نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۱۶۶ – ۱۳۳

طراحی مفهومی سامانه هیبریدی کلکتور فتوولتائیک-حرارتی خورشیدی و پمپ حرارتی زمین گرمایی برای تأمین برق، گرمایش و سرمایش یک ساختمان مسکونی با تمرکز بر پارامترهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی

[۱] محمد نهاوندی نژاد، [۲] علیرضا زاهدی*

تاریخ دریافت:
۱۳۹۸ / ۰۶ / ۲۱

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹ / ۰۹ / ۰۶

کلمات کلیدی:
کلکتورخورشیدی، پمپ حرارتی زمین گرمایی، فوتوولتائیک ترمال، پمپ حرارتی زمین گرمایی/ خورشیدی

چکیده

در این مقاله با ارائه و مقایسه چهار سامانه ترکیبی پمپ حرارتی زمین گرمایی فتوولتائیک-حرارتی خورشیدی (PV/T) با چیدمان‌های سری و موازی و تبادل حرارت مستقیم در شهر زاهدان نیاز حرارتی شامل تأمین آب‌گرم مصرفی، گرمایش، سرمایش ساختمان و تأمین بخشی از نیاز برق مصرفی تجهیزات و فروش برق مازاد تولیدی به شبکه سراسری به عنوان منبع تأمین مالی پروژه و درآمدزایی برای ساکنین صورت پذیرد و در عین حال نیاز منطقه از دسترسی به گاز طبیعی برطرف گردد. در گام نخست میزان انرژی مورد نیاز یک خانه مسکونی به نقشه پلان ۹۴ متر مربعی با مصالح متداول ساختمانی منطقه برای یک خانواده چهار نفره در نرم‌افزار دیزاین بیلدر طراحی و نیاز حرارتی ساعتی در طی یک سال محاسبه شد. طراحی، مدل‌سازی و کنترل عملکرد هر سیستم پیشنهادی در نرم‌افزار پلی‌سان با استفاده از ۲۵ عدد کلکتور فتوولتائیک-حرارتی خورشیدی با مساحت کل ۳۳/۲۵ متر مربع و تعداد ۲ مبدل حرارتی زمین گرمایی عمودی به عمق ۱۰۰ متر انجام و هر چهار طرح بعد از تأمین انرژی ساختمان، از لحاظ میزان مصرف انرژی، ضریب عملکرد پمپ حرارتی، میزان برق تولیدی و میزان دی‌اکسیدکربن منتشر شده مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. بیشینه و کمینه مقدار ضریب عملکرد در میان طرح‌های طراحی شده به ترتیب معادل ۴/۳۹ و ۳/۸۷ برای سامانه تبادل حرارتی مستقیم و سامانه سری بود. با مقایسه طرح‌های پیشنهادی، طرح بهینه با میزان برق مصرفی ۴۹۵۷kwh و میزان برق تولیدی ۱۰۶۶۷kwh در سال معرفی شد. طول مدت بازگشت سرمایه ۷ سال برآورد شد. با سامانه طراحی شده سالیانه از انتشار ۵۰۸۹/۷kg دی‌اکسیدکربن جلوگیری خواهد کرد. نتایج نشان دادند که طرح بهینه پیشنهادی برای اجرا در مناطق جنوب و جنوب شرقی ایران دارای صرفه اقتصادی و زیست‌محیطی خواهد بود.

۱. کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه علم وصنعت ایران mohammad.naha14@yahoo.com
۲. استادیار دانشکده فناوری‌های نوین دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسنده مسئول) zahediar@iust.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۱. مقدمه

با وجود پیشرفت‌های گسترده علم و فناوری در سال‌های اخیر در راستای افزایش بهره‌وری انرژی و گسترش دسترسی به منابع انرژی در سراسر جهان، همچنان فاصله بسیار زیادی با اهداف بین‌المللی برای مقابله با مشکلات کمبود انرژی و بالا رفتن هزینه‌های مصرف انرژی وجود دارد. با توجه به رشد جمعیت جهان و توسعه اقتصادی، پیش‌بینی می‌شود که میزان انرژی مورد نیاز جهان، تا سال ۲۰۳۰ حدود ۵۰ درصد افزایش یابد که اگر منابع دیگری جایگزین منابع کنونی انرژی نشود، کمبود انرژی در سراسر جهان مشکلات عدیده‌ای را به وجود خواهد آورد [۶]. در عصر جدید با ایجاد رویکردهای نو در تحقیقات، در جهت یافتن فناوری‌های نوین برای تأمین انرژی در بخش‌های پرمصرف، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در فناوری‌های تأمین انرژی، مفهومی تازه به خود گرفته است، انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با سوخت‌های فسیلی از منابع گسترده‌تری برخوردارند و هیچگاه منابعشان کاهش نمی‌یابند علاوه بر آن، این منابع پاک و پایدارند و برای محیط‌زیست خطرات بسیار کمتری را به همراه دارند [۳].

در قرن حاضر، شهرها به عنوان بزرگترین گروه مصرف‌کننده انرژی و یکی از مهم‌ترین تولیدکنندگان گازهای گلخانه‌ای شناخته می‌شوند. از اینرو، نواحی شهری پتانسیل بسیار بالایی در جهت بهبود بازده مصرف انرژی و کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای خواهند داشت. در شهرها نیز آمارها نشان می‌دهند که ساختمان‌های مسکونی یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان منابع انرژی هستند. این میزان مصرف انرژی در کشورهای توسعه یافته در حدود ۲۰ درصد و در کشورهای در حال توسعه در حدود ۳۵ درصد می‌باشد. ساختمان‌های مسکونی همچنین یکی از تولیدکنندگان اصلی گازهای گلخانه‌ای با تولید حدود ۳۶ درصد از کل دی‌اکسیدکربن تولید شده، و یک سوم از گازهای گلخانه‌ای می‌باشند [۱۴]. در حال حاضر این آلودگی‌ها به بیش از ۳۲ میلیون تن در سال رسیده است؛ پیش‌بینی می‌شود این مقدار در سال ۲۰۲۰ از مرز ۳۶ میلیون تُن هم عبور کند [۱۱].

با بررسی پتانسیل انرژی زمین گرمایی و انرژی خورشیدی جهان می‌توان به این موضوع اذعان کرد استان سیستان و بلوچستان از مستعدترین مناطق ایران جهت استفاده همزمان و ترکیبی از این دو منبع پاک و تجدیدپذیر خورشیدی/ زمین گرمایی جهت تأمین نیاز گرمایش، سرمایش و برق

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

ساختمان‌های مسکونی هستند. در میان انواعی از منابع تجدیدپذیر به منظور تأمین انرژی ساختمان علی‌القاعده استفاده از منابع زمین‌گرمایی، خورشیدی و یا ترکیبی از این منابع؛ سرآمد موارد به کارگیری شده در بحث انتقال حرارت تجدیدپذیر است. لذا در ادامه به بررسی انواع پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی، پمپ‌های حرارتی-خورشیدی و پمپ‌های ترکیبی زمین‌گرمایی-خورشیدی پرداخته می‌شود.

از سیستم‌های پر بازده انرژی تجدیدپذیر می‌توان به سامانه‌های پمپ حرارتی اشاره کرد با ترکیب پمپ‌های حرارتی با سیستم‌های تجدیدپذیر انرژی، از جمله مبدل‌های زمین گرمایی، کلکتور حرارتی خورشیدی، کلکتورهای فتوولتائیک-حرارتی و ترکیب هیبرید پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی با صفحات خورشیدی می‌توان عملکرد این سیستم‌های ترکیبی انرژی را به طور چشمگیری افزایش داد.

پمپ‌های حرارتی-زمین گرمایی از سایر پمپ‌های حرارتی متداول مانند پمپ‌های حرارتی با منبع هوا عملکرد بهتری دارند. هر سیستم پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی دارای پنج جزء اصلی است: این اجزا شامل دو مبدل حرارتی (در دو واسطه سرد و گرم) که اواپراتور و کندانسور نامیده می‌شوند، شیر انبساطی، کمپرسور و مبدل حرارتی زمینی می‌باشند و مبدل‌های حرارتی که در زیر زمین قرار می‌گیرند که به‌صورت افقی یا عمودی طراحی و اجرا می‌شوند. پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی ضریب عملکرد خوبی داشته و در آب و هوای سرد نیز بسیار مؤثر کار می‌کنند. این امر به این علت است که آنها گرما را از زمین که دمای آن در طول سال تقریباً ثابت است، دریافت می‌کنند.

استفاده از زمین به عنوان یک منبع دما بالا یا دما پایین در سیستم تهویه مطبوع از دید ترمودینامیکی عملکرد بسیار خوبی در پی دارد. همچنین، سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی به علت تماس کمتر با اتمسفر هزینه‌های تعمیر و نگهداری کمتری نیز دارند،[1] ادغام فناوری انرژی خورشیدی با پمپ‌های حرارتی ، به‌دلیل پایین آمدن دمای کلکتور و بالا بردن دمای اواپراتور پمپ حرارتی است که سبب افزایش عملکرد هر دو سیستم می‌شود. پمپ‌های حرارتی خورشیدی، با توجه به چیدمان‌های ترکیبی بین سامانه پمپ حرارتی و خورشیدی به دو دسته سیستم پمپ حرارتی خورشیدی با[2] انبساط مستقیم و[3] انبساط غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. در سیستم پمپ‌گرمایی خورشیدی با انبساط

1. Solar assisted heat pump (SACHP)
2. Direct expansion solar assisted heat pumps
3. Indirect expansion solar assisted heat pumps

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

مستقیم، پمپ حرارتی و سیستم خورشیدی به عنوان یک سیستم واحد کار می‌کنند ولی در سیستم پمپ حرارتی خورشیدی با انبساط غیرمستقیم با توجه به نوع ارتباط و عملکرد به سیستم سری و موازی طبقه‌بندی کرد.

در سیستم‌های پمپ حرارتی خورشیدی با انبساط مستقیم، کلکتور خورشیدی جزء جدایی‌ناپذیر پمپ حرارتی است، جایی که در آن مبرد با جذب گرما مستقیماً منبسط می‌گردد. این سیستم معمولاً شامل یک اواپراتور فتوولتائیک، کمپرسور، کندانسور، شیر انبساطی و یک منبع ذخیره آب است. مبرد مورد استفاده در کلکتور خورشیدی، همان مبرد پمپ حرارتی است. مبرد در زمانی که تشعشعات خورشیدی توسط جذب گرما از محیط اطراف در دسترس هستند، بخار می‌شود. انرژی خورشیدی جذب شده در اواپراتور توسط کندانسور پمپ حرارتی به بار منتقل می‌شود. رایج‌ترین کاربرد پمپ حرارتی خورشیدی با انبساط مستقیم در تأمین آب گرم مصرفی است.

سیستم پمپ‌حرارتی–کلکتور خورشیدی غیر مستقیم شامل یک سیکل پمپ حرارتی مجزا و یک سیکل کلکتور خورشیدی است که برای انتقال انرژی درون یک مبدل گرمایی واسطه قرار گرفته‌اند. سیکل پمپ حرارتی خود شامل اجزای اساسی مانند کمپرسور، کندانسور، شیر انبساطی و اواپوراتور می‌باشد. سیکل کلکتور خورشیدی نیز اجزایی مانند کلکتور خورشیدی، پمپ و مبدل گرمایی را در بر می‌گیرد. برای جذب تشعشعات گرمایی خورشیدی در کلکتور از سیال ثانویه (مانند آب، ضد یخ و...) استفاده می‌شود. این سیال تشعشعات خورشیدی را دریافت کرده و آنها را به مبدل گرمایی منتقل می‌کند. سپس مبرد موجود در سیکل پمپ حرارتی، گرمایی را که از تبخیر سیال ثانویه بر اثر تشعشعات خورشیدی دریافت کرده در طی فرآیند چگالش به کندانسور منتقل می‌کند.

لی و همکاران (۲۰۱۴)[1] از پمپ حرارتی–خورشیدی برای تأمین آب گرم مصرفی و گرمایش ساختمان مسکونی در منطقه‌ای با آب و هوای سرد با هدف مقایسه عملکرد با پمپ حرارتی متداول، استفاده کردند. نتایج نشان داد که ضریب عملکرد پمپ حرارتی در طی سال به طور متوسط ۳/۲ است و نسبت دخیره انرژی در مقایسه با پمپ حرارتی ۵۲/۵ درصد می‌باشد [۵]. لرچ و همکاران (۲۰۱۵)[2] شش

1. Li et al.
2. Lerch et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

طرح متفاوت را برای تأمین نیاز گرمایشی به میزان kw ۵/۴ با ۱۴ متر مربع کلکتور خورشیدی را مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج نشان داد در اتصال موازی کلکتور خورشیدی با پمپ حرارتی مقدار ضریب عملکرد به ۳/۶۵ رسید که ۳۰ درصد کاهش مصرف انرژی را نیز در پی داشت [۴].

نوع توسعه یافته کلکتورهای خورشیدی، صفحات ترکیبی فوتوولتائیک-حرارتی است. این کلکتورها از جمله فناوری‌های پربازده در تولید نیرو هستند که تشعشعات خورشیدی را به طور همزمان به انرژی حرارتی و الکتریکی قابل استفاده تبدیل می‌کنند ایده اصلی فناوری کلکتورهای فوتوولتائیک حرارتی استفاده بیشتر از تابش خورشیدی دریافتی، ذخیره کردن گرمای هدر رفته از صفحه فتوولتائیک، کاهش دمای سلول‌های صفحات خورشیدی و افزایش بازده الکتریکی است [۲].

وانگ و همکاران (۲۰۱۸)[1] یک سیستم ترکیبی پمپ حرارتی –فتوولتائیک حرارتی(pvt) برای تأمین انرژی ساختمان‌های مسکونی را برای تأمین نیاز گرمایش در زمستان و سزمایش در تابستان و تأمین آب گرم مصرفی طراحی کردند. نتایج نشان داد عملکرد کلکتور فوتوولتائیک حرارتی تا ۵۰ درصد در تبادل حرارتی با آب در هنگام تابش خورشید بهبود می‌یابد. سیستم‌های ترکیبی پمپ حرارتی زمین گرمایی خورشیدی شامل کلکتورهای حرارتی خورشیدی و مبدل‌های زمینی و پمپ‌های حرارتی می‌باشند. این سیستم‌ها در واقع واحدهای مجزایی هستند که به صورت سیستماتیک و وابسته به هم در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. کلکتورهای خورشیدی و مبدل‌های زمین گرمایی در سیکل‌های سری یا موازی با سیستم‌های پمپ حرارتی ادغام می‌شوند. سیکل‌های سری از نظر انرژی در مقایسه با سیکل‌های موازی بازده بیشتری دارند. ترکیب کلکتور حرارتی خورشیدی با سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی طول مبدل حرارتی زمین گرمایی و میزان هزینه اولیه را بسیار کاهش می‌دهد [۱۳].

لرچ و همکاران (۲۰۱۵) در نرم‌افزار ترنسیس سیستم ترکیبی پمپ حرارتی زمین گرمایی–خورشیدی با منبع ذخیره برای تأمین آب گرم مصرفی و گرمایش ساختمان شبیه‌سازی کردند نتایج شبیه‌سازی نشان داد ضریب عملکرد سیستم ترکیبی پمپ حرارتی زمین گرمایی–خورشیدی برابر ۳/۸۹ و برای پمپ حرارتی زمین گرمایی برابر ۳/۰۸ است. که ۲۶/۳ درصد بیش از پمپ حرارتی زمین گرمایی است که علت آن افزایش دمای زمین توسط خورشید گزارش شد [۴].

1. Wang et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

تیزسن و کارلسون (۲۰۱۳)[1] ضریب عملکرد انرژی سه طرح ترکیبی پمپ حرارتی زمین گرمایی با صفحات فتوولتائیک، کلکتور خورشیدی و صفحات ترکیبی فتوولتائیک حرارتی را برای تأمین انرژی حرارتی ساختمان‌های با مصرف انرژی صفر مورد تحلیل قرار دادند. نتایج تحقیق آنان نشان داد ترکیب پمپ حرارتی زمین گرمایی با صفحات فتوولتائیک دارای بالاترین عملکرد است [۱۲]. در کاری مشابه ضریب عملکرد توسط راد و همکاران (۲۰۱۳)[2] با نرم‌افزار ترنسیس محاسبه شد. نتایج نشان داد استفاده از پمپ حرارتی زمین گرمایی- خورشیدی یک راهکار مناسب برای تأمین انرژی ساختمان است [۷].

ردا و همکارانش[3] (۲۰۱۵) در پژوهش خود سه سناریو مورد بررسی قرار گرفت: سیستم خورشیدی صرفاً برای گرمایش در کنار پمپ حرارتی زمین‌گرمایی، استفاده از سیستم خورشیدی برای گرمایش و همچنین شارژ منبع زمین‌گرمایی و پمپ حرارتی زمین گرمایی بدون استفاده از خورشید به عنوان مرجع استفاده شد. هدف ارزیابی عملکرد دو چیدمان مختلف پمپ حرارتی زمین گرمایی خورشیدی برای کاربری‌های مسکونی در سه وضعیت آب و هوایی مختلف جنوب اروپا و همچنین استفاده از زمین به عنوان منبع حرارتی سرد برای تأمین انرژی سرمایشی ساختمان بود. آنها به این نتیجه رسیدند که استفاده از انرژی خورشیدی در پمپ حرارتی زمین گرمایی نقش به سزایی در کاهش مصرف انرژی در مناطقی مانند رم و پالرمو) که از تابش خورشیدی مناسبی برخوردارند، می‌شود. از دیگر نتایج عملکرد مناسب سرمایش زمینی در مناطقی مانند رم بود [۹].

سیو همکاران (۲۰۱۴)[4] به بررسی عملکرد پمپ حرارتی زمین گرمایی در ترکیب سری و موازی پمپ حرارتی زمین گرمایی خورشیدی برای تأمین انرژی گرمایشی یک فضای تجاری پرداختند. نتایج آنان نشان داد که اتصال سری پمپ زمین گرمایی و خورشیدی دارای عملکرد بهتری نسبت به نحوه اتصال موازی است [۱۰]. با این حال سیمینو و اسلام نژاد (۲۰۱۷)[5] نشان دادند که اتصال سری و موازی پمپ حرارتی زمین گرمایی خورشیدی دارای ضریب عملکرد بهتری نسبت به پمپ حرارتی زمین گرمایی به تنهایی دارد [۱].

1. Thygesen and Karlsson
2. Rad et al.
3. Reda et al.
4. Si et al.
5. Cimmino and Eslami-Nejad

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

احمدی و همکاران (۲۰۱۸)[1] با هدف ارائه یک سیستم انرژی تجدیدپذیر پایدار برای تأمین سیستم گرمایشی ساختمان‌های مسکونی، مانند تأمین آب گرم خانگی تحقیقات گسترده‌ای انجام دادند. ۵سناریوی مختلف در شهر زاهدان ایران مدل‌سازی و شبیه‌سازی شده و کنترل عملکردی آن در نرم‌افزار ترنسیس انجام شد. مقدار ضریب عملکرد مصرف برق الکتریکی سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی. براساس نتایج به دست آمده یک سیستم پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با ظرفیت ۱۲ کیلووات همراه با کلکتورهای خورشیدی تخت قادر است نیاز گرمایشی فضا و آب گرم مصرفی را برای ساختمان در زمستان تأمین کند. کمترین و بیشترین مقادیر ضریب عملکرد در طی سال ۳/۷۵ و ۳/۵۲ برآورد شدند. در بهترین سناریوی طراحی شده برای سیستم خورشیدی، انرژی حدود ۸/۷ درصد در مقایسه با سیستم مجزای پمپ حرارتی زمین‌گرمایی کاهش یافت [۸].

همان‌طور که در بالا اشاره شد تحقیقات کم و محدودی در مورد ترکیب‌های متفاوت سیستم‌های پمپ حرارتی زمین گرمایی و سیستم‌های مختلف خورشیدی و ارزیابی امکان‌سنجی، اقتصادی و زیست‌محیطی آن به خصوص در بخش مسکونی به علت نیازهای گرمایشی و سرمایشی زیاد این بخش، در سرتاسر جهان انجام شده است. علیرغم تحقیقات گسترده در زمینه طراحی سامانه پمپ حرارتی به منظور تأمین انرژی ساختمان با استفاده از انرژی زمین گرمایی–صرفاً یا خورشیدی–صرفاً، مطالعات محدودی در زمینه استفاده از سامانه ترکیبی زمین‌گرمایی–خورشیدی صورت پذیرفته است که شاید یکی از دلایل آن عدم وجود پتانسیل مطلوب همزمان منابع زمین گرمایی و خورشیدی در مناطق مختلف دنیا باشد. همان طور که قبلاً عنوان شد،

در پژوهش حاضر، منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل همزمان منابع مذکور است. به علاوه این که در اکثر تحقیقات صرفاً تأمین گرمایش ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. لذا می‌توان ادعا نمود که در تحقیق پیش رو برای اولین بار در دنیا تأمین گرمایش و سرمایش و همچنین تأمین برق مورد نیاز این تجهیزات به کمک نرم‌افزارهای دیزاین بیلدر و پلی سان بر اساس چهار سناریو برای ساختمانی در یکی از مستعدترین مناطق دنیا به لحاظ منابع زمین‌گرمایی و خورشیدی، ایالت سیستان، طراحی گردید. علاوه بر بررسی فنی طراحی سامانه مورد نظر، جنبه‌های اقتصادی هر سناریو به همراه آثار

1. Ahmadi et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

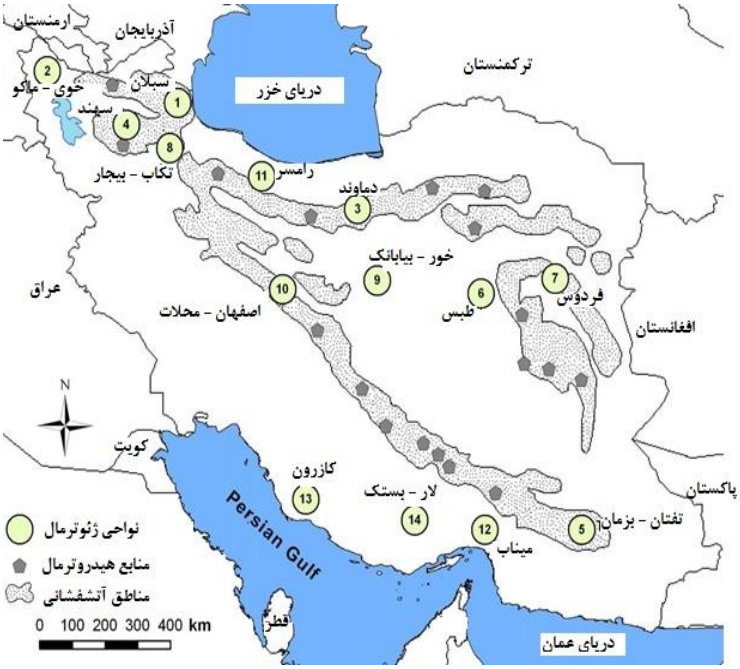
زیست‌محیطی آنها مورد مداقه و بررسی قرار گرفت. لذا در یک جمع‌بندی کلی در این مقاله از پاکترین انرژی‌های تجدیدپذیر به طور همزمان (زمین گرمایی و خورشیدی) جهت تأمین بخش مهمی از انرژی ساختمان در منطقه مورد اشاره استفاده شد تا جایگزین مناسبتری برای طرح انتقال گاز طبیعی از طریق خطوط لوله گاز سراسری با توجه به هزینه بالای آن و پیامدهای مخرب زیست محیطی و امنیتی پیشنهاد گردد. در این مقاله در ابتدا در خصوص مطالعه موردی منطقه مورد نظر به لحاظ پتانسیل زمین گرمای و خورشیدی و وضعیت مصرف انرژی خانوار سخن به میان می‌آید. سپس به بررسی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی موجود اشاره می‌گردد. پس از آن طرح‌های محتمل قابل اجرا در منطقه معرفی شده و نتایج اجرای هر طرح عنوان خواهد شد. در نهایت طرحها به لحاظ راندمان، توجیه اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی با هم مقایسه می‌گردند.

۲. مطالعه موردی

۲-۱. پتانسیل زمین گرمایی و خورشیدی ناحیه مورد مطالعه

تحقیقات زیادی برای شناسایی نواحی با پتانسیل زمین گرمایی بالا در ایران صورت گرفته است. همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است به طور کلی می‌توان گفت که پتانسیل انرژی زمین گرمایی در ایران براساس مطالعات انجام شده به ۱۴ منطقه مختلف تقسیم می‌شود که به ترتیب اولویت نشان داده شده‌اند [۱۵].

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

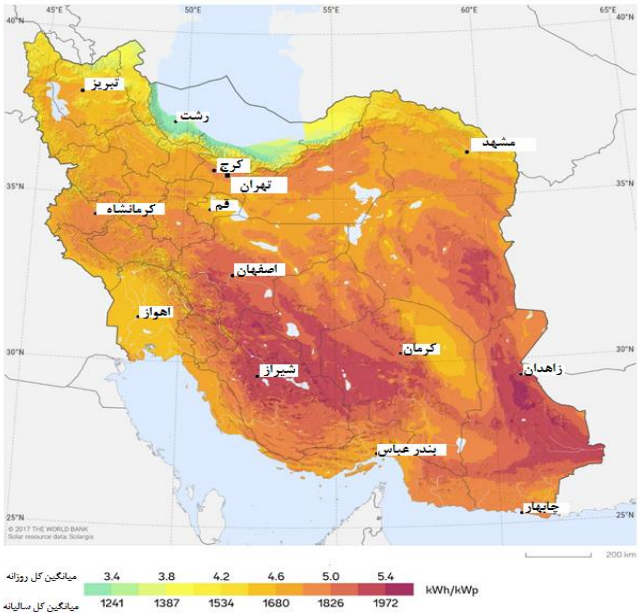


شکل ۱۹. پتانسیل زمین گرمایی ایران [۱۵]

در بحث پتانسل انرژی خورشیدی نیز کشور ایران در منطقه‌ای با میزان بالایی از جذب انرژی خورشیدی قرار گرفته است[۱] میزان تابش دریافتی مستقیم خورشیدی،[۲] میزان مجموع تابش دریافتی غیرمستقیم خورشیدی بر سطح افقی شامل تابش دریافتی مستقیم،[۳] تشعشعات دریافتی پراکنده و[۴] تشعشعات بازتابی از سطح زمین،[۵] تعداد ساعات اوج خورشیدی که نشان‌دهنده نسبت مقدار تابش خورشیدی در روشن‌ترین ساعات روز به کل مقدار تابش به یک محل است و میزان پتانسیل فتوولتائیک؛ همه در بررسی میزان پتانسیل خورشیدی یک منطقه تأثیرگذارند. میزان پتانسیل فوتوولتائیک ایران را به ترتیب در شکل (۲) نشان داده شده است.

1. Global Horizontal Irradiation (GHI)
2. Direct Normal Irradiation (DNI)
3. Diffuse Horizontal Irradiance(DHI)
4. Ground-reflected radiation
5. Sun peak hours

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



شکل ۲۰. میزان پتانسیل انرژی خورشیدی ایران

با بررسی پتانسیل انرژی زمین گرمایی و انرژی خورشیدی در ایران می‌توان به این موضوع اذعان کرد که مناطق جنوب و جنوب شرقی ایران همچون استان سیستان و بلوچستان از مستعدترین مناطق کشـــور جهت اســـتفاده همزمان و ترکیبی از این دو منبع پاک و تجدیدپذیر جهت تأمین نیاز گرمایش، سرمایش و برق ساختمان‌های مسکونی در کشور هستند.

۲-۲. منطقه مورد مطالعه

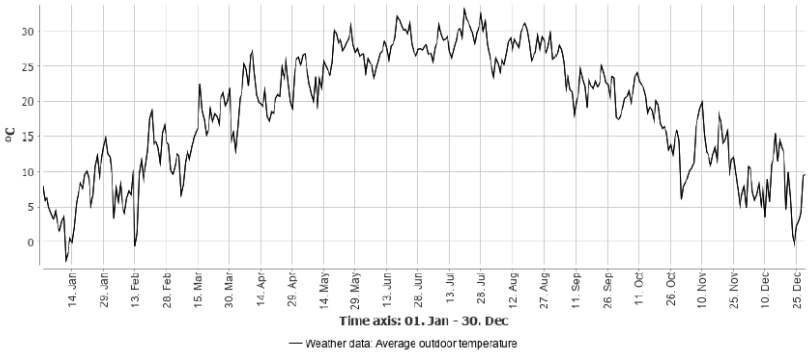
استان سیستان و بلوچستان با حدود ۱۸۰،۷۲۶ کیلومتر مربع وسعت عنوان دومین استان پهناور در جنوب شرقی ایران واقع است. طبق آمارهای سایت مرکز آمار ایران جمعیت سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۵ برابر است با ۲،۷۷۵،۰۱۴ نفر معادل ۷۰۴،۸۸۸ خانوار و ضریب خانوار استاد ۳/۹۷ (تقریباً ۴) می‌باشد جمعیت شهر زاهدان ۶۷۲،۵۸۹ نفر اعلام شده است این ناحیه در فصل زمستان داری آب و هوای معتدل و خنک با میانگین حداقل دمای دوازده تا سیزده درجه سانتی‌گراد در ماه‌های آذر و دی ماه و آب و هوای گرم در فصل تابستان به نحوی که در تمامی‌شهرهای استان دمای هوا به بالای ۴۰درجه سانتی گراد می‌رسد. زاهدان مرکز استان دارای کمینه دمایی و ایرانشهر در جنوب استان دارای

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

ببیشـنه دمایی اسـت. اطلاعات منابع خورشـیدی برای شـهر زاهدان به عنوان مرکز اسـتان در جدول۱ جمع‌آوری شده است گراف دمایی سال شهر زاهدان در نمودار ۱ و میزان تشعشعی خورشیدی در واحد سطح در نمودار ۲ نشان داده شده است.

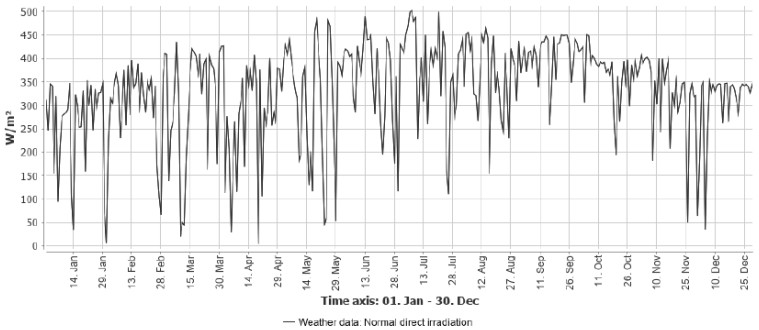
جدول ۷. اطلاعات پتانسیل خورشیدی شهر زاهدان

اطلاعات منابع خورشیدی زاهدان	
عرض جغرافیایی	۲۹/۵۱ درجه
طول جغرافیایی	۶۰/۸۴ درجه
مقدار تشعشعات افقی خورشیدی ($KWh/sq\ m$)	۲۲۲۰ در سال – ۶/۰۸۲ در روز
مقدار تشعشعات نرمال مستقیم خورشیدی ($KWh/sq\ m$)	۲۳۱۸ در سال – ۶/۳۵۱ در روز
مقدار تشعشعات افقی پراکنده خورشیدی ($KWh/sq\ m$)	۷۴۱ در سال – ۲/۰۳۰ در روز
مقدار تشعشعات اسمی ($KWh/sq\ m$)	۲۴۲ در سال – ۶/۷۷۳ در روز
دمای هوا (°C)	۱۷



نمودار ۱. دمای سالانه شهر زاهدان

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



نمودار ۲. میزان تشعشع خورشیدی در واحد سطح

۲-۳. اطلاعات وضعیت مصرف انرژی برق

استان سیستان و بلوچستان ۱/۶ برابر مصرف متوسط کشور دارای مصرف انرژی برق است. مطابق گزارش شرکت توانیر در سال ۱۳۹۷ متوسط مصرف هر مشترک خانگی ۳۰۵۰ کیلو وات ساعت بوده که نسبت به سال قبل از آن ۲/۳ درصد افزایش داده است. بیشترین سهم برق مصرفی خانوارها در این استان مربوط به استفاده از کولرهای گازی با سهم ۳۸ درصد از مصرف برق کل استان و کولرهای آبی با ۲۷ درصد از مصرف برق کل استان و لامپ‌های روشنایی است. در ادامه فصل به معرفی ساختمان مورد نظر در در شهر زاهدان به‌منظور تأمین انرژی گرمایش و سرمایش مصرفی پرداخته می‌شود. این ساختمان توسط نرم‌افزار قدرتمند دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شده است و از مصالح رایج در آن منطقه برای تعیین جنس اجزای ساختمان استفاده شده و در انتها میزان انرژی مورد نیاز سالانه مورد نیاز برای هر بخش تعیین گردیده است.

۲-٤. نرم‌افزارهای شبیه‌سازی

- نرم‌افزار[1] دیزاین بیلدر برای مدل‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف مثل فیزیک ساختمان، تعاریف سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و... کاربرد داشته و جز مدل‌سازی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان مصارف مختلف انرژی ساختمان از قبیل مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، لوازم خانگی، آب گرم مصرفی و... را به صورت دینامیک مدل‌سازی می‌نماید.

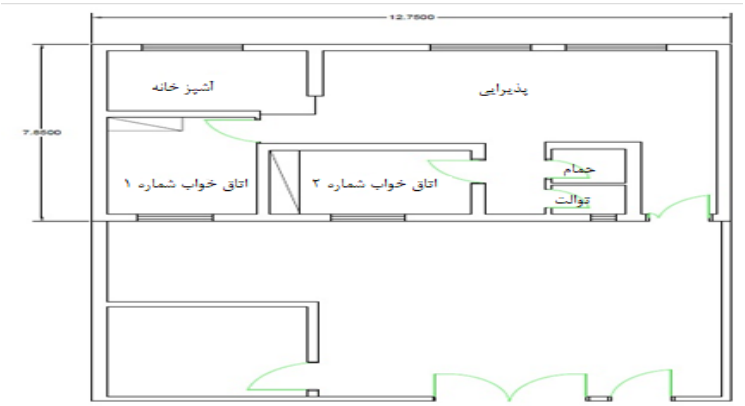
1. Design builder software

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

– [1]نرم‌افزار پلی‌سان امکان شبیه‌سازی سیستم‌های انرژی را با جزئیات بسیار زیاد، فراهم ساخته است. نرم‌افزار پلی‌سان نرم‌افزاری است که به کاربران اجازه طراحی سیستم‌های حرارتی، فتوولتائیک و فتوولتائیک–حرارتی خورشیدی، پمپ‌های حرارتی از جمله پمپ حرارتی زمین گرمایی و هیبرید آن با سیستم‌های خورشیدی را می‌دهد. برای به حداقل رساندن زمان مدل‌سازی، نرم‌افزار پلی سان قادر است که گام‌های زمانی متغیری را ارائه دهد.

۲-۵. مدل ساختمان

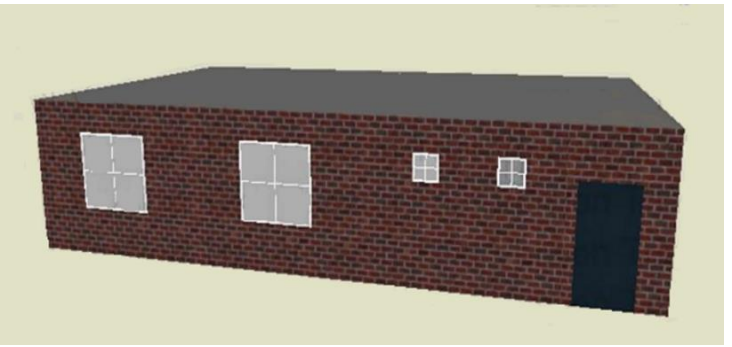
ساختمان مورد مطالعه در این پروژه یک ساختمان مسکونی یک طبقه با دو اتاق خواب است که نقشه دو بعدی آن در (شکل ۳) سه بعدی آن در (شکل ۴) نشان داده شده است. این نوع ساختمان متناسب با رایج ترین خانه‌های ساخته شده در منطقه سیستان و بلوچستان طراحی شده است. ساختمان با نور شمالی – جنوبی برای یک خانواده ۴ نفره طراحی شده است و از سمت شرق و غرب به ساختمان‌های مجاور منتهی می‌شود. ابعاد پنجره‌های به کار رفته در ساختمان با ارتفاع ۱/۵ متر و با عرض‌های ۲ و ۱/۵ متر و از جنس آلومینیوم در نظر گرفته شده است. در این ساختمان گرمایش و سرمایش توسط پمپ حرارتی و از طریق فن‌کویل به ساختمان منتقل می‌شود. برنامه گرمایشی و سرمایشی مورد استفاده برای مدل‌سازی از یکم ژانویه تا سی و یکم دسامبر در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. نقشه دو بعدی ساختمان

1. Polysun software

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



شکل ۴. نقشه سه بعدی در دیزاین بیلدر

۳. روش تحقیق

در این پروژه از روش‌های مختلفی برای رسیدن به جواب مطلوب استفاده شده است و نتایج حاصل از هر روش به صورت جداگانه ارائه و در پایان از مجموعه این نتایج نتیجه‌گیری نهایی صورت گرفته است. در این پژوهش از روش‌های مطالعات کتابخانه‌ای و شبیه‌سازی برای رسیدن به پاسخ استفاده شده است. سعی بر این است تا با استفاده از طراحی مفهومی سامانه ترکیبی پمپ حرارتی زمین گرمایی با کلکتور فتوولتائیک–حرارتی خورشیدی، بتوان انرژی الکتریسیته، گرمایش و سرمایش مورد نیاز یک ساختمان مسکونی را با ارائه طرح‌های مختلف جهت رسیدن به بهترین پارامترهای تحلیل انرژی و ارزیابی اقتصادی و زیست‌محیطی به دست آورده و این سامانه را در شهر زاهدان امکان‌سنجی نمود.

٤. معرفی طرح‌های پیشنهادی

در فصل حاضر، این طرح‌ها در سه بخش تحلیل فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی مورد بررسی قرارگرفتند. به عنوان فرض اولیه، میزان نیاز حرارتی برای گرمایش و سرمایش به صورت ساعتی از نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای تمام ساعات سال وارد شده و دمای آب گرم مصرفی برابر ۲۰۰ لیتر در روز و بر روی دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. همچنین به منظور تحلیل مباحث انرژی، نتایج سال پنجم بهره‌برداری به دلیل رسیدن به شرایط حرارتی پایدار زمین مورد بررسی قرارگرفت. این مدت زمان از طریق بررسی نرم‌افزاری شرایط به‌دست آمده بود و عملکرد حرارتی از سال پنجم به بعد یکسان می‌شد. همچنین با توجه به افزایش عمر سیستم به میزان ۲ درصد از توان برق تولیدی در سال پنجم

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

کسـر شـد تا به شـرایط واقعی نزدیک‌تر باشـد. در ابتدای هر طرح بیان و نحوه عملکرد آن توضـیح داده‌می‌شود. سپس به مقایسه و تحلیل طرح‌های مختلف با یکدیگر پرداخته شده و بهترین طرح در هر بخش معرفی می‌گردد.

٤-١. طرح شماره یک

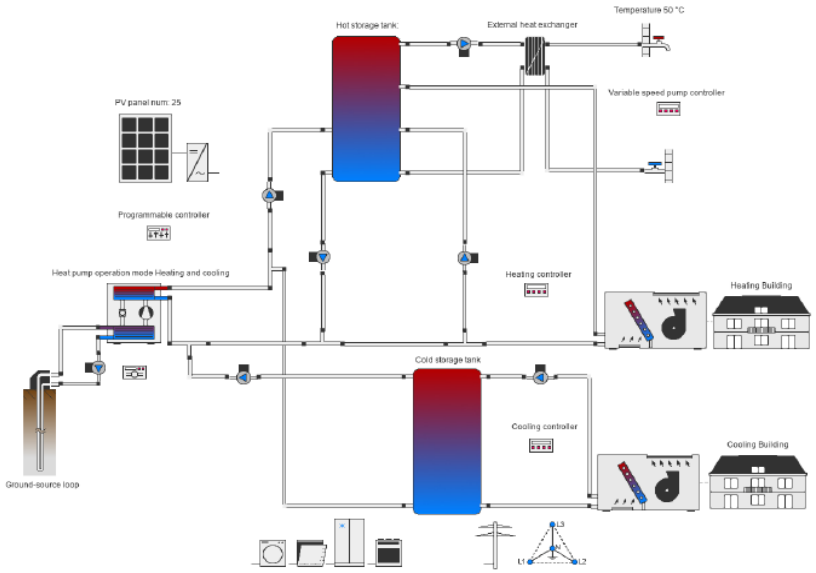
در طرح شماره ۱ با استفاده از یک سیستم پمپ حرارتی آب/آب با کوپل شده به یک مبدل حرارتی زمین گرمایی-عمودی نیاز گرمایشی و آب گرم مصرفی و سرمایش ساختمان، تأمین گردید و همچنین از صفحات فتوولتائیک با مشخصات ارائه شده در جدول برای تأمین الکتریسته لازم تجهیزات حرارتی ساختمان و فروشِ مازاد برق تولیدی به شبکه سراسری استفاده شد. در شکل (۵) نحوه چینش و اتصال تجهیزات طرح شماره یک نشان داده شده است. برای تأمین گرمایش فضای داخلی و آب گرم مصرفی در روزها و ساعات سرد سال و همچنین جهت تأمین سرمایش و آب گرم در روزهای گرم سال از یک کنترل‌کننده برنامه‌پذیر اسـتفاده گردید. در این طرح پمپ حرارتی در حالتی شـروع به کار می‌کرد که دمای سـنسـور لایه نهم منبع ذخیره از دمای تنظیمی آب گرم مصـرفی[1] و یا دمای تنظیمی فن‌کویل گرمایشی کمتر شود. برای ثابت نگه داشتن دمای ساختمان در دمای گرمایشی[۲] و تأمین میزان حرارت تنظیمی از کنترلگر گرمایی اسـتفاده گردید. بدین نحو که اگر دمای بیرون سـاختمان از دمای تنظیمی کمتر باشد پمپ مربوطه روشن شده و با به گردش در آوردن سیال از منبع دخیره به فن‌کویل مستقر در فضای داخلی ساختمان از آب گرم موجود در منبع دخیره به اندازه نیاز استفاده کند.

برای تأمین نیاز سـرمایشـی در روزها و سـاعات گرم سـال نیز از همان کنترلگر برنامه‌پذیر اسـتفاده شـد؛ زیرا علاوه بر نیاز سـرمایشـی همچنان نیاز به آب گرم وجود داشـت؛ لذا پمپ حرارتی باید قادر به برطرف ساختن نیاز گرمایشـی آب گرم مصـرفی نیز می‌بود. نحوه کار این کنترگر در روزهای گرم سـال بدین طریق در نظر گرفته شـد که در صـورت نیاز به آب گرم با توجه به برنامه تعریف شـده آن، پمپ حرارتی را در وضـعیت گرمایشـی روشـن کرده و بعد از تأمین آن، با توجه به وضـعیت دمایی منبع ذخیره

1. Hot water setpoint temperature
2. Heating setpoint temperature

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

سرمایشی به حالت سرمایشی تغییر وضعیت دهد. سپس پمپ سرمایشی با توجه به دمای مورد نیاز فن‌کویل سرمایشی دبی جریان مورد نیاز آن را فراهم می‌کرد.

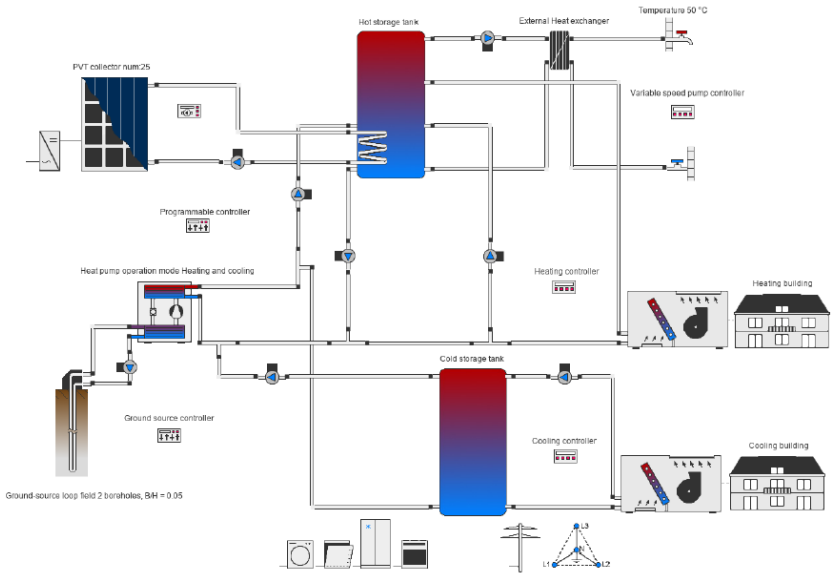


شکل ۵. طرحواره و نحوه عملکرد طرح اول

٤-۲. طرح شماره دو

در این طرح بر خلاف طرح شماره یک، از انرژی خورشیدی نیز برای تأمین انرژی گرمایشی و آب گرم مصرفی ساختمان با هدف کاهش زمان کار پمپ حرارتی، بهره گرفته شد. در این طرح از کلکتورهای فتوولتائیک-حرارتی که مشخصات آن جدول درآمده استفاده شد که به‌صورت موازی با پمپ حرارتی زمین گرمایی کوپل شده بود شکل (۶) تأمین آب گرم، گرمایش و سرمایش از طریق کنترلگر برنامه‌پذیر برای تمامی روزها و ساعات سال انجام می‌شد. در این طرح از یک کنترلگر خورشیدی نیز برای افزایش دمای سیال داخل منبع ذخیره گرم استفاده گردیده و نحوه عملکرد آن بدین صورت بود که اگر دمای سیال خروجی از کلکتور خورشیدی از دمای لایه دوم مخزن منبع ذخیره بیشتر باشد پمپ خورشیدی روشن شده و سیال داخل مدار را تا زمانی که اختلاف درجه به صفر برسد به گردش در می‌آورد. این کار سبب کاهش کار پمپ حرارتی و استفاده از انرژی خورشیدی در تأمین انرژی گرمایشی مورد نیاز می‌شد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



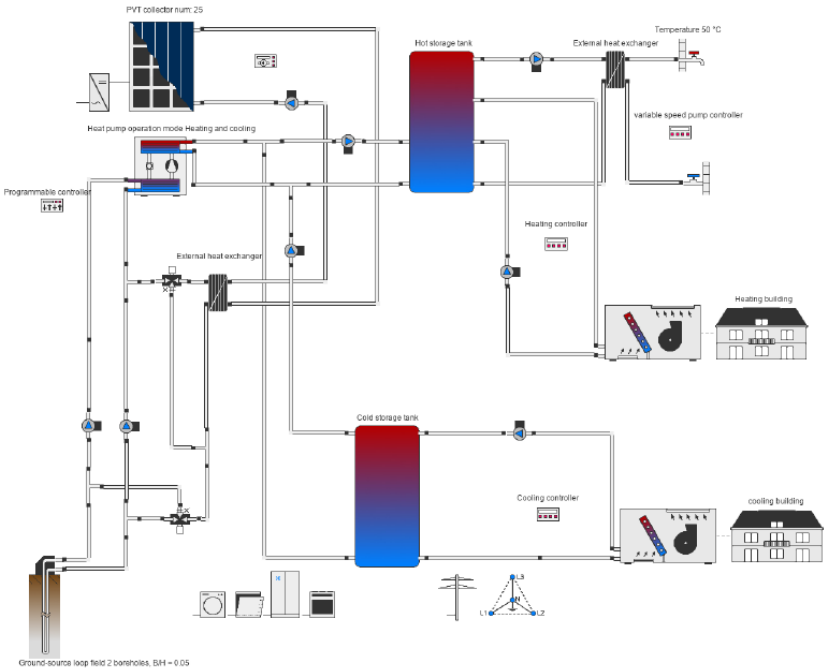
شکل ۶. طرحواره و نحوه عملکرد طرح دوم

٤-۳. طرح شماره سوم

در این طرح از انرژی خورشـــیدی علاوه بر پمپ حرارتی زمین گرمایی برای تأمین نیاز حرارتی ساختمان بهره گرفته شد که طرح آن در شکل (۷) نشان داده شده است. در این طرح کلکتور خورشیدی و مبدل زمین گرمایی در امتداد یکدیگر و به‌صورت سری و غیرمستقیم از طریق یک مبدل خارجی با یکدیگر تبادل حرارتی انجام دادند. در این طرح از یک کنترلگر برنامه‌پذیر برای تأمین نیاز گرمایش، آب گرم مصرفی و سرمایش استفاده شد. در صورتی که دمای منبع ذخیره گرم از دمای تنظیمی فن‌کویل کمتر باشد حالت گرمایشی فعال می‌شد؛ در این وضعیت نحوه عملکرد چرخه بدین صورت بود که اگر دمای جریان خروجی از کلکتور خورشیدی، از دمای سیال خروجی از اواپراتور حرارتی بیشتر باشد، سیال قبل از ورود به مبدل حرارتی زمین گرمایی در مبدل حرارتی خارجی تبادل حرارتی انجام داده و دمای آن افزایش یافته و ســپس وارد مبدل حرارتی زمینی میشــد. اما در حالت ســرمایش به‌دلیل عدم نیاز به پیش گرمایش سیال خروجی از اواپراتور، شیر کنترلی باز شده و جریان را مستقیماً به داخل مبدل زمین وارد می‌کرد. در زمانی که نیاز حرارتی وجود نداشــت و دمای کلکتور خورشــیدی از دمای مبدل زمینی بیشـــتر بود به منظور بالا بردن عملکرد کلکتور فتوولتائیک-حرارتی، کنترلگر با خاموش کردن پمپ

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

حرارتی و به روشـــن کردن پمپ چرخاننده، تبادل حرارتی در مبدل حرارتی خارجی بین جریان کلکتور خورشیدی و مبدل حرارتی زمین گرمایی ایجاد گردید.



شکل ۷. طرح‌واره و نحوه عملکرد طرح سوم

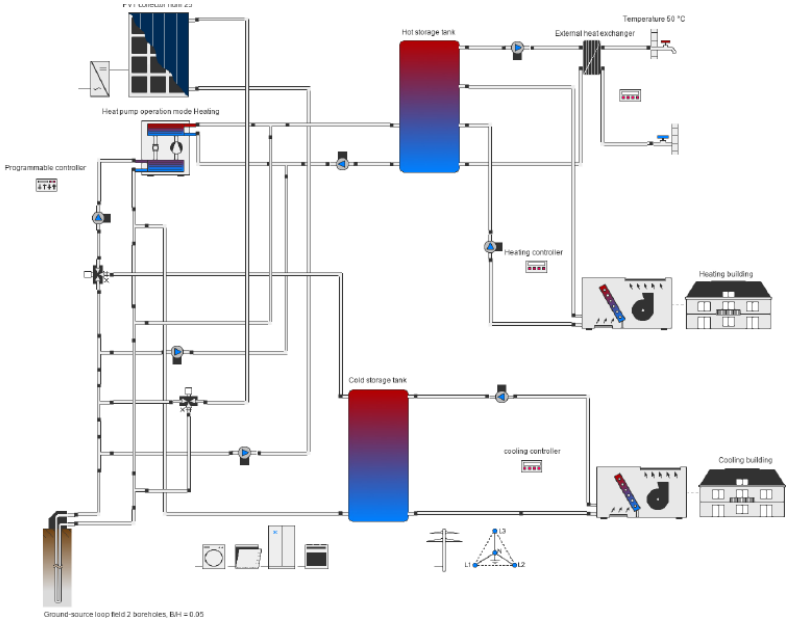
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

٤-٤. طرح شماره چهارم

در این طرح کلکتور خورشـیدی و پمپ حرارتی زمین گرمایی به‌صـورت مسـتقیم با یکدیگر تبادل حرارتی انجام دادند. در این طرح برخلاف طرح‌های قبلی صـرفاً از پمپ حرارتی در حالت تک وضـعیت گرمایشی استفاده شد؛ با این حال نیاز سرمایشی ساختمان نیز برطرف گشت. طرح در شکل (۸) نشان داده شده است. در این طرح از یک کنترلگر برنامه‌نویسی پیچیده‌تر نسبت به طرح‌های قبلی استفاده شده است. اولویت تأمین نیاز آب گرم مصرفی، گرمایش سپس سرمایش است. همچنین به دنبال راهکاری به منظور بالا بردن عملکرد کلکتور فتوولتائیک–حرارتی جهت به‌دسـت آوردن الکتریسـته بیشـتر به منظور تأمین و فروش برق تولیدی مازادِ سامانه بود. نحوه عملکرد سامانه در حالت گرمایشی به این طریق است که اگر منبع ذخیره حرارتی از دمای تنظیمی ورودی کمتر باشد پمپ حرارتی روشن می‌شد.

در این وضعیت دو حالت برای جریان خروجی از مبدل حرارتی زمینی وجود داشت؛ حالت اول این بود که دمای جریان خروجی مبدل حرارتی زمینی از دمای کلکتور خورشـیدی بیشـتر باشـد، در این وضعیت جریان بعد از خروج از مبدل حرارتی به‌صورت مستقیم وارد کلکتور خورشیدی شده و سپس وارد اواپراتور پمپ حرارتی می‌شد. در غیر این‌صورت پمپ خورشیدی خاموش شده و جریان خروجی از مبدل حرارتی زمین گرمایی مستقیماً وارد اواپراتور می‌شد. در حالت سرمایشی نیز در صورتی که منبع ذخیره سـرد دارای دمایی بیش از دمای تنظیمی ورودی بود، جریان خروجی از مبدل حرارتی زمینی به عنوان منبع دما بالا عمل کرده و جریان به جای اواپراتور وارد کندانسـور پمپ حرارتی شـده، و جریان خروجی از اواپراتور وارد منبع ذخیره سرد به منظور تأمین نیاز سـرمایشـی می‌شـد. در این حالت جریان بازگشتی از منبع ذخیره سرمایشی، جریان ورودی به اواپراتور پمپ حرارتی است. در حالتی که ساختمان نیاز گرمایشی و سرمایشی نداشته باشد به منظور بالا بردن عملکرد کلکتور فتوولتائیک–حرارتی تبادل حرارتی مستقیماً بین کلکتور فتوولتائیک–حرارتی و مبدل زمین گرمایی با روشـن شـدن پمپ چرخاننده برقرار می‌شد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



شکل ۸. طرحواره و عملکرد طرح چهارم

در ادامه به بیان و مقایسه عملکرد هر چهار طرح پیشنهادی پرداخته شده است. نتایج از خروجی نرم‌افزار گرفته شده و به‌صورت نمودار و یا جدول ارائه شدند. پارامترهای تأثیرگذار همچون میزان مصرف انرژی هر طرح، عملکرد پمپ حرارتی، میزان برق تولیدی شامل میزان برق مصرفی از شبکه داخلی و فروخته شده به شبکه خارجی و برق گرفته شده از آن، میزان دی اکسیدکربن تولیدی و ذخیره شده، اختلاف دمای ورود و عملکرد مبدل حرارتی برای هر چهار طرح پیشنهادی بررسی و تحلیل شد و برای طرح بهینه انتخابی شرایط آسایش مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل اقتصادی و راهکارهای تأمین مالی نیز در بخش اقتصادی برای منطقه مورد بررسی طرح، بیان شد.

۵. نتایج اجرای مدل

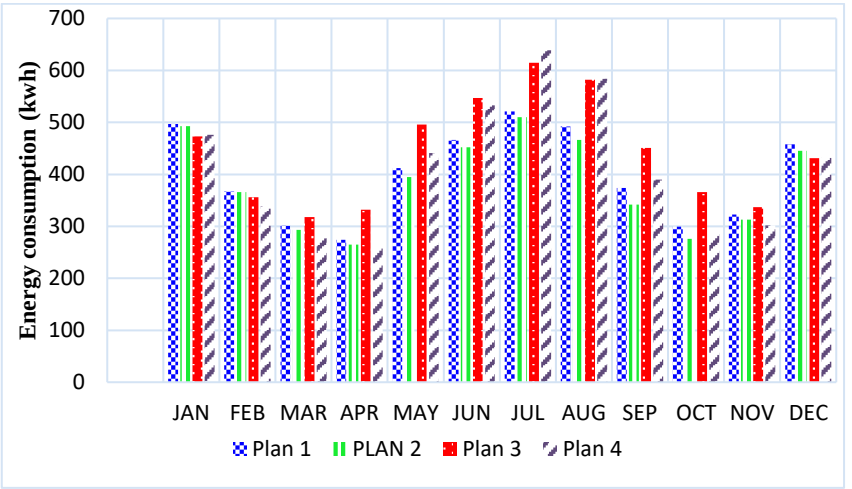
در ادامه به بیان و مقایسه عملکرد هر چهار طرح پیشنهادی پرداخته شده است. نتایج از خروجی نرم‌افزار گرفته شده و به‌صورت نمودار و یا جدول ارائه شدند. پارامترهای تأثیر گذار همچون میزان مصرف انرژی هر طرح، عملکرد پمپ حرارتی، میزان برق تولیدی شامل میزان برق مصرفی از شبکه داخلی و فروخته شده به شبکه خارجی و برق گرفته شده از آن، میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی و ذخیره

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

شده ، اختلاف دمای ورود و عملکرد مبدل حرارتی برای هر چهار طرح پیشنهادی بررسی و تحلیل شد و برای طرح بهینه انتخابی شرایط آسایش مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل اقتصادی و راهکارهای تأمین مالی نیز در بخش اقتصادی برای منطقه مورد بررسی طرح، بیان شد.

۵-۱. میزان برق مصرفی

میزان برق مصرفی هر یک از طرح‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای تعیین‌کننده انتخاب بهترین طرح محاسبه گردید. برق مصرفی شامل میزان برق مورد نیاز پمپ حرارتی در حالت تأمین آب گرم مصرفی، گرمایش، سرمایش و همچنین میزان برق مصرفی تمامی پمپ‌های طرح از جمله پمپ خورشیدی، پمپ مبدل حرارتی زمینی، پمپ‌های انتقال جریان حرارتی از منبع ذخیره گرم و سرد به فن‌کویل‌ها و غیره بود که این مقدار به برای تمامی طرح‌ها در سال پنجم به تفکیک ماه‌های مختلف سال در نمودار ۳ نشان داده شده‌اند

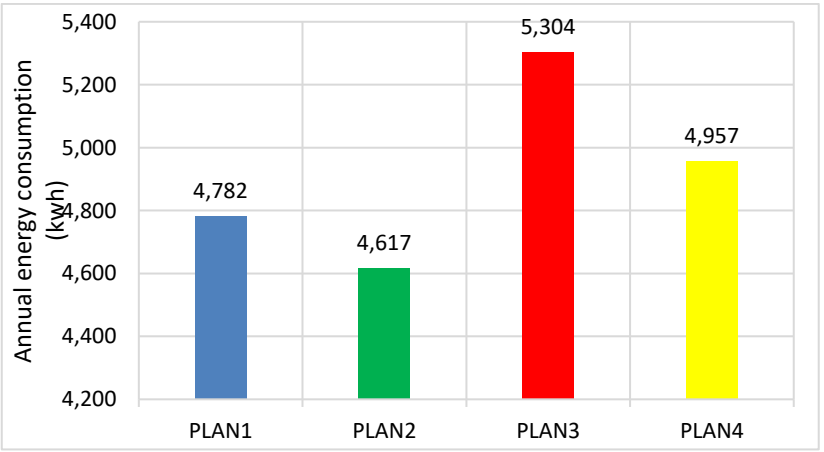


نمودار ۳. مقایسه برق تولیدی هز چهار طرح

بیش‌ترین مصرف انرژی متعلق به سردترین (ژانویه و دسامبر) و گرم‌ترین (ژولای و آگوست) ماه‌های سال که نیاز حرارتی به اوج خود رسیده، بوده است. نتایج نشان داد که با توجه به استفاده از انرژی خورشیدی به‌صورت مستقیم در طرح دوم در تأمین بخشی از نیاز آب گرم مصرفی و گرمایش در منبع ذخیره گرم، میزان مصرف انرژی در این طرح نسبت به طرح اول کاهش یافته که یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این طرح به شمار می‌رفت. در طرح سوم، به دلیل استفاده از انرژی خورشیدی و

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

زمین گرمایی به‌صورت سری (غیرمستقیم) در مبدل حرارتی خارجی، دمای آب ورودی به اواپراتور برای تأمین آب گرم مصرفی در ماه‌های سرد سال (نیاز گرمایشی) بیش از دو طرح قبلی بود؛ لذا مصرف انرژی پمپ حرارتی در ماه‌های سرد سال (نظیر ژانویه، فوریه و دسامبر) کمتر از دو طرح مذکور شد. اما به‌دلیل بالا بودن دمای ورودی کندانسور در حالت سرمایشی مصرف انرژی، بیش از دو طرح قبلی است. در طرح چهارم به دلیل تبادل حرارتی کلکتور فتوولتائیک حرارتی و مبدل حرارتی زمین به صورت مستقیم، دمای جریان ورودی به اواپراتور دارای دمای بالایی می‌باشد. لذا داشتن میزان مصرف انرژی پایین در ماه‌های سرد سال منطقی است. در ماه‌های گرم سال به دلیل نیاز کلکتور حرارتی با تبادل حرارتی با جریان مبدل حرارتی زمینی، پمپ چرخاننده بین کلکتور و مبدل حرارتی در مدت زمان بیشتری روشن بوده است که این قضیه منجر به افزایش مصرف برق طرح چهارم می‌شود. همچنین در طرح سوم و چهارم به دلیل وجود پمپ‌های چرخاننده جریان بین کلکتور فتوولتائیک حرارتی و مبدل حرارتی زمینی مصرف برق در مجموع بیشتر است. برای مقایسه بهتر میزان برق مصرفی سالانه در نمودار ۴ نشان داده شده است.



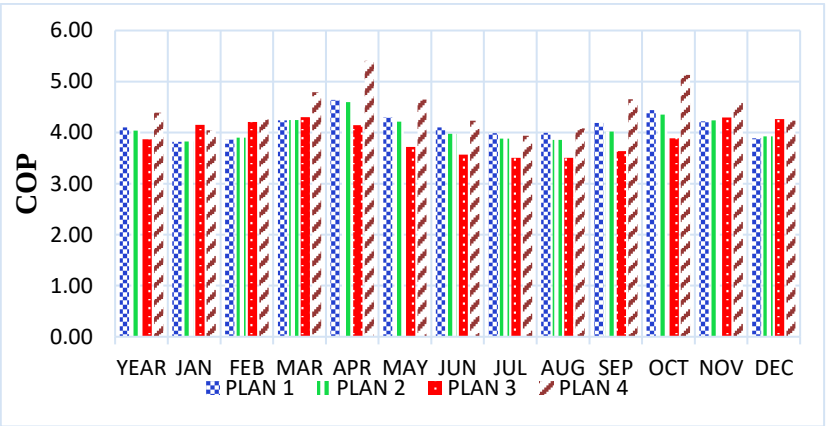
نمودار ۴. میزان برق مصرفی سالانه

۵-۲. ضریب عملکرد

برای امکان مقایسه بهتر طرح‌های پیشنهادی ضریب عملکرد در اینجا به‌صورت نسبت انتقال تمام حالات انرژی پمپ حرارتی اعم از آب گرم مصرفی، گرمایش و سرمایش (با علامت مثبت) به میزان

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

برق مصرفی پمپ حرارتی در نظر گرفته شده است. هر پمپ حرارتی که دارای بیشترین نسبت انتقال حرارت به برق مصرفی باشد دارای عملکرد قابل قبول‌تری نسبت به سایر پمپ‌های حرارتی است. در نمودار ۵ ضریب عملکرد برای ماه‌های مختلف سال برای تمامی طرح‌ها نشان داده شده است.



نمودار ۵. ضریب عملکرد ماهانه هر چهار طرح

در حالتی که انرژی خورشیدی به‌صورت موازی به سیستم متصل شود (طرح دوم) تفاوت آشکاری در میزان ضریب عملکرد دو طرح مشاهده نمی‌شود، زیرا دماهای منبع حرارتی دما بالا و پایین در هر دو طرح تقریباً یکسان است و صرفاً جریان برگشتی از منبع ذخیره گرم و ورودی به کندانسور در طرح شماره دو اندکی بالاتر است که همین امر سبب کم‌تر شدن ضریب عملکرد طرح شماره دو نسبت به طرح شماره یک می‌شود.

تفاوت اصلی این دو طرح در میزان مصرف انرژی است که در قسمت قبل مورد بررسی قرارگرفت. طرح سوم سیستم خورشیدی و پمپ زمین گرمایی به‌صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند این امر سبب بالا بردن دمای ورودی به اواپراتور در وضعیت گرمایشی سامانه شد. این امر موجب بالا رفتن ضریب عملکرد در ماه‌های سرد سال همچون ژانویه، فوریه و دسامبر نسبت به دو طرح قبلی شده است. اما در وضعیت سرمایشی اتصال سری سبب بالا رفتن دمای ورودی به کندانسور پمپ حرارتی (افزایش منبع دما بالا) می‌شود که همین امر سبب کاهش ضریب عملکرد پمپ حرارتی در وضعیت سرمایشی در ماه‌های گرم سال همچون ژوئیه، ژولای و آگوست نسبت به دو طرح قبلی پیشنهادی شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

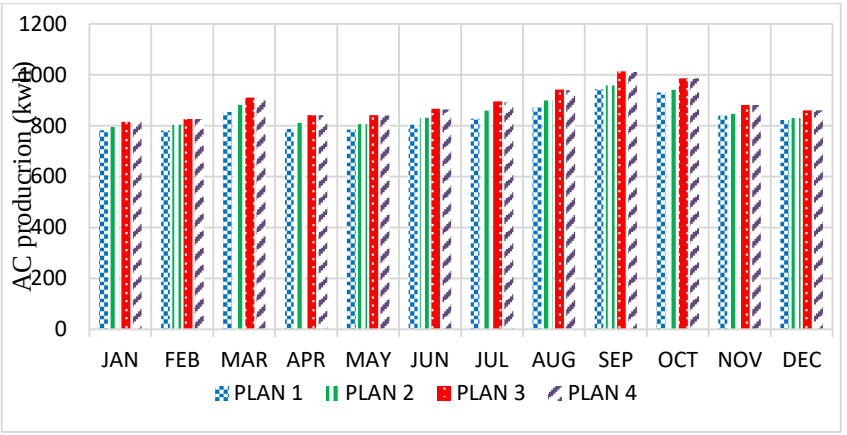
در طرح شماره چهارم کلکتور فتوولتائیک حرارتی و مبدل حرارتی زمین گرمایی به‌صورت مستقیم به یکدیگر متصل شده‌اند که سبب ایجاد بهترین ضریب عملکرد پمپ حرارتی در ماه‌های سرد سال به‌دلیل بالاتر بودن دمای ورودی به اواپراتور (افزایش دمای منبع پایین) در وضعیت گرمایشی نسبت به سه طرح قبلی شده است. در وضعیت سرمایشی نیاز همان طور که منفصلاً در ابتدای بخش توضیح داده شده است پمپ حرارتی همچنان در حالت گرمایشی روشن بوده با این تفاوت که دمای ورودی به کندانسور از طریق جریان خروجی از مبدل زمین گرمایی تأمین شده است که به دلیل کم تر بودن این دما نسبت به جریان خروجی از منبع ذخیره گرم (کاهش منبع دما بالا) ضریب عملکرد بالاتری در ماه‌های گرم سال نسبت به سه طرح پیشنهادی داشته است. در جمع‌بندی نهایی می‌توان گفت که طرح‌های شماره چهارم، اول، دوم و سوم به ترتیب بیشترین ضریب عملکرد پمپ حرارتی را دارا می‌باشند.

برای تعیین بهترین طرح پیشنهادی در ادامه میزان برق تولیدی شبکه، میزان مصرف داخلی، میزان فروش برق به شبکه سراسری و میزان برق ورودی از شبکه سراسری مورد تحلیل و بررسی قرارگرفته است.

۵-۳. میزان برق تولیدی، مصرف داخلی، و مصرف برق از شبکه سراسری

میزان برق تولیدی هر یک از چهار طرح پیشنهادی در سال پنجم و با در نظر گرفته شدن دو درصد کاهش برق تولیدی به‌دلیل افزایش سن سیستم در ادامه آورده شده و مورد تحلیل و بررسی قرارگرفته‌اند. میزان برق تولیدی شبکه داخلی برای تمامی طرح‌ها به‌صورت ماهانه در نمودار ۶ نشان داده شده است. یکی از اهداف اصلی این پروژه یافتن راهکاری مناسب برای افزایش تولید برق از شبکه می‌باشد. با مقایسه مقادیر انرژی برق تولیدی در ماه‌های مختلف سال در طرح اول و دوم مشخص می‌شود که در طرح دوم به دلیل تبادل حرارتی مناسب انجام شده بین کلکتور فتوولتائیک حرارتی با منبع ذخیره آب گرم، صفحات خورشیدی دارای دمای عملکردی مناسب‌تری نسبت به طرح اول بوده است و توانسته است برق بیشتری را تولید کنند که این یکی از مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از کلکتور فتوولتائیک–حرارتی در مقایسه با صفحات فتوولتائیک مرسوم را نشان می‌دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

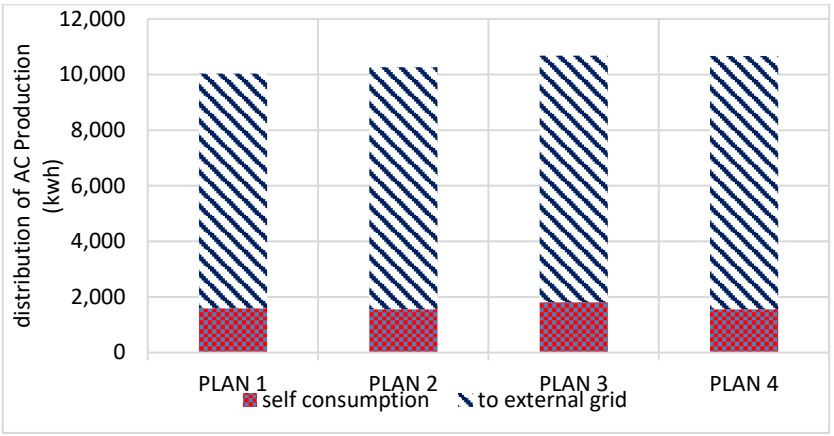


نمودار ۶. میزان برق تولیدی ماهیانه

در طرح سوم و چهارم به دلیل تبادل حرارتی سری و مستقیم بین مبدل حرارتی زمین گرمایی و کلکتور فتوولتائیک حرارتی خورشیدی، چه در زمان تأمین نیاز حرارتی و چه در زمان‌های خاموش شدن پمپ حرارتی، سبب افزایش میزان تولید برق به میزان قابل ملاحظه نسبت به دو طرح پیشنهادی قبلی شد. این امر سبب شد که طرح سوم علی‌رغم داشتن ضریب عملکرد پایین‌تر و مصرف انرژی بیشتر نسبت به طرح اول و دوم همچنان جز طرح‌های مناسب پیشنهادی مد نظر قرار گرفته شود.

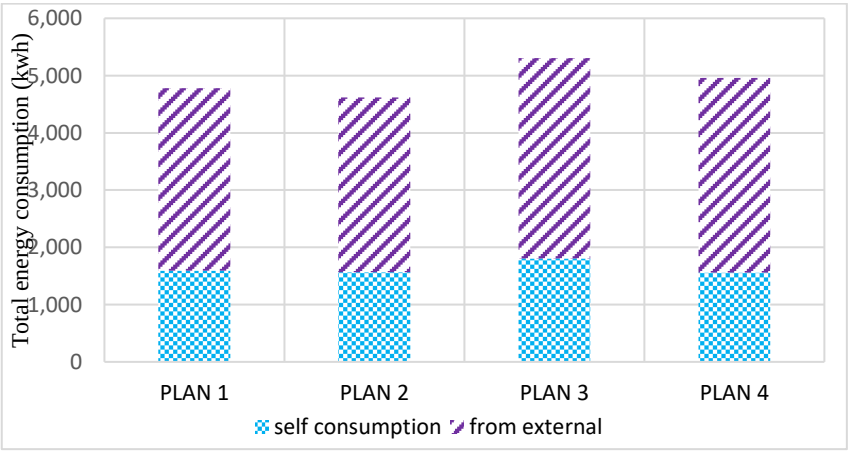
برای جلوگیری از تحمیل هزینه ناشی از مصرف برق تجهیزات حرارتی به مصرف کننده، سیستم کنترلی به نحوی طراحی شد که بخشی از برق تولیدی در شبکه داخلی مصرف شود و مازاد تولید به شبکه سراسری با توجه به خرید تضمینی برق خورشیدی فروخته شود. این امر سامانه را از داشتن باتری و تحمیل هزینه اضافی بی‌نیاز ساخته و پیامدهای مطلوبی از جمله درآمدزایی و تولید برق پاک خورشیدی و کمک به شبکه سراسری در ساعات اوج مصرف را به همراه دارد. در نمودار ۷ مقایسه میزان برق داخلی تولیدی و فروخته شده به شبکه هر چهار طرح پیشنهادی برای سال پنجم نشان داده شده است. با بررسی مقادیر فوق طرحی که بالاترین فروش برق به شبکه را دارا می‌باشد طرح چهارم است که می‌تواند گزینه مناسبی برای درآمدزایی و تأمین مالی پروژه باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



نمودار ۷. توزیع انرژی تولیدی

موضوع مهم دیگر در این بخش سهم برق تولیدی مصرفی از کل میزان برق مورد نیاز تجهیزات حرارتی (میزان مصرف انرژی ساملنه) است، زیرا کم بودن میزان آن می‌تولند هزینه زیادی را به مصرف‌کننده تحمیل کند. نمودار ۸ میزان برق مصرفی داخلی و گرفته شده از شبکه سراسری برای هر چهار طرح نشان داده شده است.

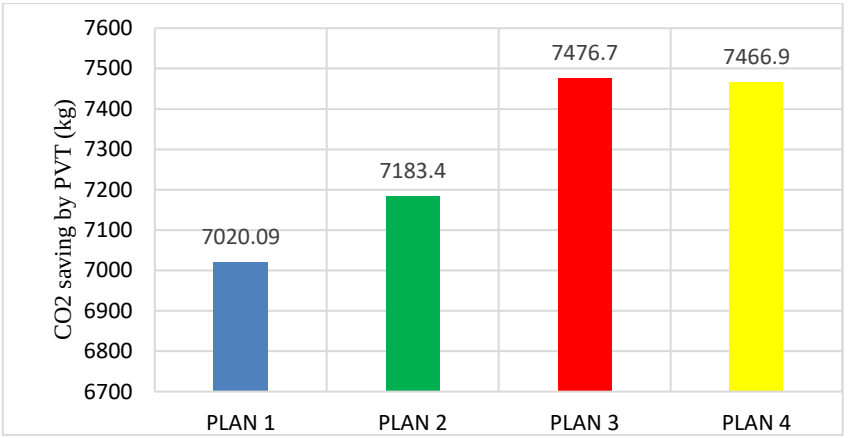


نمودار ۸. نحوه تأمین برق تولیدی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۵-٤. اثرات زیست‌محیطی

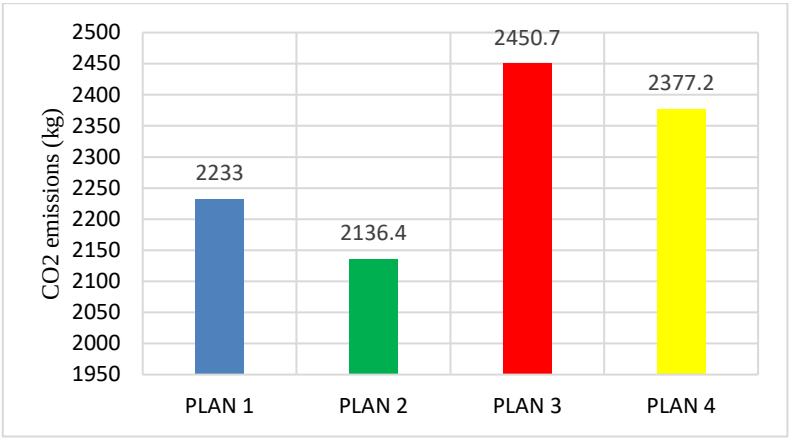
در بررسی اثرات زیست‌محیطی دو دیدگاه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. اول میزان دی‌اکسیدکربن صرفه‌جویی شده در اثر تولید برق پاک خورشیدی در مقایسه با تولید همین میزان برق تولیدی نیروگاه حرارتی محاسبه شد و سپس میزان دی‌اکسیدکربن تولیدی در اثر استفاده از برق شبکه برای تأمین نیاز برق مصرفی تجهیزات حرارتی. طبق ترازنامه انرژی منتشر شده توسط وزارت نیرو به ازای هر کیلووات برق تولیدی نیروگاه‌های ایران حدود ۷۰۰ گرم دی‌اکسیدکربن وارد محیط می‌شود. در نمودار ۹ میزان دی‌اکسیدکربن ذخیره شده برای هر چهار طرح پیشنهادی مقایسه شده است.



نمودار ۹. میزان کربن‌دی‌اکسید ذخیره شده

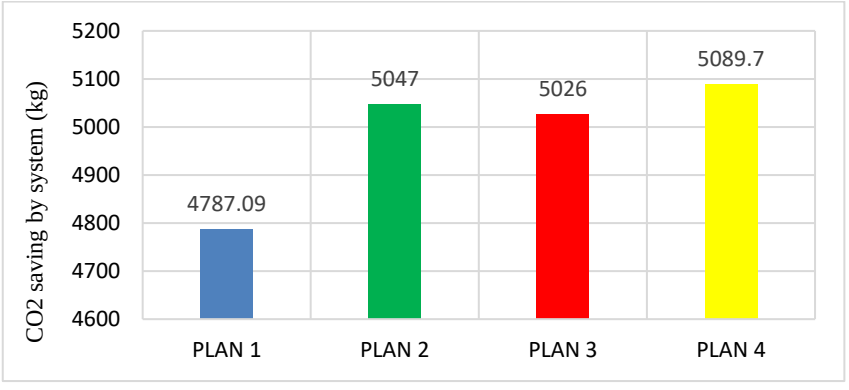
همان طور که مشخص است میزان کربن‌دی‌اکسید صرفه‌جویی شده با میزان برق تولیدی هر یک از چهار طرح پیشنهادی رابطه مستقیم دارد، لذا طرح سوم و چهارم دارای بیشترین ذخیره کربن‌دی‌اکسید هستند. بخشی از برق مصرفی تجهیزات حرارتی توسط برق شبکه تأمین می‌گردد، لذا میزان کربن‌دی‌اکسید منتشر شده به ازای برق صرفی تجهیزات حرارتی سامانه نیز محاسبه و در نمودار ۱۰ نشان داده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



نمودار ۱۰. میزان کربن‌دی‌اکسید منتشر شده از سامانه

در ادامه برای تعیین زیست‌محیطی‌ترین طرح پیشنهادی، میزان خالص دی‌اکسیدکربن ذخیره شده که برابر تفاضل میزان دی‌اکسیدکربن ذخیره شده برق خورشیدی از میزان متشر شده آن توسط پمپ حرارتی است برای هر طرح در نمودار ۱۱ نشان داده شده است. با بررسی نتایج فوق مشخص می‌شود که طرح چهارم دارای بیشترین مقدار ذخیره دی‌اکسیدکربن در بین طرح‌های پیشنهادی است. لذا می‌توان طرح چهارم را زیست‌محیطی‌ترین طرح نامید.



نمودار ۱۱. میزان کل کربن‌دی‌اکسید ذخیره شده سامانه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

۵-۵. توجیه اقتصادی

هزینه اجرایی سامانه ترکیبی پمپ حرارتی زمین گرمایی/ فتوولتائیک-حرارتی خورشیدی به دو بخش تقسیم می‌شود: بخش اول، پمپ حرارتی زمین گرمایی که شامل پمپ حرارتی، مبدل حرارتی زمینی و تجهیزات داخلی می‌باشد و بخش دوم سامانه خورشیدی است که شامل صفحات فتوولتائیک و اینورترر خورشیدی، هزینه سیم‌کشی، کنتور و تعمیر و نگهداری سالانه است. در ابتدا به تحلیل هزینه‌های احداث سامانه پمپ حرارتی زمین گرمایی پرداخته شده و سپس پارامترهای اقتصادی سیستم خورشیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۵-۶. بررسی هزینه پروژه پمپ حرارتی زمین گرمایی - خورشیدی

در این پروژه از یک پمپ حرارتی شش کیلوواتی برای تأمین انرژی حرارتی استفاده شده است. هزینه سامانه مطابق جدول ۲ مبدل حرارتی زمین گرمایی شامل هزینه حفاری، لوله‌گذاری، خرید لوله پلی اِتیلن، بتُن پرکننده می‌باشد، همچنین نیاز به دو منبع ذخیره آب گرم و سرد و هفت پمپ آب می‌باشد. سیستم خورشیدی نیز شامل هزینه کلکتور فتوولتائیک حرارتی، اینورتر، سیم‌کشی، نصب کنتور و هزینه تعمیر نگهداری است. هزینه کلکتور فتوولتائیک حرارتی در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۸. بررسی هزینه پمپ حرارتی

شرکت سازنده و مدل	هرینه واحد(دلار)	تعداد مورد نیاز	قیمت نهایی(دلار)
BOSCH-WT025 6kw –B0/W35	۳۰،۵۸۰،۰۰۰	۱	۳۰،۵۸۰،۰۰۰
کوشا پلاست	۵۰.۲	۲	۱۰۰.۴
کوشا پلاست	۱۳۵۱.۵	۲	۲۷۰۳
آبادیزل	۷۳	۷	۵۱۱
قیمت یک عدد پمپ گرمایی آب-آب ۲۷،۸۰ دلار			

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

جدول ۹. بررسی هزینه سامانه خورشیدی

تجهیزات	قیمت (دلار)
۲۵ عدد کلکتور فتوولتائیک حرارتی	۲۰۰۰
اینورتر ۵ کیلووات	۶۸۲
هزینه سیم کشی، نصب تابلو برق و کارگر	۳۲۰
هزینه نصب کنتور دو طرفه	۲۰
هزینه تعمیر و نگه داری	۵۰
مجموع	۳۰۲۲

مأخذ: نتایج تحقیق

۵-۷. توجیه‌پذیری مالی

مهمترین درآمدی که این سامانه تجدیدپذیر برای مصرف‌کننده دارد همان کاهش هزینه از طریق فروش مازاد برق تولیدی به شبکه سراسری و عدم نیاز به انتقال خطوط گاز به استان می‌باشد. با توجه به پروژه انتقال گاز به استان پهناور سیستان و بلوچستان و اطلاعیه وزارت نفت در مورد این طرح، این پروژه به سرمایه‌گذاری اولیه‌ای معادل ۱/۸ میلیارد دلار نیاز خواهد داشت تا گازرسانی به سیصد هزار خانوار صورت گیرد. یعنی به ازای هر خانوار مبلغی حدود ۶۰۰۰ دلار به دولت تحمیل خواهد شد تا طرح انتقال گاز به سیستان و بلوچستان عملی شود. دولت می‌تواند این هزینه را به صورت وام بلاعوض برای خرید و نصب سیستم پمپ حرارتی زمین گرمایی که طبق محاسبات برابر با همین مقدار هزینه بود پرداخت کند. موضوع مهم دیگر درآمد ناشی از صادرات گاز طبیعی است؛ نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار دیزاین بیلدر نشان داد که یک خانواده چهار نفره بطور متوسط سالانه نیاز به ۹۵۰ متر مکعب گاز طبیعی برای تأمین نیاز آب گرم و گرمایش ساختمان مسکونی دارند. که این مقدار برابر با متوسط مصرف سرانه گاز یک خانوار چهار نفره در استان‌های غربی و شمالی سیستان و بلوچستان بود. با توجه به قیمت متوسط جهانی ۱.۳۷ دلار به ازای فروش هر متر مکعب گاز طبیعی دولت می‌تولند به ازای هر خانوار، سالانه درآمدی معادل با ۱۳۰۱,۵ دلار را برای کشور به‌دست آورد.

همان طور که در قسمت قبل محاسبه شد؛ خرید، نصب و راه‌اندازی سامانه خورشیدی هزینه برابر با ۳۰۷۲ دلار به همراه دارد. سامانه خورشیدی سالانه بخش قابل قبولی از میزان تولید خود را با توجه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

به نتایج بخش قبلی به شبکه سراسری می‌فروشد و با توجه به خرید تضمینی برق خورشیدی توسط دولت، می‌توان برای سامانه خورشیدی تحلیل اقتصادی بر اساس معیار ارزش فعلی خالص انجام و نرخ بازدهی داخلی و مدت زمان بازگشت سرمایه را محاسبه و مورد تحلیل قرار داد. فرضیات این تحلیل در جدول ۴ در ادامه بیان شده است.

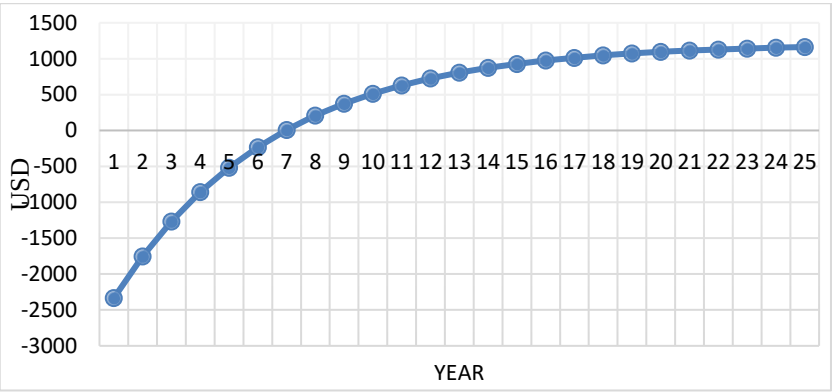
جدول ۱۰. فرضیات تحلیل ارزش فعلی خالص

طول عمر سامانه(سال)	۲۵
نرخ بهره مؤثر (٪ سالانه)	۱۵
میزان افزایش سالانه انرژی(٪ سالانه)	۳۰
تورم(٪)	۳۵
درصدکاهش تولید برق بر اساس افزایش عمر سیستم به‌صورت سالانه(٪ سالانه)	۰/۵
هزینه اولیه (دلار)	۳۰۲۲
هزینه تعمیر و نگهداری سیستم(دلار)	۵۰
هزینه خرید برق از شبکه سراسری($\frac{USD}{kwh}$)	۰/۰۲۴
فروش برق به شبکه سراسری(دلار)	۰/۰۹۵

مأخذ: نتایج تحقیق

تحلیل ارزش فعلی خالص برای ۲۵ سال برای این سامانه محاسبه شد.این سامانه نه تنها هزینه‌های خود را پوشش می‌دهد، بلکه ازسال هفتم تا پایان دوره ۲۵ ساله عمر سامانه دارای سودهی است. نمودار ارزش خالص فعلی در نمودار ۱۲ نشان داده شده است از دیدگاه ارزش سرمایه گذاری نیز این طرح دارای نرخ بهره داخلی ۲۲/۵ درصد است بیش از سرمایه‌گذار در مؤسسات مالی و بانک‌ها سوددهی دارد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]



نمودار ۱۲. نمودار ارزش فعلی خالص

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله یک خانه ۹۴ متر مربعی برای یک خانواده ۴ نفره در استان سیستان و بلوچستان در جنوب شـــرقی ایران با مصـــالح ســـاختمانی متداول طراحی و با نرم‌افزار دیزاین بیلدر طراحی و دمای آسایش گرمایشی بر روی ۲۰ درجه سانتی گراد و دمای سرمایش نیز بروی ۲۳ درجه سانتی گراد تنظیم گشت و روزانه نیاز به ۲۰۰ لیتر آب گرم مصرفی ۵۰ درجه لحاظ شد. میزان نیاز حرارتی شامل گرمایش، سرمایش و آب‌گرم مصـرفی به‌صورت ساعتی برای طی سال محاسبه و از نرم‌افزار خروجی گرفته شد. برای تأمین نیاز آب‌گرم مصـرفی، گرمایش و سـرمایش سـاختمان از انرژی خورشـیدی و زمین گرمایی به‌صـورت همزمان، چهار طرح شـامل پمپ حرارتی زمین گرمایی و صـفحات فتوولتائیک، پمپ حرارتی زمین گرمایی و کلکتور فتولتائیک حرارتی به‌صـــورت موازی، ســـری و مســـتقیم مورد طراحی و تمامی طرح‌ها از لحاظ میزان مصرف انرژی، ضریب عملکرد پمپ حرارتی، میزان برق تولیدی و دی‌اکسیدکربن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند.

طرح دوم به‌دلیل تأمین بخش از انرژی آب گرم مصـــرفی و گرمایش به‌صـــورت موازی با پمپ حرارتی دارای کمتری مقدار مصرف انرژی در میان چهار طرح پیشنهادی بود. طرح سوم (تبادل حرارت ســری) و طرح (چهارم) به دلیل پیش گرم کردن جریان ورودی به پمپ حرارتی از طریق تبادل حرارتی غیرمستقیم و مستقیم توانستند بالاترین ضریب عملکرد برای ماه‌های سرد سال را به‌دست آورند. طرح چهارم نیز توانســت بالاترین ضــریب عملکرد را از آن خود کند. یکی از مهم‌ترین اهداف این پایان‌نامه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

افزایش برق تولیدی از سامانه فتوولتائیک برای تأمین بخشی از نیاز حرارتی و فروش برق مازاد تولیدی به شبکه سراسری بود. طرح دوم به دلیل تبادل حرارتی بهتر با منبع دخیره گرم توانست برق بیشتری نسبت به صفحه فتولتائیک عادی تولید کند. طرح سوم و چهارم به‌دلیل برقراری تبادل حرارتی مستمر و پایدار بین کلکتور فتوولتائیک و مبدل حرارتی زمین گرمایی توانستند در حدود ۶/۵ درصد بیش از صفحات فوتوولتائیک با ظرفیت مشابه را برق تولید کنند. پارامتر مهم دیگری که مورد ارزیابی قرارگرفت میزان دی‌اکسیدکربن ذخیره شده توسط کلکتور خورشیدی، تولیدی پمپ حرارتی و دخیره کلی سیستم بود. که طرح چهارم از بالاترین میزان ذخیره کربن دی‌اکسیدکربن برخوردار بود.

بعد از انتخاب طرح چهارم به عنوان بهترین طرح پیشنهادی، بررسی اقتصادی و تأمین مالی نیز برای پروژه صورت پذیرفت. هدف از این کار توجیه اقتصادی و ارائه راهکار تأمین مالی و ایجاد درآمدزایی پایدار برای ساکنین بود. هزینه‌های طرح شامل پمپ حرارتی زمین گرمایی و ساملنه خورشیدی بود که پمپ حرارتی زمین گرمایی با توجه به عدم دسترسی استان به گاز سراسری، پرهزینه و زمان‌بر بودن انتقال خطوط گاز طبیعی و امکان صادرات آن، می‌تواند نیاز استان را برطرف ساخته و امکان استفاده از انرژی تجدیدپذیر با هزینه تقریباً یکسان با انتقال گاز طبیعی را فراهم نماید. با توجه به خرید برق تجدیدپذیر سامانه خورشیدی توسط دولت تحلیل ارزش خالص فعلی برای سامانه خورشیدی صورت پذیرفت و زمان بازگشت سرمایه در طرح ۷ سال به‌دست آمد. که با توجه به عمر حداقل ۲۵ ساله طرح عددی منطقی است. همچنین مقدار نرخ بهره داخلی ۲۲/۵ به‌دست آمد که از نظر اقتصادی نرخی جذابی برای سرمایه‌گذاری است.

منابع

[1] Cimmino M. and P. Eslami-Nejad (2017). "A Simulation Model for Solar Assisted Shallow Ground heat Exchangers in Series Arrangement". *Energy and Buildings*, No. 157, pp. 227-246.

[2] Kamel R.S., Fung A.S. and P.R. Dash (2015). "Solar Systems and their Integration with Heat Pumps: A Review". *Energy and buildings*, No.87, pp.395-412.

[3] Lake A., Rezaie B. and S. Beyerlein (2017). "Review of District Heating and Cooling Systems for a Sustainable Future". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 67, pp. 417-425.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

[4] Lerch W., Heinz A. and R. Heimrath (2015). "Direct use of Solar Energy as heat Source for a Heat Pump in Comparison to a Conventional Parallel Solar air Heat Pump System". *Energy and buildings*, No.100, pp. 34-42.
[5] Li H., Sun L. and Y. Zhang (2014). "Performance Investigation of a Combined Solar Thermal Heat Pump Heating System". A*pplied Thermal Engineering*, 71(1), pp. 460-468.
[6] Mohanraj M., Belyayev Y., Jayaraj S. and A. Kaltayev (2018). "Research and Developments on Solar Assisted Compression Heat Pump Systems–A Comprehensive Review (Part A: Modeling and modifications)". *Renewable and sustainable energy reviews*, No. 83, pp. 90-123.
[7] Rad F.M., Fung A.S. and W.H. Leong (2013). "Feasibility of Combined Solar Thermal and Ground Source Heat Pump Systems in Cold Climate, Canada". *Energy and Buildings*, No. 61, pp. 224-232.
[8] Razavi S.H., Ahmadi R. and A. Zahedi (2018). "Modeling Simulation and Dynamic Control of Solar Assisted Ground Source heat Pump to Provide Heating Load and DHW". *Applied Thermal Engineering*, No. 129, pp.127-144.
[9] Reda F., Arcuri N., Loiacono P. and D. Mazzeo (2015). "Energy Assessment of Solar Technologies Coupled with a Ground Source Heat Pump System for Residential Energy Supply in Southern European climates". *Energy*, No. 91, pp. 294-305.
[10] Si Q., Okumiya M. and X. Zhang (2014). "Performance Evaluation and Optimization of a Novel Solar-ground Source Heat Pump System". *Energy and Buildings*, No. 70, pp. 237-245.
[11] Soltani M., Kashkooli F.M., Dehghani-Sanij A., Kazemi A., Bordbar N., Farshchi M., Elmi M., Gharali K. and M.B. Dusseault (2019). "A Comprehensive Study of Geothermal Heating and Cooling Systems". *Sustainable Cities and Society*, No. 44, pp. 793-818.
[12] Thygesen R. and B. Karlsson (2013). "Economic and Energy Analysis of three Solar Assisted Heat Pump Systems in Near Zero Energy Buildings". *Energy and Buildings*, No. 66, pp. 77-87.
[13] Wang G., Zhao Y., Quan Z. and J. Tong (2018). "Application of a Multi-function Solar-heat Pump System in Residential Buildings". *Applied Thermal Engineering*, No. 130, pp. 922-937.
[14] Yau Y. and S. Hasbi (2013). "A Review of Climate Change Impacts on Commercial Buildings and their Technical Services in the Tropics". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* No.18, pp. 430-441.
[15] Yousefi H., Noorollahi Y., Ehara S., Itoi R., Yousefi A., Fujimitsu Y., Nishijima J. and K. Sasaki (2010). "Developing the Geothermal Resources Map of Iran". *Geothermics* 39(2), pp. 140-151.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]