آنالیز فنی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی

فریده عتابی[*1]، عبدالرزاق کعبی نژادیان[2]، المیرا موسی‌زاده نمینی[3]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۰/۰۶/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۰/۱۱/۰۴

چکیده:

در این مقاله با توجه به مشخصات جغرافیایی و اقلیمی شهر تهران، مشخصات یک نمونه ساختمان مسکونی ۸ واحدی و میزان تقاضای گازطبیعی و آبگرم مصرفی ساختمان مورد نظر، دو سناریو با در نظر گرفتن نرخ داخلی و جهانی الکتریسیته و گازطبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. در سناریوی A یک سیستم آبگرمکن خورشیدی چرخش اجباری برای تأمین آبگرم مورد نیاز با نرخ داخلی الکتریسیته و گازطبیعی و در سناریوی B ، همان سیستم با نرخ جهانی الکتریسیته و گازطبیعی با استفاده از نرم‌افزار RETScreen مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در سناریوهای A و B سهم آبگرمکن خورشیدی در تأمین انرژی مورد نیاز جهت گرمایش آب ۵۳٪ می‌باشد. میزان صرفه‌جویی گازطبیعی m^3/yr ۴۷۷۷، مقدار کل هزینه سرمایه‌گذاری ۷۸۹۸ دلار و میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای tCO_2/yr ۶/۴ می‌باشد. در سناریوی A میزان کاهش هزینه خسارت‌های زیست‌محیطی حاصل از تولید گازهای گلخانه‌ای tCO_2 ۱۲۳ دلار و دوره بازگشت سرمایه yr ۱۶/۹ می‌باشد. در سناریوی B نیز میزان کاهش هزینه خسارت‌های زیست‌محیطی حاصل از تولید گازهای گلخانه‌ای tCO_2 ۱۰۱ دلار و دوره بازگشت سرمایه yr ۶/۳ می‌باشد. بنابراین، استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی با در نظر گرفتن قیمت الکتریسیته و گازطبیعی در سطح جهانی، توجیه اقتصادی دارد.

کلمات کلیدی:
سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ساختمان مسکونی، آنالیز فنی- اقتصادی و زیست‌محیطی

[*1] استادیار دانشکده محیطزیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی far-atabi@jamejam.net
۲) استادیار سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) Kaabi@iranenergi.org.ir
۳) کارشناس ارشد مهندسی محیطزیست، دانشکده محیطزیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی elmousazadeh@gmail.com

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

مقدمه

سالمون[1] اهل فرانسه در سال ۱۶۱۵ بیانیه‌ای در رابطه با موتور خورشیدی منتشر نمود. او با استفاده از تعدادی عدسی نصب شده بر روی یک قاب، اشعه خورشید را بر روی یک استوانه فلزی سربسته که قسمتی از آن از آب پر شده بود، متمرکز نمود. تابش خورشید باعث گرم شدن هوای داخل استوانه شده و با انبساط هوا، فشار داخل محفظه افزایش یافته و آب به بیرون از محفظه رانده شد. موشو[2] اولین کلکتور خورشیدی با متمرکزکننده مخروطی شکل را طراحی نمود. آینه‌های داخل مخروط کلیه پرتوهای خورشید را در نقطه‌ای در وسط مخروط ناقص که جذب‌کننده‌ای در آنجا نصب شده بود، متمرکز می‌کرد. این کلکتور، اکسیکون[3] نامیده شد. اولین اکسیکون بزرگی که ساخته شد، شامل یک صفحه از جنس نقره با قطر ۵۴۰ cm و سطح ۱۸/۲ m^2 بود و وزن آن با کلیه قسمت‌های متحرک در حدود ۱۴۰۰ kg بود و قدرت داشت ۷۸٪ از انرژی خورشیدی تابیده شده را جذب کند، ولی از آنجایی که در این طرح، تابش خورشید به جای یک نقطه در یک سطح متمرکز می‌شد، دارای شدت کمتری بود. در سال ۱۸۸۰، اولین کلکتور صفحه تخت خورشیدی به وسیله تلی‌یر[4] ساخته شد[۱].

استفاده از انرژی خورشیدی در تولید آبگرم مصرفی و گرمایش ساختمان‌ها در آمریکا، روسیه، استرالیا و سایر کشورها از سال ۱۹۴۰ به بعد رو به توسعه نهاد. بحران انرژی در سال ۱۹۷۳، اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی را افزایش داد و سرمایه‌گذاری‌های زیادی در غالب کشورهای جهان به ویژه در کشورهای صنعتی برای دستیابی به طرح‌های بهینه کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی انجام پذیرفت [۱۱]. زنگ خطر محدودیت منابع کره زمین در سال ۱۹۷۰، توسط پیچی[5]، بازرگان ایتالیایی، و کینگورا[6] از متولیان سازمان رم کلاب[7]، به صدا درآمد. آنان در گزارشی به نام "محدودیت رشد" ، محدودیت انرژی را اعلام کردند که محدودیت انرژی و وابستگی جهان به کاربرد سوخت‌های فسیلی به خصوص نفت، دنیا را به لرزه در خواهد آورد[۳].

نخستین اختراع تجاری آبگرمکن خورشیدی توسط کلارنس کمپ[8] در سال ۱۸۹۱ صورت گرفت. این آبگرمکن موسوم به کلیماکس[9] شامل چهار مخزن آب استوانه‌ای شکل بلند از جنس آهن گالوانیزه و آغشته به رنگ سیاه بود که به طور افقی در جعبه‌ای عایق با پوششی از شیشه قرار داشت. آبگرمکن خورشیدی به شکل کنونی آن توسط ویلیام جی بیلی[10] در سال ۱۹۰۹ در کالیفرنیا به ثبت رسید که مشابه سیستم ترموسیفون بود[۶].

---

1) Salmon De Caum
2) Mouchot
3) Axicon
4) Telier
5) Pecchi
6) Kingura
7) Rome Club
8) Kelarns Camp
9) Climax
10) William.J.Bailey

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

بر اساس آنالیز فنی- اقتصادی بر روی سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی در کشور اردن در سال ۲۰۰۴، مشخص شد که استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی مناسب‌تر از آبگرمکن گازی می‌باشد[۸]. در سال ۲۰۰۴، آنالیزی بر روی سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی در کشور برزیل انجام شد و نتایج نشان داد استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی خانگی برای افراد کم درآمد برزیل از نظر اقتصادی بسیار مناسب است[۹]. در کشور لبنان حدود ۹۹٪ انرژی اولیه مصرفی از سایر کشورها تأمین می‌شود و الکتریسیته مهمترین سوخت مصرفی این کشور می‌باشد. بنابراین، استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی باعث کاهش میزان مصرف برق و صرفه‌جویی اقتصادی به میزان میلیون‌ها دلار شده است[۷]. در تحقیقی تحت عنوان استراتژی افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور تایوان اثبات گردید که تولید آب گرم توسط سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه بوده و گزینه مناسبی برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در این کشور می‌باشد[۵]. استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی خانگی در یونان طی سال‌های ۱۹۷۸ الی ۲۰۰۷ باعث صرفه‌جویی در مصرف برق و کاهش انتشار آلاینده‌های هوا گردید و انتشار CO_2 را به میزان ۴۴/۷٪ کاهش داد[۱۰].

گرمایش آب به طور متوسط ۲۰ الی۳۰ درصد کل انرژی مصرفی در منازل را شامل می‌شود. با استفاده از آبگرمکن خورشیدی می‌توان سالیانه ۷۰٪ انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب را تأمین نمود. اکثر آبگرمکن‌های خورشیدی به سادگی بر روی بام منازل قابل نصب بوده و با لوله‌کشی و اتصال تانک ذخیره به سیستم آبگرمکن داخلی قابل استفاده می‌باشند. استفاده از آبگرمکن خورشیدی تا حدود ۷۰٪ از میزان هزینه‌های انرژی را جهت تأمین آبگرم مصرفی می‌کاهد. به دلیل بهره‌مندی از انرژی خورشیدی، خطرات مسمومیت، آتش‌سوزی، انفجار و برق گرفتگی که ناشی از مصرف گاز و سوخت‌های مایع، جامد و برق است، کاملاً حذف می‌شود[۴].

استفاده از گرمایش خورشیدی برای تأمین آبگرم مصرفی در ایران از طریق راه‌اندازی دو نوع سیستم آبگرمکن‌های خانگی خورشیدی و حمام‌های عمومی خورشیدی صورت گرفته است. در زمینه نصب آبگرمکن‌ها و حمام‌های خورشیدی، دو وزارتخانه نیرو و نفت اقداماتی را انجام داده‌اند. تا قبل از سال ۱۳۸۵، وزارت نیرو تعداد ۱۰۴۱ آبگرمکن خورشیدی نصب نمود و در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ عملکردی در این خصوص نداشته است. وزارت نفت نیز طی سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۶ در مجموع ۱۴۹۳۰ آبگرمکن خورشیدی و ۳۴۱ حمام خورشیدی نصب و راه‌اندازی کرده است. در سال ۱۳۸۶ تعداد ۱۵۰۰ آبگرمکن خورشیدی و ۵۳ حمام خورشیدی به مرحله بهره‌برداری رسیده است[۲].

در این تحقیق، آنالیز فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی صورت گرفته است. با توجه به مشخصات جغرافیایی و اقلیمی شهر تهران، مشخصات یک نمونه ساختمان مسکونی ۸ واحدی و همچنین میزان تقاضای گازطبیعی و آبگرم مصرفی ساختمان مورد نظر، دو سناریو با در نظر گرفتن نرخ داخلی و جهانی الکتریسیته و گازطبیعی با استفاده از نرم‌افزار RETScreen Version 4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

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

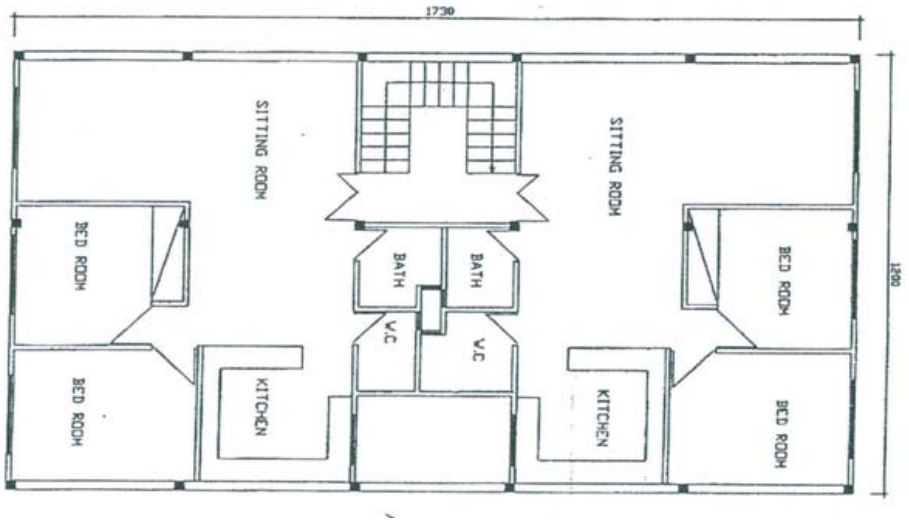
مواد و روش‌ها

با توجه به مشخصات جغرافیایی و اقلیمی شهر تهران، برای یک ساختمان مسکونی ۸ واحدی و با توجه به تعداد افراد ساکن در آن، میزان گازطبیعی و آب مصرفی مورد نیاز ساکنین، دو سناریوی مختلف با در نظر گرفتن نرخ‌های داخلی و جهانی الکتریسیته و گازطبیعی برای سیستم آبگرمکن خورشیدی مد نظر قرار گرفت. سپس این دو سناریو با استفاده از نرم‌افزار RETScreen Version 4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ساختمان مورد مطالعه یک ساختمان مسکونی ۴ طبقه ۸ واحدی، واقع در مرکز شهر تهران است و تعداد ساکنین در ساختمان مجموعاً ۲۵ نفر می‌باشد. زیر بنای کل ساختمان m^2 ۶۶۸ و زیر بنای هر یک از واحدهای مسکونی m^2 ۸۲ می‌باشد. طبقه زیرزمین ساختمان دارای زیر بنای m^2 ۱۷۳ است و در دو جهت شمال و جنوب دارای نمای خارجی به مساحت m^2 ۲۶۱ می‌باشد که در هر نما m^2 ۴۲/۸ پنجره با شیشه یک جداره قرار گرفته است. دیوارهای ساختمان از جنس آجر معمولی بوده و فاقد عایق‌بندی می‌باشد. جدول ۱ مشخصات اقلیمی شهر تهران را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۱ نمای پلان افقی ساختمان مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول ۱): مشخصات اقلیمی شهر تهران [۱۳]

ماه	درجه حرارت هوا (°C)	رطوبت نسبی (%)	اشعه خورشید به صورت افقی (kWh/m²/day)	فشار اتمسفر (kPa)	سرعت باد (m/s)	دمای زمین (°C)	درجات گرمایشی (°C/day)	درجات سرمایشی (°C/day)
ژانویه	۳	۶۵	۲/۴۴	۸۸/۵	۳/۵	۱	۴۶۵	۰
فوریه	۵/۳	۵۷	۳/۳۳	۸۸/۳	۵	۲/۵	۳۵۶	۰
مارس	۱۰/۳	۴۷	۴/۰۸	۸۷/۹	۶/۴	۷/۳	۲۳۹	۹
آوریل	۱۶/۴	۳۹	۵/۴۲	۸۷/۵	۷/۱	۱۵/۷	۴۸	۱۹۲
مه	۲۲/۱	۳۳	۶/۴۲	۸۷/۳	۷/۲	۲۱/۹	۰	۳۷۵
ژوئن	۲۷/۵	۲۴	۷/۶۴	۸۶/۸	۶/۷	۲۶/۹	۰	۵۲۵
ژوئیه	۳۰/۴	۲۴	۷/۵۰	۸۶/۵	۵/۵	۲۹/۱	۰	۶۳۲
آگوست	۲۹/۲	۲۴	۶/۹۲	۸۶/۸	۴/۹	۲۸/۱	۰	۵۹۵
سپتامبر	۲۵/۳	۲۵	۵/۷۵	۸۷/۳	۴/۷	۲۳/۱	۰	۴۵۹
اکتبر	۱۸/۵	۳۶	۴/۲۵	۸۷/۹	۴/۷	۱۶	۰	۲۶۴
نوامبر	۱۱/۶	۴۷	۲/۹۲	۸۸/۳	۳/۹	۸/۷	۱۹۲	۴۸
دسامبر	۵/۶	۶۱	۲/۲۵	۸۸/۵	۳/۵	۲/۹	۳۸۴	۰
میانگین	**۱۷/۱**	**٤٠/١**	**٤/٩١**	**٨٧/٦**	**٥/٢**	**١٥/٢**	–	–

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



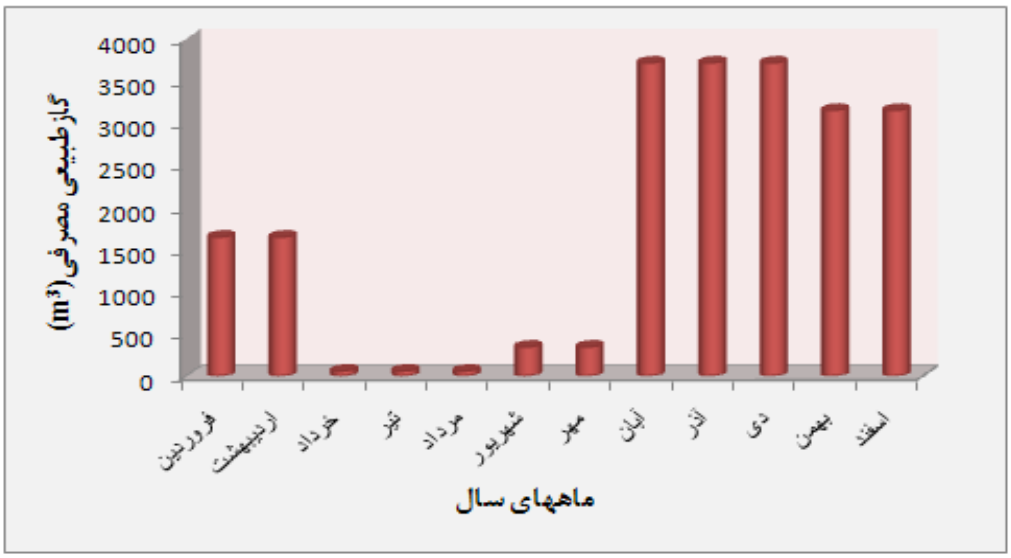
شکل ١): پلان افقی ساختمان مورد مطالعه

گازطبیعی مورد استفاده در ساختمان توسط شبکه سراسری گاز حوزه مرکزی کشور تأمین می‌شود. جدول ٢ میزان مصرف ماهیانه گازطبیعی، آب و دمای متوسط محیط را در ساختمان مسکونی مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل ٢ پروفایل میزان مصرف گازطبیعی برای تأمین انرژی حرارتی ماهیانه مورد نیاز را نشان می‌دهد.

جدول ٢): مصرف ماهیانه گازطبیعی، آب و دمای متوسط محیط در ساختمان مسکونی مورد مطالعه

ماه	گازطبیعی (m^3)	آب (m^3)	دمای متوسط محیط ($^{\circ}C$)
فروردین	١۶۴٧	۴٣/٣	١۴/۶
اردیبهشت	١۶۴٧	٣٨/٩	٢٠
خرداد	۵٨	۴٠/۵	٢۵/٣
تیر	۵٨	۴۵	٢٧/٨
مرداد	۵٨	۴۴/٢	٢۶/۶
شهریور	٣۴٢/۵	۴۵/١	٢٣/٣
مهر	٣۴٢/۵	۴۴/٣	١٧/٣
آبان	٣٧١۴	۴٣/٢	٩/۶
آذر	٣٧١۴	٣٨/٧	۵/١
دی	٣٧١۴	٣۶/۴	۴/٧
بهمن	٣١۵١	٣٧/۴	۴/١
اسفند	٣١۵١	٣٧/۵	٨/۶
مجموع	**٢١۵٩٧**	**۴٩۴/۵**	

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



شکل ٢): پروفایل میزان مصرف گازطبیعی برای تأمین انرژی حرارتی ماهیانه مورد نیاز

میزان انرژی حرارتی مصرفی

انرژی حرارتی برای گرمایش فضای ساختمان و تأمین آبگرم مصرفی مختلف است. حداکثر میزان مصرف انرژی حرارتی در ماه‌های آبان، آذر و دی، به دلیل استفاده از سیستم‌های گرمایشی می‌باشد. همچنین حداقل میزان مصرف انرژی حرارتی در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد است. جدول ٣ کل انرژی حرارتی مصرفی را در طول سال در ساختمان مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ٣): کل انرژی حرارتی مصرفی در طول سال در ساختمان مورد مطالعه

کل انرژی حرارتی مصرفی در ساختمان مورد مطالعه	
کل انرژی حرارتی مصرفی (m^3/yr)	٢١٥٩٧
متوسط مصرف انرژی حرارتی ماهیانه ($m^3/month$)	١٧٩٩/٧٥
حداقل میزان مصرف انرژی حرارتی ماهیانه (خرداد، تیر و مرداد) ($m^3/month$)	٥٨
حداکثر میزان مصرف انرژی حرارتی ماهیانه (آبان، آذر و دی) ($m^3/month$)	٣٧١۴

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

محاسبه حداکثر بار حرارتی

انرژی حرارتی مورد نیاز در ساختمان شامل انرژی مورد نیاز جهت گرمایش فضا، پخت و پز و آبگرم مصرفی می‌باشد که تجهیزات مورد استفاده شامل شوفاژ، اجاق و دیگر وسایل متفرقه گازسوز است و بازدهی این تجهیزات حدود ۷۵٪ می‌باشد. بیشترین مصرف انرژی حرارتی مختص گرمایش فضا در ماه‌های سرد سال است. حداکثر بار حرارتی ساختمان به شرایط آب و هوایی، مساحت ساختمان، جنس دیوارها، عایق‌بندی ساختمان، تعداد افراد ساکن، نوع تجهیزات گرمایشی و غیره بستگی دارد. کل انرژی حرارتی مصرفی مطابق جدول ۲، ۲۱۵۹۷ m^3/yr می‌باشد.

میزان کل انرژی حرارتی مصرفی (kWh/yr):

$$۲۱۵۹۷\ m^3/yr \times ۳۷۹۰۰\ m^3/yr \times ۰/۰۰۰۲۷۸\ kJ/m^3 \times ۰/۷۵\ kWh/kJ = ۱۷۰۶۶۲/۷۳\ kWh/yr$$

حداکثر میزان مصرف گازطبیعی در ساختمان ۳۷۱۴ $m^3/month$ می‌باشد، لذا حداکثر میزان انرژی حرارتی مصرفی در ساختمان مطابق رابطه فوق ۲۹۳۴۸/۵۸ kWh/month است. حداقل میزان مصرف گازطبیعی در ساختمان ۵۸$m^3/month$ می‌باشد، لذا حداقل میزان انرژی حرارتی مصرفی در ساختمان مطابق رابطه فوق ۴۵۸/۳۲ kWh/month است.

حداکثر بار حرارتی (kW):

$$۲۹۳۴۸/۵۸\ kWh/month \times month/۳۰\ day \times day/۲۴\ h = ۴۰/۷۶\ kW$$

مشخصات فنی ـ اقتصادی سناریوهای A و B

به منظور بررسی استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی جهت تأمین آب‌گرم مورد نیاز در ساختمان مورد مطالعه، سناریوهای A و B تعریف شد. در این سناریوها، استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی با چرخش اجباری برای تأمین آب گرم مورد نیاز کل ساختمان مورد مطالعه با نرخ داخلی و جهانی الکتریسیته و گازطبیعی در نظر گرفته شد. مشخصات فنی، مدل کلکتور و مدل آبگرمکن مورد نیاز مربوط به سناریوهای A و B جهت تأمین آب گرم مورد نیاز ساختمان، در جدول۴ ارائه شده است. جدول ۵ اطلاعات فنی آبگرمکن خورشیدی مورد نیاز و جدول ۶ اطلاعات مالی- اقتصادی آبگرمکن خورشیدی مورد نیاز در سناریوی A و B را نشان می‌دهد.

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

جدول ٤): مشخصات فنی، مدل کلکتور و مدل آبگرمکن مورد نیاز برای سناریوهای A و B

مشخصات کلکتور	مقدار	مشخصات کلکتور	مقدار
شرکت سازنده کلکتور	Solar Polar	دمای سکون ($^{\circ}C$)	۱۸۰
مدل کلکتور	Optimal	وزن (kg)	۴۲/۹
ابعاد بیرونی (cm)	۲۰۰ × ۹۴	ضخامت عایق پشت کلکتور (mm)	۵۰
سطح جاذب (m^2)	۱/۵۷	ضریب جذب (%)	۹۶
سطح قابل رویت (m^2)	۱/۷۸	جنس قاب	AL6063 اکسترود شده
نوع عایق	پشم سنگ	عرض صفحه جاذب (mm)	۱۴۳
دانسیته عایق حرارتی (kg/m^3)	۸۰	پوشش صفحه جاذب	پاشش یونی در خلأ
نوع شیشه	شیشه مشجر کم آهن	ضریب بازتابش حرارتی صفحه جاذب (%)	۷
ضریب عبور شیشه (%)	۸۶	ابعاد لوله هدر (مس) (mm)	قطر ۲۲، ضخامت ۰/۹
ضخامت شیشه (mm)	۴	لوله اتصال صفحه جاذب به هدر (مس) (mm)	قطر ۱۰، ضخامت ۰/۹
تست‌های انجام شده بر اساس استانداردهای (ISO 9060/9459-I/II, En12975-2)		تست نفوذ آب به کلکتور تست عدم نشت از کلکتور در فشار (۱۱۷/۷ Psi)	
مشخصات آبگرمکن	**مقدار**	**مشخصات آبگرمکن**	**مقدار**
شرکت سازنده آبگرمکن	Tisun	وزن مخزن (kg)	۳۱۰
مدل آبگرمکن	BE-SSPK1500	حداکثر عملکرد فشار (bar)	۱۰
ارتفاع و قطر مخزن (mm)	۲۰۸۰ و ۱۰۰۰	حداکثر عملکرد دما ($^{\circ}C$)	۹۵

افت فشار در کلکتور برای دبی ۱۰۸ kg/hr برابر ۱۲۸/۵ mbar است.

جدول ۵): اطلاعات فنی آبگرمکن خورشیدی مورد نیاز در سناریوهای A و B

مشخصات فنی	مقدار	مشخصات فنی	مقدار
آبگرم مصرفی روزانه (L/d)	۱۵۰۰	مدل کلکتور	Optimal
آبگرمکن انتخابی (L)	آبگرمکن ۱۵۰۰ لیتری همراه با مبدل حرارتی	شرکت سازنده آبگرمکن	Tisun
درجه حرارت آبگرم ($^{\circ}C$)	۶۰	مدل آبگرمکن	BE-SSPK1500
وضعیت تعقیب خورشید	ثابت	راندمان مبدل حرارتی (%)	۸۰
شیب کلکتور	۴۵ درجه	ظرفیت ذخیره به سطح کلکتورخورشیدی (L/m^2)	۵۰
نوع کلکتور	شیشه‌ای	توان پمپ به سطح کلکتور خورشیدی (W/m^2)	۲/۹۱
شرکت سازنده کلکتور	Solar Polar	افت آبگرمکن و افت مخزن ذخیره (%)	۵ و ۶

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

جدول ٦): اطلاعات مالی و اقتصادی آبگرمکن خورشیدی مورد نیاز در سناریوهای A و B

هزینه مالی و اقتصادی	هزینه	هزینه مالی و اقتصادی	هزینه
نصب ($US)	۹۵۲	ساختمان و محوطه ($US/m^2)	۵۷
لوله کشی ($US)	۴۷۶	پمپ چرخش (سیرکولاسیون) ($US/W)	۱۱۴۳
نقل و انتقال ($US)	۱۱۴	سازه تکیه‌گاه کلکتور خورشیدی ($US/m^2)	۲۸۶
مطالعات امکان‌سنجی ($US)	۹۵	نرخ اعتبار کاهش گازهای گلخانه‌ای ($US/$tCO_2$)	۲۰
طراحی مکانیکی ($US)	۱۹۰	نرخ داخلی گازطبیعی ($US/m^3)	۰/۰۶
مخزن ذخیره ($US/L)	۱۳۳۳	نرخ جهانی گازطبیعی ($US/m^3)	۰/۲۴
لوله مصرفی ($US/m)	۵۷۲	نرخ داخلی الکتریسیته ($US/kWh)	۰/۰۴
کلکتور خورشیدی ($US/m^2)	۲۶۸۰	نرخ جهانی الکتریسیته ($US/kWh)	۰/۱۳

نرخ افزایش بهای سوخت و نرخ تورم ۱۰٪، طول عمر پروژه ۲۵ سال و قیمت هر دلار معادل ۱۰۵۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از نرم‌افزار RETScreen Version 4 به منظور استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی برای تأمین آب گرم مورد نیاز در ساختمان مورد مطالعه با در نظر گرفتن نرخ داخلی و جهانی الکتریسیته و گازطبیعی به شرح ذیل می‌باشد:

نتایج امکانسنجی فنی حاصل از نرم‌افزار RETScreen Version 4 در ارتباط با بررسی استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی به منظور تأمین آب گرم مورد نیاز در ساختمان مورد مطالعه در سناریوهای A و B به شرح جدول ۷ می‌باشد. همچنین جدول ۸ دوره بازگشت سرمایه و هزینه‌های سیستم را با نرخ داخلی الکتریسیته و گازطبیعی برای سناریوی A نشان می‌دهد.

جدول ۷): نتایج امکانسنجی فنی برای سناریوهای A و B

مشخصات	مقدار	مشخصات	مقدار
تعداد کلکتورها	۱۲	انرژی تولید شده (MWh/yr)	۱۴/۴
ظرفیت ذخیره (L)	۹۴۲	سهم انرژی خورشید در تأمین انرژی سیستم (%)	۵۳
حداقل دمای آب ($^{\circ}$C)	۱۲/۲	تشعشع سالیانه خورشید به صورت افقی (MWh/m^3)	۱/۷۹
حداکثر دمای آب ($^{\circ}$C)	۲۱/۸	تشعشع سالیانه خورشید به صورت عمودی (MWh/m^3)	۱/۹۱
مساحت کلکتور خورشیدی (m^2)	۲۱/۳۶	الکتریسیته مصرفی پمپ (MWh/yr)	۰/۱
ظرفیت کلکتور خورشیدی (kW)	۱۳/۱۹	صرفه‌جویی گازطبیعی (m^3/yr)	۴۷۷۷

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

جدول ٨): دوره بازگشت سرمایه و هزینه‌های سیستم آبگرمکن خورشیدی با نرخ داخلی الکتریسیته و گازطبیعی درسناریوی A

دوره بازگشت سرمایه و هزینه‌های سیستم (با نرخ داخلی الکتریسیته و گازطبیعی)	
کل هزینه سرمایه‌گذاری (US$)	٧٨٩٨
کل هزینه سالیانه (با احتساب هزینه تعمیر و نگهداری) (US$)	١٣٧
کل درآمد و پس‌انداز سالیانه (US$)	۴١۴
ارزش خالص فعلی (NPV)[١] (US$)	-۵٠۴٧
منفعت سالانه در مدت زمان طول عمر سیستم (US$/yr)	-٧٨١
دوره بازگشت سرمایه (NPBP)[٢] (yr)	١۶/٩
نرخ بازده داخلی (IRR)[٣] (%)	۵/٣
کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (tCO_2/yr)	۶/۴
کاهش هزینه خسارت‌های زیست‌محیطی حاصل از تولید گازهای گلخانه‌ای ($US\$/tCO_2$)	١٢٣

نرخ افزایش بهای سوخت و نرخ تورم ١٠٪، طول عمر پروژه ٢۵ سال و قیمت هر دلار معادل ١٠۵٠٠ ریال در نظر گرفته شده است.

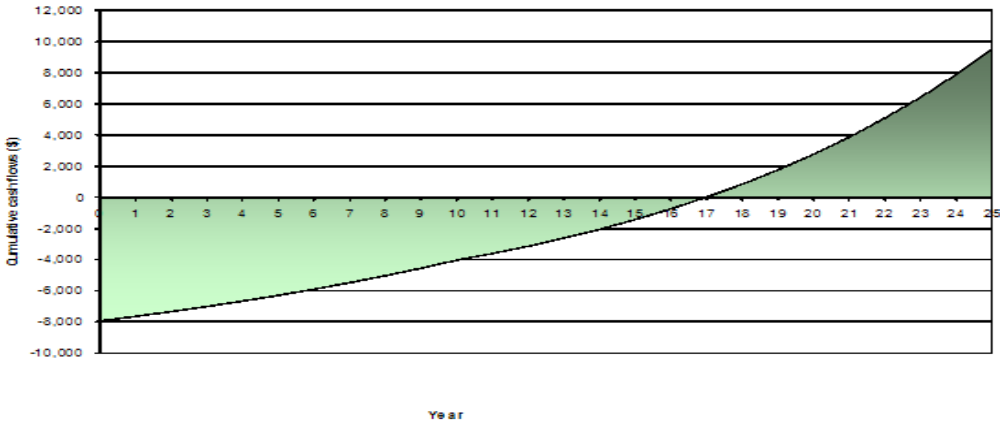
بر اساس نتایج حاصل از نرم‌افزار RETScreen Version 4 برای سناریوهای A و B، سهم انرژی خورشیدی در تأمین انرژی سیستم جهت گرمایش آب ۵٣٪ می‌باشد. با در نظر گرفتن نرخ داخلی و جهانی الکتریسیته و گازطبیعی، میزان صرفه‌جویی در مصرف گازطبیعی ۴٧٧٧ m^3/yr برآورد گردیده است که این مقدار منجر به میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (به ازای مصرف الکتریسیته و نیز صرفه‌جویی در مصرف گازطبیعی) ۶/۴ tCO_2/yr می‌شود. میزان الکتریسیته مصرفی توسط آبگرمکن خورشیدی به منظور پمپاژ آب ٠/١ MWh/yr و مقدار کل هزینه سرمایه‌گذاری سیستم آبگرمکن خورشیدی ٧٨٩٨ دلار می‌باشد. با توجه به آنکه قیمت هر tCO_2، ٢٠ دلار در نظر گرفته شده است، طبق رابطه (١) میزان کاهش هزینه خسارت‌های زیست‌محیطی حاصل از تولید گازهای گلخانه‌ای در سناریوی A حدود tCO_2 ١٢٣ دلار ($US\$/tCO_2$) $= \frac{\left(\frac{US\$}{yr}\right)}{\left(\frac{tCO_2}{yr}\right)}$ و دوره بازگشت سرمایه ١۶/٩ yr می‌باشد. شکل (٣) نمودار جریان نقدینگی تراکمی را بر حسب سال با نرخ داخلی الکتریسیته و گازطبیعی برای سناریوی A نشان می‌دهد.

رابطه (١) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{GHGs Reduction Costs} = \frac{\text{Annual Life Cycle Savings}\left(\frac{US\$}{yr}\right)}{\text{Net Annual GHG Emission Reduction}\left(\frac{tCO_2}{yr}\right)} = US\$/tCO_2 \qquad (١)$$

١) Net Present Value
٢) Normal Pay Back Period
٣) Internal Rate of Return

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



شکل ٣): نمودار جریان نقدینگی تراکمی بر حسب سال با نرخ داخلی الکتریسیته و گازطبیعی برای سناریوی A

با توجه به آنکه قیمت هر tCO_2، ٢٠ دلار در نظر گرفته شده است، طبق رابطه (١) میزان کاهش هزینه خسارت‌های زیست‌محیطی حاصل از تولید گازهای گلخانه‌ای در سناریوی B حدود tCO_2 ١٠١ US$ ($= \frac{\text{US\$}/\text{yr}}{tCO_2/\text{yr}}$ ١٠١ US$/tCO_2$) و دوره بازگشت سرمایه ۶/٣ yr می‌باشد. جدول ٩ دوره بازگشت سرمایه و هزینه‌های سیستم را با نرخ جهانی الکتریسیته و گازطبیعی و شکل ۴ نمودار جریان نقدینگی تراکمی را بر حسب سال با نرخ جهانی الکتریسیته و گازطبیعی برای سناریوی B نشان می‌دهد.

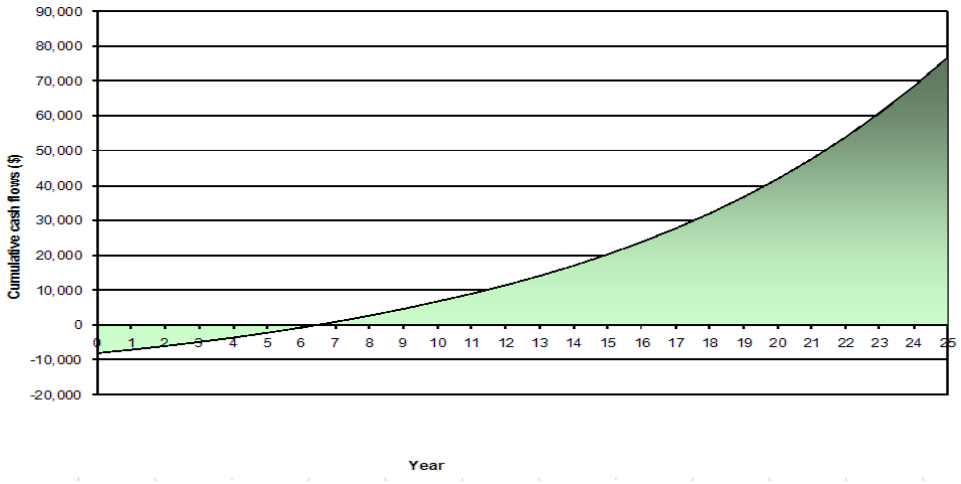
جدول ٩): دوره بازگشت سرمایه و هزینه‌های سیستم آبگرمکن خورشیدی با نرخ جهانی الکتریسیته و گازطبیعی درسناریوی B

دوره بازگشت سرمایه و هزینه‌های سیستم (با نرخ جهانی الکتریسیته و گازطبیعی)	
کل هزینه سرمایه‌گذاری (US$)	٧٨٩٨
کل هزینه سالیانه (با احتساب هزینه تعمیر و نگهداری) (US$)	٣٧٢
کل درآمد و پس‌انداز سالیانه (US$)	١٢٧۴
ارزش خالص فعلی (NPV) (US$)	۴١٧۴
منفعت سالانه در مدت زمان طول عمر سیستم (US$/yr)	۶۴۶
دوره بازگشت سرمایه (NPBP) (yr)	۶/٣
نرخ بازده داخلی (IRR) (%)	٢٠/٣
کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (tCO_2/yr)	۶/۴

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

۱۰۱	کاهش هزینه خسارت‌های زیست‌محیطی حاصل از تولید گازهای گلخانه‌ای ($US\$/tCO_2$)

نرخ افزایش بهای سوخت و نرخ تورم ۱۰٪ ، طول عمر پروژه ۲۵ سال و قیمت هر دلار معادل ۱۰۵۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.



شکل ٤): نمودار جریان نقدینگی تراکمی بر حسب سال با نرخ جهانی الکتریسیته و گازطبیعی برای سناریوی B

محاسبه شاخص‌های مالی و تحلیل حساسیت در سناریوی A

به منظور محاسبه شاخص‌های مالی طرح در سناریوی A از نرخ بهره ۱۵٪ جهت محاسبه ارزش خالص فعلی (NPV) استفاده شده است. با نرخ داخلی الکتریسیته و گازطبیعی، جریانات نقدی تجمعی در سال هفدهم مثبت می‌شود که بیانگر سال بازگشت سرمایه (NPBP) است. همچنین نرخ بهره‌ای که ارزش خالص فعلی را صفر می‌کند (همان نرخ بازده داخلی)، معادل ۵/۳٪ می‌باشد. دوره بازگشت سرمایه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$NPBP = \frac{\log\left[\frac{A}{A - rC_0}\right]}{\log(1+r)} \qquad (۲)$$

که در آن NPBP: دوره بازگشت سرمایه (yr)، A: صرفه‌جویی سالانه گازطبیعی (m^3/yr)، C_0: سرمایه‌گذاری اولیه ($US\$$) و r: نرخ بازده داخلی (%) می‌باشد. ارزش خالص فعلی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$NPV = -C_0 + \frac{TR_n - TC_n}{(1+r)^n} \qquad (۳)$$

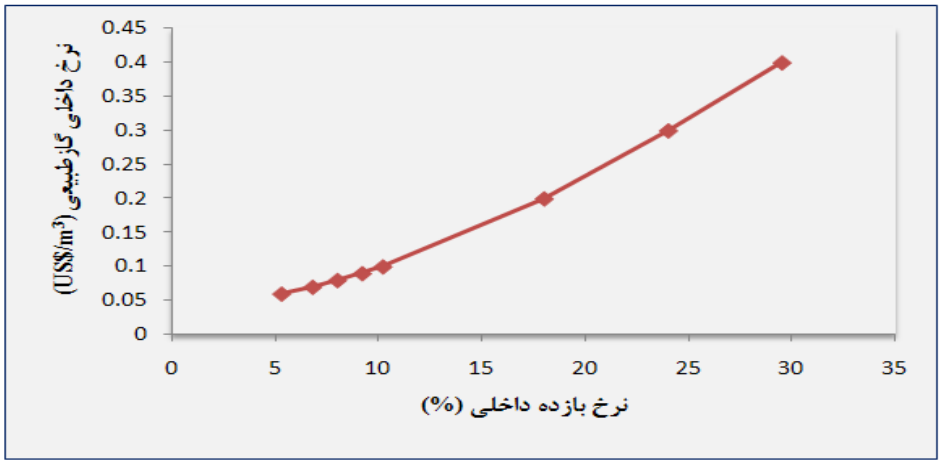
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

که در آن NPV: ارزش خالص فعلی (US$)، C_0: سرمایه‌گذاری اولیه (US$)، TR_n: درآمد در سال n، TC_n: هزینه در سال n، r: نرخ بازده داخلی (%) و n: سال می‌باشد. جدول ١٠ نرخ بازده داخلی را در سناریوی A نشان می‌دهد.

جدول ١٠): نرخ بازده داخلی در سناریوی A

ارزش خالص فعلی (US$)	نرخ بهره (%)	ارزش خالص فعلی (US$)	نرخ بهره (%)
-۶۳۹۰	۲۵	۳۳۶	۵
-۶۶۹۳	۳۰	-۳۳۷۰	۱۰
-۶۸۹۷	۳۵	-۵۰۴۷	۱۵
-۷۰۴۳	۴۰	-۵۹۰۳	۲۰

در سناریوی A به تحلیل حساسیت شاخص نرخ بازده داخلی (IRR) بر اساس تغییرات نرخ داخلی گازطبیعی پرداخته شده است. شکل ۵ نمودار تحلیل حساسیت نرخ بازده داخلی را بر اساس نرخ داخلی گازطبیعی در سناریوی A نشان می‌دهد.



شکل ۵): نمودار تحلیل حساسیت نرخ بازده داخلی

بر اساس نرخ داخلی گازطبیعی در سناریوی A

طبق نمودار ۵، در صورتی که نرخ داخلی گازطبیعی از US$ ۰/۲ m^3 کمتر شود، نرخ بازده داخلی کمتر از ٢٠٪ خواهد بود و در صورتی که نرخ داخلی گازطبیعی به US$ ۰/۴ m^3 برسد، نرخ بازده داخلی به میزان ٣٠٪ افزایش خواهد یافت.

محاسبه شاخص‌های مالی و تحلیل حساسیت در سناریوی B

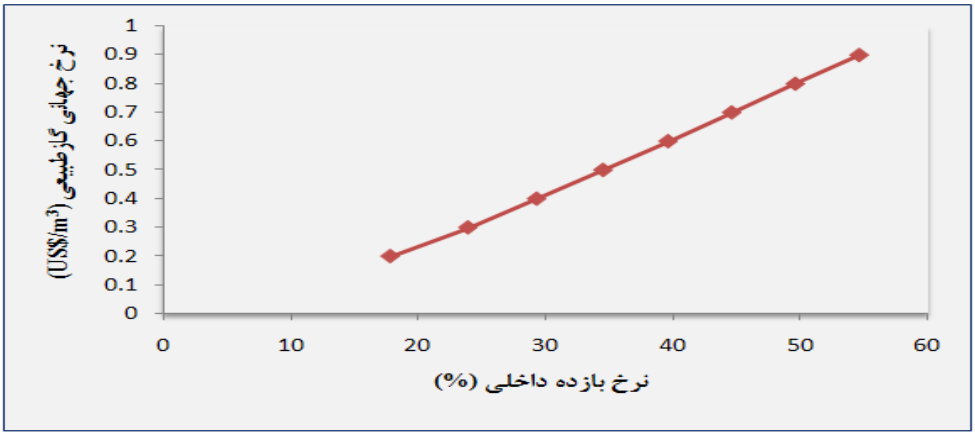
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

به منظور محاسبه شاخص‌های مالی طرح در سناریوی B از نرخ بهره ١٥٪ جهت محاسبه ارزش خالص فعلی (NPV) استفاده شده است. با نرخ جهانی الکتریسیته و گازطبیعی، جریانات نقدی تجمعی در سال ششم مثبت می‌شود که بیانگر سال بازگشت سرمایه (NPBP) است. همچنین نرخ بهره‌ای که ارزش خالص فعلی را صفر می‌کند (همان نرخ بازده داخلی)، معادل ٣ /٢٠٪ می‌باشد. جدول ١١ نرخ بازده داخلی را در سناریوی B نشان می‌دهد.

جدول ١١): نرخ بازده داخلی در سناریوی B

ارزش خالص فعلی (US$)	نرخ بهره (%)	ارزش خالص فعلی (US$)	نرخ بهره (%)
-١٩٩٥	٢٥	٣٠٥٦٨	٥
-٣٣٠٩	٣٠	١٢٢٥٠	١٠
-٤١٦٤	٣٥	٤١٧٤	١٥
-٤٧٥٧	٤٠	١٨٩	٢٠

در سناریوی B به تحلیل حساسیت شاخص نرخ بازده داخلی (IRR) بر اساس تغییرات نرخ جهانی گازطبیعی پرداخته شده است. شکل ۶ نمودار تحلیل حساسیت نرخ بازده داخلی را بر اساس نرخ جهانی گازطبیعی در سناریوی B نشان می‌دهد.



شکل ٦): نمودار تحلیل حساسیت نرخ بازده داخلی بر اساس نرخ جهانی گازطبیعی در سناریوی B

نمودار ۶ در صورتی که نرخ جهانی گازطبیعی از US$ ٠/٢ m^3 کمتر شود، نرخ بازده داخلی کمتر از ٢٠٪ خواهد بود و در صورتی که نرخ جهانی گازطبیعی به US$ ٠/٥ m^3 برسد، نرخ بازده داخلی به میزان ٣٠٪ افزایش خواهد یافت.

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

نتیجه‌گیری

در این تحقیق دو سناریوی مختلف با نرخ‌های داخلی و جهانی الکتریسیته و گازطبیعی برای یک ساختمان مسکونی ۸ واحدی برای به کارگیری سیستم آبگرمکن خورشیدی در نظر گرفته شد. سپس این دو سناریو با استفاده از نرم‌افزار RETScreen Version 4 از دیدگاه فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بر اساس نتایج حاصل از نرم‌افزار RETScreen Version 4 برای سناریوهای A و B ، سهم انرژی خورشیدی در تأمین انرژی سیستم جهت گرمایش آب ۵۳٪ می‌باشد. با در نظر گرفتن نرخ داخلی و جهانی الکتریسیته و گازطبیعی، میزان صرفه‌جویی در مصرف گازطبیعی ۴۷۷۷ m^3/yr برآورد گردیده است که این مقدار منجر به میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (به ازای مصرف الکتریسیته و نیز صرفه‌جویی در مصرف گازطبیعی) ۶/۴ tCO_2/yr می‌شود. میزان الکتریسیته مصرفی توسط آبگرمکن خورشیدی به منظور پمپاژ آب ۰/۱ MWh/yr و مقدار کل هزینه سرمایه‌گذاری سیستم آبگرمکن خورشیدی ۷۸۹۸ دلار می‌باشد. با توجه به آنکه قیمت هر tCO_2، ۲۰ دلار در سناریوهای A و B در نظر گرفته شده است، میزان کاهش هزینه خسارت‌های زیست‌محیطی حاصل از تولید گازهای گلخانه‌ای در سناریوی A حدود tCO_2 ۱۲۳ دلار (بر اساس میزان منفعت سالانه در مدت زمان طول عمر سیستم و میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب tCO_2 معادل) و دوره بازگشت سرمایه ۱۶/۹ yr می‌باشد و میزان کاهش هزینه خسارت‌های زیست‌محیطی حاصل از تولید گازهای گلخانه‌ای در سناریوی B حدود tCO_2 ۱۰۱ دلار (بر اساس میزان منفعت سالانه در مدت زمان طول عمر سیستم و میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب tCO_2 معادل) و دوره بازگشت سرمایه ۶/۳ yr می‌باشد.

با نرخ جهانی الکتریسیته و گازطبیعی، درآمد و پس‌انداز سالیانه بیشتر و دوره بازگشت سرمایه کوتاهتر می‌باشد. زیرا نرخ الکتریسیته و گازطبیعی در ایران در مقایسه با سطح جهانی بسیار پایین است و استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی با نرخ داخلی الکتریسیته و گازطبیعی توجیه اقتصادی ندارد. هزینه سرمایه‌گذاری، صرفه‌جویی سالانه گازطبیعی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم آبگرمکن خورشیدی با نرخ جهانی الکتریسیته (۰/۱۳ دلار) و گازطبیعی (۰/۲۴ دلار) و با در نظر گرفتن نرخ داخلی الکتریسیته (۰/۰۴ دلار) و گازطبیعی (۰/۰۶ دلار) یکسان می‌باشد. با در نظر گرفتن نرخ جهانی الکتریسیته و گازطبیعی، درآمد و پس‌انداز سالیانه بیشتر و دوره بازگشت سرمایه کوتاهتر می‌باشد.

بر اساس محاسبات انجام شده توسط نرم‌افزار RETScreen Version 4 ، مقدار انرژی تولید شده با توجه به جدول ۷ برای ساختمان مورد مطالعه حدود ۱۴/۴ MWh/yr می‌باشد. با توجه به اینکه تعداد ساکنین در ساختمان مورد مطالعه ۲۵ نفر می‌باشد، بنابراین حدود ۰/۵۷ MWh/yr برای هر نفر با استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی انرژی تولید خواهد شد. جمعیت تهران بزرگ، ۱۲۵۰۵۷۰۵ نفر است که تعداد ۸۷۹۱۳۷۸ نفر در تهران ساکن می‌باشند[۱۲]. با فرض اینکه ۲۵٪ از جمعیت کل تهران بتوانند از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی استفاده نمایند، کل انرژی تولیدی توسط این سیستم‌ها ۱۲۵۲۷۷۱ MWh/yr خواهد بود.

تشکر و قدردانی

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

این تحقیق با حمایت مالی شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت (IFCO) انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از هیأت مدیره، مدیر عامل و ریاست پژوهش این شرکت ابراز می‌نمایند.

منابع

[۱] حاج سقطی، اصغر، ۱۳۸۰، " اصول و کاربرد انرژی خورشیدی " ، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

[۲] دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، " ترازنامه انرژی " ، ۱۳۸۶، انتشارات معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو.

[۳] کعبی‌نژادیان، عبدالرزاق، ۱۳۸۷، " فناوری انرژی‌های نو " ، چاپ اول، انتشارات انجمن انرژی خورشیدی ایران.

[۴] مدیریت بخش ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸، " آبگرمکن‌های خورشیدی خانگی و عمومی " ، انتشارات شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.

[5] Chen, F.L. Lus, M. Wang, C.C. Chang, Y.L., 2008, "Promotion Strategies for Renewable Energy in Taiwan", Renewable and Sustainable Energy Reviews,12:1681-91.

[6] Everett, B., 1994, "A Resource Pack For Tertiary Education", The Open University, UK.

[7] Houri, A., 2005, "Solar Water Heating in Lebanon Current Status and Future Prospects", Renewable Energy 31, 663-675.

[8] Kablan, M.M., 2004, "Techno- Economic Analysis of the Jordanian Solar Water Heating System", Energy:29:1069-79.

[9] Kalogirous, S., 2004, "Environmental Impact of Domestic Solar Water and Space Heating Systems", In proceeding of World Renewable Energy Congress (WREC) Denver, Colorado, USA, August-September (CDROM).

[10] Tsilingiridis, G. Martinopoulos, G., 2009, "Thirty Years of Domestic Solar Hot Water Systems Use in Greece-Energy and Environmental Benefits-Future Perspectives", Renewable Energy 35,490-497.

[11] WWW.SUNA.Org.Ir/Fag−Fa.2009.html.

[12] WWW.Amar.org.ir,2010.

[13] WWW.Weatherbase.com/Weather.php3.2008.html.

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