فصلنامه علمی – ترویجی انرژی ایران

دوره ۲۳، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحه ۱۷۱ – ۱۵۳

مدلسازی سیستم انرژی با هدف افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر: مطالعه موردی شهر اهواز

[۱]یونس نوراللهی، [۲]عاطفه عباسپور، [۳]حمیدرضا سراج، [۴]حسین یوسفی*

تاریخ دریافت:
۱۳۹۸/۳/۲۱

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۸/۳

کلمات کلیدی:
مدلسازی انرژی،
انرژی‌های تجدیدپذیر،
انرژی پلن،
انتشار کربن.

چکیده

امروزه مصرف انرژی و امور مربوط به کنترل‌های زیست‌محیطی به یک موضوع اصلی در برنامه ریزی و سیاستگذاری‌های ملی و منطقه‌ای تبدیل شده است. در همین راستا از مدلسازی انرژی به منظور پیش‌بینی روند جاری سیستم‌های انرژی و بررسی آثار بلند مدت اعمال سیاست‌های مختلف بر هر سیستم استفاده می‌شود. در این مقاله برای ارزیابی تاثیر احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر بر سیستم انرژی شهر اهواز از مدل انرژی پلن استفاده شده است. بدین منظور سیستم انرژی اهواز از سه منظر میزان انتشار کربن، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق و مصرف سوخت‌های فسیلی ارزیابی شده و اثرات افزودن ۲۳۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر به سیستم تولید برق، از سه جنبه گفته شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نهایی نشان داد که در صورت بهره‌برداری از این نیروگاه‌ها می‌توان از انتشار سالیانه ۲۶۰ هزارتن دی اکسید کربن جلوگیری کرده و میزان مصرف سوخت‌های فسیلی حدود ۵۰۰ هزار بشکه نفت در سال کاهش پیدا خواهد کرد.

۱. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران noorollahi@ut.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه تهران atefeh.abbaspour@ut.ac.ir
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه تهران hr.seraj@ut.ac.ir
۴. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) hosseinyousefi@ut.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

۱. مقدمه

کمبود عرضه انرژی اولیه، امنیت انرژی، حفاظت از محیط زیست و اثر گذاری بر تغییرات اقلیم از جمله مهم‌ترین چالش‌های پیش روی آینده انرژی خواهند بود. از همین رو انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی در تامین تقاضای انرژی، ایجاد تنوع در سبد انرژی و کاهش اثرات محیطزیستی ناشی از افزایش مصرف انرژی ایفا خواهند کرد. این مسائل بیانگر اهمیت برنامه‌ریزی و سیاستگذاری در حوزه انرژی می‌باشد. روبرو شدن با مسائلی مثل افزایش تقاضای انرژی، بدون برنامه ریزی و بدون در نظر گرفتن مسائل فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی امری ناممکن به نظر می‌رسد. اهمیت این موضوع از اواسط قرن گذشته میلادی توجه بسیاری از دولت‌ها و سیاستگذاران منطقه‌ای و بین‌المللی انرژی را به خود جلب کرده است. در همین راستا از مدلسازی انرژی به منظور پیش‌بینی روند جاری سیستم‌های انرژی و بررسی آثار بلند مدت اعمال سیاست‌های مختلف بر هر سیستم استفاده می‌شود (آقاسی و همکاران، ۱۳۹۴). مدلسازی انرژی به فرآیند پیش‌بینی عرضه و تقاضای انرژی و تغییرات آن در آینده اطلاق می‌شود (نوراللهی و همکاران، ۲۰۱۷). این مدل‌ها می‌توانند بر مواردی همچون پیش‌بینی تولید، عرضه و هزینه منابع مختلف انرژی تمرکز کنند. یکی از اهداف کلیدی مدل‌های انرژی، اطمینان از دسترسی به منابع و خدمات انرژی به صورت مقرون به صرفه و پایدار می‌باشد.

صاحبنظران حوزه برنامه‌ریزی و سیاستگذاری انرژی، مدل‌های متعددی را برای درک مسائل سیاستگذاری مطرح کرده و ارائه داده‌اند. هر یک از این الگوها مسائل مهم حوزه انرژی، علل و پیامدهای آن‌ها را از دیدگاه‌های متفاوتی بررسی و تعمق می‌کنند. هیچ یک از این مدل‌ها بهترین مدل تلقی نمی‌شود؛ هر یک از آن‌ها دیدگاه مشخصی را درباره مسائل مختلف انرژی ارائه می‌دهند و ما را قادر می‌سازند که مشکلات تامین و عرضه را به بهترین نحو تجزیه و تحلیل کنیم. سودمندی یک مدل برای ارائه تحلیل‌های مورد نیاز، بهترین معیار برای ارزیابی اثر بخشی آن به شمار می‌آید. در همین راستا، مدل انرژی پلن یک ابزار تحلیل انرژی چند ورودی–چندخروجی است که می‌تواند تاثیر اجرای سیاستگذاری‌ها و برنامه‌های مختلف را بر سیستم انرژی یک منطقه از جنبه‌هایی مثل میزان انتشار کربن، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی و میزان مصرف سوخت‌های فسیلی بررسی کند. همچنین این مدل قادر است بخش‌های برق، گرمایش و حمل و نقل را که برای بررسی یکپارچه سازی منابع تجدیدپذیر در سطح

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

ملی و منطقه‌ای ضروری هستند را ادغام نماید. با مطالعه تحلیل‌های انجام شده توسط کانلی و همکاران (۲۰۱۰). پیرامون ابزارهای مختلف مدلسازی سیستم‌های انرژی، این مدل به عنوان مناسب‌ترین گزینه جهت تحقق اهداف این پژوهش تشخیص داده شد.

مدل انرژی پلن برای انجام مطالعات بسیاری در سطح ملی و منطقه‌ای با شاخص‌هایی مشابه این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. نوراللهی و همکاران (۲۰۱۷). به مدلسازی سیستم عرضه و تقاضای انرژی در شهر ابینو ژاپن پرداختند. آن‌ها همچنین سناریوهای مختلفی را از جنبه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم انرژی، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار کربن در این منطقه بررسی کردند. کانلی و همکاران (۲۰۱۰). مدل‌هایی جهت تامین ۱۰۰ درصدی انرژی ایرلند از منابع تجدیدپذیر بررسی کردند. کراجاچیچ و همکاران (۲۰۱۱) بر روی مدلسازی فنی و اقتصادی سیستم انرژی ۱۰۰ درصد مستقل در کشور دانمارک کار کردند. آن‌ها همچنین نقش ذخیره‌ساز انرژی در یک سیستم انرژی پایدار را با تولید برق اضافی از منابع تجدیدپذیر نشان دادند. استرگارد (۲۰۱۳) مدلی برای اضافه کردن پمپ حرارتی زمین گرمایی در سیستم انرژی شهر آلبورگ دانمارک ارائه کرد. او در این مقاله به بررسی تاثیر عرضه انرژی از پمپ‌های حرارتی بر توان خروجی نیروگاه‌های بادی پرداخت. گتا و همکاران (۲۰۱۱) مدلی جهت کاهش سهم نیروگاه‌های هسته‌ای در سیستم عرضه انرژی کشور رومانی ارائه کردند. لوند و همکاران (۲۰۰۹) مدلی جهت تامین ۱۰۰ درصدی انرژی کشور دانمارک از منابع تجدیدپذیر شامل زیست‌توده، باد، امواج و انرژی خورشیدی ارائه کردند. در این پژوهش مطالعات امکان سنجی جهت تامین ۵۰ درصدی انرژی از منابع تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۰ و ۱۰۰ درصدی تا سال ۲۰۵۰ نیز انجام شده است. کاربردهای مدل انرژی پلن به مقالات گفته شده خلاصه نمی‌شود و در زمینه‌های دیگری از جمله ارزیابی چرخه حیات[1] (تونینی و همکاران، ۲۰۱۴)، تولید همزمان برق و حرارت (لاند و همکاران، ۲۰۱۵)، برنامه‌ریزی شبکه‌های گرمایش منطقه‌ای[2] (ژیانگ و همکاران، ۲۰۱۵) و تاثیر خودروهای الکتریکی بر سیستم انرژی (نانس و همکاران، ۲۰۱۵) نیز کاربرد دارد.

1. Life cycle assessment
2. District heating

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

در این مقاله با بررسی الگوی مصرف انرژی در شهر اهواز و میزان مصرف انرژی در بخش‌های حمل و نقل، خانگی و صنعتی، سیستم انرژی شهر اهواز از سه جنبه میزان انتشار کربن، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق و مصرف سوخت‌های فسیلی ارزیابی شده است. همچنین در انتها تاثیرات برنامه‌ریزی جهت اضافه کردن ۱۳۰ مگاوات نیروگاه فتوولتائیک و ۱۰۰ مگاوات نیروگاه بادی به سیستم تولید برق، از سه جنبه گفته شده بررسی می‌شود.

۲. مبانی نظری

افزایش تقاضای جهانی برای انرژی و همچنین اهداف مبتنی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، منجر به اتخاذ تصمیماتی توسط سیاستگذاران انرژی بر اساس ارزیابی‌های صورت گرفته در مورد آینده شد. با توجه به این مساله، در سال‌های اخیر مجموعه‌ای از ابزار شکل گرفته‌اند که می‌توانند در مورد مسیرهای ممکن آینده و همچنین تعریف و آزمایش سیاست‌های انرژی مورد نظر، اطلاعاتی به ما ارائه دهند. برای کمک به اندازه‌گیری و درک جزئیات عملکردی سیستم‌ها، به ویژه در ارتباط با روند و تاثیر فناوری‌ها، اغلب از مدل‌های انرژی استفاده می‌شود. مدل‌های انرژی برای اولین بار پس از بحران نفتی دهه ۷۰ میلادی با هدف حفظ ثبات انرژی طراحی شدند؛ اما امروزه با بروز پدیده تغییرات اقلیمی جهانی، تاکید مدل‌ها به سمت مسائل زیست‌محیطی از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص کربن برگردانده شده است.

تغییرات آب و هوایی و مشخصا مساله گرمایش زمین یکی از مهم‌ترین چالش‌های جامعه بشری در دوره جاری می‌باشد. به همین منظور توافقنامه پاریس در دسامبر سال ۲۰۱۵ با مشارکت ۱۹۶ کشور جهان در چارجوب کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل تهیه و تدوین شده است. کشورهای جهان در نشست پاریس پذیرفتند برای دستیابی به اهداف این توافق، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را بازنگری و اصلاح کنند. کشور ایران نیز بر اساس توان ملی و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، متعهد به مشارکت در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله کربن به میزان حداقل ۴ درصد با انتخاب داوطلبانه شد. این کاهش انتشار با تمرکز به مواردی از جمله توسعه استفاده از منابع تجدیدپذیر و افزایش بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف مصرف کننده حاصل خواهد شد. افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم انرژی کشورها نه تنها منجر به کاهش انتشار کربن و کند کردن فرآیند گرمایش زمین می‌شود،

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

بلکه مزایایی مانند افزایش امنیت انرژی، کاهش واردات انرژی و ظهور صنایع و مشاغل جدید را در پی دارد.

در همین زمینه اخیرا برنامه‌هایی جهت افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم انرژی شهر اهواز تدوین شده است. این برنامه‌ها شامل احداث ۱۰۰ مگاوات نیروگاه بادی و همچنین ۱۳۰ مگاوات نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک می‌باشد. از آن‌جایی که پیش از هرگونه تغییر در سیستم انرژی نیاز به ارزیابی اثرات آن می‌باشد، در این پژوهش اثر احداث این نیروگاه‌های تجدیدپذیر بر روی سیستم انرژی شهر اهواز بررسی و تحلیل شده است.

۳. روش تحقیق

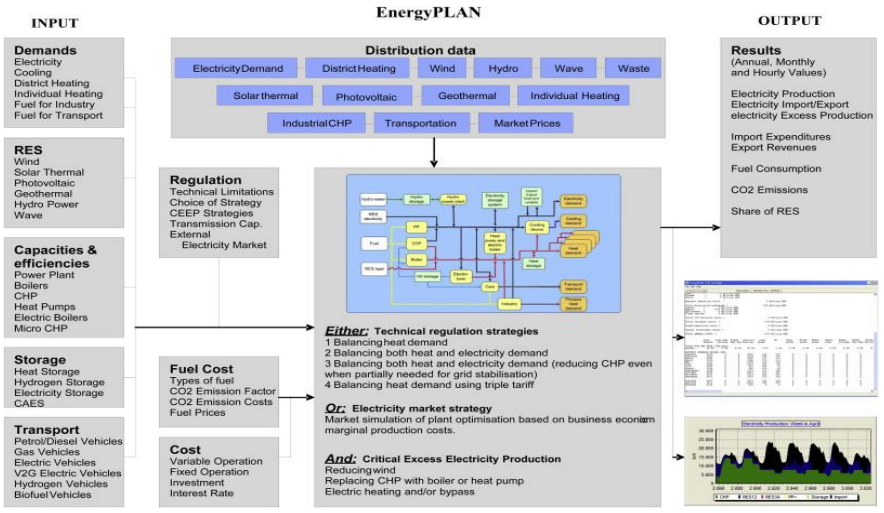
برای ارزیابی سیستم‌های انرژی ترم‌افزارهای متعددی توسعه داده شده‌اند که از هر کدام با توجه به نیازها و اهداف طراحان و مهندسان استفاده می‌شود. از جمله این موارد می‌توان به نرم افزارهای MARKAL/TIMES اشاره کرد. با استفاده از این نرم‌افزارها می‌توان سیستم‌های انرژی- محیط زیستی را برای ۲۰ سال تا ۵۰ یا ۱۰۰ سال آینده و در مقیاس‌های جهانی، منطقه‌ای، ملی، ایالتی یا استانی ارزیابی کرد. در این نرم‌افزارها کل سیستم انرژی بصورت یک شبکه‌ای مدلسازی می‌شود که تمام جریان‌های ممکن انرژی از استخراج انرژی تا انتقال و مصرف را می‌توان در آن پیاده‌سازی کرد. همچنین امکان تحلیل‌های اقتصادی و محیط‌زیستی در این نرم‌افزارها امکان دارد و می‌توان بهترین سیستم انرژی را با توجه به هزینه‌ها و شرایط تعریف شده برای هر منطقه مشخص کرد. نرم‌افزار مدلسازی دیگری به نام WASP[1] نیز به کاربر این امکان را می‌دهد تا بهینه‌ترین طرح را برای یک سیستم تولید توان در بازه‌های زمانی طولانی تعیین کند. همچنین نرم‌افزار TRACE[2] یک ابزار تصمیم‌گیری برای ارزیابی بخش‌های مختلف شهری از جمله حمل و نقل، ساختمان‌ها، آب و فاضلاب و روشنایی از منظر صرفه‌جویی در هزینه و انرژی می‌باشد.

1. Wien Automatic System Planning Package
2. The Tool for Rapid Assessment of City Energy

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

پس از مقایسه و تحلیل ابزارهای مختلف مدلسازی سیستم‌های انرژی که در مطالعات کنلی و همکاران [۷] نیز ارائه شده است، نتیجه گرفته شد که مدل انرژی پلن مناسب‌ترین گزینه برای تحقق هدف این پژوهش یعنی ارزیابی تاثیر احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر بر سیستم انرژی کلانشهر اهواز می‌باشد. مدل انرژی پلن یک ابزار مدلسازی انرژی چند ورودی–چند خروجی می‌باشد. ورودی‌های اصلی آن شامل تقاضای انرژی سیستم، ظرفیت منابع تجدیدپذیر، ظرفیت نیروگاه‌های فسیلی و هزینه منابع انرژی هستند. همچنین خروجی‌های سیستم می‌توانند شامل تولید سالانه انرژی، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی و یا میزان انتشار کربن باشند. ساختار مدل انرژی پلن در شکل ۲ مشخص شده است.

این مدل از یک شبیه‌سازی ساعت به ساعت در طول یک سال استفاده می‌کند؛ بدین منظور که در صورت لزوم برخی از ورودی‌ها باید به صورت ساعتی به سیستم اعمال شوند. همچنین در این مدل بیشتر داده‌های ورودی مشابه، تجمیع می‌شوند؛ برای مثال تمام نیروگاه‌های فسیلی به عنوان یک نیروگاه در نظر گرفته و مدل می‌شوند که راندمان آن از میانگین وزنی تمام نیروگاه‌ها به‌دست می‌آید. در نهایت این مدل می‌تواند مشخصات فنی و اقتصادی بهینه سیستم انرژی را ارائه نماید که این قابلیت از مزایای اصلی مدل انرژی پلن می‌باشد. توضیحات بیشتر این مدل انرژی در مقاله لوند [۱۵] ارائه شده است.



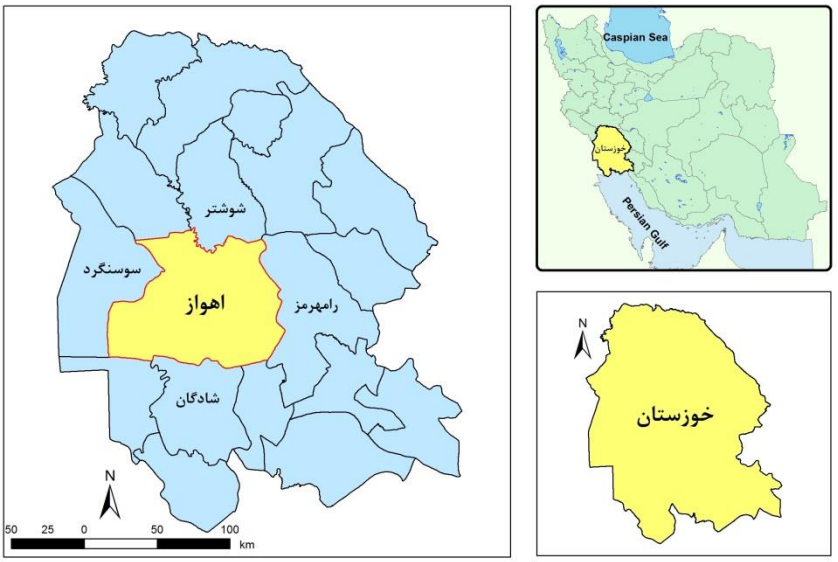
شکل ۲. ساختار مدل انرژی پلن [۱۵]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

٤. توصیف داده‌ها

٤-١. منطقه مطالعاتی

شهر اهواز با جمعیتی بالغ بر ۱۱۸۵۰۰۰ نفر و مساحت ۸۱۵ کیلومتر مربع مطابق شکل ۱ در ناحیه جنوب غربی کشور ایران واقع شده است [۵]. این شهر در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه عرض شمالی و ۴۸ درجه طول شرقی و با ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا واقع شده است[۵]. اهواز مرکز استان خوزستان و یکی از هشت کلانشهر ایران می‌باشد. وجود کارخانجات بزرگ صنعتی، تاسیسات اداری و صنعتی شرکت ملی حفاری ایران، این شهر را به یکی از مهم‌ترین مراکز صنعتی ایران تبدیل کرده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر اهواز

٤-٢. وضعیت فعلی الگوی مصرف انرژی شهر اهواز

شهر اهواز یکی از بزرگترین مصرف کنندگان برق در کشور است و با توجه به روند رو به رشد جمعیت، سطح رفاه و توسعه تکنولوژی، میزان تقاضای انرژی الکتریکی روند افزایشی خود را حفظ خواهد کرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

میزان مصرف انرژی الکتریکی شهر اهواز به عنوان یکی از ورودی‌های مدل سیستم انرژی این شهربه تفکیک نوع کاربری در سال ۱۳۹۵ در جدول ۱ مشخص شده است.

جدول ۱. میزان فروش سالانه انرژی الکتریکی به مشترکان در سال ۱۳۹۵ [۵]

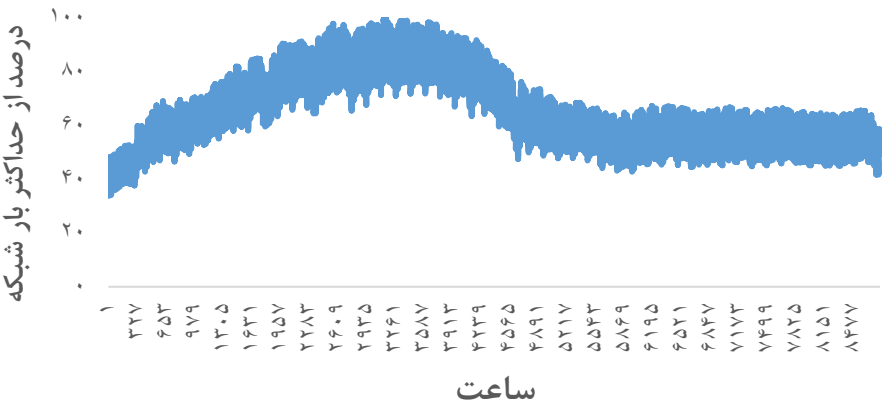
نوع کاربری	میزان مصرف(گیگاوات ساعت)
خانگی	۵۰۲۵
کشاورزی	۶۶۳
صنعتی	۱۱۳۵
روشنایی معابر	۱۵۵
عمومی	۸۴۱
سایر	۶۶۷
مجموع	۸۴۸۶

در مدل انرژی پلن، تقاضای سالیانه برق به صورت مجموع مصرف در ۸۷۸۴ ساعت یک سال مطابق رابطه ۱ در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه d_E و D_E به ترتیب تقاضای انرژی الکتریکی ساعتی و سالانه هستند.

$$D_E = \sum_{X=1}^{8784} d_E(X) \quad (۱)$$

بدین منظور الگوی مصرف برق مشترکین در ساعات مختلف یک سال به عنوان یکی از ورودی‌های مدل، به صورت درصد از حداکثر بار شبکه در شکل ۳ نمایه شده است. با توجه به این شکل حدودا از خرداد ماه تقاضای برق در این شهر افزایش پیدا کرده که علت آن، آب و هوای بسیار گرم اهواز به خصوص در فصل تابستان و مصرف دستگاه‌های خنک‌کننده الکتریکی است. این الگوی نسبی مصرف تقریبا همواره در این شهر ثابت بوده و در پیش‌بینی‌ها برای سالهای آتی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]



شکل ۳. توزیع مصرف ساعتی برق شهر اهواز به صورت درصد از حداکثر بار در طول سال ۱۳۹۵ [۲]

برق این شهر توسط دو نیروگاه رامین و شهید مدحج که درون محدوده شهری اهواز قرار دارند، تامین می‌شود. نیروگاه شهید مدحج از نوع حرارتی با ظرفیت تولید ۴۱۸ مگاوات است که شامل ۴ واحد گازی ۳۲ مگاواتی و ۲ واحد بخار ۱۴۵ مگاواتی می‌باشد [۵]. بازده واحدهای بخاری و گازی این مجموعه به ترتیب ۳۹ و ۲۷ درصد می‌باشد [۵]. همچنین نیروگاه رامین از بزرگترین نیروگاه‌های حرارتی کشور می‌باشد که دارای ۶ واحد بخار شامل ۴ واحد ۳۰۵ مگاواتی و ۲ واحد ۳۱۵ مگاواتی است [۵]. سوخت اصلی نیروگاه‌های ذکر شده، گاز طبیعی می‌باشد و به هنگام ضرورت از گازوئیل و یا مازوت به عنوان سوخت پشتیبان در این نیروگاه‌ها استفاده می‌شود. در رابطه ۲ نحوه محاسبه میزان سوخت مصرفی در بخش تولید برق با توجه به بازده نیروگاه‌ها، تولید خالص و نوع سوخت مصرفی در آن‌ها محاسبه شده است. در این رابطه η_n بازده نیروگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، HV_n میانگین وزنی ارزش حرارتی سوخت مصرفی نیروگاه و P_n تولید خالص انرژی الکتریکی آن‌ها می‌باشد. از آن جایی که در سال ۱۳۹۵ با توجه به شرایط زیست‌محیطی و قرار گرفتن این نیروگاه‌ها در محدوده کلانشهر اهواز، امکان استفاده از سوخت پشتیبان نبوده و تمام سوخت اولیه این نیروگاه‌ها از گاز طبیعی تامین شده است و ارزش حرارتی سوخت مصرفی در نیروگاه‌ها برابر با ارزش حرارتی گاز طبیعی فرض می‌شود ($HV_n = HV_{NG}$ =)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

$38MJ/m^3$). همچنین قدرت اسمی، قدرت عملی، تولید خالص و بازده هر یک از این نیروگاه‌ها در جدول ۲ مشخص شده است.

$$F_c = p_1 \times \frac{1}{\eta_1} \times HV_1 + p_2 \times \frac{1}{\eta_2} \times HV_2 \quad (۲)$$

جدول ۲. وضعیت تولید نیروگاه‌های شهر اهواز در سال ۱۳۹۵ [۵]

	نیروگاه رامین	نیروگاه شهید مدحج
قدرت اسمی(MW)	۱۸۵۰	۴۱۸
قدرت عملی(MW)	۱۷۵۰	۳۹۰
تولید خالص(GWh)	۹۷۴۳	۱۵۶۳
بازده(درصد)	۳۶	۳۵

یکی دیگر از بخش‌های سیستم انرژی کلانشهر اهواز، مرتبط به تقاضا برای انرژی اولیه جهت گرمایش منازل و سوخت مورد نیاز در مصارف تجاری غیرنیروگاهی می‌باشد. سوخت مورد استفاده در بخش خانگی گاز طبیعی و بخش کوچکی نفت سفید است؛ همچنین در مصارف تجاری و صنعتی غیرنیروگاهی می‌تواند به صورت گاز طبیعی یا فرآورده‌های نفتی باشد. میزان تقاضا برای هر یک از حامل‌های انرژی در مصارف خانگی یا تجاری در جدول ۳ برای سال ۱۳۹۵ مشخص شده است.

جدول ۳. میزان مصرف سالانه انواع حامل‌های انرژی در بخش خانگی و صنعتی غیرنیروگاهی توسط مشترکان در سال ۱۳۹۵ [۳]

	خانگی	تجاری و صنعتی
گاز طبیعی (هزار مترمکعب)	۲۳۱۵۲۷	۱۶۹۱۱۲
نفتگاز (هزار لیتر)	-	۲۰۶۱۶۳
نفت سفید(هزار لیتر)	۷۱۰	۴۰
نفت کوره (هزار لیتر)	-	۱۲۵۵۵۹

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

بخش حمل و نقل یکی از مهم‌ترین قسمت‌ها جهت مدلسازی سیستم انرژی هر منطقه است. با توجه به آمار و اطلاعات موجود، این بخش به تنهایی ۲۵ درصد از کل انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص می‌دهد [۱۸] و نیز عمده‌ترین مصرف کننده فرآورده‌های نفتی به شمار می‌رود. در سیستم حمل و نقل اهواز خودروهای سبک از دو نوع سوخت بنزین یا گاز طبیعی و خودروهای سنگین عمدتا از سوخت گازوئیل استفاده می‌کنند. میزان مصرف گاز طبیعی و انواع فرآورده‌های نفتی در بخش حمل و نقل اهواز برای سال ۱۳۹۵ در جدول ۴ مشخص شده است.

جدول ۴. میزان مصرف سالانه انواع حامل‌های انرژی در بخش حمل و نقل اهواز در سال ۱۳۹۵ [۳]

حامل‌های انرژی	واحد	مقدار
بنزین	میلیون لیتر	۵۰۹
گاز طبیعی	میلیون متر مکعب	۱۲۸
نفتگاز	میلیون لیتر	۴۸۱

پس از پیاده‌سازی سیستم انرژی شهر اهواز در مدل انرژی پلن با توجه به آمار و اطلاعات ارائه شده، می‌توان خروجی‌های مورد نیاز جهت تحقق اهداف این پژوهش را استخراج کرد. این کمیت‌ها عبارتند از میزان سالیانه انتشار کربن، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق و مصرف سوخت که در جدول ۵ مشخص شده اند.

جدول ۵. میزان مولفه‌های مورد نظر جهت ارزیابی سیستم انرژی شهر اهواز در سال ۱۳۹۵

مولفه	مقدار
انتشار کربن(میلیون تن در سال)	۹/۸۳
سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق(درصد)	۰
مصرف سوخت فسیلی(تراوات ساعت در سال)	۴۴/۰۶

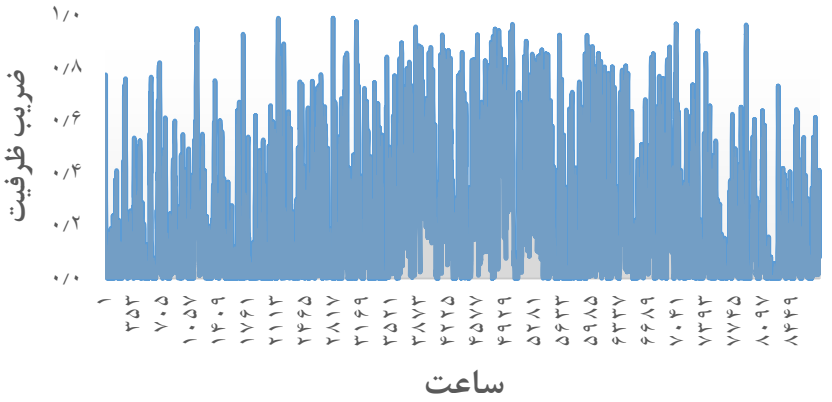
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

۳-٤. پتانسیل انرژی بادی

انرژی باد یکی از انواع اصلی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد که دارای مزایایی از جمله عدم نیاز به سوخت، آب و پایین بودن سطح اشغال شده از زمین می‌باشد. در حال حاضر و با تکنولوژی‌های موجود، تولید برق از طریق نیروگاه‌های بادی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده؛ از این رو نیروگاه‌های بادی هر ساله افزایش می‌یابند و استفاده از آن‌ها در کشورهای صنعتی و در حال توسعه رو به افزایش است. بنابر گزارش انجمن جهانی انرژی بادی در سال ۲۰۱۶، ظرفیت نیروگاه‌های بادی در جهان به بیش از ۵۰۰ هزار مگاوات رسیده است. داده‌های هواشناسی شهر اهواز از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهند که میانگین سرعت باد در مناطق بادخیز این شهر در ارتفاع ۲۲/۵ متر در ماه‌های خرداد و تیر ماکزیمم مقدار و در حدود ۳/۶ متر بر ثانیه می‌باشد؛ همچنین میانگین چگالی باد در همین ارتفاع برابر ۸۱/۵۱ وات بر متر مربع تخمین زده شده است. از طرفی سرعت مورد انتظار باد در ارتفاع ۵۰ متری نیز برابر۴/۲ متر بر ثانیه و چگالی انرژی باد ۱۲۰/۷۱وات بر متر مربع برآورد شده است. با توجه به این داده‌ها در اهواز در ارتفاع ۵۰ متری انتظار می‌رود ۱۲۵ کیلو وات در ثانیه انرژی الکتریکی توسط توربین‌های بادی تجاری با قطر روتور ۸۰ متر تولید شود[۴]. با در نظر گرفتن اینکه سرعت باد و در نتیجه توان تولیدی نیروگاه بادی همواره ثابت نیست، ضریبی به اسم ضریب ظرفیت تعریف می‌شود که نشان‌دهنده درصد انرژی الکتریکی استحصال شده از باد در هر ساعت یک سال نسبت به ظرفیت نامی نیروگاه است. در شکل ۴ ضریب ظرفیت تولید انرژی بادی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سرعت باد برای شهر اهواز در هر ساعت مشخص شده است. بنابراین میزان انرژی سالیانه دریافتی از نیروگاه بادی احداث شده در شهر اهواز مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌شود؛ که در این رابطه $C_w(X)$ ضریب ظرفیت ساعتی و A ظرفیت نیروگاه بادی احداث شده در منطقه می‌باشد.

$$E_w = A \times \sum_{x=1}^{8786} C_w(X) \qquad (۳)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]



شکل ۴. پروفایل ساعتی تولید انرژی بادی در شهر اهواز [۲۳]

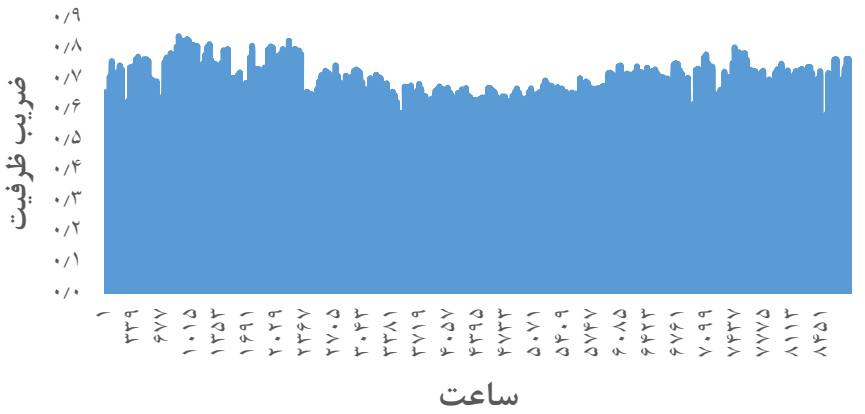
٤-٤. پتانسیل انرژی خورشیدی

بیشترین توسعه در زمینه فناوری‌های تجدیدپذیر در دهه گذشته مربوط به انرژی خورشیدی به خصوص پنل‌های فتوولتائیک می‌باشد. میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در کمربند خورشیدی زمین دارای بیشترین مقدار می‌باشد؛ بنابراین کشورهایی که در چنین مناطقی از زمین واقع شده‌اند پتانسیل بیشتری جهت بهره برداری از این منبع انرژی دارند. بنابر گزارش مجمع جهانی انرژی در حال حاضر ظرفیت انرژی خورشیدی نصب شده در جهان به بیش از ۲۰۰ گیگاوات رسیده است. شهر اهواز با داشتن بیش از ۳۲۰ روز آفتابی در سال، میانگین سالیانه ۱۵۵۱۸ تراوات ساعت انرژی خورشیدی دریافتی و متوسط تابش ۵/۱۸ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز یکی از مناطق با پتانسیل بالا جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد [۶]. این شهر بر اساس سطح‌بندی تابش آفتاب توسط آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر آمریکا جهت تولید برق، در دسته بسیار خوب قرار دارد [۶]. نکته مثبت قابل توجه دیگر این است که بیشترین میزان تابش خورشید اهواز در فصل‌های گرم سال بوده که همزمان با بیشترین مصرف برق در این شهر می‌باشد. از آنجایی که توان تولیدی نیروگاه فتوولتائیک در روزهای سال و ساعات مختلف شبانه روز یکسان نیست، مفهوم ضریب ظرفیت برای این دسته از نیروگاه‌ها نیز تعریف می‌شود. بنابراین میزان انرژی دریافتی سالیانه از این نیروگاه‌ها مطابق رابطه ۴ که در $C_{Ph}(X)$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

ضریب ظرفیت ساعتی نیروگاه خورشیدی و A ظرفیت نیروگاه احداث شده در منطقه می‌باشد. در شکل ۵ نیز ضریب ظرفیت تولید انرژی خورشیدی ساعتی مشخص شده است.

$$E_{Ph} = A \times \sum_{x=1}^{8786} C_{Ph}(X) \quad (۴)$$



شکل ۵. پروفایل ساعتی تولید انرژی خورشیدی در اهواز [۲۲]

۵. نتایج اجرای مدل

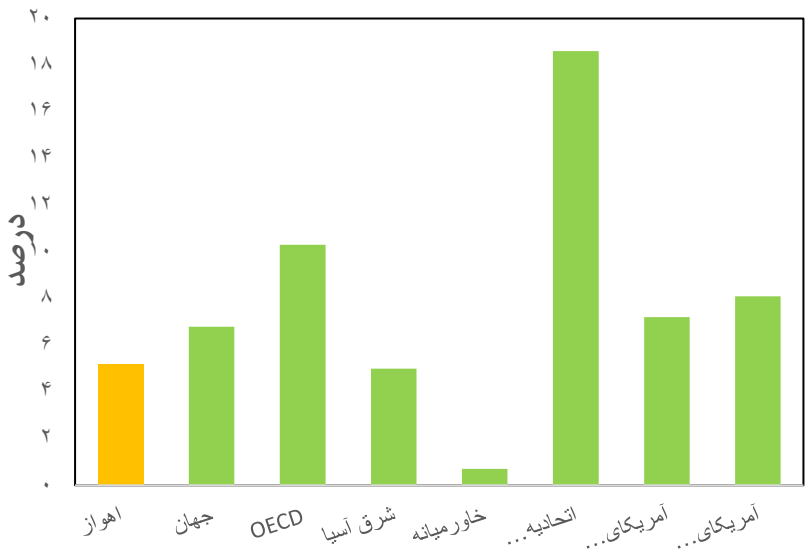
پس از پیاده‌سازی سیستم انرژی شهر اهواز در مدل انرژی پلن و اعمال تغییرات ناشی از احداث دو نیروگاه تجدیدپذیر، سه مولفه مصرف کل سوخت‌های فسیلی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی و میزان انتشار دی اکسید کربن در جدول ۶ مشخص شده‌اند. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، به نسبت انرژی تولید شده از منابع تجدیدپذیر به کل انرژی مصرفی در شهر اهواز گفته می‌شود. این مولفه یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها جهت ارزیابی جنبه‌های زیست‌محیطی و پاک بودن برق مصرفی در جامعه می‌باشد.

جدول ۶. میزان مولفه‌های مورد نظر جهت ارزیابی سیستم انرژی شهر اهواز

	اهواز- ۱۳۹۵	اهواز-تجدیدپذیر
انتشار کربن(میلیون تن در سال)	۹/۸۳	۹/۵۷
سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق(درصد)	۰	۵/۲
مصرف سوخت فسیلی(تراوات ساعت در سال)	۴۴/۰۶	۴۳/۲۴

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

میانگین جهانی این مولفه بدون در نظر گرفتن برق تولیدی از منابع برق‌آبی برابر با ۶/۸ درصد می‌باشد. بنابراین با فرض احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر ذکر شده، همچنان نیاز به توسعه در این بخش و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی کلانشهر اهواز وجود دارد. در شکل ۶، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق کلانشهر اهواز پس از احداث ۲۳۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر با نقاط مختلف جهان مقایسه شده است.



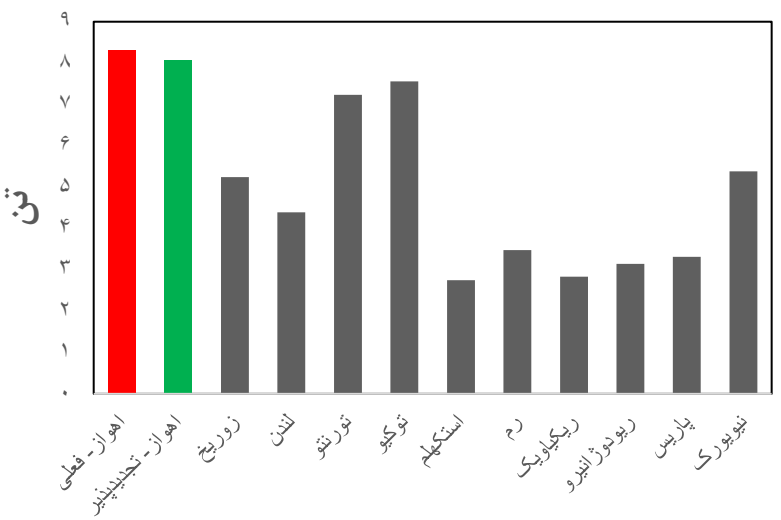
شکل ۶. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق نقاط مختلف جهان(درصد) [۱۰]

یک پارامتر مهم در مدلسازی و برنامه‌ریزی انرژی، مجموع کربن تولید شده در منطقه مورد مطالعه است. پس از نصب ۲۳۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر در اهواز و متعاقبا کاهش تولید الکتریسیته از نیروگاه‌های فسیلی، مقدار این مولفه ۲/۶۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد و از ۹/۸۳ به ۹/۵۷ میلیون تن در سال خواهد رسید. همچنین میزان سرانه تولید کربن از ۸/۲۹۵ به ۸/۰۷۵ تن کاهش می‌یابد که بیش از ۵۰ درصد از سرانه جهانی بیشتر است. بنابراین برای نزدیک‌تر کردن هرچه بیشتر میزان انتشار کربن به سرانه جهانی، علاوه بر توسعه منابع تجدیدپذیر، نیاز به اقداماتی از جمله کاهش مصرف برق در مصارف

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

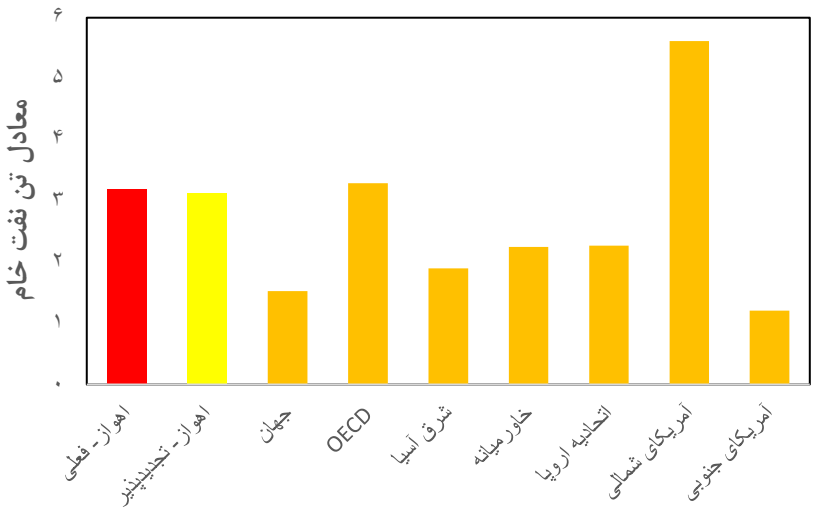
خانگی و افزایش راندمان نیروگاه‌های حرارتی در سیستم انرژی کلانشهر اهواز وجود دارد. در شکل ۷ میزان سرانه تولید کربن در شهر اهواز با برخی از مهم‌ترین شهرهای جهان مقایسه شده است.

یکی دیگر از پارامترهای مهم جهت ارزیابی عملکرد سیاستگذاری سیستم انرژی شهر اهواز، میزان مصرف سوخت فسیلی در این منطقه می‌باشد. طبق مدلسازی‌های انجام شده، میزان مصرف سوخت فسیلی با احداث ۲۳۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر معادل ۰/۸۲ تراوات ساعت در سال کاهش پیدا خواهد کرد و از ۴۴/۰۶ به ۴۳/۲۴ تراوات ساعت در سال کاهش پیدا خواهد کرد. این میزان برابر با صرفه جویی حدودا ۵۰۰ هزار بشکه نفت یا تقریبا ۷۰ میلیون متر مکعب گاز طبیعی در سال می‌باشد. در شکل ۸ سرانه مصرف سوخت‌های فسیلی در اهواز با نقاط مختلف جهان مقایسه شده است.



شکل۷. سرانه انتشار کربن در سال(بر حسب تن) [۱۱]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]



شکل ۸. سرانه مصرف سوخت فسیلی سالانه(معادل تن نفت خام) [۱۲]

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

مدل‌های انرژی ابزاری استاندارد برای برنامه‌ریزی و سیاستگذاری انرژی هستند. با وقوع پدیده تغییرات اقلیمی و مساله گرمایش زمین، تاکید مدل‌های انرژی به سمت مسائل زیست‌محیطی از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای و استفاده از منابع تجدیدپذیر در سیستم انرژی برگردانده شد. در این مقاله تاثیر احداث ۲۳۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر شامل ۱۰۰ مگاوات نیروگاه بادی و ۱۳۰ مگاوات نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک بر سیستم انرژی کلانشهر اهواز بررسی شده است. بدین منظور مدل انرژی پلن مناسب‌ترین گزینه جهت تحقق اهداف این پژوهش تشخیص داده شد. در این مدل میزان و انواع حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلفی از جمله تولید و مصرف برق، حمل و نقل، سوخت اولیه صنایع و انرژی مورد نیاز برای گرمایش منازل به عنوان ورودی‌های سیستم و سه پارامتر انتشار کربن، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق و مصرف سوخت فسیلی به عنوان خروجی در نظر گرفته شدند. با شبیه‌سازی‌های انجام شده مشخص شد میزان انتشار کربن شهر اهواز در سال ۱۳۹۵ معادل ۹/۸۳ میلیون تن می‌باشد؛ همچنین

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

تمام برق تولیدی از منابع فسیلی تامین می‌شود و میزان مصرف سوخت فسیلی برابر با ۴۴/۰۶ تراوات ساعت در سال تخمین زده شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در صورت بهره‌برداری از ۲۳۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر در این منطقه می‌توان از انتشار سالیانه ۲۶۰ هزارتن دی اکسید کربن جلوگیری کرد؛ همچنین میزان مصرف سوخت فسیلی ۰/۸۲ تراوات ساعت معادل ۵۰۰ هزار بشکه نفت در سال کاهش پیدا خواهد کرد و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق شهر اهواز به ۵/۲ درصد خواهد رسید.

منابع

[۱] آقاسی، ابولفضل و لیلا وفاجو (۱۳۹۴)، "مدل مارکال در مدلسازی سیستم انرژی"، مهندسی شیمی ایران، سال چهاردهم، شماره ۸۰، صص ۶۳-۵۴.

[۲] آمارنامه تفصیلی صنعت برق ایران (۱۳۹۵)، وزارت نیرو، شرکت مدیریت شبکه برق ایران.

[۳] آمارنامه مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا (۱۳۹۵)، وزارت نفت، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، مدیریت تامین و توزیع.

[۴] خسروی، محمود؛ ابراهیمی، محمد و محمود بهروزی (۱۳۹۵)، " بررسی وضعیت انرژی باد در استان خوزستان به منظور استفاده ازتوربین‌های بادی"، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ششم، شماره ۲۲، صص ۴۲-۲۹.

[۵] سالنامه آماری شهر اهواز (۱۳۹۵)، شهرداری اهواز، معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی.

[۶] عساکره، عباس؛ سلیمانی، محسن و محمدجواد شیخ داوودی (۱۳۹۵)، " پتانسیل تولید برق خورشیدی در راستای افزایش امنیت انرژی، مطالعه موردی شهرستان اهواز"، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال دوم، شماره ۴، صص ۱۴۲-۱۰۵.

[7] Connolly, D. et al. (2010), "A review of Computer Tools for Analyzing the Integration of Renewable Energy Into Various Energy Systems", Applied energy, 87(4): 1059-1082.

[8] Connolly, D. et al. (2010), "The first step towards a 100% renewable energy-system for Ireland", Applied Energy, 88(2): 502-507.

[9] Gota, D. et al. (2011), "A Romanian Energy System Model and a Nuclear Reduction Strategy", Energy, 36(11): 6413-6419.

[10] International Energy Agency, (2017), Electricity Information, Paris, IEA.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]

[11] International Energy Agency, (2017), CO2 Emissions from Fuel Combustion, Paris, IEA.

[12] International Energy Agency, (2017), World Energy Statistics, Paris, IEA.

[13] Krajačić, G. et al. (2011), "Planning For a 100% Independent Energy System Based on Smart Energy Storage for Integration of Renewables and CO2 Emissions Reduction", Applied thermal engineering, 31(13): 2073-2083.

[14] Lund, H. (2011), Energyplan-advanced Energy Systems Analysis Computer Model, Aalborg, University of Aalborg press.

[15] Lund, H. (2009), Choice Awareness and Renewable Energy Systems, Aalborg, University of Aalborg press.

[16] Lund, H. and B. V. Mathiesen (2009), "Energy System Analysis of 100% Renewable Energy Systems—The Case of Denmark in Years 2030 and 2050", Energy, 34(5): 524-531.

[17] Lund, R. and B. V. Mathiesen (2015), "Large Combined Heat and Power Plants in Sustainable Energy Systems", Applied Energy, 142: 389-395.

[18] Mousavi, B. et al. (2017), "Driving Forces of Iran's CO2 Emissions from Energy Consumption: An LMDI Decomposition Approach", Applied Energy, 206: 804-814.

[19] Noorollahi, Y. et al. (2017), "Modeling For Diversifying Electricity Supply by Maximizing Renewable Energy Use in Ebino City Southern Japan", Sustainable Cities and Society, 34: 371-384.

[20] Nunes, P. et al. (2015), "Day Charging Electric Vehicles with Excess Solar Electricity for a Sustainable Energy System", Energy, 80: 263-274.

[21] Ostergaard, P. A. (2013), "Wind Power Integration in Aalborg Municipality Using Compression Heat Pumps and Geothermal Absorption Heat Pumps", Energy, 49: 502-508.

[22] Pfenninger, S. and I. Staffell (2016), "Long-term Patterns of European PV Output Using 30 years of Validated Hourly Reanalysis and Satellite Data", Energy, 114: 1251-1265.

[23] Staffell, I. and S. Pfenninger (2016), "Using Bias-corrected Reanalysis to Simulate Current and Future Wind Power Output", Energy, 114: 1224-1239.

[24] Tonini, D. and T. Astrup (2012), "LCA of Biomass-based Energy Systems: a Case Study for Denmark", Applied Energy, 99: 234-246.

[25] Xiong, W. et al. (2015), "Heat roadmap China: new heat strategy to reduce energy consumption towards 2030", Energy, 81: 274-2

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-17]