The University of Tehran Press

Journal of Sustainable Energy Systems

Home Page: https://ses.ut.ac.ir

Online ISSN: 2980-8693

Simulation and analysis of different scenarios for the use of renewable resources in the energy system of Fars province, emphasizing the role of cooling

Marziyeh Razeghi[1] | Amir Naseri[2*]

1. PhD Student, college of Energy and Sustainable Resources Engineering, Faculty of Interdisciplinary Sciences and Technologies, Tehran University, Tehran, Iran. Email: razeghi.marziyeh@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, PhD Student, college of Energy and Sustainable Resources Engineering, Faculty of Interdisciplinary Sciences and Technologies, Tehran University, Tehran, Iran. Email: amirnaseri@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 21 October 2022
Revised 20 November 2022
Accepted 15 Decemberb 2023
Published Online 27 December 2023

Keywords:
Fars province,
Renewable energy,
Cooling of buildings,
Energy system.

ABSTRACT

Cooling is one of the largest energy uses in Fars province, which has a hot and dry climate. The aim of this research is to analyze the impact of using renewable sources on energy consumption and air pollution in Fars province, with an emphasis on the role of cooling. For this purpose, ENERGY PLAN software was used to simulate and calculate the results of five different scenarios for the Shiraz energy system. These scenarios are the baseline scenario, the scenario of using heat pumps/absorption chillers and district heating systems, the scenario of reducing energy demand by 20%, the scenario of using natural cooling, and the scenario of maximizing the use of renewable sources. The results show that the fifth scenario, which involves the maximum use of renewable sources by using the technology of hybrid Combined Heat and Power (CHP) and solar thermal, has the best results. In this scenario, 75.68% of the total energy need of the province is supplied by renewable energies, and it is possible to reduce CO_2 emissions by about 92.76% compared to the baseline. The prerequisite for implementing most scenarios, especially the fifth scenario in Fars province, is to provide the necessary infrastructure for the production, transmission, and storage of renewable energies, pay attention to the proper design of buildings, optimize energy production and distribution technologies, and consider behavioral and cultural aspects of the province.

Cite this article: Razeghi, M. & Naseri, A. (2023). Simulation and analysis of different scenarios for the use of renewable resources in the energy system of Fars province, emphasizing the role of cooling. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 2 (2), 143-165.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2023.368750.1044

© Marziyeh Razeghi, Amir Naseri. **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2023.368750.1044

Introduction

Two different points of view can be observed for providing heating and cooling of homes. In the first view, buildings and residential areas provide their own heating and cooling needs, for example, through solar energy or other renewable energies. In the second point of view, excess heat energy produced by large industries and wasted is used, and these excess heats are transferred to homes with new technologies such as heat networks, or through absorption chillers, this heat is converted into cooling energy to provide cooling. Of course, in this method, geothermal energy, wind energy, and solar thermal energy are also used on a large scale. In the first case, the district heating network may not be necessary, while, in the second case, the district heating network is necessary.

Model description

In this article, Fars province is evaluated as one of the provinces located in the southwest of Iran from the point of view of its ruling energy system, and the amount of primary energy consumption is

determined in it, such as fossil fuels (natural gas, gasoline, etc.) and electric energy. The purpose of this article is to investigate the feasibility of using renewable resources in the cooling sector of this province. For this purpose, Energy Plan software, which has been known since 1999 at Aalborg University in Denmark as a tool for energy system analysis and analysis, will be used.

Conclusion

In this study, the aim was to analyze the impact of using renewable resources on energy consumption and air pollution at the provincial level of Fars with an emphasis on the role of cooling. For this purpose, EnergyPLAN software was used to simulate and calculate the results of 5 different scenarios for the energy system of Shiraz. Considering that Fars province in Iran has a hot and dry climate, therefore, providing cooling in this province is a basic need. To achieve this goal, as mentioned, 5 scenarios were proposed, which are: base case scenario, scenario of using heat pumps/absorption chiller and using district heating system, scenario of reducing energy demand by 20%, scenario of using natural cooling and scenario of maximum use of renewable resources. The results showed that by increasing the use of renewable resources and reducing energy demand, fossil fuel consumption, air pollution, energy costs, and dependence on oil imports are significantly reduced, also, energy security, economic efficiency, and quality of life are improved. By examining all scenarios, the fifth scenario, which is the maximum use of renewable resources by using the technology of the combined system of simultaneous production of heating, power, and solar thermal, has had the best results, because in this scenario 68.75% of the total energy demand of the province is supplied through renewable energies and it is possible to reduce CO2 emissions by about 76.92% compared to the base case. The prerequisite for implementing most scenarios, especially the fifth scenario in Fars province, is to provide the necessary infrastructure for the production, transmission, and storage of renewable energies, pay attention to the proper design of buildings, and pay attention to the optimization of energy production and distribution technologies and pay attention to the behavioral and cultural aspects of the province.

فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار
سایت نشریه: https://ses.ut.ac.ir
شاپا الکترونیکی: ۸۶۹۳-۲۹۸۰
انتشارات دانشگاه تهران

شبیه‌سازی و تحلیل سناریوهای مختلف برای استفاده از منابع تجدیدپذیر در سیستم انرژی استان فارس با تأکید بر نقش سرمایش

مرضیه رازقی[۱] | امیر ناصری[۲*]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران. رایانامه: razeghi.marziyeh@ut.ac.ir

۲. نویسندهٔ مسئول، دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکدهٔ مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران. رایانامه: amirnaseri@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶

کلیدواژه:
استان فارس،
انرژی تجدیدپذیر،
سرمایش ساختمان‌ها،
سیستم انرژی.

چکیده

سرمایش یکی از مصارف بزرگ انرژی در استان فارس است که آب‌وهوای گرم و خشک دارد. هدف این پژوهش، تحلیل تأثیر استفاده از منابع تجدیدپذیر بر مصرف انرژی و آلودگی هوا در سطح استان فارس با تأکید بر نقش سرمایش است. برای این‌منظور، از نرم‌افزار انرژی پلن[۱] برای شبیه‌سازی و محاسبهٔ نتایج ۵ سناریوی مختلف برای سیستم انرژی شیراز استفاده شده است. این سناریوها عبارت‌اند از: سناریوی حالت پایه، سناریوی استفاده از پمپ‌های حرارتی/چیلر جذبی و استفاده از سیستم گرمایش منطقه‌ای[۲]، سناریوی کاهش ۲۰ درصدی تقاضای انرژی، سناریوی استفاده از سرمایش طبیعی و سناریوی استفادهٔ حداکثری از منابع تجدیدپذیر. نتایج نشان می‌دهد سناریوی پنجم که استفادهٔ حداکثری از منابع تجدیدپذیر با بهره‌گیری از فناوری سیستم ترکیبی تولید هم‌زمان گرمایش، توان و حرارتی خورشیدی[۳] است، بهترین نتایج را داشته است، زیرا در این سناریو ۶۸/۷۵ درصد از کل نیاز انرژی استان، از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود و می‌توان میزان انتشار CO_2 را نسبت به حالت پایه، حدود ۷۶/۹۲ درصد کاهش داد. لازمهٔ اجرای بیشتر سناریوها به‌خصوص سناریوی پنجم در استان فارس، فراهم کردن زیرساخت‌های لازم برای تولید، انتقال و ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، توجه به طراحی مناسب ساختمان‌ها، توجه به بهینه‌سازی فناوری‌های تولید و توزیع انرژی و توجه به جنبه‌های رفتاری و فرهنگی استان است.

استناد: رازقی، مرضیه و ناصری، امیر (۱۴۰۲). شبیه‌سازی و تحلیل سناریوهای مختلف برای استفاده از منابع تجدیدپذیر در سیستم انرژی استان فارس با تأکید بر نقش سرمایش. *فصلنامهٔ سیستم‌های انرژی پایدار*، ۲ (۲) ۱۴۳-۱۶۵ . DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2023.368750.1044

© مرضیه رازقی، امیر ناصری. **ناشر:** مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/ses.2023.368750.1044

1. EnergyPlan
2. District heating
3. Hybrid CHP& Solar thermal

۱. مقدمه

برای تأمین گرمایش و سرمایش منازل دو دیدگاه متفاوت را می‌توان مشاهده کرد. در دیدگاه اول ساختمان‌ها و مناطق مسکونی خود به‌تنهایی نیازهای گرمایشی و سرمایشی خود را برای مثال از طریق انرژی خورشیدی یا سایر انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌کنند. در دیدگاه دوم از انرژی حرارتی اضافی که توسط صنایع بزرگ تولید می‌شود و هدر می‌رود، استفاده می‌شود و این حرارت‌های اضافی را با فناوری‌های جدید مانند شبکه‌های حرارتی به منازل انتقال می‌دهند و یا از طریق چیلرهای جذبی این حرارت را به انرژی سرمایشی برای تأمین سرمایش تبدیل می‌کنند. البته در این روش از انرژی زمین‌گرمایی، بادی، انرژی حرارتی خورشید در مقیاس بزرگ نیز استفاده می‌شود. در حالت اول، شبکهٔ گرمایش منطقه ممکن است لازم نباشد، در حالی که در حالت دوم، شبکهٔ گرمایش منطقه ضروری است.

مطالعاتی که در حوزهٔ تأمین گرمایش صورت گرفته‌اند، به صورت خلاصه به شرح زیر است.

طراحی و چشم‌انداز ساختمان‌های کم‌مصرف در بسیاری از مقالات اخیر [۱ـ ۷] و همچنین، مفاهیمی مانند ساختمان‌های با انتشار گاز گلخانه‌ای صفر و ساختمان‌های تولیدکنندهٔ انرژی [۱–۳]، تحلیل و توصیف شده است. با این‌حال، چنین مقالاتی عمدتاً با ساختمان‌های آینده سروکار دارند و کلیهٔ ساختمان‌های موجود را شامل نمی‌شوند، زیرا به دلیل طولانی بودن عمر ساختمان‌های کنونی، انتظار می‌رود که برای چند دههٔ آینده نیز این ساختمان‌ها باقی بمانند. برخی از مقاله‌ها به چگونگی کاهش تقاضای گرما در ساختمان‌های موجود پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که برای اجرای چنین هدفی نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجهی است، اما پس از آن از هزینه‌های عملیاتی بسیار کاسته خواهد شد [۴–۷]. به عنوان مثال، در دانمارک سهم چنین ساختمان‌هایی در سال ۲۰۳۰ به میزان ۸۵–۹۰ درصد پیش‌بینی می‌شود. برخی از مقالات دیگر برای کاهش احتراق سوخت‌های فسیلی، معرفی یا گسترش استفاده از تولید ترکیبی گرما و نیرو و یا پمپ‌های حرارتی را که با استفاده از گرمای زباله‌های صنعتی و سوخت‌های مختلف زیست‌توده، کارایی سوخت در سیستم بهبود می‌یابد معرفی می‌کنند [۸–۱۲]. چنین سیاست‌هایی اغلب نیاز به سیستم گرمایش منطقه دارند. گرمایش منطقه در مقابل تأمین نیاز گرمایشی برای ساختمان‌های مسکونی میزان انتشار دی‌اکسید کربن کمتری دارند، نروژ یکی از کشورهایی است که گرمایش منطقه‌ای نسبت به گرمایش منفرد توسعهٔ قابل توجهی داشته است.

هارکوس و همکاران [۱۳] ساختمان‌های با انرژی صفر خالص[1] به عنوان یک راه حل کارآمد برای محدود کردن مصرف انرژی و رشد آلودگی در ساختمان‌ها را بررسی کردند و نتیجه گرفتند پیکربندی‌ها و ظرفیت‌های سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر پیاده‌سازی‌شده در ساختمان‌های با انرژی صفر خالص باید به طور خردمندانه‌ای برای اطمینان از هدف عملکرد درنظرگرفته‌شده انتخاب شود. این مطالعه با هدف بهینه‌سازی، بررسی و مقایسهٔ شش مجموعه انرژی تجدیدپذیر برای طراحی ساختمان‌های با انرژی صفر خالص در سه آب‌وهوای مختلف: ایندور (خنک)، ترومسو (گرمایش غالب) و پکن (آب‌وهوای مختلط) انجام شده است. بهینه‌سازی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام می‌شود. روش اجراشده از دو مرحله تشکیل شده است. در فاز اول، اندازه‌های حداکثر مجموعه‌هایی از فناوری‌های تجدیدپذیر در هر آب‌وهوا استخراج و تحلیل می‌شوند. اثربخشی مجموعه‌های حل بهینه با توجه به اقتصاد، محیط زیست، انرژی و تنش شبکه ارزیابی می‌شود. در مرحلهٔ دوم، با توجه به نتایج ارزیابی کلی عملکرد، توصیه‌هایی برای هر منطقه ارائه می‌شود. معیارهای ارزیابی شامل هزینهٔ چرخهٔ زندگی، دورهٔ بازپرداخت، هزینهٔ ترازشدهٔ انرژی، میزان انتشار CO_2، شاخص برهم‌کنش شبکه، شاخص تطبیق بار و کل انرژی مصرفی است. تجزیه‌وتحلیل نشان می‌دهد در ایندور (آب‌وهوای گرم) توصیه می‌شود از مجموعه متشکل از پمپ حرارتی برای خنک‌سازی و صفحه‌های خورشیدی برای تولید آب گرم خانگی استفاده شود. در ترومسو (آب‌وهوای سرد)، استفاده از یک ژنراتور بیودیزل برای تولید برق و گرمایش و همچنین استفاده از آب گرم خانگی است. در پکن (آب‌وهوای مختلط) توصیه می‌شود از چیلرها برای سرمایش و دیگ بخار متراکم‌کنندهٔ گاز طبیعی و آب گرم خانگی برای گرمایش استفاده شود.

ماقول و همکاران [۱۴] عملکرد یک سیستم شمع‌گرمایی پیشنهادی برای تقاضای انرژی یک ساختمان درون‌سازمانی را بررسی کردند. ساختمان مورد مطالعه در این تحقیق در محوطهٔ دانشگاه فورت گاری دانشگاه مانیتوبا در جنوبی‌ترین بخش وینیپگ (MB)

1. Net-zero energy buildings (NZEBs)

کانادا واقع شده است. در یک منطقهٔ شهری، به دلیل گرمازدگی ساختمان‌ها در زیرزمین، دمای خارج از زیرزمین به طور قابل توجهی بالاتر از مناطق روستایی اطراف است. در این مطالعه، این اتلاف حرارت از طریق شمع‌های زمین‌گرمایی برداشت شده و برای استفاده از سیستم گرمایش، تهویه و تهویهٔ مطبوع[1] به ساختمان رد می‌شود. عدم تعادل حرارتی زیرزمینی، که بیشترین مشکل هنگام استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در مناطق سردسیر است، به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه گرفته می‌شود که با وجود نشت گرما از طریق محفظهٔ زیرزمین، تعادل گرمایی خاک، در صورت پشتیبانی از کل انرژی مورد نیاز ساختمان توسط شمع‌های زمین‌گرمایی نمی‌تواند تأمین شود و استفاده از منابع گرمای جانبی پیشنهاد شده است. سرانجام، مقدار انرژی برداشت‌شده از زمین با حفظ تعادل گرمایی خاک و جلوگیری از یخ‌زدگی در سطح خاک- شمع که بر عملکرد ساختاری شمع‌های زمین‌گرمایی تأثیر می‌گذارد، محاسبه می‌شود. در جدول ۱ خلاصه‌ای از مطالعات حوزهٔ گرمایش و سرمایش ارائه می‌شود.

جدول ۱. خلاصه‌ای از مطالعات حوزهٔ گرمایش و سرمایش

Mathiesen و همکاران [۱۵]	تولید پراکنده در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ۱۰۰ درصد مهم است، زیرا می‌تواند امکان استفاده از پمپ‌های حرارتی خورشیدی در مقیاس بزرگ، پمپ‌های حرارتی در مقیاس بزرگ (HP)، گرمای اضافی صنعتی، گرمای زمین‌گرمایی و سوزاندن زباله را فراهم آورد. تولید هم‌زمان توان و گرما در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ۱۰۰ درصد بسیار مهم است و مؤثرترین فناوری‌های تولید هم‌زمان توان و گرما نیاز به تولید پراکنده در ترکیب با انبارهای حرارتی دارند. در صورت انتخاب فناوری‌های گرمایش فردی به جای تولید پراکنده، فشار روی منبع زیست‌توده ۴/۳۱ درصد افزایش می‌یابد. گسترش تولید پراکنده می‌تواند فشار را روی منبع زیست‌توده در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ۱۰۰ درصد کاهش دهد و در مقایسه با فناوری‌های گرمایش فردی، جایگزین به‌صرفه‌تری است. گسترش تولید پراکنده در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر با مقادیر زیادی از انرژی تجدیدپذیر (مانند توربین‌های بادی) از آن جهت که یکپارچه‌سازی مؤثر و به‌صرفهٔ سوخت باعث تحریک انرژی تجدیدپذیر در شبکهٔ برق می‌شود، از اهمیت بیشتری برخوردار است.
Lund و همکاران [۱۶]	از مؤثرترین راه‌های تسهیل ادغام در مقیاس بزرگ انرژی تجدیدپذیر، طراحی و بهره‌برداری نیروگاه‌های تولید هم‌زمان توان و گرما یافت می‌شود. فراهم شدن بازار نقطه‌ای و بعداً هم بازار تنظیم انرژی و هم بازار ذخیرهٔ اولیه باعث شده است تا کارخانه‌ها کوچک توزیع تولید هم‌زمان توان و گرما بتوانند وارد چنین بازارهایی شوند. نیروگاه تولید هم‌زمان توان و گرما مجهز به ذخیره‌سازی گرما و دیگ‌های برقی نشان می‌دهد چگونه چنین طرح‌های کوچک می‌توانند با هزینه‌های اضافی و سرمایه‌گذاری اضافی بسیار کم، تثبیت شبکهٔ باارزش را تأمین کنند.
Connolly و همکاران [۱۷]	نتایج بیانگر آن است که ترکیبی از صرفه‌جویی در گرما، گرمایش منطقه در مناطق شهری و پمپ‌های گرمایش فردی در مناطق روستایی، EU27 را قادر می‌سازد تا سال ۲۰۵۰ به اهداف انتشار گازهای گلخانه‌ای خود برسد.
Connolly و همکاران [۱۸]	برای رسیدن به سیستم انرژی بهینه در بخش گرمایش اروپا باید دو مرحله طی شود: مرحلهٔ اول باید تمام گرمایش در اروپا، چه شهری و چه روستایی، فقط توسط پمپ‌های گرمایی تأمین شود؛ چون پمپ‌های حرارتی در تئوری می‌توانند در هر ساختمان نصب شوند. در مرحلهٔ دوم، پمپ‌های گرمایشی شهری با گرمایش منطقه جایگزین می‌شوند، زیرا گرمایش منطقه فقط در مناطق شهری که لوله‌ها از نظر اقتصادی مناسب هستند قابل دوام است. بنابراین، بخش گرمایش اکنون ترکیبی از گرمایش منطقه در مناطق شهری و پمپ‌های حرارتی برقی فردی در مناطق روستایی است. با افزودن گرمایش منطقه به سیستم انرژی اتحادیهٔ اروپا کل هزینه‌های ساختمان‌های گرمایش و سرمایش تقریباً ۱۵ درصد کمتر خواهد بود. برای افزایش پایداری سیستم انرژی می‌توان از برق کم‌هزینه متناوب برای تولید گرما در مواقعی با در دسترس بودن زیاد باد و انرژی خورشیدی از طریق تعویض منبع حرارت معمولی استفاده کرد. برای بخش گرمایش سیستم انرژی اروپا دو سناریو می‌توان متصور شد، سناریوی اول EU-EE است که در حال حاضر در اروپا در حال اجرا است و سناریوی دوم HRE-EE است که از بهینه‌سازی سناریوی اول به دست آمده است. ویژگی این سناریوها به شرح زیر است: ۱-سناریوی EU-EE به میزان زیادی در صرفه‌جویی در گرما در ساختمان‌ها متکی است تا به اهداف کاهش CO_2 خود برسد. با معرفی بیشتر گرمایش منطقه به عنوان یک روش اثربخشی انرژی جایگزین، سناریوی HRE- EE یک جایگزین ایمن‌تر و واقع‌بینانه‌تر است و فناوری‌های بیشتری برای انتخاب وجود دارد و میزان بیشتری از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده خواهد شد. ۲- سناریوی HRE-EE از کارایی انرژی در قسمت تقاضا و عرضهٔ سیستم انرژی استفاده می‌کند. با اضافه کردن گرمایش منطقه برای ساختمان‌ها، می‌توان از گرمای اضافی نیروگاه‌ها، صنعت و سوزاندن زباله استفاده کرد، ضمن اینکه از انرژی تجدیدپذیر بیشتری مانند انرژی باد، گرمای خورشیدی در مقیاس بزرگ و زمین‌گرمایی نیز استفاده می‌شود.
Lund و همکاران [۱۹]	دو مفهوم شبکه‌های حرارتی هوشمند و شبکه‌های برقی هوشمند با هم تفاوت اندکی دارند، به این دلیل که شبکه‌های حرارتی هوشمند چالش‌هایی نظیر استفاده از منابع گرمای کم‌دما (ارزش حرارتی پایین) و تعامل با ساختمان‌های کم‌مصرف دارند، در حالی که شبکه‌های برق هوشمند با چالش‌هایی نظیر ادغام تولید برق تجدیدپذیر و متناوب روبه‌رو است. همچنین باید تأکید کرد که این دو مفهوم مکمل یکدیگر هستند و برای اجرای سیستم‌های پایدار انرژی، هر دو مورد ضروری تلقی می‌شوند.

1. Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC)

ادامهٔ جدول ۱.

Lund و همکاران [۲۰]	گرمایش منطقه از آنجا که از گرمای اضافی موجود در سیستم انرژی مانند گرمای نیروگاه‌ها، صنعت و سوزاندن زباله استفاده می‌کند، کارآمدتر است؛ به این معنا که هنگام استفاده از گرمایش منطقه در مقایسه با گاز طبیعی، سوخت اضافی کمتری برای گرمایش ساختمان‌ها لازم است و پس از استفاده از گرمایش منطقه در مناطق شهری، سیستم انرژی کارآمدتر می‌شود، CO_2 کمتری تولید می‌کند و هزینهٔ کمتری نیز دارد. گرمایش منطقه در مناطق شهری نسبت به پمپ‌های حرارتی فردی مناسب‌تر است، ترکیبی از پمپ‌های گرما در مناطق روستایی با گرمایش منطقه در مناطق شهری، باعث افزایش بهره‌وری و کاهش هزینهٔ سیستم انرژی در مقایسه با سیستمی که دارای بخش گرمایش تجاری معمولی بود، خواهد شد.
Averfalk و همکاران [21]	در حال حاضر در اروپا بیشتر مناطق از پمپ‌های حرارتی استفاده می‌کنند و منابع اصلی گرمای مورد استفاده برای پمپ‌های حرارتی عبارت‌اند از: فاضلاب تصفیه‌شده، منابع آب محیط و گرمای اضافی صنعتی. استفاده از فاضلاب و آب‌های محیطی نسبت در مدت‌زمان طولانی، کارآمدتر هستند، زیرا استفاده از گرمای اضافی صنعتی در سال‌های بعد به میزان قابل توجهی کاهش یافته است، اما از سال ۲۰۰۱ میزان استفاده از پمپ‌های حرارتی مقداری کاهش پیدا کرده است، زیرا پمپ‌های حرارتی بخشی از قدرت رقابت خود را بر اثر قیمت بیشتر برق و مالیات از دست داده‌اند. طرح‌های تولید هم‌زمان توان و گرما زیست‌توده و زباله نیز از طریق ابزارهای مختلف سیاست‌گذاری رقابتی‌تر شده‌اند. بهره‌برداری از ظرفیت آینده بستگی به دسترسی به برق مازاد و کم‌هزینه دارد. شرایط رقابتی بین پمپ‌های بزرگ گرما و نیروگاه‌های تولید هم‌زمان توان و گرما به قیمت بازار برق و میزان مالیات بر برق ملی بستگی دارد. اگر تغییرات زیادی در قیمت برق در یک بازار وجود داشته باشد، داشتن پمپ‌های حرارتی و نیروگاه‌های تولید هم‌زمان توان و گرما به عنوان واحدهای تأمین گرما مطلوب است.
HassanzadehFard و همکاران [۲۲]	منابع تولید پراکنده (DG) مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر (RE) به دلیل سازگاری با محیط زیست و همچنین منابع محدود سوخت‌های فسیلی، می‌توانند سریع‌ترین منابع قدرت در سیستم‌های توزیع باشند. به طور کلی، مکان و اندازهٔ بهینهٔ واحدهای منابع تولید پراکنده به‌شدت بر تلفات سیستم در یک شبکهٔ توزیع تأثیر گذاشته است. در مقالهٔ حاضر، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای یافتن مکان و اندازهٔ بهینهٔ واحدهای منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع استفاده شده است. مکان و اندازهٔ بهینهٔ واحدهای منابع تولید پراکنده بر اساس یک استراتژی چندهدفه به شرح زیر تعیین می‌شود: (i) به حداقل رساندن اتلاف انرژی شبکه، (ii) به حداقل رساندن کل هزینه‌های منابع انرژی توزیع‌شده ((DER)، III) بهبود پایداری ولتاژ و (IV) به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای. فرض بر این بود که سیستم توزیع از سلول‌های سوختی، توربین‌های بادی، فتوولتائیک و ذخیره‌سازی باتری تشکیل شده است. بارهای الکتریکی، خنک‌کننده و گرمایشی نیز در این مقاله در نظر گرفته شده است. گرمایش و سرمایش سیستم از زمان متغیر بار گرمایش آب، بار گرمایش فضا و بار خنک‌کنندهٔ فضا تشکیل شده است. در این مطالعه، از زباله و سلول سوختی برای تولید بارهای گرمایش و سرمایش مورد نیاز در سیستم توزیع استفاده شد. علاوه بر این، از چیلر جذبی برای تأمین بارهای خنک‌کنندهٔ فضای مورد نیاز استفاده شد.
Chel و همکاران [۲۳]	صرفه‌جویی در مصرف انرژی از طریق بهره‌وری انرژی در ساختمان از اهمیت ویژه‌ای در سراسر جهان برخوردار است. چهار جنبهٔ اصلی برای بهره‌وری انرژی در یک ساختمان شامل اول و مهم‌تر از همه طراحی ساختمان قبل از ساخت به نحوی که از منابع انرژی طبیعی به‌خوبی استفاده کند؛ دوم استفاده از مصالح ساختمانی با مصرف انرژی کم هنگام ساخت؛ سومین استفاده از تجهیزات کارآمد انرژی با نیاز کم انرژی عملیاتی و در آخر ادغام فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر برای کاربردهای مختلف. این جنبه‌ها به همراه اقتصاد و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها به طور خلاصه در این مقاله مورد بحث قرار گرفته است. جنبهٔ اول مربوط به طراحی قبل از ساخت یک ساختمان است، به نحوی که موقعیت ساختمان باید به صورتی باشد که مثلاً از نور خورشید طی روز برای روشنایی استفاده کند؛ دوم استفاده از مصالح ساختمانی با انرژی کم برای ساخت‌وساز ساختمان است. جنبهٔ سوم مربوط به صرفه‌جویی در مصرف انرژی عملیاتی با استفاده از تجهیزات کارآمد انرژی در ساختمان است. سرانجام، این ساختمان باید شامل برنامه‌های تجدیدپذیر یکپارچه برای گرمایش آب گرم، برق فتوولتائیک خورشیدی و غیره باشد.
Inayat و همکاران [۲۴]	طبق مطالعات مختلف، بخش ساختمان حدود ۴۰ درصد از کل انرژی تولیدشده را مصرف می‌کند و عامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای است. سهم قابل توجهی از این انرژی مصرفی برای اهداف سرمایشی و گرمایشی استفاده می‌شود. سیستم خنک‌کنندهٔ منطقه‌ای به دلیل کم‌هزینه بودن و بهره‌وری بالای انرژی برای تأمین خنک‌سازی لازم در ساختمان‌های مسکونی، صنعتی و تجاری بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم خنک‌کنندهٔ منطقه‌ای یک سیستم متمرکز تأمین انرژی گرمایی به شکل آب سرد برای استفاده در خنک‌سازی فضا و رطوبت‌زایی است. علاوه بر این، سیستم خنک‌کنندهٔ منطقه‌ای تلفیقی با انرژی تجدیدپذیر در مقایسه با سیستم‌های خنک‌کنندهٔ معمولی از نظر اقتصادی امکان‌پذیر است. هدف از این بررسی، ارائهٔ پتانسیل احتمالی سیستم خنک‌کنندهٔ منطقه‌ای با فناوری‌های مختلف انرژی تجدیدپذیر است. مناسب‌ترین فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر که می‌توانند با سیستم خنک‌کنندهٔ منطقه‌ای تلفیق شوند عبارت‌اند از: انرژی زیست‌توده، انرژی حرارتی خورشیدی، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی آب‌های سطحی، انرژی فتوولتائیک خورشیدی و انرژی گرمایی تلف‌شده در صنعت. نتیجه‌گیری‌های به‌دست‌آمده از شش زمینه نشان داد سیستم خنک‌کنندهٔ منطقه‌ای با این انرژی‌های تجدیدپذیر پتانسیل اجرایی خوبی دارد تا گزینه‌های انرژی خنک‌کنندهٔ پایدار و تمیز را در دنیای آینده تأمین کند.

ادامهٔ جدول ۱.

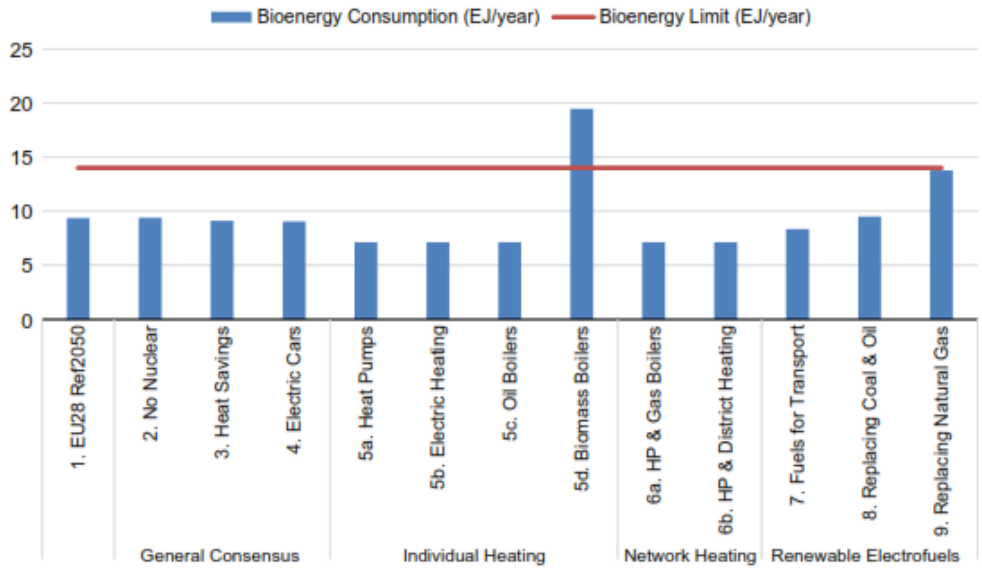
Harkouss و همکاران [۱۳]	ساختمان‌های با انرژی صفر خالص[1] به عنوان یک راه حل کارآمد برای محدود کردن مصرف انرژی و رشد آلودگی در ساختمان‌ها در نظر گرفته شده است. پیکربندی‌ها و ظرفیت‌های سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر پیاده‌سازی‌شده در ساختمان‌های با انرژی صفر خالص باید به طور خردمندانه‌ای برای اطمینان از هدف عملکرد درنظرگرفته‌شده انتخاب شود. این مطالعه با هدف بهینه‌سازی، بررسی و مقایسهٔ شش مجموعه انرژی تجدیدپذیر برای طراحی ساختمان‌های با انرژی صفر خالص در سه آب‌وهوای مختلف: ایندور (خنک)، ترومسو (گرمایش غالب) و پکن (آب‌وهوای مختلط) انجام شده است. بهینه‌سازی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام می‌شود. روش اجراشده از دو مرحله تشکیل شده است. در فاز اول، اندازه‌های حداکثر مجموعه‌هایی از فناوری‌های تجدیدپذیر در هر آب‌وهوا استخراج و تحلیل می‌شوند. اثربخشی مجموعه‌های حل بهینه با توجه به اقتصاد، محیط زیست، انرژی و تنش شبکهٔ ارزیابی می‌شود. در مرحلهٔ دوم، با توجه به نتایج ارزیابی کلی عملکرد، توصیه‌هایی برای هر منطقه ارائه می‌شود. معیارهای ارزیابی شامل هزینهٔ چرخهٔ زندگی، دورهٔ بازپرداخت، هزینهٔ ترازشدهٔ انرژی، میزان انتشار CO_2، شاخص برهم‌کنش شبکه، شاخص تطبیق بار و کل انرژی مصرفی است. تجزیه‌وتحلیل نشان می‌دهد در ایندور (آب‌وهوای گرم) توصیه می‌شود از مجموعهٔ متشکل از پمپ حرارتی برای خنک‌سازی و صفحه‌های خورشیدی برای تولید آب گرم خانگی استفاده شود. در ترومسو (آب‌وهوای سرد)، استفاده از یک ژنراتور بیودیزل برای تولید برق و گرمایش و همچنین، استفاده از تولید آب گرم خانگی است. در پکن (آب‌وهوای مختلط) توصیه می‌شود از چیلرها برای سرمایش و دیگ بخار متراکم‌کنندهٔ گاز طبیعی و تولید آب گرم خانگی برای گرمایش استفاده شود.
Huang و همکاران [۲۵]	از آنجا که مراکز داده به عنوان تولیدکنندگان بزرگ انرژی در سیستم‌های انرژی منطقه، برای اطمینان از امکانات فناوری‌های اطلاعات (IT)، منبع تغذیهٔ جانبی و سیستم‌های خنک‌کننده به‌درستی کار می‌کنند، مقدار زیادی برق مصرف می‌کنند. از طرف دیگر، مراکز داده به دلیل سرعت بالای اتلاف حرارت از امکانات IT، مقدار زیادی گرمای اتلافی تولید می‌کنند. تا به امروز، یک بررسی سیستماتیک از مراکز داده از دیدگاه تولیدکنندگان انرژی، که هم ادغام منبع انرژی و هم استفادهٔ مجدد از حرارت اتلاف را در نظر گرفته است، وجود ندارد. درنتیجه، به دلیل عدم بهینه‌سازی جهانی ادغام انرژی تجدیدپذیر و استفاده از حرارت اتلافی، پتانسیل‌های بهبود عملکرد مراکز داده محدود است. این مطالعه برای پر کردن این خلأ انجام شده است. در این راستا، پیشرفت در تکنیک‌های مختلف خنک‌کننده، ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر و کنترل‌های پیشرفته، استفاده از گرمای ضایعات و اتصالات برای گرم کردن منطقه، پروژه‌های واقعی، معیارهای عملکرد و تحلیل‌های اقتصادی، انرژی و زیست‌محیطی بررسی می‌شود. بر اساس مقدار زیادی از تحقیقات در مورد مراکز داده در سیستم‌های انرژی منطقه، مشخص شده است که: (۱) کنترل‌های جهانی، که می‌توانند تولید تجدیدپذیر را مدیریت کنند، فعالیت مراکز داده و تولید گرمای ضایعات و استفاده از حرارت پسماند هنوز فاقد (۲) مطالعات اقلیمی منطقه‌ای یک روش مؤثر برای یافتن یکپارچه‌سازی بهینهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های بازیابی گرمای اتلاف برای بهبود بهره‌وری انرژی مراکز داده است. (۳) توسعهٔ معیارهای انرژی جهانی به کمیت مناسب عملکرد مرکز داده کمک خواهد کرد.
Bartolini و همکاران [۲۶]	این مطالعه بررسی می‌کند که چگونه یک منطقه با ظرفیت بالای تولید برق تجدیدپذیر غیرقابل‌کنترل، می‌تواند به طور کامل تولید برق تجدیدپذیر خود را در سطح جامعه به طور مستقیم یا برای گرم کردن و خنک‌سازی مصرف کند، بنابراین به طور بالقوه مفهوم «جامعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر» را انجام می‌دهد. استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی و تولید هم‌زمان در مصرف خودکار تجدیدپذیر، با بهره‌گیری از هم‌افزایی در بین شبکه‌های مختلف انرژی در یک منطقهٔ مسکونی واقعی با نفوذ PV بالا – پیشنهاد می‌شود. دو سناریو پیشنهاد می‌شود: اولین مورد ارزیابی نمونه کارهای بهینهٔ فناوری‌های تبدیل و ذخیرهٔ انرژی، دوم تنها با استفاده از باتری به همان هدف رسیده است. ثابت شد که هر دو سناریو یک راه حل مناسب برای بهره‌برداری از تولید بیش از حد برق از نیروگاه‌های PV در این منطقه ارائه می‌دهند و آن خودآموزی محلی است. نتایج نشان می‌دهند یک سیستم چند انرژی مانند بهره‌برداری از فناوری‌های تولید هم‌زمان و ذخیرهٔ انرژی به عنوان نیروی گرمایی، الکتریکی به‌صرفه‌ترین راه‌حل برای انجام این کار است. به طور خاص، کمترین راه‌حل شامل یک موتور میکروگاز تولید هم‌زمان توان و گرما ۴۲کیلووات است که توسط مخلوط گاز و هیدروژن طبیعی، سیستم باتری ۱۳۵ کیلووات ساعت و ذخیرهٔ هیدروژن ۲۸۳۰ کیلووات ساعت تأمین می‌شود.

به دلایل مختلف ازجمله امنیت انرژی و تغییر شرایط آب‌وهوایی، بسیاری از کشورهای جهان سیاستی را دنبال می‌کنند که بر کارایی انرژی و افزایش سهم منابع انرژی‌های تجدیدپذیر متمرکز باشد. در دانمارک، هدف رسمی بلندمدت دولت، تبدیل به ۱۰۰ درصد انرژی تجدیدپذیر است و اجرای چنین هدفی بیانگر اقدامات هماهنگ شامل کل سیستم تأمین انرژی است [۲۷ و ۲۸]. واحد گرمایش فردی به عنوان واحدی تعریف می‌شود که می‌تواند در هر ساختمان در هر کشور (به عنوان مثال روستایی و شهری) قرار گیرد. گزینه‌های گرمایش فردی که مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته‌اند، پمپ‌های حرارتی، گرمایش الکتریکی، دیگ‌های بخار روغن و دیگ‌های زیست‌توده هستند. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل گرمایش فردی، دیگ‌های بخار برقی و روغنی روش‌های گرمایش ناپایداری برای اتحادیهٔ اروپا در آینده محسوب می‌شوند. گرمایشی الکتریکی اگرچه می‌تواند از یک منبع تجدیدپذیر مانند باد یا برق خورشیدی تأمین شود، اما به دلیل کارایی نسبی پایین، تأمین انرژی اولیه[2] بسیار بالا برای گرمایش الکتریکی (گرمایش الکتریکی به مقدار زیادی برق نیاز دارد) و ماهیت متناوب بودن برق تولیدی از نیروگاه‌های

1. Net-zero energy buildings (NZEBs)
2. Primary energy supply (PES)

خورشیدی و بادی، این گزینه نیز رد می‌شود، زیرا همیشه باد و خورشید وجود ندارد. از این‌رو به عنوان پشتیبان نیاز به احداث نیروگاه اضافی فسیلی زیادی است که تهیهٔ این ظرفیت پشتیبان هزینه‌بر است، زیرا ساعت‌های کار بسیار کمی طی سال دارد. درنتیجه، هزینهٔ تولید برق مورد نیاز برای گرمایش الکتریکی و هزینهٔ نصب این ظرفیت پشتیبان نیز نسبتاً زیاد می‌شود. درنتیجه تکیه ۱۰۰ درصد به گزینهٔ گرمایش الکتریکی با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر بادی و خورشیدی امکان‌پذیر نیست. دیگ‌های بخار روغن نیز راه‌حل مناسبی نیستند، زیرا آن‌ها به سوخت فسیلی تکیه می‌کنند، اگرچه دیگ‌های بخار روغن از گرمایش الکتریکی مؤثرتر هستند، اما میزان انتشار CO_2 در این روش زیاد است.

از میان دو روش باقی‌مانده یعنی پمپ‌های حرارتی جداگانه و دیگ‌های بخار زیست‌توده، دیگ‌های بخار زیست‌توده ارزان‌تر هستند و میزان انتشار CO_2 کمتری دارند، اما در صورت تأمین ۱۰۰ درصد گرمایش از منابع زیست‌توده، مشکل کمبود زیست‌توده به وجود خواهد آمد، زیرا طبق شکل ۱ که متعلق به قارهٔ اروپا است، نیاز حال حاضر انرژی برای گرمایش در این قاره حدود ۱۹ EJ است، اما ظرفیت منابع زیست‌تودهٔ اروپا حدود ۱۴ EJ است که نشان می‌دهد با کمبود منابع زیست‌توده در صورت تکیهٔ ۱۰۰ درصد به این منابع برای گرمایش مواجه خواهند شد.



شکل ۱. مصرف انرژی زیستی در هر سناریو براساس داده‌های شکل ۳ [۲۹]

درنتیجه تنها گزینهٔ پمپ‌های حرارتی که قابلیت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر بسیار گسترده و ادغام آن‌ها را دارد، به عنوان گزینهٔ نهایی پیشنهاد می‌شود [۲۹].

از نظر تأمین سیستم‌های سرمایشی، یکی از فناوری‌های امیدوارکننده، استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق، سرما و حرارت[1] است. به این‌منظور، ابتدا مطالعاتی که در خصوص تولید همزمان توان و گرما[2] انجام شده است و مشخصات فنی آن‌ها و کاربرد آن‌ها شرح داده می‌شود، زیرا می‌توان با در نظر گرفتن یک سیستم چیلر جذبی در خروجی سیستم‌های تولید همزمان توان و گرما، از حرارت خروجی آن برای تأمین سرمایش استفاده کرد.

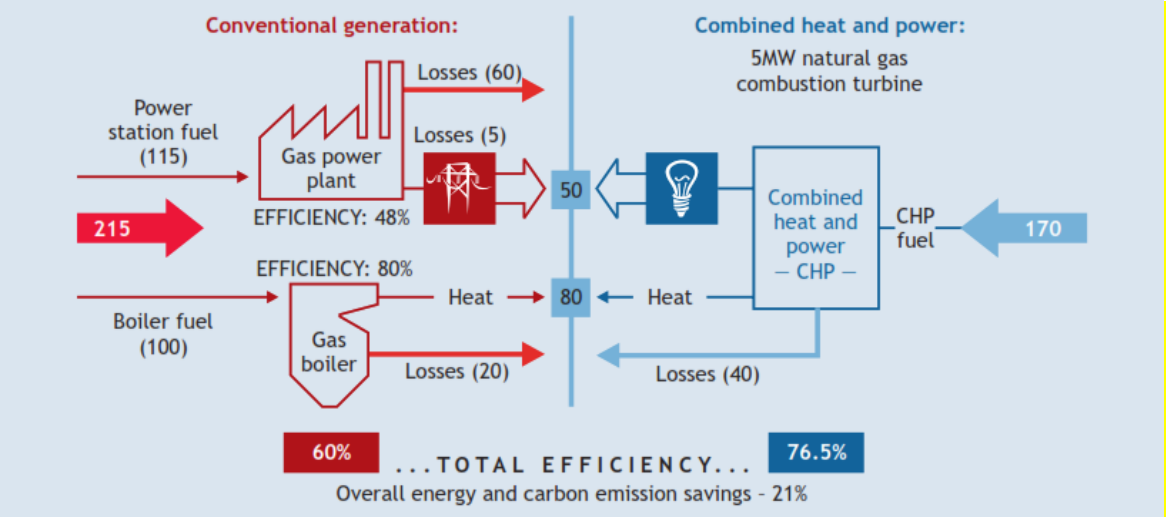
حرارت و برق ترکیبی از چندین منبع سوخت در مکان درخواستی استفاده می‌کند. در طرح‌های تولید همزمان توان و گرما عامل محدودکننده، تولید گرما است نه تولید الکتریسیته، زیرا اگر برق اضافی وجود داشته باشد به‌راحتی قابل انتقال است. اما اگر گرمای اضافی وجود داشته باشد، انتقال آن مشکل خواهد بود. نیروگاه‌های تولید همزمان توان و گرما دارای راندمان حدود ۷۵–۸۰ درصد هستند [۳۰–۳۲]. از آنجا که پروژه‌های تولید همزمان توان و گرما در نزدیکی بازار مصرف ساخته می‌شوند، تلفات انتقال در این

1. Combined Cooling Heat and Power (CCHP)
2. Combined Heating and Power (CHP)

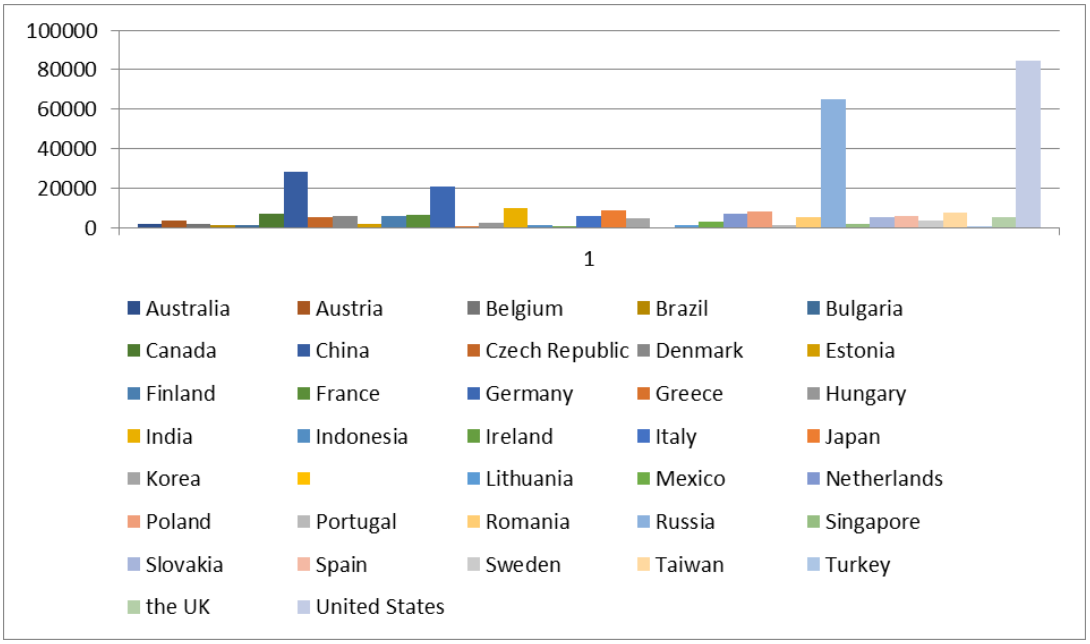
پروژه‌ها کمتر است. اجزای اصلی یک نیروگاه تولید هم‌زمان توان و گرما عبارت‌اند از: درایو اصلی (موتور یا سیستم محرک)، ژنراتور برق، سیستم بازیابی حرارت و سیستم کنترل. تقریباً هر نوع سوختی را می‌توان در تولید هم‌زمان توان و گرما استفاده کرد که امنیت انرژی را افزایش می‌دهد و هنگامی که یک نوع سوخت گران یا در دسترس نیست می‌توان از سوخت جایگزین استفاده کرد [۳۳]. به طور طبیعی، بین سوخت‌های فسیلی، گاز طبیعی بیشترین استفاده را دارد و پس از آن زغال‌سنگ و نفت گاز بیشترین استفاده را دارند. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر زباله‌های جامد شهری و زیست‌توده استفاده می‌شود. از نظر تولید برق تولید هم‌زمان توان و گرما ظرفیت آن‌ها از ۱ کیلووات (کیلووات برق) تا بیش از ۵۰۰ مگاوات (مگاوات برق) است. موقعیت نیروگاه تولید هم‌زمان توان و گرما بر نسبت گرما و توان و راندمان آن تأثیر می‌گذارد. کارایی تولید هم‌زمان توان و گرما به فناوری، منبع سوخت (انرژی) و مکان بستگی دارد. شکل ۲ کارایی کلی تولید هم‌زمان توان و گرما و تولید معمولی «گرما و توان» مجزا را مقایسه می‌کند [۳۴]. طرح‌های تولید هم‌زمان توان و گرما در گرمایش و سرمایش صنعتی، تجاری/مؤسسه‌ای و منطقه‌ای استفاده می‌شود. یکی از مشکلات و نگرانی‌های امروزی، اقتصادی بودن طرح‌های تولید هم‌زمان توان و گرما در مقیاس کوچک است و محققان به دنبال راه‌حل‌هایی هستند که این طرح‌ها را کارآمدتر کنند و در سیستم‌های گرمایش، سرمایش منطقه‌ای بیشتر مورد استفاده قرار گیرند. خلاصه‌ای از کاربردهای فناوری تولید هم‌زمان توان و گرما در جدول ۲ آورده شده است [۳۵]. فناوری تولید هم‌زمان توان و گرما هنوز در اکثر کشورها جایگاه ویژه‌ای پیدا نکرده است، اما در سه کشور ایالات متحده، روسیه و چین توانسته است موقعیت خوبی پیدا کند و در سایر کشورهای اروپایی مانند آلمان با قوانین تشویقی توانسته رشد کند. شکل ۳ تخمین‌های فعلی ظرفیت تولید هم‌زمان توان و گرمای جهانی را نشان می‌دهد. در فنلاند، ۵۰ درصد از نیازهای گرمایشی توسط گرمایش منطقه‌ای تأمین می‌شود که بیش از نیمی از آن توسط فناوری تولید هم‌زمان توان و گرما تأمین می‌شود [۳۶–۳۹].

جدول ۲. کاربردهای تولید هم‌زمان توان و گرما [۳۵]

ویژگی	تولید هم‌زمان توان و گرما – صنعتی	تولید هم‌زمان توان و گرما – تجاری / نهادی	گرمایش و سرمایش ناحیه‌ای
مصرف‌کنندگان رایج	مواد شیمیایی، خمیر و کاغذ، متالورژی، فرآوری سنگین مواد غذایی، نساجی، چوب، مواد معدنی، کوره‌های کک، کوره‌های شیشه‌ای، پالایش نفت	تولید کم، هتل‌ها، بیمارستان‌ها، ساختمان‌های بزرگ شهری، کشاورزی	کلیهٔ ساختمان‌های قابل دسترسی از طریق شبکهٔ حرارتی، ازجمله ساختمان‌های اداری، خانه‌های فردی، دانشگاه‌ها، فرودگاه‌ها، صنعت
نرخ بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر و تلفات بخش انرژی	متوسط – بالا (به‌ویژه جریان‌های تلفات انرژی صنعتی)	کم –متوسط	زیاد
سطح دما	بالا	کم تا متوسط	کم تا متوسط
ظرفیت تولید رایج	کمینه= ۱ MWe بیشینه= ۵۰۰ MWe	کمینه = ۱ kWe بیشینه= ۱۰ MWe	ظرفیت‌های متفاوت
انتقال‌دهندهٔ اصلی	توربین بخار، توربین گازی، موتور رفت و برگشتی (احتراق فشرده‌سازی)، چرخهٔ ترکیبی (سیستم‌های بزرگ‌تر)	موتور برگشتی (احتراق جرقه)، موتورهای استرلینگ، سلول‌های سوختی، میکروتوربین‌ها	توربین بخار، توربین گازی، سوزاندن زباله
منبع انرژی /سوخت	هر سوخت مایع، گازی یا جامد. گازهای زباله فرایند صنعتی (به عنوان مثال گازهای کورهٔ انفجار، گازهای زاید کورهٔ کک)	سوخت‌های مایع یا گازی	هر نوع سوختی



شکل ۲. راندمان CHP همهٔ مقادیر (HHV) [۳۵]



شکل ۳. ظرفیت‌های CHP نصب‌شده (MWe) [۳۵]

همان‌طور که گفته شد، یکی از سوخت‌های رایج در فناوری تولید همزمان توان و گرما که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش می‌دهد، زیست‌توده است [۴۰]. با این‌حال، به دلیل پایین بودن قابلیت اطمینان منابع تجدیدپذیر و تولید ناپیوستهٔ آن‌ها، باید منابع تجدیدپذیر مختلف را شناسایی و به عنوان سوخت تولید همزمان توان و گرما استفاده کرد. یکی از راه‌حل‌هایی که قابلیت اطمینان منابع تجدیدپذیر را افزایش می‌دهد، ذخیرهٔ انرژی حرارتی[1] است [۴۱ و ۴۲]. بنابراین، سیستمی مبتنی بر فناوری گرمایش شهری و تولید همزمان توان و گرما که از ذخیرهٔ انرژی حرارتی و سوخت‌های تجدیدپذیر استفاده می‌کند، راه‌حلی برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین گرما است [۱۹]. با توجه به ماهیت چندوجهی سیستم‌های CHP-DH[2] مبتنی بر سوخت‌های تجدیدپذیر، مدل‌سازی و بهینه‌سازی این سیستم‌ها برای افزایش بازده انرژی ضروری است. با توجه به مقالات مطالعه‌شده در این زمینه، اقدامات مختلفی برای افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های تولید همزمان توان و گرما انجام شده است. به عنوان مثال، تلاش شده است تا بهترین ابعاد بویلر، کلکتور خورشیدی و درنتیجه، راندمان مشخص شود

1. Thermal Energy Storage (TES)
2. Combined heat and power- district heating

[۴۳]. همچنین سعی شده است با استفاده از شبیه‌سازی و مدل‌سازی، برای مثال با استفاده از مدل دستوری میلپ[1] راندمان افزایش یابد تا هزینه‌های ترکیبی از فناوری‌های تولید هم‌زمان توان و گرما، نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی، بویلرها و چیلرهای چگالشی به حداقل برسد. الگوریتم میلپ از یک نیروگاه با ظرفیت بالا استفاده می‌کند که از فناوری تولید هم‌زمان توان و گرما و ذخیرهٔ انرژی حرارتی استفاده می‌کند [۴۴]. در فنلاند، برای افزایش راندمان تولید هم‌زمان توان و گرما برای مصارف خانگی تا ۶۵ درصد از لحاظ نظری، پس از محاسبهٔ کل تقاضای گرمای سالانه در بخش خانگی، که عموماً شامل تقاضای گرمایش برای فضا و آب گرم است، با استفاده از ساخت ابعاد مختلف تولید هم‌زمان توان و گرما و واحد ذخیره‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. درنهایت مشخص شد که توان ۳۰۰ کیلووات ساعت (۲۵۰ کیلووات) برای تولید هم‌زمان توان و گرمای غیر تعدیل‌کننده و واحد ذخیره‌سازی ۸۰۰ کیلووات ساعت می‌تواند بالاترین راندمان را داشته باشد [۴۵].

برای بازارهایی که قیمت برق متغیر و قابل پیش‌بینی است، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی[2]، کنترل پاسخ تقاضا[3] گرمایش فضای الکتریکی ذخیره‌سازی جزئی بهینه‌سازی شده و هدف، به حداقل رساندن هزینه‌های مشتریان و کنترل پاسخ تقاضا است. با استفاده از قیمت‌گذاری پویا بهینه شده است و تقاضای برق را از دوره‌های اوج قیمت به ارزان‌ترین ساعت‌ها تغییر می‌دهد. درنتیجه، مشخص شد که با استفاده از مدل بهینه‌سازی‌شده، می‌توان تمام محدودیت‌های چندگانه را برآورده کرد، مانند:

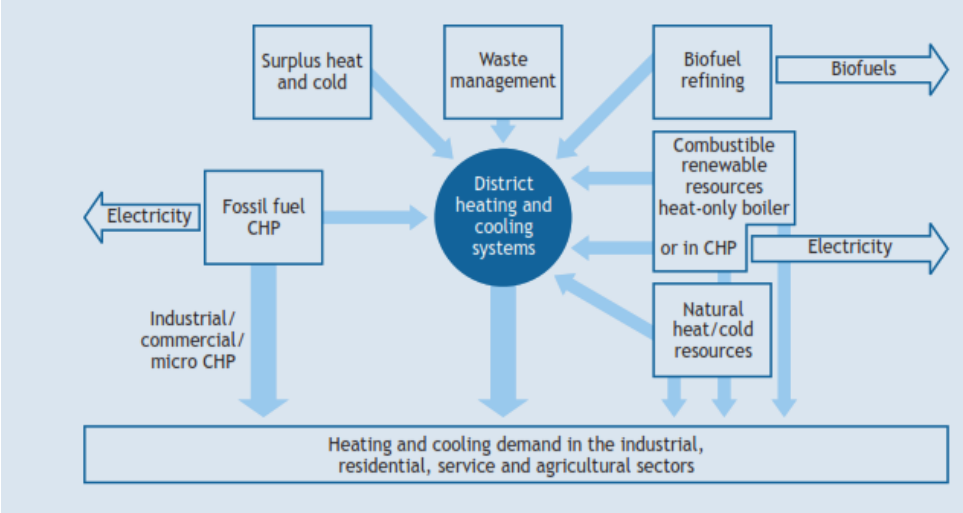
- حداکثر توان شارژ
- ظرفیت ذخیره‌سازی خالص
- کیفیت خدمات
- تقاضای انرژی گرمایشی
- نرخ سرمایش خانه
- حداکثر گرمای ذخیره‌شده در حرارت جرم سازه‌های ساختمان
- حداکثر گرمای آزادشده از توده‌های حرارتی

سازه‌های ساختمانی منطقهٔ مطالعه‌شده حدود ۴۰ درصد از گرمای مورد نیاز را برای کل روز ذخیره می‌کند [۴۶]. همچنین برای بهینه‌سازی ذخیره‌سازی حرارتی مورد استفاده در گرمایش – سرمایش و منبع توان[4] با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، از مدل ناپایدار ترنسیس[5] استفاده شده است [۴۷]. یک کنترل پیش‌بینی مدل[6] برای رفع نیازهای انرژی حرارتی و الکتریکی یک ساختمان سبز و ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر مختلف استفاده شد. مدل بهینه‌سازی برای یک مطالعهٔ موردی استفاده می‌شود که از انرژی الکتریکی به منظور پمپاژ آب برای مصارف خانگی استفاده می‌کند [۴۸].

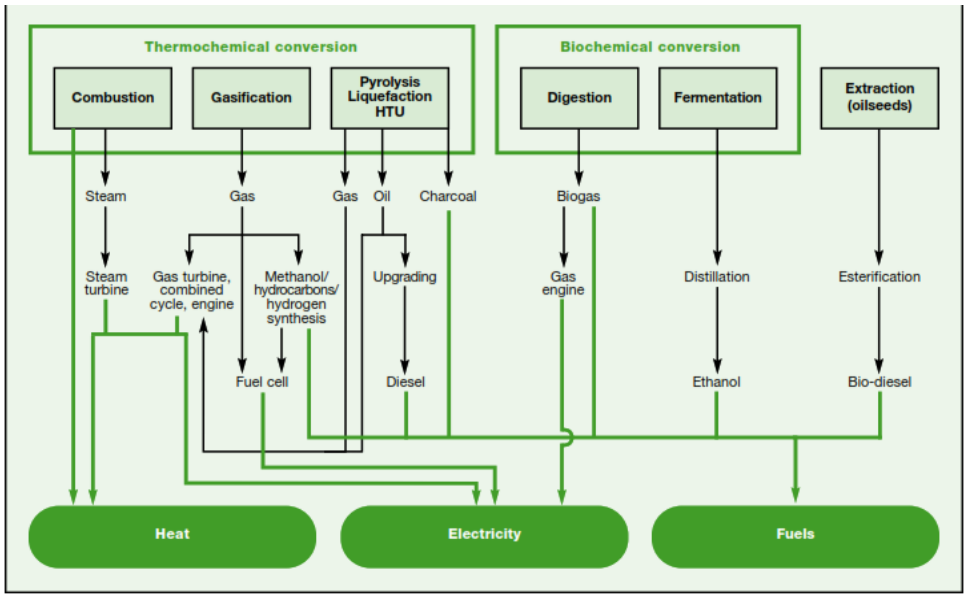
– منابع انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده در فناوری تولید هم‌زمان توان و گرما

از آنجا که برخی از منابع انرژی تجدیدپذیر عمدتاً متناوب هستند (بادی، خورشیدی)، قرار دادن چنین منابعی در یک شبکه چالش‌هایی را به همراه دارد. این احتمال کمتر برای نیروگاه‌های زیست‌توده، نیروگاه‌های آبی و زمین‌گرمایی وجود دارد. متداول‌ترین سوخت تجدیدپذیر مورد استفاده در تولید هم‌زمان توان و گرما زیست‌توده است که امروزه پیشرفت قابل توجهی در رفع نیاز به گرمایش یا برق دارد. بنابراین شکل‌های ۴ و ۵ و جدول ۳ مسیرهای تبدیل زیست‌توده برای تولید گرما، برق یا سوخت‌های زیستی را نشان می‌دهد. برخی از ویژگی‌های اصلی زیست‌تودهٔ حرارتی، تبدیل انرژی به انرژی الکتریکی و تولید هم‌زمان گرما و توان در جدول ۲ ارائه شده است [۴۹ و ۵۰].

1. Mixed Integer Linear Pro (MILP)
2. Linear Programming (LP) model
3. Demand Response (DR) control
4. Heating-cooling and Power Supply (CCHP)
5. TRNSYS
6. Model Predictive Control (MPC)



شکل ٤. انواع منابع مورد استفاده در سیستم‌های DHC [۵۱]



شکل ۵. مسیرهای اصلی انتقال انرژی زیست‌توده [۵۲ و ۵۳]

جدول ۳. مسیرهای اصلی تبدیل انرژی زیست‌توده به گرما و برق [۵۲ و ۵۳]

سیستم تبدیل	دامنه		راندمان خالص (درصد، LHV)		هزینهٔ سرمایه‌گذاری (Kwe/$)	
	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه
احتراق: تولید همزمان برق و گرما ۲. مستقل ۳. احتراق همزمان	۱۰۰KWe ۱ MWe ۲۰ MWe	۱MWe ۱ MWe ۱۰۰MWe	۶۰ (overall) ۸۰ (overall) ۲۰ (electrical)	۹۰ (overall) ۹۹ (overall) ۴۰ (electrical)	۱۶۰۰ .۲	۲۵۰۰ .۲ ۲۵۰ .۳ (به‌علاوه هزینهٔ نیروگاه موجود)
گازی‌سازی: ۴. تولید همزمان برق و گرما ۵. دیزل ۶. توربین گازی	۱۰۰Kwe ۱ MWe ۳۰MWe	۱MWe ۱۰MWe ۱۰۰MW	۱۵ (electrical) ۲۵ (electrical) ۴۰ (electrical)	۲۵ (electrical) ۳۰ (electrical) ۵۵ (electrical)	۹۰۰ .۴	۳۰۰۰ .۴

از مؤثرترین راه‌های تسهیل ادغام در مقیاس بزرگ انرژی تجدیدپذیر، طراحی و بهره‌برداری نیروگاه‌های تولید هم‌زمان توان و گرما است. فراهم شدن بازار نقطه‌ای[1] و بعداً هم بازار تنظیم انرژی و هم بازار ذخیرهٔ اولیه باعث شده است تا کارخانه‌های کوچک توزیع تولید ترکیبی از گرما و انرژی بتوانند وارد چنین بازارهایی شوند. نیروگاه تولید ترکیبی از گرما و انرژی مجهز به ذخیره‌سازی گرما و دیگ‌های برقی نشان می‌دهد چگونه چنین طرح‌های کوچکی می‌توانند با هزینه‌های اضافی و سرمایه‌گذاری اضافی بسیار کم، تثبیت شبکهٔ باارزش را تأمین کنند [۱۶].

دیدن بخش برق به عنوان بخشی از سیستم انرژی پایدار کامل، راه‌حل‌های بهتر و به‌صرفه‌تر برای کاربردهای شبکهٔ هوشمند را در مقایسه با نگاه به بخش برق به عنوان بخش جداگانه‌ای از سیستم انرژی ارائه می‌دهد.

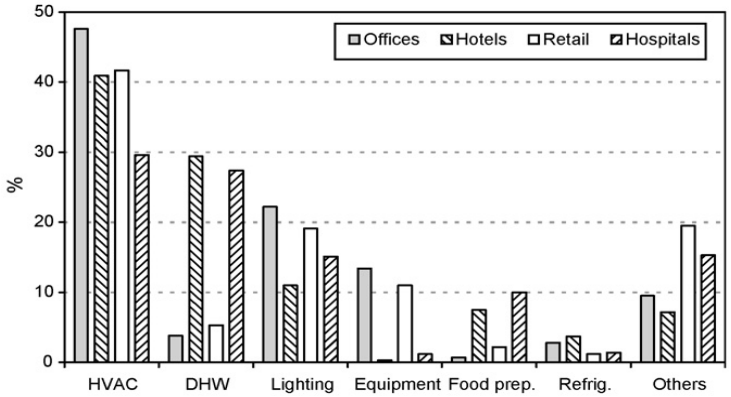
گرمایش و سرمایش منطقه نقش مهمی در سیستم‌های انرژی پایدار آینده ازجمله سیستم‌های انرژی۱۰۰ درصد تجدیدپذیر دارد و نسل فعلی فناوری‌های گرمایش و سرمایش منطقه باید بیشتر به نسل جدید توسعه یابد.

دو مفهوم شبکه‌های حرارتی هوشمند و شبکه‌های برقی هوشمند با هم تفاوت اندکی دارند، به این دلیل که شبکه‌های حرارتی هوشمند چالش‌هایی نظیر استفاده از منابع گرمای کم‌دما (ارزش حرارتی پایین) و تعامل با ساختمان‌های کم‌مصرف دارند، در حالی که شبکه‌های برق هوشمند با چالش‌هایی نظیر ادغام تولید برق تجدیدپذیر و متناوب روبه‌رو است. همچنین باید تأکید کرد که این دو مفهوم مکمل یکدیگر هستند و برای اجرای سیستم‌های پایدار انرژی، هر دو مورد ضروری تلقی می‌شوند [۱۶].

با بررسی مطالعات یادشده مشخص شد یکی از راه‌های امیدوارکننده برای تأمین سرمایش استان فارس، استفاده از حرارت خروجی نیروگاه‌های تولید هم‌زمان توان و حرارت یا استفاده از حرارت تلف‌شدهٔ صنایع در چیلرهای جذبی و فناوری تولید هم‌زمان توان، گرما و سرما است.

در این گزارش هدف این است که امکان‌سنجی تأمین سرمایش بخش خانگی در استان فارس با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر انجام شود که در این راستا ابتدا مصارف انرژی حال حاضر استان فارس در بخش‌های خانگی، صنعتی، حمل‌ونقل هر بخش مشخص شده است. سپس در قدم بعدی ۵ سناریو برای بررسی تأمین سرمایش بخش خانگی استان فارس با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته شده است. سال گذشته از ۵۵ هزار مگاوات برق مصرفی کشور ایران، ۲۱ هزار مگاوات آن مربوط به تجهیزات سرمایشی بود. درنتیجه ۳۸/۱۸ درصد برای بخش سرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته در شیراز به دلیل گرمای هوا این میزان به ۴۰ درصد خواهد رسید و ۵ درصد نیز برای گرمایش منازل مورد استفاده قرار خواهد گرفت. شکل ۶ میزان مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان را نشان می‌دهد.

نوآوری این مقاله به دلیل ارائهٔ یک دید جامع از وضعیت انرژی استان فارس با تأکید بر مصرف انرژی در بخش سرمایش در سال‌های اخیر است و می‌تواند به سایر محققان اطلاعات و دید جامعی در این خصوص ارائه کند، زیرا در سایر مقالات که مورد بررسی قرار گرفته است، چنین مواردی ارائه نشده بود و اطلاعات آن‌ها نیز به‌روز نبود و سناریوهای جامعی برای تأمین انرژی بخش سرمایش با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه نکرده بودند.



شکل ٦. میزان مصرف انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف ساختمان [۵۴]

1. spot market

۲. مواد و روش‌ها

در این مقاله استان فارس به عنوان یکی از استان‌هایی که در جنوب غربی کشور ایران واقع شده است، از منظر سیستم انرژی حاکم بر آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و میزان مصرف انرژی‌های اولیه در آن مانند سوخت‌های فسیلی (گاز طبیعی، بنزین و...) و انرژی الکتریکی مشخص می‌شود. هدف از این مقاله، بررسی امکان‌سنجی استفاده از منابع تجدیدپذیر در بخش تأمین سرمایش این استان است. به این‌منظور، از نرم‌افزار انرژی پلن که از سال ۱۹۹۹ در دانشگاه آلبورگ دانمارک به عنوان ابزاری برای تجزیه‌وتحلیل سیستم انرژی برای شناخته می‌شود، استفاده خواهد شد [۵۵].

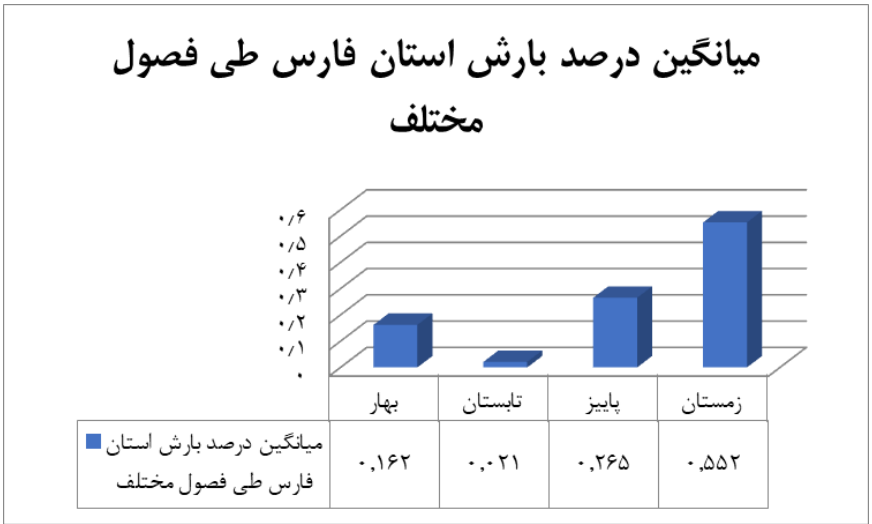
انرژی پلن ابزاری کاربرپسند است که در Delphi Pascal برنامه‌ریزی شده است. هدف اصلی این ابزار کمک به طراحی استراتژی‌های برنامه‌ریزی انرژی در سطح ملی یا منطقه‌ای با شبیه‌سازی کل سیستم انرژی است و شامل منابع گرما، برق و همچنین، بخش‌های حمل‌ونقل و صنعت است [۵۶ و ۵۷] و ورودی‌های نرم‌افزار میزان مصرف انرژی‌های فسیلی مانند گاز طبیعی، انرژی الکتریسیته در بخش‌های خانگی- تجاری، صنعتی و حمل‌ونقل و همچنین، میزان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم انرژی حال حاضر است. خروجی‌های آن نیز شامل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، میزان کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، میزان انرژی اضافی سیستم در حالت پیاده‌سازی هر سناریوی جدید است. داده‌های بخش گاز از شرکت ملی گاز ایران، داده‌های بخش برق از وزارت نیرو و سایر داده‌ها از سالنامهٔ انرژی سال ۱۳۹۶ (۲۰۱۷) کشور و سازمان آمار ایران گرفته شده است.

ابتدا سیستم انرژی حال حاضر استان فارس شبیه‌سازی می‌شود. سپس، ۵ سناریو در نظر گرفته می‌شود که در هر یک از آن‌ها سیاست‌های خاصی در نظر گرفته شده و نتایج این سناریوها در خروجی‌های نرم‌افزار نمایش داده می‌شود.

۳. منطقهٔ جغرافیایی مکان مورد مطالعه

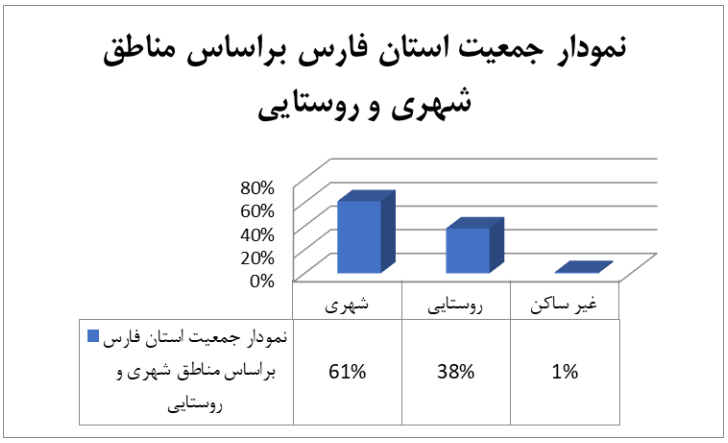
استان فارس با مساحتی حدود ۱۲۲۶۰۸ km^2و جمعیتی حدود ۵ میلیون نفر (سال ۲۰۱۶ میلادی) در جنوب غربی کشور ایران واقع شده است. این استان چهارمین استان پرجمعیت کشور ایران بر اساس سرشماری جمعیت سال ۲۰۱۶ شناخته شده است. بر اساس تقسیمات کشوری سال ۲۰۲۰ میلادی، استان فارس به ۳۶ شهرستان، ۹۴ بخش و ۱۱۳ شهر تقسیم شده است. مرکز استان فارس، شهر شیراز است که طبق برآورد، پرجمعیت‌ترین شهر این استان و پنجمین شهر پرجمعیت کشور ایران محسوب می‌شود. آب‌وهوای استان فارس در نقاط مختلف این استان به سه گونهٔ کوهستانی، معتدل و گرم تقسیم می‌شود.

میزان بارش طی فصل‌های مختلف در استان نیز طبق شکل ۷ است، که این آمار از سازمان هواشناسی ایران به دست آمده است.



شکل ۷. میانگین بارش در استان فارس طی فصل‌های مختلف

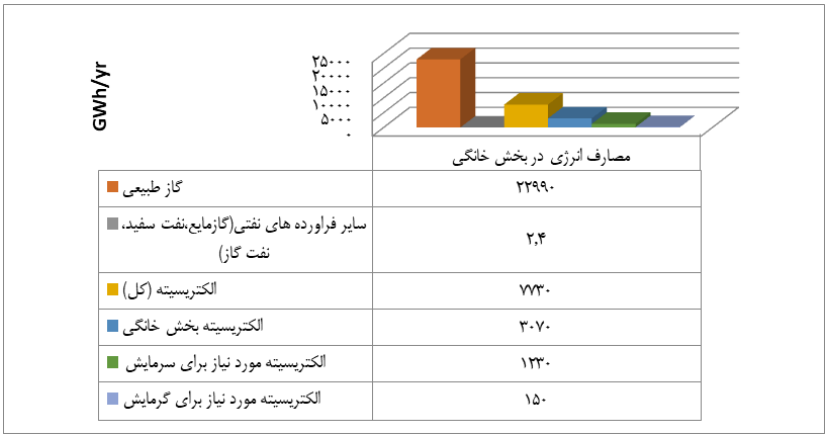
از لحاظ جمعیت مناطق شهری و روستایی استان فارس، بیشترین جمعیت متعلق به بخش شهری است. جزئیات این آمار که از مرکز آمار کشور ایران به دست آمده، در شکل ۸ قابل مشاهده است.



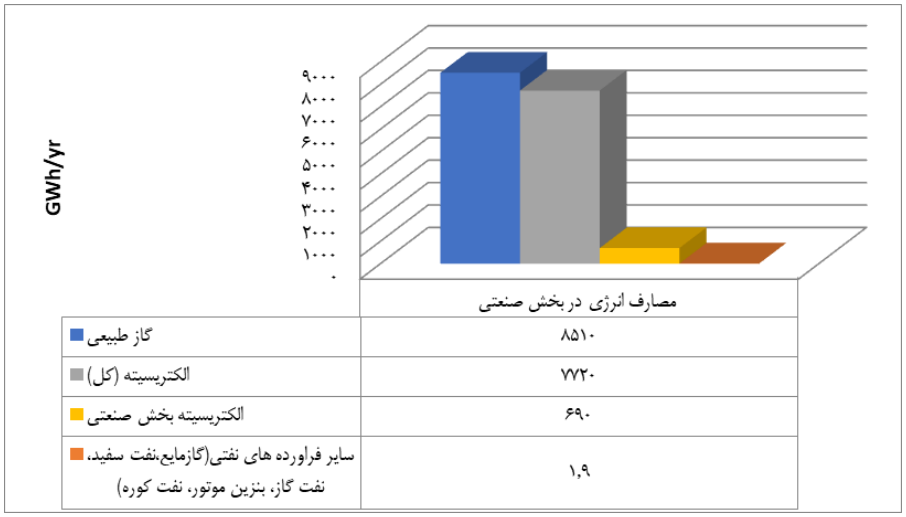
شکل ۸. نمودار جمعیت استان فارس بر اساس مناطق شهری و روستایی

۴. سیستم حال حاضر انرژی استان فارس

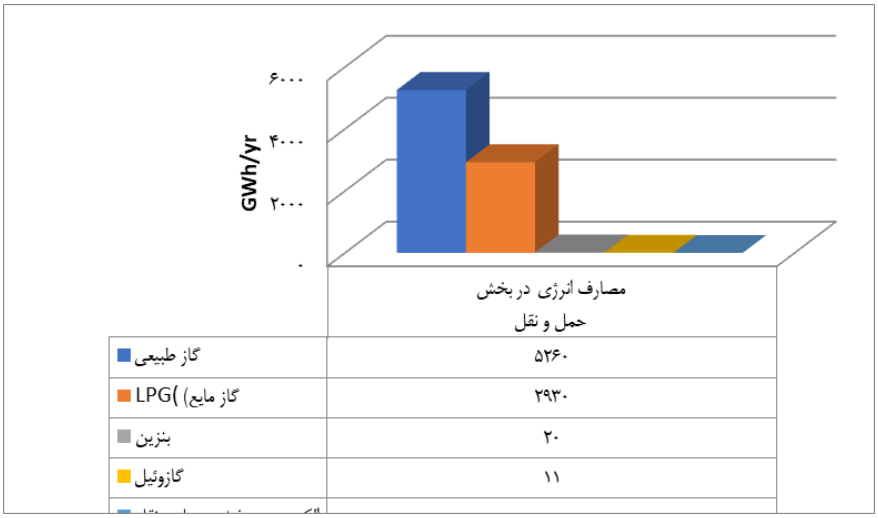
اطلاعات سیستم حال حاضر استان، از ترازنامهٔ انرژی کشور متعلق به سال ۱۳۹۶ هجری شمسی استخراج شده است و با توجه به شکل‌های ۹–۱۱ گاز طبیعی بیشترین سهم را در سبد انرژی بخش‌های خانگی، صنعتی و حمل‌ونقل دارد که یکی از دلایل این امر، فراوان بودن منابع گازی در کشور ایران و همچنین ارزان بودن این منبع است. البته اگر این منبع در بخش حمل‌ونقل و صنعت استفاده شود، می‌تواند ارزش‌افزودهٔ بیشتری برای استان و درنهایت کشور ایجاد کند، اما مصرف این منبع ارزشمند و پایان‌پذیر در بخش خانگی برای گرمایش و سایر مصارف از لحاظ اقتصادی و ایجاد ارزش‌افزوده توجیه ندارد. از این‌رو پیشنهاد می‌شود که به جای مصرف گاز در بخش خانگی، از انرژی الکتریسیته به‌خصوص اگر از منابع تجدیدپذیر تولید شده باشد، استفاده کرد، زیرا در کشورهای پیشرو در زمینهٔ انرژی و انرژی‌های پاک مانند کشورهای اروپایی پیش‌بینی شده است که در آینده سیستم‌های انرژی خود را برمبنای انرژی الکتریسیته برنامه‌ریزی می‌کنند و منابع انرژی تجدیدپذیر را ابتدا به برق و سپس، در بخش‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌دهند. از دلایل این امر می‌توان به قابلیت انتقال، مصرف و صادرات آسان‌تر، آلایندگی کمتر و قابلیت تبدیل شدن و استفاده در بخش‌های مختلف اشاره کرد. طبق شکل‌های ۱۲ و ۱۳ بیشترین ظرفیت در بین منابع تجدیدپذیر با توجه به موقعیت جغرافیایی استان فارس و کشور فارس، مختص به انرژی خورشیدی است که این یک مزیت نیز محسوب می‌شود، زیرا در سطح جهان این انرژی بیشترین پیشرفت را از نظر فناوری داشته است که این امر موجب ارزان‌تر بودن آن می‌شود. شکل ۱۴ میزان مصرف برق استان فارس در فصل‌های مختلف را نشان می‌دهد.



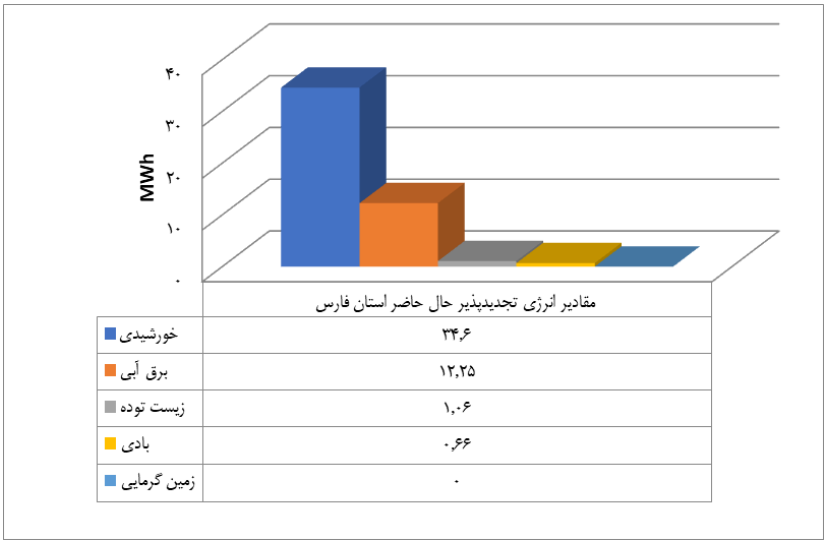
شکل ۹. مصارف انرژی بخش خانگی استان فارس (GWh/yr) براساس ترازنامهٔ انرژی کشور در سال ۱۳۹۶



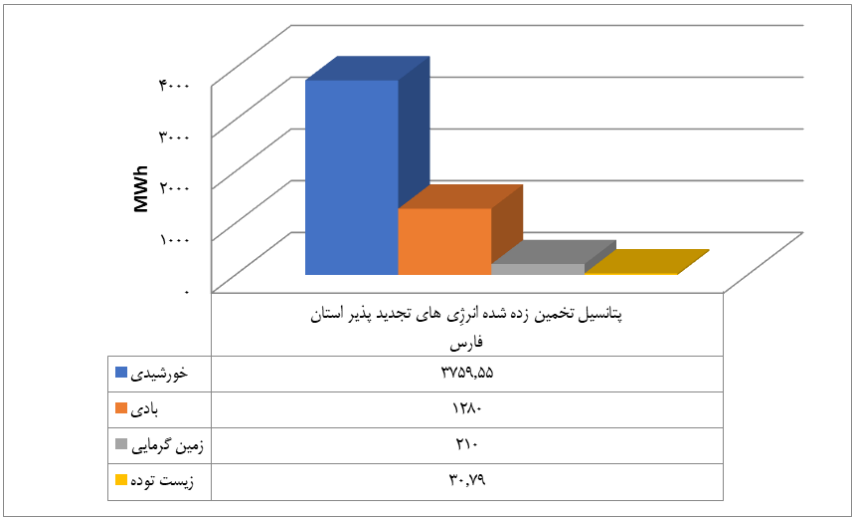
شکل ۱۰. مصارف انرژی بخش صنعتی استان فارس (GWh/yr)، براساس ترازنامهٔ انرژی کشور در سال ۱۳۹۶



شکل ۱۱. مصارف انرژی بخش حمل‌ونقل استان فارس (GWh/yr)، براساس ترازنامهٔ انرژی کشور در سال ۱۳۹۶



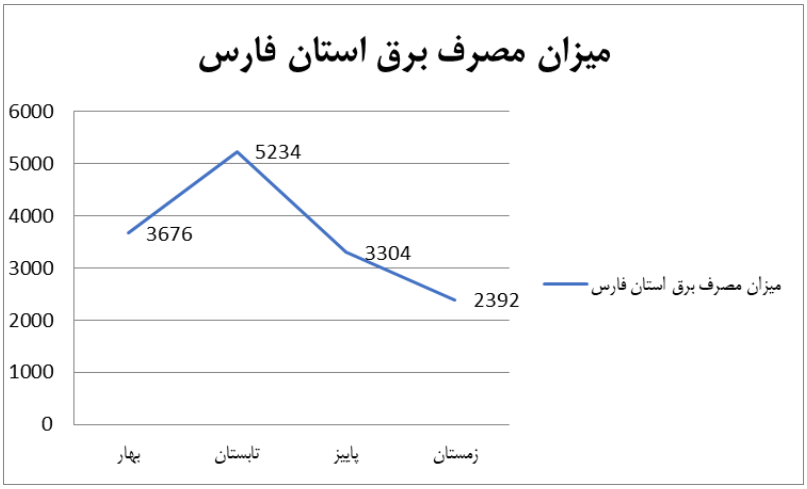
شکل ۱۲. مقادیر انرژی تجدیدپذیر حال حاضر استان فارس (MWh)، براساس ترازنامهٔ انرژی کشور در سال ۱۳۹۶



شکل ۱۳. پتانسیل تخمین‌زده‌شدهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر استان فارس (MWh)

همان‌طور که در شکل ۱۳ نشان داده شده، پتانسیل استان از نظر بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار زیاد است. یکی از دلایل عمده‌ای که باعث شده تا کنون از این منابع عظیم استفاده نشود، فراهم نبودن زیرساخت‌های لازم برای تولید و انتقال و ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر ازجمله سیستم هوشمند یکپارچه انرژی است، زیرا به علت ماهیت گسستهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر که باعث می‌شود همواره در دسترس نباشند، با اجرای یک سیستم هوشمند انرژی که بررسی و پایش منابع انرژی مختلف را به صورت یکپارچه محیا می‌کند، می‌توان از منابع انرژی تجدیدپذیر بهره برد و گسستگی تولید آن‌ها را با مدیریت آن‌ها و در نظر گرفتن سیستم ذخیره‌ساز انرژی کاهش داد. همچنین عوامل دیگری مانند جنبه‌های سیاسی و اقتصادی بسیار حائز اهمیت است، زیرا تا زمانی که یارانه‌های دولتی به بخش انرژی‌های فسیلی داده می‌شود و استفاده از آن‌ها را توجیه‌پذیر و به‌صرفه می‌کند و همچنین، حمایت‌های کافی بخش دولتی از انرژی‌های تجدیدپذیر و استفاده از آن‌ها نمی‌شود، بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌صرفه نمی‌شود. در حالی که در صورت بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر و حمایت‌های مالی و سیاسی از آن‌ها، می‌توان کمبود نیروگاه‌های فسیلی را برای تأمین بخش برق به‌خصوص برای مصارف سرمایشی در بخش‌های مختلف به‌خصوص در بخش خانگی کاهش داد و می‌توان از منابع فسیلی برای تولید سایر محصولات دارای ارزش‌افزودهٔ بیشتر بهره برد.

شکل ۱۴ میزان مصرف برق در فصل‌های مختلف سال را نشان می‌دهد و همان‌طور که گفته شد، به علت اینکه استان فارس دارای اقلیم گرم است، تأمین سرمایش در بخش‌های مختلف به‌خصوص در بخش خانگی در این استان بسیار مهم است و بخش بزرگی از مصرف برق در فصل تابستان و برای تأمین نیازهای سرمایشی اختصاص دارد.



شکل ۱۴. میزان مصرف برق در فصل‌های مختلف استان فارس

۵. بحث و نتایج

۵. ۱. سناریوهای مختلف برای سیستم انرژی شیراز

در این بخش، ۵ سناریو برای سیستم انرژی شیراز در نظر گرفته شده است. هدف از تعریف این سناریوها، بررسی تأثیر استفاده از منابع تجدیدپذیر در کاهش مصرف انرژی و آلودگی هوا در سطح استان فارس است. برای شبیه‌سازی و محاسبهٔ نتایج هر سناریو، از نرم‌افزار انرژی پلن استفاده شده است. در سناریوهایی که بررسی می‌شود منظور از عبارت نیاز سرمایشی، نیاز سرمایشی در بخش خانگی است و این پژوهش تمرکز خود را بر رویهٔ تأمین نیاز سرمایشی بخش خانگی خواهد گذاشت.

سناریوی اول: این سناریو حالت پایه است و نشان می‌دهد در حال حاضر سیستم انرژی شیراز بسیار وابسته به نفت و گاز طبیعی است و بخش کوچکی از انرژی لازم برای سرمایش را از طریق برق‌آبی و بادی تأمین می‌کند. در این سناریو، مصرف انرژی و آلودگی هوا بالا است و بهبود قابل توجهی ندارد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۳، مصرف کل انرژی در سطح استان فارس TWh/year ۵/۲ بوده و TWh/year ۹/۱ آن توسط نفت و گاز طبیعی تأمین شده است. همچنین، مقدار CO_2 تولیدشده توسط سیستم انرژی Mt/year ۳/۱ بوده است.

سناریوی دوم: در این سناریو فرض شده است که میزان استفاده از پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در استان فارس افزایش می‌یابد و بخش قابل توجهی از انرژی لازم برای سرمایش را تأمین کرده است. در این حالت، دو راه برای تأمین سرمایش در نظر گرفته شده است: استفاده از پمپ‌های حرارتی/چیلر جذبی و استفاده از سیستم گرمایش منطقه‌ای. در هر دو روش، مصرف نفت و گاز طبیعی کاهش چشمگیر یافته و به جای آن، خورشید، زمین‌گرمایی و تولید هم‌زمان توان و گرما[1] به عنوان منابع تأمین گرما و سرما استفاده شده است. البته در روش گرمایش منطقه‌ای، دو منبع تولید هم‌زمان توان و گرما و حرارتی خورشیدی[2] به طور جداگانه در نظر گرفته شده است. پس از بحث و تحلیل نتیجه این شد که بهتر است تولید هم‌زمان توان و گرما و حرارتی خورشیدی را با هم تلفیق کرد و یک سیستم ترکیبی[3] از آن‌ها ساخت. در این صورت، مصرف انرژی و آلودگی هوا به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۳، مصرف کل انرژی در سطح استان فارس TWh/year ۹/۱ بوده و TWh/year ۹ آن توسط نفت و گاز طبیعی تأمین شده است. همچنین، میزان انتشار CO_2 تولیدشده توسط سیستم انرژی Mt/year ۶ بوده است. لازم به ذکر است در بخش انرژی زمین‌گرمایی در استان فارس مقرر شده بود که در سال ۱۳۹۳ هجری شمسی یکی از روستاهای استان به عنوان نمونه برای بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی مورد بررسی قرار گیرد و استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در این روستا آغاز شود، ولی تا کنون پیشرفت زیادی نداشته است. در این سناریو زمانی که گفته می‌شود که از منابع انرژی تجدیدپذیر مختلف همچون انرژی زمین‌گرمایی استفاده خواهد شد، به معنای این نیست که هم‌اکنون زیرساخت‌های لازم برای بهره‌برداری از این انرژی‌ها در استان فراهم است.

سناریوی سوم: در این سناریو، فرض می‌شود که ۲۰ درصد از مصرف انرژی در بخش سرمایش کاسته می‌شود. در این حالت، مصرف نفت و گاز طبیعی به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد. در این سناریو همانند سناریوی دوم، از سیستم ترکیبی تولید هم‌زمان گرمایش، توان و حرارتی خورشیدی برای تأمین سرمایش است، استفاده شده است. این سناریو گام اول به سمت تحقق این پژوهش است و نشان می‌دهد چگونه با کاهش تقاضای انرژی و استفادهٔ حداکثری از منابع تجدیدپذیر، مصرف انرژی و آلودگی هوا در سطح استان فارس کاهش می‌یابد. البته باید توجه داشت که برای کاهش تقاضای انرژی، لازم است که علاوه بر بهینه‌سازی فناوری‌های تولید و توزیع انرژی، به جنبه‌های رفتاری و فرهنگی نیز پرداخت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۳ مصرف کل انرژی در سطح استان فارس TWh/year ۸/۱ بوده و TWh/year ۷ آن توسط نفت و گاز طبیعی تأمین شده است. همچنین، میزان انتشار CO_2 تولیدشده توسط سیستم انرژی Mt/year ۵ بوده است.

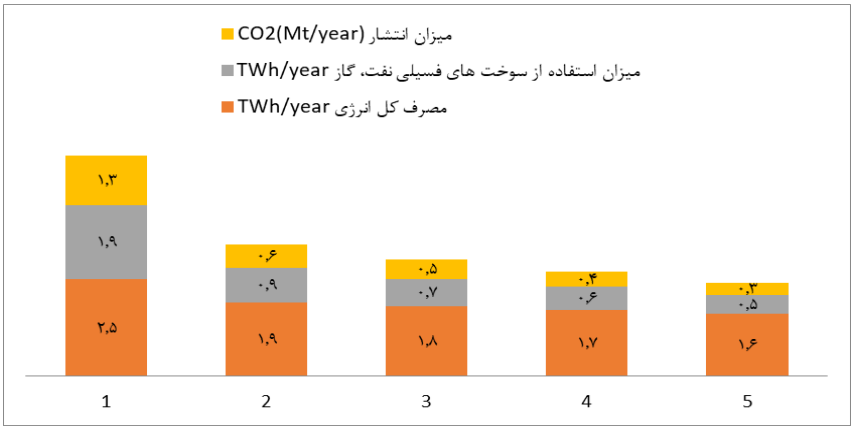
سناریوی چهارم: در این سناریو فرض می‌شود که در سیستم انرژی حال حاضر شیراز، از سرمایش طبیعی استفاده شود و بخش قابل توجهی از نیاز سرمایش از طریق گرمایش منطقه‌ای و سرمایش طبیعی[4] تأمین شود. در این سناریو، با استفاده از

1. Combined Heat and Power (CHP)
2. Solar thermal
3. Hybrid
4. Natural cooling

فناوری‌های پایین تکنولوژی و کم‌هزینه، مصرف نفت و گاز طبیعی به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد. این سناریو گام دوم به سمت تحقق هدف تحقیق است و نشان می‌دهد چگونه با استفاده از فناوری‌های ساده و محلی، مصرف انرژی و آلودگی هوا در سطح استان فارس کاهش می‌یابد. البته باید توجه داشت که برای استفاده از سرمایش طبیعی، لازم است که علاوه بر طراحی مناسب ساختمان‌ها، به جنبه‌های اقلیمی و جغرافیایی نیز پرداخت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۳ مصرف کل انرژی در سطح استان فارس ۷/۱ TWh/year بوده و ۶TWh/year آن توسط نفت و گاز طبیعی تأمین شده است. همچنین، میزان انتشار CO_2 شده توسط سیستم انرژی ۴ Mt/year بوده است.

سناریوی پنجم: در این سناریو فرض می‌شود که تمام پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در استان فارس به کار گرفته می‌شود و بخش قابل توجهی از انرژی لازم برای سرمایش تأمین می‌شود و مصرف نفت و گاز طبیعی به حداقل می‌رسد. در این حالت، با استفاده حداکثری از منابع تجدیدپذیر، مصرف انرژی و آلودگی هوا به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد. در این سناریو همانند سناریوی دوم، از سیستم ترکیبی تولید هم‌زمان گرمایش، توان و حرارتی خورشیدی برای تأمین سرمایش استفاده شده است. این سناریو گام سوم و آخر به سمت تحقق هدف پژوهش است و نشان می‌دهد چگونه با استفاده از منابع تجدیدپذیر برای تأمین تمام نیازهای انرژی، مصرف انرژی و آلودگی هوا در سطح استان فارس کاهش می‌یابد. البته باید توجه داشت که برای دستیابی به این سناریو، لازم است که علاوه بر فراهم کردن زیرساخت‌های لازم برای تولید و انتقال و ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، به جنبه‌های سیاسی و اقتصادی و اجتماعی نیز پرداخت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۳ مصرف کل انرژی در سطح استان فارس ۶/۱ TWh/year بوده و ۵ TWh/year آن توسط نفت و گاز طبیعی تأمین شده است. همچنین، میزان انتشار CO_2 توسط سیستم انرژی ۳ Mt/year بوده است.

نتایج سناریوها در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۵. نتایج سناریوهای مختلف

جدول‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب نوع انرژی مصرفی و نوع فناوری‌های استفاده‌شده برای گرمایش و سرمایش در سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ٤. انواع انرژی‌های مصرفی در سناریوهای مختلف

سناریو / نوع انرژی	نوع سوخت نیروگاه فسیلی: نفت	نوع سوخت نیروگاه فسیلی: گاز طبیعی	زمین‌گرمایی	خورشیدی	بادی	برق‌آبی
۱	×	✓	×	✓	✓	✓
۲	×	✓	✓	✓	✓	✓
۳	×	✓	✓	✓	✓	✓
۴	×	✓	✓	✓	✓	✓
۵	×	✓	✓	✓	✓	✓

جدول ۵. انواع فناوری‌های مختلف برای تأمین گرمایش و سرمایش در سناریوهای مختلف

نوع تأمین گرمایش و سرمایش / سناریو	گرمایش فردی		شبکه		
	نفت	گاز طبیعی	Hybrid CHP& Solar thermal	Heat pump	Natural cooling
۱	✓	✓	×	×	×
۱/۲	✓	✓	×	✓	×
۲/۲	✓	✓	✓	×	×
۳	✓	✓	✓	×	×
۴	✓	✓	✓	×	✓
۵	✓	✓	✓	×	×

۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، هدف تحلیل تأثیر استفاده از منابع تجدیدپذیر بر مصرف انرژی و آلودگی هوا در سطح استان فارس با تأکید بر نقش سرمایش بوده است. برای این‌منظور، از نرم‌افزار انرژی پلن برای شبیه‌سازی و محاسبهٔ نتایج ۵ سناریوی مختلف برای سیستم انرژی شیراز استفاده شده است. با توجه به اینکه استان فارس در کشور ایران دارای اقلیم گرم و خشک است، تأمین سرمایش در این استان یک نیاز اساسی است. برای دستیابی به این هدف همان‌طور که گفته شد، ۵ سناریو مطرح شده است که عبارت‌اند از: سناریوی حالت پایه، سناریوی استفاده از پمپ‌های حرارتی/چیلر جذبی و استفاده از سیستم گرمایش منطقه‌ای، سناریوی کاهش ۲۰ درصدی تقاضای انرژی، سناریوی استفاده از سرمایش طبیعی و سناریوی استفادهٔ حداکثری از منابع تجدیدپذیر. نتایج نشان داد با افزایش استفاده از منابع تجدیدپذیر و کاهش تقاضای انرژی، مصرف سوخت‌های فسیلی، آلودگی هوا، هزینه‌های انرژی و وابستگی به واردات نفت به صورت قابل توجه کاهش می‌یابد. همچنین، امنیت انرژی، کارآمدی اقتصادی و کیفیت زندگی بهبود می‌یابد. با بررسی همهٔ سناریوها، سناریوی پنجم که استفادهٔ حداکثری از منابع تجدیدپذیر با بهره‌گیری از فناوری سیستم ترکیبی تولید هم‌زمان گرمایش، توان و حرارتی خورشیدی است، بهترین نتایج را داشته است، زیرا در این سناریو ۶۸/۷۵ درصد از کل نیاز انرژی استان، از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود و می‌توان میزان انتشار CO_2 را نسبت به حالت پایه، حدود ۷۶/۹۲ درصد کاهش داد. لازمهٔ اجرای اکثر سناریوها به‌خصوص سناریوی پنجم در استان فارس، فراهم کردن زیرساخت‌های لازم برای تولید و انتقال و ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، توجه به طراحی مناسب ساختمان‌ها و توجه به بهینه‌سازی فناوری‌های تولید و توزیع انرژی و توجه به جنبه‌های رفتاری و فرهنگی استان است. به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آینده، به سایر محققان توصیه می‌شود که بر رویهٔ جنبه‌های طراحی و شبیه‌سازی زیرساخت‌های لازم برای تولید و انتقال و ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، طراحی مناسب ساختمان‌ها و همچنین بررسی جنبه‌های رفتاری و فرهنگی مردم استان با هدف فرهنگ‌سازی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش مصرف انرژی، تمرکز کنند. همچنین پیشنهاد می‌شود برای هر سناریو، تحلیل اقتصادی صورت گیرد و مشخص شود برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر سناریو چه میزان هزینه مصرف خواهد شد و آیا از نظر اقتصادی امکان‌پذیر است.

منابع

[1].L. Zhu, R. Hurt, D. Correa, and R. Boehm, "Comprehensive energy and economic analyses on a zero energy house versus a conventional house," Energy, vol. 34, no. 9, pp. 1043-1053, 2009.

[2].Catto, "Carbon zero homes UK style," Renewable energy focus, vol. 9, no. 1, pp. 28-29, 2008.

[3].L. Zhu, R. Hurt, D. Correia, and R. Boehm, "Detailed energy saving performance analyses on thermal mass walls demonstrated in a zero energy house," Energy and buildings, vol. 41, no. 3, pp. 303-310, 2009.

[4].J. G. Atkinson, T. Jackson, and E. Mullings-Smith, "Market influence on the low carbon energy refurbishment of existing multi-residential buildings," Energy policy, vol. 37, no. 7, pp. 2582-2593, 2009.

[5].Pfeiffer, M. Koschenz, and A. Wokaun, "Energy and building technology for the 2000 W society—Potential of residential buildings in Switzerland," Energy and buildings, vol. 37, no. 11, pp. 1158-1174, 2005.

[6].P. Heiselberg, H. Brohus, A. Hesselholt, H. Rasmussen, E. Seinre, and S. Thomas, "Application of sensitivity analysis in design of sustainable buildings," Renewable Energy, vol. 34, no. 9, pp. 2030-2036, 2009.

[7].H. Tommerup, J. Rose, and S. Svendsen, "Energy-efficient houses built according to the energy performance requirements introduced in Denmark in 2006," Energy and Buildings, vol. 39, no. 10, pp. 1123-1130, 2007.

[8].Ajah, A. Mesbah, J. Grievink, P. Herder, P. Falcao, and S. Wennekes, "On the robustness, effectiveness and reliability of chemical and mechanical heat pumps for low-temperature heat source district heating: a comparative simulation-based analysis and evaluation," Energy, vol. 33, no. 6, pp. 908-929, 2008.

[9].J. Klemeš and F. Friedler, "PRES 2006—energy resources and management: heat integration, heat pumps, emissions and waste to energy," ed: Elsevier, 2008.

[10]. B. Kiani, Y. Hamamoto, A. Akisawa, and T. Kashiwagi, "CO2 mitigating effects by waste heat utilization from industry sector to metropolitan areas," Energy, vol. 29, no. 12-15, pp. 2061-2075, 2004.

[11]. L. Gustavsson and Å. Karlsson, "Heating detached houses in urban areas," Energy, vol. 28, no. 8, pp. 851-875, 2003.

[12]. O. Eriksson, G. Finnveden, T. Ekvall, and A. Björklund, "Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass-and natural gas combustion," Energy policy, vol. 35, no. 2, pp. 1346-1362, 2007.

[13]. F. Harkouss, F. Fardoun, and P. H. Biwole, "Optimal design of renewable energy solution sets for net zero energy buildings," Energy, vol. 179, pp. 1155-1175, 2019.

[14]. M. Saaly, P. Maghoul, M. Kavgic, and D. Polyzois, "Performance analysis of a proposed geothermal pile system for heating and cooling energy demand for a building in cold regions," Sustainable cities and society, vol. 45, pp. 669-682, 2019.

[15]. B. V. Mathiesen, H. Lund, and D. Connolly, "Limiting biomass consumption for heating in 100% renewable energy systems," Energy, vol. 48, no. 1, pp. 160-168, 2012.

[16]. H. Lund, A. N. Andersen, P. A. Østergaard, B. V. Mathiesen, and D. Connolly, "From electricity smart grids to smart energy systems–a market operation based approach and understanding," Energy, vol. 42, no. 1, pp. 96-102, 2012.

[17]. D. Connolly et al., "Heat Roadmap Europe 2050: Second pre-study for the EU27," ed: Aalborg University, 2013.

[18]. D. Connolly et al., "Heat Roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system," Energy policy, vol. 65, pp. 475-489, 2014.

[19]. H. Lund et al., "4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems," Energy, vol. 68, pp. 1-11, 2014.

[20]. D. Connolly, B. V. Mathiesen, and H. Lund, "Smart Energy Europe: A 100% renewable energy scenario for the European Union," in Proceedings of the 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia, 2015, pp. 1-22 .

[21]. H. Averfalk, P. Ingvarsson, U. Persson, M. Gong, and S. Werner, "Large heat pumps in Swedish district heating systems," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 79, pp. 1275-1284, 2017.

[22]. H. HassanzadehFard and A. Jalilian, "Optimal sizing and siting of renewable energy resources in distribution systems considering time varying electrical/heating/cooling loads using PSO algorithm," International Journal of Green Energy, vol. 15, no. 2, pp. 113-128, 2018.

[23]. Chel and G. Kaushik, "Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building," Alexandria Engineering Journal, vol. 57, no. 2, pp. 655-669, 2018.

[24]. Inayat and M. Raza, "District cooling system via renewable energy sources: A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 107, pp. 360-373, 2019.

[25]. P. Huang et al., "A review of data centers as prosumers in district energy systems: Renewable energy integration and waste heat reuse for district heating," Applied Energy, vol. 258, p. 114109, 2020.

[26]. Bartolini, F. Carducci, C. B. Munoz, and G. Comodi, "Energy storage and multi energy systems in renewable energy communities with high renewable energy penetration," Renewable Energy, 2020.

[27]. H. Lund and B. V. Mathiesen, "Energy system analysis of 100% renewable energy systems—The case of Denmark in years 2030 and 2050," Energy, vol. 34, no. 5, pp. 524-531, 2009.
[28]. H. Lund, "Renewable energy strategies for sustainable development," Energy, vol. 32, no. 6, pp. 912-919, 2007.
[29]. D. Connolly, H. Lund, and B. Mathiesen, "Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 60, pp. 1634-1653, 2016.
[30]. G. A. J. W. R. G. B. H. f. t. G. A. W. P. h. l. w. i. o. d. n. p. Watch, "World Meteorological Organization," 2003.
[31]. Y. Noorollahi, A. Golshanfard, A. Aligholian, B. Mohammadi-ivatloo, S. Nielsen, and A. Hajinezhad, "Sustainable Energy System Planning for an Industrial Zone by Integrating Electric Vehicles as Energy Storage," Journal of Energy Storage, vol. 30, p. 101553, 2020/08/01/ 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101553.
[32]. Gholami, A. Hajinezhad, F. Pourfayaz, and M. H. Ahmadi, "The effect of hydrodynamic and ultrasonic cavitation on biodiesel production: An exergy analysis approach," Energy, vol. 160, pp. 478-489, 2018/12018, doi: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.008.
[33]. N. Azizi et al., "Critical review of multigeneration system powered by geothermal energy resource from the energy, exergy, and economic point of views," Energy Science & Engineering, https://doi.org/10.1002/ese3.1296 vol. 10, no. 12, pp. 4859-4889, 2022/12/01 2022, doi: https://doi.org/10.1002/ese3.1296.
[34]. M. H. Katooli, R. Askari Moghadam, and A. Hajinezhad, "Simulation and experimental evaluation of Stirling refrigerator for converting electrical/mechanical energy to cold energy," Energy Conversion and Management, vol. 184, pp. 83-90, 2019/03/15/ 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.014.
[35]. T. J. R. f. I. Kerr, International Energy Agency website: https://www. iea. org/publications/freepublications/publication/chp_report. pdf, "Combined heat and power: evaluating the benefits of greater global investment," 2008.
[36]. R. Lundmark and K. Bäckström, "Bioenergy innovation and energy policy," Economics of Innovation and New Technology, vol. 24, no. 8, pp. 755-775, 2015/11/17 2015, doi: 10.1080/10438599.2014.998862.
[37]. E. A. O. o. E. Technology, D., and G. o. Eight, Energy technology perspectives. International Energy Agency, 2006.
[38]. R. Verduci et al., "Solar Energy in Space Applications: Review and Technology Perspectives," Advanced Energy Materials, https://doi.org/10.1002/aenm.202200125 vol. 12, no. 29, p. 2200125, 2022/08/01 2022, doi: https://doi.org/10.1002/aenm.202200125.
[39]. Henderson, "Fossil fuel-fired power generation. Case studies of recently constructed coal-and gas-fired plants," 2007.
[40]. K. Sartor, S. Quoilin, and P. Dewallef, "Simulation and optimization of a CHP biomass plant and district heating network," Applied Energy, vol. 130, pp. 474-483, 2014/10/01/ 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.097.
[41]. E. Carpaneto, P. Lazzeroni, and M. Repetto, "Optimal integration of solar energy in a district heating network," Renewable Energy, vol. 75, pp. 714-721, 2015/03/01/ 2015, doi: https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.055.
[42]. H. Wang, E. Abdollahi, R. Lahdelma, W. Jiao, and Z. Zhou, "Modelling and optimization of the smart hybrid renewable energy for communities (SHREC)," Renewable Energy, vol. 84, pp. 114-123, 2012015, doi: https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.05.036.
[43]. Buoro, P. Pinamonti, and M. Reini, "Optimization of a Distributed Cogeneration System with solar district heating," Applied Energy, vol. 124, pp. 298-308, 2014/07/01/ 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.02.062.
[44]. M. Giuntoli and D. Poli, "Optimized Thermal and Electrical Scheduling of a Large Scale Virtual Power Plant in the Presence of Energy Storages," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 4, no. 2, pp. 942-955, 2013, doi: 10.1109/TSG.2012.2227513.
[45]. T. Nuytten, B. Claessens, K. Paredis, J. Van Bael, and D. Six, "Flexibility of a combined heat and power system with thermal energy storage for district heating," Applied Energy, vol. 104, pp. 583-591, 2013/042013 doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.029.
[46]. M. Ali, J. Jokisalo, K. Siren, and M. Lehtonen, "Combining the Demand Response of direct electric space heating and partial thermal storage using LP optimization," Electric Power Systems Research, vol. 106, pp. 160-167, 2014/01/01/ 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2013.08.017.
[47]. Chesi, G. Ferrara, L. Ferrari, S. Magnani, and F. Tarani, "Influence of the heat storage size on the plant performance in a Smart User case study," Applied Energy, vol. 112, pp. 1454-1465, 2013/12/01/ 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.089.

[48]. H. Dagdougui, R. Minciardi, A. Ouammi, M. Robba, and R. Sacile, "Modeling and optimization of a hybrid system for the energy supply of a “Green” building," Energy Conversion and Management, vol. 64, pp. 351-363, 2012/12/01/ 2012, doi: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.05.017.
[49]. R. Van den Broek, A. Van Wijk, and M. Trossero, "Electricidad a partir de eucalipto y bagazo en ingenios azucareros de Nicaragua. Costos, aspectos macroeconomicos y medioambientales," 1998.
[50]. H. Kargbo, J. S. Harris, and A. N. Phan, "“Drop-in” fuel production from biomass: Critical review on techno-economic feasibility and sustainability," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 135, p. 110168, 2021/01/01/ 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110168.
[51]. R. Wiltshire, J. Williams, and S. Werner, "European DHC research issues," in 11th International Symposium on District Heating and Cooling, Reykjavik, Iceland, August 31–September 2, 2008, 2008 .
[52]. J. Goldemberg, "World energy assessment. Energy and the challenge of sustainability," 2001.
[53]. Gunnarsdottir, B. Davidsdottir, E. Worrell, and S. Sigurgeirsdottir, "Indicators for sustainable energy development: An Icelandic case study," Energy Policy, vol. 164, p. 112926, 2022/05/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112926.
[54]. L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information," Energy and buildings, vol. 40, no. 3, pp. 394-398, 2008.
[55]. H. Lund and E. J. R. E. Münster, "Modelling of energy systems with a high percentage of CHP and wind power," vol. 28, no. 14, pp. 2179-2193, 2003.
[56]. H. J. E. Lund, "Large-scale integration of wind power into different energy systems," vol. 30, no. 13, pp. 2402-2412, 2005.
[57]. H. Lund and E. J. A. E. Münster, "Management of surplus electricity-production from a fluctuating renewable-energy source," vol. 76, no. 1-3, pp. 65-74, 2003.