امکان سنجی اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده از انرژی خورشیدی در تأمین آب گرم مصرفی ساختمان‌های مسکونی (مطالعه موردی: شهر تهران)

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۵/۰۳/۱۱

حسین یوسفی* (استادیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران)
سهیل رومی (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم های انرژی، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران)
یونس نوراللهی (استادیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران)

چکیده

به کارگیری انرژی‌های نو و تجدیدپذیر بویژه انرژی خورشید، این منبع لایزال الهی به دلیل دریافت آسانتر و در دسترس‌بودن 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، آسان‌ترین و اقتصادی‌ترین روش موجود می‌باشد. در این تحقیق با در نظر گرفتن تورم و ارزش زمانی سرمایه، بررسی‌های اقتصادی برای دوره بازگشت سرمایه جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی به جای انواع گازی آن در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران صورت گرفته است. در ابتدا تحلیل اقتصادی با در نظرگرفتن پرداخت همه هزینه‌های جایگزینی توسط ساکنان در یک ساختمان مسکونی بررسی گردید. سپس اجرای طرح جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی توسط دولت از طریق یارانه 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 محیط‌زیستی، جایگزینی آبگرمکن‌ها توسط شهروندان به دلیل مسائل مالی و طولانی بودن دوران بازگشت سرمایه (۱۱/۲ سال)، در عمل غیرممکن است. از سوی دیگر با توجه به کاهش تولید آلاینده‌های هوا و همچنین گازهای گلخانه‌ای (به ویژه CO_2 به میزان۲/۷ میلیون تن در سال) و توانایی صادرات گاز

* نویسنده رابط: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

صرفه جویی شده به کشورهای همسایه، استراتژی پرداخت هزینه‌های اولیه توسط وزارت نیروداری بازگشت سرمایه بسیار منطقی‌تری(تقریبا ۲ سال) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تهران، انرژی خورشیدی، محیط زیست، امکان سنجی اقتصادی- زیست محیطی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱- 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 زیست‌محیطی 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 مهم‌ترین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی می‌باشد که با توسعه 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 درجه عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی دربین 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 ۲۲۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه است(Sarparast et al,2013:254).

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 صفحات جاذب (کلکتور) عمل می‌نمایند و راندمان گرمایشی آن‌ها در فصول مختلف سال، بر حسب موقعیت‌های جغرافیایی هر شهر متفاوت می‌باشد. اقتصادی‌ترین روش تولید آبگرم مصرفی ساختمان‌ها، استفاده از انرژی خورشیدی است(Aigbavboa,2015:495). می‌توان از انرژی حرارتی خورشید جهت تهیه آبگرم بهداشتی در منازل و اماکن عمومی به خصوص در مکان‌هایی که مشکل سوخت‌رسانی وجود دارد، استفاده کرد. چنانچه ظرفیت این سیستم‌ها افزایش یابد، می‌توان از آن‌ها درحمام‌های 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(Chang et al,2011:563).

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 نخواهدشد(Vanessa et al, 2015:138). برای تهیه آبگرم در تمام ساعات شبانه‌روز، یعنی در شب‌ها و روزهای ابری، آبگرم در مخزن دوجداره و عایق حرارتی که دمای آب را تا ۷۲ ساعت با کمترین افت دما حفظ می‌کند، نگهداری می‌شود(Soteris,2003:1711). با استفاده از این سیستم می‌توان هزینه‌های مصرف گاز، گازوئیل و برق را بطور چشمگیری کاهش داد که این امر در پروژه‌های بزرگ ملموس‌تر خواهد بود، بطوری 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 است؛ زیرا هیچ قطعه متحرکی نداشته و طول عمر کارکرد سیستم‌های استاندارد و با کیفیت فنی بالا تا ۲۰ سال می‌رسد(Giglio et al,2014:43).

مهمترین مانع برای توسعه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی، سرمایه‌بر بودن اولیه این سیستم خورشیدی است که برروی انتخاب مشتریان تأثیرمنفی می‌گذارد (Yousefi et al,2018:626).. برای حل این مسأله لازم است، راهکارهای اساسی اندیشیده شود. در مناطقی که هزینه‌های انرژی و حامل‌های انرژی زیاد است ودسترسی 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 (Changa et al,2011:563).

استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی با حمایت دولت در مناطق بسیاری از جهان صورت گرفته است و میزان استفاده موثر از انرژی گرمایی در بخش موردنظر به میزان قوانین حمایتی دولت‌ها بستگی دارد(Aigbavboa,2015:495). به عنوان نمونه در

یک بررسی صورت گرفته روی ساختمان های بخش‌های کم‌درآمد در آفریقای جنوبی، مشخص شد که استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی موجب بهبود کیفیت زندگی در این بخش ها گردیده است(Cassard et al,2011:54).

هدف از این مطالعه بررسی میزان کاهش آلاینده‌ها، صرفه جویی 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 نمودن استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و آلودگی هوا حاصل گردد.

با داشتن دانش کافی درباره تابش خورشید، براحتی و به صورت بسیار مؤثرتر می‌توان انرژی خورشید را برای گرم‌کردن آب مصرفی منازل و حتی کاربردهای صنعتی به کار برده و کاهشی چشمگیر در میزان هزینه آبگرم مصرفی داد. برای تحقق این اهداف، مطالعه دقیق اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی 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:

Cassard و همکاران با مطالعه بر روی جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی در ایالات متحده به این نتیجه دست یافتند که جایگزینی آبگرمکن‌های برقی با آبگرمکن‌های خورشیدی دارای توجیه اقتصادی و بازگشت سرمایه مناسبی می‌باشد در حالی که به دلیل قیمت پایین گاز طبیعی جایگزینی آبگرمکن‌های گازی با آبگرمکن‌های خورشیدی دارای بازگشت سرمایه طولانی‌تری است. در مطالعات آنها بازگشت سرمایه در منطقه شمال شرقی ایالات متحده که گرمایش توسط الکتریسیته با قیمت بالا 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 (Cassard et al,2011:54).

Hudon و همکاران با مطالعه دلایل عدم گستردگی استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی در ایالات متحده، هزینه بالای نصب آبگرمکن‌های خورشیدی را بزرگترین معضل آن دانستند و پیشرفت تکنولوژی برای کاهش هزینه‌های اولیه را راه حل این مشکل اعلام کردند (Hudon et al, 2012).

نتایج محاسبات اقتصادی نشان می دهد با استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی در تایلند در مقایسه با آبگرمکن برقی اگرچه هزینه اولیه ۳/۵ برابر می‌شود ولی بازگشت سرمایه در صورت استفاده از این سیستم و بدون در نظر داستن اثرات زیست محیطی برابر۵/۴سال است(Sae-Jung et al,2015:442).

حیدرزاده و همکاران با توجه به اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی در برنامه ریزی برای زیرساخت‌های شهری به بررسی و مقایسه هزینه‌های جایگزینی آبگرمکن های خورشیدی در مناطق شهری، با مطالعه موردی تهران و برلین پرداختند. آن‌ها در مقاله خود به اهمیت مشکلات اقتصادی پیرامون استفاده از این تکنولوژی پرداخته‌اند و استفاده از یارانه‌های دولتی و افزایش توان تولید داخلی این سیستمها جهت کاهش قیمت را به عنوان راه‌حل پیشنهاد نموده‌اند (Heidarzadeh et al,2013).

در سال ۱۳۹۰ با استفاده از نرم افزار RETScreen امکان استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی به جای آبگرمکن‌های موجود را با مطالعه موردی شهر اهواز بررسی گردید. نتایج نشان داد که تقریبا کل بار حرارتی آب گرم مصرفی جامعه هدف را می‌توان با آبگرمکن‌های خورشیدی تامین نمود. در این سناریوی جایگزینی، سالیانه ۶۶ میلیون متر مکعب گاز طبیعی صرفه‌جویی شده است و نزدیک به ۷ میلیون دلار به درآمد ملی کشور افزوده می‌گردد و علاوه بر موارد فوق از انتشار تقریبا ۱میلیون تن CO_2 جلوگیری به عمل می آید(ساکی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰).

۲- مواد و روش‌ها

آبگرمکن خورشیدی دستگاهی است که انرژی خورشید (نور مستقیم و غیر مستقیم) را به انرژی گرمایی تبدیل 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 عبارتند از: آبگرمکن‌های خورشیدی با کلکتور تخت و آبگرمکن‌های خورشیدی با کلکتورهای لوله‌ای و تحت خلا.

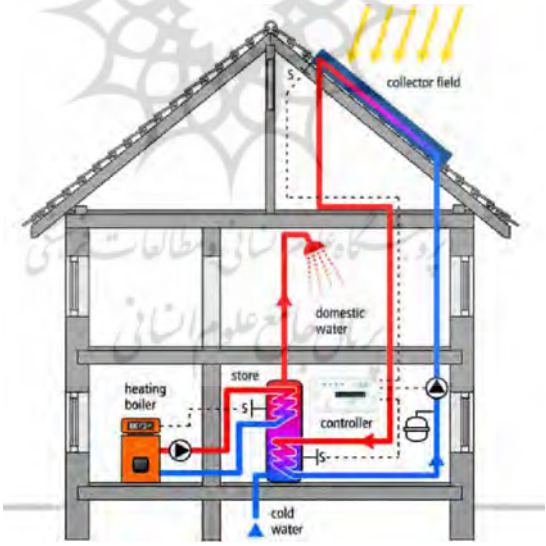
اجزای تشکیل دهنده یک آبگرمکن خورشیدی عبارتند از:

- **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 استفاده‌ترین نوع کلکتورهای خورشیدی می‌باشند. کلکتورهای صفحه تخت در آبگرمکن‌های خانگی در شرایطی که آب و هوای منطقه مورد نظر سرد نباشد، استفاده می‌شود و بازدهی بالاتری دارند.

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

شکل ۱ شماتیکی از سیستم استفاده از گرمایش خورشیدی را نشان می دهد.



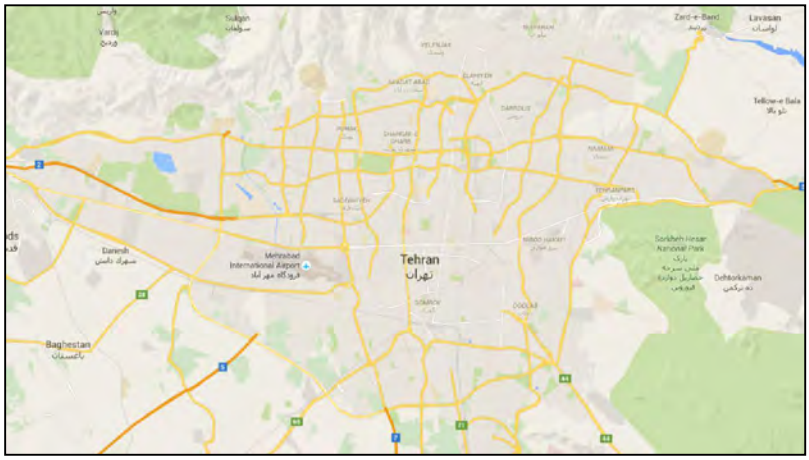
شکل ۱: شماتیکی از سیستم آبگرمکن خورشیدی (مأخذ: نگارندگان)

برای انجام مطالعه در ابتدای امر نیاز به محاسبه میزان انرژی برای گرم نمودن آب مصرفی وجود دارد، سپس با در نظر گرفتن انرژی خورشیدی دریافت شده محاسبات صورت می‌گیرد.سپس جهت به دست آوردن میزان صرفه‌جویی گاز مصرفی شهر تهران در صورت استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی، لازم است تا حجم گاز مصرفی جهت 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 مورد بررسی و محاسبه قرار می‌گیرد. در نهایت با در نظرگرفتن ارزش زمانی سرمایه و مقدار تورم اقتصادی، دوره بازگشت سرمایه محاسبه می‌شود.

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

تهران، بزرگترین کلان شهر ایران و نوزدهمین شهر پر جمعیت جهان، با معضل آلودگی‌های هوای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تامین انرژی روبه‌رو است(Naddafi et al,2012:28). بسیاری از صاحبنظران راه‌حل پیشرو برای بهبود وضعیت زیست محیطی 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، توسعه حمل‌ونقل عمومی و تامین انرژی از راه‌هایی با آلاینده کمتر مانند استفاده از خودروهایی که با سوخت CNG کار می‌کنند، صورت گرفته‌است. 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(شفیعی ثابت، ۱۳۹۳). این امر و دلایل متعدد دیگر نیاز به انرژی در پایتخت کشور در حال توسعه ایران را افزایش می‌دهد(شاه حسینی و توکلی، ۱۳۹۳).

شهر تهران با داشتن ۳۱۷ روز آفتابی و نیمه ابری در سالو میانگین شدت تابش ۴/۵۸ کیلووات ساعت بر متر مربع گزینه مناسبی برای استفاده از انرژی خورشیدی محسوب می‌شود (Heidarzadeh et al,2013). شکل ۲ نقشه ساده ای از محدوده مطالعاتی را نشان می دهد.



شکل ۲: محدوده مورد مطالعه (شهر تهران)

۲-۲- بررسی اقتصادی جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی

با درنظر داشتن تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد تهران از میان آبگرمکن‌های خورشیدی موجود، آبگرمکن با کلکتورهای صفحه تخت و تحت فشار از نظر کارایی برای ساختمان‌های مسکونی انتخاب گردید(حسامی و ابراهیمی، ۲۲:۱۳۹۲). از جمله ویژگی‌های این نوع آبگرمکن‌ها (با توجه به استفاده زیاد از آب گرم در منازل مسکونی) قابلیت اتصال مستقیم به آب شهری است که به دلیل استفاده از مخازن تحت فشار امکان‌پذیر می‌باشد؛ اگرچه به علت استفاده از ورق‌هایی با ضخامت بیشتر هزینه تهیه 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 دارا هستند(شرکت سولارکار،۳:۱۳۹۳). در بخش محاسبات اقتصادی ابتدا به بررسی بازگشت سرمایه درصورت پرداخت هزینه اولیه و استفاده از آبگرمکن خورشیدی توسط مردم ساکن پرداخته می‌شود و در مرحله دوم شرایطی که دولت (وزارت نیرو) با همکاری شرکت گاز هزینه اولیه نصب آبگرمکن خورشیدی برای تمامی استفاده‌کنندگان را پرداخت کند مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲-۱- جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی توسط شهروندان

به عنوان نمونه یک ساختمان ۴ طبقه با ۸ واحد و ۳۲ نفر ساکن مورد بررسی قرار گرفت.

- **محاسبه حجم مخزن**

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

پس حجم مورد نیاز برابر می‌شود با :

$$۲۵/۱ \times ۳/۰ \times ۷/۵۶ \times ۳۲ = ۶۸۰ \text{ لیتر} \quad (۱)$$

بنابراین آبگرمکن‌های خورشیدی مورد استفاده با دو منبع ۳۵۰ لیتری مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

- **محاسبه سطح مورد نیاز جهت جذب انرژی خورشیدی**

همانطور که پیشتر بیان گردید شدت تابش در تهران برابر ۴/۵۸ کیلووات ساعت به ازای هر متر مربع است. بازده سیستم آبگرمکن خورشیدی با در نظر گرفتن اتلافات انتقال و تبدیل حدود ۷۵درصد می‌باشد. پس انرژی مفید بر حسب کیلووات ساعت برای هر متر مربع برابر است با

$$۵۸/۴ \times ۷۵/۰ = ۴۴/۳ \quad (۲)$$

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 روزانه موردنیاز ۳۲ نفر، یعنی ۱۹۲۰ کیلوگرم آب برابر است با :

$$Q = m . c . \Delta\theta \quad (۳)$$

$$Q = \left(۱۵ - ۶۰\right) \times \frac{۲}{۴} \times ۱۹۲۰ = ۳۶۲۸۸۰ \text{ کیلوژول}$$

در رابطه بالاQ گرمای مورد نیاز، m جرم آب، c ظرفیت گرمایی ویژه آب و θ دمای آب می‌باشد. در این رابطه هر لیتر آب برابر ۱ کیلوگرم فرض شده است و همچنین ظرفیت گرمایی ویژه آب $۴/۲KJ/kg.^oC$ و دمای آب سرد ورودی و آب گرم مناسب ذخیره در مخزن به ترتیب۱۵^oCو ۶۰^oC فرض شده است. هر ۳۶۰۰ کیلوژول برابر است با یک کیلووات ساعت پس توان لازم جهت تامین گرمای مورد نیاز برابر خواهد بود با:

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

حال می‌توان سطح مورد نیاز جهت کلکتورهای آبگرمکن خورشیدی را محاسبه نمود.

(۵) ۱۰۰/ساعت۸ کیلووات ÷ ۳۶۰۰ ساعت کیلووات/مترمربع = ۲۹/۳ مترمربع

- **محاسبه بازگشت سرمایه جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی توسط شهروندان**

هزینه کل این سیستم آبگرمکن خورشیدی با استعلام از شرکت سولارکار و استفاده از قطعات اصلی برابر ۱۴۰ میلیون ریـال برآورد شد. برای محاسبه میزان هزینه متوسط برای هر مترمکعب گاز نیاز است تا مصرف یک واحد از ساختمان مسکونی فرض شده به‌دست آید. طبق ترازنامه انرژی در سال ۱۳۹۰ سرانه مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی ۵۸۶/۲ متر مکعب در هر سال بوده‌است(معاونت امور برق و انرژی،۱۳۹۱)، که میزان مصرف ساختمان مسکونی مورد بررسی در هر ماه برابر ۱۵۶۳/۲ مترمکعب خواهد بود و با محاسبه تعرفه پلکانی قیمت گاز در سال ۹۳، میانگین قیمت هر متر مکعب گاز مصرفی برای ساختمان مفروض برابر ۱۸۶۰ریـال برآورد بوده است. ارزش حرارتی هر متر مکعب گاز طبیعی ایران برابر ۸۶۰۰ کیلوکالری می باشدو از جایی که هر کیلوکالری برابر ۴/۲ کیلوژول می‌باشد؛ پس در طول یک سال

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

گاز طبیعی در ساختمان جهت گرمایش آب مصرفی، استفاده می‌شود.که موجب صرفه جویی

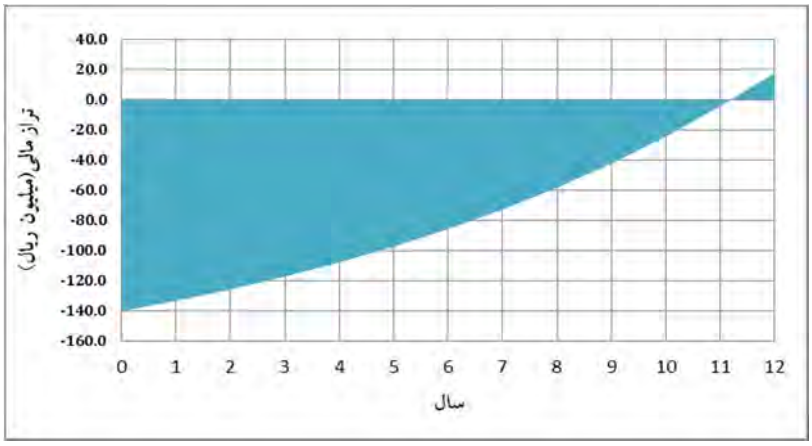
۸۲/۶ ریال میلیون = ۱۸۶۰ ریال / مترمکعب × ۳۶۶۷ (۷)

در هر سال می‌گردد. طبق گزارش بانک مرکزی نرخ تورم در سال ۹۲ برابر ۳۴/۷ درصد اعلام شد و ارزش نقدینگی در محاسبات ۲۱ درصد (برابر حداقل سود سپرده بانکی در سال ۹۳ برای سپرده‌های بلند مدت) فرض گردید. با توجه به جدول۲ و شکل ۳ مشاهده می‌شود در صورتی که ابتدای سال اول (۹۳) آبگرمکن‌های خورشیدی به طور کامل با هزینه شخصی شهروندان نصب گردند و مورد استفاده قرار گیرند دوره بازگشت سرمایه ۱۱/۲سال می‌باشدکه به این ترتیب از نظر اقتصادی منطقی نیست که شهروندان با این نرخ بازگشت سرمایه اقدام به نصب سیستم آبگرمکن خورشیدی نمایند.

جدول (۱) - تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با هزینه شهروندان(میلیون ریال)

میلیون ریال	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴
هزینه	-۱۴۰		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
مبلغ صرفه جویی گاز با در نظر گرفتن ارزش پول و تورم	۶/۸	۷/۶	۸/۵	۹/۴	۱۰/۵	۱۱/۷	۱۳/۰	۱۴/۵	۱۶/۱	۱۷/۹	۱۹/۹	۲۲/۲
تفاضل هزینه و صرفه جویی	-۱۳۳/۳	-۱۲۵/۶	-۱۱۷/۱	-۱۰۷/۷	-۹۷/۲	-۵۸/۶	-۷۲/۶	-۵۸/۲	-۴۲/۱	-۲۴/۲	-۴/۲	۱۸/۰

(مأخذ: نگارندگان)



شکل (۳): روند تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با هزینه شهروندان
(مأخذ: نگارندگان)

۲-۲-۲- 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 (سال۱۳۹۰) جمعیت ساکنین شهر تهران برابر ۸۲۹۳۱۴۰ نفر بوده است؛ با فرض اینکه همگی ساکنین تهران در ساختمان های ۸ واحدی که در هر واحد ۴ نفر سکنی گزیده اند، تعداد

۸۲۹۳۱۴۰ ÷ ۳۲ = ۲۵۹۱۶۱ (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 آبگرمکن‌های خورشیدی استفاده شود در مجموع هزینه اولیه ای برابر

۲۵۹۱۶۱ × ۱۴۰ = ۳۶۲۸۲۵۴۰ ریال میلیون (۹)

در پی خواهد داشت. در این حالت سالانه به میزان

۲/۱۵۶۳ × ۲۵۹۱۶۱ = ۴۰۵۱۲۰۴۷۵ مترمکعب (۱۰)

گاز صرفه‌جویی می‌شود. در صورتی که شرکت گاز ایران حجم گاز صرفه‌جویی شده را به کشورهایی که از طریق خطوط لوله سراسری به ایران متصل هستند (مانند

ترکیه) صادر کند، می‌تواند موجب ورود ارز به کشور شود. طبق گفته وزیر نفت دولت دهم، قیمت هر متر مکعب صادرات گاز طبیعی به ترکیه برابر ۵۰ سنت بوده است. با درنظر گرفتن نرخ دلار برابر ۲۷۴۲۰ریال طبق سایت بانک مرکزی ایران در ابتدای بهمن ۱۳۹۳، سود سالانه ناشی از صرفه جویی و صادرات برابر خواهد بود با :

$$۵۵۵۴۲۰۲ = ۲۷۴۲۰ \times ۵/۰ \times ۴۰۵۱۲۰۴۷۵ \quad (۱۱)$$

میلیون ریال

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

جدول (۲) - تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با هزینه وزارت نیرو و شرکت ملی گاز(میلیارد ریال)

سال	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸
هزینه	۳۶۲۸۲/۵ -	-	-	-	-	-
صرفه جویی با در نظر گرفتن ارزش پول و تورم	۵۵۵۴/۲	۶۱۸۳/۱	۶۸۸۳/۱	۷۶۶۲/۵	۸۵۳۰/۰	/۸ ۹۴۹۵
تفاضل هزینه و صرفه جویی	۳۰۷۲۸/۳ -	۲۴۵۴۵/۳ -	۱۷۶۶۲/۱ -	۹۹۹۹/۷ -	۱۴۶۹/۶ -	/۲ ۸۰۲۶

(مأخذ: نگارندگان)

شکل (۴): تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با هزینه وزارت نیرو (مأخذ: نگارندگان)

با توجه به محاسبات صورت گرفته مشاهده می‌شود بدون در نظر گرفتن هزینه‌های زیست‌محیطی و در شرایطی که تمامی هزینه توسط دولت پرداخت شود، در ۵/۱ سال و با صادرات گاز صرفه‌جویی شده، سرمایه بازگشت پیدا می‌کند.

۳- محاسبه هزینه‌های زیست‌محیطی

با توجه به روند افزایش آلاینده‌های هوا و نگرانی جهانی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده از انرژی‌های نو برای کاهش تاثیرات زیست‌محیطی مود توجه قرار گرفته است ظ(Vanessa et al, 2015:138). استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی به جز مزایای اقتصادی برای شهروندان، دولت و کشور دارای مزایای زیست‌محیطی به دلیل کاهش هزینه‌های خارجی است. قوانین فعلی اعطای یارانه اکثر کشورهای پیشرفته در خرید و نصب آبگرمکن‌های خورشیدی با هدف کاهش آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای صورت می‌گیرد(Gill et al, 2015: 83).

هزینه‌های خارجی شامل هزینه‌های آلاینده‌هایی است که در مراحل تولید، انتقال، تبدیل و مصرف به محیط‌زیست وارد می‌شود ولی در قیمت کالا یا خدمات تاثیری ندارد. با کاهش مصرف ۴۰۵۱۲۰۴۷۵ متر مکعب ناشی از استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی به مقدار زیادی از انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای جلوگیری به عمل می‌آید. که بررسی برروی گازهای CO_2، NO_x و SO_2 در این پژوهش مدنظر قرار گرفته است.

جدول (۳) - شاخص انتشار آلاینده‌های کشور در سال ۱۳۹۱
(گرم به ازای هر متر مکعب گاز طبیعی)

CO_2	NO_x	SO_2
۶۸۰۵	۲۶/۸	۲۴/۷

(مأخذ: ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱)

با در نظر گرفتن مصرف ۴۰۵۱۲۰۴۷۵ متر مکعب گاز طبیعی در بخش گرمایش آب مصرفی تهران، کاهش تولید آلاینده‌ها و گاز های گلخانه‌ای مطابق جدول (۴) به‌دست خواهد آمد.

جدول (۴) - میزان آلاینده‌های تولیدی برای گرمایش آب منازل تهران در سال ۱۳۹۱ (تن)

CO_2	NO_x	SO_2
۲۷۵۶۸۴۴/۸۳	۱۰۸۵۷/۲۳	۱۰۰۰۶/۴۸

(مأخذ: نگارندگان)

۳-۱- محاسبه بازگشت سرمایه با درنظر گرفتن هزینه های زیست‌محیطی

در ادامه برای محاسبه هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید آلاینده ها و گازهای گلخانه‌ای از ترازنامه انرژی استفاده می‌کنیم. مقادیر ذکر شده در ترازنامه انرژی به واحد دلار بر پوند گزارش شده‌اند که با درنظر گرفتن نرخ دلار برابر۲۷۴۲۰ریال و اینکه هر پوند برابر ۰/۴۵۳ کیلوگرم است، هزینه مابه‌ازای هر میلیون تن آلاینده محاسبه می‌گردد.این هزینه ها در جدول (۵) نمایش داده شده است.

جدول (۵) - هزینه‌های زیست‌محیطی آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای(میلیون ریال بر تن)

CO_2	NO_x	SO_2
۰/۷۳	۸۵۳/۴۰	۱۹/۵۶

(مأخذ: ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱)

در نهایت هزینه‌ی تولیدی ناشی از آلاینده‌هایی که برای تامین آب گرم مصرفی تهران می‌بایست در هوای کشور پخش شوند در جدول (۶) نمایش داده شده‌اند:

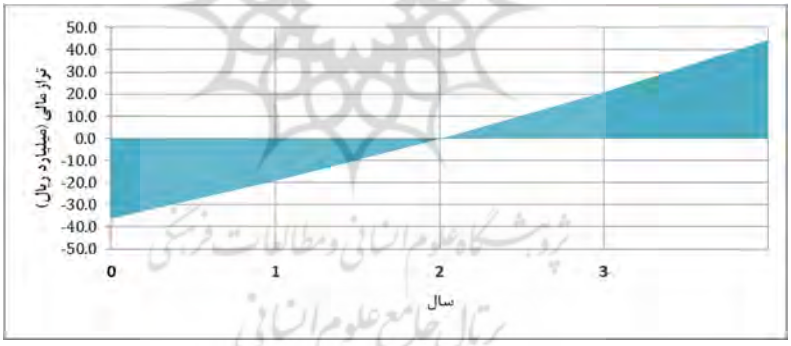
جدول (۶) - هزینه‌های زیست‌محیطی آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای شهر تهران در سال ۱۳۹۱(میلیون ریال)

CO_2	NO_x	SO_2
۲۰۱۲۴۹۶	۹۲۸۰۹۲۱	۱۹۵۷۲۶

(مأخذ: نگارندگان)

مجموع میزان خسارت زیست‌محیطی در هر سال برابر با۱۱۴۸۹۱۴۱ میلیون ریال یا ۴۱۹۰۰۵۹۴۵ دلارخواهد بود. با در نظر گرفتن هزینه‌های زیست‌محیطی در کنار موارد اقتصادی پیشتر گفته شده برای محاسبات کلان (پرداخت تمام هزینه ها توسط دولت)، نمودار دوره بازگشت سرمایه به صورت شکل(۵) خواهد بود.

با توجه به هزینه‌های خارجی آلودگی‌های ناشی از مصرف گاز طبیعی برای استفاده جهت گرم کردن آب در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران، دوره بازگشت سرمایه با در نظر گرفتن هزینه‌های زیست محیطی تقریبا ۲ سال می باشد.



شکل (۵): روند تراز مالی استفاده از آبگرمکن خورشیدی با هزینه وزارت نیرو و در نظر گرفتن هزینه های زیست‌محیطی (ماخذ: نگارندگان)

۴- بحث و نتیجه گیری

هم زمان 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 و تولید گازهای گلخانه‌ای است. درنتیجه، در طول چند دهه اخیر

استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به خصوص انرژی خورشیدی مورد توجه قرار گرفته است که، نه تنها پایان‌ناپذیراست، بلکه به طور فراوان در طبیعت موجود می‌باشد.

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

با مقایسه پژوهش‌هایی که جداگانه توسط Cassard و Hudon در ایالات متحده صورت گرفته با نتایج این مقاله 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 مقاله Sae-Jung به دلیل اینکه آبگرمکن خورشیدی جایگزین آبگرمکن برقی در تایلند گردیده، بازگشت سرمایه کوتاهتر محاسبه شده که علت این مقوله ماهیت گران انرژی الکتریکی نسبت به گاز طبیعی است. دلیل برتری مقاله حاضر نسبت به مقاله ساکی پور و همکاران که در مقدمه توضیح داده شده است، اضافه نمودن آلاینده‌های NO_X و SO_2 در محاسبات مربوط به میزان تولید آلاینده و هزینه‌های خارجی آنها است. از جمله طرح‌های پیشنهادی، تخصیص وام‌های بلاعوض یا کم‌بهره برای کاهش دوران بازگشت سرمایه و تشویق شهروندان به خریداری و استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی است.

لازم به ذکر است که محاسبات زیست‌محیطی صورت گرفته تنها برای سه آلاینده هوا بررسی شده‌اند و قطعا استفاده از آبگرمکن خورشیدی در کاهش تولید سایر آلاینده ها نیز تاثیرگذار خواهد بود. همچنین طبق گفته رئیس انجمن مدیریت سبز ایران میزان تولید CO_2 سالانه کشور برابر ۵۰۰ میلیون تن است که با استفاده از

آبگرمکن‌های خورشیدی در تهران، بیش از ۰/۵۵ درصد از کربن دی اکسید تولیدی در کشور کاسته خواهد شد.

در نهایت با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و مشکلات پیش روی دولت برای تحقق استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی در مقیاس شهر تهران پیشنهاد می‌گردد که جایگزینی آبگرمکن‌های خورشیدی به صورت چندمرحله ای و با مطالعه بیشتر در مناطق منتخب شهرداری صورت گیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۵- منابع و مآخذ:

۱. حسامی، ز.، ابراهیمی، ر. ۱۳۹۲. دستورالعمل نظارت بر امکانسنجی، انتخاب، نصب و نگهداری سیستم آبگرمکن خورشیدی در اماکن عمومی. ستاد محیط زیست و توسعه پایدار شهرداری تهران : ۲۲-۲۶.

۲. ساکی‌پور، م.، کعبی نژادیان، ع.، سخاوتجو، م.، جعفری، م. ۱۳۹۰. امکان استفاده از انرژی خورشیدی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای. فصلنامه علمی- پژوهشی علوم بهداشتی، ۳(۴):۱-۱۰.

۳. شرکت سولارکار. ۱۳۹۳. مجموعه فعالیتهای شرکت، کاتالوگ شرکت سولارکار، ۱-۸.

۴. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱.

۵. مکاری زاده، و.، منصوری، ش.، جوکار، ع.، نیکنامی، ع.، جبار، م. ۱۳۹۲. طراحی و ساخت مخزن ذخیره انرژی آبگرمکن پمپ حرارتی- نخستین کنفرانس ملی انجمن انرژی ایران، مهر ۱۳۹۲- تهران- ایران.

۶. منصوری یزدی، ف. ۱۳۸۴. روش نوین محاسبات و طراحی تاسیسات. ۴۲-۴۳.

۷. شاه‌حسینی، پ.، توکلی، ه. ۱۳۹۳. تحلیل شاخص‌های کیفیت زندگی شهری مورد: محله وردآورد منطقه ۲۱ شهر تهران. فصلنامه علمی- پژوهشی آمایش محیط، ۷(۲۴):۱۲۷-۱۴۴.

۸. شفیعی ثابت، ن. ۱۳۹۳. خزش کلان شهر تهران و ناپایداری کشاورزی روستاهای پیرامونی- فصلنامه علمی- پژوهشی آمایش محیط، ۷(۲۴):۱۴۵-۱۶۲.

9. 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.
10. Cassard, H., Denholm, P., 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.
11. Changa, K. Linb, W. Leea, T. and Chung, K.2011. Subsidy programs on diffusion of solar water heaters: Taiwan's

12. Chang, K., Lin, W., Lee, T., 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., 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., 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., Ebrahimi, R.2013.Principles to Promote Solar Energy at Urban Management (Case study: Berlin & Tehran). Journal of Energy Technologies and Policy,3(9):1-15
16. Hudon, K., Merrigan, T., Burch, J., 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., 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, P., Limmeechokchai, B.2015. An Experimental Study of Thermo-Syphon Solar Water Heater in Thailand. Energy Procedia, 79:442 – 447
19. Sarparast, M., Hesam, M., Asgari, H.R.2013.Determining Appropriate Provinces for Dew Harvesting in Iran. The International Journal of Environmental Resource Research, 2(1):21-30.
20. Kalogirou, S.2003. The energy subsidisation policies of Cyprus and their effect on renewable energy systems economics. Renewable Energy, 28(11):1711–1728

21. Bessa, V., Prado, R.2015. Reduction of carbon dioxide emissions by solar water heating systems and passive technologies in social housing, Energy Policy, 83:138–150
22. Yousefi, H., Roumi, S., Tabasi, S., Hamlehdar, M.2018. Economic and air pollution effects of city council legislations on renewable energy utilisation in Tehran. International Journal of Ambient Energy,39(6):626-631

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی