	امتیاز هر خوشه
خوشه ۰	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۷۵	۰/۵۱
خوشه ۱	۱/۰۰	۰/۷۱	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۵۴
خوشه ۲	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۴۷
خوشه ۳	۰/۸۵	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۷۶	۰/۵۱
خوشه ۴	۰/۸۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۲	۰/۵۵

بر اساس امتیازات نهایی، اولویت سرمایه‌گذاری و یا تخصیص بودجه، به خوشه چهارم و دوم است. در واقع، با توجه به این که نرخ بیکاری و نرخ رشد جمعیت در این خوشه‌ها بالاتر بوده از طرفی شاخص امنیت سرمایه‌گذاری نیز بالاتر است، بنابراین پیشنهاد می‌گردد در برنامه‌های راهبردی و توسعه‌ای کشور، شهرهای این دو خوشه در اولویت جهت اختصاص بودجه و یا ترغیب سرمایه‌گذار توسط نهادهایی تصمیم‌گیر شامل استانداری‌ها، اتاق‌های بازرگانی هر استان و شهرداری‌ها صورت پذیرد تا بیشترین بهره‌وری از سرمایه‌گذاری حاصل شود.

با توجه به نقشه مناطق خشک کشور (شکل ۹) نقاط جغرافیایی موجود در خوشه‌های ۳ و ۴ جزو مناطق خشک کشور محسوب می‌شوند. بر اساس جدول ۱۰ نیز دارای اولویت سرمایه‌گذاری هستند.

نتیجه‌گیری کلی

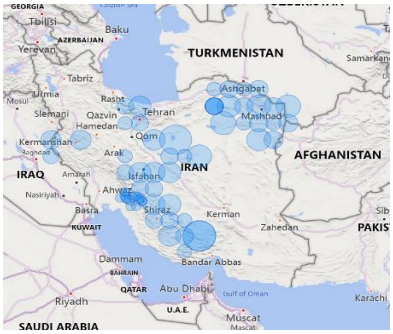
در پژوهش حاضر، به منظور ارائه پورتفوی منطقه‌ای انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، ابتدا معیارهای ظرفیت‌سنجی از انواع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، برق آبی و زیست‌توده، براساس نقشه‌های GIS و اطلاعات دریافت‌شده در سازمان هواشناسی و ساتبا، برای ۱۳۶۱ طول و عرض جغرافیایی، امتیازدهی گردید.

سپس با استفاده از نرم‌افزار Rapidminer نقاط جغرافیایی، خوشه‌بندی گردید به گونه‌ای که این نقاط (که نمایش‌دهنده شهرهای ایران هستند) بر اساس الگوریتم k-mean به ۵ خوشه تقسیم‌بندی شد. نقاط موجود در هر خوشه از نظر انواع مختلف انرژی هم‌ظرفیت هستند. بر این اساس، تمام شهرهای موجود در کشور در ۵ خوشه تقسیم‌بندی شدند که هر خوشه دارای ظرفیت یکسان از نظر انواع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر است. این خوشه‌ها به تفکیک شهر و استان عنوان گردیده است.

بعد از مشخص‌شدن خوشه‌ها، مراکز هر خوشه به عنوان ورودی مرحله تعیین پوتفوی انرژی مورد استفاده قرار گرفت. در واقع، هدف این مرحله تعیین پورتفوی انرژی‌های تجدیدپذیر برای هر خوشه است. از آنجا که امتیاز نهایی هر خوشه (مرکز خوشه) قطعاً امتیاز مربوط به ظرفیت‌سنجی نقاط جغرافیایی است لازم است قبل از تصمیم‌گیری پیرامون درصد اختصاص‌یافته در سبد انرژی، به هر نوع از انرژی‌های تجدیدپذیر، سایر ابعاد مربوط به

توسعه پایدار از قبیل: میزان اشتغال هر نوع انرژی، هزینه سرمایه‌گذاری، دسترسی به فناوری، تبعات زیست محیطی و بازگشت سرمایه هر نوع انرژی نیز مورد بررسی قرار گیرد و براساس امتیاز نهایی هر نوع انرژی، سهم آن در سبد انرژی هر خوشه مشخص گردد.

در این مرحله، با استفاده از مدل استنتاج فازی و جعبه ابزار FIS در متلب، به تعریف ساختار استنتاج فازی شامل متغیرهای ورودی، تعریف قوانین اگر-آنگاه فازی و متغیرهای خروجی، پرداخته شد. بر اساس این مدل، برای هر یک از انواع انرژی تجدیدپذیر یک ساختار استنتاج فازی طراحی گردید و ۵ معیار مربوط به توسعه پایدار به همراه معیار ظرفیت‌سنجی آن نوع انرژی به عنوان ورودی سیستم و درصد سهم آن انرژی در سبد انرژی هر خوشه، به عنوان متغیر خروجی تعریف گردید.



شکل ۸- موقعیت جغرافیایی مناطق خوشه ۴

شکل ۹- موقعیت جغرافیایی مناطق خوشه ۳

شکل ۱۰- نقشه مناطق خشک و بیابانی کشور

در پایان، با استفاده از کدنویسی در متلب، ۶ معیار ورودی براساس قوانین استنتاجی تعریف شده در سیستم استنتاج فازی، با یکدیگر ترکیب گردید و درصد نهایی بصورت امتیاز محاسبه شد. بعد از اجرانمودن مدل فازی طراحی‌شده برای تمام انواع انرژی در هر خوشه، اعداد نرمال گردید و درصد سهم هر یک از انواع انرژی در سبد انرژی‌های تجدیدپذیر هر خوشه، مشخص شد که بصورت جدول‌های ۹ و ۱۰ است.

در گام نهایی بر اساس معیارهای اجتماعی، به اولویت‌بندی خوشه‌ها برای برنامه‌ریزی راهبردی دولت و سایر نهادهای تأثیرگذار همچون استانداری‌ها، شهرداری‌ها و اتاق‌های بازرگانی پرداخته شد. بر اساس معیارهای جمعیت‌شناختی شامل نرخ بیکاری، نرخ رشد جمعیت، فرهنگ پذیرش (نرخ باسوادی)، امنیت سرمایه‌گذاری، اولویت‌بندی خوشه‌ها بصورت جدول ۱۱ تعریف شد.

جدول ۱۱- اولویت‌بندی خوشه‌ها بر اساس معیارهای اجتماعی

مراکز دسته	امتیاز هر خوشه	اولویت
خوشه ۰	۰/۵۱	۳
خوشه ۱	۰/۵۴	۲
خوشه ۲	۰/۴۷	۴
خوشه ۳	۰/۵۱	۳
خوشه ۴	۰/۵۵	۱

با توجه به خروجی مدل، موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱) پیشنهاد می‌گردد سازمان ساتبا در ارزیابی مناطق برای جذب سرمایه‌گذار خارجی، علاوه بر معیارهای ظرفیت‌سنجی (نقشهٔ ظرفیت‌سنجی) به معیارهای توسعه پایدار و معیارهای اجتماعی نیز بپردازد و پیشنهادهای اولویت‌بندی‌شده براساس اولویت‌های کشور همچون کاهش بیکاری و افزایش میزان اشتغال، افزایش بهره‌وری و غیره را نیز لحاظ نماید. چراکه سرمایه‌گذار خارجی صرفاً بر اساس میزان ظرفیت و امنیت سرمایه‌گذاری اقدام به سرمایه‌گذاری می‌نماید و توجه چندانی به پیامدهای محیط زیستی ایجادشده و میزان اشتغال و کاهش نرخ بیکاری ندارد.

۲) پیشنهاد می‌گردد اتاق‌های بازرگانی استان‌ها در کمیسیون‌های تخصصی مرتبط با موضوع‌های انرژی، تأکید جدی بر ایجاد یک سبد انرژی تجدیدپذیر در هر استان نمایند. با توجه به حیطهٔ اختیارات تعریف‌شده از بُعد مسئولیت اجتماعی که منطبق با رویکرد نسل سوم اتاق‌های بازرگانی است، بخشی از بودجه خود را به تسهیل و حمایت‌گری از سرمایه‌گذاران در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و اخذ مجوزهای قانونی لازم گرفته تا تأمین فناوری و رایزنی با مؤسسات مالی و بانک‌ها به منظور تأمین وام جهت سرمایه‌گذاری نمایند.

۳) با توجه به این که برنامه‌ریزی منطقه‌ای انجام‌شده برای هر خوشه، سبد پیشنهادشده برای همه شهرهای موجود در هر خوشه قابل استفاده است به استانداران و فرمانداران در استان‌ها به عنوان نمایندهٔ عالی دولت پیشنهاد می‌شود در برنامه‌های مرتبط با توسعه سرمایه‌گذاری در استان، سرمایه‌گذاری در سبد انرژی‌های تجدیدپذیر را مطابق با معیارهای توسعه پایدار و معیارهای اجتماعی عنوان‌شده در اولویت قرار دهند.

۴) از آنجا که هدایت و هماهنگی فعالیت بانک‌ها و تعیین اولویت‌ها در اعطای تسهیلات تکلیفی بانکی در چارچوب سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور و تشویق سرمایه‌گذاران از طریق تشکیل مؤسسات اعتباری غیردولتی و جذب سرمایه‌های محلی و سوق‌دادن آنها به سمت فعالیت‌های تولیدی و عمرانی از مهم‌ترین وظایف استانداری‌هاست، بنابراین پیشنهاد می‌گردد که با توجه به خروجی مدل پژوهش حاضر، در استان‌های دارای اولویت سرمایه‌گذاری در حیطهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، اقدامات لازم در حیطه اعطای وام به منظور ترغیب سرمایه‌گذاران در امر انرژی‌های تجدیدپذیر صورت پذیرد.

۵) از آنجا که ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و در سال‌های اخیر کشور با خشکسالی شدیدی روبرو بوده است و به اعتقاد کارشناسان وضعیت محیط زیست و منابع آب کشور بسیار شکننده بوده و می‌توان گفت در ایران ورشکستگی آبی وجود دارد بنابراین تنها رویکرد مواجهه با خشکسالی در مناطق خشک، سرمایه‌گذاری روی انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی‌های خورشیدی مطابق خوشه های ۳ و ۴ است.

بر اساس امتیازات نهایی، اولویت سرمایه‌گذاری و یا تخصیص بودجه، به خوشه‌های ۴ و ۳ و ۱ است. در واقع، با توجه به این که نرخ بیکاری و نرخ رشد جمعیت در این خوشه‌ها بالاتر بوده از طرفی شاخص امنیت سرمایه‌گذاری نیز بالاتر است بنابراین پیشنهاد می‌گردد در برنامه‌های راهبردی و توسعه‌ای کشور، شهرهای این دو خوشه در اولویت جهت اختصاص بودجه و یا ترغیب سرمایه‌گذار توسط نهادهایی تصمیم‌گیر شامل استانداری‌ها، اتاق‌های بازرگانی هر استان و شهرداری‌ها صورت پذیرد تا بیشترین بهره‌وری از سرمایه‌گذاری حاصل شود.

با توجه به نقشه مناطق خشک کشور (شکل ۱۰)، نقاط جغرافیایی موجود در خوشه‌های ۳ و ۴ این پژوهش، جزو مناطق خشک کشور محسوب می‌شوند، بر اساس جدول ۱۱ نیز دارای اولویت سرمایه‌گذاری هستند که سبد انرژی پیشنهادشده برای استان‌های خوشه ۳ شامل ۳۹ درصد انرژی خورشیدی، ۲۵ درصد انرژی بادی، ۱۰ درصد انرژی برق‌آبی و ۲۶ درصد انرژی زیست توده است و سبد انرژی استان‌های خوشه ۴ دارای سهم ۴۶ درصدی انرژی خورشیدی، ۱۲ درصد انرژی بادی، ۱۲ درصد انرژی برق آبی و ۳۰ درصد انرژی زیست توده است.

References

[1]. Behbood, V., Lu, J., & Zhang, G. (2010). Adaptive Inference-based learning and rule generation algorithms in fuzzy neural network for failure prediction. In 2010 IEEE International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering, pp. 33-38.

[2]. Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Gastaldi, M. (2013). Italian energy portfolio analysis: an interactive renewable investments tool. *Advanced Materials Research*, 739, 768-776.

[3]. Hocine, A., Kouaissah, N., Bettahar, S., & Benbouziane, M. (2018). Optimizing renewable energy portfolios.

[4]. Houshmandynia, S., Hamdi, K., Mohebi, S., & Zamanimoghadam, A. (2022). Providing a Model of Effective Components for the Renewable Energy Business Model (By Predicting the Status of Renewable Energy in Iran and the World by 2030). *Jounal of Marketing Management, 17*(57), 27-49. [in Farsi]

[5]. Idrus, A., Nuruddin, M. F., & Rohman, M. A. (2011). Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system. *Expert Systems with Applications, 38*(3), 1501-1508.

[6]. IRENA, I. (2019). Renewable energy and jobs: Annual review 2019. International Renewable Energy Agency (IRENA), United Arab Emirates.

[7]. Manzano-Agugliaro, F., Alcayde, A., Montoya, F. G., Zapata-Sierra, A., & Gil, C. (2013). Scientific production of renewable energies worldwide: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 134-143.

[8]. Mroue, A. M., Mohtar, R. H., Pistikopoulos, E. N., & Holtzapple, M. T. (2019). Energy Portfolio Assessment Tool (EPAT): Sustainable energy planning using the WEF nexus approach–Texas case. *Science of The Total Environment*, 648, 1649-1664.

[9]. Nouri, E., & Nouri, M. (2014). Bazaar as a context for clean energy policies, opportunities and threats, the first national conference on civil engineering, architecture and sustainable development, Yazd, Yazd Payam Noor University. [in Farsi]

[10]. Osamu, I., Takashi, O., Izumi, K., & Hiroshi, M. (2005). Current status and future prospect of PV development in Japan: beyond 1GW of PV installed capacity. *Proceedings of the 20th European photovoltaic solar energy conference and exhibition*, Barcelona.

[11]. Rabbani, M., Mamaghani, M. G., Farshbaf-Geranmayeh, A., & Mirzayi, M. (2016). A Novel Mixed Integer Programming Formulation for Selecting the Best Renewable Energies to Invest: A Fuzzy Goal Programming Approach. *International Journal of Operations Research and Information Systems (IJORIS), 7*(3), 1-22.

[12]. Scala, A., Facchini, A., Perna, U., & Basosi, R. (2019). Portfolio analysis and geographical allocation of renewable sources: A stochastic approach. *Energy Policy*, 125, 154-159.

[13]. Waqif Kodhi, A. (2015). Strategic policy making in renewable energy for sustainable development The 5th Conference on New Energy and Distributed Production of Iran.

[14]. Yel, E., & Yalpir, S. (2011). Prediction of primary treatment effluent parameters by Fuzzy Inference System (FIS) approach. *Procedia computer science*, 3, 659-665.

[15]. Yuregir, O. H., & Sagiroglu, C. (2016). Solar energy validation for strategic investment planning via comparative data mining methods: an expanded example

within the cities of Turkey. *International Journal of Photoenergy*, 2016, 1-16.

[16]. Zargar, B., Emami Meibodi, A., Jahangirnia, H., & Safa, M. (2020). A Financing Model of Photovoltaic Industry in Iran: Combination of Grounded Theory and Neural NetworksModel. *Iranian Energy Economics*, *10*(37), 73-97. doi: 10.22054/jiee.2022.63746.1867. [in Farsi]

[17]. Zhang, M., Tang, Y., Liu, L., & Zhou, D. (2022). Optimal investment portfolio strategies for power enterprises under multi-policy scenarios of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111879.

[18]. Zhuang, Z. Y., Hocine, A., Kouaissah, N., & Kiker, G. A. (2023). Optimising sustainable renewable energy portfolios using a multi-tolerance fuzzy goal programming approach. *International Journal of Green Energy*, *20*(6), 640-655.

پیوست۱- شهرهای موجود در هر خوشه

خوشه	شهرهای موجود
خوشه ۰	آذربایجان‌شرقی، اسکو، ایلخچی، بخشایش، بناب‌جدید، ترک، آذربایجان‌غربی، آواجیق، باروق، پیرانشهر، تازه‌شهر، تکاب، سرو، اردبیل، اصلاندوز، بیله‌سوار، خلخال، فخرآباد، اصفهان، ابوزیدآباد، خراسان‌جنوبی، اسفدن، اسلامیه، آیسک، سیستان‌وبلوچستان، زاهدان، نصرت‌آباد، فارس، اشکنان، هرمزگان، بندرعباس، پارسیان، تخت، جناح، حاجی‌آباد، خمیر، درگهان، دهبارز، رویدر، زیارتعلی، سردشت، بشاگرد، سرگز، سندرک، سوزا، سیریک، فارغان، فین، قشم، قلعه‌قاضی، کنگ، کوشکنار، کیش، گوهران، میناب، هرمز، هشتبندی
خوشه ۱	ایلام، آبدانان، ارکواز، بدره، تهران، آبسرد، آبعلی، ارجمند، اسلامشهر، اندیشه، باغستان، باقرشهر، بومهن، پاکدشت، پردیس، پیشوا، تجریش، جوادآباد، چهاردانگه، حسن آباد، دماوند، رباط‌کریم، رودهن، ری، شاهدشهر، شریف‌آباد، شهریار، صالح‌آباد، صباشهر، صفادشت، فردوسیه، فرون‌آباد، فشم، فیروزکوه، قدس، قرچک، کهریزک، گیلان، گلستان، لواسان، ملارد، نسیم‌شهر، نصیرآباد، وحیدیه، ورامین، چهارمحال‌وبختیاری، اردل، آلونی، باباحیدر، بروجن، بلداجی، بن، جونقان، چلگرد، سامان، سفیددشت، سودجان، سورشجان، شلمزار، شهرکرد، طاقانک، فارسان، فرادنبه، فرخ‌شهر، کیان، گندمان، گهرو، لردگان، مال‌خلیفه، ناغان، نافچ، نقنه، هفشجان، خوزستان، آبادان، اروندکنار، الوان، امیدیه، اندیمشک، ایذه، بستان، قلعه‌خواجه، زنجان، ابهر، ارمغانخانه، درجزین، زرین‌رود، سمنان، امیریه، بسطام، درجزین، قزوین، اسفرورین، قم، جعفریه، قنوات، کردستان، آرمرده، بابارشانی، چناره، کامیاران، گلستان، آزادشهر، انبارآلوم، بندرگز، گمیش‌تپه، لرستان، ازنا، اشترینان، الشتر، الیگودرز، بروجرد، پلدختر، چالانچولان، چغلوندی، چقابل، خرم‌آباد، درب‌گنبد، دورود، زاغه، سپیددشت، سراب‌دوره، شول‌آباد، فیروزآباد،کونانی، کوهدشت، گراب، معمولان، مؤمن‌آباد، نورآباد، هفت‌چشمه، ویسیان، مرکزی، اراک، آستانه، آشتیان، پرندک، تفرش، توره، جاورسیان، خشکرود، خمین، خنداب، داودآباد، دلیجان، رازقان، زاویه، ساروق، ساوه، سنجان، شازند، شهرجدیدمهاجران، غرق‌آباد، فرمهین، قورچی‌باشی، کرهرود، کمیجان، مأمونیه، محلات، میلاجرد، نراق، نوبران، نیمور، هندودر، همدان، ازندریان، اسدآباد، برزول، بهار، تویسرکان، جورقان، جوکار، دمق، رزن، زنگنه، سامن، سرکان، شیرین سو، صالح‌آباد، فامنین، فرسفج، فیروزان، قروه‌درجزین، قهاوند، کبودرآهنگ، گل‌تپه، گیان، لالجین، مریانج، ملایر، نهاوند، همدان
خوشه ۲	احمدسرگوراب، اطاقور، مازندران، آلاشت، آمل، امیرکلا، ایزدشهر، بابل، بابلسر، بلده، بهشهر، بهنمیر، پل‌سفید، پول، تنکابن، جویبار، چالوس، چمستان، خرم‌آباد، خلیل‌شهر، خوش‌رودپی، دابودشت، رامسر، رستمکلا، رویان، رینه، زرگرمحله، زیرآب، ساری، سرخرود، سلمان‌شهر، سورک، شیرگاه، شیرود، عباس‌آباد، فریدونکنار، فریم، قائم‌شهر، کتالم و سادات‌شهر، کلارآباد، کلاردشت، کله‌بست، کوهی‌خیل، کیاسر، کیاکلا، گتاب، گزنک، گلوگاه، محمودآباد، مرزن‌آباد، مرزیکلا، نشتارود، نکا، نور، نوشهر
خوشه ۳	اصفهان، اردستان، بوشهر، انارستان، بردستان، بندردیلم، بندرکنگان، خراسان جنوبی، ارسک اسدیه، اسلامیه، بیرجند، خوسف، شوسف، گزیک، سیستان وبلوچستان، ادیمی، ایرانشهر، بنت، جالق، خاش، زابلی، زهک، سرباز، سیرکان، فنوج، کنارک، گلمورتی، میرجاوه، نوک‌آباد، کرمان، اختیارآباد، ارزوئیه، امین‌شهر، اندوهجرد، بافت، بروات، پاریز، جبالبارز، درب‌بهشت، دهج، راور، فهرج، قلع‌گنج، محمدآباد، یزد، ابرکوه، اردکان، بافق، تفت، طبس، عشق‌آباد
خوشه ۴	اصفهان، ابریشم، آران‌وبیدگل، اژیه، انارک، بافران، جندق، حنا، خور، فرخی، البرز، آسارا، اشتهارد، طالقان، گرمدره، خراسان‌رضوی، احمدآبادصولت، انابد، باجگیران، باخرز، بار، بایگ، جغتای، جنگل، چاپشلو، چناران، خلیل‌آباد، داورزن، سرخس، صالح‌آباد، مزدآوند، خراسان‌شمالی، اسفراین، آشخانه، فارس، اردکان، ارسنجان، استهبان، اقلید، امام‌شهر، اوز، ایزدخواست، بناروبه، بوانات، بیضا، دوبرجی، کرمانشاه، ازگله، بیستون، سومار، کهگیلویه‌وبویراحمد، باشت، پاتاوه، چرام، چیتاب، دهدشت، دوگنبدان، دیشموک، سوق، سی‌سخت، قلعه‌رئیسی، گراب‌سفلی، لنده، لیکک، مادوان، مارگون، یاسوج، یزد، اردکان

A comprehensive model of the regional portfolio of renewable energies in Iran, focusing on arid land
(Research Paper)

1- Sana Mohammadi, Ph.D. student in production and operations management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran.
2- Seyyed Habibollah Mirghafoori*, Associate Professor of Production and Operations Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd university, Yazd, Iran.
mirghafoori@yazd.ac.ir
3- Alireza Naser Sadrabadi, Associate Professor of Production and Operations Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd university, Yazd, Iran.

Received: 25 Apr. 2022
Accepted: 01 Aug. 2022

Abstract
In addition to rich resources of fossil fuels, Iran has a lot of renewable energy potential. On the other hand, considering the climate diversity in the country and the natural conditions and potentials in different regions, instead of national planning, we should move towards regional energy planning and develop a regional renewable energy portfolio. In the present research, firstly, the potential measurement criteria of different types of renewable energy, including solar, wind, geothermal, hydroelectric and biomass, based on geographic information system maps and data received from the Meteorological Organization and SATBA, for 1361 latitudes and longitudes, has been scored. Then, using the Rapidminer software, the geographic points were divided into 5 clusters, each cluster includes areas of equal potential with the greatest similarity. Two of these 5 clusters are considered to be among the dry lands of the country. Then, based on the review of library resources and usage from the opinions of SATBA experts (Renewable Energy Research Group), a fuzzy inference model based on 5 sustainable development criteria including: access to technology, investment costs, capital productivity, employment rate, and environmental consequences along with design potential measurement criteria and based on the fuzzy rules defined on these criteria. The percentage share of each type of energy in the energy portfolio of each cluster was calculated. In the final step, based on demographic criteria including unemployment rate, population growth rate, acceptance culture (literacy rate), investment security, to prioritize clusters for strategic planning of the government and other influential institutions such as governorates, municipalities and chambers of commerce. For example, in cluster 4, includes some cities in the provinces of Isfahan, Khorasan, Yazd, Kermanshah, Fars, and Kohkiloyeh, which are classified as arid and semi-arid regions of the country according to the criteria of potential measurement and development criteria that has an energy portfolio with 25% share of wind energy, 39% share of solar energy, 10% share of hydroelectric energy and 26% share of biomass energy. Population growth and investment security are the first priority.

Keywords: Renewable energy, Fuzzy inference system, Sustainable development, Energy portfolio.