علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، شماره سه، پاییز ۹۵

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 خورشید، 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 گرم‌کردن آب با استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی، شاید از آسان‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌های موجود باشد.

روش بررسی: دراین 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.

یافته ها 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.

واژه های کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، آبگرمکن‌های خورشیدی، هزینه های 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.

J.Env. Sci. Tech., Vol 18, No.3, autumn 2016

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 Noorollahi[1]
Somayeh Toghyani [2]

Abstract

Bachground 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 CO_2 emissions.

1- Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran*(Corresponding Auther).
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 دغدغه‌های فکری بشر بوده و با پیشرفت صنایع و تکنولوژی، این مسأله به تدریج حادتر گردیده است. با محدودیت منابع تأمین‌کننده کنونی انرژی و مسایل محیط‌زیستی توجه به منابع دیگر انرژی طی دو دهه گذشته بیشتر شده و در این راستا، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور جایگزین نمودن آن‌ها با سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی به تدریج افزایش یافته است.

یکی از مهم ترین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی می‌باشد که با توسعه نگرش‌های محیط‌زیستی و راهبردهای صرفه‌جویانه در بهره‌وری از انرژی‌های 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 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 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 می‌تواند هم به شکل حرارت مانند آبگرمکن خورشیدی و هم به شکل الکتریسیته مانند پیل‌های خورشیدی تبدیل شود. آبگرمکن‌های خورشیدی از طریق جذب انرژی خورشید و تابش نور بر صفحات جاذب (کلکتور) عمل می‌نمایند و راندمان گرمایشی آن‌ها در فصول مختلف سال، برحسب موقعیت‌های جغرافیایی هر شهر متفاوت می‌باشد. اقتصادی‌ترین روش تولید آبگرم مصرفی ساختمان‌ها، استفاده از انرژی خورشیدی است.

می‌توان از انرژی حرارتی خورشید جهت تهیه آبگرم بهداشتی در منازل و اماکن عمومی بخصوص در مکان‌هایی که مشکل سوخت‌رسانی وجود دارد، استفاده کرد. چنانچه ظرفیت این سیستم‌ها افزایش یابد، می‌توان از آن‌ها در حمام‌های خورشیدی نیز استفاده نمود، همچنین بررسی‌های علمی و محاسبات دانشمندان نشان می‌دهد که یک دستگاه آبگرمکن خورشیدی بیش از ۲ تن از آلودگی دی‌اکسیدکربن را در سال کاهش می‌دهد (۲).

استفاده این سیستم‌ها از منبع انرژی بی‌پایان و ارزان خورشیدی، یکی از مزایای سیستم‌های خورشیدی می‌باشد و از همه مهم‌تر، این سیستم‌ها برخلاف سوخت‌های فسیلی تهدیدی برای محیط زیست به شمار نمی‌روند و بابت گرم‌کردن آب مورد نیاز، گرم‌کردن فضای ساختمان و یا هتل، تا سال‌ها هیچ هزینه‌ای پرداخت نخواهد شد.

برای تهیه آبگرم در تمام ساعات شبانه‌روز، یعنی در شب‌ها و روزهای ابری، آبگرم در مخزن دو جداره و عایق حرارتی که دمای آب را تا ۷۲ ساعت با کم‌ترین افت دما حفظ می‌کند، نگهداری می‌شود. با استفاده از این سیستم می‌توان هزینه‌های مصرف گاز، گازوییل و برق را به‌طور چشم‌گیری کاهش داد که این امر در پروژه‌های بزرگ ملموس‌تر خواهد بود، به‌طوری که بعد از گذشت زمان کوتاهی با صرفه‌جویی در مصرف سوخت، سرمایه‌گذاری اولیه مستهلک شده و بعد از آن بخاطر عمر بالای دستگاه‌ها سودآوری خواهد داشت. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات این سیستم‌ها بسیار پایین و در حد صفر است؛ زیرا هیچ قطعه متحرکی نداشته و طول عمر کارکرد سیستم‌های استاندارد و با کیفیت فنی بالا تا ۲۰ سال می‌رسد (۳).

مهم ترین مانع برای توسعه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی، سرمایه‌بر بودن اولیه این سیستم خورشیدی است که بر روی انتخاب مشتریان تأثیر منفی می‌گذارد. برای این مسأله لازم است، راه‌کارهای اساسی اندیشیده شود. در مناطقی که هزینه‌های انرژی و حامل‌های انرژی زیاد است و دسترسی به شبکه گاز و برق مشکل و یا اساساً دسترسی به آنها وجود ندارد، کاربرد این محصول از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. معمولاً ابعاد بهینه مولدهای خورشیدی را به گونه‌ای انتخاب می‌کنند که در کنار تأسیسات حرارتی حدود ۷۵ درصد نیاز سالانه آبگرم مصرفی ساختمان را برآورده نماید و

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 تأسیسات 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 کاهشی 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:

ساتریس[1] درسال 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[2] 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 آلایندگی 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 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 حدودا ۲۰۰,۰۰۰ واحد (شامل ۱۲۰,۰۰۰ آپارتمان و ۸۰,۰۰۰ واحد ویلایی) باشند، میزان صرفه‌جویی سالیانه در مصرف گازطبیعی در ساختمان-های مسکونی ویلایی و مجتمع‌های آپارتمانی شهر یزد به ترتیب برابر با ۶۶۹۶۰۰۰ مترمکعب و ۱۶۸۲۴۰۰۰۰ 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 CO_2 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

1- Soteris
2- Hang

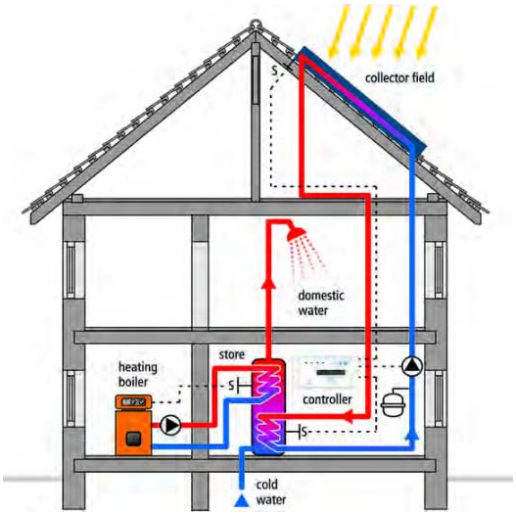
از آبگرمکن خورشیدی به منظور تامین آبگرم مصرفی شده است.

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 مسکونی۶ واحدی با ۲۵ نفر ساکن) مورد بررسی قرار گرفته است. میزان کاهش آلاینده‌ها و همچنین میزان صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی و انرژی الکتریکی در اثر جایگزینی آبگرمکن خورشیدی به جای آبگرمکن گازی و برقی محاسبه شده است و برای مدل‌سازی آن از نرم‌افزار RetScreen استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه استفاده از انرژی خورشیدی به صورت آبگرمکن‌خورشیدی به منظور استفاده بهینه از انرژی خورشیدی 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 یارانه‌های دولتی از کتب، نشریات و سایت‌های 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 گل‌خانه‌ای محاسبه شده و هزینه اجتماعی این آلاینده‌ها و هزینه سوخت مصرفی محاسبه گردیده است.



شکل ۱- شماتیکی از سیستم گرمایش خورشید

Figure1- Schematic of a solar heating system

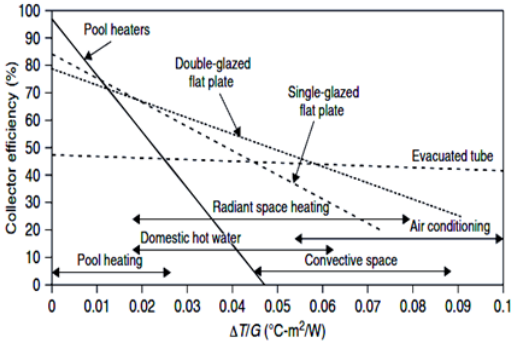
۲-۱- معرفی آبگرمکن‌های خورشیدی

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

۲-۲- اجزای آبگرمکن خورشیدی

اجزای تشکیل دهنده‌ی 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 پراستفاده-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 temperatuers and various applications heating

- **مخزن ذخیره آبگرم: معمولا** به‌صورت 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 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 آب‌گرم 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 ۱۵/۵درجه سیلیسیوس و دمای آب خروجی از آبگرمکن ۶۰ درجه سیلیسیوس در نظر گرفته می شود . بار آبگرم مصرفی به ازای هر نفر با معادله ۱ محاسبه می گردد: (۱۱)

$$Q = \rho \mathbf{V} C (T2-T1) \quad (۱)$$

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 آب‌گرم ورودی به آبگرمکن (۱۵/۵ °C)

T2 : دمای آب‌گرم خروجی از آبگرمکن (۶۰ °C)

ρ : وزن مخصوص آب (1 kg/L)

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

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

کیلووات ساعت در روز ۳ /۱۰۷

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

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

کیلووات ساعت در روز

در صورتی‌که 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:

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

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

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

با توجه به قیمت پلکانی برق که در جدول ۱ نمایش داده شده است، تقریبا 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.

جدول۱- محاسبه پلکانی هزینه ماهانه برق صرفه‌جویی شده توسط آبگرمکن خورشیدی

Table1- Staircase calculation of monthly cost savings of electricity by solar water heater

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

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 صرفه‌جویی پولی خواهد داشت. در مطالعه‌ی موردی، ساختمان مورد نظر ۶ واحد دارد، پس کل صرفه‌جویی ناشی از استفاده از انرژی خورشیدی در طول یکسال ۲۲۹۹۵ کیلووات ساعت که ارزش ریالی این میزان انرژی ۱۲۰۲۴۰۰۰ ریال می‌باشد.

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 صفحه‌ای پمپ‌دار استفاده شده، طبق اعلام شرکت سازنـده ۱۸۰۰۰۰۰۰ ریال

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

(۶) ۸/۸۳ = ۲۰۰۴۰۰۰÷۱۸۰۰۰۰۰۰سال

اگر بار آبگرم به‌دست آمده به معادل مترمکعب گاز طبیعی، تبدیل گردد، می‌توان مقدار انرژی را در صورت بکارگیری گاز طبیعی به‌دست آورد، که برای محاسبه میزان مصرف گاز طبیعی برای تامین آبگرم مصرفی از فرمـــول زیـر استفـاده می‌کنیم:

(۷) ضریب تبدیل × ارزش حرارتی سوخت ($۳۶۰۰۰ kJ/m^3$) × بازده سوخت / میزان انرژی گرمایی مورد نیاز در یک‌سال (kJ) = مصرف گاز سالیانه

با توجه به رابطه‌ی بالا میزان صرفه‌جویی در گاز طبیعی به‌واسطه‌ی 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) $۱۸۳/۳ \times ۱۰^{۵}$ kJ = ۳۶۵× ۵۰۲۲۲/۷

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

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 ۱۰۶۷۰۰۰ریال 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، 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) ۱۸۰۰۰۰۰۰÷ ۱۰۶۷۰۰۰ = ۱۶/۸۶ سال

۳-۲-کاهش هزینه‌های اجتماعی با استفاده از آبگرمکن‌های 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 سوءمحیط 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.

افزایش سهم سیستم‌های خورشیدی در بخش انرژی باعث کاهش انتشار مواد آلاینده متعارف (NO_x، SO_2 و غیره) می‌گردد. همچنین کاهش انتشار گازهای گل‌خانه‌ای، هزینه خارجی سیستم انرژی را کاهش خواهد داد. استفاده از آبگرمکن خورشیدی به دلیل کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی، منجر به کاهش میزان هزینه‌های اجتماعی می‌گردد.

در جدول ۲ میزان انتشار گازهای آلاینده و گل‌خانه‌ای به ازای هر کیلووات ساعت برق مشخص شده است. در کشور بیش‌ترین انتشار در بین گازهای آلاینده، گاز CO_2 ۶۷۸/۲۴ گرم بر کیلووات ساعت، NO_x با شاخص انتشار ۲/۶۷ گرم بر کیلووات ساعت و SO_2 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 آمده از راه صرفه‌جویی برق 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 CO_2 به‌واسطه استفاده از آبگرمکن خورشیدی به جای آبگرمکن برقی برای هر خانوار ۴ الی ۵ نفره ۲/۶ تن و برای کل خانوارها ۱۵/۶ می‌باشد.

(۱۳) کیلوگرم در سال ۳۸۳۲/۵ ×۶۷۸/۲۴ =۲۵۹۹/۳

(۱۴) کیلوگرم در سال ۱۵۵۹۶ = ۶ × ۲۵۹۹/۳

با توجه به اینکه میزان انتشار CO_2 نسبت به انتشار SO_2 و NO_x بسیار بیشتر است، در محاسبه‌ی هرینه‌های محیط زیستی از آن‌ها صرف‌نظر می‌گردد. هزینه حذف و کنترل گاز دی‌اکسیدکربن حاصل از آبگرمکن‌های برقی حدود ۳۶ دلار به ازای هر تن می‌باشد (۳).

جدول ۲- میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای 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

گاز آلاینده	مقدار انتشار به ازای یک کیلووات ساعت (گرما)	مقدار کاهش به واسطه آبگرمکن خورشیدی (کیلوگرم در سال)
CO_2	۶۷۸/۲۴	۲۵۹۹/۳
SO_2	۲/۲۴	۸/۶
NO_x	۲/۶۷	۱۰/۲
جمع	**۶۸۳/۱۵**	**۲۶۱۱/۳**

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

(۱۵) سال ۴/۱۴ = ۴۳۴۳۳۷۰ ÷ ۱۸۰۰۰۰۰۰

۳-۳- محاسبه میزان دی‌اکسید کربن تولیدی به‌واسطه مصرف گاز طبیعی

میزان دی‌اکسیدکربن برای هر سوخت از واکنش آن با اکسیژن حاصل می‌شود (۱۳).

گاز طبیعی :

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \quad (16)$$

$$36 + 44 \rightarrow 64 + 16 \ (g) \quad (17)$$

بر اساس رابطه فوق به ازای هر گرم گاز طبیعی ۲/۷۵ گرم CO_2 تولید می‌شود. از طرفی هر ۱/۳۵ مترمکعب گاز معادل ۱

کیلوگرم گاز طبیعی فشرده شده است. پس در طول یک سال میزان CO_2 تولیدی به‌واسطه استفاده از آبگرمکن گازی برای هر خانوار بصورت زیر می‌باشد:

(۱۸) کیلوگرم گاز طبیعی ۹۷۰ ÷ ۱/۳۵ = ۷۱۸/۵

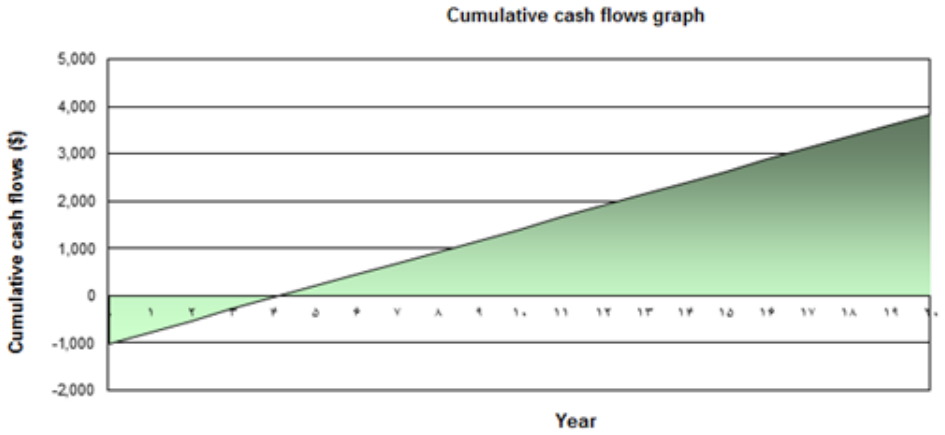
(۱۹) کیلوگرم CO_2 ۷۱۸/۵ × ۲/۷۵ = ۱۹۷۵

با توجه به رابطه‌ی بالا میزان CO_2 تولیدی برای کل خانوارها در یک‌سال ۱۱/۸۲ تن می‌باشد. با توجه به اینکه هزینه اجتماعی هر تن CO_2 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 خانوار ۴ الی ۵ نفره در طول یک سال، بازگشت سرمایه اولیه بصورت زیر می‌باشد:

(۲۰) ریال ۳۶ × ۱/۹۷ ×۲۵۰۰۰ =۱۷۷۸۳۳۳

(۲۱) سال ۱۸۰۰۰۰۰۰÷۲۸۴۵۳۳۳ = ۶/۳۲

به منظور صحه‌گذاری 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.



شکل ۳- جریان نقدینگی

Fig 3- Cash flow

بحث و نتیجه‌گیری

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 قـرار گرفته است که، نه تنها پایان‌ناپذیر است، بلکه به طور فراوان در طبیعت موجود می‌باشد. در این مقاله، جایگزینی آبگرمکن خورشیدی با 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

جایگزینی صرفه اقتصادی دارد. و بواسطه جایگزینی آبگرمکن گازی با آبگرمکن خورشیدی با در نظر گرفتن هزینه‌های محیط زیستی، بازگشت سرمایه ۶/۳۲ سال می‌باشد. پس در کل زمان بازگشت سرمایه جایگزینی آبگرمکن‌های برقی با آبگرمگن‌های خورشیدی کوتاه‌تر می‌باشد و صرفه‌ی 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 چشم‌گیری از انرژی که طبیعت به طور رایگان و پاک در اختیار ما قـرار می‌دهـد، بهره‌مند خواهد ساخت.

منابع

۱. یعقوبی محمود، کناری علی، عزیزیان کیان (۱۳۸۱). " نیروگاه‌های گرمایی خورشیدی"، مجله مهندسی مکانیک، دوره یازدهم، شماره ۲۶.

۲. عتابی فریده، کعبی نژادیان عبدالرزاق، موسی زاده نمینی المیرا (۱۳۹۰). " آنالیز فنی، اقتصادی و محیط زیستی استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی"، *نشریه انرژی ایران*، دوره۱۴، شماره۴.

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 دستگاه‌های گردآوری‌کننده انرژی خورشیدی و کاربردهای آن‌ها"، *نخستین همایش ملی انرژی باد و خورشید*.

5. Soteris A. (2003). "Environmental benefits of domestic solar energy 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 بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان*.

۹. عتابی فریده، صلحی زاده مونا، موسی‌زاده نمینی المیرا (۱۳۹۰). " بررسی امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های 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). " سیستم‌های ترکیبی خورشیدی راه حلی نوین برای گرمایش در ساختمان‌ها "، *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، دوره ۱۱، شماره۳.