مدل‌ها و ابزارها برای تحلیل سیاست انرژی

مهناز رضایی[1]، ابراهیم تمیمی[2]

[1] دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، مدرس دانشگاه ولایت، مرکز آموزش علمی کاربردی فن اوران پهره و اندیشه نو، ایرانشهر، mahnazrezaei83@yahoo.com
[2]عضو هیات علمی و استادیار، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، e.tamimi@velayat.ac.ir

چکیده
سیستم‌های انرژی با پیشرفت فناوری‌های جدید به سرعت در حال تحول هستند. به ویژه، فشار جهانی برای پایداری و انتقال به سمت طراحی مجدد، برجسته است. در حقیقت، ادغام انرژی‌های تجدید پذیر در مقیاس گسترده‌ای اتفاق می‌افتد و چندین پیشرفت جالب دیگر در حال یافتن جایگاه خود در سیستم‌های انرژی مدرن مانند منابع انرژی توزیع شده، پاسخ تقاضا، فناوری‌های ذخیره انرژی و بازارهای محلی انرژی هستند. در این زمینه‌ی پویا، فرایند طراحی و اجرای سیاست‌های انرژی چالش‌های جدیدی پیدا کرده است و در حمایت از این فرایند کلیدی، مدل‌ها و ابزارهای برنامه‌ریزی توسعه می‌توانند نقش اساسی داشته باشند. این مدلها می‌توانند برای تخمین میزان تأثیرگذاری ابزارهای مختلف سیاست استفاده شوند. بنابراین، توجه گسترده‌ای به این ابزارها و انواع مختلفی از این مدل‌ها وجود دارد. با انگیزه از این موضوع، این مطالعه یک بررسی جامع و به روز در مورد مدل ها و ابزارهای برنامه‌ریزی توسعه با تأکید بر کاربرد آنها در تحلیل سیاست های انرژی ارائه می‌دهد. به طور خاص، در این مقاله مهمترین ابزارهای سیاست، با تأکید بر ادغام انرژی‌های تجدید پذیر، مدل‌های بهینه‌سازی شده برای برنامه‌ریزی توسعه و ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری موجود برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی، بررسی شده است. همچنین این مقاله به بحث در مورد مهمترین چالش‌های جاری در توسعه و استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی
سیاست انرژی، برنامه‌ریزی توسعه، ابزار پشتیبانی، انرژی تجدید پذیر

1. مقدمه

دیدگاه انرژی جهان به دلیل نیاز جهانی به پایداری، دچار تحولات آشکار شده است. یکی از مهمترین فشار و چالش‌های فوری نگه داشتن دمای جهانی در محدوده معینی است که باعث شده دولت ها اقدامات متفاوتی را برای اتخاذ سیستم‌های انرژی نسبت به سوخت‌های فسیلی اتخاذ کنند. خوشبختانه، توسعه فن آوری‌های نوآورانه جدید زمینه امیدوار کننده‌ای را برای دستیابی به اهداف پایداری ارائه می‌دهد. برای این منظور، یک فرایند جامع از تحلیل سیاست‌های انرژی باید توسط رگولاتورها انجام شود تا بهترین استراتژی ممکن برای هر کشور یا ایالت پیدا شود و در این فرایند، چندین مدل و ابزار برای برنامه‌ریزی توسعه تولید می تواند نقش اساسی داشته باشد. با انگیزه گرفتن از این موضوع، هدف این مقاله ارائه یک بررسی جامع در مورد مدرن‌ترین مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی است. در بین فن آوری‌های نوآورانه که انتقال انرژی فعلی را به حرکت در می آورد، مهمترین تأثیر هنوز توسط منابع به ویژه انرژی بی ثبات، یعنی باد و انرژی Rانرژی تجدید پذیر خورشیدی تولید شده است. با این حال، از چندین فن‌آوری و مفاهیم دیگر که در حال حاضر نقش مهمی را دارند انتظار می‌رود و می توانند تأثیرات قابل توجهی را در آینده به خود اختصاص دهند، مانند انواع مختلف دستگاه‌های ذخیره انرژی، مکانیسم‌های پاسخگویی به تقاضا، بازارهای انرژی محلی، ارزهای رمزنگاری شده و چندین شبکه توسعه هوشمند. به موازات آن، سیاست‌های جدیدی برای مبارزه با تغییرات آب و هوا و تأثیرگذاری بر امنیت بخش انرژی مورد نیاز است. به منظور ادغام همه این فناوری‌ها و مفاهیم در سیستم انرژی، می‌توان از چندین ابزار سیاست‌گذاری برای دستیابی به اهداف مورد نظر و ایجاد توازن مناسب بین چندین هدف متناقض استفاده کرد. علاوه بر این، درک تأثیر احتمالی این تغییرات فن‌آوری و سیاست در تابع سیستم و توسعه بلند مدت آن مورد توجه کلیدی تنظیم کنندگان، شرکت کنندگان در صنعت و محققان جامعه است. در این زمینه، مدل‌های برنامه‌ریزی بلند مدت توسعه تولید ابزارهای بسیار مهمی برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی هستند. این مدل ها برای پیش بینی تکامل سیستم‌های انرژی، پردازش مقادیر زیادی از داده‌های ورودی و خروجی، احتمالاً با در نظر گرفتن مناطق بزرگ جغرافیایی در افق‌های طولانی مدت (مثلاً 20 سال یا بیشتر) به کار می‌روند. در حقیقت، این مدل‌ها معمولاً سرمایه‌گذاری در واحدهای تولید، سرمایه گذاری انتقال و برخی از جنبه‌های بهره‌برداری را در نظر می‌گیرند. عوامل بسیاری وجود دارد که می‌توانند در چنین افق‌های طولانی مدت بر سیستم‌های انرژی تأثیر بگذارد، اما در کل، هدف از این مدل ها درک عواقب و تأثیرات تصمیمات فعلی سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاری در تکامل و تابع سیستم در آینده است. با این کار، هنگام تحلیل استراتژیهای مختلف انرژی، سازندگان سیاست می‌توانند مدلهای برنامه‌ریزی توسعه را تحت شرایط مختلف اجرا کنند تا بتوانند عواقب احتمالی چندین تصمیم احتمالی را ارزیابی کنند، تا از تأثیر ابزارهای مختلف سیاست‌گذاری یا تحولات بالقوه فن‌آوری بر روی سیستم به طور کلی بینش بگیرند. تحت این سناریوهای مختلف، مدل‌های توسعه تولید می‌توانند تغییرات بهینه در سیستم برق را ارائه دهند و در صورت کارآمد بودن بازارهای برق، مسیر مورد انتظار را دنبال می‌کند. پیچیدگی بالای سیستم های انرژی مدرن، ایجاد مدلها در افق بلند مدت را بسیار دشوار می کند. از طرفی استفاده از مدلهای تصادفی می‌تواند راه‌حل‌های محکمی با توجه به عدم قطعیت‌های مختلف ارائه دهد، اما اضافه کردن پیچیدگی بیش از حد درعدم قطعیت ممکن است تجزیه و تحلیل را برای سایر جنبه‌های مساله مبهم کند و مسائل تراکم‌پذیری

ظهور می یابد. مدل‌های اخیر همچنین سعی در پرداختن به بعد انسانی دارند که رفتار انسان هزینه‌های غیرمستقیم و موانع اجتماعی-سیاسی را در نظر می‌گیرد. با این حال، عوامل اخیرعموماً ضعیف شناخته نمی‌شوند. در این مقاله، یک تحلیل عمیق ازتحولات انرژی پیش‌بینی شده در آینده و مباحث اصلی در مورد چندین چالش مهم که به مدل‌های جدید برنامه توسعه و بینش سیاستگذاری انرژی نیاز دارند ارائه می‌شود.

ادامه این مقاله به شرح زیر سازماندهی می‌شود. بخش 2 مروری بر ابزارهای سیاست برای ادغام انرژی‌های تجدید پذیر ارائه می دهد. بخش 3، چندین ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری موجود برای تجزیه و تحلیل سیاست انرژی را بر اساس مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه مقایسه می‌کند. بخش 4، روندها و چالش‌های استفاده و طراحی مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه را برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی، ترکیب و بحث می کند و نتیجه‌گیری‌ها در بخش 5 آورده شده است.

2. ابزار سیاست برای ادغام انرژی‌های تجدید پذیر

انرژی تجدید پذیر ستون اصلی پایداری است و برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ضروری می‌باشد. از تقویت رشد اقتصادی حمایت می‌کند همچنین، برای تسهیل دسترسی به برق نیز مهم است. با توجه به این ویژگی‌ها، بسیاری از کشورها انواع مختلفی از سیاست‌های مختلف را برای ارتقاء توسعه انرژی‌های تجدید پذیر در اشکال مختلف آن استفاده کرده‌اند. علاوه بر این، پایداری به یکی از مهم‌ترین اهداف برای سیاستگذاران تبدیل شده است. توافق‌های بین‌المللی مانند توافق‌نامه پاریس در سال 2015 و پروتکل کیوتو در 1997، در چارچوب سازمان ملل به امضا رسید. این توافق نامه‌ها سعی کرده‌اند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سرتاسر جهان را محدود کنند و از جمله پیامدهای آنها تلاش‌های بزرگی برای وارد کردن RES به شبکه‌های جهان است. در همین زمان، پیشرفت‌های تکنولوژیکی در تولید، علم مواد و الکترونیک قدرت باعث شده است که فناوری‌های انرژی خورشیدی و بادی به طور قابل توجهی توسعه یابد. چند سال پیش، هزینه‌های آنها بسیار بیشتر از هزینه فن‌آوری‌های مرسوم بود، بنابراین انگیزه‌ها برای این فناوری‌های پاک برای ورود به شبکه برق ضروری بود. نتیجتا، طراحی کارآیی و کارآمد برای ارتقاء انرژی‌های تجدید پذیر تبدیل به یک موضوع اصلی شد.

در ادامه، خلاصه‌ای از رایج‌ترین سیاست ابزار ادغام انرژی‌های تجدید پذیر را ارائه می‌دهیم:

• بودجه تحقیق و توسعه این ابزار شامل حمایت مالی است.

• اعتبارات و کمکهای مالیاتی. اعتبارات مالیاتی سرمایه گذاری و تولید و کمک های نقدی ، اقداماتی است که توسط ایالات متحده انجام شده است با توجه به همه این پیچیدگی ها، توسعه گسترده ای وجود دارد.

مقالات متعددی به مطالعه در مورد برنامه‌ریزی توسعه پرداخته‌اند. مدل‌های برنامه‌ریزی به عنوان مثال، [1] و [2] بررسی‌های گسترده‌ای در مورد مسائل برنامه‌ریزی توسعه انتقال ارائه می‌دهند، در حالی که [3] بررسی مفصلی در برنامه‌ریزی توسعه تولید و انتقال ارائه می‌دهد. همچنین [4] ابزارهای مختلف برنامه‌ریزی توسعه را با تمرکز بر ادغام RES پوشش می‌دهد. چندین مقاله بررسی‌هایی در مورد تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی انجام داده‌اند. گزارش مفصلی در مورد مدل‌های توسعه، دامنه‌ها و کاربردهای آن در [5] ارائه شده است.

• استانداردهای RPS. این استانداردها یک وظیفه نظارتی برای تولید بخش معینی از انرژی شبکه از منابع تجدید پذیر است. RPS اهداف مشخص شده توسط قانون است، و در بسیاری از کشورها و ایالات به عنوان بخشی از سیاست‌های دولت اجرا شده است. مطالعات بیشماری وجود دارد که اثرات سیاست‌های RPS را در ایالات متحده ارزیابی می‌کند. همچنین، مطالعاتی نشان می‌دهد که سیاست‌های RPS تأثیر معنی‌دار و مثبتی در توسعه انرژی تجدید پذیر در کشور داشته است. به علاوه، یک مطالعه موردی برای شمال غربی ایالات متحده استدلال کرد که RPS تعیین شده در سال 2011 برای تحقق اهداف کاهش انتشار تعیین شده برای سال 2030 در این منطقه کافی نیست، و این که یک سیاست کربن قوی‌تر (مانند مالیات کربن بالاتر) به طور بالقوه می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد.

• تجارت. تجارت مبتنی بر بازار است. مکانیسم کنترل آلودگی، که توسط ماده 17 در نظر گرفته شده است. در این پروتکل، شرکت‌کنندگان واحد خریداری می‌کنند. شرکت کنندگان با داشتن واحد اضافی می‌توانند آنها را در بازار به هر مشارکت کننده‌ای که مایل به خرید آنها باشد، بفروشد. این مکانیسم بازار به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای ارزشی می‌بخشد و سرمایه‌گذاری را در منابع انرژی کارآمدتر تحریک می‌کند، اما به یک توافق بین المللی و یک برنامه‌ریزی دقیق نیاز دارد. اگر به طور نادرست اختصاص داده شود، این مکانیسم می‌تواند منجر به اثرات نامطلوب مانند نشت و تغییر شکل مجدد منابع تولید شود. بر خلاف سیاست‌های دیگر، تجارت به جای تحریک توسعه یک فناوری خاص، مستقیماً بر کاهش انتشار کربن متمرکز است.

• تعرفه بازده (FIT). یکی از اهداف اصلی این ابزار سیاستگذاری، استقرار سریع RES است، زیرا روش‌های جبران خسارت مبتنی بر عملکرد است نه مبتنی بر سرمایه گذاری. هدف دیگر ترویج سرمایه گذاری‌های کلان با کاهش خطرات ناشی از نوسانات بازار است. FIT ها به طور مؤثر هزینه را برای مشتری‌ها کاهش می‌دهند، و یکی از محبوب‌ترین سیاست‌های دولت‌ها است که در بیش از 70 کشور اجرا شده است.

• گواهی‌های انرژی تجدید پذیر (REC). همچنین به عنوان گواهی سبز معروف است. مطابق شبکه انرژی سبز وزارت انرژی ایالات متحده، گواهینامه‌های سبز ویژگی‌های زیست محیطی را به توان تولید شده منحصرا توسط RES ارائه می‌دهند. این گواهینامه‌ها ویژگی انرژی سبز را از واحد فیزیکی انرژی جدا می کنند. اگر آن REC به یک شرکت دیگر فروخته شود، آنگاه بنگاه نمی‌تواند ادعا کند که تولید انرژی تجدید پذیر می‌کند، زیرا این RECها توسط شخص ثالث به یک شرکت دیگر فروخته شده‌اند. گواهینامه‌ها و FITهای سبز در [3] مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، جایی که نویسندگان معتقدند FITها مؤثرترین سیاست برای تشویق استقرار سریع و پایدار از قدرت باد و در عین حال ریسک‌های سرمایه گذاری هستند. با این حال، در مطالعات دیگر با تمرکز در آمریکای لاتین، نویسندگان نتیجه می‌گیرند که طراحی سیاست FIT عامل اصلی رشد بازار انرژی‌های تجدید پذیر نیست. می‌توان استدلال کرد که هیچ یك از سیاست‌هاي FIT مورد مطالعه منجر به پاسخ قابل توجه بازار در منطقه نشده است.

• مالیات کربن. مالیات کربن ابزار مقرون به صرفه‌ای است که در سراسر جهان به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بیشترین سیاست‌های اجرا شده FIT و RPS هستند اما متخصصان هنوز هم درباره کارآیی آنها بحث می‌کنند به همین دلیل توصیه شده است که هر کشور با توجه به شرایط خاص خود و منافع خود تصمیم بگیرد که کدام ابزار سیاست گذاری را بکار ببرد. علاوه بر این، در هر مورد تصمیم‌گیری در مورد استفاده از ابزارهای مختلف سیاست گذاری با درک درست از وابستگی‌های متقابل و تأثیرات مورد انتظار، بسیار مهم و بسیار

پیچیده خواهد بود. با توجه به این، برنامه‌های جامع و بلند مدت نیاز است.
بنابراین، مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه سیستم قدرت می‌توانند نقش بسیار مهمی در این تصمیمات داشته باشند و برای تحلیل کمی سیاست گذاری انرژی مهم هستند. سیاست‌های مختلف را می‌توان به صورت ریاضی در مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه گنجاند تا به منظور تسهیل ارزیابی اثرات آنها در تکامل بلند مدت سیستم و هزینه‌های مرتبط با آنها استفاده شود.

3. ابزارهای پشتیبانی تصمیم گیری موجود برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی

انواع مختلفی از مدل‌ها و ابزارهای پشتیبانی تصمیم گیری وجود دارد. از آنجایی که چندین عامل تأثیرگذار بر سیستم‌های انرژی می‌توانند دائماً در حال تغییر باشند، و فناوری‌های جدید می‌توانند خیلی سریع تکامل یابند، لازم است سیاست‌های انرژی را بطور مکرر تطبیق داد. هنگام آزمایش اثرات یک سیاست خاص به دنبال راهی جهت رسیدن به یک هدف اقتصادی یا انتخاب محیطی خاص می‌باشیم. انتخاب یک مدل مناسب غلط ممکن است نتایج گمراه کننده را ارائه دهد. افق برنامه‌ریزی استفاده شده توسط ابزارهای مورد بررسی معمولاً بین 20 تا 40 سال است و سرمایه گذاری‌های انجام شده هر 2-5 سال انجام می‌شود. همچنین، دوره‌های زمانی بسته به مدل می‌توانند بسیار متفاوت باشند.

4. روندها و چالش‌ها

در این بخش، روندهای برنامه‌ریزی برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی و همچنین چندین چالش جالب برای تحقیقات آینده مورد بحث قرار می گیرد. منابع انرژی توزیع شده، پاسخ تقاضا و ذخیره انرژی ادغام منابع انرژی توزیع شده به سرعت در حال تغییر شکل در سیستم‌های انرژی است و می‌تواند برای کاهش انتشار کربن بسیار مهم باشد.
هنگام برنامه‌ریزی این منابع در دراز مدت، اهداف مختلفی از جمله جنبه‌های فنی، زیست محیطی و اقتصادی در معرض خطر است که منجر به ایجاد مشکلات تصمیم‌گیری دشوار و مهم برای سیاست گذاران می‌شود. برخی از مقالات بر تجزیه و تحلیل تأثیر منابع توزیع شده بر سیستمهای انرژی آن تمرکز می‌کنند. به ویژه، مطالعات اثرات شارژ EV را برای تجزیه و تحلیل تغییرات در تولید برق با استفاده از مدل برنامه‌ریزی SWITCH در نظر می‌گیرد.
مفهوم مهم دیگر پاسخگویی به تقاضا است. این مکانیسم‌ها چندین مزیت بالقوه از جمله سود بهره‌وری، کاهش هزینه‌های عملیاتی، ارائه خدمات جانبی و کاهش انتشار را دارند. اگرچه پاسخ تقاضا به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است، اما هنوز هم نیاز به مطالعات گسترده در این حوزه است. سرانجام، مفهوم مهم مخرب در برنامه‌ریزی انرژی، سیستم ذخیره انرژی است. فناوری‌های ذخیره انرژی در حال حاضر نقش بسیار مهمی در بسیاری از سیستم‌های انرژی ایفا می کند و گنجاندن گسترده آنها منجر به تأثیرات قوی خواهد شد. به عنوان مثال، انتظار می‌رود که عناصر ذخیره شده انرژی توزیع شده نقش اساسی را در عملکرد قابل اعتماد و اقتصادی شبکه‌های برقی هوشمند با مقادیر قابل توجهی از انرژی تجدید پذیر ایفا کند. علاوه بر این، در نهایت می تواند شکل مهمی از ذخیره انرژی وسایل نقلیه الکتریکی فراهم شود، که برق را در باتری خود ذخیره می کند، و همچنین می‌تواند انرژی تجدید پذیر اضافی تولید شده در یک سیستم الکتریکی را مهار کند.

4.1 تاب‌آوری سیستم انرژی

قابلیت اطمینان مفهومی است که در مطالعات زیادی استفاده شده است با این حال، تاب آوری هنوزهم یک مفهوم نسبتاً جدید تلقی می‌شود. به طور خلاصه، قابلیت اطمینان مربوط به وقایع با احتمال زیاد و تأثیر کم است و عمدتاً مربوط به زمان قطع مشتری است، در حالی که تاب‌آوری مربوط به وقایع با احتمال کم و تأثیر زیاد است و فقط مربوط به زمان قطع مشتری نیست بلکه به زمان بازیابی زیرساخت‌ها نیز می‌پردازد. به عبارت دیگر، یک سیستم زمانی تضمین می‌شود که در شرایط اضطرارعملکرد خوبی داشته باشد و یک سیستم وقتی تاب‌آور است که می‌تواند اختلالات غیرمعمول را تحمل کند و یا به سرعت از آنها بهبود یابد. بنابراین، سیستم‌های مدرن قدرت نه تنها باید هدفمند و قابل اعتماد باشند همچنین بایستی تا حد امکان مقاوم نیز باشند. تحقیقات در مورد تاب‌آوری سیستم قدرت به سرعت در حال رشد است. در مرحله برنامه‌ریزی، چندین مقاله این موضوع را بررسی کرده اند [6-9]. سایر مقالات در مرحله برنامه‌ریزی به اقداماتی پس از اختلال پرداخته اند، پشتیبانی از روند ترمیم پس از اختلال، کاهش خطرات اجتماعی و زیست محیطی در صورت در نظر گرفتن فرآیند بهینه‌سازی.همچنین، اقدامات ریسکی را می‌توان به راحتی در چارچوب‌های برنامه‌نویسی تصادفی گنجاند تا مسائل مربوط به قابلیت اطمینان را ثبت کند. به عنوان مثال، از تجزیه Benders و SDDP استفاده می‌شود.

4.2 چالش‌های بیشتر

هنگام اجرای مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه جهت تست اثرات ابزار سیاست خاص، ساده کردن جنبه‌های فیزیکی مدل یک روش معمول برای سرعت بخشیدن به روند و امکان تمرکز بر تأثیرات اقتصادی است. با این حال، اگر ساده سازی‌های فیزیکی انجام شده دور از رضایت باشد، نتیجه‌گیری از چنین مدلی می‌تواند در عمل نامعتبر باشد. بنابراین، یک روش توصیه شده برای انجام یک بررسی پس از بهینه‌سازی راه‌حل‌های به دست آمده تحت یک مدل فیزیکی بهتر است. با انگیزه گرفتن از این موضوع، ضمن حفظ قابلیت تراکم محاسباتی و توسعه ماژول‌های کارآمد برای بررسی برنامه‌های توسعه به دست آمده تحت مدل‌های عملیاتی دقیق تر ما توسعه مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه را به عنوان یک چالش مهم تحقیقاتی به رسمیت می شناسیم. موضوع دیگر مربوط به تجسم داده ها است. اجرای سیاست تجزیه و تحلیل در مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه، به دلیل وسعت این مشکلات، حجم وسیعی از داده‌ها را ایجاد می‌کند و تجزیه و تحلیل و کاوش این حجم از داده‌ها می‌تواند بسیار چالش برانگیز باشد، به خصوص اگر از نتایج برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک مانند تنظیم یا ساخت خط انتقال جدید استفاده شود. به منظور افزایش مشارکت مردم در فرآیندهای سیاست‌گذاری انرژی، این موضوع که ورودی‌ها و خروجی‌های مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه تا حد امکان توسط مخاطبان غیرعلمی قابل درک باشد، از اهمیت حیاتی برخورداراست. علاوه بر این، یک موضوع چالش برانگیز که سالهای اخیر به آن توجه چشمگیری شده است تعادل با جنبه‌های اقتصادی و اهداف پایداری می‌باشد. به عنوان مثال، برای یک برنامه توسعه بلند مدت برای یک سیستم انرژی چندین هدف اجتماعی می‌توان از طریق محدودیت‌ها یا مؤلفه‌های موجود در تابع هدف، در مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه گنجاند. ارائه اطلاعات اولیه در مورد برنامه‌های توسعه برای جوامع آسیب دیده جهت گسترش اعتبارسنجی اجتماعی بسیار مهم است. همچنین، برنامه‌ریز اجتماعی ممکن است نیاز به تدوین استراتژی هایی داشته باشد. بنابراین، یک چالش مهم برای پیدا کردن مدل‌های جدید و ابزاری که می‌تواند به طراحی سیاست‌های انرژی از جمله معیارهای توسعه اجتماعی کمک کند و می‌تواند

جوامع مربوطه و ذینفعان را در پروسه برنامه‌ریزی توسعه قرار دهد. سرانجام، یک چالش مهم دیگر برای افزایش اثربخشی و تأثیر مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه به محاسبات مربوط می شود.
بنابراین، توسعه الگوریتم‌های راه‌حل برای ساختارهای مختلف مساله مورد نیاز است. به همین ترتیب، روشهای مؤثر برای نشان دادن پدیده‌های مربوطه بصورت روتین قابل استفاده برای برنامه‌ریزان انرژی و سایر ذینفعان می‌تواند بسیار باارزش باشد. در طول این سطوح اخیر، رویکردهای چشمگیری در مطالعات وجود دارد.

5. نتایج

در این مقاله مروری به روز از مدل‌ها و ابزارهای برنامه‌ریزی توسعه برای تحلیل سیاست‌های انرژی ارائه شده است. به طور خاص، خلاصه‌ای از مناسب‌ترین ابزارهای سیاست برای ادغام انرژی‌های تجدید پذیر، بررسی جامع از مقالات پژوهشی در مورد مدل های برنامه‌ریزی و تلفیقی از ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری موجود برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های انرژی را ارائه می دهد. این مدل‌ها پیچیده هستند و ایجاد چالش می‌کنند. در این مقاله، بحث کاملی درباره اهمیت مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه در حمایت از روند طراحی و اجرای سیاست‌های انرژی ارائه شده است. نیاز اصلی توصیف روش ریاضی سیاست‌های انرژی مختلف و ترکیب آنها در مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه می‌باشد. به این ترتیب، ارزیابی اثرات آنها در تکامل بلند مدت سیستم و هزینه‌های مرتبط با آنها می‌تواند انجام شود. علاوه بر این، بحث در مورد روندهای اصلی مطالعه و مهمترین چالش‌های جاری در ترکیب مفاهیم جدید در مدل‌های برنامه‌ریزی توسعه و چگونگی این امر می‌تواند به پشتیبانی اساسی و بهبود یافته‌ای از تحلیل سیاست انرژی منجر شود. سرانجام، روندها و چالش‌های مربوط به مدل‌سازی، ادغام فن آوری‌های جدید و مسائل مقیاس‌پذیری برای مدل‌های توسعه مورد بحث قرار گرفته است.

مراجع و منابع

[1] Aliyan, E., Aghamohammadi, M., Kia, M., Heidari, A., and Shafie-khah, M., and Catalão, J. P., 2020. "Decision tree analysis to identify harmful contingencies and estimate blackout indices for predicting system vulnerability". *Electric Power Systems Research*, 178, pp. 106-136.

[2] Askari, M., Ab Kadir, M., Hizam, H., and Jasni, J., 2014. "A new comprehensive model to simulate the restructured power market for seasonal price signals by considering on the wind resources". *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 6(2), pp. 23-104. https://doi.org/10.1063/1.4869141

[3] Askari, M. T., Kadir, M. Z. A. A., Tahmasebi, M., and Bolandifar, E., 2019. "Modeling optimal long-term investment strategies of hybrid wind-thermal companies in restructured power market". *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7(5), pp. 1267-1279.

[4] Karimi, E., and Ebrahimi, A., 2015. "Inclusion of blackouts risk in probabilistic transmission expansion planning by a multi-objective framework". *IEEE Trans Power Syst*, 30(5), pp. 2810–2817.

[5] Nemati, H., Latify, MA., and Yousefi, GR., 2018. "Coordinated generation and transmission expansion planning for a power system under physical deliberate attacks". *Int J Electr Power Energy Syst*, 96, pp. 208–221. doi:10.1016/j.ijepes.2017.09.031

[6] Rezaei, M., Askari, M. T., Amirahmadi, M., and Ghods, V., 2023. "Dynamic Multi-Level Generation and Transmission Expansion Planning Model of Multi-Carrier Energy System to Improve Resilience of Power System". *Journal of Industrial Electronics Control and Optimization*, 6(1), pp.13-30 doi: 10.22111/ieco.2023.42385.1428

[7] Rezaei, M., Askari, M. T., Amirahmadi, M, and Ghods, V., 2023. "Challenges of GTEP Considering Power System Resilience and Provide Solutions", *IJE TRANSACTIONS B*, 36(05), May, pp. 824-841. doi: 10.5829/ije.2023.36.05b.01

[8] Vahid-Pakdel, M., Nojavan, S., Mohammadi-Ivatloo, B., and Zare, K., 2017. "Stochastic optimization of energy hub operation with consideration of thermal energy market and demand response". *Energy Conversion and Management*, 145, pp. 117-128.

[9] Yuan, X., Dai, Y., Stanley, H. E., and S. Havlin, 2016. "k-core percolation on complex networks: Comparing random, localized, and targeted attacks". *Phys. Rev. E*, 93, Jun, pp. 262-302.