

آنالیز هزینه‌های اقتصادی و محیط زیستی جایگزینی آبگرمکن‌های گازی و برقی با

آبگرمکن‌های خورشیدی

حسین یوسفی^۱

Hosseinyousefi@ut.ac.ir

یونس نوراللهی^۱

سمیه طغیانی^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: به دنبال بحران نفت در دهه هفتاد میلادی و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر رونق گرفت. به دنبال کشف مشکلات و موارد محیط‌زیستی پدیده گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی، مسأله حفاظت از محیط زیست و تامین انرژی پایدار و پاک جوامع حایز اهمیت شد. به کارگیری انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی، این منبع لایزال الهی به دلیل دریافت آسان‌تر و در دسترس بودن آن، در 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.

روش بررسی: در این تحقیق امکان‌سنجی اقتصادی و محیط‌زیستی استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی در ساختمان مسکونی ۶ واحدی (خانوارهای ۴ یا ۵ نفره) در تهران با استفاده از اطلاعات واقعی و در محیط نرم افزار Retscreen مورد بررسی قرار گرفته و مدل‌سازی شده است.

یافته‌ها و نتایج: نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با جایگزینی آبگرمکن‌های گازی با آبگرمکن‌های خورشیدی، میزان صرفه‌جویی سالیانه در مصرف گاز طبیعی برای کل خانوارها برای تامین آب گرم مصرفی مورد نیاز ۵۸۲۰ مترمکعب می‌باشد و میزان صرفه‌جویی اقتصادی سالیانه برابر با ۶،۴۰۲،۰۰۰ ریال خواهد بود و در اثر جایگزینی آبگرمکن‌های برقی با آبگرمکن‌های خورشیدی، میزان صرفه‌جویی سالیانه در انرژی الکتریکی ۲۲۹۹۵ کیلووات ساعت و میزان صرفه‌جویی اقتصادی سالانه ۱۲۰،۲۴۴،۰۰۰ ریال می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، آبگرمکن‌های خورشیدی، هزینه‌های محیط‌زیستی.

۱- استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران[®] (مسوول مکاتبات)
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران.

Economical and Environmental Costs Analysing of Replacing Gas and Electric Water Heaters with the Solar Water Heaters

Hossein Yousefi^{1*}

Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Younes Noorollahi¹

Somayeh Toghyani²

Abstract

Background and Objective: Following the oil crisis in the seventies and the rising cost of fossil fuels, the use of renewable energies flourished. Applying of new and renewable energies, especially solar energy, the divine eternal source due to its easy availability and, in recent years more attention has been scientists and students of the energy. A variety of methods exist for the use of clean energy and eternal God, but heating water using solar water heaters, as perhaps is the easiest and most economical method.

Method: In this study, environmental and economic feasibility of using solar water heater systems in residential buildings, 6 units (households with 4 or 5 persons) using real data in the environment of Retscreen software has been studied.

Findings and Conclusion: Results of this research show that the replacement of gas water heaters with the solar water heaters, the annual savings in natural gas consumption to supply hot water for the entire households is consuming 5,820 cubic meters. And the rate of annual economic savings equals 6402000 rials will be replace the electric water heaters the solar water heaters, electrical energy savings of 22,995 kWh annually and annual economic savings of 120,244,000 Iranian Rials.

Key words: energy crisis, renewable energy, solar water heaters, reducing CO₂ emissions.

1- Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran*(Corresponding Author).

2- Assistant Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran

مقدمه

مسأله تأمین انرژی مورد نیاز از دیرباز از دغدغه های فکری بشر بوده و با پیشرفت صنایع و تکنولوژی، این مسأله به تدریج حادث گردیده است. با محدودیت منابع تأمین کننده کنونی انرژی و مسایل محیط زیستی توجه به منابع دیگر انرژی طی دو دهه گذشته بیشتر شده و در این راستا، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر به منظور جایگزین نمودن آنها با سوخت های فسیلی و کاهش آلودگی به تدریج افزایش یافته است.

یکی از مهم ترین منابع انرژی های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی می باشد که با توسعه نگرش های محیط زیستی و راهبردهای صرفه جویانه در بهره وری از انرژی های تجدیدناپذیر، استفاده از آن در بسیاری از کشورهای جهان رو به فزونی گذاشته است (۱).

کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان، در بالاترین رده ها قرار دارد. متوسط تابش انرژی خورشیدی در ایران بین ۴/۵ تا ۵/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز تخمین زده شده است که البته بالاتر از میزان متوسط جهانی است. در ایران به طور متوسط سالانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه است.

انرژی خورشیدی می تواند هم به شکل حرارت مانند آبگرمکن خورشیدی و هم به شکل الکتریسیته مانند پیل های خورشیدی تبدیل شود. آبگرمکن های خورشیدی از طریق جذب انرژی خورشید و تابش نور بر صفحات جاذب (کلکتور) عمل می نمایند و راندمان گرمایشی آنها در فصول مختلف سال، برحسب موقعیت های جغرافیایی هر شهر متفاوت می باشد. اقتصادی ترین روش تولید آبگرم مصرفی ساختمان ها، استفاده از انرژی خورشیدی است.

می توان از انرژی حرارتی خورشید جهت تهیه آبگرم بهداشتی در منازل و اماکن عمومی بخصوص در مکان هایی که مشکل سوخت رسانی وجود دارد، استفاده کرد. چنانچه ظرفیت این سیستم ها افزایش یابد، می توان از آنها در حمام های

خورشیدی نیز استفاده نمود، همچنین بررسی های علمی و محاسبات دانشمندان نشان می دهد که یک دستگاه آبگرمکن خورشیدی بیش از ۲ تن از آلودگی دی اکسید کربن را در سال کاهش می دهد (۲).

استفاده این سیستم ها از منبع انرژی بی پایان و ارزان خورشیدی، یکی از مزایای سیستم های خورشیدی می باشد و از همه مهم تر، این سیستم ها برخلاف سوخت های فسیلی تهدیدی برای محیط زیست به شمار نمی روند و بابت گرم کردن آب مورد نیاز، گرم کردن فضای ساختمان و یا هتل، تا سال ها هیچ هزینه ای پرداخت نخواهد شد.

برای تهیه آبگرم در تمام ساعات شبانه روز، یعنی در شب ها و روزهای ابری، آبگرم در مخزن دو جداره و عایق حرارتی که دمای آب را تا ۷۲ ساعت با کم ترین افت دما حفظ می کند، نگهداری می شود. با استفاده از این سیستم می توان هزینه های مصرف گاز، گازوییل و برق را به طور چشم گیری کاهش داد که این امر در پروژه های بزرگ ملموس تر خواهد بود، به طوری که بعد از گذشت زمان کوتاهی با صرفه جویی در مصرف سوخت، سرمایه گذاری اولیه مستهلک شده و بعد از آن بخاطر عمر بالای دستگاه ها سودآوری خواهد داشت. هزینه های نگهداری و تعمیرات این سیستم ها بسیار پایین و در حد صفر است؛ زیرا هیچ قطعه متحرکی نداشته و طول عمر کارکرد سیستم های استاندارد و با کیفیت فنی بالا تا ۲۰ سال می رسد (۳).

مهم ترین مانع برای توسعه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی، سرمایه بر بودن اولیه این سیستم خورشیدی است که بر روی انتخاب مشتریان تأثیر منفی می گذارد. برای این مسأله لازم است، راه کارهای اساسی اندیشیده شود. در مناطقی که هزینه های انرژی و حامل های انرژی زیاد است و دسترسی به شبکه گاز و برق مشکل و یا اساساً دسترسی به آنها وجود ندارد، کاربرد این محصول از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. معمولاً ابعاد بهینه مولدهای خورشیدی را به گونه ای انتخاب می کنند که در کنار تأسیسات حرارتی حدود ۷۵ درصد نیاز سالانه آبگرم مصرفی ساختمان را برآورده نماید و

حاصل از روش‌های سنتی را تعیین و دوره بازگشت سرمایه اولیه بکارگیری آبگرمکن را ۴ سال اعلام نمود (۷).
 مجتبی هراتیان در سال ۱۳۸۲ به تحلیل فنی و اقتصادی کاربرد آبگرمکن خورشیدی برای یک ساختمان دولتی در اصفهان پرداخت و با بررسی شرایط اقلیمی منطقه، تاسیسات موجود و میزان آبگرم مصرفی مورد نیاز ساختمان، ظرفیت سیستم آبگرمکن خورشیدی مناسب را تعیین کرد. همچنین با در نظر گرفتن هزینه‌های محیط زیستی، طول عمر سیستم آبگرمکن، پارامترهای اقتصادی مرتبط با وضعیت اجرای طرح برای ساختمان مذکور از دیدگاه‌های متفاوت اقتصادی مورد ارزیابی قرار داد (۸).

فریده عتابی در سال ۱۳۹۰ با استفاده از نرم‌افزار RETScreen^۱ به امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و محیط زیستی استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی در ساختمان‌های شهر یزد برای ساختمان مسکونی ویلایی و مجتمع آپارتمانی مسکونی پرداخته است. به این نتیجه دست یافت که، چنان‌که تعداد ساختمان‌های مسکونی شهر یزد حدوداً ۲۰۰,۰۰۰ واحد (شامل ۱۲۰,۰۰۰ آپارتمان و ۸۰,۰۰۰ واحد ویلایی) باشند، میزان صرفه‌جویی سالیانه در مصرف گاز طبیعی در ساختمان‌های مسکونی ویلایی و مجتمع‌های آپارتمانی شهر یزد به ترتیب برابر با ۶۶۹۶۰۰۰ مترمکعب و ۱۶۸۲۴۰۰۰ مترمکعب و میزان صرفه‌جویی اقتصادی سالیانه به ترتیب برابر با ۱۶,۵۶۰,۰۰۰ دلار و ۴۱,۵۲۰,۰۰۰ دلار خواهد بود و سالانه ۲۴۰,۰۰۰ تن معادل CO₂ از انتشار گازهای گل‌خانه‌ای کاسته خواهد شد (۹).

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه امکان‌سنجی بکارگیری آبگرمکن خورشیدی صورت گرفته است؛ اما اکثر قریب به اتفاق آن‌ها بیشتر بر مزیت‌ها و مسایل اقتصادی استفاده از آبگرمکن خورشیدی تاکید داشته‌اند و به مزایای محیط‌زیستی و اجتماعی استفاده از این فناوری کم‌تر توجه نموده‌اند که این امر منجر به نتایج متفاوت و بعضاً دور از واقعیت در برآورد هزینه‌های اولیه استفاده

یا به عبارتی دیگر، سیستم‌های خورشیدی حدود ۹ ماه از سال صد درصد نیاز آبگرم مصرفی ساختمان را تامین و در سه ماه فصل زمستان به صورت سیستم کمکی در کنار تاسیسات مرکزی ساختمان عمل می‌نماید (۴).

با داشتن دانش کافی درباره تابش خورشید، به‌راحتی و به صورت بسیار مؤثرتر می‌توان انرژی خورشید را برای گرم کردن آب مصرفی منازل و حتی کاربردهای صنعتی به کار برده و کاهش چشم‌گیری درمیزان هزینه آبگرم مصرفی داد. برای تحقق این اهداف، مطالعه دقیق اقتصادی - اجتماعی و محیط‌زیستی مزایا و موانع به کارگیری 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 نمود:
 ساترِس^۱ در سال ۲۰۰۴ در کشور قبرس به مقایسه استفاده از آبگرمکن معمولی با آبگرمکن خورشیدی پرداخت، و به این نتیجه دست یافت که استفاده از آبگرمکن خورشیدی نسبت به آبگرمکن معمولی در حدود ۸۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی را سبب می‌شود (۵).

هانگ^۲ در سال ۲۰۱۲، در مقاله خود به تحلیل اقتصادی و محیط زیستی استفاده از آبگرمکن خورشیدی در آمریکا در سه منطقه‌ی آتلانتا، شیکاگو و لس‌آنجلس پرداخت. آقای هانگ در تحلیل خود، از دو نوع سیستم آبگرمکن خورشیدی متفاوت (صفحه‌ای و لوله خلا) استفاده کرد که با دو سیستم گرمایش کمکی (یعنی گاز طبیعی و الکتریسیته) کار می‌کردند و به این نتیجه دست یافت که، سیستم آبگرمکن خورشیدی که از گاز طبیعی به عنوان گرمایش کمکی استفاده می‌کند و کلکتور آن از نوع صفحه‌ای است، بالاترین عملکرد را در میان سیستم‌های دیگر دارد. زمان بازگشت سرمایه برای سیستم آبگرمکن خورشیدی با توجه به موقعیت و منطقه‌ی مورد نظر بین ۴-۱۳ سال را پیش‌بینی نمود (۶).

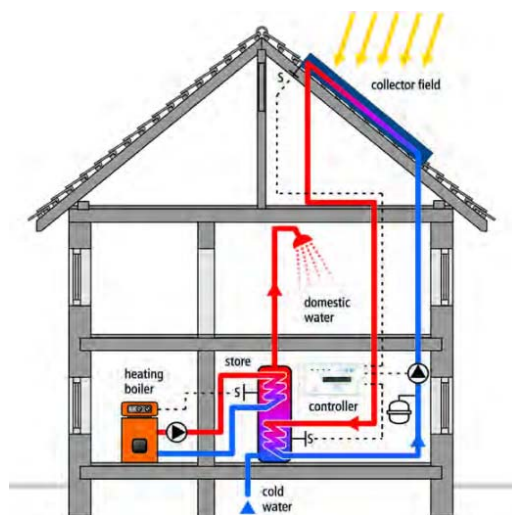
محمد ساتکین در سال ۱۳۸۰ به تحلیل اقتصادی- اجتماعی بکارگیری انرژی خورشیدی در تامین آبگرم مصرفی خانواده‌های ۴ الی ۵ نفره در ایران پرداخت. میزان مصرف انرژی و آلاینده‌گی

مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور انجام این پژوهش اقدام به گردآوری اطلاعاتی همچون میزان مصرف آبگرم روزانه به ازای هر نفر، متوسط دمای ورودی و خروجی به آبگرمکن و بهای انرژی مصرفی بعد از حذف یارانه های دولتی از کتب، نشریات و سایت های اینترنتی شد. بدین صورت که بار آبگرم مصرفی سالانه در مجتمع آپارتمانی محاسبه شده و میزان سوخت مورد نیاز برای تأمین بار آبگرم مجتمع آپارتمانی با در نظر گرفتن منابع انرژی (گاز طبیعی و الکتریسیته) محاسبه شده است، سپس با توجه به میزان سوخت مصرفی میزان انتشار گازهای گلخانه ای محاسبه شده و هزینه اجتماعی این آلاینده ها و هزینه سوخت مصرفی محاسبه گردیده است.

از آبگرمکن خورشیدی به منظور تأمین آبگرم مصرفی شده است. در پژوهش حاضر به منظور تحلیل اقتصادی و محیط زیستی مزایای بکارگیری آبگرمکن خورشیدی، سیستم ساده آبگرمکن خورشیدی، برای تهیه آبگرم خانوارهای ۴ و ۵ نفره در ساختمان مسکونی (ساختمان مسکونی ۶ واحدی با ۲۵ نفر ساکن) مورد بررسی قرار گرفته است. میزان کاهش آلاینده ها و همچنین میزان صرفه جویی در مصرف گاز طبیعی و انرژی الکتریکی در اثر جایگزینی آبگرمکن خورشیدی به جای آبگرمکن گازی و برقی محاسبه شده است و برای مدل سازی آن از نرم افزار RetScreen استفاده شده است.

مواد و روش ها

در این مطالعه استفاده از انرژی خورشیدی به صورت آبگرمکن خورشیدی به منظور استفاده بهینه از انرژی خورشیدی



شکل ۱- شماتیکی از سیستم گرمایش خورشید

Figure1- Schematic of a solar heating system

۱-۲- معرفی آبگرمکن های خورشیدی

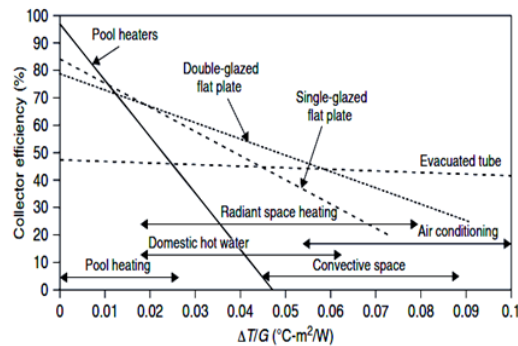
عبارتند از: آبگرمکن های خورشیدی با کلکتور تخت آبگرمکن- های خورشیدی با کلکتورهای لوله ای تحت خلا.

دستگاهی است که انرژی خورشید (نور مستقیم و غیر مستقیم) را به انرژی گرمایی تبدیل و آن را به آب انتقال می دهد. انواع آبگرمکن خورشیدی را می توان بر اساس تفاوت آن ها در نوع کلکتور جاذب انرژی خورشیدی طبقه بندی کرد که

۲-۲- اجزای آبگرمکن خورشیدی

اجزای تشکیل دهنده یک آبگرمکن خورشیدی عبارتند از: سطح جاذب (کلکتور): جنس آن بر اساس شرایط اقلیمی متفاوت بوده و تعداد آن بر اساس میزان مصرف آبگرم روزانه تعیین می‌شود. به طور کلی کلکتورهای خورشیدی در دو نوع

صفحه‌ای و لوله‌ای هستند کلکتورهای صفحه تخت پر استفاده-ترین نوع کلکتورهای خورشیدی می‌باشند. با توجه به شکل (۲)، کلکتورهای صفحه تخت در آبگرمکن‌های خانگی در شرایطی که آب و هوای منطقه مورد نظر سرد نباشد، استفاده می‌شود و بازدهی بالاتری دارند.



شکل ۲- شکل بازدهی کلکتورها برای دماها و کاربردهای مختلف گرمایشی (۱۰)

Fig 2- Efficiency of collectors for different temperatures and various applications heating

نیاز به کمی کردن اثر آلاینده‌ها و فعالیت‌ها در محیط‌های اثرپذیر (انسانی و طبیعی) می‌باشد.

نتایج و یافته‌ها

۳-۱- محاسبه کل بار آبگرم مصرفی سالانه در مجتمع مسکونی

در پژوهش حاضر به منظور تحلیل اقتصادی و محیط زیستی مزایای بکارگیری آبگرمکن خورشیدی، سیستم آبگرمکن خورشیدی صفحه تخت پمپدار برای تهیه آب گرم خانوارهای ۴ و ۵ نفره، در ساختمان مسکونی ۶ واحدی در تهران مد نظر قرار گرفته است. با توجه به استانداردهای موجود در زمینه مصرف آبگرم در ایران، به ازای هر نفر معادل ۶۰ لیتر آبگرم برای مصرف در روز، دمای آب سرد ورودی به آبگرمکن، متوسط سالیانه دمای ورودی آب شهر به منازل مسکونی در سال حدود ۱۵/۵ درجه سلیسیوس و دمای آب خروجی از آبگرمکن ۶۰ درجه سلیسیوس در نظر گرفته می‌شود. بار آبگرم مصرفی به ازای هر نفر با معادله ۱ محاسبه می‌گردد: (۱۱)

- مخزن ذخیره آبگرم: معمولاً به صورت مخزن دو جداره یا مخزن کویل‌دار می‌باشد.
- پمپ سیرکولاسون: جهت گردش آب درون کلکتورها و تبادل حرارتی با تانک‌ها
- منبع انبساط: جلوگیری از نوسانات حجمی و یکنواخت کردن فشار سیال
- نگهدارنده فلزی جهت مخزن و صفحه جاذب
- لوله و اتصالات مربوطه

۲-۳- هزینه اجتماعی

هزینه‌هایی است که، اثرات تخریب‌کننده یا سوء یک آلاینده یا فعالیت بر محصولات کشاورزی، اکوسیستم‌ها، مواد و سلامت انسان را برآورد می‌کند و اغلب هزینه‌های است که در قیمت تمام شده در نظر گرفته نمی‌شود. در تعریف دیگر به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از انتشار مواد آلاینده و گازهای گلخانه‌ای را جبران نماید، هزینه تخریب یا هزینه‌های اجتماعی گفته می‌شود خواهد شد (۹). جهت محاسبه هزینه‌های تخریب

$$Q = \rho V C (T_2 - T_1) \quad (۱)$$

Q: بار حرارتی آبگرم مصرفی (kJ)

V: مقدار واقعی آبگرم مصرفی در روز بر حسب لیتر

C: گرمای ویژه آب (kJ/kg°C) ۴/۱۸

T1: دمای آب گرم ورودی به آبگرمکن (°C) ۱۵/۵

T2: دمای آب گرم خروجی از آبگرمکن (°C) ۶۰

ρ: وزن مخصوص آب (kg/L) ۱

با توجه به رابطه بالا، بار حرارتی آبگرم مصرفی در روز برای هر نفر برابر خواهد بود با:

$$۶۰ \times ۴/۱۸ \times (۶۰ - ۱۵/۵) = ۱۱/۱۶۱ \text{ kJ} \approx (۲)$$

کیلووات ساعت در روز ۳/۱۰۷

و این میزان آبگرم در طول یک روز برای یک خانوار ۴ الی ۵ نفره برابر است با:

$$۲۷۰ \times ۴/۱۸ \times (۶۰ - ۱۵/۵) = ۵۰۲۲۲/۷ \text{ kJ} \approx ۱۴ (۳)$$

کیلووات ساعت در روز

در صورتی که ۷۵ درصد این میزان از انرژی توسط یک آبگرمکن خورشیدی در طول یک سال تامین گردد، میزان کل انرژی حاصل با به کارگیری از این سیستمها در طول یک سال برای یک خانواده ۴ الی ۵ نفره به صورت زیر خواهد بود:

$$۱۴ \times ۰/۷۵ \times ۳۶۵ = ۳۸۳۲/۵ \text{ کیلووات ساعت} (۴)$$

و میزان انرژی حاصله در طول یک ماه برابر است با:

$$۳۸۳۲/۵ \div ۱۲ \approx ۳۲۰ \text{ کیلووات ساعت} (۵)$$

با توجه به قیمت پلکانی برق که در جدول ۱ نمایش داده شده است، تقریباً ۳۲۰ کیلووات ساعت مصرف ماهانه انرژی برق بعد از حذف یارانهها، ارزش ریالی این میزان انرژی در سال ۱۳۹۱ برای یک ماه برابر با ۱۶۷۰۰۰ ریال خواهد بود.

جدول ۱- محاسبه پلکانی هزینه ماهانه برق صرفه جویی شده توسط آبگرمکن خورشیدی
Table1- Staircase calculation of monthly cost savings of electricity by solar water heater

مبلغ (ریال)	مصرف ۳۰ روزه (Kwh)	نرخ (ریال)	مصرف ۳۰ روزه (Kwh)
۳۰۰۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۰-۱۰۰
۳۵۰۰۰	۱۰۰	۳۵۰	۱۰۰-۲۰۰
۷۵۰۰۰	۱۰۰	۷۵۰	۲۰۰-۳۰۰
۲۷۰۰۰	۲۰	۱۳۵۰	۳۰۰-۴۰۰
۱۶۷۰۰۰	۳۲۰	مقدار مصرف انرژی و مبلغ ماهانه	

طول یکسال ۲۲۹۹۵ کیلووات ساعت که ارزش ریالی این میزان انرژی ۱۲۰۲۴۰۰۰ ریال می باشد.

هزینه آبگرمکن خورشیدی که توانایی تامین این میزان بار حرارتی در طول روز برای هر خانوار را داشته باشد، با توجه به اینکه در این پژوهش از آبگرمکنهای صفحه ای پمپدار استفاده شده، طبق اعلام شرکت سازنده ۱۸۰۰۰۰۰۰ ریال

این رقم در یک سال برابر با ۲۰۰۴۰۰۰ ریال خواهد شد که این مبلغ در صورت استفاده از آبگرمکن خورشیدی در طول یک سال برای یک خانوار ۴ الی ۵ نفره صرفه جویی پولی خواهد داشت. در مطالعه ای موردی، ساختمان مورد نظر ۶ واحد دارد، پس کل صرفه جویی ناشی از استفاده از انرژی خورشیدی در

ساختمان مورد نظر ۶ واحد دارد، پس کل صرفه‌جویی ناشی از استفاده از انرژی خورشیدی در طول یکسال ۵۸۲۰ مترمکعب که ارزش ریالی این میزان انرژی معادل ۶۴۰۲۰۰۰ می‌باشد. با احتساب تنها هزینه به دست آمده از طریق صرفه‌جویی و یا تولید انرژی در سال ۱۰۶۷۰۰۰، دوره بازگشت سرمایه اولیه این محصول برابر با سال خواهد بود.

$$(۱۰) \quad \text{سال} \quad ۱۶/۸۶ = ۱۰۶۷۰۰۰ \div ۱۸۰۰۰۰۰$$

۳-۲- کاهش هزینه‌های اجتماعی با استفاده از آبگرمکن-

های خورشیدی

در بخش انرژی کشور، هزینه‌های خارجی در واقع هزینه‌هایی هستند که به جامعه و محیط زیست در اثر تولید، انتقال، تبدیل و مصرف انرژی تحمیل می‌گردند ولی در قیمت کالا یا خدمات منظور نمی‌گردند. عدم توجه به هزینه‌های محیط زیستی تولید برق باعث ایجاد آثار مخرب بر منابع مورد استفاده می‌گردد و به عنوان نیرویی محرک، سیستم تولید برق را به سوی ناپایداری سوق می‌دهد. به نظر می‌رسد برآورد هزینه‌های محیط زیستی و لحاظ کردن آن در هزینه نهایی تولید برق گامی است به سوی شفاف‌سازی فرایند قیمت‌گذاری کالا و خدمات در بخش انرژی که زمینه علمی لازم برای حرکت به سوی قیمت‌گذاری مبتنی بر بازار در مورد مصرف برق کشور فراهم می‌شود.

این هزینه‌ها زمانی شکل می‌گیرد که فعالیت‌های اقتصادی، با ایجاد اثراتی چون آثار سوء محیط زیستی مستقیم (نظیر انتشار آلاینده‌ها)، تخریب اکوسیستم‌ها و گروه‌های دیگر اثر منفی بگذارد. به عبارت دیگر در علم محیط زیست برای کمی نمودن اثرات سوء محیط زیستی - بهداشتی از این واژه استفاده می‌شود. برای محاسبه دقیق هزینه‌های اجتماعی باید ارزش واحدهای محیط زیستی شناخته شود و میزان تاثیر انواع آلاینده‌ها بر واحدهای محیط زیستی برآورد گردد. هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف حامل‌های انرژی فسیلی در کشور برای آلاینده‌های مختلف در ترازنامه انرژی سالانه بیان می‌گردد.

می‌باشد. حال با توجه به میزان صرفه‌جویی پولی حاصل از مصرف این آبگرمکن‌ها به جای آبگرمکن‌های برقی، زمان بازگشت سرمایه به صورت زیر می‌باشد:

$$(۶) \quad ۸/۸۳ = ۲۰۰۴۰۰۰ \div ۱۸۰۰۰۰۰ \text{ سال}$$

اگر بار آبگرم به دست آمده به معادل مترمکعب گاز طبیعی، تبدیل گردد، می‌توان مقدار انرژی را در صورت بکارگیری گاز طبیعی به دست آورد، که برای محاسبه میزان مصرف گاز طبیعی برای تامین آبگرم مصرفی از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

$$(۷) \quad \text{ضریب تبدیل} \times \text{ارزش حرارتی سوخت} (۳۶۰۰۰ \text{ kJ/m}^3) \times \text{بازده سوخت} / \text{میزان انرژی گرمایی مورد نیاز در یک سال} \\ = \text{مصرف گاز سالیانه} (\text{kJ})$$

با توجه به رابطه‌ی بالا میزان صرفه‌جویی در گاز طبیعی به واسطه‌ی استفاده از آبگرمکن خورشیدی به جای آبگرمکن گازی برای یک خانوار ۴ الی ۵ نفره در طول یکسال با توجه به بار حرارتی آبگرم مصرفی در یک سال و راندمان انواع سیستم‌های آبگرم مصرفی میزان حامل انرژی بصورت زیر به دست می‌آید. اگر فرض کنیم، واحدها از سیستم‌های گرمایش با سوخت گاز طبیعی با راندمان ۷۵٪ استفاده کنند، و حدود ۷۰٪ از میزان گاز طبیعی هر واحد مسکونی برای گرمایش آب با سیستم‌های خورشیدی جبران شود، در این صورت مصرف گاز طبیعی (مترمکعب) در طول یکسال برای یک خانوار ۴ الی ۵ نفره به صورت زیر خواهد بود:

$$(۸) \quad ۵۰۲۲۲/۷ \times ۳۶۵ = ۱۸۳/۳ \times ۱۰^۵ \text{ kJ}$$

$$(۹) \quad ۱۸۳/۳ \times ۱۰^۵ \div (۰/۷ \times ۰/۷۵ \times ۳۶۰۰۰) = ۹۷۰$$

با توجه به این که قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی بطور متوسط ۱۱۰۰ ریال در نظر گرفته می‌شود، گاز طبیعی صرفه جویی شده در یکسال برای خانوار ۴ الی ۵ نفره ۱۰۶۷۰۰۰ ریال خواهد بود. که این مبلغ در صورت استفاده از آبگرمکن خورشیدی در طول یک سال برای یک خانوار ۴ الی ۵ نفره صرفه‌جویی پولی خواهد داشت. در مطالعه‌ی موردی،

آمده از راه صرفه جویی برقی در یک خانوار ۴ الی ۵ نفره به واسطه استفاده از آبگرمکن خورشیدی، امکان محاسبه مقدار کاهش گازهای آلاینده میسر خواهد شد (۱۲).

با توجه به جدول زیر میزان کاهش انتشار گاز CO₂ به واسطه استفاده از آبگرمکن خورشیدی به جای آبگرمکن برقی برای هر خانوار ۴ الی ۵ نفره ۲/۶ تن و برای کل خانوارها ۱۵/۶ می باشد.

$$(۱۳) \quad \text{کیلوگرم در سال} \quad ۳۸۳۲/۵ \times ۶۷۸/۲۴ = ۲۵۹۹/۳$$

$$(۱۴) \quad \text{کیلوگرم در سال} \quad ۲۵۹۹/۳ \times ۶ = ۱۵۵۹۶$$

با توجه به اینکه میزان انتشار CO₂ نسبت به انتشار SO₂ و NO_x بسیار بیشتر است، در محاسبه هزینه های محیط زیستی از آن ها صرف نظر می گردد. هزینه حذف و کنترل گاز دی اکسید کربن حاصل از آبگرمکن های برقی حدود ۳۶ دلار به ازای هر تن می باشد (۳).

افزایش سهم سیستم های خورشیدی در بخش انرژی باعث کاهش انتشار مواد آلاینده متعارف (NO_x، SO₂ و غیره) می گردد. همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، هزینه خارجی سیستم انرژی را کاهش خواهد داد. استفاده از آبگرمکن خورشیدی به دلیل کاهش استفاده از انرژی های فسیلی، منجر به کاهش میزان هزینه های اجتماعی می گردد.

در جدول ۲ میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای به ازای هر کیلووات ساعت برق مشخص شده است. در کشور بیشترین انتشار در بین گازهای آلاینده، گاز CO₂ ۶۷۸/۲۴ گرم بر کیلووات ساعت، NO_x با شاخص انتشار ۲/۶۷ گرم بر کیلووات ساعت و SO₂ با شاخص انتشار ۲/۲۴ گرم بر کیلووات ساعت در رده بعدی قرار دارند. با در نظر گرفتن میزان انتشار گازهای آلاینده به ازای هر کیلووات و با توجه به عدد به دست

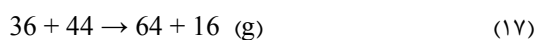
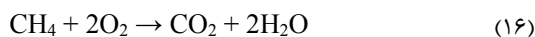
جدول ۲- میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه ای توسط آبگرمکن خورشیدی با ازای هر خانوار ۴ و ۵ نفره

Table2- The reduction of greenhouse gas emissions per household by solar water heater with 4 and 5-seater

مقدار کاهش به واسطه آبگرمکن خورشیدی (کیلوگرم در سال)	مقدار انتشار به ازای یک کیلووات ساعت (گرما)	گاز آلاینده
۲۵۹۹/۳	۶۷۸/۲۴	CO ₂
۸/۶	۲/۲۴	SO ₂
۱۰/۲	۲/۶۷	NO _x
۲۶۱۱/۳	۶۸۳/۱۵	جمع

۳-۳- محاسبه میزان دی اکسید کربن تولیدی به واسطه مصرف گاز طبیعی
میزان دی اکسید کربن برای هر سوخت از واکنش آن با اکسیژن حاصل می شود (۱۳).

گاز طبیعی:



بر اساس رابطه فوق به ازای هر گرم گاز طبیعی ۲/۷۵ گرم CO₂ تولید می شود. از طرفی هر ۱/۳۵ مترمکعب گاز معادل ۱

با توجه به برابری نرخ ارز، هر دلار معادل ۲۵۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد. ارزش ریالی پول صرفه جویی شده حاصل از کاهش حجم گاز دی اکسید کربن در نتیجه بکارگیری آبگرمکن خورشیدی برای هر خانوار در طول یکسال ۲۳۳۹۳۷۰ و برای کل خانوارها ۱۴۰۳۶۲۲۰ می باشد. با در نظر گرفتن هزینه محیط زیستی، زمان بازگشت سرمایه برای آبگرمکن خورشیدی به صورت زیر می باشد:

$$(۱۵) \quad \text{سال} \quad ۱۸۰۰۰۰۰ \div ۴۳۴۳۳۷۰ = ۴/۱۴$$

خانوار ۴ الی ۵ نفره در طول یک سال، بازگشت سرمایه اولیه بصورت زیر می‌باشد:

$$(۲۰) \quad \text{ریال} \quad ۱۷۷۸۳۳۳ = ۲۵۰۰۰ \times ۱/۹۷ \times ۳۶$$

$$(۲۱) \quad \text{سال} \quad ۶/۳۲ = ۲۸۴۵۳۳۳ \div ۱۸۰۰۰۰۰$$

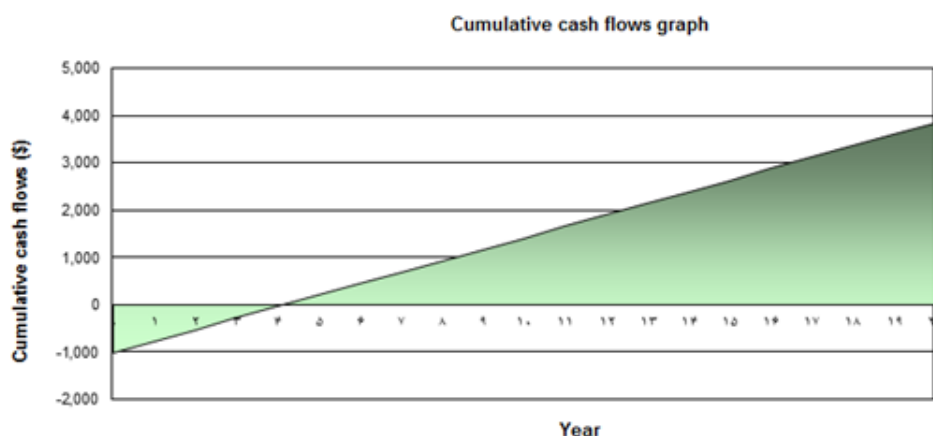
به منظور صحت‌گذاری محاسبات مربوط به جایگزینی آبگرمکن برقی با آبگرمکن خورشیدی از نرم‌افزار RETScreen در این پژوهش استفاده گردید. کلکتوری که در این پروژه استفاده شده از شرکت سولار پلار است که مشخصات آن در قسمت پیوست ذکر شده است. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است پس از مدت زمان ۴/۱ سال سرمایه‌گذاری اولیه بازیافت شده و از آن سال به بعد منجر به صرفه جویی اقتصادی در مصرف انرژی می‌گردد.

کیلوگرم گاز طبیعی فشرده شده است. پس در طول یک سال میزان CO₂ تولیدی به‌واسطه استفاده از آبگرمکن گازی برای هر خانوار بصورت زیر می‌باشد:

$$(۱۸) \quad \text{کیلوگرم گاز طبیعی} \quad ۷۱۸/۵ = ۱/۳۵ \times ۹۷۰$$

$$(۱۹) \quad \text{کیلوگرم CO}_2 \quad ۱۹۷۵ = ۲/۷۵ \times ۷۱۸/۵$$

با توجه به رابطه‌ی بالا میزان CO₂ تولیدی برای کل خانوارها در یک سال ۱۱/۸۲ تن می‌باشد. با توجه به اینکه هزینه اجتماعی هر تن CO₂ بر اساس مطالعات بانک جهانی و سازمان محیط زیست ۳۶ دلار می‌باشد. (۳). هزینه اجتماعی آلاینده‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در تامین گرمایش آب را می‌توان، حساب کرد. حال با در نظر گرفتن هزینه‌های محیط زیستی صرفه‌جویی شده به ازای یک خانوار به مقدار محاسبه شده از طریق تولید انرژی توسط آبگرمکن خورشیدی در یک



شکل ۳- جریان نقدینگی

Fig 3- Cash flow

بحث و نتیجه‌گیری

آبگرمکن برقی و گازی بررسی اقتصادی و محیط زیستی گردید. قیمت هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی با توجه به جدول پلکانی برق که در متن ذکر شده و قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی ۱۱۰۰ ریال در نظر گرفته شد. با این فرضیات به این نتیجه رسیدیم که بازگشت سرمایه به‌واسطه جایگزینی آبگرمکن خورشیدی با آبگرمکن برقی با در نظر گرفتن هزینه‌های محیط زیستی، در حدود ۳/۶ سال می‌باشد که این

هم‌زمان با کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی و مصرف بی‌رویه آن، شاهد افزایش دمای کره زمین هستیم، که بخش عمده این افزایش به سبب استفاده از سوخت‌های فسیلی است. در نتیجه، در طول چند دهه 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 می‌باشد. در این مقاله، جایگزینی آبگرمکن خورشیدی با

- systems", *Energy Conversion and Management*: 45, 3075–3092
6. Hang Y., Qu M., Zhao F. (2012). "Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States", *Energy and Buildings*: 45, 181–188.
۷. ساتکین محمد (۱۳۸۰). "تحلیل اقتصادی- اجتماعی بکارگیری انرژی خورشیدی در تامین آبگرم مصرفی خانوارهای ۴ الی ۵ نفره در ایران"، سومین همایش ملی انرژی، تهران.
۸. هراتیان مجتبی، آخوندی نادر (۱۳۸۲). "تحلیل فنی و اقتصادی کاربرد آبگرمکن خورشیدی برای یک ساختمان دولتی در اصفهان"، مجموعه مقالات سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.
۹. عتابی فریده، صلحی زاده مونا، موسی زاده نمینی المیرا (۱۳۹۰). "بررسی امکان سنجی استفاده از سیستم های آبگرمکن خورشیدی در شهر یزد"، نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید.
10. Soteris A. (2009). "Solar Energy Engineering Processes and Systems book", publisher Elsevier.
۱۱. عیوضی زهرا (۱۳۸۴). "استفاده از آبگرمکن خورشیدی در مناطق مسکونی/ تجاری منطقه ۲۲ شهرداری تهران و اثرات آن در بهسازی محیط زیست"، چهارمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.
۱۲. معاونت امور انرژی وزارت نیرو (۱۳۸۹). ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۹.
۱۳. خلجی اسدی مرتضی، عابدی زهرا، شرعی نیما (۱۳۸۸). "سیستم های ترکیبی خورشیدی راه حلی نوین برای گرمایش در ساختمان ها"، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۱، شماره ۳.
- جایگزینی صرفه اقتصادی دارد. و بواسطه جایگزینی آبگرمکن گازی با آبگرمکن خورشیدی با در نظر گرفتن هزینه های محیط زیستی، بازگشت سرمایه ۶/۳۲ سال می باشد. پس در کل زمان بازگشت سرمایه جایگزینی آبگرمکن های برقی با آبگرمکن های خورشیدی کوتاه تر می باشد و صرفه ی اقتصادی زیادی دارند. اگر عمر متوسط آبگرمکن خورشیدی را ۲۰ سال در نظر بگیریم، حدود ۱۶/۴ و ۱۳/۶۸ سال (به ترتیب با جایگزینی آن با آبگرمکن برقی و آبگرمکن گازی) این محصول انرژی رایگان و سازگار با محیط زیست در اختیار ما قرار خواهد داد. این امر نه تنها از تولید مقدار عظیمی از گازهای آلاینده خواهد کاست، بلکه ما را از تولید مقدار چشم گیری از انرژی که طبیعت به طور رایگان و پاک در اختیار ما قرار می دهد، بهره مند خواهد ساخت.
- منابع**
۱. یعقوبی محمود، کناری علی، عزیزیان کیان (۱۳۸۱). "نیروگاه های گرمایی خورشیدی"، مجله مهندسی مکانیک، دوره یازدهم، شماره ۲۶.
۲. عتابی فریده، کعبی نژادبان عبدالرزاق، موسی زاده نمینی المیرا (۱۳۹۰). "آنالیز فنی، اقتصادی و محیط زیستی استفاده از آبگرمکن های خورشیدی در ساختمان های مسکونی"، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴، شماره ۴.
۳. عزیزی علی، فریادی شهرزاد، (۱۳۹۱). "تحلیل اقتصادی اجتماعی و محیط زیستی مزایای بکارگیری آبگرمکن خورشیدی (مطالعه موردی شهر شیراز)"، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۵ شماره ۱.
۴. سرمستی امامی محمد رضا (۱۳۹۰). "بررسی دستگاه های گردآوری کننده انرژی خورشیدی و کاربردهای آنها"، نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید.
5. Soteris A. (2003). "Environmental benefits of domestic solar energy