Archive of SID

فصلنامه اقتصاد شهر دوره ۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۱۱۹-۱۲۶

فصلنامه اقتصاد شهر

سایت نشریه: http://eghtesadeshahr.tehran.ir/

مقاله پژوهشی

تحلیل اقتصادی آبگرم‌کن‌های خورشیدی (مطالعهٔ موردی: ساختمان‌های مسکونی شهر تهران)

حسین یوسفی[۱*]، فرهاد محبتی[۲]، سعید شاه‌حسینی[۳]، سیّده مهسا موسوی رینه[۴]، صدیقه احمدی[۵]

[۱] دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

[۲] مدیریت ترویج دانش و امور بین‌الملل، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، شهرداری تهران

[۳] مدیریت فناوری اطلاعات و مرکز اسناد، مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، شهرداری تهران

[۴] کارشناس ارشد گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

[۵] کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری منطقهٔ ۲۱، شهرداری تهران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۲/۱۹

کلمات کلیدی:

آبگرمکن خورشیدی

اقتصاد

بازگشت سرمایه

محیط زیست

چکیده:

به‌کارگیری انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشید، به دلیل دریافت آسان‌تر و در دسترس بودن آن، طی سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه دانشمندان و دانشجویان مرتبط با رشته‌های انرژی قرار گرفته است. روش‌های گوناگونی برای استفاده از این انرژی پاک و لایزال الهی وجود دارد، اما گرم کردن آب با استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی، شاید از آسان‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌های موجود باشد. در تحقیق حاضر با در نظر گرفتن تورم و ارزش زمانی سرمایه، بررسی‌های اقتصادی برای دورهٔ بازگشت سرمایهٔ جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی به جای انواع گازی آن در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران صورت گرفته است. ابتدا تحلیل اقتصادی با در نظر گرفتن پرداخت همهٔ هزینه‌های جایگزینی توسط ساکنان در یک ساختمان مسکونی بررسی شد. سپس، اجرای طرح جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی توسط دولت از طریق سوبسید وزارت نیرو محاسبه شد. پس از بررسی استراتژی‌های مختلف جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی به جای آبگرمکن‌های گازی موجود و با توجه به اهمیت بحث‌های اقتصادی و محیط زیستی، جایگزینی آبگرمکن‌ها توسط شهروندان به دلیل مسائل مالی و طولانی بودن دوران بازگشت سرمایه (سال نهم)، در عمل غیرممکن است. از سوی دیگر، با توجه به کاهش تولید آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای (به‌ویژه CO_2) و توانایی صادرات گاز صرفه‌جویی‌شده به کشورهای همسایه، استراتژی پرداخت هزینه‌های اولیه توسط وزارت نیرو صرفهٔ اقتصادی دارد.

DOI: 10.22034/UE.2020.09.02.06

مقدمه

مسئلهٔ تأمین انرژی مورد نیاز از دیرباز از دغدغه‌های فکری بشر بوده و با پیشرفت صنایع و تکنولوژی، این مسئله به‌تدریج حادتر شده است. با محدودیت منابع تأمین‌کنندهٔ کنونی انرژی و مسائل زیست‌محیطی توجه به منابع دیگر انرژی طی دو دههٔ گذشته بیشتر شده و به این منظور، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای جایگزین کردن آن‌ها با سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی به‌تدریج افزایش یافته است.

یکی از منابع مهم انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است که با توسعهٔ نگرش‌های زیست‌محیطی و راهبردهای صرفه‌جویانه در بهره‌وری از انرژی‌های تجدیدناپذیر، استفاده از آن در بسیاری از کشورهای جهان رو به فزونی گذاشته است. کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجهٔ

نویسنده مسئول:

ایمیل: hosseinyousefi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان، در بالاترین رده‌ها قرار دارد. متوسط تابش انرژی خورشیدی در ایران بین ۴/۵ تا ۵/۵ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در روز تخمین زده شده است که البته بیشتر از میزان متوسط جهانی است. در ایران به طور متوسط سالانه بیش از ۲۲۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار درخور توجه است (سرپرست و همکاران ، ۲۰۱۳).

انرژی خورشیدی می‌تواند هم به شکل حرارت مانند آبگرمکن خورشیدی و هم به شکل الکتریسیته مانند پنل‌های خورشیدی تبدیل شود. آبگرمکن‌های خورشیدی از طریق جذب انرژی خورشید و تابش نور بر صفحه‌های جاذب (کلکتور) عمل می‌کنند و راندمان گرمایشی آن‌ها در فصول مختلف سال، بر حسب موقعیت‌های جغرافیایی هر شهر متفاوت است. اقتصادی‌ترین روش تولید آب گرم مصرفی ساختمان‌ها، استفاده از انرژی خورشیدی است (آیگباوبوا[1]، ۲۰۱۵). می‌توان از انرژی حرارتی خورشید برای تهیهٔ آب گرم بهداشتی در منازل و اماکن عمومی به‌خصوص در مکان‌هایی که مشکل سوخت‌رسانی وجود دارد، استفاده کرد. چنانچه ظرفیت این سیستم‌ها افزایش یابد، می‌توان از آن‌ها در حمام‌های خورشیدی نیز استفاده کرد، همچنین بررسی‌های علمی و محاسبات دانشمندان نشان می‌دهد یک دستگاه آبگرمکن خورشیدی بیش از ۲ تن از آلودگی دی‌اکسید کربن را در سال کاهش می‌دهد (چنگا[2]و همکاران، ۲۰۱۱).

استفادهٔ این سیستم‌ها از منبع انرژی بی‌پایان و ارزان خورشیدی، یکی از مزایای سیستم‌های خورشیدی است و از همه مهم‌تر، این سیستم‌ها به خلاف سوخت‌های فسیلی تهدیدی برای محیط زیست به شمار نمی‌روند و بابت گرم کردن آب مورد نیاز، گرم کردن فضای ساختمان و یا هتل، تا سال‌ها هیچ هزینه‌ای پرداخت نخواهد شد(ونسا[3]و همکاران، ۲۰۱۵). برای تهیهٔ آب گرم در تمام ساعت‌های شبانه‌روز، یعنی در شب‌ها و روزهای ابری، آب گرم در مخزن دوجداره و عایق حرارتی که دمای آب را تا ۷۲ ساعت با کمترین افت دما حفظ می‌کند، نگهداری می‌شود (سوتریس[4]،۲۰۰۳). با استفاده از این سیستم می‌توان هزینه‌های مصرف گاز، گازوئیل و برق را به طور چشمگیری کاهش داد که این امر در پروژه‌های بزرگ ملموس‌تر خواهد بود، به طوری که بعد از گذشت زمان کوتاهی با صرفه‌جویی در مصرف سوخت، سرمایه‌گذاری اولیهٔ مستهلک می‌شود و بعد از آن به دلیل عمر زیاد دستگاه‌ها سودآوری خواهد داشت. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات این سیستم‌ها بسیار کم است؛ زیرا هیچ قطعهٔ متحرکی ندارد و طول عمر کارکرد سیستم‌های استاندارد و با کیفیت فنی زیاد تا ۲۰ سال می‌رسد(جیلیو[5]و همکاران، ۲۰۱۴).

مهم‌ترین مانع برای توسعهٔ استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی، سرمایه‌بر بودن اولیهٔ این سیستم خورشیدی است که روی انتخاب مشتریان تأثیر منفی می‌گذارد. برای این مسئله باید راهکارهای اساسی اندیشیده شود. در مناطقی که هزینه‌های انرژی و حامل‌های انرژی زیاد است و دسترسی به شبکهٔ گاز و برق مشکل است و یا اساساً دسترسی به آن‌ها وجود ندارد، کاربرد این محصول اهمیت زیادی دارد. معمولاً ابعاد بهینهٔ مولدهای خورشیدی را به گونه‌ای انتخاب می‌کنند که در کنار تأسیسات حرارتی حدود ۷۵ درصد نیاز سالانهٔ آب گرم مصرفی ساختمان را برآورده کند و یا به بیانی دیگر، سیستم‌های خورشیدی حدود ۹ ماه از سال ۱۰۰ درصد نیاز آب گرم مصرفی ساختمان را تأمین کرده و در سه ماه فصل زمستان به صورت سیستم کمکی در کنار تأسیسات مرکزی ساختمان عمل می‌کند (چنگا و همکاران، ۲۰۱۱).

پیشینهٔ تحقیق

استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی با حمایت دولت در مناطق بسیاری از جهان صورت گرفته است و میزان استفادهٔ مؤثر از انرژی گرمایی در بخش مد نظر به میزان قوانین حمایتی دولت‌ها بستگی دارد (آیگباوبوا ، ۲۰۱۵). . برای نمونه، در یک بررسی صورت‌گرفته روی ساختمان‌های بخش‌های کم‌درآمد در افریقای جنوبی، مشخص شد که استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی موجب بهبود کیفیت زندگی در این بخش ها شده است (کاساردو[6] همکاران، ۲۰۱۱).

هدف از مطالعهٔ حاضر بررسی میزان کاهش آلاینده‌ها، صرفه‌جویی در میزان انرژی مصرفی و دوران بازگشت سرمایه در صورت استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران است. امید است با ایجاد الگوهای مناسب پرداخت یارانه برای انرژی‌های تجدیدپذیر و اقتصادی کردن استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و آلودگی هوا حاصل شود.

با داشتن دانش کافی دربارهٔ تابش خورشید، به‌راحتی و به صورت بسیار مؤثرتر می‌توان انرژی خورشید را برای گرم کردن آب مصرفی منازل و حتی کاربردهای صنعتی به کار برد و کاهشی چشمگیر در میزان هزینهٔ آبگرم مصرفی داد. برای تحقق این اهداف، مطالعهٔ دقیق اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی مزایا و موانع به‌کارگیری این فناوری امری الزامی است. در این مورد، پژوهش‌های متعددی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

گزانه و بهشتی در مقاله‌ای به تحلیل اقتصادی و فنی آبگرم‌کن خورشیدی مسکونی پرداختند. در مقالهٔ یادشده پس از برآورد تقاضای آبگرم مصرفی و با در نظر گرفتن پارامترهای جغرافیایی، طراحی و اقتصادی به شبیه‌سازی و انتخاب مدل مناسب آبگرمکن خورشیدی یک ساختمان نمونه در شهر تهران پرداخته شد و پس از آن، تحلیل اقتصادی مسئله، مانند میزان صرفه‌جویی انرژی در سال و تحلیل جریان نقدی پروژه و بررسی حمایت مشوق‌ها و تأثیر آن‌ها بر روند سوددهی صورت گرفت. در ادامهٔ تحقیق به تعیین زوایای بهینه برای قرارگیری کلکتور

1 Aigbavboa
2 Changa
3 Vanessa
4 Soteris
5 Giglio
6 Cassard

www.SID.ir

Archive of SID

پرداختند که زوایای ۳۲ و ۱۷۰ درجه بهترین زوایا برای قرارگیری کلکتور در محل مد نظر هستند (گزانه و بهشتی، ۱۳۹۴).

کاسارد و همکاران با مطالعه روی جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی در ایالات متحده به این نتیجه دست یافتند که جایگزینی آبگرمکن‌های برقی با آبگرمکن‌های خورشیدی توجیه اقتصادی و بازگشت سرمایهٔ مناسبی دارد، در حالی که به دلیل قیمت کم گاز طبیعی جایگزینی آبگرمکن‌های گازی با آبگرمکن‌های خورشیدی بازگشت سرمایهٔ طولانی‌تری دارد. در مطالعات آن‌ها بازگشت سرمایه در منطقهٔ شمال شرقی ایالات متحده که گرمایش توسط الکتریسیته با قیمت زیاد صورت می‌پذیرد، سریع‌تر به وقوع پیوست حال آنکه در مناطق جنوبی و غربی ایالات متحده این جایگزینی به دلیل استفاده از گاز طبیعی در زمان کوتاهی به دست نیامد(کاسارد[7]و همکاران، ۲۰۱۱) .

هادن و همکاران با مطالعهٔ دلایل عدم گستردگی استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی در ایالات متحده، هزینهٔ زیاد نصب آبگرمکن‌های خورشیدی را بزرگ‌ترین معضل آن دانستند و پیشرفت تکنولوژی برای کاهش هزینه‌های اولیه را راه حل این مشکل اعلام کردند (هادن[8] و همکاران، ۲۰۱۲).

نتایج محاسبات اقتصادی نشان می‌دهد با استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی در تایلند در مقایسه با آبگرمکن برقی اگرچه هزینهٔ اولیه ۳/۵ برابر است، ولی بازگشت سرمایه در صورت استفاده از این سیستم و بدون در نظر داشتن تأثیرات زیست‌محیطی برابر ۵/۴ سال است (سای یونگ[9]و همکاران، ۲۰۱۵).

حیدرزاده و همکاران با توجه به اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی در برنامه‌ریزی برای زیرساخت‌های شهری به بررسی و مقایسهٔ هزینه‌های جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی در مناطق شهری، با مطالعهٔ موردی تهران و برلین پرداختند. آن‌ها در مقالهٔ خود به اهمیت مشکلات اقتصادی پیرامون استفاده از این تکنولوژی پرداخته‌اند و استفاده از یارانه‌های دولتی و افزایش توان تولید داخلی این سیستم‌ها به منظور کاهش قیمت را به عنوان راه‌حل پیشنهاد کرده‌اند (حیدرزاده و همکاران، ۲۰۱۳).

در سال ۱۳۹۰ با استفاده از نرم‌افزار رت اسکرین[10] امکان استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی به جای آبگرمکن‌های موجود با مطالعهٔ موردی شهر اهواز بررسی شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد تقریباً کل بار حرارتی آب گرم مصرفی جامعهٔ هدف را می‌توان با آبگرمکن‌های خورشیدی تأمین کرد. در این سناریوی جایگزینی، سالیانه ۶۶ میلیون متر مکعب گاز طبیعی صرفه‌جویی شده است و حدود ۷ میلیون دلار به درآمد ملی کشور افزوده می‌شود و علاوه بر موارد یادشده از انتشار تقریباً یک میلیون تن CO_2 جلوگیری می‌شود (ساکی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰).

7 Cassard

8 Hudon

9 Sae-Jung

10 RETScreen

مواد و روش‌ها

آبگرمکن خورشیدی دستگاهی است که انرژی خورشید (نور مستقیم و غیر مستقیم) را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند و آن را به آب انتقال می‌دهد. انواع آبگرمکن‌های خورشیدی را می‌توان بر اساس تفاوت آن‌ها در نوع کلکتور جاذب انرژی خورشیدی طبقه‌بندی کرد که عبارت‌اند از: آبگرمکن‌های خورشیدی با کلکتور تخت و آبگرمکن‌های خورشیدی با کلکتورهای لوله‌ای تخت خلاء.

اجزای تشکیل‌دهنده یک آبگرمکن خورشیدی عبارت‌اند از:

- **سطح جاذب (کلکتور):** جنس آن بر اساس شرایط اقلیمی متفاوت است و تعداد آن بر اساس میزان مصرف آب گرم روزانه تعیین می‌شود. به طور کلی، کلکتورهای خورشیدی در دو نوع صفحه‌ای و لوله‌ای هستند. کلکتورهای صفحه تخت پراستفاده‌ترین نوع کلکتورهای خورشیدی هستند. کلکتورهای صفحه‌تخت در آبگرمکن‌های خانگی در شرایطی که آب‌وهوای منطقهٔ مد نظر سرد نباشد، استفاده می‌شود و بازدهی بیشتری دارند.
- **مخزن ذخیرهٔ آب گرم:** معمولاً به صورت مخزن دوجداره یا مخزن کویل‌دار است.
- **پمپ سیرکولاسون:** برای گردش آب درون کلکتورها و تبادل حرارتی با تانک‌ها است.
- **منبع انبساط:** جلوگیری از نوسان‌های حجمی و یکنواخت کردن فشار سیال را به عهده دارد.
- **نگهدارندهٔ فلزی برای مخزن و صفحهٔ جاذب**
- **لوله و اتصال‌های مربوطه**

شکل ۱ شماتیکی از سیستم استفاده از گرمایش خورشیدی را نشان می‌دهد.

عوامل مختلفی بر کارایی و عملکرد سیستم‌های خورشیدی در ساختمان‌ها مؤثر هستند که می‌توانند بر میزان و چگونگی دریافت انرژی خورشیدی به طور مستقیم و یا غیر مستقیم تأثیرگذار باشند. این عوامل در جدول ۱ آورده شده است (نسیم سبحان و خان‌محمدی، ۱۳۹۴).

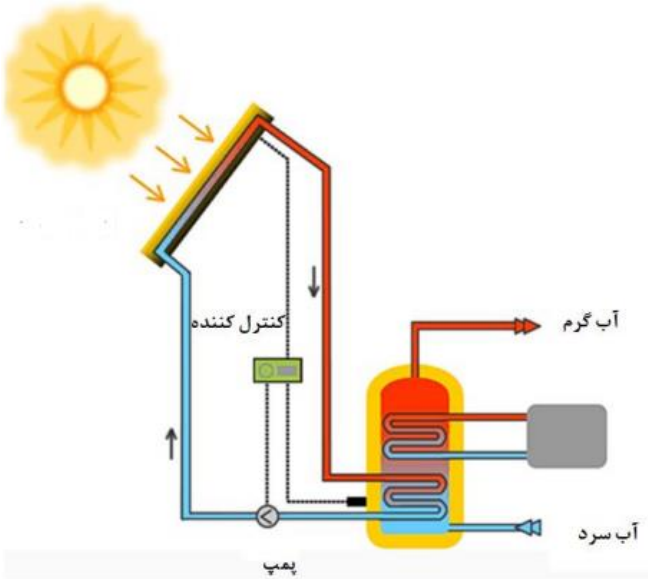
برای انجام مطالعه در ابتدای امر نیاز به محاسبهٔ میزان انرژی برای گرم کردن آب مصرفی وجود دارد، سپس، با در نظر گرفتن انرژی خورشیدی دریافت‌شده محاسبات صورت می‌گیرد. سپس، برای به دست آوردن میزان صرفه‌جویی گاز مصرفی شهر تهران در صورت استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی، باید حجم گاز مصرفی برای گرمایش آب در بخش مسکونی شهر تهران به دست آید. سپس، با توجه به کارایی آبگرمکن‌های خورشیدی درشهر تهران، مقادیر صرفه‌جویی اقتصادی در مصرف گاز طبیعی و کاهش آلاینده‌های تولیدی بررسی و محاسبه می‌شود. در نهایت، با در نظر گرفتن ارزش زمانی سرمایه و مقدار تورم اقتصادی، دورهٔ بازگشت سرمایه محاسبه می‌شود.

محدودهٔ مطالعه‌شده

تهران، بزرگ‌ترین کلان‌شهر ایران و نوزدهمین شهر پرجمعیت

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. شماتیکی از سیستم استفاده از گرمایش خورشید

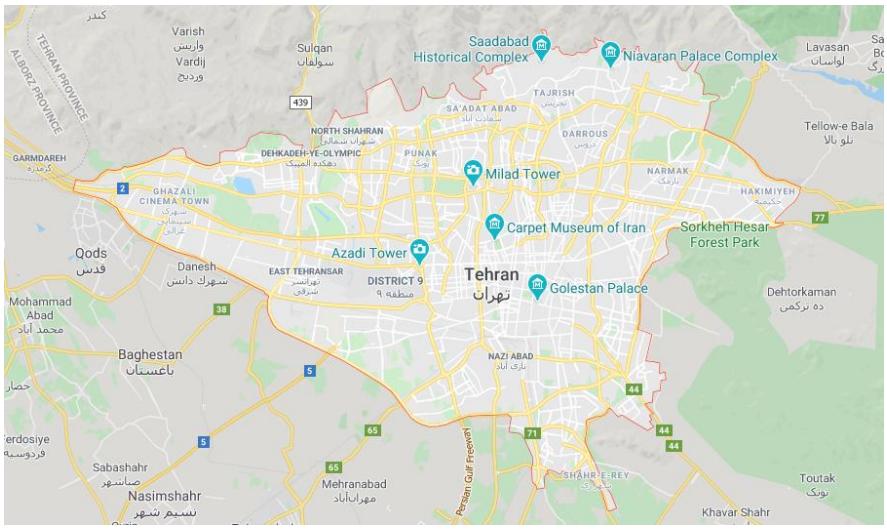
جدول ۱. عوامل مؤثر در کارایی و عملکرد سیستم‌های خورشیدی

روش استفاده از انرژی خورشیدی	استفاده از سیستم‌های فعال یا غیر فعال استفاده از سیستم‌های انفعالی مستقیم یا غیر مستقیم
شرایط اقلیمی منطقه	عرض و طول جغرافیایی متوسط ماهیانهٔ دما شدت تابش مدت زمان تابش سطح انرژی تابش
موقعیت و جهت استقرار ساختمان و سیستم‌های خورشیدی	وضعیت و مشخصات محیط اطراف بنا محل نصب و زوایای سیستم‌های غیر فعال خورشیدی
	محل قرارگیری دیوارهای جاذب و جداره‌های شیشه‌ای در سیستم‌های غیر فعال خورشیدی
هندسه و کالبد ساختمان	نقش کالبد و فرم ساختمان در میزان و چگونگی دریافت انرژی خورشیدی ابعاد و چگونگی قرارگیری جداره‌های نورگذر در نماها
مصالح و جداره‌ها	قابلیت جذب سطح و میزان ذخیرهٔ گرمایی مصالح

جهان، با معضل آلودگی‌های هوای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تأمین انرژی روبه‌رو است (ندافی و همکاران، ۲۰۱۲). بسیاری از صاحب‌نظران راه‌حل پیشرو برای بهبود وضعیت زیست‌محیطی شهر تهران را استفاده از انرژی تجدیدپذیر به صورت گسترده دانسته‌اند. در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری برای کاهش مصرف انرژی از جمله اجرای محدودیت‌های ترافیکی، توسعهٔ حمل‌ونقل عمومی و تأمین انرژی از راه‌هایی با آلایندهٔ کمتر مانند استفاده از خودروهایی که با سوخت CNGکار می‌کنند، صورت گرفته است. اما با توجه به وجود قطب‌های اقتصادی، سیاسی و فرهنگی کشور در تهران، هرساله خیل عظیمی از مردم شهرهای کوچک و روستاها به تهران مهاجرت می‌کنند. این امر و دلایل متعدد دیگر نیاز به انرژی در پایتخت کشور در حال توسعه ایران را افزایش می‌دهد. شهر تهران با داشتن ۳۱۷ روز آفتابی و نیمه‌ابری در سال

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. محدودهٔ مطالعه‌شده (شهر تهران)

و میانگین شدت تابش ۴/۵۸ کیلووات‌ساعت بر مترمربع گزینهٔ مناسبی برای استفاده از انرژی خورشیدی محسوب می‌شود (حیدرزاده و همکاران، ۲۰۱۳). شکل ۲ نقشهٔ ساده‌ای از محدودهٔ مطالعاتی را نشان می‌دهد.

بررسی اقتصادی جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی

با در نظر داشتن تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد تهران از میان آبگرمکن‌های خورشیدی موجود، آبگرمکن با کلکتورهای صفحه‌تخت و تحت فشار از نظر کارایی برای ساختمان‌های مسکونی انتخاب شد (حسامی و ابراهیمی، ۱۳۹۲: ۲۲). از جمله ویژگی‌های این نوع آبگرمکن‌ها (با توجه به استفادهٔ زیاد از آب گرم در منازل مسکونی) قابلیت اتصال مستقیم به آب شهری است که به دلیل استفاده از مخازن تحت فشار امکان‌پذیر است؛ اگرچه به علت استفاده از ورق‌هایی با ضخامت بیشتر هزینهٔ تهیهٔ این نوع آبگرمکن‌ها، بیشتر از مدل بدون فشار است، ولی با توجه به تکنولوژی آن، کلکتورهای آن توانایی جذب حدود ۸۵ درصد از انرژی خورشیدی را دارند (شرکت سولارکار، ۱۳۹۸: ۳). در بخش محاسبات اقتصادی ابتدا به بررسی بازگشت سرمایه در صورت پرداخت هزینهٔ اولیه و استفاده از آبگرمکن خورشیدی توسط مردم ساکن پرداخته می‌شود و در مرحلهٔ دوم شرایطی که دولت (وزارت نیرو) با همکاری شرکت گاز هزینهٔ اولیهٔ نصب آبگرمکن خورشیدی برای تمامی استفاده‌کنندگان را پرداخت کند، بررسی می‌شود.

یافته‌ها

جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی توسط شهروندان

برای نمونه، یک ساختمان ۴ طبقه با ۸ واحد و ۳۲ نفر ساکن بررسی شد.

- محاسبهٔ حجم مخزن

برای محاسبهٔ حجم مخزن به ازای هریک از ساکنان در یک مجتمع آپارتمانی لوکس ۱۵گالن در ساعت آب گرم مصرفی در نظر گرفته می‌شود که این میزان برابر ۵۶/۷ لیتر در هر ساعت است (منصوری یزدی، ۱۳۸۴: ۴۲). با توجه به اینکه همهٔ مصارف به طور هم‌زمان صورت نمی‌گیرد و همچنین، همیشه برای اطمینان بایأ مقداری ذخیره در مخزن آب گرم وجود داشته باشد، ضرایب هم‌زمانی و ذخیره برای ساختمان مسکونی به‌ترتیب برابر ۱/۲۵ و ۰/۳ برای ۳۲ نفر در نظر گرفته می‌شود (مکاری‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

پس حجم مورد نیاز برابر می‌شود با :

$$۳۲\times۵۶/۷\times۰/۳\times۱/۲۵= ۶۸۰ \text{ لیتر} \quad (۱)$$

بنابراین، آبگرمکن‌های خورشیدی استفاده‌شده با دو منبع ۳۵۰ لیتری استفاده خواهند شد.

- محاسبهٔ سطح مورد نیاز برای جذب انرژی خورشیدی

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، شدت تابش در تهران برابر ۴/۵۸ کیلووات ساعت به ازای هر مترمربع است. بازده سیستم آبگرمکن خورشیدی با در نظر گرفتن اتلاف‌های انتقال و تبدیل حدود ۷۵ درصد است. پس انرژی مفید بر حسب کیلووات ساعت برای هر مترمربع برابر است با:

$$۴۴/۳ =۷۵/۰\times۵۸/۴ \quad (۲)$$

و با توجه به استانداردهای موجود در ایران میزان آب گرم مصرفی برای هر نفر ۶۰ لیتر در هر روز در نظر گرفته می‌شود (ساکی‌پور و همکاران،۱۳۹۰). بنابراین کل انرژی مورد نیاز برای گرم کردن آب روزانهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

مورد نیاز ۳۲ نفر، یعنی ۱۹۲۰ کیلوگرم آب برابر است با:

$$Q = m.c.\Delta\theta \quad (۳)$$

کیلوژول ۳۶۲۸۸۰ =(۶۰-۱۵)×۴/۲×۱۹۲۰

در رابطهٔ یادشده، Q گرمای مورد نیاز، m جرم آب، c ظرفیت گرمایی ویژهٔ آب و θ دمای آب است. در این رابطه هر لیتر آب برابر ۱ کیلوگرم فرض شده است و همچنین، ظرفیت گرمایی ویژهٔ آب ۴/۲KJ/kg.°C و دمای آب سرد ورودی و آب گرم مناسب ذخیره در مخزن به‌ترتیب ۱۵°C و ۶۰°C فرض شده است. هر ۳۶۰۰ کیلوژول برابر است با یک کیلووات ساعت پس توان لازم برای تأمین گرمای مورد نیاز برابر خواهد بود با:

(۴) کیلووات ساعت ۱۰۰/۸ = کیلووات ساعت/کیلوژول ۳۶۰۰ ÷کیلوژول ۳۶۲۸۸۰

حال می‌توان سطح مورد نیاز برای کلکتورهای آبگرمکن خورشیدی را محاسبه کرد.

(۵) مترمربع ۳/۲۹ = مترمربع/کیلووات ساعت ۳۶۰۰ ÷کیلووات ساعت۱۰۰/۸

- محاسبهٔ بازگشت سرمایهٔ جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی توسط شهروندان

هزینهٔ کل این سیستم آبگرمکن خورشیدی با استعلام از شرکت سولارکار و استفاده از قطعات اصلی (در زمان انجام تحقیق) برابر ۱۰۰ میلیون ریـال برآورد شد. برای محاسبهٔ میزان هزینهٔ متوسط برای هر مترمکعب گاز نیاز است تا مصرف یک واحد از ساختمان مسکونی فرض شده به‌دست آید. طبق ترازنامهٔ انرژی در سال ۱۳۹۵ سرانهٔ مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی ۲۴۶۰/۳ مترمکعب در هر سال بوده است (معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۵)، که میزان مصرف ساختمان مسکونی بررسی‌شده در هر ماه برابر ۶۵۶۰/۸ متر مکعب خواهد بود و با محاسبهٔ تعرفهٔ پلکانی قیمت گاز در سال ۱۳۹۵، میانگین قیمت هر متر مکعب گاز مصرفی برای ساختمان مفروض برابر ۱۵۷۸ریـال برآورد می‌شود. ارزش حرارتی هر متر مکعب گاز طبیعی ایران برابر ۸۶۰۰ کیلوکالری است و از جایی که هر کیلوکالری برابر ۴/۲ کیلوژول است؛ پس طی یک سال

(۶) مترمکعب ۳۶۶۷ = (۸۶۰۰×۴/۲) / (روز۳۶۵ ×کیلوژول ۳۶۲۸۸۰)

گاز طبیعی در ساختمان برای گرمایش آب مصرفی، استفاده می‌شود. که موجب صرفه‌جویی

(۷) میلیون ریال ۵/۷۸ = مترمکعب / ریال ۱۵۷۸ ×۳۶۶۷

در هر سال می‌شود. نرخ تنزیل به نرخ بهرهٔ استفاده‌شده در تحلیل جریان نقدی تنزیل‌یافته اشاره دارد تا ارزش فعلی جریان‌های نقدی آتی مشخص شود، این نرخ بر حسب درصد و به صورت سالیانه تعیین و اعلام می‌شود (اسکونژاد، ۱۳۸۹). نرخ تنزیل با توجه به نرخ تورم عمومی و شرایط اقتصادی کشور در سال‌های گذشته و با استفاده از اطلاعات میدانی از تحلیل‌گران اقتصادی، ۱۴ درصد در نظر گرفته شده است. با توجه به جدول ۲ و شکل ۳ مشاهده می‌شود در صورتی که ابتدای سال صفر (۱۳۹۸) آبگرمکن‌های خورشیدی به طور کامل با هزینهٔ شخصی شهروندان نصب شده و استفاده شوند، دورهٔ بازگشت سرمایه سال نهم است که به این ترتیب، از نظر اقتصادی منطقی نیست که شهروندان با این نرخ بازگشت سرمایه اقدام به نصب سیستم آبگرمکن خورشیدی کنند.

جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی توسط دولت

در این بخش بررسی‌ها به صورتی انجام می‌شود که محاسبات در سطح کلان و برای کل شهر تهران صورت گیرد. بر اساس آخرین آمار سرشماری عمومی کشور (سال ۱۳۹۵) جمعیت ساکنان شهر تهران برابر ۸۶۹۴۰۰۰ نفر بوده است؛ با فرض اینکه همگی ساکنان تهران در ساختمان‌های ۸ واحدی که در هر واحد ۴ نفر ساکن شده‌اند، تعداد

$$۸۶۹۴۰۰۰ \div ۳۲ = ۲۷۱۶۸۷ \quad (۸)$$

ساختمان مسکونی در تهران وجود دارد. پس به همین تعداد سیستم آبگرمکن خورشیدی نیاز خواهیم داشت. در صورتی که برای هریک از این ساختمان‌های مسکونی از آبگرمکن های خورشیدی استفاده شود، در مجموع هزینهٔ اولیه‌ای برابر

(۹) میلیون ریال ۲۷۱۶۸۷۰۰ = ۱۰۰ ×۲۷۱۶۸۷

در پی خواهد داشت. در این حالت سالانه به میزان

(۱۰) مترمکعب ۹۹۶۲۷۶۲۲۹=۳۶۶۷×۲۷۱۶۸۷

گاز صرفه‌جویی می‌شود. در صورتی که شرکت گاز ایران حجم گاز صرفه‌جویی شده را به کشورهایی که از طریق خطوط لولهٔ سراسری به ایران متصل هستند (مانند ترکیه) صادر کند، می‌تواند موجب ورود ارز به کشور شود. طبق آمار موجود، قیمت هر متر مکعب صادرات گاز طبیعی به ترکیه برابر ۵۷ سنت بوده است. با در نظر گرفتن نرخ دلار برابر ۳۶ هزار ریال طبق سایت بانک مرکزی ایران در ابتدای بهمن ۱۳۹۵، سود سالانهٔ ناشی از صرفه‌جویی و صادرات برابر خواهد بود با:

(۱۱) میلیون ریال ۲۰۴۴۳۵۸۸۲۱۹۰۸۰ =۹۹۶۲۷۶۲۲۹×۰/۵۷×۳۶۰۰۰

همچنین، با در نظر گرفتن تورم و ارزش زمانی سرمایه خواهیم داشت:

با توجه به محاسبات صورت‌گرفته مشاهده می‌شود بدون در نظر گرفتن هزینه‌های زیست‌محیطی و در شرایطی که تمامی هزینه توسط دولت پرداخت شود، با توجه به قیمت ارز و صادرات گاز صرفه‌جویی شده، در همان سال صفر استفاده از آبگرم‌کن خورشیدی با هزینهٔ دولت اقتصادی خواهد بود و به سود می‌رسد.

هزینه‌های زیست‌محیطی

با توجه به روند افزایش آلاینده‌های هوا و نگرانی جهانی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده از انرژی‌های نو برای کاهش تأثیرات

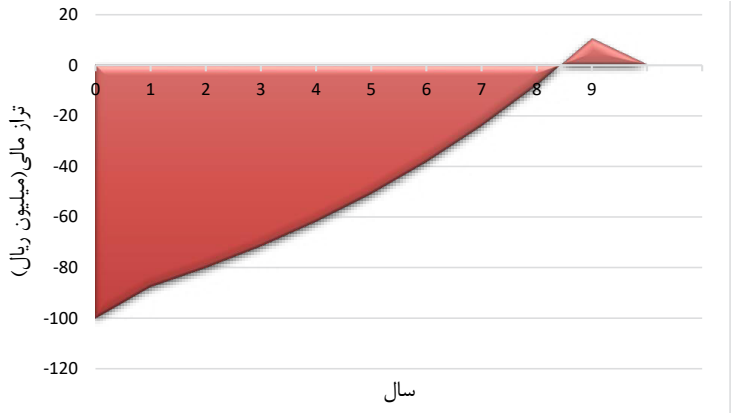
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با هزینهٔ شهروندان (میلیون ریال)

میلیون ریال	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴
هزینه	-۱۰۰		-	-	-	-	-	-	-	-
مبلغ صرفه‌جویی گاز با در نظر گرفتن ارزش پول و تورم	۵/۸	۶/۶	۷/۵	۸/۵	۹/۷	۱۱/۰	۱۲/۵	۱۴/۲	۱۶/۱	۱۸/۴
تفاضل هزینه و صرفه‌جویی	-۹۴/۲	-۸۷/۶	-۸۰/۱	-۷۱/۶	-۶۱/۹	-۵۰/۹	-۳۸/۴	-۲۴/۲	-۸/۱	۱۰/۳

مأخذ: محاسبات نگارندگان



شکل ۳. روند تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با هزینهٔ شهروندان

جدول ۳. تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با هزینهٔ وزارت نیرو و شرکت ملی گاز (میلیارد ریال)

سال	۱۳۹۵
هزینه	- ۲۷۱۶۸۷۰۰
صرفه‌جویی گاز و امکان صادرات آن	۲۰۴۴۳۵۸۸۲۱۹/۰۸
تفاضل هزینه و صرفه‌جویی	۲۰۴۱۶۴۱۹۵۱۹/۰۸

مأخذ: محاسبات نگارندگان

زیست‌محیطی مود توجه قرار گرفته است(ونسا و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی به‌جز مزایای اقتصادی برای شهروندان، دولت و کشور، دارای مزایای زیست‌محیطی به دلیل کاهش هزینه‌های خارجی است. قوانین فعلی اعطای یارانه بیشتر کشورهای پیشرفته در خرید و نصب آبگرمکن‌های خورشیدی با هدف کاهش آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای صورت می‌گیرد(گیل[11] و همکاران، ۲۰۱۵).

هزینه‌های خارجی شامل هزینه‌های آلاینده‌هایی می‌شود که در مراحل تولید، انتقال، تبدیل و مصرف به محیط زیست وارد می‌شود، ولی در قیمت کالا یا خدمات تأثیری ندارد. با کاهش مصرف ۱۷۸۲۴۸۴۰۶۹/۶ متر مکعب ناشی از استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی به مقدار زیادی از انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای جلوگیری به عمل می‌آید.

11 Gill

بحث و نتیجه‌گیری

همزمان با کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی و مصرف بی‌رویهٔ آن، شاهد افزایش دمای کرهٔ زمین هستیم، که بخش عمدهٔ این افزایش به سبب استفاده از سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای گلخانه‌ای است. در نتیجه، طی چند دههٔ اخیر استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به‌خصوص انرژی خورشیدی مورد توجه قرار گرفته است که، نه تنها پایان‌ناپذیر است، بلکه به طور فراوان در طبیعت موجود است.

با توجه به افزایش بی‌رویه جمعیت در شهر تهران، لزوم کاهش تولید آلاینده‌ها در سطح این کلان‌شهر در کنار دستیابی به انرژی مورد نیاز مصرفی، امری حیاتی است. پس از بررسی استراتژی‌های مختلف جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی به جای آبگرمکن‌های گازی موجود و با توجه به اهمیت بحث‌های اقتصادی و محیط زیستی، جایگزینی

www.SID.ir

Archive of SID

آبگرمکن‌ها توسط شهروندان به دلیل مسائل مالی و طولانی بودن دوران بازگشت سرمایه، در عمل غیرممکن است، ولی با توجه به کاهش تولید آلاینده‌ها و توانایی صادرات گاز صرفه‌جویی‌شده به کشورهای همسایه، استراتژی پرداخت هزینه‌های اولیه توسط دولت (وزارت نیرو) بسیار منطقی‌تر به نظر می‌آید.

با مقایسهٔ پژوهش‌هایی که جداگانه توسط کاسارد و هادن در ایالات متحده صورت گرفته با نتایج مقالهٔ حاضر مشاهده شد که به دلیل اینکه آبگرمکن‌های خورشیدی در ایران تکنولوژی جدیدتری به حساب می‌آیند، در صورت پرداخت تمامی هزینه‌ها توسط شهروندان بازگشت سرمایه در ایالات متحده کوتاه‌تر از کشور ما به دست می‌آید.

همچنین، در مقالهٔ سای یونگ به دلیل اینکه آبگرمکن خورشیدی جایگزین آبگرمکن برقی در تایلند شده، بازگشت سرمایه کوتاه‌تر محاسبه شده که علت این مقوله ماهیت گران انرژی الکتریکی نسبت به گاز طبیعی است.

از جمله طرح‌های پیشنهادی، تخصیص وام‌های بدون عوض یا کم‌بهره برای کاهش دوران بازگشت سرمایه و تشویق شهروندان به خریداری و استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی است.

درخور یادآوری است که طبق گفتهٔ رئیس انجمن مدیریت سبز ایران میزان تولید CO_2 سالانهٔ کشور برابر ۵۰۰ میلیون تن است که با استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی در تهران، بیش از ۰/۵۵ درصد از CO_2 تولیدی در کشور کاسته خواهد شد.

در نهایت، با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته و مشکلات پیش روی دولت برای تحقق استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی در مقیاس شهر تهران پیشنهاد می‌شود که جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی به صورت چندمرحله‌ای و با مطالعهٔ بیشتر در مناطق منتخب شهرداری صورت گیرد.

منابع

۱. اسکونژاد، م. (۱۳۸۹)، «*اقتصاد مهندسی پروژه‌های صنعتی*». *دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)*.

۲. حسامی، ز؛ ابراهیمی، ر. (۱۳۹۲)، «دستورالعمل نظارت بر امکان‌سنجی، انتخاب، نصب و نگهداری سیستم آبگرمکن خورشیدی در اماکن عمومی». *ستاد محیط زیست و توسعهٔ پایدار شهرداری تهران* : صص ۲۲-۲۶.

۳. ساکی‌پور، ا؛ کعبی نژادیان، ع؛ سخاوت‌جو، م؛ جعفری، م، ع. (۱۳۹۰)، «امکان استفاده از انرژی خورشیدی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای»، *فصلنامهٔ علمی- پژوهشی علوم بهداشتی*، سال سوم، شمارهٔ ۴.

۴. شرکت سولارکار. (۱۳۹۸)، *مجموعه فعالیت‌های شرکت، کاتالوگ شرکت سولارکار*، ص ۳.

۵. گزانه، م؛ بهشتی‌نیا، م، ع. (۱۳۹۴)، «شبیه‌سازی و تحلیل فنی- اقتصادی آبگرمکن خورشیدی برای کاربری مسکونی»، *مدل‌سازی مهندسی*، سال ۱۳، شمارهٔ ۴۳.

۶. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ترازنامهٔ انرژی سال (۱۳۹۱).

۷. مکاری‌زاده، و؛ منصوری، ش؛ جوکار، ع؛ نیکنامی، ع؛ جبار، م. (۱۳۹۲)، «طراحی و ساخت مخزن ذخیرهٔ انرژی آبگرمکن پمپ حرارتی»، *نخستین کنفرانس ملی انجمن انرژی ایران*، تهران، ایران.

۸. منصوری یزدی، ف. (۱۳۸۴)، *روش نوین محاسبات و طراحی تأسیسات*، صص ۴۲-۴۳

۹. نسیم سبحان، لیلا؛ محمدعلی خان‌محمدی. (۱۳۹۴)، «اولویت‌های به‌کارگیری سیستم‌های فعال و غیر فعال خورشیدی در ساختمان‌های اقلیم سرد»، *دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی، ترکیه، مؤسسهٔ سرآمد همایش کارین*، https://www.civilica.com/Paper-CONFUCIAN02-CONFUCIAN02_093.html

10. Aigbavboa ,C. (2015), Low-income housing residents' challenges with their government install solar water heaters: A case of South Africa. Energy Procedia,75:495 – 501.

11. Cassard, H., Denholm, P. and Ong, S. (2011), Break-even Cost for Residential Solar Water Heating in the United States: Key Drivers and Sensitivities. National Renewable Energy Laboratory. Technical report.

12. Changa, K., Linb, W., Leea, T. and Chung, K. (2011), Subsidy programs on diffusion of solar water heaters:Taiwan's experience.Energy Policy 39(2):563–567

13. Giglio, T., Lamberts,R. and Barbosa, M. Urbano,M. (2014), A procedure for analysing energy savings in multiple small solar water heaters installed in low-income housing in Brazil. Energy Policy,72 :43-55.

14. Gill, N., Osman, P., Head, L.,Voyer, M., Harada, T., Waitt, G. and Gibson, C. (2015), Looking beyond installation: Why households struggle to make the most of solar hot water systems. Energy Policy, 87 : 83–94

15. Heidarzadeh, M.H., Hesami, Z. and Ebrahimi, R. (2013), Principles to Promote Solar Energy at Urban Management(Case study: Berlin & Tehran). Journal of Energy Technologies and Policy, 3(9).

16. Hudon, K., Merrigan, T., Burch, J. and Maguire, J. (2012), Low-Cost Solar Water Heating Research and Development Roadmap. National Renewable Energy Laboratory. Technical report.

17. Naddafi, K., Hassanvand, M.S., Yunesian, M., Momeniha, F., Nabizadeh, R. and Faridi, S. (2012), Health impact assessment of air pollution in megacity of Tehran,Iran. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering,9 (1) : 28.

18. Sae-Jung, P., Krittayanawach, T., Deedom , T. and Limmeechokchai, B. (2015), An Experimental Study of Thermo-Syphon Solar Water Heater in Thailand. Energy Procedia, 79:442 – 447

19. Sarparast ,M., Hesam ,M., and Asgari, H.R. (2013), Determining Appropriate Provinces for Dew Harvesting in Iran.The International Journal of Environmental Resource Research, 1(3) :254-262.

20. Soteris, A.K. (2003), The energy subsidisation policies of Cyprus and their effect on renewable energy systems economics. Renewable Energy, 28(11):1711–1728

21. Vanessa M.T.Bessa a, RacineT.A.Prado, (2015), Reduction of carbon dioxide emissions by solar water heating systems and passive technologies in social housing, Energy Policy Volume 83, Pages 138–150

www.SID.ir

Archive of SID

Urban Economy vol 9(2), Summer 2020

Urban Economy

Homepage: http://eghtesadeshahr.tehran.ir/

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Economic analysis of Hot Water Supply Using Solar Energy (Case study of a residential buildings in Tehran)

Hossein Yousefi[1*] , Farhad Mohabati[2], Saeed Shahhosseini[3], Seyedeh Mahsa Mousavi Reineh[4], Sedighe Ahmadi[5]

[1] *Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Iran*
[2] *Management for the Promotion of Knowledge and International Affairs, Tehran Urban Research & Planning Center, Tehran, Iran*
[3] *Information Technology Management and Documentation Center, Tehran Urban Research & Planning Center, Tehran, Iran*
[4] *Master of Renewable Energy and Environment, University of Tehran, Iran*
[5] *Master of Urban Planning, District 21, Municipality of Tehran, Iran*

ARTICLE INFO

Article History:
Received 2020-04-13
Accepted 2020-05-08

Keywords:
Solar Water Heater
Economy
Environment
Return on Investment

ABSTRACT

In this study, inflation and time value has been taken into account for the economical investigation of the period of return on investment in replacing natural gas water heaters in Tehran residential buildings. First economic analysis was calculated considering all replacing cost by the residents. Second, the calculation was done if the government through the Ministry of Energy pays for all replacing cost. After reviewing of various strategic of replacing natural gas boilers with solar water heaters considering the importance of economic and environmental subjects, replacing by citizens because of the financial problems and a long period of return on investment (12 years) is impossible. On the other hand due to reduction of air pollution and greenhouse gas emissions, especially CO_2, and the country's ability to exporting natural gas to neighboring countries, the strategy of subsidize of replacing by the Ministry of Energy has a return on investment (in first year) is much more reasonable.

DOI: 10.22034/UE.2020.09.02.06

©2020 Urban Economy. All rights reserved.

COPYRIGHTS

©2020 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Yousefi, H.; Mohabati, F.; Shahhosseini S.; Mousavi Reineh SM.; Ahmadi S. (2020). Economic analysis of Hot Water Supply Using Solar Energy (Case study of a residential buildings in Tehran). Urban Economy, 9(2): 119-126.

DOI: 10.22034/UE.2020.09.02.06
url: http://eghtesadeshahr.tehran.ir/article_113278.html

*Corresponding Author: Email: hosseinyousefi@ut.ac.ir

www.SID.ir