

تامین سیستم گرمایش منطقه‌ای با استفاده از انرژی خورشیدی

امیرحسین مهدی زاده فرسنگی^۱، محسن صفاری پور^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

خلاصه

گرمایش منطقه‌ای سامانه‌ای است برای توزیع گرمای تولیدشده در یک مکان از طریق شبکه‌ای از سیستم لوله‌کشی، جهت تأمین نیاز گرمایش مسکونی و تجاری می‌باشد. در برخی موارد یک دیگ بخار آب بزرگ گرمای لازم را تولید نموده و در برخی موارد تلفات حرارتی موجود در صنایع، نیروگاه‌ها و یا زباله سوزها مورد استفاده قرار می‌گیرد. گرمایش منطقه‌ای سیستمی است که آب گرم و یا بخار را از کارخانه مرکزی تحویل می‌گیرد و از طریق یک شبکه لوله‌کشی گسترده به ساختمان‌ها تحویل می‌دهد. هدف از پژوهش حاضر تأمین سیستم گرمایش منطقه‌ای با استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد. روش تحقیق توصیفی تحلیلی و با استفاده از منابع کتابخانه‌ای می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد مشکل محدودیت منابع انرژی، کم‌وبیش برای کلیه کشورها، اعم از صنعتی، توسعه‌یافته و یا در حال توسعه، مشترک می‌باشد. در کشورهای مختلف به‌طور میانگین بیش از ۹۰ درصد از مصارف انرژی در ارتباط با صنعت، حمل‌ونقل و ساختمان‌ها است. از بین این سه بخش ساختمان‌های مسکونی و تجاری بیش از ۴۶ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. قابل توجه است که عمده‌ترین مصرف انرژی در ساختمان‌ها در تأمین گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع ساختمان‌ها در فصول سرد و گرم سال می‌باشد. پس هر اقدامی که در جهت ارتقاء کیفیت ساختمان‌ها از دیدگاه تبادل حرارتی صورت پذیرد، به‌صرفه‌جویی در مصرف کل انرژی ختم می‌شود. گرمایش منطقه‌ای خورشیدی همراه با سیستم ذخیره‌سازی می‌تواند فرصت یک سرمایه‌گذاری خوب در مقایسه با سیستم‌های مبتنی بر گاز طبیعی برای تأمین گرمایش فضای مسکونی باشد.

کلمات کلیدی: سیستم گرمایش منطقه‌ای، انرژی خورشیدی، آبگرمکن خورشیدی

۱. مقدمه

از مهم‌ترین عواملی که در آلودگی محیط‌زیست نقش مؤثری دارد استفاده از سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز طبیعی، بنزین و به‌طور کلی استفاده از انرژی‌های تجدید ناپذیر می‌باشد. از معایب این نوع سوخت‌ها این است که همیشگی نیستند و سرانجام روزی به پایان می‌رسند که این خود به عوامل مختلفی بستگی دارد مانند میزان و نوع مصرف، جمعیت افراد، تولید ناخالصی کشور و ... مصرف انرژی بشریت تأثیرات مختلفی بر محیط‌زیست می‌گذارد این بدان معنی است که با تولید و مصرف انرژی و یا انتقال انرژی می‌تواند بر محیط پیرامون انسان و سایر جانداران اثر بگذارد که این اثرات خود را در آلودگی هوا، افزایش ضایعات، افزایش گازهای گلخانه‌ای خود را نشان داده است [۱]. افزایش گازهای گلخانه‌ای از مله کربن دی‌اکسید

باعث گرم شدن دمای کره زمین و ذوب شدن یخ‌های قطبی می‌شود. با افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی کربن دی‌اکسید موجود در جو کره زمین سالیانه به‌طور متوسط $0/2$ درصد بیشتر می‌شود [۲].

یکی از نیازهای اصلی انسان تأمین گرمایش و سرمایش محیط زندگی خویش است که عمدتاً این نیاز توسط سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود که این خود یکی از دلایل اصلی افزایش گازهای گلخانه‌ای بوده است بنابراین علاوه بر مسئله تأمین انرژی، یکی از دلایلی که استفاده از سوخت‌های پاک را توجیه‌پذیر می‌کند کاهش آلودگی‌ها و گازهای گلخانه‌ای می‌باشد [۳]. از ابتدای سال ۱۹۸۰ میلادی موضوع جایگزینی سوخت‌های فسیلی همچون نفت، گاز، زغال‌سنگ و... با انرژی‌های پاک مطرح شده است. مسائلی همچون آلودگی محیط‌زیست و محدودیت منابع انرژی‌های تجدیدپذیر باعث شده است که موضوع استفاده از انرژی‌های پاک روز به‌روز در حال گسترش باشد؛ بنابراین در آینده‌ای نزدیک انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به سوخت‌های فسیلی سهم و مشتری بیشتری در تأمین نیازهای گرمایشی و سرمایشی بشر دارد [۴]. بیش از ۳۰ درصد از انرژی مصرف‌شده در جهان صرف گرمایش می‌شود سهم قابل‌توجهی از مصرف انرژی در خانه صرف گرمایش می‌شود [۵]. از این مقدار حدود ۶۱ درصد آن صرف گرمایش ساختمان‌ها و منازل مسکونی می‌شود [۶]؛ بنابراین روشن و واضح است که بخش قابل‌توجهی از سوخت‌های فسیلی صرف تأمین بار گرمایشی می‌شود که می‌توان با جایگزین کردن آن با انرژی‌های پاک در مصرف سوخت صرفه‌جویی کرد.

استفاده از سوخت‌های فسیلی دو بحران اصلی برای بشر دارد: اول اینکه استفاده از این نوع سوخت‌ها آلودگی محیط‌زیست را به دنبال دارد و مهم‌تر از آن اینکه این منابع پایان‌پذیر هستند و سرانجام به اتمام می‌رسند اما نکته قابل‌توجهی اجاست که همین دو موضوع اصلی باعث شده است که تمایلات برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر روز به‌روز بیشتر شود و سرمایه‌داران میل و رغبت بیشتری در جهت سرمایه‌گذاری در این حوزه داشته باشند [۷].

علیرغم تمام مزیت‌های خوبی که انرژی‌های تجدیدپذیر دارند اما باید خاطرنشان کرد که این انرژی‌ها از اطمینان پایینی برخوردار می‌باشند این بدان معنی است که در کنار سوخت‌های فسیلی و با ترکیب آن‌ها می‌توانند به‌گونه‌ای عمل کنند که در هر لحظه و در زمان موردنیاز بار گرمایشی و یا سرمایشی را تأمین کنند و با ترکیب یکدیگر راندمان عملکردی آن‌ها نیز بالاتر می‌رود به‌عنوان مثال استفاده از انرژی خورشیدی در روزهای ابری توسط کلکتورهای خورشیدی ممکن نیست اما با قرار دادن یک بویلر یا گرم‌کن گازی این امکان فراهم می‌شود که در تمام طول مدت شبانه‌روز انرژی گرمایشی با امنیت بالایی تأمین شود. به‌طور معمول محدودیت منابع انرژی در کشورها از جمله کشورهای توسعه‌یافته وجود دارد که بیشتر این انرژی در بخش صنعت، حمل‌ونقل و ساختمان‌ها مصرف می‌شود. حدود ۴۰ درصد انرژی که در ساختمان مصرف شود صرف گرمایش و سرمایش آن می‌شود بنابراین هر چه کیفیت ساختمان از نظر انتقال حرارت بالاتر باشد مصرف انرژی نیز کمتر خواهد شد [۸]. با توجه به مطالب ذکرشده هدف از پژوهش حاضر تأمین سیستم گرمایش منطقه‌ای با استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد.

۲. مبانی نظری پژوهش

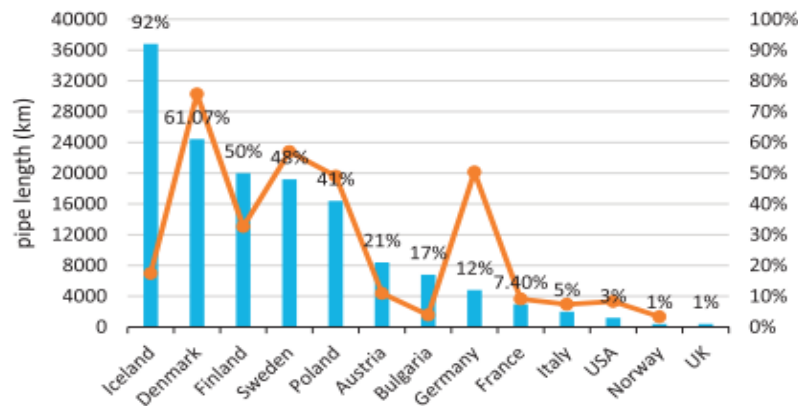
۲-۱. سیستم گرمایش منطقه‌ای

گرمایش منطقه‌ای (DH)^۱ سامانه‌ای است برای توزیع گرمای تولیدشده در یک مکان از طریق شبکه‌ای از سیستم لوله‌کشی،

^۱ District Heating

جهت تأمین نیاز گرمایش مسکونی و تجاری می‌باشد. در برخی موارد یک دیگ بخار آب بزرگ گرمای لازم را تولید نموده و در برخی موارد تلفات حرارتی موجود در صنایع، نیروگاه‌ها و یا زباله سوزها مورد استفاده قرار می‌گیرد. گرچه نوع منبع تولید گرما تأثیری در مفهوم ندارد اما در توجیه اقتصادی این فن‌آوری نقشی اساسی ایفا می‌کند. این فن‌آوری می‌تواند منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های زیست-محیطی شده و امنیت انرژی را تضمین نماید. اهمیت بیشتر سیستم‌های DH به امکان‌پذیری و قابلیت بالای آن‌ها در استفاده از انواع انرژی‌های تجدید پذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی است. در برخی از کشورها عواملی مانند میزان تعرفه برق، گاز و حرارت، ورود قانون انرژی و حرارت، روند گشایش بازارهای برق و گاز، مالیات بر آلاینده‌ها روی توسعه سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای مؤثر بوده اند. همچنین اتصال سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP)^۱ و استفاده از بخار مازاد تولیدی در این سیستم‌ها به‌منظور تولید گرمای منطقه‌ای موجب افزایش بازدهی سیستم‌های DHC^۲ شود [۹]. در سطح جهان ساختمان‌ها ۴۰ درصد از مصرف انرژی را شکل می‌دهند همچنین ۳۰ درصد از کل انتشار کربن دی‌اکسید را شامل می‌شوند. در اروپا ساختمان‌ها ۴۰ درصد از کل انرژی را مصرف می‌کنند و ۳۶ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌شوند. انرژی در ساختمان‌ها صرف گرمایش و سرمایش، روشنایی، لوازم خانگی و آب گرم مصرفی می‌شود که بخش اعظم این انرژی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شود که در سال ۲۰۱۱ معادل ۸۱/۲۳ درصد از مصرف انرژی جهانی بوده است؛ بنابراین ساختمان نقش مهمی در کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی دارد اول از طریق کاهش تقاضا یعنی صرفه‌جویی در انرژی و دوم توسط به حداکثر رساندن استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر که هر دو با کاهش استفاده از گرمایش گازی انجام می‌شود. این امر نیاز به جایگزین‌های انرژی‌های جدید افزایش داده است. سیستم گرمایش منطقه‌ای به دلیل پتانسیل بالای آن در تولید انرژی از انرژی‌های تجدید پذیر و یا صنعت و یا از طریق انرژی مازاد شهری توجه توسعه‌دهندگان شهری را به خود جلب کرده است. گرمایش منطقه‌ای سیستمی است که آب گرم و یا بخار را از کارخانه مرکزی تحویل می‌گیرد و از طریق یک شبکه لوله‌کشی گسترده به ساختمان‌ها تحویل می‌دهد. این شبکه DH دارای سه نسل است: در دهه ۱۸۸۰ اولین نسل از این شبکه ظهور کرد و تجاری‌سازی شد و تا ۱۹۳۰ ادامه پیدا کرد در این نسل بخار با دمای بالا استفاده می‌شد که این امر موجب بروز احتمالی انفجار و همچنین تلفات گرما و انرژی می‌شد که نیاز به بهبود این نسل را بالا می‌برد. در نسل دوم آب داغ تحت فشار با دمای بیش از ۱۰۰ درجه برای حذف تدریجی بخار استفاده شد. کمبود کنترل حرارت و عملکرد ضعیف سیستم منجر به تولید نسل سوم شد. در نسل سوم دمای عرضه کمتر از ۱۰۰ درجه است این نسل بهره‌وری از انرژی را افزایش داده و همچنین در هزینه‌ها صرفه‌جویی شده است. سیستم گرمایش منطقه‌ای در شمال اروپا محبوبیت بالایی پیدا کرده است همان‌طور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است به‌عنوان مثال در سال ۲۰۱۱ کشور سوئد ۳۰۰۰۰ کیلومتر DH نصب کرد و ۶۱ درصد ظرفیت گرمایشی خودش را از همین سیستم تأمین کرد [۱۰].

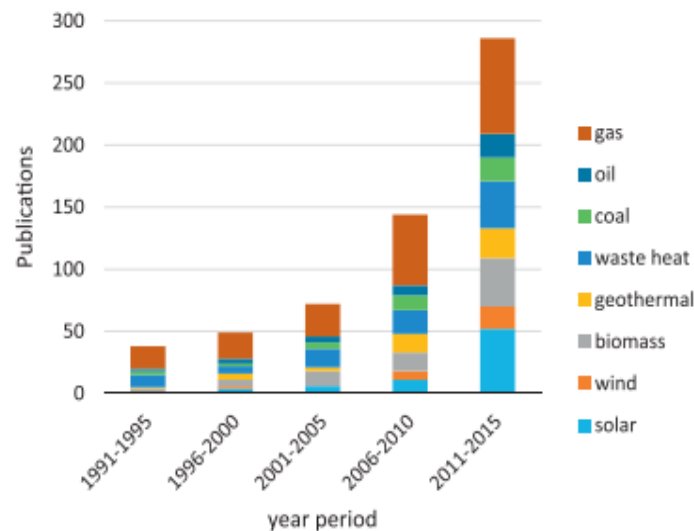
^۱ Combined Heat and Power^۲ District Heating & Cooling



شکل ۱- درصد گرمایش منطقه‌ای و طول لوله‌کشی آن در سال ۲۰۱۱ [۱۰]

اجرای موفقیت‌آمیز نیروگاه‌های ترکیبی برق و حرارت (CHP) یک عامل مهم در جهت توسعه و استفاده از سیستم DH بوده است به‌طوری‌که دانمارک ۵۲ درصد از برق خود را از این طریق تأمین می‌کند. باوجود این توسعه DH به عوامل مختلفی بستگی دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به: سوخت ارزان و قیمت برق و تمرکز بر سرمایه‌گذاری‌های کوتاه‌مدت را نام برد که از عمده‌ترین موانع سیستم‌های DH هستند. تحقیقات نشان می‌دهد که سیستم DH در اروپا می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ میزان ۸۰ درصد از انتشار کربن دی‌اکسید جلوگیری کند. نوع دیگری از این سیستم وجود دارد که سرمایه‌گذاری را تأمین می‌کند (DC)^۱. در این سیستم آب سرد توسط نیروگاه مرکزی تولیدشده و از طریق شبکه لوله‌کشی به ساختمان‌ها تحویل داده می‌شود؛ اما باید توجه داشت که توسعه سیستم DC کندتر از سیستم DH صورت می‌گیرد. دلیل اصلی آن نیز استفاده از لوله‌های بزرگ‌تر به دلیل افت دما می‌باشد که همین امر موجب نیاز به سرمایه‌گذاری بیشتری می‌باشد. سیستم‌های DHC توجه بسیاری را به خود جلب کرده است اما هنوز مشکلاتی برای غلبه وجود دارد از جمله: سرمایه‌گذاری برای استقرار، ساخت سیستم و یا کیفیت پایین تحویل شبکه و... یکی از قابلیت‌های گرمایش شهری ادغام و استفاده هم‌زمان از انرژی‌های نو می‌باشد که کشورهای مختلف برای بالا بردن راندمان و بهینه‌سازی سیستم از انرژی‌های مختلف استفاده کرده‌اند [۱۱]. طبق شکل (۱) از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۵ انرژی‌های تجدید پذیر از جمله انرژی خورشیدی و زیست‌توده رشد قابل توجهی کرده‌اند.

¹ District Cooling



شکل ۲- میزان استفاده از انرژی‌های مختلف در گرمایش شهری از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۵ [۱۲]

۲-۲. انرژی خورشیدی

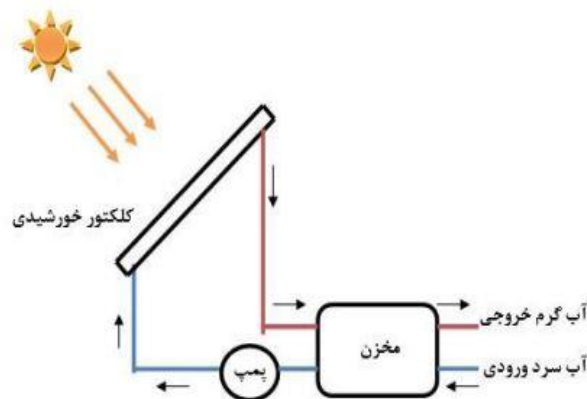
مشکل محدودیت منابع انرژی، کم‌وبیش برای کلیه کشورها، اعم از صنعتی، توسعه‌یافته و یا در حال توسعه، مشترک می‌باشد. در کشورهای مختلف به‌طور میانگین بیش از ۹۰ درصد از مصارف انرژی در ارتباط با صنعت، حمل‌ونقل و ساختمان‌ها است. از بین این سه بخش ساختمان‌های مسکونی و تجاری بیش از ۴۶ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. قابل‌توجه است که عمده‌ترین مصرف انرژی در ساختمان‌ها در تأمین گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع ساختمان‌ها در فصول سرد و گرم سال می‌باشد. پس هر اقدامی که در جهت ارتقاء کیفیت ساختمان‌ها از دیدگاه تبادل حرارتی صورت پذیرد، به‌صرفه‌جویی در مصرف کل انرژی ختم خواهد شد [۱۳]. با اندازه‌گیری شار خورشیدی تابشی در بالای جو زمین می‌توان قدرت دریافتی از خورشید را به مقدار 1014×1.8 برآورد کرد. البته تمام این انرژی به سطح زمین نمی‌رسد، بلکه مقداری از آن جذب لایه‌های اتمسفر می‌گردد. ماده در عالم اساساً از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده است که بخش اعظم آن میان ستاره‌ها و کهکشان‌ها توزیع شده است. نیروی جاذبه متقابل بین ذرات، سبب تراکم گاز و گردوغبار شده که در نتیجه این تراکم، سبب ایجاد ابرستاره‌ای می‌گردد. انرژی پتانسیل گرانشی سبب افزایش دمای داخل ستاره گردیده که خود افزایش چگالی ستاره را در پی خواهد داشت؛ در نتیجه افزایش چگالی ستاره، دمای داخلی آن افزایش می‌یابد تا به حالت پلاسمای خورشیدی برسد. در یک چنین حالتی شرایط برای هم‌جوشی هسته‌ای مهیا می‌گردد که با ترکیب دوتریوم و تریتیوم مقداری انرژی آزاد می‌گردد. انرژی‌ای که از خورشید به زمین می‌رسد، بوسیله‌ی جمع‌کننده‌های خورشیدی (کلکتورها) جمع‌آوری شده و برای مصارف خانگی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴]. کشور ایران در منطقه‌ای واقع شده است که دریافت انرژی خورشیدی بالایی دارد. ایران به‌طور متوسط در طول روز حدود ۵/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع تابش خورشید را دریافت می‌کند که این بالاتر از میانگین در جهان می‌باشد. همچنین ایران در طول سال به‌طور متوسط بیش از ۲۰۰ روز آفتابی را دارد.

۳-۲. تاریخچه استفاده از انرژی خورشیدی

از زمان پیدایش حیات در روی زمین انرژی خورشیدی در پدیده فتوسنتز کاربرد داشته است. در پیدایش ساختمان جهت سکونت، انسان از نور خورشید به‌طور طبیعی برای روشنایی و گرمایش خود استفاده نموده است. اولین و شاید تنها استفاده نظامی از انرژی خورشیدی توسط ارشمیدس در شهر سیراکوز در شرق جزیره سیسیل که در تصرف یونان بود انجام شد. او موفق گردید با منعکس کردن نور خورشید به‌وسیله چندآینه روی بادبان کشتی‌ها، آن‌ها را به آتش بکشد و بدین ترتیب کشتی‌های جنگی رومیان را که به جزیره سیسیل حمله کرده بودند از کار بیاندازد. امروزه از این اصل یعنی منعکس نمودن نور خورشید توسط چندآینه به یک نقطه، در تبدیل انرژی خورشیدی به گرمایی و سپس الکتریکی استفاده می‌شود. استفاده‌های صنعتی و پیشرفته انرژی خورشیدی از سال‌های ۱۷۷۰ میلادی آغاز گردید. در سال ۱۸۷۲ اولین واحد خورشیدی برای نمک‌زدایی آب دریا در شمال کشور شیلی ساخته شد. این واحد با سطح ۵۷۶۶ مترمربع می‌توانست حدود ۲۴ مترمکعب آب شیرین در روز تولید نماید. از اواخر سال‌های ۱۸۰۰ تا اوایل سال‌های ۱۹۰۰، تعدادی متمرکز کننده خورشیدی جهت دستیابی به دماهای بالا برای تولید بخار در فرانسه، آمریکا و مصر ساخته شد که از بخار حاصله برای راه‌اندازی ماشین‌های بخار و آبیاری استفاده می‌گردید. سالمون اهل فرانسه در سال ۱۶۱۵ بیانیه‌ای در رابطه با موتور خورشیدی منتشر نمود. او با استفاده از تعدادی عدسی نصب‌شده بر روی یک قاب، اشعه خورشید را بر روی یک استوانه فلزی سربسته که قسمتی از آن از آب پر شده بود، متمرکز نمود. تابش خورشید باعث گرم شدن هوای داخل استوانه شده و با انبساط هوا، فشار داخل محفظه افزایش یافته و آب به بیرون از محفظه رانده شد. موشو اولین کلکتور خورشیدی با متمرکز کننده مخروطی شکل را طراحی نمود. آینه‌های داخل مخروط کلیه پرتوهای خورشید را در نقطه‌ای در وسط مخروط ناقص که جذب‌کننده‌ای در آنجا نصب شده بود، متمرکز می‌کرد. این کلکتور، اکسیکون نامیده شد. اولین اکسیکون بزرگی که ساخته شد، شامل یک صفحه از جنس نقره با قطر ۵۴۶ سانتی‌متر و سطح ۲/۷۱ مترمربع و وزن آن با کلیه قسمت‌های متحرک در حدود ۷۴۶۶ کیلوگرم بود و قدرت داشت ۱۱ درصد از انرژی خورشیدی تابیده‌شده را جذب کند، ولی از آنجایی که در این طرح تابش خورشید به‌جای یک نقطه در یک سطح متمرکز می‌شد، دارای شدت کمتری بود [۱۵].

۴-۲. آبگرمکن خورشیدی

آبگرمکن‌های خورشیدی اصلی‌ترین سیستم مورد استفاده در کاربردهای غیر نیروگاهی خورشیدی می‌باشند. می‌توان در تهیه آبگرم بهداشتی در منازل و اماکن عمومی به‌خصوص در مکان‌هایی که مشکل سوخت‌رسانی وجود دارد، از این آبگرمکن‌ها استفاده کرد. چنانچه ظرفیت این سیستم‌ها افزایش یابد می‌توان از آن‌ها در حمام‌های خورشیدی نیز استفاده نمود. تاکنون با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران تعداد زیادی آبگرمکن خورشیدی و چندین دستگاه حمام خورشیدی در نقاط مختلف کشور از جمله استان‌های خراسان، سیستان و بلوچستان و یزد نصب و راه‌اندازی شده است. بر اساس تحقیقات به عمل آمده در ایران، این سیستم می‌تواند به‌طور متوسط در طول سال مقدار نفت سفید را به میزان ۷۴۰ لیتر کاهش دهد. همچنین این سیستم برای یک خانواده متوسط با جمعیت ۴ نفر می‌تواند در طول سال یک تن کربن دی‌اکسید را از هوا کسر دهد. این سیستم می‌تواند در روزهای آفتابی تابش خورشید را جذب کند و آب گرم مصرفی را تأمین کند و در روزهای ابری با استفاده از مخزن و یا گرم‌کن این نیاز را تأمین کند [۱۵].



شکل ۳- شماتیک اجزای آبگرمکن خورشیدی [۱۵]

اجزای اصلی یک سیستم آبگرمکن خورشیدی عبارتند از:

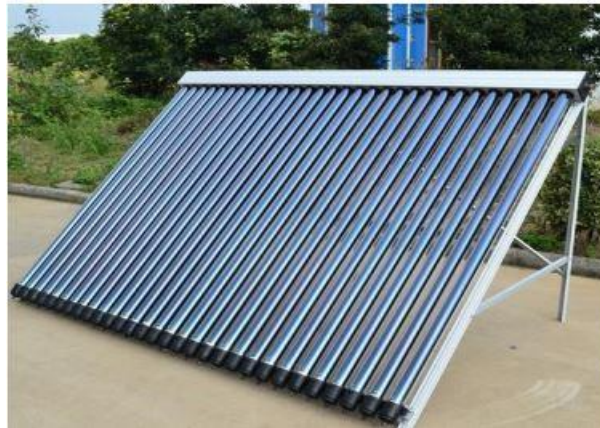
- (۱) کلکتورهای حرارتی خورشیدی
- (۲) سیستم گردش آب
- (۳) پمپ‌های انتقال آب
- (۴) مخزن آب

می‌باشد. همچنین ازجمله مزیت‌هایی که این سیستم دارد و می‌توان از آن‌ها نام برد عبارتند از:

- (۱) سازگاری این سیستم با محیط‌های مختلف
- (۲) قابل دسترس بودن آن
- (۳) مستقل از برق و گاز
- (۴) دوستدار طبیعت و محیط‌زیست
- (۵) نیاز نداشتن به بازسازی خاص

۲-۵. کلکتور خورشیدی

مهم‌ترین بخش هر آب‌گرم‌کن خورشیدی را می‌توان کلکتور آن دانست که کار اصلی آن جذب تابش خورشید و تبدیل آن به گرما و انتقال آن به سیال عامل که در لوله‌ها جریان دارد، می‌باشد. کلکتورهای خورشیدی انواع خاصی از مبدل‌های حرارتی هستند که تابش خورشیدی را به انرژی داخلی سیال کاری تبدیل می‌کند. کلکتورها به سه دسته تقسیم می‌شوند که بر اساس این تقسیم‌بندی روش انتقال حرارت هر کدام متفاوت خواهد بود. این سه دسته شامل کلکتورهای ثابت، دنبال‌کننده‌های تک‌محوره و دوماحوره می‌شود. همچنین کلکتورهای ثابت به سه دسته کلکتورهای صفحه تخت، کلکتورهای لوله خلاء و کلکتورهای سهموی تقسیم‌بندی می‌شوند. لوله‌های خلاء اتلاف گرمایی به صورت کانوکشن که ناشی از حرکت هوا داخل کلکتور می‌باشد را به‌طور چشم‌گیری کاهش دهد. این کلکتور از تعدادی لوله دوجداره شفاف موازی تشکیل شده است که در داخل آن یک تیوب با پوششی از ماده جاذب قرار دارد. هوا از فضای بین دوجداره خارج گردیده و خلاء ایجاد شده از اتلاف حرارت جلوگیری می‌کند. مزیت این نوع کلکتور توانایی در ایجاد دمای بالاتر می‌باشد. به دلیل خلاء میان محفظه شیشه‌ای، به‌عنوان یک عایق حرارتی مناسب، می‌توانند دمای سیال را از ۷۰ تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد افزایش دهند [۱۶].



شکل ۴- نمونه‌ای از کلکتور لوله خلأ [۱۶]

کلکتورهای سهموی جهت دستیابی به حرارت بالا در کانون باید قادر به ردیابی خورشید در مدت تابش روزانه باشند. این نوع کلکتورها در یک روز صاف 36252 کیلوژول بر مترمربع از انرژی خورشید را جمع‌آوری می‌کنند. تمرکز در ناحیه کانونی باعث افزایش انرژی دریافت شده در واحد سطح می‌گردد. در متمرکز کننده‌ها به علت کاهش سطح جذب‌کننده‌ها، اتلاف حرارتی کاهش‌یافته و دمای بالاتر و حرارت بیشتری تولید می‌شود. برای مناطق ابری مناسب نیستند و نیازی به پوشش شیشه‌ای ندارند. نسبت به کلکتورهای تخت هزینه بیشتری لازم دارند. از نظر راندمان در دماهای پایین از کلکتورهای تخت کمتر بوده ولی در دماهای بالا، دارای راندمان خوبی هستند [۱۷].



شکل ۵- نمونه‌ای از کلکتور سهموی [۱۷]

کلکتور خورشیدی صفحه تخت یک مبدل حرارتی است که تشعشعات خورشید را به کمک اثر گلخانه‌ای به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند. از این انرژی برای گرم کردن آب گرم‌کن مصرفی برای حمام و شست‌وشو و گرمایش رادیاتورها و همچنین گرمایش استخر خورشیدی استفاده می‌شود. کلکتور خورشیدی صفحه تخت بر خلاف پنل‌های فتوولتائیک، می‌تواند در روزهای ابری که آفتاب مستقیم وجود ندارد با جذب گرمای احاطه‌شده در اطراف کلکتور آب را گرم کند. کلکتورهای تخت در یک روز صاف با زاویه انحراف عرض جغرافیایی محل، قادرند 25345 کیلوژول بر مترمربع انرژی خورشیدی را جذب کنند. ساختار آن به صورت یک جعبه مستطیل شکل بوده که در داخل آن یک صفحه جاذب فلزی از جنس مس یا آلومینیوم قرار دارد که معمولاً به رنگ‌های تیره به منظور جذب بهتر ساخته می‌شوند. در زیر این صفحه لوله یا کانال‌هایی قرار گرفته که

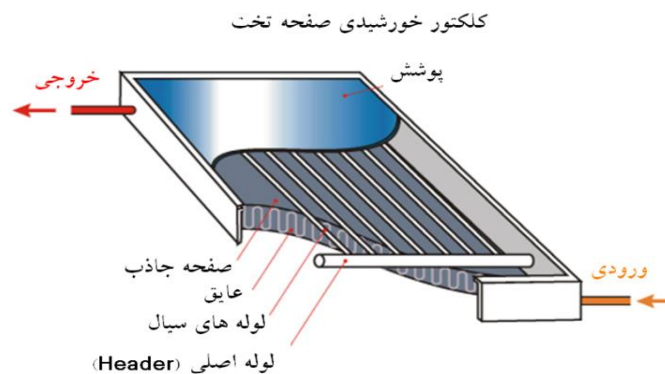


سیال عامل (آب، هوا و مایع ضدیخ) در آن‌ها جریان دارد [۱۷].

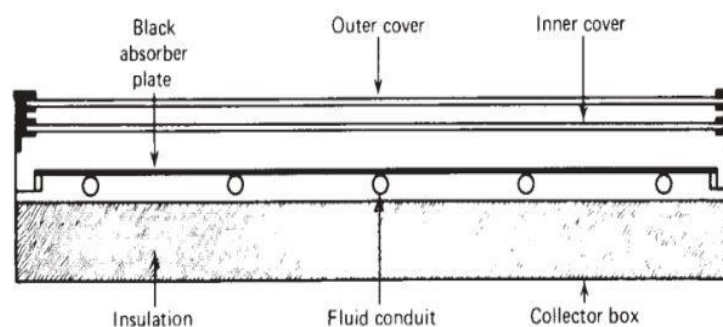
اجزای کلکتورهای صفحه تخت عبارتند از:

- (۱) پوشش که ممکن است یک یا چند لایه شیشه و یا پلاستیک شفاف باشد.
- (۲) صفحه جاذب که معمولاً به رنگ تیره بوده و لوله‌ها و گذرگاه‌ها به آن متصل می‌شوند.
- (۳) لوله‌های هدر برای عبور و تخلیه سیال ناقل حرارت که معمولاً در قسمت بالا و پائین کلکتور نصب شده‌اند.
- (۴) عایق دستگاه برای کاهش اتلاف حرارتی که معمولاً اطراف و پشت کلکتور و لوله‌ها را شامل می‌شود.
- (۵) بدنه که اجزاء کلکتور را در خود جای داده و آن‌ها را از غبار و رطوبت و دیگر عوامل خارجی سالم نگه می‌دارد

[۱۷].



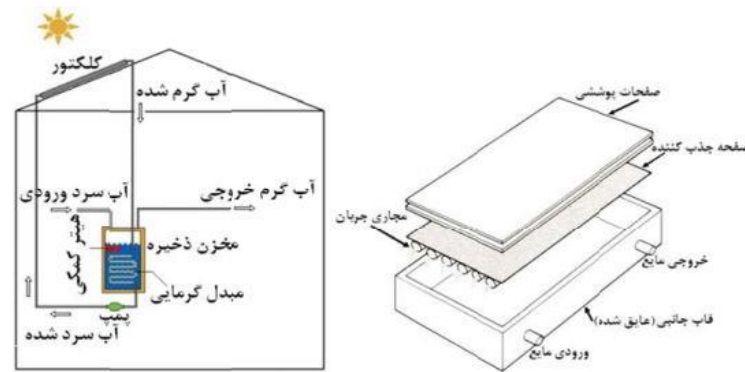
شکل ۶- اجزای تشکیل‌دهنده کلکتور صفحه تخت [۱۶]



شکل ۷- شماتیک کلکتور صفحه تخت [۱۶]

۲-۶. طرز کارکرد کلکتور خورشیدی

کلکتورهای صفحه تخت از یک ورق تشکیل شده است که با تابش خورشید بر روی آن‌ها این ورق گرم شده و با جریان داشتن سیال که می‌تواند آب و یا ترکیب آب و ضدیخ باشد، حرارت را از کلکتور جذب نماید. با طراحی و مدل‌سازی صحیح کلکتورهای خورشیدی می‌توان دمای آب یا سیال خروجی را تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد رساند. شکل (۶) یک سیستم آب‌گرم‌کن خورشیدی و نمای شماتیک یک کلکتور صفحه تخت را نشان می‌دهد.



شکل ۷- سیستم آبگرمکن خورشیدی خانگی و کلکتور صفحه تخت آن [۱۶]

۳. پیشینه پژوهش

اورگنر و همکاران [۱۸] به بررسی و تجزیه و تحلیل سیستم ترکیبی هیت پمپ حرارتی زمین گرمایی با انرژی خورشیدی پرداختند. آن‌ها این سیستم را از لحاظ انرژی و اقتصادی بررسی کردند. این سیستم جهت گرمایش گلخانه به کار گرفته شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیشترین تخریب در این سیستم به علت تلفات الکتریکی و مکانیکی اتفاق می‌افتد و همچنین بیشترین تلفات از نظر انرژی نیز در کمپرسور رخ می‌دهد. نسبت نرخ تلفات ترمودینامیکی به مقدار هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در محدوده ۰/۳۵ تا ۱/۱۲۵ به دست آوردند.

ونگ و همکاران [۱۹] به بررسی و مطالعه سیستم ترکیبی کلکتور خورشیدی و پمپ حرارتی زمین گرمایی پرداختند. آن‌ها با اضافه کردن مخزن ذخیره زیرزمینی به بررسی تأثیر عملکرد آن بر روی سیستم پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مخزن زیرزمینی به تابش خورشیدی و مساحت کلکتورها بستگی دارد.

یانگ و همکاران [۲۰] یک مطالعه‌ای را بر روی یک سیستم ترکیبی خورشیدی و زمین گرمایی انجام دادند. سیستم ترکیبی قادر است در فصل سرما و با کاهش دمای هوای بیرون با گرم شدن عمق زمین، بار گرمایشی ساختمان را تأمین کند و همچنین در فصل گرما و با افزایش دمای هوای بیرون با کاهش دمای عمق زمین بار سرمایشی ساختمان را تأمین کند. نتایج نشان داد که ضریب عملکرد این سیستم ترکیبی از حدود ۴/۵ تا ۶/۵ می‌تواند متغیر باشد.

جلسون و همکاران [۲۱] به بررسی و مدل‌سازی سیستم ترکیبی هیت پمپ زمین گرمایی و کلکتورهای خورشیدی پرداختند. شبیه‌سازی این مدل و این سیستم به کمک نرم افزار TRANSYS انجام گرفت. همچنین این شبیه‌سازی برای یک ساختمان مسکونی واقع شده در کشور سوئد انجام شد. نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که سیستم ترکیبی می‌تواند باعث کاهش مصرف برق شود و اینکه با وجود کلکتورهای خورشیدی دمای خاک افزایش یافته بنابراین ضریب عملکرد سیستم در فصل سرمایش افزایش می‌یابد؛ بنابراین کاهش مصرف برق افزایش دمای مبدل‌های زمین گرمایی و کاهش گرمای استخراج شده از دلایلی هستند که باید کلکتورهای خورشیدی را به این سیستم اضافه نمود.

باثر و همکاران [۲۲] نیروگاه خورشیدی مرکزی همراه با ذخیره‌ساز فصلی بررسی کردند و دریافتند که در آلمان تجربیات ساخت و ساز و بهره‌برداری از واحدهای تحقیقاتی و آزمایشگاه‌ها منجر به بهبود فنی، افزایش راندمان و کاهش هزینه‌ها شده است.

باکرسی و همکاران [۲۳] به بررسی و مدل‌سازی هیت پمپ زمین گرمایی و کلکتور خورشیدی پرداختند. در این



تحقیق از پمپ حرارت زمین‌گرمایی به صورت چاه‌های عمودی استفاده شد. این کار تحقیقاتی که یک کار آزمایشگاهی است به صورت تجربی ضریب عملکرد پمپ و ضریب عملکرد کلی سیستم را محاسبه کردند. ضریب عملکرد پمپ ۳ تا ۳/۴ و ضریب عملکرد ۲/۷ تا ۳ شد.

چن و همکاران [۲۴] به بررسی و مطالعه یک سیستم ترکیبی هیت پمپ زمین‌گرمایی و کلکتورهای خورشیدی جهت تأمین گرمایش یک ساختمان مسکونی و تأمین آب گرم آن پرداختند. این تحقیق به کمک نرم افزار TRANSYS شبیه‌سازی و مدل‌سازی شد و نتیجه آن‌ها نشان داد که برای یک ظرفیت حرارتی حدود ۴۴ کیلوواتی به ۴۰ مترمربع کلکتور خورشیدی و همچنین ۲۶۴ متر چاه و حفاری نیاز است.

یانگ و همکاران [۲۵] به بررسی و مطالعه‌ی تأمین بار گرمایشی و سرمایشی یک ساختمان اداری با استفاده از سیستم هیت پمپ زمین‌گرمایی و سیستم ترکیبی هیت پمپ زمین‌گرمایی و کلکتور خورشیدی پرداختند. این بررسی نشان داد که سیستم ترکیبی می‌تواند مصرف برق را حدود ۳۰ درصد کاهش دهد همچنین به دلیل وجود کلکتورهای خورشیدی در سیستم ترکیبی دمای خاک در طول ماه‌های سرد سال افزایش و یا حداقل ثابت می‌ماند که این امر باعث بالا رفتن عملکرد سیستم ترکیبی می‌شود.

دی گوآدالفاچرا و همکاران [۲۶] پتانسیل سیستم‌های گرمایش خورشیدی در مقیاس بزرگ را در ۱۰ شرایط آب و هوایی اسپانیا با ذخیره‌سازی فصلی بررسی کرد. این سیستم شامل ۲۸۵۴ مترمربع کلکتور خورشیدی بود و به این نتیجه رسیدند که هزینه تخمینی گرمای تولیدی در سیستم گرمایشی خورشیدی در مقیاس بزرگ با کسر خورشیدی ۵۰ درصد و همراه با ذخیره‌ساز فصلی می‌تواند قابل رقابت با دیگ‌های حرارتی رایج خانگی باشد.

ژیانگ لی و همکارانش [۲۷] در کشور چین به مطالعه و بررسی ترکیب سیستم زمین‌گرمایی و کلکتورهای خورشیدی پرداختند این مطالعه نشان داد که وجود صفحات خورشیدی باعث می‌شود که خاک و زمین گرم‌تر شود و در نتیجه مقدار کار و مصرف انرژی هیت پمپ نیز کم شود. استفاده از یک مخزن، باعث می‌شود که سیستم در هر لحظه از شبانه‌روز بتواند نیاز گرمایشی ساختمان مورد نظر را تأمین نماید و از ثبات انرژی خوبی برخوردار باشد. به دلیل اینکه کلکتورهای خورشیدی در شب امکان استفاده از آن‌ها نیست بنابراین عملکرد سیستم و راندمان آن نیز پایین می‌آید پس استفاده از مخزن ذخیره می‌تواند کمک شایانی به سیستم نماید.

فلیپ آندریو و همکاران [۲۸] بر روی نیروگاه خورشیدی اظهاراتی را داشتند. آن‌ها بیان کردند که نیروگاه حرارتی خورشیدی همراه با ذخیره‌ساز حرارتی زیرزمینی با پشتیبانی از انرژی زیست‌توده می‌تواند یک فناوری خوب برای مناطق با تراکم جمعیت کم تا متوسط مدیترانه باشد.

تولوس و همکاران [۲۹] در مورد نیروگاه‌های خورشیدی همراه با ذخیره‌ساز فصلی بهینه‌سازی چند منظوره انجام دادند. نتایج نشان داد که نیروگاه‌های حرارت مرکزی خورشیدی همراه با ذخیره‌ساز فصلی می‌تواند منجر به بهبودی‌های زیست محیطی و اقتصادی قابل توجهی در مقایسه با سیستم‌های گرمایش گاز طبیعی معمولی شود و چرخه زندگی را بهبود ببخشد.

کیامپی و همکاران [۳۰] بر روی آنالیز ترمودینامیکی و اقتصادی یک سیستم گرمایشی منطقه‌ای مطالعه کردند. تجزیه و تحلیل آن‌ها بر روی شبیه‌سازی دینامیکی یک سیستم گرمایش منطقه‌ای ترکیبی که از یک سیستم خورشیدی و زمین‌گرمایی تشکیل شده بود نشان داد که این سیستم می‌تواند مقدار انرژی اولیه و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به میزان ۴ تا ۶ درصد کاهش دهد.

رید و همکاران [۳۱] پتانسیل نیروگاه‌های گرمایش منطقه‌ای خورشیدی در ایالات متحده آمریکا را بررسی کردند.

آن‌ها در انجمن Drake landing به این نتیجه رسیدند که گرمایش منطقه‌ای خورشیدی همراه با سیستم ذخیره‌سازی زیرزمینی می‌تواند فرصت یک سرمایه‌گذاری خوب در مقایسه با سیستم‌های مبتنی بر گاز طبیعی برای تأمین گرمایش فضای مسکونی در آمریکای شمالی باشد.

۴. نتیجه‌گیری

انرژی خورشید یکی از منابع تأمین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی است که از دیرباز مورد استفاده بشر قرار گرفته است. بحران انرژی، کشورهای مختلف جهان را بر آن داشت که با مسائل مربوط به انرژی، برخوردی متفاوت نمایند. در این میان جایگزینی انرژی‌های فسیلی با انرژی تجدید پذیر و از جمله انرژی خورشیدی به منظور کاهش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کنترل عرضه و تقاضای انرژی و کاهش انتشار گازهای آلاینده با استقبال فراوانی روبرو شده است. به طور متوسط حرارت ورودی از خورشید به جو زمین $10^{20} \times 1/1$ کیلووات ساعت بر ثانیه است. از این مقدار انرژی تنها در حدود ۴۷ درصد آن به سطح زمین می‌رسد. این بدان معنی است که زمین در هر ساعت تابشی در حدود ۶۰ میلیون Btu دریافت می‌کند. میزان ۰/۱ درصد از این انرژی وقتی با بهره‌وری ۱۰ درصدی استحصال گردد، معادل چهار برابر نرخ ظرفیت تولید انرژی در کره زمین (۳۰۰ گیگاوات) خواهد بود؛ یعنی انرژی ناشی از سه روز تابش خورشید به زمین برابر با تمام انرژی ناشی از احتراق کل سوخت‌های فسیلی در دل زمین است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در اثر تابش خورشید به مدت چهل روز، می‌توان انرژی مورد نیاز یک قرن را ذخیره نمود؛ بنابراین با به کارگیری کلکتورهای خورشیدی می‌توان تا حدودی از این منبع انرژی بی پایان، پاک و رایگان استفاده کرد و تا حد بسیار زیادی در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی نمود. مطالعه و بررسی ترکیب ساختمان سبز و سیستم گرمایش منطقه‌ای و مطالعه و انجام شبیه‌سازی سیستم گرمایش منطقه‌ای برای ساختمان‌های اداری و تجاری پیشنهاد می‌شود.

۵. مراجع

۱. قربانی، ر. (۱۳۸۸)، کتاب/کولوژی عمومی، جهاد دانشگاهی مشهد. ص ۲۷۸.
۲. سادات حسینی شکرابی، ح.ل. (۱۳۸۸)، اثرات کاربرد سیستم‌های انرژی خورشیدی در مصرف انرژی و آلاینده‌های محیط زیست (مطالعه موردی تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط - زیست دانشگاه تهران، ص ۶۷
3. Aydin, N. Y., Kentel, E. and Duzgun, S. (2010). "GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(1), pp. 364-373.
۴. صلاحی، ب. (۱۳۸۸). "پتانسیل سنجی انرژی باد و برازش احتمالات واقعی وقوع باد،" فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۷۲-۸۷، (۷۲)
۵. ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰، صفحه ۳۵۹
6. Clean energy project analysis. Retscreen Engineering Cases textbook. available at: www.retscreen.net

7. K. Wojdyga, M. Chorzelski, E. Rozycka-Wronska, Emission of pollutants in flue gases from Polish district heating sources, *J. Clean Prod.* 75 (2014) 157–165,

8. M. Köfinger, D. Basciotti, R.R. Schmidt, E. Meissner, C. Doczekal, A. Giovan- nini, Low temperature district heating in Austria: energetic, ecologic and eco- nomic comparison of four case studies, *Energy* 110 (2016) 95–104

9. H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. Thorsen, F. Hvelplund, B. Math- iesen, 4th generation district heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, *Energy* 68 (2014) 1–11,

10. M. Turski, R. Sekret, The need to reorganize district heating systems in the light of changes taking place in the building sector, *Rynek Energii.* 119 (2015) 27–34. ISSN 1425–5960.

11. L. Lundström, F. Wallin, Heat demand profiles of energy conservation measures in buildings and their impact on a district heating system, *Appl. Energy* 161 (2016) 290–299

12. Li, Y., Fu, L., Zhang, S., & Zhao, X. (2011). "A new type of district heating system based on distributed absorption heat pumps," *Energy*, **36**(7), pp 4570-4576.

۱۳. ریاحی ع، طاهریان ح. (۱۳۸۸)، "انواع سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی به کار گرفته شده در ایران،" چهارمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، صفحه ۷۹

14. Duffie, J. A. and Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.

۱۵. حاج سقطی، ا. (۱۳۸۹)، *اصول و کاربرد انرژی خورشیدی، ویرایش ۷، چاپ دوم، دانشگاه علم و صنعت، ص ۴.*

۱۶. <http://www.satba.gov.ir/pt/sun/csptechnologis>

17. S. Sajjadi, S. Shamshirband, M. Alizamir, P.L. Yee, Z. Mansor, A .A . Manaf, T.A . Al- tameem, A. Mostafaipour, Extreme learning machine for prediction of heat load in district heating systems, *Energy Build.* 122 (2016) 222–227.

18. Ozgener, O. and Hepbasli, A. (2005). "Exergoeconomic analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system," *Applied Thermal Engineering*, **25**(10), pp. 1459-1471.

19. Wang, H., and Qi, C. (2008). "Performance study of underground thermal storage in a solar-ground coupled heat pump system for residential buildings," *Energy and Buildings*, **40**(7), pp 1278-1286.

20. Wang, X., Zheng, M., Zhang, W/, Zhang, S. and Yang, T. (2010). "Experimental study of a Solar assisted ground-coupled heat pump system with solar seasonal thermal storage in severe cold areas," *Energy and Buildings*, pp. 2104-2110.

21. Kjellsson, E., Hellström, G. and Perers, B. (2010). "Optimization of systems with the combination of ground-source heat pump and solar collectors in dwellings," *Energy*, **35**(6), pp. 2667-2673.

22. H. Gadd, S. Werner, Daily heat load variations in Swedish district heating systems, Appl. Energy 106 (2013) 47–55.
23. Bakirci, K., Ozyurt, O., Comakli, K. and Comakli, O. (2011). “Energy analysis of a solar-ground source heat pump system with vertical closed-loop for heating applications,” Energy, **36**(5), pp. 3224-3232.
24. Chen, X. and Yang, H. (2012). “Performance analysis of a proposed solar assisted ground coupled heat pump system,” Applied Energy, **97**, pp. 888-896.
25. Wang, E., Fung Al, S., and Qi, C., and Wey H.L., “Performance prediction of a hybrid solar ground-source heat pump system”, Energy and Buildings, pp. 600-611, 2012
26. De Guad, AL., Wey H.L., “Development and experimental validation of a novel indirect-expansion solar-assisted multifunctional heat pump”, Energy Building, pp. 300–304, 2012.
27. Jiang Li., and Sherif. S.A., “Feasibility study of a solar-assisted heating/cooling system for an aquatic centre in hot and humid climates”, Int J Energy Res, Vol. 21, No. 9, pp. 823–839, 2013.
28. Philip.A , H. Gadd, S. Werner, Heat load patterns in district heating substations, Appl. Energy 108 (2013) 176–183
29. Toulouse, S.J., and Collins, M.R., “Feasibility analysis of an indirect heat pump assisted solar domestic hot water system”, Applied Energy, Vol. 93, pp. 11–17, 2014.
30. Chiampi, S. Shamshirband, M. Alizamir, P.Y. Yee, Z. Mansor, A .A . Manaf, T.A . Al-tameem, A. Mostafaeipour, Extreme learning machine for prediction of heat load in district heating systems, Energy Build. 122 (2016) 222–227
- 31.M. Reed, C. Cartalis, A. Synnefa, D. Kolokotsa, On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—a review, Energy Build. 98 (2017) 119–124