J. Energy Conversion
Volume: 11, Issue: 1, 2024: 21-47

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

دوره ۱۱، شماره ۱، بهار۱۴۰۳، ص: ۲۱-۴۷

ترکیبی هدفمند از واحدهای تولید سرمایش، گرمایش و برق با انرژی خورشیدی و امکان‌سنجی راه‌اندازی در شهر ساحلی بندرلنگه

علی دژدار[۱]، احسان اله عصاره[۱*]، علی ارشادی[۱*]
assareh@iaud.ac.ir

*۱- گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۳، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰

چکیده

در این پژوهش به مدل سازی یک سیستم تجدید پذیر خورشیدی به همراه استفاده از روش هوشمند بهینه سازی جهت افزایش عملکرد سیستم و کاهش هزینه چرخه عمر پرداخته شد و یک سیستم با ترکیبی هدفمند از پنج واحد پنل فتوولتائیک حرارتی، پمپ حرارتی، الکترولایزر غشای تبادل پروتون، منبع ذخیره آب گرم و پیل سوختی برای تأمین انرژی مصرفی مورد نیاز یک مجتمع مسکونی ۸۰ واحدی در کشور ایران شامل آب گرم، سرمایش، گرمایش و برق طراحی شد. با استفاده از اطلاعات آب و هوایی شهر ساحلی بندرلنگه در استان هرمزگان عملکرد سیستم پیشنهادی تحلیل شد. مدل سازی سیستم با استفاده از رویکردی جدید توسط نرم‌افزار ترنسیس انجام شد و بهینه سازی این سیستم جهت افزایش عملکرد سیستم و کاهش هزینه چرخه عمر توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت و با استفاده روش سطح پاسخ انجام شد. سه تابع هدف مورد بررسی شامل تولید برق، ضریب آسایش حرارتی و هزینه چرخه عمر سیستم بود و چهار متغیر تصمیم‌گیری شامل تعداد پنل خورشیدی، ظرفیت پیل سوختی، ظرفیت پمپ حرارتی و ظرفیت الکترولایزر انتخاب شد. نتایج بهینه سازی نشان داد که در بهینه‌ترین حالت با تعداد ۱۴۲۵ پنل خورشیدی، ظرفیت ۶۵,۹۹ کیلووات برای پیل سوختی، ظرفیت ۴۰,۰۱ کیلوواتی برای پمپ حرارتی و ظرفیت ۵۲,۵ کیلوواتی برای الکترولایزر می‌توان به مقدار تولید ۷۲۵۹۵۵,۲۵ کیلووات ساعت در سال با ضریب آسایش حرارتی ۰,۴۳ و هزینه چرخه عمر ۳۴۴۰۱۴,۶۳ دلار رسید.

* **عهده‌دار مکاتبات:** assareh@iaud.ac.ir, ali.ershadi@iau.ac.ir

کلمات کلیدی: پنل فتوولتائیک حرارتی، بهینه‌سازی، روش سطح پاسخ، پیل سوختی، الکترولایزر، پمپ حرارتی

نحوه استناد به این مقاله: علی دژدار، احسان اله عصاره، علی ارشادی. ترکیبی هدفمند از واحدهای تولید سرمایش، گرمایش و برق با انرژی خورشیدی و امکان‌سنجی راه‌اندازی در شهر ساحلی بندرلنگه.
مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۳; ۱۱ (۱): ۲۱-۴۷.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۱- مقدمه

از مشکلات جهان، بازگشت‌ناپذیری انرژی‌های تجدید ناپذیر از جمله انرژی‌های پرمصرف بنزین، نفت و گاز است که صنعت حال حاضر به این انرژی‌ها متکی است و عمدتا تولید انرژی‌های مورد نیاز ساختمان‌های مسکونی و صنعتی مانند برق، گرمایش و سرمایش با استفاده از منابع فسیلی تأمین می‌شوند. یکی از منابع جایگزین منابع فسیلی، انرژی‌های تجدید پذیر هستند که توجه محققان را به خود جلب کرده‌اند. انرژی‌های خورشیدی، زمین‌گرمایی و بادی از جمله مهم‌ترین این انرژی‌ها به شمار می‌روند [۱]. پتانسیل منابع انرژی تجدید پذیر برای برآورده کردن تقاضای انرژی در جهان بسیار زیاد است. این انرژی‌ها به‌جز اثرات پاک‌تر نسبت به سوخت‌های فسیلی، گزینه‌های جذابی برای رشد اقتصادی، برآورده کردن نیازهای انرژی، ایجاد اشتغال و ایجاد صنایع تولیدی و خدماتی هستند که به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌توانند جذابیت زیادی به‌همراه داشته باشند [۲]. از آنجایی که منبع اصلی گازهای گلخانه‌ای، سوختن سوخت‌های فسیلی و پسماندها است باید جایگزین‌های کارآمدتری برای آن‌ها یافت که قطعاً انرژی‌های نو گزینه‌ای مناسب محسوب می‌شوند. به همین دلیل تأمین نیاز انرژی از منابع تجدید پذیر، بسیار مهم است. منابع انرژی تجدید پذیر پاک هستند و کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد می‌کنند [۳].

یانگ و همکاران در سال ۲۰۲۲، به بررسی سیستم هیبریدی خورشیدی بادی در چین پرداختند. نتایج نشان داد که هزینه یکسان شده انرژی سیستم می‌تواند به ۰,۱ دلار در کیلووات ساعت کاهش یابد که ۹۰٪ تقاضای بار سالانه برآورده شد [۷]. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۲۳، به بررسی سیستم مبتنی بر انرژی خورشیدی دارای کلکتور حرارتی پرداختند. نتایج نشان داد که بازده انرژی و راندمان اگزرژی کلکتور حرارتی فتوولتائیک سهموی ممکن است به ترتیب به ۸۰,۷٪ و ۳۳,۸٪ برسد [۴]. وانگ و همکاران در سال ۲۰۲۲، یک سیستم تولید چندگانه انرژی را برای تأمین انرژی یک مجتمع عمومی را بررسی کردند. عواملی چون عناصر آب‌وهوایی، عدم دقت پیش‌بینی تقاضای انرژی و محاسبه توان خروجی تأسیسات منجر به عدم تعادل عرضه و تقاضای انرژی می‌شد [۵]. هو و همکاران در سال ۲۰۲۲، به بررسی سیستم خنک‌کننده تابشی بر اساس ویژگی‌های عملکرد متناوب کار کردند. نتایج نشان داد که طرح خنک‌کننده استفاده شده بدون آماده‌باش برای استفاده داخلی در اتاق‌ها و برای مدت‌های طولانی‌مدت است [۶]. دنگ و همکاران در سال ۲۰۲۱، به تحلیل مصرف انرژی و بهینه‌سازی عملیات چندهدفه سیستم ساختمان هوشمند پرداختند. نتایج نشان داد که سیستم بر اساس بهینه‌سازی می‌تواند به‌طور مؤثر صرفه‌جویی اقتصادی، کاهش انتشار کربن دی‌اکسید و افزایش نسبت استفاده از انرژی اولیه، صرفه‌جویی بیشتر در هزینه و حفاظت از محیط‌زیست کمک کند [۷]. منصیر و همکاران در سال ۲۰۲۲، به بررسی یک سیستم تجدید پذیر تولید چندگانه انرژی با موتورهای گاز طبیعی، پنل خورشیدی، پیل سوختی و الکترولایزر پرداختند. در این مطالعه با در نظر گرفتن تجهیزات موجود در دسترس، اطلاعات ترمودینامیکی، اقتصادی و زیست‌محیطی در مورد سیستم ارائه شود تا راهنمایی برای تصمیم‌گیری واقعی باشد [۸]. جباری و همکاران در سال ۲۰۲۰، به بررسی یک سیستم مبتنی بر پنل خورشیدی و اسمز معکوس برای تولید برق و آب شیرین پرداختند. نتایج نشان داد که ۱ مترمکعب در روز آب آشامیدنی توسط پنل های خورشیدی با حداکثر توان خروجی ۲۸۰ وات و اندازه باتری ۹,۲۲ کیلووات ساعت تولید می‌شود [۹]. کالیسه و همکاران در سال ۲۰۲۱، به بررسی موضوع مدیریت تقاضای انرژی‌بخش حمل‌ونقل خصوصی و بخش ساختمان در چارچوب مناطق انرژی شبکه هوشمند پرداختند. نتایج نشان داد این طرح مصرف انرژی اولیه و انتشار دی‌اکسید کربن را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد [۱۰]. پازمینو و همکاران در سال ۲۰۲۲، به مطالعه یک سیستم خورشیدی برای تأمین انرژی کارخانه لبنی در مکزیک پرداختند. نتایج نشان داد که نیروگاه پیشنهادی در تابستان به حداکثر توان حرارتی ۷۰,۴ کیلووات و حداکثر توان الکتریکی ۱۶,۲ کیلووات می‌رسد [۱۱]. هی و همکاران در سال ۲۰۲۲، به طراحی سیستم گرمایش خورشیدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی پرداختند. نتایج نشان داد پتانسیل کاهش انتشار کربن به میزان ۵۴۸۰,۶ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل در سال است [۱۲]. یوان و همکاران در سال ۲۰۲۲، به مطالعه سیستم ترکیبی انرژی خورشیدی، پمپ حرارتی و کوره احتراق با فناوری خشک‌کردن با هوای گرم و خشک‌کردن خلاء پرداختند. مزایای آن صرفه‌جویی در مصرف انرژی خشک‌کردن و بهبود کیفیت محصول بود. سیستم مکمل چند منبع حرارتی خشک‌کردن

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

ترکیبی از سیستم جمع‌آوری حرارت خورشیدی، سیستم خشک‌کردن پمپ حرارتی و سیستم خشک‌کردن کوره احتراق تشکیل شد [۱۳]. وی و همکاران در سال ۲۰۲۲، به بررسی ترکیب الکترولایزر و پیل سوختی با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی برای تولید برق و هیدروژن پرداختند. نتایج نشان داد ظرفیت تولید انرژی ۱۹۶۶۰۸۴ کیلووات ساعت برای پنل های خورشیدی و ۷۵۹۰۰ کیلووات ساعت برای توربین‌های بادی است [۱۴]. کائو و همکاران در سال ۲۰۲۲، بر روی آنالیز عملکرد گذرا یک سیستم انرژی هوشمند متصل به شبکه مبتنی بر منابع زمین‌گرمایی- خورشیدی کار کردند. اجزا این سیستم پنل های خورشیدی، مخازن ذخیره انرژی حرارتی، یک توربین، یک سردکن جذبی و یک پمپ حرارتی بود. در این سیستم از انرژی‌های خورشیدی و زمین‌گرمایی استفاده شد. نتایج نشان داد که سیستم علاوه بر تأمین نیاز تقاضای الکتریکی سالانه خود، می‌تواند مقدار زیادی توان نیز تولید کند که برای جبران هزینه‌های سیستم می‌توان آن را به شبکه برق سراسری فروخت [۱۵]. سیم و سو در سال ۲۰۲۱، بر روی یک‌راه‌حل اکتشافی و مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای تحلیل هزینه چرخه عمر سیستم خورشیدی کار کردند. در این پژوهش، مدلی ارائه شد که هزینه کل چرخه عمر یک ساختمان را با در نظر گرفتن هزینه‌ها و کارایی‌های مختلف بسته به ظرفیت و کارایی فتوولتائیک و منبع به حداکثر می‌رساند. این روش توانست برای توسعه دستورالعمل‌های نصب برای ادغام سیستم‌های انرژی تجد ید پذیر در ساختمان‌های تازه‌ساخت و فراهم کردن مبنایی برای تصمیم‌گیری با مطالعه مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود برای افزایش بهره‌وری انرژی مورد استفاده قرار بگیرد [۱۶]. ابوحمده و همکاران در سال ۲۰۲۱، بر روی بررسی عددی نمک مذاب به‌عنوان نانو سیال در چرخه نیروگاه خورشیدی کار کردند. این نیروگاه از دو قسمت سیکل خورشیدی با نمک مذاب و سیکل رانکین برای تولید توان تشکیل شده بود. نتایج نشان داد که نیروگاه خورشیدی در ماه‌های خرداد و تیر بیشترین میزان تولید برق را دارد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از دو پیش گرم‌کن به‌جای یکی در سیستم می‌تواند به افزایش ۳ درصدی راندمان سیستم کمک کند [۱۷]. کاراکاووس و آیدین در سال ۲۰۲۰، بر روی آنالیز تولید و ذخیره هیدروژن کار کردند. در این مطالعه تولید و ذخیره هیدروژن مورد بررسی قرار گرفت. در این سیستم هیدروژن را از جداسازی آب تولید شد و هیدروژن تولید شده در مخزن گاز فشرده ذخیره شد. انرژی الکتریکی تولید شده در پنل‌های فتوولتائیک برای الکترولیز آب استفاده شد. بر اساس نتایج آنالیز، مجموع توان تولیدی سالانه در پنل‌های فتوولتائیک ۴۲۸۰۳,۶۶ کیلووات در ازمیر، ۴۲۵۷۳,۷۴ کیلووات در استانبول و ۴۴۶۱۳,۹۵ کیلووات در آنکارا بود [۱۸]. عصاره و همکاران در سال ۲۰۲۲، به بررسی عملکرد سیستم ترکیبی سرمایش، گرمایش و نیرو با استفاده از دو انرژی تجدید پذیر خورشیدی و زمین‌گرمایی و ترکیبی با سیستم تولید هیدروژن کار کردند. سیستم پیشنهادی شامل دو توربین بخار، کلکتورهای فتوولتائیک، مدار پیل سوختی، پمپ حرارتی، باتری ذخیره کننده انرژی و یک ظرف ذخیره‌سازی هیدروژن بود. نتایج نشان داد که سیستم بهینه به‌طور قابل‌توجهی هزینه‌های چرخه عمر سالانه، امتیاز آسایش حرارتی، کل مصرف برق و استفاده از گاز طبیعی دیگ کمکی را کاهش می‌دهد [۱۹]. عصاره و همکاران در سال ۲۰۲۳، به تحلیل سیستم ترکیبی سرمایش، گرمایش و برق ادغام شده با چندین منبع انرژی تجدید پذیر و واحدهای ذخیره انرژی پرداختند. سیستم پیشنهادی پنل فتوولتائیک/حرارتی، توربین‌های بادی، زیرسیستم پیل سوختی، پمپ حرارتی تشکیل شد و همچنین از باتری و مخزن ذخیره هیدروژن جهت ذخیره انرژی استفاده شد. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که سیستم پیشنهادی با ۲۲۵ پنل فتوولتائیک و ۱۵ توربین بادی دارای بهترین عملکرد فنی-اقتصادی است. نتایج مدل‌سازی سیستم نشان داد که زیرسیستم پیل سوختی، پنل فتوولتائیک و توربین بادی با حداکثر توان ۷۵ کیلووات، ۵۲ کیلووات و ۲۴ کیلووات بیشترین سهم را در تولید برق دارند [۲۰]. دژدار و همکاران در سال ۲۰۲۳ به استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی حرارتی اقیانوسی برای تأمین انرژی مورد نیاز یک سیستم تولید توان پرداختند. این سیستم بر اساس استفاده از اختلاف دمای آب سد و جذب انرژی تابشی خورشیدی در آن منطقه راه‌اندازی شد. مطالعه موردی نسبت به تغییرات آب و هوایی سد کرخه اندیمشک در کشور ایران انجام شد و سیستم از دو واحد خورشیدی و سیکل ارگانیک رانکین تشکیل شد و برای افزایش عملکرد سیستم در تولید برق از ژنراتور ترموالکتریک استفاده شد [۲۱].

در این پژوهش، از یک روش جدید برای تعیین بهترین عملکرد برای تولید هم‌زمان سرمایش، گرما، برق و هیدروژن- اکسیژن از دیدگاه انرژی و اقتصادی استفاده می‌شود. پنل‌های فوولتاییک/حرارتی، پمپ حرارتی، سیستم پیل سوختی، منبع ذخیره آب گرم و الکترولایزر غشای تبادل پروتون واحدهای سیستم هستند. واحد پیل سوختی برای افزایش عملکرد سیستم و برای استفاده از

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

انرژی برق تولیدی در دوره‌های کم یا بدون تابش خورشیدی استفاده می‌شود تا پایداری سیستم حفظ شود. با استفاده از ترکیب شبیه‌سازی TRNSYS و روش سطح پاسخ، پارامترهای تأثیرگذار بر روی عملکرد فنی و اقتصادی سیستم، شامل تعداد پنل فتوولتائیک حرارتی، ظرفیت پمپ حرارتی، ظرفیت پیل سوختی و ظرفیت الکترولایزر جهت رسیدن به بهینه‌ترین جواب برای توابع هدف توان تولیدی و هزینه چرخه عمر بررسی می‌شوند. چنین ترکیبی برای اولین بار استفاده شده و با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته به‌طور خلاصه چندین نوآوری جهت بهبود کار آورده شده است که در این پژوهش به شرح زیر است:

- معرفی سیستم جدیدی از ترکیب واحدهای پنل خورشیدی، هیت پمپ، پیل سوختی، الکترولایزر غشای تبادل پروتون و مخزن ذخیره آب گرم.
- استفاده از نرم‌افزار TRNSYS جهت تحلیل و مدل‌سازی سیستم.
- بررسی عملکرد سیسم نسبت به تغییرات آب و هوایی شهر ساحلی بندرلنگه در استان هرمزگان.
- تعیین سه تابع هدف ضریب آسایش حرارتی، هزینه عمر سیستم و تولید برق.
- ارائه یک تحلیل بهینه‌سازی چندهدفه با روش سطح پاسخ برای معرفی بهترین مقدار برای توابع هدف و متغیرهای تصمیم‌گیری
- ارائه یک تحلیل در حالت بهینه برای ارزیابی تأثیر متغیرهای طراحی بر عملکرد سیستم خورشیدی.

اهداف اصلی این پژوهش به شرح زیر است:

- یافتن بهترین و بهینه‌ترین شرایط کاری سیستم.
- تأمین نیازهای ساختمان مسکونی در بهترین و بهینه‌ترین حالت سیستم.
- ارائه یک سیستم پاک با راندمان بالا و هزینه مناسب.

۲-شرح سیستم

شکل ۱ شماتیک سیستم پیشنهادی بر مبنای استفاده از انرژی خورشیدی که طرحی نو از یک سیستم تولید چندگانه انرژی برای تأمین انرژی‌های مورد نیاز مجتمع‌های مسکونی است را نشان می‌دهد. سیستم پیشنهادی شامل پنل های PVT، واحد سلول سوختی، واحد تولید سرما و گرمایش پمپ حرارتی، منبع ذخیره آب گرم و الکترولایزر غشای تبادل پروتون است. سیال آب در پنل های خورشیدی وارد می‌شود و با جذب حرارت انرژی خورشیدی، گرم می‌شود. با افزایش دمای سیال کاری آب، دمای پنل های خورشیدی کم می‌شود و اثربخشی تولید برق افزایش می‌یابد. واحد پیل سوختی از هوای محیط و اکسیژن و هیدروژن تولیدی الکترولایزر غشای تبادل پروتون به‌عنوان سوخت استفاده می‌کند. منبع اصلی انرژی سیستم پنل‌های فتوولتائیک/حرارتی است. توان مورد نیاز پمپ حرارتی برای تولید سرمایش و گرمایش و همچنین الکترولایزر برای تولید اکسیژن و هیدروژن از توان کل سیستم تأمین می‌شود. الکترولایزر با دریافت سیال آب اقدام به الکترولیز مولکول‌های آب و تولید هیدروژن و اکسیژن می‌کند.

۳-آنالیز سیستم

سیستم پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS که یک نرم‌افزار شبیه‌سازی سیستم‌های انرژی برای حالت گذرا است، مدل‌سازی می‌شود.

۳-۱- پنل فتوولتائیک حرارتی

لوله‌هایی که سیال را در پشت پنل فتوولتائیک به گردش درمی‌آورند برای تولید برق و جذب انرژی حرارتی در پنل فتوولتائیک استفاده می‌شود. معادلات ۱ و ۲ برای تعیین دمای خروجی سیال انتقال حرارت و مقدار الکتریسیته تولید شده توسط پنل فتوولتائیک استفاده شده است [۲۲].

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

$$E_{PV/T} = (\tau\alpha)_n \cdot IAM \cdot G_T \cdot A \cdot \eta_{PV/T} \quad (۱)$$

$$T_{f,out} = \left(T_{f,in} + \frac{\varepsilon_m}{\kappa}\right) exp\left(\frac{N_{tubes}}{\dot{m}_f c_f}\frac{\kappa}{\theta}L\right) - \frac{\varepsilon_m}{\kappa} \quad (۲)$$

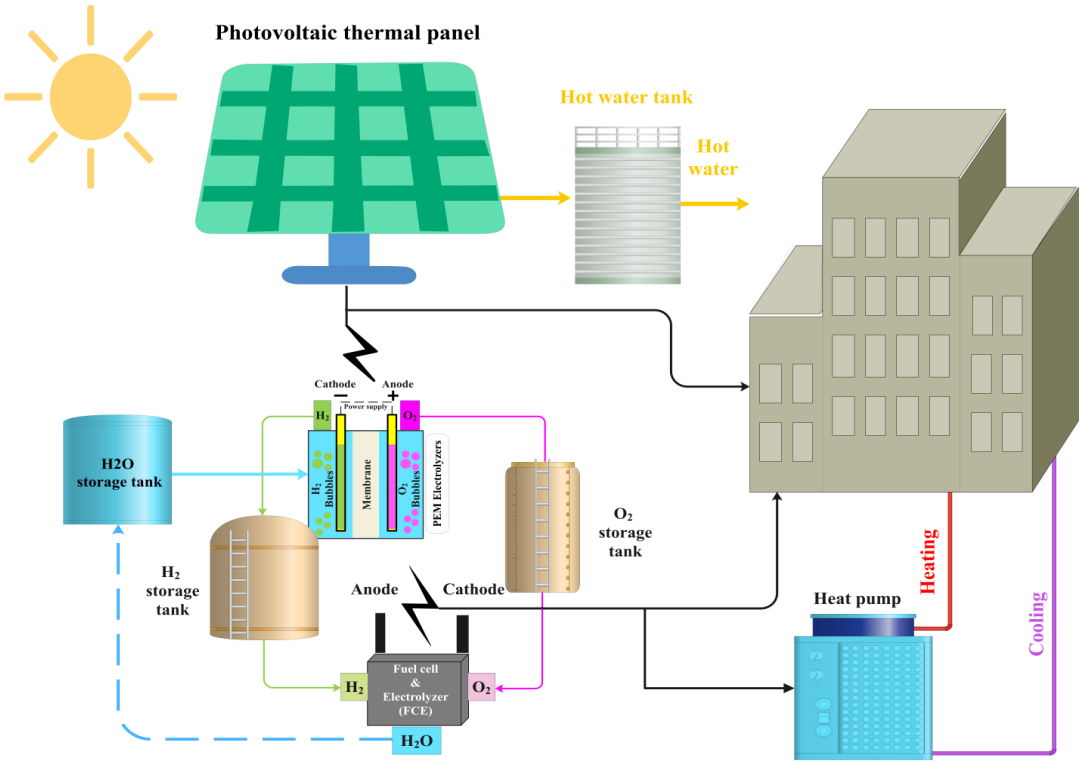
۳-۲- پمپ حرارتی

برای مدل‌سازی جریان گرما، از پمپ حرارتی نوع ۹۶۶ از کتابخانه ترنسیس استفاده شده است که چهار ضریب برای حالت سرمایش و دو ضریب برای حالت گرمایش برای کسری بای‌پس ظرفیت کل سرمایش/گرمایش جریان، ظرفیت سرمایش/گرمایش معقول محاسبه می‌کند. علاوه بر این، EIR به‌عنوان کسری از توان عرضه شده به ظرفیت نامی واحد در حالی که تحت شرایط نامی کار می‌کند، تعریف می‌شود [۲۳]. ضرایب مورد استفاده در حالت‌های سرمایش و گرمایش در معادلات ۳ و ۴ بیان شده است [۲۴].

$$\begin{cases} f_{totCool} = tc_1 + tc_2 T_{wb,in} + tc_3 T^2_{wb,in} + tc_4 T_{db,amb} + tc_5 T^2_{db,amb} + tc_6 T_{wb,in} T_{db,amb} \\ f_{sensCool} = sc_1 + sc_2 T_{wb,in} + sc_3 T^2_{wb,in} + sc_4 T_{db,amb} + sc_5 T^2_{db,amb} + sc_6 T_{wb,in} T_{db,amb} \\ f_{EIR,c} = cp_1 + cp_2 T_{wb,in} + cp_3 T^2_{wb,in} + cp_4 T_{db,amb} + cp_5 T^2_{db,amb} + cp_6 T_{wb,in} T_{db,amb} \\ f_{Bypass} = bf_1 + bf_2 T_{wb,in} + bf_3 T^2_{wb,in} + bf_4 T_{db,amb} + bf_5 T^2_{db,amb} + bf_6 T_{wb,in} T_{db,amb} \end{cases} \quad (۳)$$

$$\begin{cases} f_{heat} = th_1 + th_2 T_{wb,in} + th_3 T^2_{wb,in} + th_4 T_{db,amb} + th_5 T^2_{db,amb} + th_6 T_{wb,in} T_{db,amb} \\ f_{EIR,h} = hp_1 + hp_2 T_{wb,in} + hp_3 T^2_{wb,in} + hp_4 T_{db,amb} + hp_5 T^2_{db,amb} + hp_6 T_{wb,in} T_{db,amb} \end{cases} \quad (۴)$$

کسر بای پس، EIR، ظرفیت و ظرفیت معقول پس از محاسبه تمام ضرایب با ضرب مقدار اسمی هر پارامتر در ضریب مربوطه به دست آمد. آنتالپی و دمای هوای خارج شده از سیم‌پیچ با استفاده از رابطه ۵ تحلیل می‌شود. هنگامی‌که شرایط در خروجی هوای کویل مشخص می‌شود، هوای کویل با هوای بای پس مخلوط می‌شود که در معادله ۶ نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک سیستم پیشنهادی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

$$\begin{cases} \square_{coilOut} = \square_{airIn} - \dfrac{\dot{q}_{tot}}{\dot{m}_{air}(1 - f_{bypass})} \\ T_{coilOut} = T_{dbIn} - \dfrac{\dot{q}_{sens}}{\dot{m}_{air} C_{air}(1 - f_{bypass})} \end{cases} \quad (۵)$$

$$\begin{cases} \square_{airOut} = f_{bypass} \square_{airIn} + (1 - f_{bypass}) \square_{coilOut} \\ \omega_{airOut} = f_{bypass} \omega_{airIn} + (1 - f_{bypass}) \omega_{coilOut} \end{cases} \quad (۶)$$

۳-۳- واحد پیل سوختی

پیل سوختی قلیایی به‌صورت ریاضی با استفاده از نوع ۱۷۳ و با استفاده از روابط ۷ تا ۱۰ در ترنسیس مدل‌سازی می‌شود و توان خروجی پشته از معادله ۱۰ به دست آمد [۲۵]. علاوه بر این، بازده انرژی پیل سوختی با استفاده از ولتاژ سلول، آنتالپی هیدروژن در شرایط استاندارد، ثابت فارادی و تعداد الکترون‌ها محاسبه شد و طبق ۱۱ معادله محاسبه می‌شود [۲۶]. مصرف هیدروژن و گرمای کل پیل سوختی با استفاده از معادله ۱۲ و ۱۳ محاسبه می‌شود [۲۵].

$$U_{cell} = \frac{U_{mod}}{n_{c,ser}} \quad (۷)$$

$$U_{mod} = U_0 - b\,log(I_{stack}) - R_o \square m I_{stack} \quad (۸)$$

$$U_{stack} = n_{m,ser} U_{mod} \quad (۹)$$

$$E_{stack} = U_{stack} I_{stack} \quad (۱۰)$$

$$\eta_E = \frac{U_{cell}.n_e.F}{\Delta_{H_2}} \quad (۱۱)$$

$$\dot{V}_{H_2} = \frac{n_{c,ser} n_{m,ser} I_{FC}}{zF\rho_{gas}} S_{H_2} \eta_F \quad (۱۲)$$

$$Q_{gen} = E_{stack}\left(\frac{1 - \eta_E}{\eta_E}\right) \quad (۱۳)$$

۳-۴- واحد الکترولیز

آنالیز الکترولایزر توسط آنالیز ترمودینامیکی و اصول انتقال حرارت کنترل می‌شود. نرخ کلی تولید هیدروژن الکترولایزر که با تعداد سلول‌های متصل به‌صورت سری تعیین می‌شود، می‌تواند از معادله ۱۴ محاسبه شود [۲۴-۲۸]:

$$\dot{n}_{H_2} = \eta_f N_{cells} \frac{I_{ely}}{nF} \quad (۱۴)$$

جدول ۱ داده‌های ورودی اولیه را برای مدل‌سازی و حل سیستم پیشنهادی ارائه می‌دهد. بر اساس گزارش‌ها ارائه شده [۲۹] در محاسبات از قیمت خرید و قیمت فروش برق استفاده شده است.

جدول ۱- داده‌های ورودی برای مدل‌سازی و حل سیستم پیشنهادی.

Item	Parameter	Value	unit	Reference
Wind turbine	rated power	100	kW	[30]
	hub height	40	m	[30]
	Model	2019 COE DW 100	(-)	[30]

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

photovoltaic panel	Dimension	1.658×0.992	m	[31]
	bond thermal conductivity	45	$W.m^{-1}.K^{-1}$	[31]
	Slope	33	°	[27]
Alkaline fuel cell	electrode area	100	cm^2	[32]
	number of fuel cell modules in series per stack	64	(-)	[32]
Hot water tank	Volume	16.5	m^3	[23]
Electrolyzer	electrode area	0.25	m^2	[32]
	number of cells is series	70	(-)	[32]
	number of stacks in parallel	3	(-)	[32]
	thermal resistance	0.0563	K/W	[32]
Lifetime	System lifespan	25	years	[33]
Compressed gas tank	maximum pressure	400	bar	[32]
	Volume	50	m^3	[32]
Battery	Type	Lead Acid	(-)	[32]
	number of cells in series	110	(-)	[32]
	nominal battery storage capacity	690 Ah	(-)	[32]
Heat pump	bypass fraction	0.1148	(-)	[29]
	cooling energy input ratio	0.256	(-)	[29]
Electricity	purchase price	0.02	$/kWh	[34]
	sale price	0.046	$/kWh	[34]
Natural gas	purchase price	0.03	$/m^3$	[34]

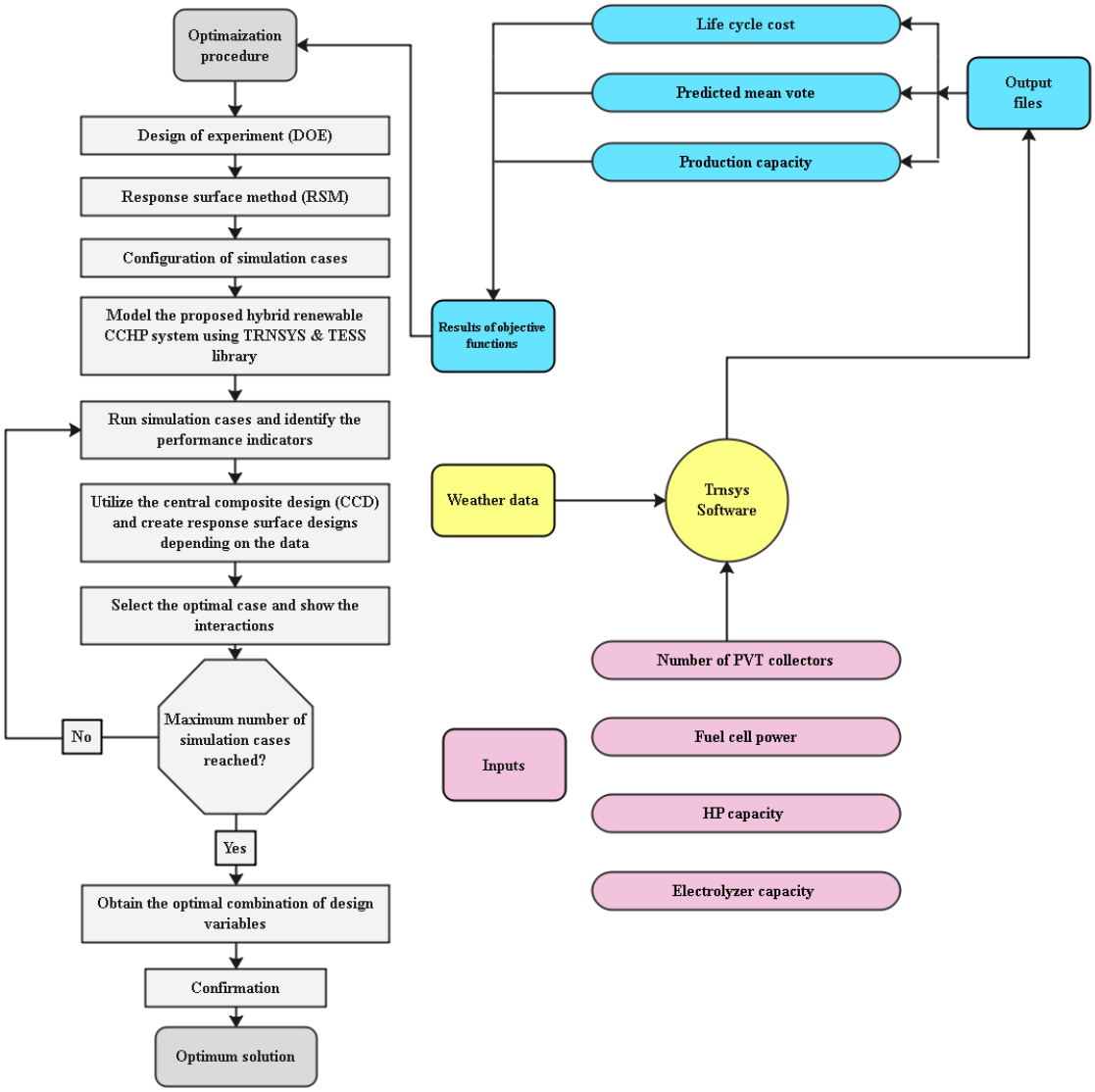
در جدول ۲ داده‌های اولیه جهت شروع فرآیند مدل‌سازی ارائه شده است.

جدول ۲- داده‌های اولیه شبیه‌سازی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

پارامتر	مقدار
ظرفیت پیل سوختی	۱۰۰
ظرفیت پمپ حرارتی	۵۰
ظرفیت الکترولایزر	۱۰۰
تعداد پنل خورشیدی	۱۵۰۰

فلوچارت روش حل مسئله در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- فلوچارت روش تحقیق

۴- ساختمان

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

در این پژوهش یک مجتمع آپارتمانی ۱۰ ساختمان ۴ طبقه و هر طبقه دارای ۲ واحد است. هر واحد یک منطقه مسکونی معمولی با مساحت ۱۹۰ مترمربع در نظر گرفته شد که این آپارتمان دارای مشخصات ساختاری است که در جدول ۳ این اطلاعات ارائه شده است. لازم به ذکر است که فرض شد در هر واحد ۴ نفر و مجموعاً ۳۲۰ نفر در این مجتمع اپارتمانی زندگی می‌کنند.

جدول ۳- اطلاعات جزییات هر واحد در مجتمع آپارتمانی انتخابی.

Section	Item	Value	unit
Building	area	190	m^2
	Number	2	m^2
Window	area	3	-
	Overall heat transfer coefficient	3	$\frac{W.m^{-2}}{K^{-1}}$
roof	Overall heat transfer coefficient	0.29	$\frac{W.m^{-2}}{K^{-1}}$
	Solar absorptance	0.5	-
walls	Overall heat transfer coefficient	0.6	$\frac{W.m^{-2}}{K^{-1}}$
	Solar absorptance	0.5	-
floor	Overall heat transfer coefficient	0.29	$\frac{W.m^{-2}}{K^{-1}}$
Ceiling	height	2.9	m

به‌منظور مدل‌سازی دقیق و رسیدن به نتایج واقعی مقادیر Radiative، Convective، Electric power fraction، Abs. humidity مربوط به ساکنین داخل ساختمان، میزان روشنایی، تجهیزات برقی در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- مشخصات لودهای داخل ساختمان.

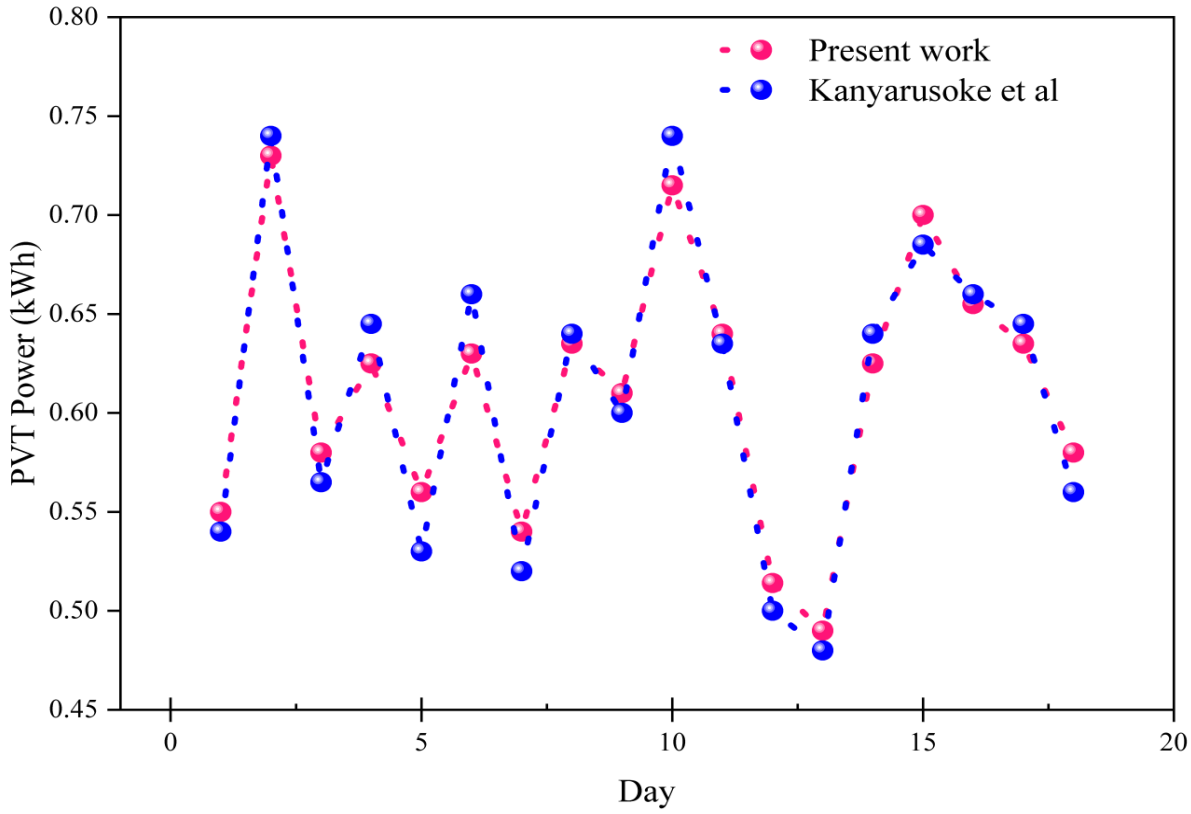
Gain	Radiative	Convective	Electric power fraction	Abs. humidity
People	72	144	0	0.059
Electrical equipment	14904	4968	1	0
Lights	388	166	1	0

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۵-نتایج

۵-۱- اعتبارسنجی

به علت اینکه سیستم ارائه شده، یک سیستم جدید است، پنل فتولتائیک-حرارتی جهت اعتبارسنجی انتخاب شد. اعتبار سنجی پنل های فتولتائیک-حرارتی نشان داده شده در نرم‌افزار ترنسیس با پژوهش کانیاروسکی و همکاران [۳۵] در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج اعتبارسنجی پنل خورشیدی فتوولتائیک نشان می‌دهد، این مقایسه برای بررسی میزان برق تولید شده در ۲۰ روز بررسی شده است، نتایج نشان‌دهنده اعتبار خوب این شبیه‌سازی گذرا و درصد خطای بسیار پایین است.

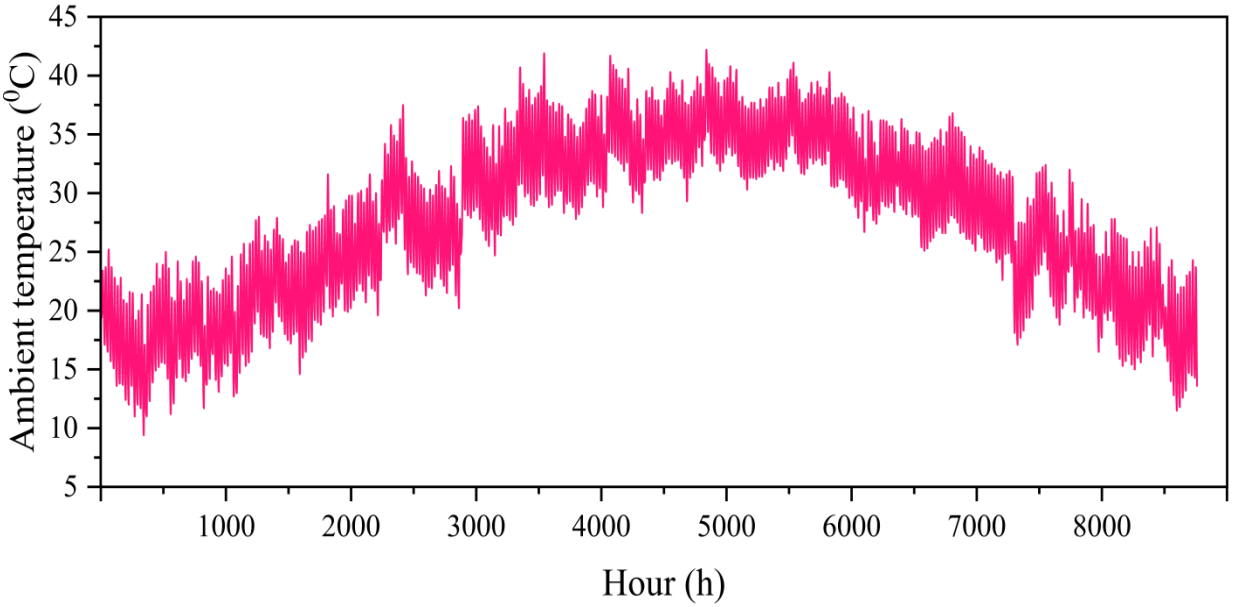


شکل ۳- اعتبارسنجی.

۵-۲- مطالعه موردی

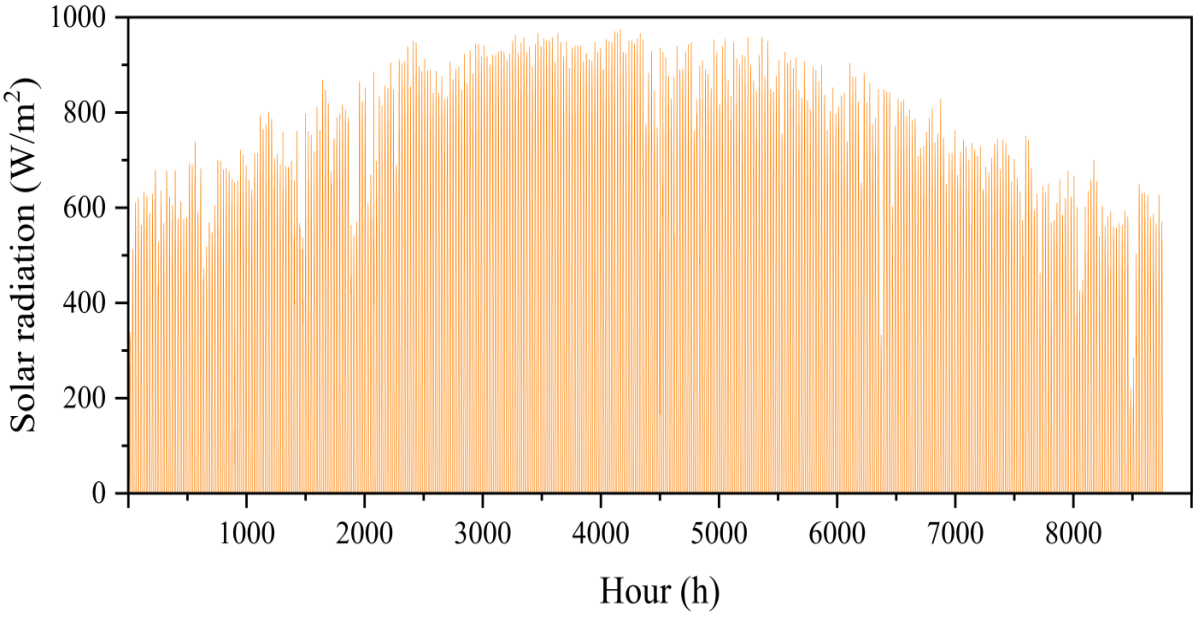
با توجه به وابستگی سیستم به انرژی تجدید پذیر خورشیدی منطقه انتخابی در کشور ایران جز پر پتانسیل‌ترین منطقه خورشیدی محسوب می‌شود و این شهر بندرلنگه از تعداد ساعات خورشیدی بالایی برخوردار است. به همین دلیل تأثیر تغییرات شدت تابش خورشیدی و دمای محیط مناطق مختلف به‌صورت ساعتی بر روی عملکرد سیستم بررسی شد. تغییرات دمای محیط در طول سال به‌صورت ساعتی برای بندرلنگه در شکل ۴ رسم شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد دمای محیط بندرلنگه در طول سال بین ۰ تا ۴۵ درجه سانتی گراد است و از مناطق گرم خیز محسوب می‌شوند.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۴- تغییرات دمای محیط در طول سال به‌صورت ساعتی.

تغییرات شدت تابش خورشیدی در طول سال به‌صورت ساعتی برای بندرلنگه در شکل ۵ رسم شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد تغییرات شدت تابش خورشیدی بندرلنگه در طول سال بین ۰ تا ۱۰۰۰ وات بر مترمربع است که نتایج نشان می‌دهد بندرلنگه از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی در ساعت برخوردار هستند.



شکل ۵- تغییرات شدت تابش خورشیدی در طول سال به‌صورت ساعتی.

نتایج بررسی عملکرد سیستم در بندرلنگه در جدول ۵ ارائه شده است و این نتایج حاصل از فعالیت یک سال سیستم است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

جدول ۵- نتایج مجموع یک سال عملکرد سیستم در بندرلنگه

Output	Value
PVT	532195.33
Fuel cell	408652.51
Heating (kWh)	3003.85
Cooling (kWh)	519159.57
Hydrogen (m3/h)	678393.11
Oxygen (m^3/h)	339196.55
PMV	0.45
LCC ($)	472846.13
Production capacity (kWh)	940847.84

علاوه بر تولیدات کلی سیستم در یک سال در شهر بندرلنگه که در جدول ۵ به‌صورت سالانه برای سیستم طراحی شده گزارش شد در جدول ۶ حداکثر برق تولیدی و برق مصرفی و مورد درخواست مجتمع مسکونی ۸۰ واحدی و برق مازادی که به شبکه سراسری توزیع برق در یک سال فروخته می‌شود، محاسبه شده است. علامت منفی نشانگر برق اضافی تولید شده است.

جدول ۶- آنالیز برق تولیدی، برق مصرفی و برق مازادی

Yearly electricity production (kWh)	Yearly electricity consumption (kWh)	Yearly net electricity consumption (kWh)
940847.84	716722.76	-224125.09

۵-۳- بهینه‌سازی

بهینه‌سازی چندهدفه این پژوهش با روش سطح پاسخ انجام می‌شود که در نهایت به معرفی بهینه‌ترین مقادیر برای توابع هدف و متغیرهای بهینه‌سازی می‌پردازد. روش‌شناسی سطح پاسخ مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی است که رابطه بین یک یا چند متغیر پاسخ را با چندین متغیر مستقل تعیین می‌کند. هدف در طراحی‌های سطح پاسخ، بهینه‌سازی پاسخ (متغیر خروجی) است که تحت تأثیر چندین متغیر مستقل (متغیر ورودی) قرار می‌گیرد [۳۶ و ۳۷].

مطالعه بهینه‌سازی با استفاده از روش سطح پاسخ را می‌توان به شش مرحله به شرح زیر تقسیم کرد:

۱. انتخاب متغیرهای مستقل از تأثیرات عمده بر روی سیستم از طریق مطالعات غربالگری و تعیین حدود محدوده آزمایشی، با توجه به هدف مطالعه و تجربه محقق.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۲. انتخاب طرح آزمون و انجام آزمون‌ها با توجه به رشته آزمون انتخابی
۳. آنالیز آماری ریاضی داده‌های تجربی به‌دست‌آمده از تابع چندجمله‌ای مناسب
۴. ارزیابی تناسب
۵. تائید ضرورت و امکان حرکت به منطقه موردنظر
۶. به دست آوردن مقادیر بهینه برای هر متغیر مورد مطالعه

هدف از این روش بهینه‌سازی بررسی اثرات عوامل بر پاسخ‌ها برای دستیابی به ترکیبی بهینه از عوامل است [۳۸]. مزیت اصلی روش بهینه‌سازی روش سطح پاسخ در مقایسه با سایر روش‌های بهینه‌سازی، کاهش تعداد کل موارد شبیه‌سازی مورد نیاز برای بررسی و همچنین ترکیب عوامل و شبیه‌سازی پاسخ‌های انتخابی است [۳۹].

با استفاده از CCD، مدل عمومی RSM مرتبه دوم در معادله ۱۵ بیان شده است.

$$y = r_0 + \sum_{i=1}^{n_f} r_i x_i + \sum_{i=1}^{n_f} r_{ii} {x_i}^2 + \sum_{i<j=2} \sum^{n_f} r_{ij} x_i x_j \quad (۱۵)$$

که در این رابطه، y نشان‌دهنده پاسخ انتخاب‌شده، xعامل، nf تعداد عوامل و r نشان‌دهنده ضرایب مدل به‌دست‌آمده از تحلیل رگرسیون است.

به‌منظور بهینه‌سازی، سه تابع هدف انتخاب‌شده است که شامل میزان برق تولیدی سیستم، ضریب آسایش حرارتی و هزینه چرخه عمر است.

توان تولیدی ساختمان از مجموع برق تولیدی واحد پنل خورشیدی و واحد پیل سوختی به دست می‌آید که با استفاده از رابطه ۱۶ محاسبه می‌شود.

$$Production\ capacity = W_{P\square otovoltaic\ t\square ermal\ panel} + W_{Fuel\ cell} \quad (۱۶)$$

آسایش حرارتی حاصل از سیستم با استفاده از پارامتر PMV محاسبه می‌شود که از معیارهای مناسب و کاربردی مورد استفاده برای ارزیابی آسایش حرارتی [۴۰ و ۴۱] که توسط معادله ۱۸ به دست می‌آید.

$$BFC = \frac{\sum_{i=1}^{n_t} \left(\dot{m}_f c_f \left(T_{setpoint} - T_{f,inlet}\right).f_{boiler}\right)}{\square_{boiler} LHV} \quad (۱۷)$$

$$PMV = [0.303 \times exp(-0.036M) + 0.028] \times L_B \quad (۱۸)$$

هزینه چرخه عمر به‌عنوان یک پارامتر اقتصادی برای تعیین عملکرد اقتصادی سیستم انتخاب‌شده و با استفاده از معادله ۱۹ محاسبه شده است [۴۲ و ۴۳]

$$LCC = I_C + PWF \times AOC - R_I \quad (۱۹)$$

$$PWF = \begin{cases} \dfrac{1}{d-i}\left[1 - \left(\dfrac{i+1}{d+1}\right)^{n_L}\right] & if \quad i^1 d \\ \dfrac{n_L}{i+1} & if \quad i = d \end{cases} \quad (۲۰)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

چرخه عمر شامل دوره زمانی است که با شناسایی نیاز به یک دارایی شروع می‌شود و با از کار انداختن دارایی به پایان می‌رسد. هزینه‌یابی چرخه عمر فرآیندی برای آنالیز اقتصادی و ارزیابی کل هزینه‌های مربوط به خرید، نصب، نگهداری و تعمیرات، نوسازی و اسقاط و به‌طورکلی هزینه کل مالکیت تجهیزات است و مدیریت چرخه عمر رویکردی برای تصمیم‌گیری در مورد آن است. خرید و یا کسب هر دارایی جدید توسط تمام هزینه‌ها در مراحل مختلف در نظر گرفته شده و مدیریت می‌شود. از کاربرد تحلیل هزینه چرخه عمر می‌توان به کنترل و کاهش هزینه‌ها، انتخاب سودمندترین استراتژی خرید و خرید، تحلیل اقتصادی طرح، ارزیابی اقتصادی کارایی فناوری جدید اشاره کرد.

برای بهینه‌سازی ۴ متغیر تأثیرگذار که در جدول ۵ معرفی شدند، جهت بررسی تأثیر ان ها بر روی عملکرد سیستم انتخاب‌شده‌اند و به‌عنوان متغیرهای بهینه‌سازی معرفی شدند.

فرضیات مورد استفاده در بهینه‌سازی به شرح زیر است:

- شهر موردنظر بندرلنگه در نظر گرفته شد.
- در محاسبات اقتصادی عمر سیستم ۲۵ سال در نظر گرفته شد
-

جدول ۵- کران بالا و پایین متغیرهای تصمیم‌گیری

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit
Number of panels	is in range	675	1425
Fuel cell capacity (kWh)	is in range	52.5	97.5
Electrolyzer capacity (kWh)	is in range	52.5	97.5
Heat pump capacity (kWh)	is in range	40	80

در جدول ۶ نتایج حاصل از ۳۲ ران گرفته شده از نرم‌افزار ترنسیس جهت تحلیل بهینه‌سازی ارائه شده است؛ که این نتایج شامل تغییرات توابع هدف نسبت به مقدار متغیرهای بهینه‌سازی و تعیین مقدار نهایی آن ها توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت است.

جدول ۶- نتایج استخراج مدل طراحی شده جهت بهینه‌سازی

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Response 1	Response 2	Response 3
Run	Number of panels	Fuelcell capacity (kWh)	Electrolyzer capacity (kWh)	Heat pump capacity (kWh)	Production capacity (kWh)	LCC ($)	PMV
1	1050	30	75	60	423132	334643	0.43
2	1050	75	75	60	607026	427618	0.43
3	1425	52.5	52.5	80	648828	433112	0.44
4	1050	75	75	100	585026	488608	0.45
5	1425	52.5	97.5	80	625428	378165	0.44
6	675	52.5	97.5	80	359330	446139	0.44
7	1050	120	75	60	790920	520593	0.43
8	1050	75	75	60	607026	427618	0.43
9	675	97.5	52.5	40	588624	421071	0.48
10	1050	75	75	20	629026	366628	0.9
11	1425	97.5	52.5	80	832722	470087	0.44
12	1425	97.5	97.5	80	809322	527140	0.44
13	675	52.5	97.5	40	381330	329149	0.48

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

14	1050	75	75	60	607026	483618	0.43
15	1050	75	30	60	630426	426565	0.43
16	300	75	75	60	340928	439593	0.43
17	1425	97.5	52.5	40	854722	465097	0.48
18	1050	75	75	60	607026	427618	0.43
19	1050	75	120	60	583626	428671	0.43
20	675	97.5	97.5	40	565224	478124	0.48
21	1425	52.5	97.5	40	647428	373175	0.48
22	675	52.5	52.5	80	382730	389086	0.44
23	675	52.5	52.5	40	404730	384096	0.48
24	1050	75	75	60	607026	371618	0.43
25	675	97.5	97.5	80	543224	483114	0.44
26	675	97.5	52.5	80	566624	538061	0.44
27	1425	52.5	52.5	40	670828	316122	0.48
28	1050	75	75	60	607026	427618	0.43
29	1800	75	75	60	873124	415644	0.43
30	1050	75	75	60	607026	427618	0.43
31	1050	75	75	60	607026	427618	0.43
32	1425	97.5	97.5	40	831322	410150	0.48

در بهینه‌سازی به روش سطح پاسخ ، ۱۰۰ نقطه به‌عنوان بهینه‌ترین نقاط برای توابع هدف و متغیرهای تصمیم از ۳۲ گرفته شده، انتخاب‌شده است که به ترتیب نشان‌دهنده بهینه‌ترین و بهترین راه‌حل هستند که سیستم می‌تواند به آن‌ها برسد. در جدول ۷، نتیجه بهینه‌ترین راه‌حل به‌دست‌آمده از روش RSM برای تعیین مقدار بهینه متغیرهای تصمیم‌گیری ارائه شده است. این پاسخ پس از غربالگری انجام‌شده از روش بهینه‌سازی چندهدفه استفاده شده، معرفی می‌شود.

جدول ۷- نتایج بهینه.

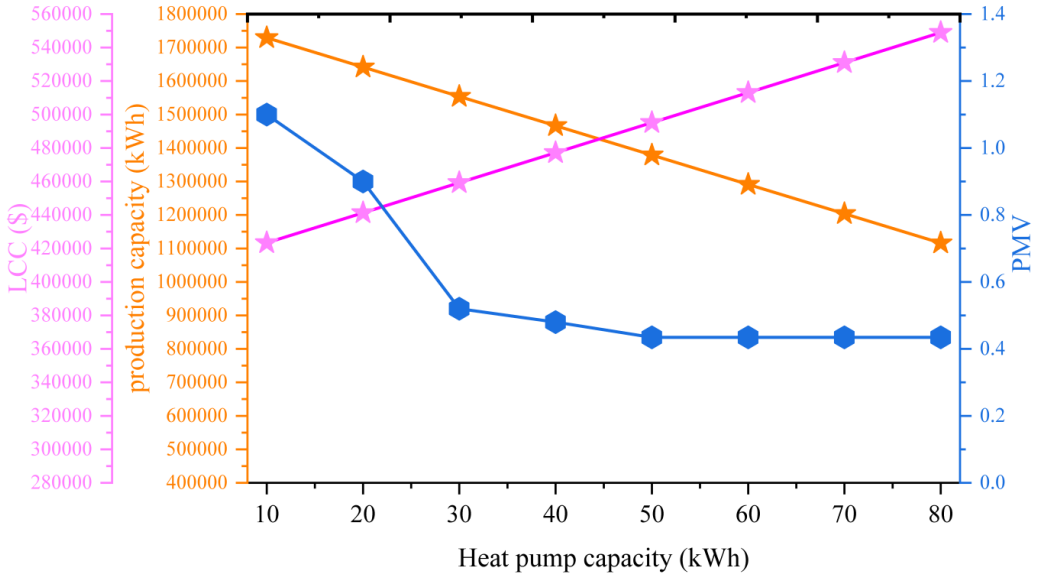
Parameter	Value
Number of panels	1425
Fuel cell capacity (kWh)	65.99
Electrolyzer capacity (kWh)	52.5
Heat pump capacity (kWh)	40.01
Production capacity (kWh)	725955.250
LCC ($)	344014.637
PMV	0.43

۴-۵- مطالعه پارامتریک

جهت بررسی تأثیر پارامترهای طراحی شامل مساحت دیش خورشیدی، ظرفیت سرمایش پمپ حرارتی و ظرفیت گرمایش پمپ حرارتی به بررسی افزایش این پارامترها بر روی سه تابع هدف برق تولیدی، ضریب آسایش حرارتی و هزینه چرخه عمر پرداخته شد. در شکل ۶ تأثیر افزایش ظرفیت پمپ حرارتی بر روی میزان برق تولیدی، ضریب آسایش حرارتی و هزینه چرخه عمر سیستم بررسی شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد افزایش این پارامتر تأثیر منفی بر روی تابع هدف تولید برق دارد و

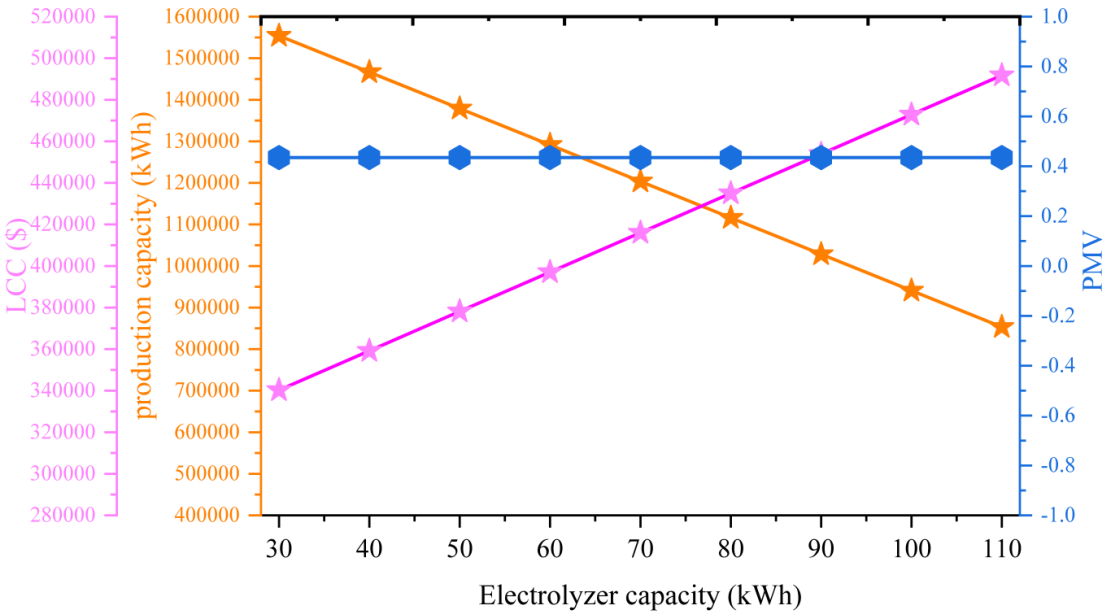
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

از طرفی با کاهش برق تولیدی سیستم هزینه چرخه عمر سیستم افزایش می‌یابد. با افزایش ظرفیت سرمایش پمپ حرارتی برای تولید بیشتر سرمایش و گرمایش، میزان برق مصرفی پمپ حرارتی نیز افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است برق مورد نیاز پمپ حرارتی از برق تولیدی سیستم تأمین می‌شود. پس با افزایش برق مصرفی پمپ حرارتی، برق تولیدی سیستم که به شبکه برق داده می‌شود کاهش می‌یابد.



شکل ۶- تأثیر افزایش ظرفیت پمپ حرارتی بر عملکرد فنی و اقتصادی سیستم.

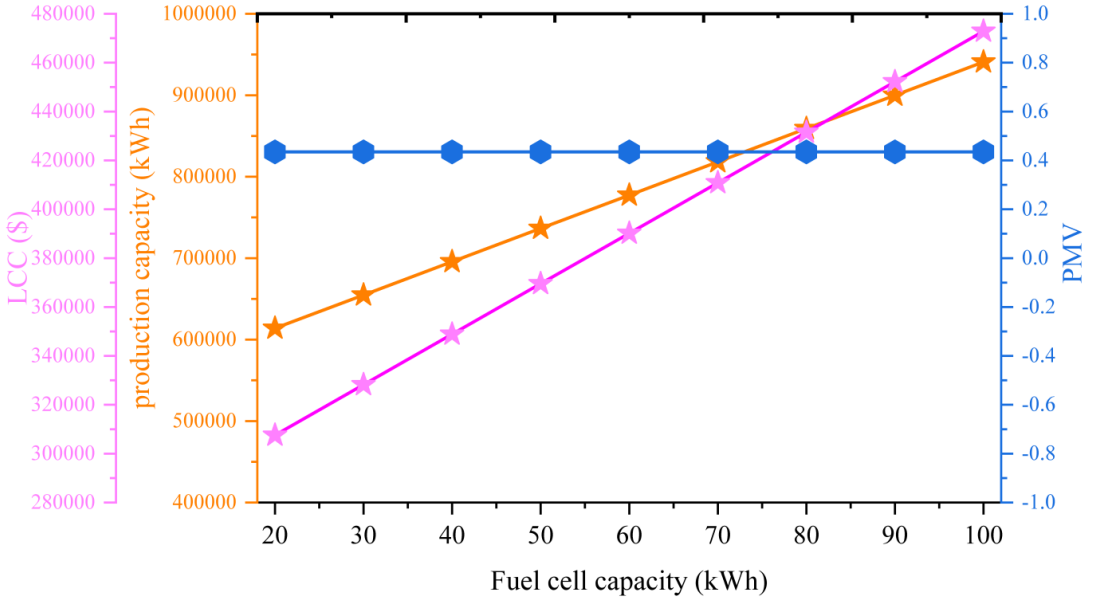
در شکل ۷ تأثیر افزایش ظرفیت واحد الکترولایزر بر روی عملکرد سیستم بررسی شده است. با افزایش ظرفیت الکترولایزر میزان برق مصرفی این واحد برای تولید هیدروژن و اکسیژن افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان برق تولیدی کلی سیستم که برای مصارف مسکونی استفاده می‌شود کاهش می‌یابد و از طرفی هزینه چرخه عمر سیستم نیز به دلیل کاهش برق تولیدی، افزایش می‌یابد. تحلیل هزینه چرخه عمر تجهیزات با تعریف مسئله و تعیین دامنه آغاز می‌شود.



شکل ۷- تأثیر افزایش ظرفیت الکترولایزر بر عملکرد فنی و اقتصادی سیستم.

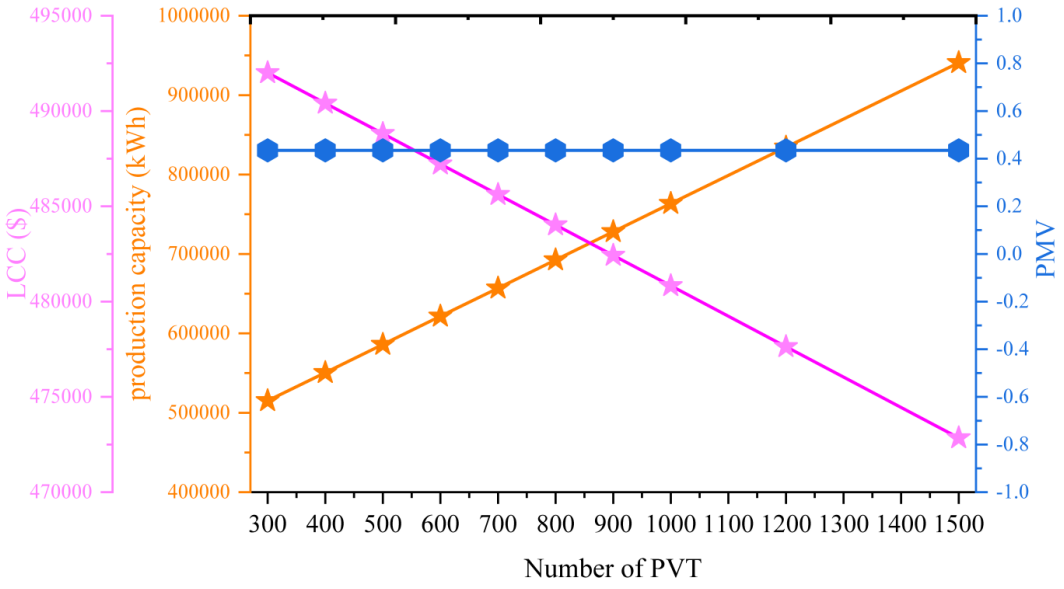
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

در شکل ۸ تأثیر افزایش ظرفیت واحد پیل سوختی بر روی عملکرد سیستم بررسی شده است. لازم به ذکر است. با افزایش ظرفیت واحد پیل سوختی میزان برق تولیدی کل سیستم نیز افزایش می‌یابد، همچنین می‌توان گفت نرخ تولید آب گرم نیز افزایش می‌یابد چرا که پیل سوختی وظیفه تولید برق و حرارت را برعهده دارد و حرارتی تولیدی پیل سوختی برای تولید آب گرم استفاده می‌شود. با توجه به افزایش فعالیت سیستم، هزینه‌ها نیز به دلیل افزایش ظرفیت تولید، افزایش می‌یابد.



شکل ۸- تأثیر افزایش ظرفیت پیل سوختی بر عملکرد فنی و اقتصادی سیستم.

در شکل ۹ تأثیر افزایش تعداد پنل خورشیدی بر روی بر روی میزان برق تولیدی و هزینه چرخه عمر سیستم بررسی شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش تعداد پنل خورشیدی برق تولیدی سیستم افزایش می‌یابد چرا که با جذب انرژی حرارتی بیشتر توسط پنل خورشیدی میزان برق تولیدی سیستم افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش تولید برق هزینه چرخه عمر سیستم کاهش می‌یابد.

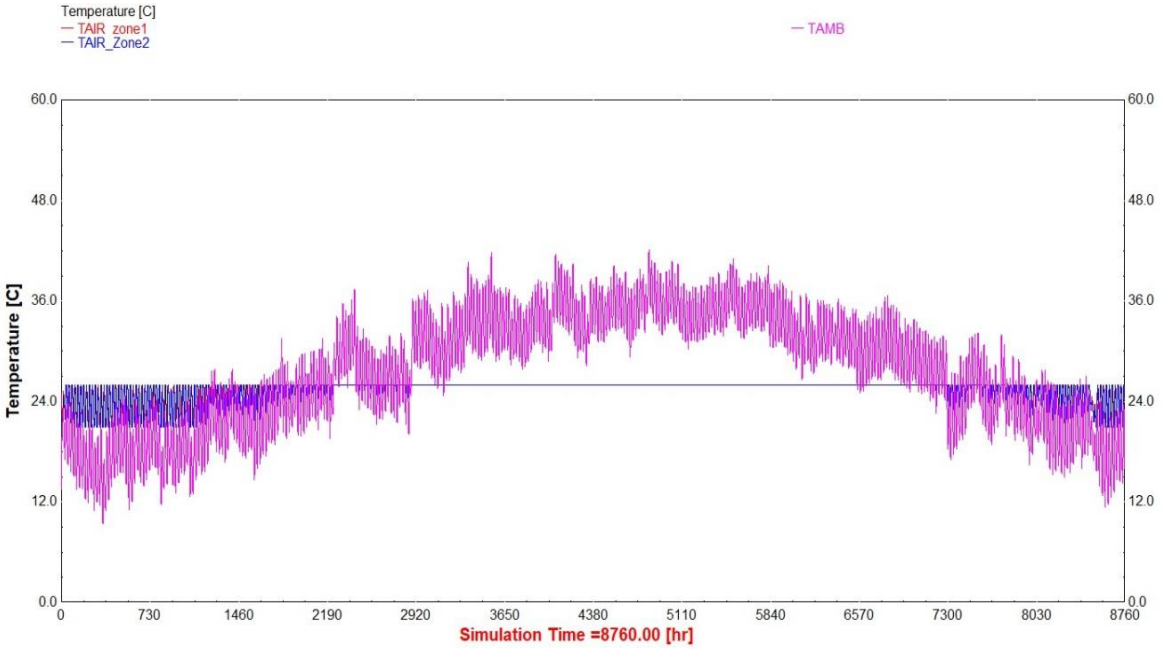


شکل ۹- تأثیر افزایش تعداد پنل خورشیدی بر عملکرد فنی و اقتصادی سیستم.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۵-۵- عملکرد ساعتی سیستم

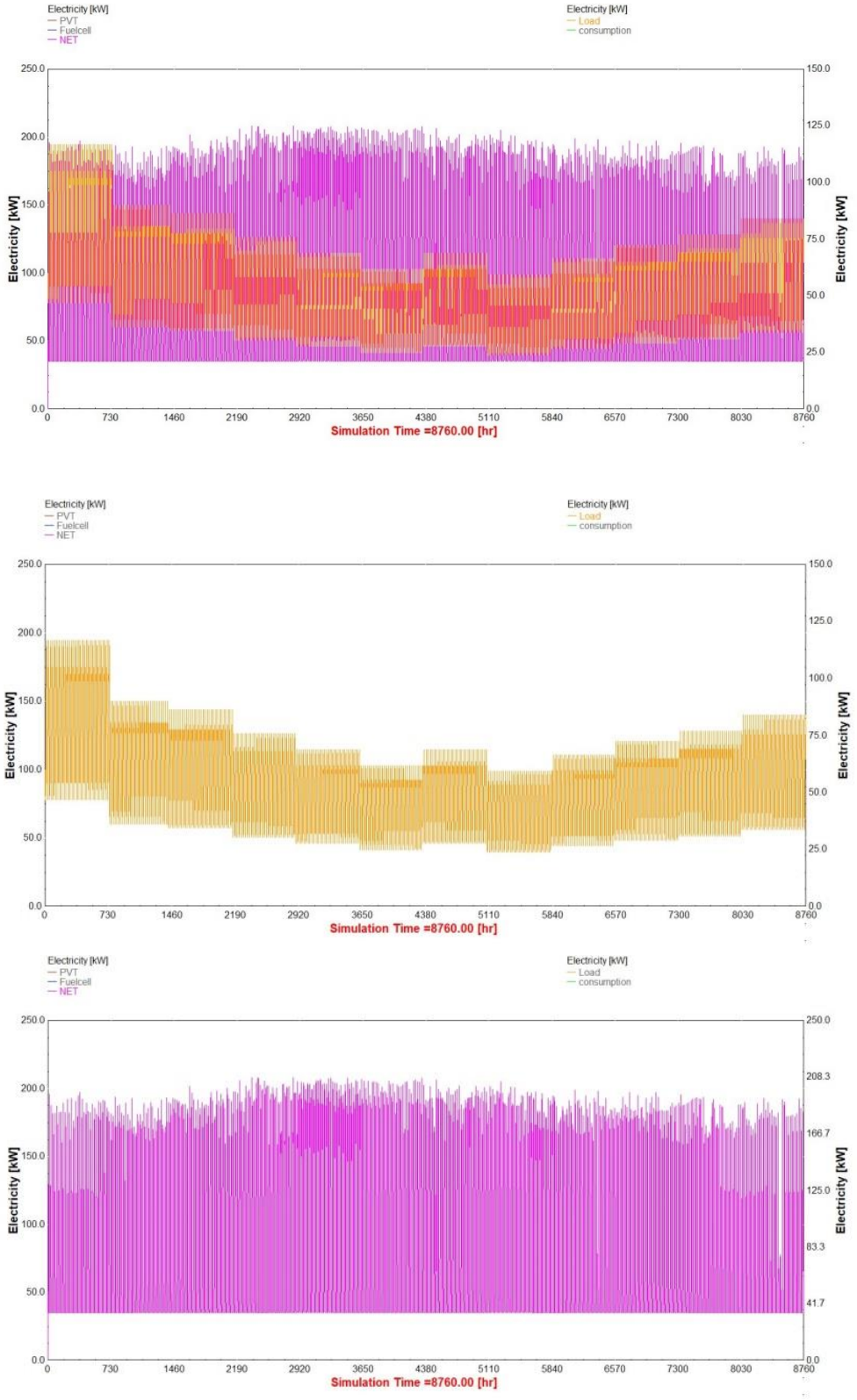
در شکل ۱۰ مقدار دمای محیط شهر بندرلنگه در طول سال و به‌صورت ساعتی یعنی ۸۷۶۰ ساعت محاسبه شده است. تحلیل نتایج نشان می‌دهد بیشترین دما مربوط به فصل تابستان و کمترین رنج دمایی شهر بندرلنگه مربوط به فصل زمستان است. همچنین تغییرات دمایی دو زون یا همان منطقه انتخابی در ساختمان مورد بررسی و در طول سال به‌صورت ساعتی یعنی ۸۷۶۰ ساعت محاسبه شده است. همان‌طور که تحلیل نتایج نشان می‌دهد با افزایش یا کاهش دمای محیط، دمای داخل ساختمان مورد بررسی نیز افزایش و کاهش پیدا می‌کند و بیشترین دما مربوط به فصل تابستان و ماه‌های ژوئن و جولای است. نتایج نشان می‌دهد دمای داخل ساختمان در محدوده ۲۱ تا ۲۵ درجه سانتی گراد در حال تغییر است که دمای آسایش این ساختمان نیز در نظر گرفته می‌شود. پس می‌توان گفت در طول سال دمای آسایش بین ۲۱ تا ۲۵ درجه سانتی گراد برای ساختمان است.



شکل ۱۰- دمای محیط و دمای دو نواحی مجتمع مسکونی به‌صورت ساعتی.

در شکل ۱۱ میزان برق مصرفی ساختمان محاسباتی و میزان برق تولیدی کل سیستم در این پژوهش و در شهر بندرلنگه به‌صورت ساعتی محاسبه شده است. همان‌طور که نتایج میزان برق مصرفی شهر بندرلنگه نشان می‌دهد لود برق ساختمان در طول سال تقریباً بین ۴۵ کیلووات ساعت در کمترین مقدار و ۲۰۰ کیلووات ساعت در بیشترین مقدار خود است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد سیستم پیشنهادی در تمان فصول و ماه‌های سال می‌توان برق مورد نیاز ۸۰ واحد مسکونی را در طول سال تأمین نماید و علاوه بر ان برق مازاد تولیدی را به شبکه سراسری برق بفروشد و با فروش برق تولیدی اضافی در فصل‌های گرم سال، می‌توان هزینه‌های سیستم را تأمین کرد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

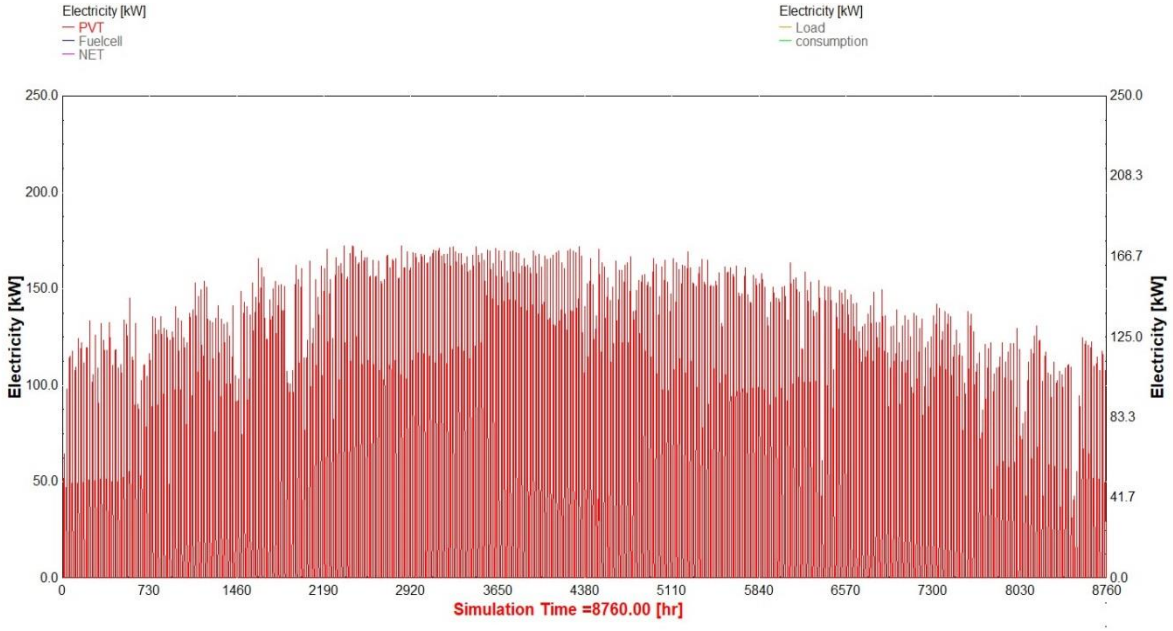


شکل ۱۱- مجموع برق تولیدی و برق مورد نیاز مجتمع مسکونی در طول سال به‌صورت ساعتی

در شکل ۱۲ میزان برق تولیدی پنل فتوولتائیک حرارتی به‌صورت ساعتی برای یک سال شهر بندرلنگه بررسی شده است. لازم به ذکر است در این سیستم تولید برق عمده سیستم بر عهده پنل های فتوولتائیک حرارتی هست و انرژی حرارتی مورد نیاز پنل

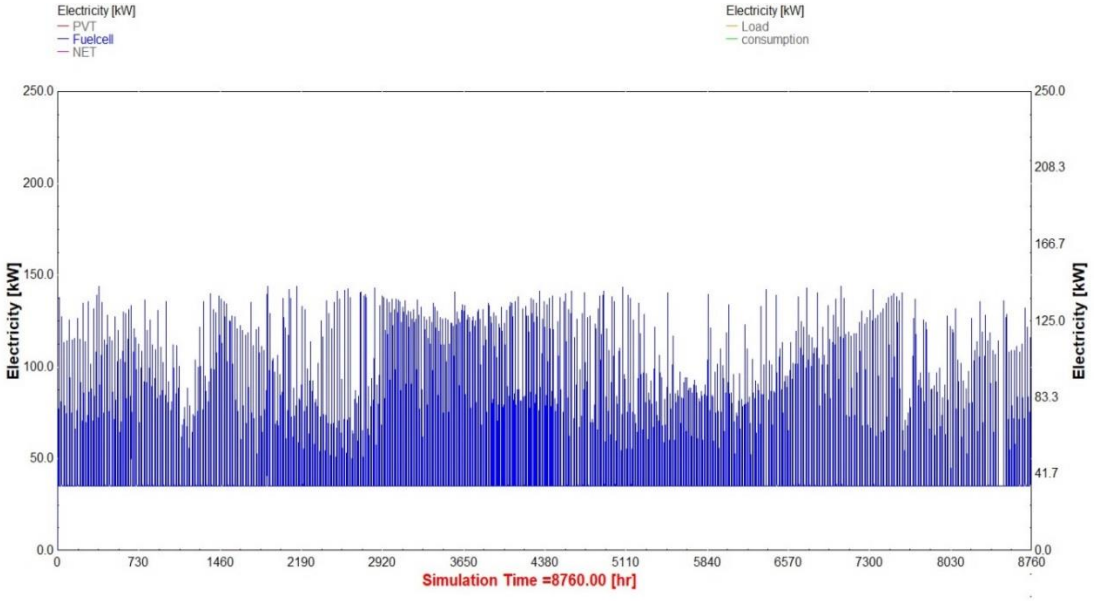
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

ها توسط جذب انرژی خورشیدی تأمین می‌شود. پس باید گفت به با افزایش یا کاهش شدت تابش خورشیدی در طول سال میزان برق تولیدی سیستم تغییرات دارد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد کمترین میزان برق تولیدی پنل های خورشیدی در طول سال بین ۰ کیلووات ساعت و ۱۷۰ کیلووات ساعت است.



شکل ۱۲- میزان برق تولیدی پنل های خورشیدی در طول سال به‌صورت ساعتی

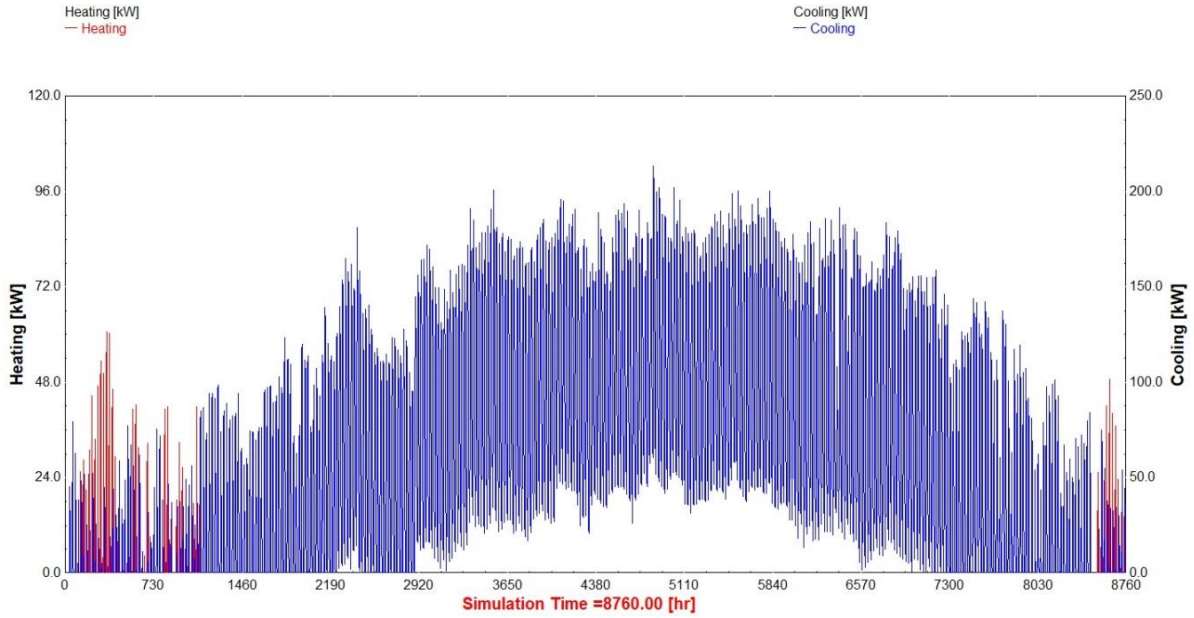
در شکل ۱۳ میزان برق تولیدی پیل سوختی در طول سال و به‌صورت ساعتی برای شهر بندرلنگه بررسی شده است. سوخت مورد نیاز پیل سوختی توسط هیدروژن و اکسیژن تولیدی الکترولایزر تأمین می‌شود و با تغییر و نوسانات تولید هیدروژن و اکسیژن عملکرد پیل سوختی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. هدف از استفاده پیل سوختی جهت کم کردن نوسانات تولید برق توسط پنل های خورشیدی به دلیل ناپایدار بودن انرژی خورشیدی است.



شکل ۱۳- میزان برق تولیدی پیل سوختی در طول سال به‌صورت ساعتی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

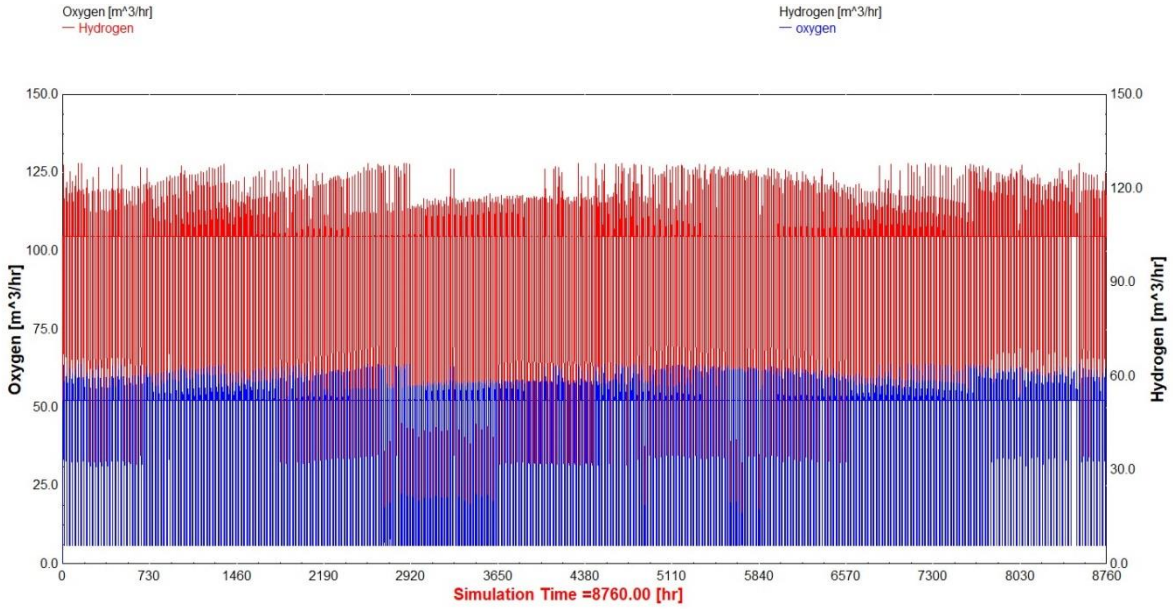
در شکل ۱۴ میزان سرمایش و گرمایش تولیدی سیستم در طول سال به‌صورت ساعتی برای شهر بندرلنگه نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با توجه به اینکه در فصل سرد نیاز به گرمایش است و در فصل گرما نیاز به سرمایش منازل مسکونی وجود دارد، به همین دلیل سیستم پیشنهادی در طول ماه‌های سرد اقدام به تولید گرمایش می‌کند و در فصل‌های گرم اقدام به تولید سرمایش می‌کند و می‌توان دریافت در زمانی که دمای محیط افزایش می‌یابد، سیستم باید سرمایش تولید کند و در زمانی که دمای محیط کاهش می‌یابد، سیستم به علت نیاز به گرمایش، باید گرما تولید کند.



شکل ۱۴- گرمایش و سرمایش تولیدی سیستم در طول سال.

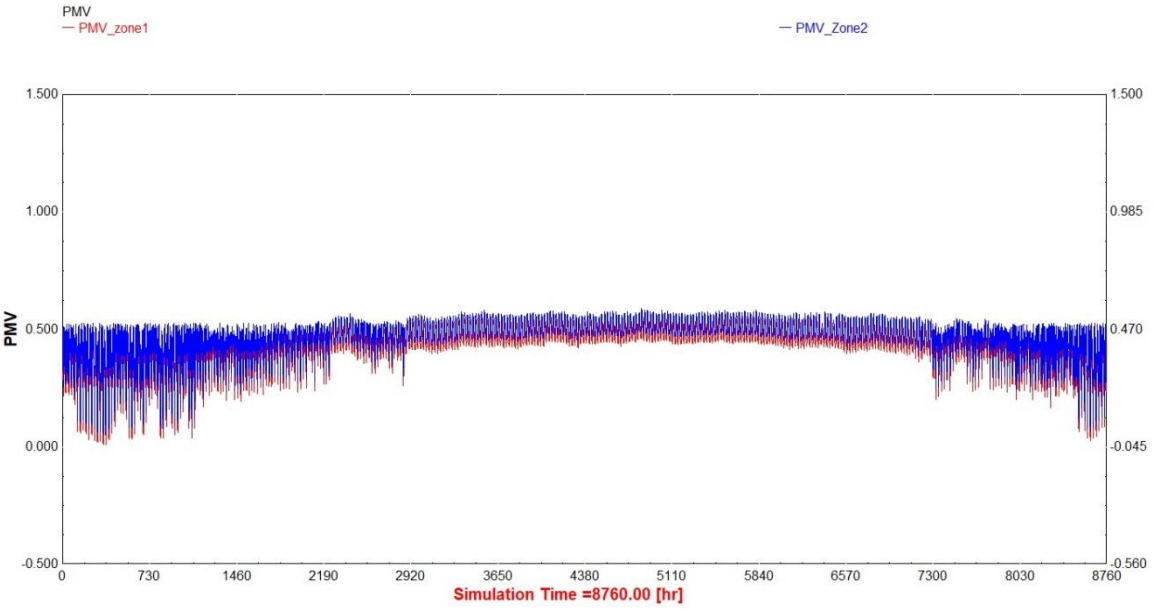
در شکل ۱۵ تغییرات میزان هیدروژن و اکسیژن سیستم توسط واحد الکترولایزر غشای تبادل پروتون در طول سال به‌صورت ساعتی برای شهر بندرلنگه نشان داده شده است. برق مورد نیاز واحد الکترولایزر توربین‌های بادی تأمین می‌شود و به عبارتی با انرژی خورشیدی و تولید برق توسط پنل ها خورشیدی که تأمین‌کننده برق مورد نیاز الکترولایزر برای تولید هیدروژن است، ارتباط مستقیم دارد. لازم به ذکر است از هیدروژن و اکسیژن تولیدی سیستم برای تأمین سوخت پیل سوختی استفاده می‌شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۱۵- میزان هیدروژن و اکسیژن تولیدی کل سیستم در طول سال به‌صورت ساعتی

در شکل ۱۶ تغییرات میزان ضریب آسایش حرارتی مجتمع مسکونی در طول سال به‌صورت ساعتی برای شهر بندرلنگه نشان داده شده است. هر چه مقدار ضریب آسایش حرارتی مثبت‌تر باشد، احساس گرما در فرد بیشتر می‌شود و هرچه ضریب آسایش حرارتی منفی‌تر باشد، فرد احساس سردی بیشتری می‌کند. مقدار ایده ال برای ضریب آسایش حرارتی برابر ۰ است و شرایط داخلی مطلوب‌تری با مقادیر ضریب آسایش حرارتی نزدیک به صفر به دست می‌آید. ضریب آسایش حرارتی با دما و ماه‌های سرد و گرم سال رابطه مستقیم دارد.



شکل ۱۶- تغییرات ضریب آسایش حرارتی در طول سال به‌صورت ساعتی

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مدل‌سازی یک سیستم تجدید پذیر خورشیدی به همراه استفاده از روش هوشمند بهینه‌سازی جهت افزایش عملکرد سیستم و کاهش هزینه چرخه عمر پرداخته شد و یک سیستم با ترکیبی هدفمند از پنج واحد پنل فتوولتائیک حرارتی،

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

پمپ حرارتی، الکترولایزر غشای تبادل پروتون، منبع ذخیره آب گرم و پیل سوختی برای تأمین انرژی مصرفی مورد نیاز یک مجتمع مسکونی ۸۰ واحدی در کشور ایران شامل آب گرم، سرمایش، گرمایش و برق طراحی شد. با استفاده از اطلاعات آب و هوایی شهر ساحلی بندرلنگه در استان هرمزگان عملکرد سیستم پیشنهادی تحلیل شد. مدل‌سازی سیستم با استفاده از رویکردی جدید توسط نرم‌افزار TRNSYS انجام شد و بهینه‌سازی این سیستم جهت افزایش عملکرد سیستم و کاهش هزینه چرخه عمر توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت و با استفاده روش سطح پاسخ انجام شد. سه تابع هدف مورد بررسی شامل تولید برق، ضریب آسایش حرارتی و هزینه چرخه عمر سیستم بود و چهار متغیر تصمیم‌گیری شامل تعداد پنل خورشیدی، ظرفیت پیل سوختی، ظرفیت پمپ حرارتی و ظرفیت الکترولایزر انتخاب شد. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که در بهینه‌ترین حالت با تعداد ۱۴۲۵ پنل خورشیدی، ظرفیت ۶۵,۹۹ کیلووات برای پیل سوختی، ظرفیت ۴۰,۰۱ کیلووواتی برای پمپ حرارتی و ظرفیت ۵۲,۵ کیلوواتی برای الکترولایزر می‌توان به مقدار تولید ۷۲۵۹۵۵,۲۵ کیلووات ساعت در سال با ضریب آسایش حرارتی ۰,۴۳ و هزینه چرخه عمر ۳۴۴۰۱۴,۶۳ دلار رسید.

Nomenclature		Abbreviations	
A	area (m^2)	AFC	alkaline fuel cell
L	panel length	BFC	boiler fuel consumption
a	axial induction factor	PMV	predicted mean vote
AOC	system's operating cost during a year ($)	DOE	design of experiments
c	specific heat capacity (J/kg.K)	HP	heat pump
C_P	Power wind turbines coefficient	PV/T	photovoltaic/thermal
d	discount rate	RSM	response surface methodology
EIR	energy efficiency	WT	Wind turbine
M	metabolic rate ($W.m^{-2}$)	LCC	life cycle cost
f	ON/OFF statues of a component (0 or 1)	IAM	incidence angle modifier
$T_{setpoint}$	set-point temperature	EIR	The bypass fraction
G_T	solar radiation ($kJ/hr.m^2$)	OEC	overall electricity consumption
$\dot{m}$	mass flow rate (kg/h)	PWF	Present value factor
i	inflation rate	Scripts	
I	current (A)	a	air
I_C	initial investment cost ($)	amb	ambient
L	lenght (m)	AS	actual air state
L_B	thermal load of inhabitants' body	db	dry bulb
n_f	number of factors	f	heat transfer fluid
T	temperature (℃)	in	inlet
U	voltage (V)	out	outlet
$\dot{V}_{H_2}$	total hydrogen consumption	r	Wind turbines rotor
x	factor	setpoint	setpoint
y	response	wb	wet bulb
n_t	number of timesteps	$\tau\alpha$	photovoltaic panel transmittance-absorptance
n_L	lifespan (year)	Greek symbols	

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

N_{tubes}	number of tubes in photovoltaic panel	ε_m	emissivity
Q_{gen}	heat produced by fuel cell	ω	absolute humidity ratio (kg_{water}/kg_{air})
$\dot{q}_{sens}$	sensible cooling performed by the heat pump (kJ/h)	η	efficiency
$\dot{q}_{tot}$	heat pump cooling performed by the (kJ/h)	$\tau\alpha$	transmittance-absorptance product for photovoltaic panel
$\dot{q}_{sens}$	sensible cooling performed by the heat pump (kJ/h)	v	Wind speed (m/s)
$\dot{q}_{tot}$	total cooling performed by the heat pump (kJ/h)	ρ_a	Air density (kg/m^3)
$T_{f,out}$	outlet temperature of the heat transfer fluid	θ	angle of incidence (˚)
$E_{PV/T}$	electricity produced by the photovoltaic panel		
v	wind speed		
a	axial induction factor		
$C_{P,max}$	The maximum power coefficient		

۶. مراجع

[1]Pfeiffer, B., Mulder, P., 2013, Explaining the diffusion of renewable energy technology in developing countries. Energy Economics, 40(0), 285-296.

[2]Broman, L., Kandpal, T., 2011, Public understanding of renewable energy, World Renewable Energy Congress, Sweden, 8-13.

[3]Chen, Y., et al. (2023). "Energy, exergy, and economic analysis of a centralized solar and biogas hybrid heating system for rural areas." Energy Conversion and Management 276: 116591.

[4]Zheng, N., et al. (2023). "Techno-economic analysis of a novel solar-driven PEMEC-SOFC-based multi-generation system coupled parabolic trough photovoltaic thermal collector and thermal energy storage." Applied Energy 331: 120400.

[5]Xu Wang, Ye Xu, Zhenghui Fu, Junhong Guo, Zhe Bao, Wei Li, Yue Zhu,A dynamic interactive optimization model of CCHP system involving demand-side and supply-side impacts of climate change. Part I: Methodology development,Energy Conversion and Management,Volume 252,2022,

[6]Hu, Y., et al. (2022). "Research on operation strategy of radiant cooling system based on intermittent operation characteristics." Journal of Building Engineering 45: 103483.

[7]Deng, B., et al. (2021). Energy Consumption Analysis and Multi-objective Operation optimization of Intelligent Building System Based on TRNSYS-MATLAB. 2021 4th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering (CEEPE).

[8]I.B. Mansir ,E.B. Hani, H. Ayed, C. Diyoke. Dynamic simulation of hydrogen-based zero energy buildings with hydrogen energy storage for various climate conditions. International Journal of Hydrogen Energy. (2022).

[9]Y. Jbari, S. Abderafi. Parametric study to enhance performance of wastewater treatment process, by reverse osmosis-photovoltaic system. Applied Water Science. 10 (2020) 1-14.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[10]F. Calise, F.L. Cappiello, M.D. d'Accadia, M. Vicidomini. Smart grid energy district based on the integration of electric vehicles and combined heat and power generation. Energy Conversion and Management. 234 (2021) 113932.
[11]I.P. Acosta-Pazmiño, C. Rivera-Solorio, M. Gijón-Rivera. Hybridization of a parabolic trough-based thermal plant for industrial heat and power generation. Renewable Energy. 191 (2022) 961-73.
[12]Z. He, A.S. Farooq, W. Guo, P. Zhang .Optimization of the solar space heating system with thermal energy storage using data-driven approach. Renewable Energy. 190 (2022) 764-76.
[13]Y. Yuan, K. Ma, Y. Xu, L. Yang, Y. Li, X. Lin, et al. Research on operation performance of multi-heat source complementary system of combined drying based on TRNSYS. Renewable Energy (2022).
[14]D. Wei, L. Zhang, A.A. Alotaibi, J. Fang, A.H. Alshahri, K.H. Almitani. Transient simulation and comparative assessment of a hydrogen production and storage system with solar and wind energy using TRNSYS. International Journal of Hydrogen Energy (2022).
[15]Cao, Y., et al. (2022). "Development and transient performance analysis of a decentralized grid-connected smart energy system based on hybrid solar-geothermal resources; Techno-economic evaluation." Sustainable Cities and Society 76: 103425.
[16]Sim, M. and D. Suh (2021). "A heuristic solution and multi-objective optimization model for life-cycle cost analysis of solar PV/GSHP system: A case study of campus residential building in Korea." Sustainable Energy Technologies and Assessments 47: 101490.
[17]Abu-Hamdeh, N. H., et al. (2021). "Numerical investigation of molten salt/SiO2 nano-fluid in the solar power plant cycle and examining different arrangements of shell and tube heat exchangers and plate heat exchangers in these cycles." Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 124: 1-8.
[18]Dezfouli, M. M. S., et al. (2022). "Energy and performance analysis of solar solid desiccant cooling systems for energy efficient buildings in tropical regions." Energy Conversion and Management: X 14: 100186.
[19]Assareh, E., et al. (2022). "Performance analysis of solar-assisted-geothermal combined cooling, heating, and power (CCHP) systems incorporated with a hydrogen generation subsystem." Journal of Building Engineering: 105727.
[20]Assareh, E., et al. (2023). "Techno-economic analysis of combined cooling, heating, and power (CCHP) system integrated with multiple renewable energy sources and energy storage units." Energy and Buildings 278: 112618.
[21]Dezhdar, A., et al. (2023). "A transient model for clean electricity generation using Solar energy and ocean thermal energy conversion (OTEC) - case study: Karkheh dam - southwest Iran." Energy Nexus: 100176.
[22]N. Sommerfeldt, P. Ollas. Reverse engineering prototype solar PV/thermal collector properties from empirical data for use in TRNSYS type 560. ISES Solar World Congress and IEA Solar Heating and Cooling Conference 2017, Abu Dhabi, UAE, October 29-November 2, 20172017. pp. 1121-32.
[23]H. Kim, J. Baltazar, J. Haberl. Methodology for Calculating Cooling and Heating Energy-Imput-Ratio (EIR) From the Rated Seasonal Performance Efficiency (SEER or HSPF). (2013).
[24]TESS. Component Libraries v. 17.01 for TRNSYS v17. 0 and the TRNSYS Simulation Studio, Parameter/Input/Output Reference Manual, Thermal Energy System Specialists, LLC. (2004).
[25]S. Klein, B. Newton, J. Thornton, D. Bradley, J. Mitchell, M. Kummert. TRNSYS Reference Manual: Mathematical Reference. (2006).
[26]F. Oueslati. Hybrid renewable system based on solar wind and fuel cell energies coupled with diesel engines for Tunisian climate: TRNSYS simulation and economic assessment. International Journal of Green Energy. 18 (2021) 402-23.
[27]R.F. Asrami, A. Sohani, E. Saedpanah, H. Sayyaadi. Towards achieving the best solution to utilize photovoltaic solar panels for residential buildings in urban areas. Sustainable Cities and Society. 71 (2021) 102968.
[28]E. Saedpanah, R.F. Asrami, A. Sohani, H. Sayyaadi. Life cycle comparison of potential scenarios to achieve the foremost performance for an off-grid photovoltaic electrification system. Journal of Cleaner Production. 242 (2020) 118440.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[29]M. Dongellini, G.L. Morini. On-off cycling losses of reversible air-to-water heat pump systems as a function of the unit power modulation capacity. Energy conversion and management. 196 (2019) 966-78.
[30] T. Stehly, P. Beiter, P. Duffy. 2019 cost of wind energy review. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States)2020.
[31]N. Sommerfeldt, H. Madani. In-depth techno-economic analysis of PV/Thermal plus ground source heat pump systems for multi-family houses in a heating dominated climate. Solar Energy. 190 (2019) 44-62.
[32]M.S. Saleem, N. Abas, A.R. Kalair, S. Rauf, A. Haider, M.S. Tahir, et al. Design and optimization of hybrid solar-hydrogen generation system using TRNSYS. International Journal of Hydrogen Energy. 45 (2020) 15814-30.
[33]E. Saedpanah, H. Pasdarshahri. Performance assessment of hybrid desiccant air conditioning systems: A dynamic approach towards achieving optimum 3E solution across the lifespan. Energy. 234 (2021) 121151.
[34]A. Sohani, H. Sayyaadi, M. Azimi. Employing static and dynamic optimization approaches on a desiccant-enhanced indirect evaporative cooling system. Energy Conversion and Management. 199 (2019) 112017.
[35]Kanyarusoke, K., Gryzagoridis, J., & Oliver, G. (2016). Validation of TRNSYS modelling for a fixed slope photovoltaic panel. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 24(6), 4763–4772.
[36]Allaix, D. L. and V. I. Carbone (2011). "An improvement of the response surface method." Structural Safety 33(2): 165-172.
[37]Li, D.-Q., et al. (2016). "Response surface methods for slope reliability analysis: Review and comparison." Engineering Geology 203: 3-14.
[38]Design Expert Software, V 13.0.5. Minneapolis (USA): Stat-Ease Inc.2021.
[39]R. Ghelich, M.R. Jahannama, H. Abdizadeh, F.S. Torknik, M.R. Vaezi. Central composite design (CCD)-Response surface methodology (RSM) of effective electrospinning parameters on PVP-B-Hf hybrid nanofibrous composites for synthesis of HfB2-based composite nanofibers. Composites Part B: Engineering. 166 (2019) 527-41.
[40]K. Fong, C. Lee. Solar desiccant cooling system for hot and humid region–A new perspective and investigation. Solar Energy. 195 (2020) 677-84.
[41]S.-H. Park, Y.-S. Jang, E.-J. Kim. Multi-objective optimization for sizing multi-source renewable energy systems in the community center of a residential apartment complex. Energy Conversion and Management. 244 (2021) 114446.
[42]E. Saedpanah, H. Pasdarshahri. Performance assessment of hybrid desiccant air conditioning systems: A dynamic approach towards achieving optimum 3E solution across the lifespan. Energy. 234 (2021) 121151.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

چکیده انگلیسی

Combination of cooling, heating and electricity production units with solar energy and the feasibility of setting up in the coastal city of Bandar Lengeh

Ali Dezhdar[1], Ehsanolah Assareh[1*], Ali Ershadi[1*]

[1] Islamic Azad University Dezful Branch, Department of Mechanical Engineering, Dezful, Iran.

Received: February 2024 Accepted: April 2024

Abstract

In this research, the modeling of a solar renewable system along with the use of intelligent optimization method was discussed in order to increase the system performance and reduce the life cycle cost. A system with a combination of five units of PVT panel, heat pump, PEM electrolyzer, hot water storage source and fuel cell was designed to provide the required energy consumption of an 80-unit residential complex in Iran, including hot water, cooling, heating and electricity. The performance of the proposed system was analyzed by using the weather information of the coastal city of Bandar Lengeh in Hormozgan province. System modeling was done using a new approach by TRNSYS software. Optimization of this system to increase system performance and reduce life cycle cost was done by Design Expert software and using RSM. The three objective functions investigated included electricity production, PMV and LCC, and four decision variables including the number of solar panels, fuel cell capacity, heat pump capacity and electrolyzer capacity were selected. The optimization results showed that in the most optimal state with the number of 1425 solar panels, the capacity of 65.99 kW for the fuel cell, the capacity of 40.01 kW for the heat pump and the capacity of 52.5 kW for the electrolyzer are in the optimal state. The system can reach the production value of 725955.25 kWh per year in the optimal condition with a PMV of 0.43 and a LCC of 344014.63 $.

Keywords: Photovoltaic Thermal panel, Optimization, Response Surface Method, Fuel Cell, Electrolyzer, Heat Pump

*corresponding author: **assareh@iaud.ac.ir, ali.ershadi@iau.ac.ir**

Cite this article as Ali Dezhdar, Ehsanolah Assareh, Ali Ershadi. Combination of cooling, heating and electricity production units with solar energy and the feasibility of setting up in the coastal city of Bandar Lengeh. Journal of Energy Conversion, 2024, 11(1), 21-47.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]