همایش ملی انرژی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
آذر ۱۳۹۴

بررسی کاربرد انرژی خورشیدی در سیستم های سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع ساختمان

نجات شیخ پور [۱*]، بابک مهماندوست [۲]

نویسنده مسئول: shekhpor@yahoo.com

چکیده

اهمیت انرژی خورشیدی در دهه‌های اخیر بسیار افزایش یافته است. انرژی خورشیدی امروزه به عنوان ابزار پرکاربرد برای بهینه سازی و توسعه فرآیندهای صنعت سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع شناخته شده است. از نقطه نظر کلی می توان گفت که با استفاده بهینه از انرزی خورشید می‌توان گام مؤثری در جهت بهبود مصرف سوخت در ساختمان ها برداشت. جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر بجای سوخت‌های فسیلی که عمده ترین منبع تأمین انرژی در ایران محسوب می‌شوند، راه‌حلی است که مشخصه اصلی آن، آینده‌نگری و رعایت توامان حقوق نسل های فعلی و آتی است. لذا شناخت فناوری های موجود برای استفاده از انرژی خورشیدی و استفاده از نتایج تحقیقات انجام شده در دیگر کشورها، که مرور کوتاهی بر جدیدترین آنها در مقاله حاضر انجام شده است، کمک شایانی به پیشبرد این مهم خواهد داشت. هدف از این مقاله تالیفی مطالعه کاربرد انرژی خورشیدی در سیستم های حرارتی، برودتی و تهویه مطبوع است. در این نوشتار، ضمن بررسی اجمالی انرژی خورشیدی، اصول پایه فناوری خورشیدی و انواع کاربردهای آن در تولید انرژی های مختلف در ساختمان و شرایط استفاده از این نوع انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرآیند تهویه مطبوع ساختمان ها پرداخته می شود. این تحقیق از نوع توصیفی و کتابخانه ای بوده و نتایج نشان می دهند که استفاده از انرژی خورشیدی و کاربرد آن ها در زمینه تهویه مطبوع ساخنمان ها امری اجتناب ناپذیر است.

واژه‌های کلیدی

انرژی خورشیدی، تهویه مطبوع، سیستم‌های گرمایش خورشیدی، سیستم‌های سرمایش خورشیدی، مصرف بهینه انرژی

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی خمینی شهر

۲- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی خمینی شهر

۱- مقدمه

امروزه بسیاری کشورها بخشی از انرژی مورد نیاز خود را با استفاده از سلول های خورشیدی تأمین می نمایند. در این کشورها توسعه تکنولوژی انرژی خورشیدی نقش مهمی در برآورده ساختن نیازهای انرژی این کشورها داشته است. اما، افزایش کارآیی انرژی در تجهیزات و فرآیندهای انرژی در ساختمان‌ها می‌تواند با اجرای اقدامات گوناگون صورت پذیرد که هزینه هر اقدام و همچنین میزان تأثیرگذاری آنها با هم متفاوت خواهد بود. با توجه به اینکه انجام اقدامات مربوط به بهینه سازی مصرف انرژی معمولا با محدودیت منابع مالی روبرو می باشد، مطالعه مجموعه اقدامات امکان پذیر و اولویت گذاری فنی و اقتصادی آنها از اهمیت برخوردار می باشد [۱]. افزایش آگاهی نسبت به آلودگی محیط زیست، باعث افزایش توجه دانشمندان به انرژی های تجدیدپذیر و استفاده از آن ها در تهویه مطبوع ساختمان ها شده است [۲]. در عصر حاضر با وجود آنکه انرژی خورشید و مزایای آن به خوبی شناخته شده بود، ولی بالا بودن هزینه اولیه چنین سیستم هایی از یک طرف و عرضه نفت و گاز ارزان از طرف دیگر، سد راه توسعه این سیستم ها شده بود تا اینکه افزایش قیمت نفت در سال ۱۹۷۳ باعث شد که کشورهای پیشرفته صنعتی مجبور شدند به مسئله تولید انرژی از راه های دیگر غیر از استفاده از سوخت های فسیلی توجه جدی تری نمایند [۳]. در طول تاریخ انرژی خورشیدی گران تر از دیگر گزینه های انرژی بوده است. اما با سرمایه-گذاری دولت در این فناوری، اوضاع به سرعت در حال تغییر است. به علاوه افراد خیلی بیشتری در حال سرمایه-گذاری در زمینه انرژی خورشیدی هستند و این مقیاس وسیع از سرمایه گذاری باعث به صرفه شدن آن می شود. تجهیزات انرژی خورشیدی با دو شیوه اساسی موقعیت اقتصادی شما را بهتر می کند: ۱- صرفه جویی در صورت حساب ماهانه شما و ۲- ترقی ارزش خانه شما [۴]. آفانسو[3] و لیویرا[4] در سال ۲۰۰۰ میلادی پژوهش هایی راجع به دودکش های خورشیدی انجام دادند که نتایج آنها افزایش چشمگیر در سرعت تهویه به دلیل وجود دودکش خورشیدی را نشان می داد [۵]. تحقیقات دیگر نشان داده که استفاده از سامانه خورشیدی به طور ساده، به عنوان ابزار تهویه در قرن شانزدهم میلادی در برخی از ساختمان های ایتالیایی و در ارتباط با راهروهای زیرزمینی و آب در امر سرمایش مؤثر بوده است [۶]. ماکیاس[5] نیز به بررسی سامانه-های سرمایش پسیو[6] (غیرفعال) کم قیمت برای آپارتمان ها در آب و هوای گرم و خشک پرداخته است و نتیجه مثبت آن را مشاهده نموده است [۷].

۲- خورشید و انرژی خورشیدی

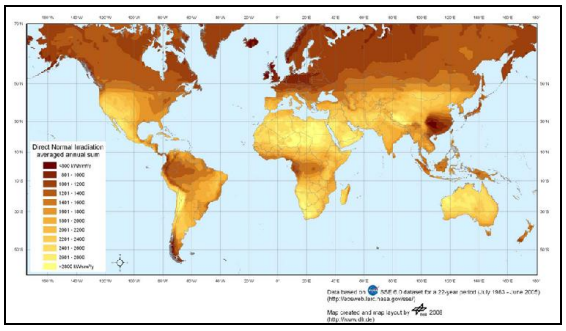
خورشید یک راکتور هسته ای طبیعی بسیار عظیم است. در یک چنین محیطی، شرایط برای همجوشی هسته ای مهیا می‌شود که ماده در آن جا بر اثر همجوشی هسته‌ای به انرژی تبدیل می شود و با ترکیب دوترویم و تریتیوم مقداری انرژی آزاد می‌شود. طبق آخرین برآوردهای رسمی اعلام شده عمر این انرژی بیش از ۱۴ میلیارد سال می باشد. انرژی خورشید همانند سایر انرژی ها بطور مستقیم یا غیرمستقیم می تواند به دیگر اشکال انرژی تبدیل شود، همانند گرما و الکتریسیته و... ولی موانعی شامل ضعف علمی و تکنیکی در تبدیل به علت کمبود دانش و تجربه میدانی و متغیر و متناوب بودن مقدار انرژی به دلیل تغییرات جوی و فصول

3 - Clito Afonso
4 - Armando Oliveira
5 - Macias
6 - Passive

سال و جهت تابش و محدوده توزیع بسیار وسیع موجب گردیده تا استفاده کمی از این انرژی انجام پذیرد. استفاده از منبع عظیم انرژی خورشید برای تولید انرژی الکتریسته، گرمایش محوطه ها و ساختمان ها، خشک کردن تولیدات کشاورزی و تغییرات شیمیایی و... اخیرا شروع گردیده است [۳].

انرژی تابشی خورشید نسبت به سایر منابع در دسترس‌تر است، بنابراین برای تأمین انرژی ساختمان های مسکونی و اداری مناسب ترین گزینه است به شرط این که فرایندهای مناسب برای بهره‌گیری از این انرژی در ساختمان طراحی شده و کنترل خوبی روی این فرایندها داشته باشیم. با استفاده از آبگرمکن ها و سیستم های گرمایشی و سرمایشی خورشیدی می‌توان در کل عمر ساختمان هزینه های بسیاری را صرفه جویی کرد و نیز این سیستم ها می توانند در حفظ منابع طبیعی و محیط زیست به مردم کمک بزرگی کنند. بنابراین با توجه به اقلیم آب و هوایی هر شهر باید ساختمان ها طوری ساخته شوند که مصرف انرژی هر چه بهینه تر صورت پذیرد. همچنین استفاده حداکثری از انرژی خورشید در دریافت، انباشت و تبدیل آن توسط دستگاه ها و ابزارهای نه چندان پیچیده می تواند در جهت صرفه جویی اقتصادی باشد [۸].

استفاده از انرژی حرارتی خورشید به صورت مستقیم کاربردهای محدودی دارد. معمولاً این انرژی به صورت دیگر (انرژی الکتریکی) تبدیل می شود سپس از آن کار مفید دریافت می شود. ساده ترین راه برای اینکه بتوان انرژی گرفته شده از خورشید را به کار تبدیل کرد و یا آن را به مناطق دیگر انتقال داد تبدیل آن به الکتریسیته است. برای بهره برداری بهتر از انرژی خورشید باید صفحات خورشیدی در زاویه ای قرار گیرند که در معرض تابش مستقیم خورشید باشند. بعضی سیستم ها برنامه ریزی شده اند تا در هر ساعت از روز و هر موقع سال با توجه به زاویه ی تابش خورشید سلول های خورشیدی را به آن سمت تنظیم کنند تا بیشترین بهره را ببرند. البته در این روش ابزارهای جانبی سیستم موجب افزایش هزینه ی اولیه و هزینه های نگه داری می شود. حتی در سیستم های ساده باید در مورد محل نصب صفحه ها دقت داشت که در هیچ موقعیتی صفحات در سایه درختان یا ساختمانهای مجاور قرار نگیرند. دانشمندان چینی و ژاپنی در بررسی های اخیر خود به این نتیجه رسیده اند که بال پروانه بهترین جذب کننده ی انرژی خورشید در طبیعت است. بال پروانه ها از پولک هایی تشکیل شده که مثل سلول های فتوالکتریکی با بازده بالا عمل می کنند و این پژوهشگران سعی در شبیه سازی آن ها دارند [۹]. در شکل ۱ توزیع متوسط سالانه شار تابشی خورشید در جهان نشان داده شده است.



شکل (۱) توزیع متوسط سالانه شار تابشی خورشید در جهان

۳- سیستم های تهویه مطبوع خورشیدی (گرمایش و سرمایش خورشیدی)

سیستم های تهویه مطبوع خورشیدی دارای مزایای بسیاری در صرفه جویی مصرف سوخت ساختمان و حفظ محیط زیست می شوند. تأمین گرمای ساختمان با خورشید، از دو طریق می‌تواند صورت گیرد: پسیو(غیرفعال) و اکتیو

(فعال). در طراحی پسیو، معماری ساختمان تعیین کننده میزان دریافت انرژی از طریق خورشید است و در طراحی اکتیو، جذب انرژی خورشید نیازمند استفاده از یک منبع انرژی دیگر برای انتقال مایع گرم شده به داخل ساختمان است. در ادامه، با این طراحی‌ها بیشتر آشنا خواهید شد.

٤- سیستم گرمایش خورشیدی پسیو

در طراحی ساختمان پسیو، پنجره‌ها، دیوارها و طبقات به گونه‌ای ساخته می‌شوند تا انرژی خورشید را به صورت گرما در زمستان جمع‌آوری، ذخیره و توزیع کنند و گرمای تابستان را نپذیرند. این طراحی، پسیو، آب وهوایی یا طبیعی نامیده شده است زیرا برخلاف سیستم‌های گرمایی خورشیدی اکتیو، از ماشین‌ها و دستگاه‌های الکتریکی استفاده نمی‌کند. کلید طراحی یک ساختمان پسیو، بهره‌گیری هرچه بهتر از آب و هوای محل ساختمان است. اجزائی که باید در نظر گرفته شوند عبارتند از قرار دادن انواع پنجره‌ها جداره‌ها، عایق بندی گرمایی، جرم حرارتی و سایه‌بان. درمورد سیستم‌های گرمایش خورشیدی پسیو، برخی از روش‌های کلی عباتند از:

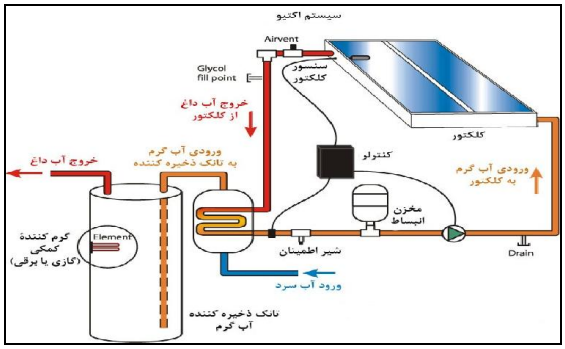
- ورود مستقیم نور خورشید به داخل اتاق از طریق پنجره‌ها. (ساخت خانه رو به خط استوا)
- استفاده از دیوار ذخیره کننده انرژی خورشیدی (دیوار ترومب) و دیوار آبی
- استفاده از گلخانه‌ی جانبی
- استفاده از استخر یا حوضچه روی بام

٥- سیستم گرمایش خورشیدی اکتیو

در این سیستم‌ها، از تجهیزات مختلفی برای گرم کردن ساختمان استفاده می‌شود که برخی از آن‌ها عبارتند از: کلکتورها، سیستم‌های ذخیره کننده‌ی انرژی گرمایی، کنترل دستی یا اتوماتیک، سوخت کمکی و مبدل‌های حرارتی. تمام آنچه که سیستم‌های گرمایش خورشیدی اکتیو باید انجام بدهند، جذب انرژی خورشید توسط کلکتورها، انتقال گرما از کلکتور به عملگر جاری، انتقال عملگر جاری به ذخیره کننده (ها) و نهایتاً استفاده از گرمای ذخیره شده در ساختمان است. کلکتورها در واقع قسمتی از ساختمان می‌باشند، مثلاً پنجره یا نورگیر. کلکتورهای باید دارای این ویژگی‌ها باشند:

- جذب بیشینه انرژی خورشید با طول موج ۰/۳ تا ۲/۵ میکرون و کمترین نشر در محدوده‌ی مادون قرمز
- مقاومت در برابر خوردگی و پوسیدگی، اشعه‌ی فرابنفش، رسوبات و خوص اسیدی یا قلیایی عملگر جاری.

در شکل ۲ یک نمونه سیستم گرمایش خورشیدی اکتیو نشان داده شده است.



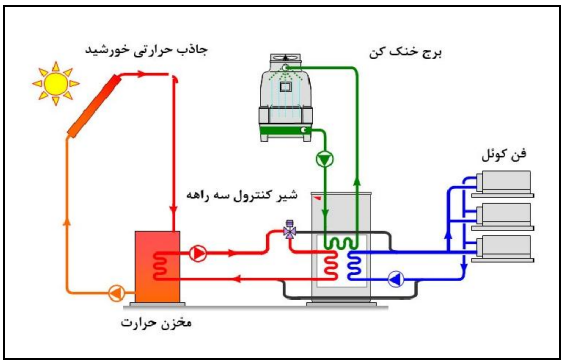
شکل۲- یک نمونه سیستم گرمایش خورشیدی اکتیو

٦- سیستم‌های سرمایش خورشیدی

تولید سرما با خورشید کاری است بسی دشوار، برخلاف چیزی که در قسمت گرمایش خورشیدی مشاهده کردیم. به طور عمده، دو راه برای سرمایش خورشیدی وجود دارد:

- تبدیل انرژی خورشید به انرژی مکانیکی یا الکتریکی و استفاده از انرژی حاصل در به کار انداختن تجهیزات برودتی مانند کولر.
- تبدیل انرژی خورشید به انرژی حرارتی و استفاده از آن در بکار انداختن دستگاه‌های تبرید جذبی. در این روش از انرژی خورشید برای گرم کردن ژنراتور خورشیدی (دقیقاً مانند جذب گرما در کلکتورها) استفاده می‌شود. با گرم شدن ژنراتور، اپراتور آن سرما ایجاد می‌کند.

در صورت استفاده از چیلر برای سرمایش، آبی که در اپراتور سرد شده است به توزیع کننده‌های موجود در فضای ساختمان (مثلا اطاق) می‌رود و نهایتاً موجب سرد شدن فضای اطاق می‌شود. آب، پس اینکه سرمایش را از دست داد، به سمت اپراتور برمی‌گردد و این چرخه مدام تکرار می‌شود. در شکل ۳ سیستم‌های سرمایش خورشیدی (سیکل چیلر جذبی خورشیدی) نشان داده شده است.



شکل (۳) سیستم سرمایش خورشیدی (سیکل چیلر جذبی خورشیدی)

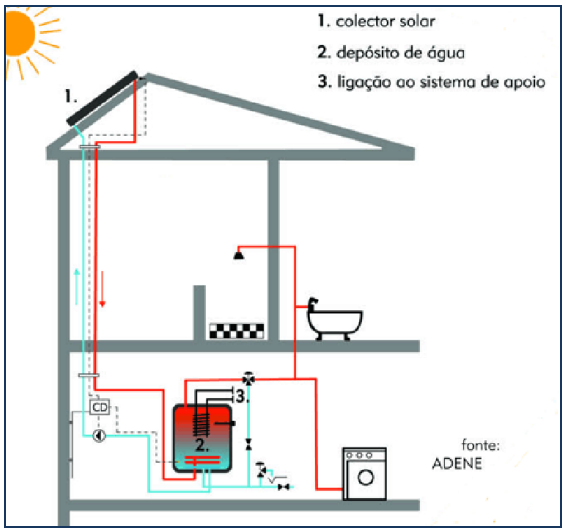
سیستم‌های تهویه مطبوع خورشیدی دارای مزایای بسیاری در صرفه جویی مصرف سوخت ساختمان و حفظ محیط زیست می شوند. ولی این سیستم ها دارای ویژگیهای فنی و اقتصادی خاص خود می باشند که گسترش آنها را با مشکلاتی روبرو کرده است. برای راه اندازی دستگاه های تهویه مطبوع در وهله اول باید تابش خورشید را به گرما یا الکتریسیته تبدیل کرد. بر این اساس سیستم های تهویه خورشیدی به دو دسته الکتریکی و گرمایی تقسیم می‌شوند. از مهم ترین سیستم های تهویه مطبوع خورشیدی می‌توان از سیستم های جذبی مایع و جامد و سیستم های دسیکنت[۷] نام برد. بررسی های انجام شده نشان می دهد که سیستم‌های جذبی ازبورپشن[۸] یک مرحله ای و دو مرحله ای و دو طبقه یک اثره با کلکتورهای مناسب می تواند در کاربردهای تهویه مطبوع مورد استفاده قرار گیرند. همچنین سیستم های جذبی رطوبت گیر می تواند در بعضی مناطق به تنهایی و یا بصورت ترکیب با سیستم تراکمی استفاده شوند. همانطور که اشاره شد، دو سیستم چیلر جذبی خورشیدی و سیستم دسیکنت جامد دارای قابلیت تجاری بیشتری از سیستم های دیگر می باشند و در حال حاضر بکارگیری چیلرهای جذبی خورشیدی با توجه به امکانات ساخت داخل کشور از نظر فنی میسر است. عمده مشکل اساسی در استفاده از چیلرهای جذبی خورشیدی نیاز به سرمایه گذاری اولیه زیاد در بخش کلکتورهای خورشیدی می باشد که از دیدگاه مشتری این سیستم را غیر اقتصادی نشان می دهد، ولی با بررسی این سیستم در سطح کلان اقتصاد کشور و در نظر گرفت. قیمت های انرژی و هزینه های زیست محیطی سیستم های تهویه مطبوع رایج، می توان به این نتیجه رسید که استفاده از چیلرهای جذبی خورشیدی به سود کشور می باشد [۹]. گرمایش و سرمایش ساختمان ها با استفاده از انرژی خورشید، ایده تازهای بود که در سالهای ۱۹۳۰ مطرح شد و در کمتر از یک دهه به پیشرفت های قابل توجهی رسید. با

7 - Desccant
8 - Absorption

افزودن سیستمی معروف به سیستم تبرید جذبی به سیستم های خورشیدی می توان علاوه بر آب گرم مصرفی و گرمایش، از این سیستم‌ها در فصول گرما برای سرمایش ساختمان نیز استفاده کرد. در ساده ترین حالت، دودکش آفتابی از یک برج عمودی سیاه رنگ ساخته شده است. با گرم شدن هوای درون کوره و ایجاد مکش در قسمت پایین آن، این برج می تواند به عنوان سیستم تهویه ساختمانی که در زیر آن واقع شده است، عمل کند. در طول روز، دودکش و هوای درون آن به وسیله تابش خورشیدی گرم می شود. در نتیجه گرم شدن هوای درون دودکش، یک جریان رو به بالای هوا داخل برج به وجود می آید. این حرکت باعث ایجاد مکش در پایین برج میشود. از این مکش می توان به صورت مستقیم برای تهویه ساختمان استفاده کرد [۹].

استفاده از انرژی خورشیدی جهت گرم نمودن آب به جهت رایگان بودن این منبع عظیم انرژی، از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه می باشد. در آبگرمکن خورشیدی، یک مایع (معمولا مخلوطی از آب و ضدیخ) از میان لایه جاذب جریان پیدا می کند و چرخه ای را بین کلکتور و مخزن آب گرم طی می کند. به محض اینکه دمای سطح کلکتور چند درجه بیشتر از دمای مخزن شود، سوپاپ تنظیم کننده پمپ را به کار انداخته و در نتیجه سیال موجود گرما را از کلکتور به مخزن منتقل می کند. آب گرمکن های خورشیدی مجهز به یک سیستم کمکی هستند. این سیستم‌ها که با سوخت های فسیلی کار می کنند، برای مواقعی در نظر گرفته شده اند که تشعشعات خورشیدی نتوانند انرژی لازم برای گرم کردن آب را تأمین نمایند. علاوه بر تهیه آب گرم بهداشتی در منازل، می توان از این آبگرمکن ها در اماکن عمومی به خصوص در مکان هایی که مشکل سوخت‌رسانی وجود دارد استفاده کرد. با افزودن سیستمی معروف به سیستم تبرید جذبی به سیستم های خورشیدی می توان علاوه بر آب گرم مصرفی و گرمایش از این سیستم ها در فصول گرما برای سرمایش ساختمان نیز استفاده کرد [۱۰].

خشک کن های خورشیدی بطور مستقیم و یا غیر مستقیم از انرژی خورشیدی جهت خشک نمودن مواد استفاده می-کنند و هوا نیز به صورت طبیعی یا اجباری جریان یافته و باعث تسریع عمل خشک شدن محصول می گردد. خانه‌های خورشیدی نیز در نوع خود منجر به بهینه مصرف شده انرژی می شوند در این خانه ها سعی می شود از انرژی خورشید برای روشنایی، تهیه آب گرم بهداشتی، سرمایش و گرمایش ساختمان استفاده شود و با بکار بردن مصالح ساختمانی مفید از اتلاف گرما و انرژی جلوگیری شود [۱۰]. شکل ۴ چگونگی عملکرد آبگرمکن های خورشیدی در ساختمان را نشان می دهد.



شکل (٤) چگونگی عملکرد آبگرمکن های خورشیدی در ساختمان

تهویه طبیعی ساختمان می تواند با تعبیه دریچه هایی در قسمت های بالا وپایین ساختمان صورت گیرد. به این ترتیب

که هوای گرم به دلیل چگالی کمترش، از دریچه ی بالا به بیرون رانده می شود و هوای خنک از دریچه پایین به داخل کشیده می شود. این سیستم تهویه را می توان با استفاده از کوره خورشیدی بهبود بخشید. کوره باید روی دیواری ساخته شود که در مسیر تابش خورشید قرار دارد و بلندتر از ساختمان باشد.

۷- نتیجه‌گیری

انرژی به عنوان یک فاکتور مؤثر در تأمین این نیاز همیشه مورد توجه بوده است و از آنجا که سوخت های فسیلی دارای محدودیت هستند و همچنین مستلزم هزینه و به عنوان آلاینده ای برای محیط زیست می باشند، استفاده از صورتهای دیگر انرژی بسیارحائز اهمیت است. با نگاهی به سهم بسیار زیاد و غنی کشورمان از تابش‌های خورشیدی، متوجه می شویم که کشور پهناور ما در رابطه با انرژی های نجدیدپذیر پتانسیل های فراوانی دارد و به خصوص در زمینه انرژی خورشیدی در منطقه ای واقع شده است که با بررسی های فنی و سرمایه گذاری اولیه می توان با احداث نیروگاه های خورشیدی در کنار کاربردهای محلی و منطقه ای ازآن گام بسیار بلندی در حفظ محیط زیست برداشت. از آنجا که روزانه انرژی بسیار زیادی صرف گرمایش و سرمایش ساختمان ها می شود، طراحی واجرای ساختمان هایی که بتواند از انرژی خورشیدی حداکثر استفاده را ببرد بسیار حائز اهمیت و مفید است. همانطور که اشاره شد، انرژی خورشیدی کاربردهای عمده و زیادی دارد که با مطالعه و بررسی دقیق و بکار بردن اصول علمی و فنی بهینه سازی در ساختمان می توان این انرژی عظیم را کنترل نموده و در روز و شب از این انرژی به نحو مطلوب استفاده کنیم. با ملاحظه اینکه ایران از فراوانی تابش مستقیم خورشید برخوردار است کشوری آفتاب‌گیر محسوب می شود. از مناطق معتدل و نسبتا سرد، با بهینه‌سازی جذب تابش خورشیدی در ساختمان می توان مقدار زیادی از مصرف سوخت فسیلی صرفه جویی کرد. بنابراین به طور خلاصه با انجام این تحقیق و مطالعه از نوشتار حاضر نتایج زیر به دست آمد:

۱- در مناطق گرم جنوب و کویرهای مرکزی و جنوبی ایران می توان مقدار زیادی از انرژی خورشیدی را طی تابش روزانه از طریق گرم کردن آب مورد نیاز ساختمان‌ها و مؤسسات و کارخانجات و یا الکتریسته در پیل‌های خورشیدی ذخیره کرد و سپس در مواقع لزوم مورد استفاده قرار داد.

۲- استفاده از چیلرهای جذبی خورشیدی که دارای مزایای بسیار در زمینه های صرفه جویی انرژی، اقتصادی و محیط زیست می باشد.

۳- استفاده از انرژی خورشیدی که مکانیزم آن اصولا بر پایه استفاده بهینه از انرژی خورشید بصورت تشعشع و هدایت حرارتی و جابجایی بنا شده است، و کارکرد نهایی آن موجب تنظیم دمای مطلوب در محیط به صورت کسب انرژی در روز و پس دادن با ایجاد جریان ملایم هوا در ساختمان می باشد.

۴- استفاده از خانه های خورشیدی، آبگرمکن خورشیدی و خشک‌کن‌های خورشیدی جهت مصارف خانگی و صنعتی کاربرد فراوانی دارد که این موضوع نقش زیادی در بهره-وری و بهینه سازی مصرف انرژی دارد.

۷- مراجع

[1] Frank Kreith, D., William A., Beckman. J., W. & Sons, «Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy, 1991

[2] Lio, L. I., Mak, C. M., The assessment of the performance of a wind catcher system using computational fluid dynamics, Building and Environment 2007 (42), 1135-1141

[۳] غضنفری غلام رضا، انرژی خورشیدی و کاربردهای آن، *فصلنامه اقتصاد انرژی*، شماره ۱۵۹ و ۱۶۰، سال ۱۳۹۲، صفحات ۳۶-۳۲.

[۴] درگانتر ریک (ترجمه محمدرضا شاهی)، خودآموز انرژی خورشیدی، انتشارات یزدا تهران، ۲۷ دی ۱۳۷۷ صفحات ۳۵ – ۵

[5] Clito Afonso, Armando Oliveira. Solar chimneys: simulation and experiment. Energy Build2000, 32 (1):71.

[6] Chena, Z. E. Bandopadhayaya, P., Halldorssonb, J., C. Byrjalsenb, P. Heiselbergb, Y. Lic. An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux. Building and Environment, 38(2003), 893-906

[7] Macias, M., Gaona, J. A., Luxan, J. M., Gloria Gomez,Low Cost Passive Cooling system for social housing in dry hot climate", Energy and Buildings. 2009 (41), 915-921

[۸] پوردخانی سمانه، انرژی خورشیدی و ملاحظات هندسی مرتبط با آن در طراحی اولیه ساختمان، *مجله برق، شورای مرکزی نظام مهندسی ساختمان کشور*، سال ۱۳۹۰

[۹] فغانی نیا علیرضا، قنبریان بهناز و چوبدار نرگس، انرژیهای نو، انرژی خورشیدی، *ماهنامه مکانیک شریف*، سال سیزدهم، شماره ۳۶، سال ۱۳۹۰ صفحات ۱۹-۱۴