

The optimal Modeling of Supply and Demand Flow of Urban Electricity using Renewable Energy in Fars Province

Mohammad Hossein Jahangir^{1*}, Alireza Behrad³, Reza Mokhtari³

1- Associate professor, Renewable energy and environmental engineering group, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran

2- MSc student of renewable energy engineering, Renewable energy and environmental engineering group, University of Tehran

3- MSc student of renewable energy engineering, Renewable energy and environmental engineering group, University of Tehran

ARTICLE INFO

Article History

Received : 19/12/2021

Accepted : 26/4/2022

Keywords

EnergyPLAN

Fars Province

Renewable Energy Resource

Supply/Demand System Modeling

ABSTRACT

Introduction

Today, energy is one of the most critical elements of society. With the increase in the world population, energy demand is growing intensely. In this regard, traditional fossil fuel thermal power plants have negative environmental impacts. However, renewable energy systems can produce much cleaner energy using renewable resources. Therefore, countries are transitioning from traditional fossil fuel-based power plants to fully renewable energy systems for a more sustainable world. However, to build an efficient plan for the renewable energy transition, an accurate and comprehensive model is required that can calculate the expected impacts of each strategy to follow.

Materials and methods

EnergyPLAN, an input/output energy system modeling tool with various available components, provides the opportunity to accurately model any energy strategy model. In this study, EnergyPLAN is used to model the energy system of Fars and investigate the potential of the province. Fars is the fourth most populous province in Iran, with an approximate population of 4.8 million. Having 3.26 kWh and 7.21 kWh of minimum and maximum daily solar radiation has made Fars a potential province for solar energy. Also, the annual average wind speed of 5.43 m/s provides opportunities for wind turbine investments.

In this study, the energy system of the Fars province in the past, present, and future periods are modeled using EnergyPLAN. For the past modeling, the historical data of energy demands and supplies are

* Corresponding author: mh.jahangir@ut.ac.ir

used; then, for modeling the current energy systems, the relevant data are gathered and modeled in EnergyPLAN. For future energy system modeling, the realistic data for the Fars province are used in the modeling. Eventually, the environmental impact of these scenarios is compared.

Findings

The modelings are performed considering the electricity demands and any power plants (for example, thermal power plants, renewable energy systems, and hydropower). Modeling the past scenario indicates that 26.94 Mton CO₂ would have been emitted in the past four years. The second scenario is built upon the premise that the prevailing renewable energy systems had been constructed four years ago. The result of this scenario demonstrates a 1.11 Mton less CO₂ emission compared to the first scenario. The results of modeling the current energy systems of Fars indicate that existing renewable energy systems in the province are 3% of the total electricity demand. Also, further analysis suggests that in the absence of current renewable energy systems in the province, 280,000 Tons more CO₂ will be emitted.

For the future scenario, the current data are forecasted for the future, using the previous trend in the growth of demands and supplies. Considering that no new power plants will be built until 2024, the results indicate that the renewable energy fraction will rise to 2.7 % by 2024. However, by using the available data on the construction plans of renewable energy systems until 2024, the results indicate that the renewable energy fraction will reach 14.8

%, and 930,000 Ton less CO₂ will be emitted compared to the previous case.

Discussion and conclusion

EnergyPLAN as an accurate energy modeling tool has been used in this study to model the past, current, and future energy flow of Fars province. This has happened by using historical and current data and forecasting future data. The results showed that if the existing renewable energy plants had been built four years sooner, 1.11 Mton less CO₂ would have been emitted until now. This demonstrates the role of timing in the construction of renewable energy systems.

The result of modeling the current and future energy scenarios indicates that if the current renewable energy systems are built until 2024, 930,000 Ton less CO₂ will be emitted.

Therefore, considering the province's high solar and wind potential, it is suggested that more renewable energy systems be built to decrease the CO₂ emission cumulatively, and the construction of the traditional power plants should be prohibited. Also, other sources of renewables like biomass and geothermal should be considered in the energy planning to provide a more versatile renewable energy supply to the province. However, the fossil fuel power plants have the advantage of low cost in Iran, making the competition challenging for clean energy sources. Removing the subsidies for fossil fuels can make the competition fairer and provide more opportunities for renewable energy systems to grow in the province.

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Mohammad Hossein Jahangir, Alireza Behrad, Reza Mokhtari. The optimal Modeling of Supply and Demand Flow of Urban Electricity using Renewable Energy in Fars Province. Urban Economics and Planning Vol 3(2)

DOI: 10.22034/UEP.2022.320609.1159



مدل سازی جریان عرضه و تقاضای بهینه برق شهری با استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در استان فارس

محمدحسین جهانگیر^{۱*}، علیرضا بهراد^۲، رضا مختاری^۳

۱- دانشیار، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی های تجدیدپذیر، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی های تجدیدپذیر، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشگاه تهران

چکیده

گسترش استفاده از منابع انرژی های تجدیدپذیر در کشور و عدم قطعیت های همراه آن، لزوم برنامه ریزی و مدل سازی انرژی را پررنگ می کند. استان فارس یکی از استان های پهناور و پرجمعیت کشور است که پتانسیل مناسبی برای بهره گیری از منابع تجدیدپذیر دارد، اما قیمت سطح پایین سوخت های فسیلی در کشور، باعث محدود کردن سهم منابع تجدیدپذیر در تأمین برق این استان شده است. در این پژوهش با استفاده از نرم افزار EnergyPLAN سیستم عرضه- تقاضای برق استان را تا سال ۱۳۹۹ مدل کرده و با تعریف سناریوهای مختلف برای منابع تجدیدپذیر و با در نظر گرفتن پارامترهای محیط زیستی، گاز طبیعی مصرفی و درصد منابع تجدیدپذیر به مقایسه حالت های مختلف سیستم عرضه- تقاضا پرداخته می شود. در ادامه، با مدل سازی سیستم عرضه- تقاضا برای ۴ سال آینده، میزان رشد منابع تجدیدپذیر در سیستم تخمین زده شده و پارامترهای یادشده مورد بررسی قرار می گیرند. نتایج مدل سازی برای حال نشان می دهد در صورت نبود نیروگاه های تجدیدپذیر در این استان، سالانه ۲۸۰ هزار تن دی اکسید کربن بیشتری منتشر می شود. همچنین، نتایج شبیه سازی برای آینده بیانگر آن است که در صورت احداث نیروگاه های جدید، میزان نفوذ تجدیدپذیر به عدد ۱۴/۸ درصد خواهد رسید که سبب جلوگیری از انتشار ۹۳۰ هزار تن دی اکسید کربن نسبت به حالت پایه (عدم احداث نیروگاه جدید) تا سال ۱۴۰۳ خواهد شد.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۶

کلمات کلیدی

استان فارس
مدل سازی سیستم عرضه- تقاضا
منابع انرژی تجدیدپذیر
نرم افزار EnergyPLAN

مقدمه

انرژی برای کلیه فعالیت های انسانی ضروری است و برای توسعه اجتماعی و اقتصادی کشورها بسیار مهم است. امروزه، در میان منابع مختلف انرژی جدید و متداول، انرژی های تجدیدپذیر نقش مهمی در تأمین تقاضای انرژی جامعه خواهند داشت. توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر (RER)، به دلیل افزایش امنیت انرژی، سرعت بخشیدن به توسعه اقتصادی، تثبیت قیمت مصرف نهایی انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی و خطرات جهانی تغییر آب و هوا، برای همه جوامع مفید است. با افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر می توان به نتایج زیر دست یافت:

- کاهش آلودگی هوا
- کاهش گازهای گلخانه ای
- منابع متنوع تأمین انرژی

• کاهش وابستگی به زغال سنگ و سایر سوخت های فسیلی

• حرکت جامعه به سمت آینده ای با انرژی پاک تر و سالم تر

منابع انرژی تجدیدپذیر به خلاف سوخت های فسیلی، در سراسر جهان به عنوان گزینه ای نویدبخش برای توسعه پایدار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از این منابع انرژی در روند مداوم «انقلاب چهارم» موسوم به انقلاب سبز به دنبال انقلاب کشاورزی، صنعتی و فناوری اطلاعات به طرز وسیعی گسترش یافته است [۱]. افزایش سهم RER قادر به ایجاد امنیت انرژی بیشتر در تأمین انرژی است که سبب تقویت امنیت انرژی و کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی وارداتی می شود. RER به خلاف سوخت های فسیلی، تمام شدنی نیست و منجر به اطمینان از تأمین انرژی پایدار برای سیستم های انرژی آینده می شود. انرژی های تجدیدپذیر همچنین به حفظ دیگر منابع طبیعی کشور در مقابل استفاده بیش از حد

تجدیدپذیری متغیر (VRES) بسیار مهم است. بن عامر و همکاران در [۷] از مدل بالمورال در مطالعه در مورد شهر کپنهاگن استفاده کردند که بخش‌های برق و گرما را ادغام می‌کند. هاینیش و همکاران [۸] مزایای اتصال بخش‌های برق، گرمایشی و حمل‌ونقل با تمرکز بر مناطق شهری را نشان دادند. آراونا و همکاران [۹] چگونگی دستیابی به یک سیستم کاملاً مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر در شیلی را از طریق ادغام بخش‌های برق، گرما، حمل‌ونقل و نمک‌زدایی تحلیل کرد. هدف انرژی در سال ۲۰۵۰ برای شمال شرقی اتریش کاهش انتشار CO₂ به میزان ۸۰ درصد است [۱۰]. این هدف تنها از طریق تحول عمیق سیستم انرژی با بهره برداری از کل پتانسیل VRES قابل دستیابی است. سهم زیاد VRES سبب تولید مازاد انرژی می‌شود. مطالعه بهترین ترکیب گزینه‌های انعطاف پذیری که به شما امکان می‌دهد این تولید برق موجود از VRES را ادغام کند، مهم است.

کلبراتالدو و همکاران [۱۱] به منظور تجزیه و تحلیل سیستم برق ۱۰۰ درصد تجدیدپذیر برای کالیفرنیا، نقش ذخیره سازی متمرکز بر ذخیره هیدروژن را از طریق برق به گاز بررسی کردند. ناستای و همکاران در [۱۲] ارتباط مثبت بین وسایل نقلیه الکتریکی و تولید VRES برای کربن زدایی سیستم انرژی را مطالعه کردند. تولید مازاد از VRES محدود به حداکثر پتانسیل منابع VRES می‌شود که به در دسترس بودن محدودی در نظر گرفته شده بستگی دارد. بنابراین مهم است که بهترین استفاده از این تولید مازاد از VRES برای کربن زدایی سیستم انرژی مورد بررسی قرار گیرد. جدول ۱ مطالعات مختلف اتصال EnergyPLAN را با یک ابزار بهینه سازی نشان می‌دهد و مقایسه می‌کند. این مطالعات گزینه‌های مختلف انعطاف پذیری را به عنوان متغیرهای تصمیم نشان می‌دهد.

کمک می‌کند. تولید برق از RES مانند خورشیدی، بادی، زمین گرمایی و آبی به هزینه سوخت نیاز ندارد و بنابراین، ثبات قیمت بیشتری را ارائه می‌دهد. در سال‌های اخیر، برنامه‌ریزی در حوزه انرژی [۲] در حال تبدیل شدن به یک ضرورت اساسی در حمایت از سیاست‌گذاران در تعریف استراتژی انرژی است. اهداف اولیه انرژی در سطح اروپا از طریق «بسته آب‌وهوای ۲۰۲۰ و انرژی» در سال ۲۰۰۷ [۳] و «چارچوب آب‌وهوا و انرژی ۲۰۳۰» [۴] در سال ۲۰۱۴ تعیین شده است. پس از آن، تعداد زیادی از مناطق در اروپا، توسعه اهداف و استراتژی‌های انرژی منطقه‌ای خود را برای دستیابی به آن‌ها در راستای اهداف ملی و بین‌المللی شروع کرده‌اند. هدف مدل‌سازی انرژی، پیش‌بینی وضعیت عرضه و تقاضای انرژی و تغییرات آن برای آینده است. این مدل‌ها روی پیش‌بینی تولید انرژی، مصرف و پیش‌بینی هزینه برای منابع مختلف انرژی متمرکز هستند.

پیشینه تحقیق

مطالعه‌ای در شمال شرقی اتریش انجام شده است که در آن مسئولان منطقه، مأمور تحقیق در زمینه توسعه سناریوهای انرژی و شبیه‌سازی‌های ساعتی برای دریافت پشتیبانی در تعریف استراتژی انرژی منطقه‌ای در سال ۲۰۵۰ شدند. برای تحقق این هدف، تصمیم گرفته شده است تا از مدل EPLANopt [۵] که توسط تحقیقات Eurac از طریق ترکیب نرم‌افزار شبیه‌سازی EnergyPLAN [۶] و یک الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه توسعه یافته استفاده شود. مدل EPLANopt با یک گام زمانی ساعتی و رویکرد تک‌گرمای و با ادغام سه بخش اصلی سیستم انرژی مشخص می‌شود: توان الکتریکی، گرما و حمل‌ونقل. گام زمانی ساعتی به‌ویژه هنگام مدل‌سازی سیستم انرژی با سهم زیاد منابع انرژی قابل

جدول ۱. لیست مطالعات مختلفی که ابزار EnergyPLAN را با یک الگوریتم بهینه سازی و گزینه‌های انعطاف پذیری در نظر گرفته شده به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری ترکیب می‌کند

مدل‌ها و منابع	نوع بهینه سازی	گزینه‌های انعطاف پذیری در متغیرهای تصمیم
[۶] EnergyPLAN	-	-
[۱۳]. Batas Bjelić et al	تک هدفه	پاسخگویی بار، ذخیره سازی الکتریکی
[۱۴]. Mahbub et al	چندهدفه	پمپهای حرارتی
[۵] EPLANopt	چندهدفه	ذخیره سازی هیدروژن، پمپهای حرارتی و ذخیره سازی حرارتی
[۵] EPLANopt	چندهدفه	storage hydroelectricity_Pumped, باتریها و پمپهای حرارتی

ماتیسسن و همکاران [۱۵] با ادغام فن آوری‌های مختلف برای دستیابی به ۱۰۰ درصد RES در دانمارک، برنامه سیستم‌های هوشمند آینده را مطالعه کرده‌اند. گزینه‌های پیشنهادی برای این کار، استفاده از سیستم‌های ذخیره انرژی (ESS)، استفاده از سیستم‌های چند کاره (به عنوان یک مثال ساده، تولید گرما و توان (CHP)) و توسعه سوخت‌های زیستی در حمل‌ونقل است. در این پروژه نشان داده شده است که ادغام بخش‌های مختلف انرژی مانند برق، گرمایش و حمل‌ونقل می‌تواند منجر به صرفه جویی در انرژی و کاهش هزینه‌ها در سیستم‌های انرژی آینده شود و در این حالت امکان دستیابی به ۱۰۰ درصد RES وجود دارد.

همانطور که در ارزیابی سیستم‌های انرژی در EnergyPLAN مشاهده می‌شود، بررسی‌ها عمدتاً شامل شبیه سازی ساعتی برای دستیابی به گزینه‌های بهینه و انعطاف پذیر به منظور ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای انرژی در جهت افزایش سهم RER و ارزیابی فنی و اقتصادی اثرات سناریوهای

عوامل زیادی تهدیدهای بالقوه برای امنیت انرژی محسوب می‌شوند، از جمله محدود کردن یا کاهش منابع انرژی، بی ثباتی ژئوپلیتیک، زیرساخت‌های ناکافی انرژی و بلایای طبیعی جدید. از این رو، برای اطمینان از ادامه تأمین انرژی به طور ایمن، باید یک رویکرد هماهنگ و یکپارچه برای برنامه ریزی و مدل سازی انرژی اجرا شود که تمام این مسائل پیچیده را در نظر بگیرد.

از EnergyPLAN برای انجام بسیاری از مطالعات در سطح ملی و منطقه‌ای با شاخص‌های مشابه این مطالعه استفاده شده است. لوند و همکاران [۶] مدلی برای سیستم انرژی دانمارک، با هدف تأمین ۱۰۰ درصد سیستم‌های انرژی تجدید پذیر (RES) با ترکیبی از زیست توده، باد، موج و منابع انرژی خورشیدی و همچنین ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای برق با هدف گذاری برای ۲۰۵۰ ارائه داده‌اند. در این مطالعه، امکان دستیابی به ۵۰ درصد RES در ۲۰۳۰ و ۱۰۰ درصد RES در ۲۰۵۰، ارزیابی شده و نشان داده شده است که دستیابی به سناریوی ۱۰۰ درصد RES امکان پذیر است. در ادامه این کار،

خروجی است. ورودی‌های کلی آن شامل خواسته‌های سیستم، ظرفیت‌های منابع انرژی تجدید پذیر، ظرفیت ایستگاه‌های انرژی تجدید ناپذیر، هزینه‌های منابع انرژی و تعدادی استراتژی تنظیم اقتصادی می‌باشند. نرم‌افزار EnergyPLAN سه بخش اصلی سیستم انرژی را در نظر گرفته است: بخش برق، بخش گرما و بخش حمل و نقل. طبق [۱۷]، ادغام این سه بخش انرژی برای ادغام منابع مختلف انرژی تجدید پذیر با هر سیستم انرژی متعارف ضروری است. خروجی‌های EnergyPLAN شامل بالانس انرژی و کل تولید سالانه، مصرف سوخت کلی، خالص واردات و صادرات برق و کل هزینه‌های انرژی از جمله درآمد حاصل از فروش برق به خارج از سیستم می‌باشد. هدف اصلی تحقیق با استفاده از ابزار EnergyPLAN، طراحی استراتژی برای برنامه ریزی انرژی ملی یا منطقه‌ای است. این استراتژی‌ها مبتنی بر تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی اجزای مختلف سیستم‌های انرژی و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده است. EnergyPLAN می‌تواند عملکرد بهینه فنی و اقتصادی سیستم انرژی را به طور همزمان شناسایی کند که از مزایای اصلی آن است. شرح دقیق تر از EnergyPLAN را می‌توان در [۳۱] یافت.

استان فارس

استان فارس یکی از استان‌های ایران است که در بخش جنوب این کشور واقع شده است. این استان با مساحتی در حدود ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع، چهارمین استان بزرگ و با جمعیتی معادل ۴۸۵۱۲۷۴ تن، بر طبق برآورد جمعیتی سال ۱۳۹۵ خورشیدی مرکز آمار ایران، چهارمین استان پرجمعیت ایران به‌شمار می‌رود. نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون در دهستان بلیان، بزرگترین نیروگاه سیکل ترکیبی استان فارس است. همچنین نیروگاه سیکل ترکیبی چهارم، نیروگاه سیکل ترکیبی فارس، نیروگاه حافظ و نیروگاه گازی شیراز از مهم‌ترین نیروگاه‌های استان فارس هستند. طبق ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۵، مجموع ظرفیت اسمی نیروگاه‌های استان فارس برابر ۴۳۸۰/۶ مگاوات بوده که از آن، سهم نیروگاه‌های گازی برابر ۱۹۷۲/۱، سیکل ترکیبی برابر ۲۴۰۷/۳ و تجدیدپذیر برابر ۱/۲ مگاوات است. جدول ۲ میزان فروش برق وزارت نیرو و نیز تعداد مشترکین برق در استان فارس را نمایش می‌دهد.

مختلف است. با این حال، کاربردهای EnergyPLAN در تحقیقات صورت گرفته به این محدود نمی‌شوند و نمونه‌هایی از کاربرد آن در ارزیابی سیکل عمر [۱۶]، نقش سیستم‌های ذخیره انرژی [۱۷]، اثرات صرفه جویی در انرژی [۱۸]، برنامه ریزی شبکه گرمایش [۱۹]، سوخته‌های سنتزی در بخش حمل و نقل [۲۰]، وسایل نقلیه الکتریکی [۲۱]، ترکیب حرارت و توان [۲۲]، ترکیب بهینه از منابع انرژی تجدید پذیر [۲۳]، توازن توان در حضور RER، ESS و CHP [۱۴]، تأثیر ادغام RER و افزایش سهم آن در سیستم انرژی موجود [۲۴] و در نهایت دستیابی به گزینه‌های ۱۰۰ درصد RES [۲۱] قابل مشاهده است. علاوه بر دیدگاه کاربردی در استفاده از EnergyPLAN، می‌توان به دامنه جغرافیایی پیشینه‌ی تحقیقات صورت گرفته اشاره کرد به طوری که EnergyPLAN برای چندین مطالعه در سطح منطقه، ملی، محله، استان و شهرداری استفاده شده است. در این میان، دانمارک بیشترین تعداد مطالعات را در این زمینه دارد. تعداد محدودی از مطالعات منطقه‌ای و محلی را می‌توان برای مثال در [۲۵]، [۲۶] یافت.

مطالعات نشان می‌دهد که شهرها در سطح جهانی در حال گذار به ۱۰۰ درصد انرژی تجدیدپذیر هستند و علاقه زیادی به طراحی سناریوها و برنامه‌هایی وجود دارد که بتواند اهداف محلی را برآورده کند. در مجموع، طبق گفته Sierra Club [۲۷]، بیش از ۱۵۰ شهر اهداف انرژی پاک را در ایالات متحده اتخاذ کرده اند، از جمله شش شهر که قبلاً به این هدف رسیده‌اند. جاکوبسان و همکاران [۲۸] سناریوهای ۱۰۰ درصد انرژی تجدیدپذیر را برای ۵۳ شهر آمریکا طراحی کرده است که همگی از انرژی بادی، آبی و خورشیدی استفاده می‌کنند و در سطح جهان بیش از ۷۰۰ شهر در رابطه با توافق نامه پاریس به انرژی‌های تجدید پذیر متعهد شده‌اند. همه برنامه‌ها از اصول مختلف استفاده می‌کنند و گذار به انرژی‌های تجدید پذیر را هدف قرار می‌دهند. اصولی مانند کربن زدایی [۲۹] و ۱۰۰ درصد سیستم‌های انرژی تجدید پذیر [۳۰] استفاده شده و رویکردها و اهداف مختلفی به کار رفته است.

مواد و روش‌ها

نرم‌افزار EnergyPLAN

نرم‌افزار EnergyPLAN ابزاری قطعی برای مدل سازی سیستم انرژی ورودی

جدول ۲. فروش برق و مشترکین در استان فارس در سال ۱۳۹۵

عنوان	خانگی	عمومی	تجاری	صنعتی	کشاورزی	روشنایی معابر	جمع
فروش برق وزارت نیرو (گیگاوات ساعت)	۴۲۸۸/۶	۱۱۱۰/۱	۹۴۸/۳	۲۶۵۵	۴۴۴۳/۷	۳۲۹/۲	۱۳۷۷۴/۹
مشترکین برق	۱۵۸۱۳۰۵	۶۲۶۱۲	۲۱۰۶۶۴	۱۳۳۴۲	۴۱۵۵۳	۱۳۰۹۷	۱۹۱۱۴۷۶

میزان مصرف در سال ۱۳۹۹، طبق آمار اعلامی وزارت نیرو، میزان مصرف در سال ۱۳۹۵ را ۱۳ درصد افزایش می‌دهیم بنابراین میزان مصرف در سال ۱۳۹۹ برابر ۱۵/۵۶۵۶ تراوات ساعت در سال تخمین زده می‌شود و در ادامه از آن استفاده خواهد شد.

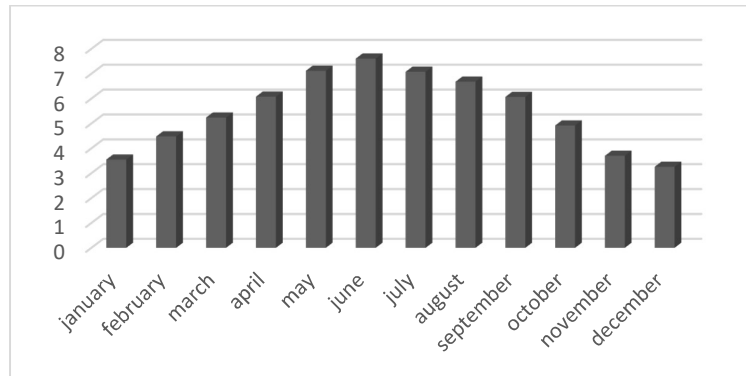
آمار ذکر شده مربوط به ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۵ است. از سال ۱۳۹۵ تا بهمن ۱۳۹۹ ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر در استان فارس افزایش چشمگیری داشته است و مجموعاً به ۸۴/۲ مگاوات رسیده است که شامل دو نیروگاه برق آبی، دوازده نیروگاه خورشیدی، یک نیروگاه بادی و یک نیروگاه زیست‌توده بوده و جزئیات آن در جدول ۳ قابل مشاهده هستند. برای محاسبه

جدول ۳ ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر در استان فارس سال ۱۳۹۹

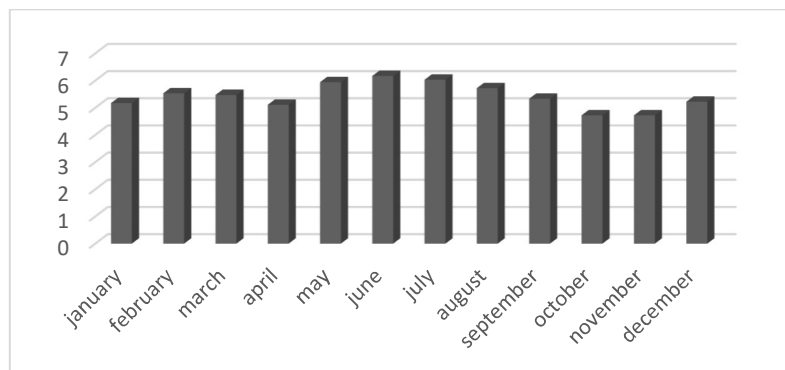
نوع	خورشیدی	زیست توده	بادی	برق آبی	جمع
ظرفیت نیروگاه (گیگاوات ساعت)	۷۰/۲	۱/۰۶۵	۰/۱۶۶	۱۲/۲۵	۸۴/۲

مناسبتی برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی داراست. میانگین وزش سالیانه باد در استان فارس برابر ۵/۴۳ متر بر ثانیه بوده و در ماه‌های مختلف سال معمولاً این مقدار تغییرات زیادی ندارد و پتانسیل آن برای استفاده از انرژی بادی مناسب است. نمودارهای مربوطه در اشکال ۱ و ۲ قابل مشاهده هستند.

استان فارس برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی پتانسیل مناسبی دارد. میانگین تابش این استان برابر ۵/۴۸ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز است که بیشترین و کمترین مقدار ماهانه آن به ترتیب برابر با ۷/۲۶ و ۳/۲۱ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز است که در مجموع پتانسیل



شکل ۱. میانگین تابش خورشیدی استان فارس بر حسب day/kWh/m^2



شکل ۲. میانگین وزش باد در استان فارس بر حسب m/s

کرده (۴/۳۳۷۹ مگاوات) و ۱/۲ مگاوات هم منابع تجدیدپذیر که با توجه به کوچک بودن آن در داخل شبیه‌سازی تمام ۱/۲ مگاوات به عنوان انرژی برق آبی فرض شده است. حال با توجه به بار تعریف شده در مرحله قبل شبیه‌سازی را اجرا کرده و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این حالت، کمتر از ۱۰ گیگاوات ساعت در سال به انرژی‌های تجدیدپذیر تخصیص داده شده که با مقدار واقعی آن در ترازنامه یعنی ۲/۱ گیگاوات ساعت در سال همخوانی دارد. ملاحظه می‌شود که در این حالت، میزان CO_2 آزاد شده نیروگاه برابر ۶۲۵ مگاتن در سال اندازه‌گیری شده است. هم‌چنین انرژی قابل استحصال از گاز مصرفی به عنوان سوخت نیروگاه برابر ۳۰/۶۱ تراوات ساعت در سال به‌دست آمده است. حال می‌خواهیم ببینیم چنانچه نیروگاه‌های تجدیدپذیری که تا سال ۱۳۹۹ در فارس تأسیس شده‌اند، چهار سال قبل احداث می‌شدند، چه مقدار در مصرف گاز صرفه‌جویی می‌شد و به چه اندازه از انتشار آلودگی در هوا جلوگیری می‌شد. نتیجه شبیه‌سازی در شکل ۳ مشخص است. ملاحظه می‌شود که در این حالت، در سال ۱۳۹۵ به میزان ۲۷۰ هزار تن CO_2 کمتری نسبت به حالت واقعی این سال آزاد می‌شود و نیز به میزان ۱/۳۲ تراوات ساعت در انرژی قابل استحصال از گاز مصرفی صرفه‌جویی می‌گردد. حال این دو پارامتر را برای این بازه ۴ ساله یعنی از ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ جداگانه حساب کرده تا ببینیم در عرض این ۴ سال چه مقدار می‌توانستیم در انتشار CO_2 و مصرف گاز صرفه‌جویی کنیم.

در این پژوهش، هدف مدل‌سازی سیستم عرضه/تقاضا در استان فارس از طریق مقایسه وضعیت سیستم در گذشته، حال و آینده‌ی پیش‌بینی شده است. در واقع با استفاده از آمار و اطلاعات در دسترس از وضعیت نیروگاه‌ها و نیز تقاضای انرژی در این استان، ابتدا بررسی می‌شود که در گذشته سیستم به چه صورت بوده است. سپس برای وضعیت کنونی بررسی صورت می‌گیرد و چندین سناریوی مختلف برای شرایط کنونی تعریف می‌گردد. در ادامه با تعریف سناریوی واقع بینانه، وضعیت عرضه/تقاضای انرژی الکتریکی در استان مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پارامتری که تمرکز عمده در بررسی سناریوهای مختلف روی آن است، وضعیت زیست‌محیطی و انتشار آلاینده‌ها و نیز صرفه‌جویی در مصرف گاز است.

یافته‌ها

در مرحله اول میزان بار مورد نیاز استان فارس به سیستم وارد می‌شود. می‌دانیم که ۷۷۴۹ تراوات ساعت، برق مصرفی یک سال در استان شیراز است. تا بحال تنها بار مصرفی را تعریف کرده‌ایم و با انجام شبیه‌سازی تنها اطلاعات حاضر اهمیتی که کسب خواهیم نمود میزان پیک بار مصرفی است که طبق برنامه‌ریزی اعمال شده به‌دست. در این جهت، میزان ماکزیمم بار مصرفی برابر با ۲۴۵۴ مگاوات است که برای انتخاب نوع نیروگاه و برنامه‌ریزی تولید از اهمیت بالایی برخوردار است. در ادامه میزان توان نیروگاه‌ها در استان فارس را اعمال

shiraz.txt The EnergyPLAN model 15

Electricity demand (TWh/year): 17.12 Electric cooling + HP 0.00 Electric cooling 0.00 Total 17.12	Flexible demand 0.00 Fixed implexp. 0.00 Transportation 0.00 Total 0.00	Group 2: CHP Heat Pump Boiler	Capacities MW-e 0 0 0	Efficiencies MJ/s elec. Ther COP 0.40 0.50 3.00 0.90 0.40 0.50 3.00 0.90	Regulation Strategy CEEP regulation 00000000 Minimum Stabilisation share 0.00 Stabilisation share of CHP 0.00 Minimum CHP gr.3 load 0 MW Minimum PP 0 MW Heat Pump maximum share 0.50 Maximum import/export 0 MW	Technical regulation no. 1 Dist. Name : Hour_nordpool.bt Addition factor 0.00 DKK/MWh Dependency factor 2.00 DKK/MWh pr. MW Average Market Price 227 DKK/MWh	Fuel Price level: Capacities MW-e Hydro Pump: 0 0 0.80 Hydro Turbine: 0 0.90 Electrol. Gr.2: 0 0 0.80 0.10 Electrol. Gr.3: 0 0 0.80 0.10 Electrol. trans.: 0 0 0.80 Ely. MicroCHP: 0 0 0.80 CAES fuel ratio: 0.000	
District heating (TWh/year) District heating demand 0.00 Solar Thermal 0.00 Industrial CHP (CSHP) 0.00 Demand after solar and CSHP 0.00	Gr.1 Gr.2 Gr.3 Sum 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	Group 3: CHP Heat Pump Boiler Condensing	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.45	0.40 0.50 3.00 0.90	CEEP regulation 00000000 Minimum Stabilisation share 0.00 Stabilisation share of CHP 0.00 Minimum CHP gr.3 load 0 MW Minimum PP 0 MW Heat Pump maximum share 0.50 Maximum import/export 0 MW	Dist. Name : Hour_nordpool.bt Addition factor 0.00 DKK/MWh Dependency factor 2.00 DKK/MWh pr. MW Average Market Price 227 DKK/MWh	Capacities MW-e Hydro Pump: 0 0 0.80 Hydro Turbine: 0 0.90 Electrol. Gr.2: 0 0 0.80 0.10 Electrol. Gr.3: 0 0 0.80 0.10 Electrol. trans.: 0 0 0.80 Ely. MicroCHP: 0 0 0.80 CAES fuel ratio: 0.000	
Wind 2 MW Photo Voltaic 400 MW River Hydro 50 MW River Hydro 0 MW Hydro Power 0 MW Geothermal/Nuclear 0 MW	0.01 TWh/year 2.25 TWh/year 0.28 TWh/year 0 TWh/year 0 TWh/year 0 TWh/year	0.00 Grid 0.00 stabilisation 0.00 share	Heatstorage: gr.2: 0 GWh Fixed Boiler: gr.2:0.0 Per cent	gr.3:0 GWh gr.0.0 Per cent	Electricity prod. from Gr.1: 0.00 Gr.2: 0.00 Gr.3: 0.00	CSHP Waste (TWh/year) 0.00 0.00 0.00	CAES fuel ratio: 0.000	Coal Oil Ngas Biomass Transport 0.00 0.00 0.00 0.00 Household 0.00 0.00 0.00 0.00 Industry 0.00 0.00 0.00 0.00 Various 0.00 0.00 0.00 0.00

Output

Month	District Heating										Electricity										Exchange																			
	Demand					Production					Consumption					Production						Balance																		
January	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	322	0	0	0	0	1849	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
February	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2171	0	0	0	0	0	0	0	0	0	322	0	0	0	0	1849	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
March	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	314	0	0	0	0	1804	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1907	0	0	0	0	0	0	0	0	0	283	0	0	0	0	1624	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1801	0	0	0	0	0	0	0	0	0	267	0	0	0	0	1534	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1768	0	0	0	0	0	0	0	0	0	262	0	0	0	0	1506	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	241	0	0	0	0	1386	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
August	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1841	0	0	0	0	0	0	0	0	0	273	0	0	0	0	1568	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
September	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1871	0	0	0	0	0	0	0	0	0	277	0	0	0	0	1594	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
October	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1962	0	0	0	0	0	0	0	0	0	291	0	0	0	0	1672	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
November	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	310	0	0	0	0	1780	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2074	0	0	0	0	0	0	0	0	0	307	0	0	0	0	1766	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Average	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	289	0	0	0	0	1660	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maximum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	452	0	0	0	0	2598	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TWh/year	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.54	0.00	0.00	0.00	0.00	14.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0

Fuel	FUEL BALANCE (TWh/year)										CAES BioCon-Electro-										PV and Wind off										Industry										Imp/Exp Corrected										CO2 emission (Mt)	
	DHP	CHP2	CHP3	Boiler2	Boiler3	PP	Geo/Nu	Hydro	Waste	Elcy.	version	Fuel	Wind	CSP	Wave	Hydro	Solar.Tr	Transp.househ.	Various	Total	Imp/Exp	Corrected	Imp/Exp	Net	Total	Net																										
Coal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																		
Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																		
N.Gas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.09	0.00	32.09	0.00	6.55	6.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																		
Biomass	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																		
Renewable	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	2.54	0.00	2.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																		
H2 etc.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																		
Biofuel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																		
Nuclear/CCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																		
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34.95	0.00	34.95	0.00	6.55	6.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																		

26-February-2021 [11:19]

شکل ۵. سیستم عرضه و تقاضای پیش بینی شده برای سال ۱۴۰۳

تن خواهد بود که با وجود افزایش ۱۰ درصدی در تقاضا نسبت به سال ۱۳۹۹، کمتر شده است.

بنابراین، با توجه به نتایج حاصل شده از این بررسی، پیشنهاد میشود که پروژه‌های تجدیدپذیر بیشتری در این استان، شامل نیروگاه‌های خورشیدی، بادی و سایر نیروگاه‌های تجدیدپذیر که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، از جمله بیوماس و زمین گرمایی مورد احداث قرار گیرند که از هر لحاظ مفید خواهند بود. با افزایش روزافزون تقاضای برق در کشور، پیشنهاد میشود که گسترش سیستم عرضه برق استان تنها از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر صورت گیرد. همچنین، پایین بودن هزینه‌ی سوخت‌های فسیلی، رقابت را برای انرژی‌های تجدیدپذیر دشوار کرده. بنابراین، حذف یا کاهش یارانه‌ی دولتی به نیروگاه‌های برق حرارتی، میتواند رقابت را برای انرژی‌های تجدیدپذیر عادلانه‌تر کند. پتانسیل منطقه‌ای استان فارس برای تولید سوخت بیوماس، زمینه‌ی مناسبی برای تولید سوخت پاک برای تولید برق، حرارت و حمل‌ونقل فراهم میکند که نیازمند مطالعات عمیق تری است.

مشارکت نویسندگان

محمد حسین جهانگیر (۴۰ درصد)، علیرضا بهراد (۳۰ درصد)، رضا مختاری (۳۰ درصد)

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که این اثر قبلاً در جای دیگری منتشر

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش از نرم‌افزار EnergyPLAN جهت مدل‌سازی سیستم عرضه/ تقاضای برق در استان فارس استفاده شده است. گذشته، حال و آینده‌ی سیستم عرضه/تقاضا در این استان با در نظر گرفتن پارامترهای میزان CO2 منتشر شده و گاز مصرفی مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم ارائه شده در ترازنامه انرژی ۱۳۹۵ را مدل کرده و ملاحظه می‌گردد که در این سال، کمتر از ۱۰ گیگاوات‌ساعت (۲/۸ گیگاوات‌ساعت طبق ترازنامه) توسط منابع تجدیدپذیر تأمین می‌شود و درصد این منابع در مقایسه با منابع سوخت فسیلی کمتر از ۰/۱ درصد است. سپس نیروگاه‌های تجدیدپذیر احداث شده تا سال ۱۳۹۹ (طبق سابتا) در همین سیستم مدل شده و ملاحظه می‌گردد که چنانچه ۴ سال زودتر این نیروگاه‌ها احداث می‌شدند، هر سال حدود ۲۸۰ هزار تن و در مجموع ۴ سال حدود ۱/۱ میلیون تن کربن دی‌اکسید کمتری هوا را آلوده می‌نماید. همچنین مجموعاً به اندازه ۵/۳۸ تراوات‌ساعت انرژی کمتری از نیروگاه‌های سوخت فسیلی برق دریافت می‌گردد که موجب صرفه‌جویی در مصرف گاز می‌شود.

سپس مدل‌سازی سیستم سال ۱۳۹۹ طبق آمار سابتا صورت می‌پذیرد. در این حالت نیز تنها حدود ۳ درصد برق مصرفی از طریق منابع تجدیدپذیر تأمین شده و ۶/۸ میلیون تن CO2 وارد هوا می‌گردد. در ادامه با توجه به آمار وزارت نیرو، تقاضای برق در سال ۱۴۰۳ را تخمین زده و با فرض اتمام بهره‌برداری از پروژه‌های در دست احداث، سیستم مدل‌سازی می‌گردد.

نتایج تحلیل نشان می‌دهد که در حالت خوشبینانه، میزان درصد منابع تجدیدپذیر به ۱/۴ درصد خواهد رسید و میزان CO2 منتشر شده در هوا برابر ۶/۵۵ میلیون

- [14] Mahbub MS, Cozzini M, Østergaard PA, Alberti F. Combining multi objective evolutionary algorithms and descriptive analytical modelling in energy scenario design. *Appl Energy* 2016;164:140–51. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.042>
- [15] Mathiesen, B.V., et al., Smart Energy Systems for coherent 100 درصد renewable energy and transport solutions. *Applied Energy*, 2015. 145: p. 139154.
- [16] Tonini, D. and T. Astrup, LCA of biomass based energy systems: a case study for Denmark. *Applied Energy*, 2012. 99: p. 234246.
- [17] Lund, H. and B.V. Mathiesen, The role of carbon capture and storage in a future sustainable energy system. *Energy*, 2012. 44(1): p. 469476.
- [18] Oropeza Perez, I. and P.A. Østergaard, The influence of an estimated energy saving due to natural ventilation on the Mexican energy system. *Energy*, 2014. 64: p. 10801091.
- [19] Xiong, W., et al., Heat roadmap China: new heat strategy to reduce energy consumption towards 2030. *Energy*, 2015. 81: p. 274285.
- [20] Ridjan, I., et al., The feasibility of synthetic fuels in renewable energy systems. *Energy*, 2013. 57: p. 7684.
- [21] Nunes, P., T. Farias, and M.C. Brito, Day charging electric vehicles with excess solar electricity for a sustainable energy system. *Energy*, 2015. 80: p. 263274.
- [22] Lund, R. and B.V. Mathiesen, Large combined heat and power plants in sustainable energy systems. *Applied Energy*, 2015. 142: p. 389395.
- [23] Vidal-Amaro, J.J., P.A. Østergaard, and C. Sheinbaum Pardo, Optimal energy mix for transitioning from fossil fuels to renewable energy sources—The case of the Mexican electricity system. *Applied Energy*, 2015. 150: p. 8096.
- [24] Hagos, D.A., A. Gebremedhin, and B. Zethraeus, Towards a flexible energy system—A case study for Inland Norway. *Applied Energy*, 2014. 130: p. 4150.
- [25] Neves, D., A. Pina, and C.A. Silva, Demand response modelling: a comparison between tools. *Applied Energy*, 2015. 146: p. 288297.
- [26] Brandoni, C., et al., Assessing the impact of micro generation technologies on local sustainability. *Energy Conversion and Management*, 2014. 87: p. 12811290.
- [27] Sierra Club. 100 درصد commitments in cities, counties, & States No title. 2020. https://www.sierraclub.org/ready_for_100/commitments. [Accessed 18 April 2020].
- [28] Jacobson MZ, Cameron MA, Hennessey EM, Petkov I, Meyer CB, Gambhir TK, et al. 100 درصد clean and renewable Wind, Water, and Sunlight (WWS) all sector energy roadmaps for 53 towns and cities in North America. *Sustain Cities Soc* 2018.
- [29] Gomez Echeverri LG. Investing for rapid decarbonization in cities. *Current opinion in environmental sustainability*. 2018 Feb 1;30:4251.
- [30] Hansen K, Breyer C, Lund H. Status and perspectives on 100 درصد renewable energy systems. *Energy* 2019;175:471–80. <https://doi.org/10.1016/j.ENERGY.2019.03.092>.
- [31] Aalborg University. EnergyPLAN: advanced energy system analysis computer model [cited 2016; Available from: <http://www.energyplan.eu/>.

نشده و همزمان به نشریه دیگری ارائه نگردیده است. همچنین کلیه حقوق استفاده از محتوا، جداول، تصاویر و... را پس از پذیرش و انتشار مقاله را به ناشر نشریه محول می کنند.

تشکر و قدردانی

موردی از سوی نویسندگان اعلام نشده است.

منابع

- [1] Tetsunari, L. Renewables Japan Status Report 2014. Institute for Sustainable Energy Policies (ISEP). 2014.
- [2] Energy Planning. an overview | Science Direct Topics n.d. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/energy-planning> (accessed October 29, 2019).
- [3] 2020 climate & energy package | Climate Action 2007. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en.
- [4] 2030 Energy Strategy. European Commission 2014. https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy_strategy_and_energy_union/2030_energy_strategy (accessed July 19, 2017).
- [5] Prina MG, Cozzini M, Garegnani G, Manzolini G, Moser D, Filippi Oberegger U, et al. Multi objective optimization algorithm coupled to EnergyPLAN software: The EPLANopt model. *Energy* 2018;149. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.050>.
- [6] H. Chapter 4 – Tool: The EnergyPLAN Energy System Analysis Model. *Renew. Energy Syst.*, 2014, p. 53–78. <http://doi.org/10.1016/B9783-5-00004-410423-12-0>.
- [7] Ben Amer S, Bramstoft R, Balyk O, Nielsen PS. Modelling the future low carbon energy systems case study of greater Copenhagen, Denmark. *Int J Sustain Energy Plan Manag* 2019;24:21–32. <http://doi.org/10.5278/ijsepm.3356>.
- [8] Heinisch V, Göransson L, Odenberger M, Johnsson F. Interconnection of the electricity and heating sectors to support the energy transition in cities. *Int J Sustain Energy Plan Manag* 2019;24:57–66. <http://doi.org/10.5278/ijsepm.3328>.
- [9] Aravena JC, Aghahosseini A, Bogdanov D, Caldera U, Muñoz Cerón E, Breyer C. The role of solar PV, wind energy, and storage technologies in the transition toward a fully sustainable energy system in Chile by 2050 across power, heat, transport and desalination sectors. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*. 2020 Jan 24;25:7794.
- [10] 2050 long term strategy | Climate Action n.d. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en (accessed October 29, 2019).
- [11] Colbataldo P, Agustin SB, Campanari S, Brouwer J. Impact of hydrogen energy storage on California electric power system: Towards 100 درصد renewable electricity. *Int J Hydrogen Energy* 2019; 44:9558–76. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.062>.
- [12] Nastasi B, Markovska N, Puksec T, Duić N, Foley A. Renewable and sustainable energy challenges to face for the achievement of Sustainable Development Goals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022 Apr 1;157:112071.
- [13] Bjelić IB, Rajaković N. Simulation based optimization of sustainable national energy systems. *Energy*. 2015 Nov 1;91:108798.