DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.2.7.6

سال هفتم، شماره دوم، پائیز و زمستان ۱۳۹۹، ص ص ۵۸- ۶۷

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹

سیستم‌های انرژی هوشمند، مسیری به سمت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر

محمدمهدی رضایی[۱]، حسین یوسفی [۲*]، یونس نوراللهی [۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی سیستم‌های انرژی، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

* صندوق پستی تهران، ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Hosseinyousefi@ut.ac.ir

چکیده

رشد جمعیت و نیاز کشور به حرکت در میسر توسعه، نیاز به استفاده بیشتری از منابع انرژی دارد. در حال حاضر، سیستم‌های انرژی کشور با استفاده از سوخت‌های فسیلی به پاسخگویی به این نیاز می‌پردازند. محدود و پایان‌پذیر بودن منابع سوخت‌های فسیلی، ایجاد انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش دمای کره زمین که از جمله معایب آشکار استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر می‌باشد، ضرورت حرکت سریع‌تر به سمت استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر را بیش از پیش مشخص می‌کند. عدم وجود مدل انرژی بهینه و کارآمد و نقص در ساختار سیستم‌های انرژی کشور، از مهمترین دلایلی است که سبب شده‌است تا با وجود آگاهی از مشکلات انرژی‌های تجدید ناپذیر و مضرات آن، همچنان ناگزیر به استفاده از این سبد انرژی باشیم. سیستم‌های انرژی هوشمند، با در نظر گرفتن هر سه سیستم اصلی انرژی (الکتریسیته، حرارت، انتقال) متصل به یکدیگر، سیستم انرژی را به عنوان یک کل مورد بررسی قرار می‌دهد تا ضمن تامین تقاضای آن، به ارائه راهکاری مناسب برای پاسخگویی به نیاز هر یک از بخش‌های زیر مجموعه خود، با بالاترین بازده فنی و اقتصادی، بپردازد. در همین راستا، در این مقاله، پس از بیان مبانی نظری سیستم‌های انرژی هوشمند و بررسی پیشینه شکل‌گیری و استفاده آن، به مشکل اصلی (عدم وجود تناسب میان افزایش جمعیت و افزایش مصرف انرژی در راستای دستیابی به توسعه پایدار) پرداخته شده‌است تا با بررسی روش‌های انجام کار، چگونگی دستیابی به مدل سیستم انرژی هوشمند، به‌منظور ایجاد مسیری هموار به سمت توسعه در بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر معین شود.

کلیدواژگان: سیستم‌های انرژی هوشمند-مدل‌سازی انرژی-انرژی‌های تجدیدپذیر-حامل‌های انرژی-توسعه‌پایدار

Smart Energy Systems, A pathway to Renewable Energies Development

Mohammadmahdi Rezaei[1], Hossein Yousefi[2*], Younes Noorollahi[2]

1- Master Student, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran

* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Received: 8 July 2019 Accepted: 10 December 2019

Abstract

Population growth and the country's need to move towards development, requires the optimal use of energy. Nowadays, the current energy systems of the country, use fossil fuels to meet this need. The limitations and exhaustibility of fossil fuels, the creation of various types of environmental pollutions, greenhouse gas emissions and global warming, that indicates the obvious disadvantages of the use of non-renewable energies, further underscores the need for faster movement towards using renewable energies. The lack of an efficient and optimal energy model and a defect in the structure of the energy systems of the country, is one of the main reasons why in spite of the awareness of the problems of non-renewable energies and its harmfulness it is still we use these energy baskets. Smart energy systems, considering each of the three main energy systems (electricity, heat, and transmission) interconnect each other, examines the energy system as a whole to provide an appropriate solution to meet the demand as well as the need for each of its subset sectors, with the highest technical and economic justification. So, in this paper, after expressing the theoretical foundations of smart energy systems and examining the background of its formation and its use, the main problem (The lack of proportionality between increasing population and increasing energy consumption in pursuit of sustainable development)

www.SID.ir

has been studied, till by exploring the methods of doing this work, a smooth path to development in the use of renewable energies to be founded.

Keywords: Smart Energy Systems– Energy Modeling– Renewable Energies– Energy Carriers– Sustainable Development

www.SID.ir

۱- مقدمه

با توجه به افزایش مشکلات زیست محیطی ناشی از رشد مصرف جهانی انرژی، برنامه‌ریزی انرژی و بهره‌گیری از ابزارهای طراحی سیاست‌های انرژی و زیست محیطی از اهمیت بیشتری برخوردار شده‌اند. مشکلات مربوط به انرژی همچنان به عنوان یکی از موانع اصلی رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه، که بخش انرژی قسمت عظیمی از سرمایه‌های عمومی این کشور ها را به خود اختصاص می‌دهد، مطرح می‌باشد. تامین انرژی پایدار همراه با سیستم عرضه مطمئن برای جمعیت رو به رشد یک کشور، به‌منظور دستیابی به مسیری سازگار با محیط زیست، نیازمند سرمایه گذاری‌های عمده‌ای می‌باشد.

با توجه به محدود و پایان پذیر بودن ظرفیت انرژی، مسئله امنیت و پایداری انرژی از مهمترین چالش‌های این حوزه می‌باشد. عبارت "سیستم‌های انرژی هوشمند" با نگرشی خاص، فراتر از شبکه‌های هوشمند[۲] تمرکز فعالیت‌های سیاست‌گذاری و مدل‌سازی انرژی را بر روی حوزه‌هایی فراتر از الکتریسیته، شامل حرارت و برودت، صنعت، ساختمان‌ها، حمل و نقل و... قرار می‌دهد و بدین ترتیب راهکارهای مناسب‌تری را برای حرکت به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر فراهم می‌کند. در دهه اخیر تمرکز محققان بر عنوان شبکه‌های هوشمند، بر پایه شبکه‌های توزیع الکتریسیته، بوده است. با توجه به پیشرفت هایی در سیستم های تولید، ذخیره سازی و تبدیل انرژی، تمرکز ویژه ای بر سیستم های انرژی با چند حامل ایجاد شده‌است. چنین سیستمی، با بیان ارتباط میان ساختارهای مختلف انرژی و بار های انرژی، علاوه بر هدفمندکردن تولید و مصرف کل سیستم انرژی، به ارائه راه حل برای هر یک از قسمت ها نیز می‌پردازد و بدین ترتیب منجر به برطرف شدن نیاز اصلی سیستم، یعنی امنیت پایدار انرژی با استفاده از انرژِهای تجدیدپذیر و علاوه بر آن، کاهش آلودگی هوا نیز خواهد شد.

۲- مبانی نظری

در این مقاله، ابتدا به بررسی مبای نظری، مفاهیم و اصول مهندسی سیستم‌های انرژی و انواع آن پرداخته می‌شود و پس از آن، با مروری کامل، پیشینه تحقیق موضوع سیستم‌های هوشمند انرژی به‌منظور دستیابی به تامین انرژی پایدار مورد بررسی واقع خواهد شد تا در نهایت، ضمن بررسی مشکلات و مسائل پیش‌رو این حوزه، چالش‌های فعلی منطقه مورد نظر مطرح شود. در انتها نیز، با بررسی روش‌های پاسخ‌گویی به این چالش‌ها، راهکاری برای حرکت به سمت استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدید پذیر، معرفی و بکارگرفته شده‌است.

۲-۱- مدل‌سازی انرژی

مهمترین نیاز جوامع بشری برای توسعه و رشد، به بخش مصرف انرژی مربوط می‌شود. لذا باتوجه به مفهوم توسعه پایدار[۳] نیاز به برنامه‌ریزی صحیح و تدوین مدل‌های عرضه-تقاضا مناسب، به منظور پاسخگویی به آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. مدل‌های انرژی را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

۲-۱-۱- مدل‌های تقاضای انرژی

مدل‌های تقاضای انرژی برای مطالعه تقاضای انرژی بخش‌های مختلف و تاثیر رشد آن بر میزان انرژی نهایی و انرژی قابل مصرف، طراحی شده‌اند. در میان این مدل‌ها، مدل فنی- مهندسی گستردگی بیشتری دارند، اما از مدل‌های اقتصادسنجی نیز استفاده می‌شود[۱].

۲-۱-۲- مدل‌های عرضه انرژی

مدل‌های عرضه انرژی به منظور کمینه کردن هزینه دستیابی به افزایش ظرفیت عرضه انرژی با توجه به محدودیت های سیستم طراحی شده اند. این محدودیت ها شامل مسائل فنی، مالی و زیست محیطی می‌باشند. این مدل‌ها، تقاضای انرژی را به عنوان ورودی دریافت می‌کنند، اما اثرات قیمت‌ها و دیگر ابزارهای مدیریت تقاضای انرژی برای ترازمند کردن عرضه و تقاضا را مورد توجه قرار نمی‌دهند. مدل‌ها معمولا از روش‌های شبیه‌سازی یا بهینه‌سازی استفاده می‌کنند[۱].

۲-۲- شبکه‌های هوشمند انرژی

به‌صورت کلی، شبکه‌های هوشمند انرژی این امکان را برای سیستم مهیا می‌کنند تا نظارت، تجزیه و تحلیل، کنترل و ارتباطات در زنجیره تامین را برای کمک به بهبود بهره‌وری، کاهش مصرف انرژی و هزینه و به حداکثر رساندن شفافیت و قابلیت اطمینان زنجیره تامین فراهم کند. شبکه‌های هوشمند انرژی به سه دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند[۲]:

۲-۲-۱- شبکه‌های الکتریسیته هوشمند[۴]

این شبکه‌ها زیرساخت های التریکالی هستند که فعالیت تمام کاربران متصل به خود، اعم از تولید کننده، مصرف‌کننده و بخش‌هایی که هر دو فعالیت تولید و مصرف را انجام می‌دهند، را به منظور تامین پایدار، اقتصادی و امن الکتریسیته تجمیع می‌کند.

۲-۲-۲- شبکه‌های حرارت هوشمند[۵]

شبکه‌ای از لوله‌ها که ساختمان ها، شهرها و حومه آن‌ها را به یکدیگر متصل‌کرده تا بتوانند نیاز های سرمایش و گرمایش این مناطق را توسط نیروگاه های اطراف، حوزه‌های تولید پراکنده و یا مراکز توزیع تامین می‌کند.

۲-۲-۳- شبکه‌های گاز (حمل و نقل) هوشمند[۶]

زیرساخت‌های گازی که به صورت هوشمند، فعالیت تمام قسمت های متصل به خود، اعم از تولید کننده، مصرف‌کننده و بخش‌هایی که هر دو فعالیت تولید و مصرف را انجام می‌دهند، را به منظور تامین و یا ذخیره سازی ایمن، اقتصادی و پایدار گاز، تجمیع می‌کند.

۲-۳- سیستم‌های انرژی هوشمند

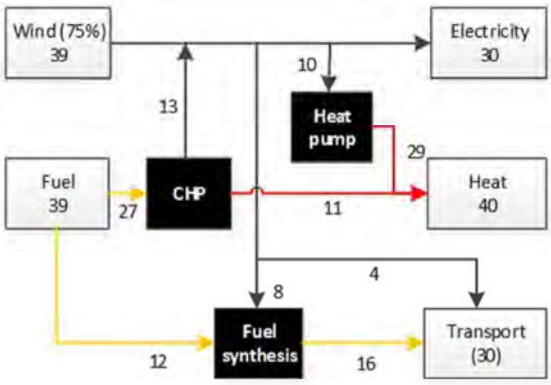
نگرش تک سیستمی به هر کدام از سه حوزه مرجع الکتریسیته، حرارت و گاز، سبب افزایش هزینه‌های اقتصادی، پیچیده شدن محاسبات و غالبا عدم دستیابی به پاسخی بهینه در سیستم انرژی منطقه مورد نظر خواهد شد. لذا، با این رویکرد، دستیابی به بازده حداکثری در تامین و مصرف انرژی هر قسمت قابل دستیابی نبوده و افزایش بی‌رویه مصرف انرژی را به دنبال خواهد داشت و در نهایت، هدف توسعه پایدار ارضا نخواهدشد[۲].

عبارت سیستم‌های انرژی هوشمند، به اختصار سیستم‌های انرژی، بیانگر ترکیب سه حوزه اصلی انرژی ذکر شده در قسمت قبلی گزارش، شبکه‌های هوشمند

۱. Smart Energy Systems
۲. Smart Grids
۳. توسعه پایدار به معنای تلفیق اهداف اقتصادی ، اجتماعی و زیست محیطی برای حداکثرسازی رفاه انسان فعلی بدون آسیب به توانایی نسل‌های آتی برای برآوردن نیازهایشان می‌باشد.
۴. Smart Electricity Grids
۵. Smart Thermal Grids
۶. Smart Gas Grids

www.SID.ir

برق و حرارت و گاز، می‌باشد. همانطور که در شکل۱ نمایش داده شده‌است، این شبکه ها (در قسمت تقاضا) با یکدیگر ترکیب و هماهنگ شده تا با بهره‌گیری از همکاری سه بخش، علاوه بر دستیابی به راه‌حلی بهینه برای هر کدام از بخش ها، منجر به بهبود بهره‌وری و راندمان کل سیستم شوند.



شکل ۱ نمونه از یک سیستم انرژی هوشمند [۳]

۳- پیشینه تحقیق

عبارت سیستم‌های انرژی هوشمند، ابتدا در سال ۲۰۰۹ توسط گروهی پاکستانی، در مقاله ای با نام " سیستم انرژی هوشمند کاملا مجتمع شده از طریق دسترسی به داده‌ها از راه دور " مطرح شد[۴]. این مقاله، تنها بر شبکه‌های هوشمند الکتریسیته تمرکز کرده است و حوزه های دیگر انرژی، در آن مورد بررسی واقع نشده‌است.

با بررسی دقیق‌تر در میان مقالات منتشر شده در مجلات معتبر علمی و سند راهبردی شهر و کشورها [۵]، مشاهده می‌شود، با مرور زمان بر غنای علمی این موضوع افزوده شده و گسترش فعالیت در این حوزه سبب تکامل آن گشته و اهمیت بکارگیری آن، به منظور دستیابی به مدلی پایدار در سیستم انرژی مورد نظر، بیش از پیش ثابت شده‌است.

مقالات علمی مرتبط با حوزه سیستم‌های انرژی هوشمند، به دوسته کلی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف) این گروه، عمدتا، مقالات ابتدایی در این حوزه را در بر می‌گیرد. طی سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳، اکثر مقالات در ارتباط با شبکه های هوشمند الکتریسیته و تمرکز آن‌ها بر روی یافتن پاسخی جامع و بهینه به‌منظور هدفمند سازی شبکه های برق می‌باشد. بعضا پژوهش ها و تحقیقاتی با عنوان سیستم های هوشمند انرژی در این بازه زمانی انجام شده‌است که مفهوم اینترنت اشیا و هوشمند سازی مراکز را با مفهوم اصلی سیستم‌های انرژی ترکیب، و بهینه‌سازی مصرف انرژی را با کنترل از راه دور وسایل ارضا کرده‌است. به‌عبارت دیگر، مقالات این گروه عمده تمرکز خود را بر واژه "هوشمند"، در عبارت سیستم‌های انرژی هوشمند، قرار داده و فاصله بسیار زیادی با نگرش سیستمی این حوزه دارد.

ب) این گروه، بازه زمانی سال های ۲۰۱۳ تا حال حاضر را در بر می‌گیرد. بررسی مقالات این بازه زمانی بیانگر رشد و تکامل موضوع می‌باشد. مقالات عمدتا مربوط به سیستم‌های انرژی در ابعاد متفاوت (اعم از مراکز صنعتی، شهر و کشور) بوده و نگرش سیستمی و ترکیب شبکه‌های انرژی با یکدیگر (دو شبکه و یا هر سه شبکه) به منظور یافتن پاسخی جامع برای هر شبکه انرژی، و در نهایت کل سیستم انرژی مورد بررسی، در آن‌ها مشهود می‌باشد. تمرکز این گروه عمدتا بر واژه "سیستم"، در عبارت سیستم‌های انرژی هوشمند می‌باشد که بیانگر همان نگرش جامع و سیستماتیک در این حوزه است.

۳-۱- بررسی مقالات با رویکرد هوشمند بودن سیستم‌ها

همانطور که پیشتر به آن اشاره‌شد، عمده مقالات این دسته، مربوط به نگرش تک بخشی، به عنوان مثال تنها با پوشش شبکه‌های هوشمند الکتریسیته، می‌شوند.

محمدطاهر قدری، عرفان انیس و نواز ارشادخان در سال ۲۰۰۹ در مقاله‌ای با نام "سیستم انرژی هوشمند کاملا مجتمع شده از طریق دسترسی به داده‌ها از راه دور"، در ارتباط با نگرش برخط کنترل سیستم مدیریت انرژی از طریق ابزاری به نام "لب ویو[۱]" پژوهشی را به انجام رسانده‌اند. هرچند نگرش پژوهش در ارتباط با حوزه الکتریسیته و شبکه‌های برق ۳فاز متناوب[۲] بوده است، اما این اولین مقاله‌ای است که در آن از عبارت سیستم انرژی هوشمند نام برده شده‌است. در این پژوهش، به محض قطع برق شبکه، ژنراتورهای متصل شده (به صورت سری یا موازی) در سیستم به صورت خودکار شروع به فعالیت می‌کنند، رایانه داده‌ها را به سیستم ارسال می‌کند و سیستم به درخواست پاسخ می‌دهد[۴]. با توجه به شروع عصر ارتباطات و فراگیر شدن استفاده از اینترنت در آن زمان؛ کنترل یک سیستم بدون توجه به موقعیت جغرافیایی، نوآوری این مقاله به حساب می‌آید.

پیتر کراسلی و اگنس بویز در سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای با نام "سیستم‌های انرژی هوشمند: انتقال انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه"، پژوهشی را براساس بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر و ارسال توان تولیدی به شبکه الکتریکی به انجام رسانده‌اند. ضرورت کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و تعهدات اتحادیه اروپا در راستای چشم‌اندازهای ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ میلادی مبنی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، نگرش مقاله را بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر قرار داده است. استفاده هوشمند از شبکه‌های متصل به سیستم‌های کنترل برخط، راهکاری برای "هوشمندتر" سازی شبکه الکتریسیته در نظر گرفته‌شده‌است تا ضمن بررسی شبکه، بتواند تعادلی را میان تولید، توزیع و ذخیره‌سازی انرژی برقرار کند. همچنین راهکارهایی به منظور افزایش تاب‌آوری شبکه در مواجهه با مواقع کمبود و یا محدود شدن منابع تجدیدپذیر ارائه شده‌است[۶].

کیوشی سایتو و جونگسو جئونگ در سال ۲۰۱۱ میلادی، در مقاله‌ای با نام "توسعه چند منظوره شبیه‌ساز سیستم انرژی"، با معرفی سیستم انرژی هوشمند تحت عنوان سیستمی با ابعاد بسیار بزرگ، متشکل از حامل‌های انرژی تجدیدپذیر به همراه بکارگیری فناوری‌های نو، نظیر پمپ‌های حرارتی، به بررسی روش‌های افزایش بهره‌وری در تولید انرژی می‌پردازد. سایتو و جئونگ در این مقاله عنوان می‌کنند که به‌علت گسترده و بزرگ بودن ابعاد سیستم انرژی، نیاز به کوچک کردن بازه بررسی و به نوعی برسی قسمت به قسمت آن می‌باشد. محدودیت در ابزار، نوپا بودن تکنولوژی و جدید بودن دانش در حوزه سیستم‌های انرژی سبب شده‌است تا در این مقاله، به ارائه مدلی شبیه‌ساز پرداخته شود؛ با این وجود مدل برنامه‌ریزی شده نه برای توسعه و یا محاسبات انرژی سیستم، بلکه به‌منظور مدل‌سازی و شبیه‌سازی اجزای درون سیستم، نظیر سیستم تولید توان، توسعه داده‌شده‌است[۷].

میخائیل سیمونوف، مارکو موستا، فرانچسکو گریماکیا و همکاران در سال ۲۰۱۲ میلادی، در مقاله‌ای با نام" پیش‌بینی میزان تولید نیروگاه فتوولتائیک

۱Smart
۲LabView

۳Three Phase Alternative Current (3phase AC)

www.SID.ir

توسط هوش مصنوعی به‌منظور همگرایی در سیستم‌های انرژی هوشمند"، با بکارگیری الگوریتم شبکه عصبی، به بهینه‌سازی و مدیریت انرژی تولیدی نیروگاه‌های فتوولتائیک در حوزه‌های تولید، توزیع، مصرف و ذخیره‌سازی می‌پردازد. اطلاعات پیش‌بینی وضعیت آب‌وهوا به عنوان یکی از پارامترهای اساسی در این مقاله بررسی شده‌است تا بازدهی و میزان کاربرد نیروگاه‌های فتوولتائیک را نشان‌دهد و در انتها به امکان‌سنجی اتصال کامل نیروگاه به شبکه الکتریکی، در چشم‌اندازهای آینده، می‌پردازد[۸].

اولاف فن پرویسن، آرمین فن در تات و اوود ورکمن در سال ۲۰۱۴ میلادی، در مقاله‌ای با نام "مقایسه کارایی انرژی یک سیستم گرمایی مبتنی بر بازار مرکزی و چندگانه به صورت آزمایشی"، به امکان‌سنجی تامین نیاز شبکه‌های حرارتی توسط منابع انرژی تجدیدپذیر به صورت هوشمند می‌پردازد. در این پژوهش، مسئولیت تامین حرارت بر عهده پمپ‌های حرارتی و کلکتورهای خورشیدی قرار داده شده‌است. در این مقاله پس از تایید و تاکید بر استفاده از راه‌حل‌های چندگانه، به‌منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری انرژی، به شبیه‌سازی تامین نیاز حرارتی یک ساختمان مسکونی از طریق گرمایش از کف پرداخته شده‌است. در ادامه، این مقاله به مقایسه روش مورد نظر با سناریو بکارگیری سیستم مدیریت هوا مرکزی به منظور مدیریت سیستم گرمایش پرداخته است. نتیجه پژوهش فن پرویسن و همکارانش بدین شرح است که سیستم‌های چندگانه تجمعی، قادر به کنترل پایدار و مدیریت بهتری از انرژی می‌باشند و در تامین عرضه امن، نسبت به سایر روش‌ها، ارجحیت دارند[۹].

مقالات مرازوواک، بیلیکا، کوکولی و همکاران در سال ۲۰۱۳ میلادی با نام "یک روش تشخیص انسانی برای سیستم‌های انرژی هوشمند مسکونی مبتنی بر تغییرات"، سایتو و جئونگ در سال ۲۰۱۲ میلادی با نام "توسعه چندمنظوره شبیه‌ساز سیستم انرژی" و هالوگارد، بچر و همکاران در سال ۲۰۱۲ میلادی با نام "کنترل پیش‌بینی مدل برای یک تانک خورشیدی هوشمند بر اساس آب و هوا و مصرف"، از دیگر مقالاتی هستند که عمده تمرکز خود را بر مدیریت تنها یک شبکه انرژی قرار داده و در ابعاد بزرگ و کوچک، به هوشمندسازی، کنترل مصرف و تامین تقاضا پرداخته‌اند[۱۲-۱۰].

۳-۲- بررسی مقالات با رویکرد جامع و ترکیبی بودن سیستم‌ها

گروه دیگری از مقالات در حوزه سیستم‌های انرژی هوشمند، که با نگرشی سیستماتیک و چندوجهی به حل مسائل مدیریت انرژی پرداخته اند، به شرح زیر می‌باشد.

هنریک لوند، آندرس آندرسن، پاوئل آلبرگ اوستگارد و برایان متیسن، در سال ۲۰۱۲ در مقاله‌ای با نام " از شبکه‌های هوشمند الکتریسیته به سیستم‌های انرژی هوشمند-رویکردی مبتنی بر عملکردهای بازار"، برای نخستین بار، به مفهوم حقیقی سیستم‌های انرژی هوشمند اشاره کرده‌اند. دکتر لوند و همکارانش، در این مقاله، ضمن تاکید بر این نکته که وارد کردن توان تولیدی نیروگاه‌های تجدیدپذیر، به علت نوسان، به شبکه هوشمند برق نمی‌تواند به عنوان مسئله‌ای جداگانه مورد بررسی قرارگیرد، آن را به عنوان یکی از چند چالش پیش‌رو در دستیابی به تامین و عرضه پایدار انرژی معرفی می‌کنند. در همین راستا، با پیشنهاد رابطهایی میان شبکه‌های هوشمند برق و حرارت و گاز، به تقویت و کارآمد تر کردن سیستم می‌پردازند. تنها راه حل ادغام شبکه‌های سه‌گانه، تا این زمان، به استفاده از سیستم‌های سی اچ پی[۱] تخصیص یافته‌است. همچنین در این مقاله تاکید شده‌است که درنظر گرفتن شبکه‌های هوشمند در کنار یکدیگر، و نه به صورت بخش‌هایی جداگانه، سبب برطرف شدن چالش افزایش بار اضافی شبکه و صادرات آن و همچنین کاهش سهم مصرف سوخت‌های فسیلی و یا افزایش بازده استفاده از آن‌ها خواهدشد[۱۳].

فردی هولپلاند، برند مولر وکارل سپرلینگ در سال ۲۰۱۳، در مقاله‌ای با نام " مالکیت محلی، سیستم‌های انرژی هوشمند و اقتصاد مبتی بر انرژی بادی بهتر"، به بررسی تاثیر افزایش سهم انرژی بادی در عرضه پایدار انرژی و بهبودهای اقتصادی آن با ارائه دو سناریو پرداخته‌اند. در سناریو اول، سهم انرژی بادی به‌وسیله تجمیع شبکه‌های برق و حرارت افزایش داده شده‌است تا تضمین کند که انرژی تولیدی از سایر انرژی‌های مشابه گران‌تر نباشد. سناریو دیگر به کاهش هزینه‌های انرژی بادی با ایجاد ظرفیت نیروگاه‌هایی خارج از ساحل[۲] بیشتر می‌باشد[۱۴].

دیوید کانلی و برایان متیسن، در سال ۲۰۱۴، در مقاله‌ای با نام "تحلیل فنی و اقتصادی یک مسیر بالقوه به‌منظور (دستیابی به) یک سیستم ۱۰۰٪ تجدیدپذیر"، امکان پذیر بودن حرکت از یک سیستم انرژی مرسوم با مصرف انرژی فسیلی به سمت سیستم انرژی تجدیدپذیر را بررسی کرده‌اند. در ادامه مقاله مشخص شده‌است که این حرکت، مستلزم تغییرات اساسی در زمینه فنی در بخش عرضه انرژی، بررسی ویژه منابع انرژی در دسترس، بکارگیری انتقال حرارت مستقیم، استفاده از پمپ‌های حرارتی در ابعاد متفاوت، افزودن خودروهای الکتریکی به شبکه مصرف، تولید سوخت‌های زیستی با استفاده از انرژی الکتریکی و در نهایت، استفاده از گاز سنتز به‌منظور جایگزینی میزان سوخت فسیلی باقی‌مانده است. در تمام قسمت‌ها، ارزیابی فنی و اقتصادی برای بررسی امکان پیاده‌سازی طرح صورت گرفته‌است که در نتیجه مشخص شده‌است که سیستم انرژی ۱۰۰٪ تجدیدپذیر می‌تواند به همان میزان نیاز فعلی، تولید انرژی مورد نیاز را با هزینه‌ای مشابه مصرف انرژی فعلی (سال بررسی ۲۰۱۴)، در صورت ثبات قیمت انرژی در بازه زمانی کوتاه و بلند مدت، داشته باشد وبدین ترتیب، دستیابی به چشم انداز افق سال ۲۰۵۰ میلادی میسر و امکان‌پذیر خواهد بود. همچنین، حرکت به سمت تبدیل سیستم‌انرژی به حالت ۱۰۰٪ مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در نمونه مورد بررسی، ایرلند، منجر به ایجاد ۱۰۰۰۰۰ شغل جدید به نسب سطح تولید فعلی خواهدشد[۱۵].

با گذشت زمان رفته‌رفته بر غنای موضوع افزوده شد، تا جایی که در سال ۲۰۱۵، سند چشم انداز سال ۲۰۵۰ میلادی کشور دانمارک با نام آی‌دا، در گروه مدل‌سازی انرژی و توسعه انرژی پایدار دانشگاه آلبورگ، تهیه و تدوین شد. در این طرح، ضمن تاکید به اهمیت حرکت به سمت تبدیل سیتم انرژی فعلی به سیستمی با رویکرد ۱۰۰٪ تجدیدپذیر، سیستم انرژی هوشمند مورد نظر توسط انرژی‌پلن مدل شده‌است[۵].

در سال۲۰۱۵ میلادی، برایان متیسن، هنریک لوند، دیوید کانلی و همکاران، در مقاله‌ای با نام " سیستم‌های انرژی هوشمند به‌منظور (ارائه) راه‌حل ۱۰۰٪ انرژی تجدیدپذیر و بخش حمل‌ونقل"، به‌دنبال یافتن راه‌حلی اقتصادی و بهینه در مصرف انرژی، مدل‌های انرژی متفاوت اعم از سیستم انرژی مرسوم، سیستم‌انرژی به کمک نیروگاه‌های سی اچ پی، سیستم انرژی با پمپ‌های حرارتی و سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر با نسبت سهم فزاینده را مورد بررسی قرار داده‌اند. مشابه سایر مقالات این دسته، در این مقاله نیز، در عوض نگرشی تک‌جانبه به موضوع عرضه انرژی، نیاز انرژی هر ۳ حوزه الکتریسیته، حرارت و حمل و نقل در نظر گرفته شده‌است و با احتساب نسبت سهمی، به ترتیب،۳۰،

۱Combined Heat and Power (CHP)

۲Offshore

www.SID.ir

www.jrenew.ir..... /..... info@jrenew.ir

۴۰ و ۳۰ درصد به هر بخش، نحوه تایم انرژی مورد نیاز درمدل‌های انرژی متعدد بررسی شده‌است. آنچه که از این مقاله قابل برداشت است، علاوه بر نحوه مدل‌سازی سیستم‌های انرژی هوشمند به صورت گام به گام، این است که حرکت به سمت تامین نیاز انرژی یک منطقه به صورت کاملا تجدیدپذیر و کاملا پایدار نیازمند حرکتی مستمر، مداوم و منطقی است. لذا همانطور که در این مقاله به‌آن اشاره شده‌است، انرژی‌های تجدیدپذیر در ابتدا به صورت ترکیبی و نسبی به شبکه انرژی افزوده شده و پس از گذشت زمان، ضمن قابل پذیرش شدن هزینه‌های اقتصادی، به افزایش سهمشان پرداخته خواهد شد[۱۶].

در سال ۲۰۱۶، اهمیت پیاده‌سازی و استفاده از سیستم‌های انرژی هوشمند فراتر رفته است، تا جایی که ارنست نوپرز، کیس کیزرز، مارکو میلووانوویچ و لیندا ستگ، در مقاله‌ای با نام " اهمیت ویژگی‌های سازنده، نمادین و زیست‌محیطی برای پذیرش سیستم‌های انرژی هوشمند"، به بررسی ابعاد اجتماعی این نگرش در ارتباط با پذیرش عمومی آن پرداخته‌اند. نتایج تحقیقات این گروه علمی حاکی از آن است که کسانی که به پذیرش این نگرش روی آورده اند، ویژگی‌های نمادین آن را موثر و مثبت دانسته‌اند و کسانی که موافق این طرح و یا مخالف آن بوده‌اند، نظر یکسانی پیرامون ویژگی‌های زیست‌محیطی و سازنده آن داشته‌اند. لذا پیشنهاد شده‌است تا سیاست‌گذاران انرژی به تاکید، بهبود و جلوه دادن بیشتر ویژگی‌های نمادین این سیتم‌ها، برای جلب نظر مثب مخالفان، بپردازند[۱۷].

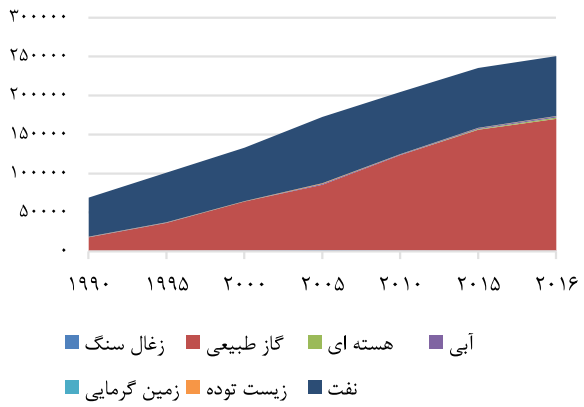
سوزانا پاردکوپر، راسموس لوند و هنریک لوند نیز در مقاله‌ای در سال ۲۰۱۹، با نام "سیستم‌های انرژی هوشمند"، به‌صورت جزیی به بررسی سیستم‌انرژی به عنوان یک کل پرداخته است و همکاری‌هایی که میان شبکه‌های انرژی در بطن این سیستم قابل انجام است را بررسی می‌کند و در انتها راه‌های متعددی را برای ذخیره‌سازی انرژی اعم از، ذخیره‌سازی هیدرولیک، باتری در خودروهای برقی، ذخیره‌سازی حرارتی در سیستم‌های انتقال مستقیم حرارت (حرارت مرکزی) و بکارگیری سوخت‌های سنتزی، پیشنهاد می‌کند[۱۸].

۴- مروری بر وضعیت مصرف انرژی در ایران

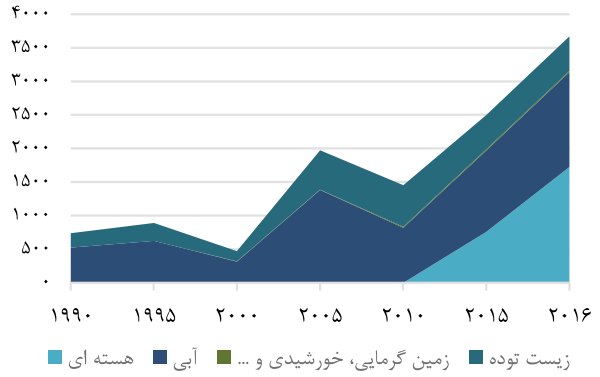
محدود و پایان‌پذیر بودن سوخت های فسیلی و همچنین ایجاد آلاینده‌های زیست‌محیطی توسط این سوخت‌ها، سبب حرکت کشورها به سمت استفاده کمتر از این نوع سوخت و رشد تکنولوژی و بکارگیری گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر شده‌است.

مطابق آمار منتشر شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی[۱] بخش عمده ای از سبد حامل‌های انرژی مصرفی ایران، دربرگیرنده سوخت‌های فسیلی بوده و تنها سهم اندکی از تولید و مصرف، به انرژی‌های تجدیدپذیر تعلق دارد[۱۹].

میزان مصرف هر یک از انرژی ها در کشور به صورت تجمعی، معادل کیلو تن نفت خام، طی سال‌های ۱۹۹۰ الی ۲۰۱۶ میلادی در شکل۲ نمایش داده شده‌است؛ این میزان، برای انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای به صورت تفکیک‌شده در شکل۳ قابل مشاهده می‌باشد.

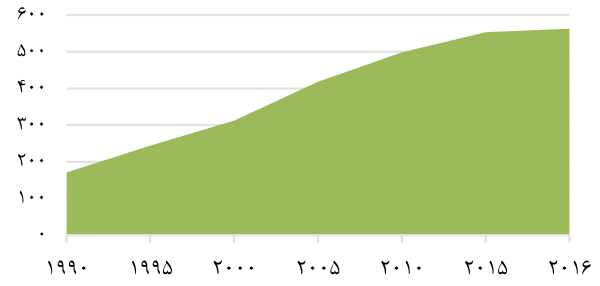


شکل ۲ سهم هرکدام از حامل‌ها در تولید انرژی ایران (معادل کیلوتن نفت خام)[۱۹]



شکل ۳ کاربرد انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای در ایران (معادل کیلو تن نفت خام)[۱۹]

رشد مصرف سوخت‌های فسیلی، سبب افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود. مطابق آمار منتشر شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی، میزان تولید گاز کربن‌دی‌اکسید، به‌عنوان یکی از مهمترین گازهای گلخانه‌ای، طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۸ هجری شمسی، باتوجه به رشد نسبی صنعت و تکنولوژی در کشور، رشد فزاینده‌ای داشته است که با توجه به توافقنامه پاریس، این مقدار بایستی، به‌منظور جلوگیری از تخریب محیط زیست، به حد قابل توجهی کاهش یابد (شکل۴).



شکل ۴ میزان انتشار گاز کربن دی اکسید (میلیون تن) [۱۹]

بر اساس سالنامه آماری ۱۳۹۶ ایران (منتشر شده در اسفند ۱۳۹۷) آخرین جمعیت سرشماری‌شده کل کشور، معادل ۷۹۹۲۶۲۷۰ نفر می‌باشد[۲۰]. بر این اساس، استان های تهران، خراسان رضوی، اصفهان و فارس، به‌ترتیب پرجمعیت ترین استان‌های کشور می‌باشند.

۱International Energy Agency (IEA)

www.SID.ir

جدول ۱ رتبه‌بندی استان های کشور بر حسب جمعیت (میلیون نفر)[۲۰]

	تهران	خراسان رضوی	اصفهان	فارس
جمعیت کل	۱۳/۳	۶/۴	۵/۱	۹/۴
شهری	۱۲/۵	۴/۷	۴/۵	۳/۴
روستایی	۰/۸	۱/۷	۰/۶	۱/۵

همانطور که در جدول۱ نشان‌داده شده‌است، رشد جمعیت، منجر به توسعه شهرها و افزایش شهرنشینی شده‌است. علاوه بر این، نیاز به رشد صنعت و توسعه ملی در گرو استفاده انرژی است و رشد مصرف انرژی نیازمند مدیریت دقیق، به‌منظور استفاده بهینه از منابع، و ارائه مدلی جامع می‌باشد. بدین منظور نیاز است تا ابتدا به بررسی سطح نیاز فعلی پرداخته شود و پس از آن، با انتخاب مدل‌های تقاضا، انرژی مورد نیاز سال‌های آینده تخمین زده شده و بر این اساس به ارائه مدلی جامع، بهینه و کارا برای تولید و توزیع انرژی با در نظر گرفتن بالاترین بازده، کمترین هزینه‌های اقتصادی و تخریب زیست‌محیطی پرداخته شود.

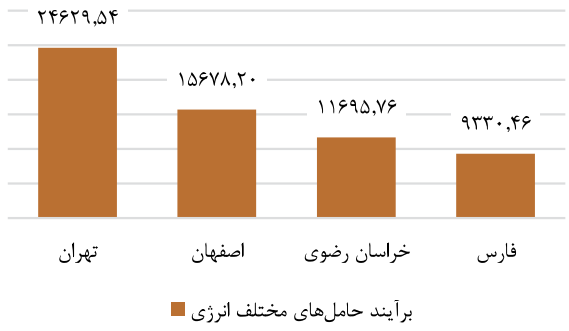
براساس آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی ایران[۲۱]، عمده مصرف چهار استان پرجمعیت ایران، از سبد انرژی های تجدیدناپذیر و از میان آن‌ها، گاز طبیعی بیشترین میزان استفاده را به خود اختصاص داده است.

با توجه به جدول۲، در میان چهار استان مذکور، در تهران، بنزین سهم بیشتری از سبد انرژی یک استان را به نسبت استان‌های دیگر به خود اختصاص داده است. این میزان برای گاز طبیعی در استان اصفهان و برای نفت سفید در استان خراسان‌رضوی می‌باشد. این موضوع نشان دهنده توسعه کمتر و عدم وجود شبکه‌های گاز کمتر در استان خراسان رضوی به نسبت سایر استان‌های پرجمعیت دیگر می‌باشد.

جدول ۲ درصد مصرف هر یک از حامل های انرژی در هر استان [۲۱]

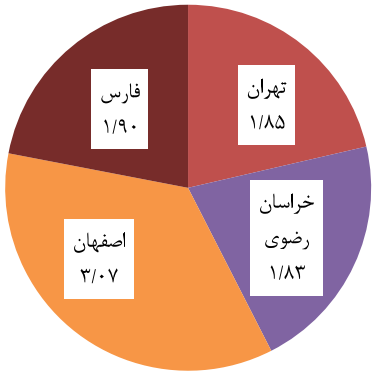
	تهران	اصفهان	خراسان رضوی	فارس
گازطبیعی	۱۶۵۱۰۷۰۰	۱۱۰۹۷۹۰۰	۷۵۹۳۸۰۰	۵۵۹۲۱۰۰
نفت‌گاز	۲۶۳۱۹۲۸	۲۵۵۲۲۷۳	۱۹۳۴۲۲۴	۱۷۵۸۲۹۸
نفت سفید	۲۸۷۳۵	۴۵۳۱۴	۳۱۵۹۶۹	۱۶۴۰۶۳
بنزین	۵۴۵۸۱۸۱	۱۹۸۲۷۰۸	۱۸۵۱۷۶۹	۱۸۱۶۰۰۳

در نهایت، با اضافه شدن میزن مصرف از سایر حامل‌های انرژی به مقادیر ثبت شده در جدول۲، مقدار مصرف تجمعی چهار استان پس از معادل‌سازی به نفت خام، مطابق آنچه که در شکل۵ نمایش داده شده‌است می‌باشد.



شکل ۵ مصرف تجمعی انرژی (میلیون لیتر معادل نفت خام) [۲۱]

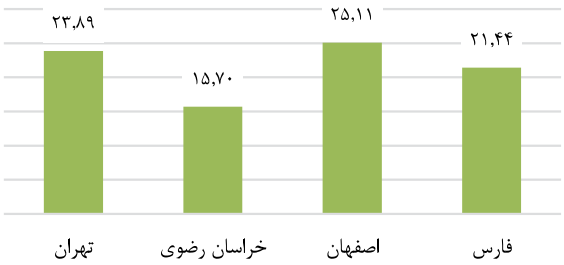
سرانه مصرف انرژی به‌ازای هر نفر، بر حسب هزار لیتر، در ۴ استان پرجمعیت کشور مطابق شکل۶ می‌باشد.



شکل ۶ مصرف سوخت به ازای هرنفر (هزار لیتر)

در حوزه الکتریسیته، توان عملی و انرژی تولیدی ویژه نیروگاه‌های چهار استان به صورت تجمعی در شکل‌های ۷و۸ نمایش داده شده‌است.

شکل ۷ توان عملی نیروگاه‌های چهار استان (گیگاوات) [۲۲]

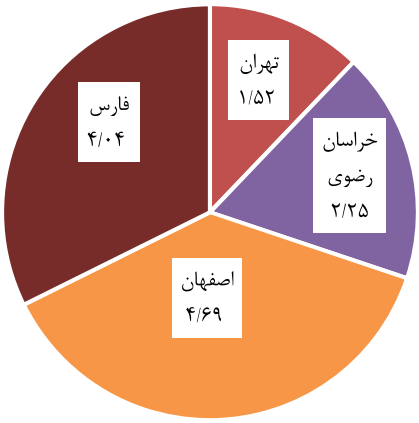


شکل ۸ تولید ویژه نیروگاه‌ها (تراوات ساعت) [۲۲]

سرانه مصرف الکتریسیته نیز، بر حسب مگاوات ساعت، به‌ازای هر نفر در ۴ استان پرجمعیت کشور مطابق شکل۹ می‌باشد.

براساس شکل‌های ۶، ۹ و جدول ۱، استان خراسان رضوی، علیرغم اختلاف جمعیتی بالغ بر شش میلیون نفر نسبت به استان تهران، میزان سرانه مصرفی مشابهی با این استان دارد که این مورد نیازمند تامین انرژی مشابهی میان این دو استان می‌باشد. همچنین، مصرف قابل توجه استان اصفهان ، به علت در نظر گرفته شدن کل انرژی مصرفی، علی الخصوص بخش صنعت، در محاسبات است.

www.SID.ir
www.jrenew.ir..... /..... info@jrenew.ir



شکل ۹ مصرف الکتریسیته به ازای هر نفر (مگاوات ساعت)

به صورت کلی، از شکل و جدول‌های ارائه شده در این بخش بر می‌آید که بنابر ملاحظات اقتصادی، زیست‌محیطی و توسعه محور، سیستم انرژی کل کشور به بهینه‌سازی و تغییر قابل توجهی در تامین انرژی مورد نیاز از سبد انرژی های تجدیدپذیر و فاصله گرفتن از منابع تجدیدناپذیر دارد. همچنین، در میان استان‌های کل کشور، استن خراسان رضوی با توجه به رشد بیشتر جمعیت و سطح مصرف فعلی انرژی، نیازمند توسعه قابل توجهی در سیستم انرژی می‌باشد. با توجه به شکل ۵ و ۸، مصرف انرژی بالا و تولید الکتریسیته کم، به نسبت سایر استان‌ها، موید بازده پایین سسیستم انرژی این استان و مصرف مستقیم سوخت (در عوض تبدیل آن به انرژی) می‌باشد و این موارد نیازمند توجه بیشتری به این استان خواهد بود.

۵- روش انجام کار

به‌منظور پیاده‌سازی سیستم‌های انرژی هوشمند، ابتدا نیاز به انتخاب مدل انرژی مناسب می‌باشد. پس از آن، بایستی به منظور انتخاب منطقه جغرافیایی مناسب برای احداث نیروگاه و ارزیابی اکولوژیک منطقه و پتانسیل‌سنجی آن مکان، از روش‌های امکان‌سنجی جغرافیایی استفاده کرد. همچنین، به‌منظور انتخاب گزینه مناسب برای انتخاب منطقه احداث نیروگاه و پیشبرد مسائل تصمیم گیری چند معیاره و همچنین محاسبات مربوط به شناسایی تقاضا در آینده‌ی منطقه مورد بررسی، بایستی از برنامه‌های محسباتی به منظور تحلیل کدها و بهینه‌سازی چندمعیاره استفاده شود.

۵-۱- روش‌های مدل‌سازی انرژی

روش بهینه به منظور تامین نیاز منطقه مورد نظر، توسط مدل‌سازی انرژی ارزیابی خواهد شد. بدین‌منظور، مدل‌های انرژی متعددی طراحی شده‌اند که هرکدام معایب و مزیت‌هایی دارند. در این مقاله، مدل‌های انرژی مسیج[۱] لیپ[۲] و انرژی پلن[۳] که کاربرد بیشتری دارند، بررسی و مقایسه خواهند شد.

همانطور که پیشتر به آن اشاره شده‌است، مدل‌های انرژی نه برای مدل‌سازی اجزای سیستم تولید توان، نظیر چرخه‌های تولید انرژی، و نه برای مدل‌سازی قطعات و سیستم‌های مکانیکی، نظیر بویلر، بلکه به منظور مدل‌سازی جریان انرژی تولید و مصرفی مورد نیاز محدوده مطالعاتی مورد نظر تدوین شده اند. به عبارت دیگر، ورودی مدل‌ها، به‌صورت کلی، تقاضای انرژی، و خروجی مدل‌ها، شیوه پاسخگویی به تقاضا انرژی می‌باشد و این مورد که چگونه نیروگاه‌ها ایجاد شود و یا افزایش راندمان داشته باشند، در مدل‌های انرژی مورد بحث واقع نمی‌شود.

۵-۱-۱- مدل انرژی مسیج

مدل انرژی مسیج که مدل سیستم‌های عرضه انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی آن‌هاست، توسط موسسه بین المللی سیستم‌های کاربری اتریش تدوین شده است. مسیج، با رویکردی پایین به بالا[۴] مدل برنامه‌ریزی خطی پویایی می‌باشد که هزینه تنزیل‌شده کل عرضه انرژی را در طول یک افق زمانی مفروض، با گام‌های زمانی ماهانه، فصلی، سالانه و ...، حداقل می‌کند. هدف اصلی مدل، ایجاد تعادل بین تقاضای انرژی نهایی و عرضه منابع انرژی اولیه از طریق فناوری‌های متفاوت است. مهمترین محدودیت‌های مدل بیانگر محدودیت‌هایی بر روی سرعت افزایشی فناوری‌ها، دسترسی منابع بومی و وارداتی و روابط فناورانه است. مهمترین ویژگی‌های متمایز مدل، لحاظ کردن نواحی بار برای تقاضای برق، تقسیم‌بندی منابع به طبقاتی بر حسب هزینه و در نظرگرفتن تأثیرات زیست‌محیطی راهبردهای عرضه انرژی است. خروجی مدل برای توصیف سناریوهای عرضه انرژی به کار می‌رود.

داده‌های تقاضای انرژی برونزا هستند و به عنوان سطح اول هر زنجیره انرژی، وارد مدل می‌شوند. فناوری‌ها بر اساس ورودی‌ها و خروجی‌ها، بازده و درجه تغییرپذیریشان تعریف می‌شوند. درجه تغییرپذیری زمانی که بیش از یک ورودی (یا خروجی) استفاده (یا تولید) می‌شود، برای تعریف الگوی تولید امکان‌پذیر برای برخی از فناوری‌ها مانند پالایشگاه به کار می‌رود[۲۳].

۵-۱-۲- مدل انرژی لیپ

مدل برنامه‌ریزی بلندمدت جایگزین‌های انرژی، لیپ، نخستین بار در مؤسسه محیط زیست استکهلم واقع در مرکز مؤسسه تلوس و با حمایت و همکاری بسیاری از سازمانهای دیگر توسعه یافت. این مدل، با در نظر گرفتن تمام حامل‌های انرژی، یک سیستم انرژی را به صورت کامل در نظر گرفته و امکان تحلیل هر دو دسته فناوری‌های عرضه و تقاضا و همچنین اثرات کلی سیستم را امکان‌پذیر می‌سازد.

مدل انرژی لیپ، مدلی تقاضا محور است. در این مدل، با رویکردی بالا به پایین[۵] به پیشبینی تقاضای انرژی پرداخته می‌شود؛ بر این اساس، مدل به شبیه‌سازی عرضه و فرایندهای تبدیل می‌پردازد تا از کفایت منابع اولیه به منظور برآورده ساختن تقاضا و مقاصد صادراتی اطمینان حاصل کند

این مدل انرژی، در نوع داده‌های موردنیاز بسیار انعطافپذیر است. بطوریکه می‌توان با حداقل داده‌ها مدل را اجرا کرد و همچنین زمانی که داده‌های بسیاری در دسترس باشد، می‌توان مدلی با سطح عمیقی از جزئیات برای سیستم انرژی طراحی کرد.

محدودیت های مدل‌سازی انرژی به روش لیپ عبارتند از:

الف) تنها دارای یک چارچوب حسابداری است و تأثیر عوامل اقتصادی بر عرضه انرژی و ترکیبات سوختی در این مدل نادیده گرفته می‌شود.

ب) سهم مصرف سوخت و ابزارهای جایگزین برای مصرف باید به صورت خارجی توسط تحلیلگر وارد شوند و خود مدل قابلیت برآورد آنها را ندارد. بنابراین، آینده سیستم انرژی تا حد زیادی به فناوری بستگی دارد که بر اساس قضاوت مدلساز برای آینده ترجیح داده می‌شود.

۱. Message (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact)
۲. Leap (Long-range Energy Alternatives Planning)
۳. EnergyPLAN
۴. Bottom-up
۵. Top-down

www.SID.ir

ج) با اینکه قیمت/هزینه انرژی می‌تواند به عنوان یکی از سه متغیر مؤثر در تعیین سطح فعالیت در مدل در نظر گرفته شود، با این حال، این متغیر نمی‌تواند از عوامل انتخاب میان سناریوهای مختلف فناوری‌های انرژی و یا سوخت تلقی شود.

د) با توجه به ماهیت مدل، این مدل قادر به تحلیل رقابت میان سوختهای فسیلی و سوختهای تجدیدپذیر نیست[۲۴].

۵-۱-۳- مدل انرژی انرژی پلن

مدل انرژی پلن، به منظور آنالیز سیستم‌های انرژی، توسط گروه تحقیقاتی انرژی‌های پایدار دانشگاه آلبورگ دانمارک، در سال ۱۹۹۹ میلادی طراحی و توسعه داده شده‌است. این مدل با در نظر گرفتن نیاز مصرفی ساعتی منطقه مورد نظر طی یک بازه سالانه (۷۸۶۰ ساعت)، به محاسبه و مدل‌سازی سیستم انرژی بهینه می‌پردازد.

از مهمترین مزایای این مدل می‌توان به افزایش سهم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و حرکت به سمت ۱۰۰٪ کردن استفاده از این حامل‌های انرژی به وسیله بکارگیری منطق سیستم‌های انرژی هوشمند و محاسبه انرژی مورد نیاز به صورت ساعتی اشاره کرد. نگرش ارزیابی ساعتی، این امکان را فراهم می‌کند تا علاوه بر شناسایی پیک بار ساعتی، میزان مورد نیاز برای واردات و یا میزان اضافه انرژی تولیدی به منظور صادرات شناسایی و مدیریت شود. در هر قسمت از مدل‌سازی، می‌توان مشخص کرد که چه میزان از اتلاف شبکه‌ها می‌تواند قابل بازیابی باشد و میزان بازیابی شده در کدام قسمت بکارگرفته شود.

از نکات مثبت دیگر این مدل، قابلیت بکارگیری آن در هر منطقه مورد نظر می‌باشد. بدین منظور تنها کافیست تا میزان توزیع نیاز ساعتی و میزان توزیع انرژی مورد نیاز تامین متناسب با پهنه جغرافیایی موردنظر به صورت دستی به مدل معرفی شود. اطلاعات مورد نظر به سادگی توسط سالنامه آماری، ترازنامه انرژی و اطلاعات ساعتی برق مصرفی به تفکیک شر و استان موجود میباشد. همچنین به منظور دسترسی به میزان تابش خورشید، شدت وزش باد و اطلاعات مربوط به پتانسیل سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان از نرم افزارهای پتانسیل‌سنجی مکانی استفاده کرد.

این مدل، برخلاف مدل‌های دیگر که بعضا به صورت آماری و یا ارزیابی مونت‌کارلو به تحلیل سیستم انرژی می‌پردازند، مدلی قطعی(جبرگرایانه) و به صورت ورودی/خروجی است. بدین ترتیب، یک ورودی مشخص، تحت شرایط ثابت، همواره خروجی مشخصی به‌دنبال خواهد داشت. همچنین محاسبات به صورت تحلیلی است و از روش‌های تکراری به صورت سعی و خطا در این مدل استفاده نمی‌شود[۳].

۵-۲- پتانسیل‌سنجی منطقه‌ای با سیستم اطلاعات جغرافیایی[۱]

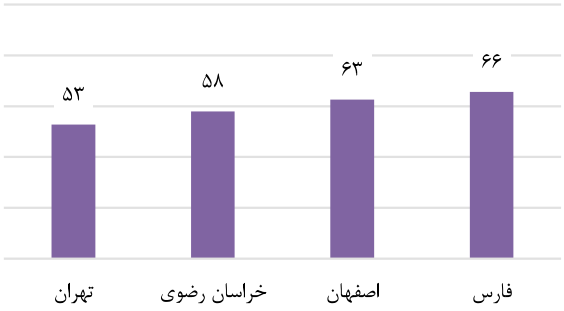
به‌منظور شناسایی مکان مناسب برای احداث نیروگاه‌های جدید و همچنین اطلاعاتی نظیر شدت و زاویه تابش خورشید در ساعات شبانه روز و سرعت و جهت وزش باد و...، از نرم افزار آرک جی آی اس[۲] استفاده می‌شود.

این نرم افزار، نوعی سیستم اطلاعاتی جغرافیایی است که برای بررسی و تهیه اطلاعات و نقشه‌های جغرافیایی به کار می‌رود. ابزارهای این پلتفرم امکان تهیه نقشه، اکتشاف و به اشتراک گذاری اطلاعات همراه با مکان دقیق آن‌ها را فراهم می‌کند و برای تهیه، بررسی، آنالیز و در کل مدیریت نقشه ها و اطلاعات جغرافیایی در غالب پایگاه داده گزینه مناسبی می‌باشد.

۱Geographic Information System (GIS)
۲ArcGIS

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با توجه به آمار ارائه‌شده در قسمت‌های پیشین، با تقسیم نسبت توان قابل تولید به توان تولیدشده، ضریب ظرفیت[۳] نیروگاه‌های ۴ استان پرجمعیت کشور به صورت موجود در شکل ۱۲ می‌باشد. به‌وضوح در این شکل مشخص است که، تنها بخشی ازتوان عملی نیروگاه‌ها صرف تولید می‌شود و بخش دیگری از آن بدون استفاده باقی می‌ماند. لذا می‌توان، با بکارگیری سیستم‌های انرژی هوشمند، از ظرفیت بدون استفاده، به منظور تولید توان و استفاده از آن در سیستم انرژی جدید بهره برداری کرد.



شکل ۱۰ ضریب ظرفیت نیروگاهی چهار استان پرجمعیت کشور بر حسب درصد

با توجه به بیان مسائل، سوالاتی پیرامون مناطق مورد بررسی مطرح می‌شود که به شرح زیر می‌باشد:

۱. با توجه به اینکه سیستم‌های انرژی هوشمند درحال حاضر در ابعاد وسیع و فراملیتی مدل‌سازی شده‌است، با این حال تا چه میزان در کشور قابل اجرا است (نیاز به ارزیابی فنی و اقتصادی)؟

۲. هر کدام از مناطق کشور از چه منابع انرژی تجدیدپذیری و تا چه اندازه بهره می‌برند؟

۳. با توجه به ظرفیت فعلی تولید انرژی تجدیدپذیر در کشور، این میزان تا چه اندازه ای قابل افزایش است؟

۴. میزان کاهش تلفات، افزایش بهره‌وری و کاهش آلاینده‌های محیطی به سبب اجرای طرح تا چه اندازه‌ای خواهد بود؟

۵. امکان تولید بیشتر از نیاز پیش‌بینی شده منطقه و ایجاد یک هاب انرژی برای صادرات آن در مقاطع پرباری به کشورهای اطراف تا چه میزان وجود دارد؟

۷- مراجع

[1] P. A. Østergaard, Reviewing EnergyPLAN simulations and performance indicator applications in EnergyPLAN simulations, *Applied Energy,* Vol. 154, pp. 921-933, 2015.

[2] N.I. Voropai, V.A. Stennikov, Integrated Smart Energy Systems-Russian dimension, *Internationaler ETG-Kongress*, Berlin, 2013.

[3] H. Lund, *Renewable Energy Systems - A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions*, 2nd Edition, Elsevier Inc, pp. 1-362, 2014.

[4] M.T. Qadri, M.I. Anis, M. Nawaz Irshad khan, "Totally Integrated Smart Energy System through Data Acquisition via Remote Location", International Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 394-397, 2009.

[5] B.V. Mathiesen, H. Lund, K. Hansen, I. Ridjan, S. Djørup, S. Nielsen, et al., *IDA's energy vision 2050. A smart energy system strategy for 100% renewable*, Aalborg University, Denmark, 2015.

[6] P. Crossley, A. Beviz, Smart energy systems: Transitioning renewables onto the grid, *Renewable Energy Focus*, Vol.11, Issue 5, pp. 54-59, 2010.

۳Capacity Factor (CF)

www.SID.ir

[7] K. Saito, J. Jeong, Development of General-Purpose Energy System Simulator, 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering, *Energy Procedia*, Vol. 14, pp. 1595-1600, 2011.
[8] M. Simonov, M. Mussetta, F. Grimaccia, et al., Artificial intelligence forecast of PV plant production for integration in smart energy systems, *International Review of Electrical Engineering*, Vol. 7, No. 5, pp. 3454-3460, 2012.
[9] O. van Pruissen, A. van der Togt, E. Werkman, Energy efficiency comparison of a centralized and a multi-agent market-based heating system in a field test, 6th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, *Energy Procedia*, Vol. 16 pp. 170-179, 2014.
[10] B. Mrazovac, B.M. Todorovic, M.Z. Bjelica, D. Kukolj, Device-free indoor human presence detection method based on the information entropy of RSSI variations, *Electronics Letters*, Vol. 49, no. 22, pp. 1386-1388, 2013.
[11] K. Saito, J. Jeong, Development of General-Purpose Energy System Simulator, *Energy Procedia*, Vol. 14, pp. 1595-1600, 2012.
[12] R. Halvgaard, P. Bacher, B. Perers, E. Andersen, S. Furbo, J.B. Jørgensen, et al. Model predictive control for a smart solar tank based on weather and consumption forecasts, *Energy Procedia*, Vol. 30, pp. 270-278, 2012.
[13] H. Lund, A.N. Andersen, P.A. Østergaard, B.V. Mathiesen, D. Connolly, From electricity smart grids to smart energy systems - a market operation-based approach and understanding, *Energy*, Vol. 42, pp. 96-102, 2012.
[14] F. Hvelplund, B. Möller, K. Sperling, Local ownership, smart energy systems and better wind power economy, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 1, pp. 164-170, 2013
[15] D. Connolly, B.V. Mathiesen, A technical and economic analysis of one potential pathway to a 100% renewable energy system, *International Journal of Sustainable Energy Planning Management*, Vol.1, pp. 7-28, 2014.
[16] B.V. Mathiesen, H. Lund, D. Connolly, H. Wenzel, P.A. Østergaard, B. Möller, et al., Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions, *Applied Energy*, Vol. 145, pp. 139-154, 2015.
[17] E.H. Noppers, K. Keizer, M. Milovanovic, L. Steg, The importance of instrumental, symbolic, and environmental attributes for the adoption of smart energy systems, *Energy Policy*, Vol. 98, pp. 12-18, 2016.
[18] S. Paardekooper, R. Lund, H. Lund, Smart Energy Systems, *Environmental Science and Technology*, Vol. 46, pp. 228-260, 2019.
[19] International Energy Agency, *World energy balances*, Total Primary Energy Supply (TPES) by source of IRAN, pp. 262, 2018.
[۲۰] مرکز آمار ایران، *سالنامه آماری ایران*، فصل سوم، ص. ۱۴۲-۱۴۶، اسفند ۱۳۹۷.
[۲۱] وزارت نیرو ایران، دفتر برنامهریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی، *ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۵ ایران*، زمستان ۱۳۹۷.
[۲۲] شرکت مادرتخصصی توانیر، *آمارتفصیلی صنعت برق*، دی ۱۳۹۷.
[۲۳] L. Schrattenholzer, *The Energy Supply Model MESSAGE*, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, ۲۰۱۸.
[24] J. J. Seebregts, G. Goldstein, K. Smekens, *Energy/Environmental Modeling with the MARKAL Family of Models*, Energy Research Centre of the Netherlands and International Resources Group Ltd, 2011.

www.SID.ir