مروری بر سیستم ها و روش‌های سرمایش غیرفعال

سید علی میراحمدی گلرودباری[1]، مهدی معرفت[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، seyed.fab@gmail.com

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، maerefat@modares.ac.ir

چکیده

با توجه به پیشرفت جوامع بشری و مشکل گرمایش جهانی، تمایل جامعه مهندسین برای استفاده از سیستم¬های غیرفعال با میزان انرژی مصرفی کم بیشتر شده است. اغلب این سیستم‌ها از منابع تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست استفاده می‌کنند. در این نگارش به معرفی سیستم‌های سرمایشی و به طور گسترده سرمایش غیرفعال پرداخته می‌شود. مزیت، معایب و محدودیت استفاده از این روش‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. زمین، آسمان، آب و هوا از جمله منابع سرمایشی از طریق چاه‌های حرارتی طبیعی هستند. سرمایش تابشی نیز به دو صورت فعال و غیر فعال، صورت می پذیرد. کاهش انتقال حرارت نیز از عوامل تاثیر گذار در سرمایش غیرفعال است که در این نگارش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در انتهای این نگارش می‌توان نتیجه گرفت که سیستم‌های سرمایش غیرفعال می‌توانند جایگزین مناسبی برای سیستم‌های سرمایشی مکانیکی باشند و آسایش حرارتی .مناسبی را ایجاد کنند

کلیدواژگان: سیستم‌های سرمایش، سرمایش غیرفعال، چاه¬های حرارتی طبیعی

۱- مقدمه

انسان‌ها همیشه در پی فراهم آوردن محیط مناسبی برای زندگی کردن بوده و هستند. با توجه به پیشرفت روز افزون کشورها در امر صنایع و افزایش دمای محیط، نیاز افراد برای ایجاد فضای محیطی مناسب برای زندگی کردن نیز بیشتر شده است. از دغدغه‌های ایجاد شده در دوره جدید می‌توان به کمبود منابع انرژی و عوامل زیست محیطی اشاره نمود. تمایل جامعه بشری بیشتر به سوی استفاده از وسایل سرمایشی است که بتواند علاوه بر مصرف کم انرژی، کمترین میزان خسارت را به محیط زیست برساند. استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و نو که بیشترین تطابق‌پذیری را با محیط زیست دارند مورد توجه جامعه مهندسین قرار گرفته است. بنابراین در این نگارش سعی شده است به تحلیل روش‌های مختلف سرمایش محیطی با استفاده از روش‌های غیرفعال پرداخته و چندی از کارهایی که در این زمینه انجام شده است واکاوی شود.

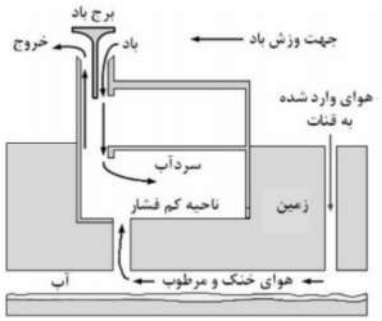
۲- تاریخچه

خنک کاری ریشه تاریخی بسیار طولانی دارد که ایرانیان در این زمینه از جمله پیشتازان و شاید اولین جامعه‌ای بودند که به دنبال روش‌هایی برای ایجاد فضای محیطی مناسب برای زندگی کردن افتادند. هر زمان صحبت از تهویه مطبوع به میان می‌آید، بدون شک بادگیر اولین تصویری است که به ذهن متبادر می‌شود، ابتکاری که کویرنشینان با استفاده از آن به مقابله با گرما رفتند و بدون استفاده از کوچک‌ترین ابزاری که نمادی از فناوری باشد، خنکای نسیمی دلنشین را به داخل خانه‌های خود آوردند.

بادگیرها، برج‌هایی هستند که برای تهویه بر بام خانه‌ها ساخته می‌شود. اساسا کولر آبی که در جهان به نام کولر ایرانی نیز شناخته می‌شود، ریشه‌ای ملی دارد و کارشناسان، بادگیرهای سنتی را که از چند هزار سال پیش در کشورمان وجود داشته است اجداد کولرهای کنونی می‌دانند.

عملکرد بادگیر به این صورت است که باد مطلوب را گرفته و آن را به داخل اتاق‌های اصلی ساختمان، آب انبار یا سرداب هدایت می‌کند. به این ترتیب باد مطلوب وارد بخش‌های مختلف ساختمان و باعث تهویه و خنکی آن می‌شود [۱] که شماتیکی از آن در شکل ۱ آورده شده است.

اکنون به تقسیم‌بندی انواع روش‌های سرمایش پرداخته می‌شود. سیستم‌های سرمایش را با توجه به میزان مصرف انرژی آنها به دو گروه فعال و غیرفعال تقسیم‌بندی می‌کنند.



شکل ۱ شماتیک بادگیر

۳- سیستم‌های سرمایش فعال

سیستم‌های سرمایش فعال[1] به سیستم‌هایی گفته می‌شود که در آنها از تجهیزات مکانیکی همچون کمپرسور، کندانسور، اواپراتور و... استفاده می‌شود. تجهیزات مکانیکی که از عوامل مصرف انرژی محسوب می‌شوند. از مزایای این سیستم می‌توان به در دسترس بودن، ایجاد شرایط محیطی مناسب با توجه به ارتباط کم آن با دمای محیط بیرون فضای سرد شونده و ... اشاره نمود. اما این نوع سیستم‌ها معایبی را نیز به همراه خود دارند که از جمله آن می‌توان به مصرف انرژی بالا و عدم تطابق‌پذیری با محیط زیست (به دلیل وجود سیال عامل مضر برای محیط زیست) اشاره نمود.

۴- سیستم‌های سرمایش غیرفعال

سیستم‌های سرمایش غیرفعال[2] به سیستمی گفته می‌شود که بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی پیچیده و پر مصرف، دمای محیط مورد بررسی را در شرایط مطلوب آسایش حرارتی حفظ نماید. این سیستم‌ها با استفاده از دفع حرارت به چاه حرارتی طبیعی یا جلوگیری از ورود گرما از چشمه حرارتی خارج فضای سرد شونده، عمل سرمایش را انجام می‌دهند. از مزایای این روش می‌توان به سازگاری آن با محیط زیست اشاره نمود. عملی بودن این روش تا حد زیادی به شرایط آب و هوای محلی بستگی دارد [۲].

۴-۱- سرمایش با استفاده از چاه‌های گرمایی طبیعی

با به کار بستن چاه‌های گرمایی[3] مانند زمین، هوا و آب که در مجاورت ساختمان‌ها وجود دارند، می‌توان سرمایش ساختمان را در طول فصول گرم فراهم نمود.

۴-۱-۱- آسمان به عنوان چاه حرارتی: سرمایش تابشی شبانه

فضای بیرونی (منطقه‌ای نسبتا خلأ که خارج از جو هواشناسی باشد) در درجه حرارت حدود ۴K [۳] و دارای پنجره‌های جوی[4] در محدوده طیفی ۸-۱۳ میکرومتر است [۴]. فرایند سرمایش را می‌توان با استفاده از دمای آسمان که به عنوان جسم سیاه نیز در نظر گرفته می‌شود انجام داد. سرمایش تابشی شبانه در مناطق خشک بهترین عملکرد را دارا است. در مناطق مرطوب، حتی اگر دمای آسمان پایین‌تر از دمای آسایش حرارتی باشد، نرخ پایین انتقال حرارت تابشی استفاده از این روش را محدود می‌سازد.

مهمترین محدودیت این سیستم زمان استفاده و کارایی آن است. در طول روز اثر تابشی خورشید بر اثر سرمایش غلبه می‌کند و کارایی سیستم کاهش می‌یابد. همچنین از محدودیت‌های دیگر آن می‌توان به فضای مورد نیاز این سیستم برای جذب اشعه تابشی اشاره نمود.

حیدری نژاد و همکاران [۵]، سیستم ترکیبی خنک کننده تابشی شبانه، کویل خنک کننده و سرمایش تبخیری مستقیم در تهران را مورد بررسی قرار دادند. در طول شب، خنک کننده تابشی شبانه آب سرد مورد نیاز برای یک واحد کویل خنک کننده را فراهم می‌کند. آب سرد در یک مخزن ذخیره سازی ذخیره شده و در طول هشت ساعت کاری روز بعد، هوای گرم خارج فضای مورد نظر توسط واحد کویل سرمایشی، پیش سرمایش و سپس وارد واحد سرمایش تبخیری می‌شود و عمل سرمایش صورت می‌پذیرد.

1. Active cooling
2. passive cooling
3. Natural heat sink
4. Atmospheric window

۴-۱-۲- زمین به عنوان چاه حرارتی: سرمایش زمین گرمایی

با افزایش نفوذ در عمق زمین، دامنه نوسانات دمایی آن کاهش و تقریبا در عمق ۴ متری از سطح زمین به مقدار ثابتی می‌رسد [۶]. درجه حرارت در این عمق از زمین حدودا برابر دمای متوسط سالانه محیط است. از این ویژگی می‌توان برای سرمایش فضای مورد بررسی در تابستان یا گرم کردن آن در زمستان استفاده نمود. این فرایند از دو طریق، ایجادکانال[1] و زمین پناهی[2] ساختن خانه امکان پذیر است. در روش زمین پناهی، بخشی از ساختمان را در زیر زمین می‌سازند. این روش با چالش‌های زیادی مانند نفوذ رطوبت، کپک زدگی و تهویه ضعیف هوا مواجه است.

در روش ایجاد کانال، با گذراندن لوله‌هایی در زیر زمین، هوای خنک یا گرم به داخل ساختمان انتقال داده می‌شود [۷]. هوایی که در روش گذراندن لوله در زمین یا همان ایجاد کانال زمینی فراهم می‌شود به مراتب بهتر از روش‌های دیگری است که در آن هوا در چرخه خنک کاری باز گردانده می‌شود. برای مناطقی که در آنها بیشتر طول سال گرم یا سرد هستند این روش بسیار مناسب است. هزینه اولیه بالا، وابستگی به اختلالات دمایی آب و هوا و نیاز به فضای افقی زیاد از جمله مهمترین معایب این روش است. با جاگذاری تجهیزات در حالت عمودی، محدودیت فضای افقی رفع خواهد شد اما هزینه اولیه افزایش می‌یابد.

۴-۱-۳- هوا به عنوان چاه حرارتی

اگر هوا خنک‌تر از فضای مورد بررسی باشد می‌تواند گرمای محسوس را از بین برده و عمل سرمایش را انجام دهد. تهویه و سرمایش تبخیری از جمله روش‌هایی هستند که در آنها هوا به عنوان چاه حرارتی عمل می‌کند.

۴-۱-۳-۱- سرمایش تهویه‌ای[3] (تعویض هوا)

تهویه می‌تواند شرایط دمایی فضای مورد بررسی را از طریق تعویض هوای گرم و مرطوب با هوای تازه بهبود ببخشد. این فرایند با رقیق کردن هوای محیط مورد بررسی علاوه بر خنک کاری آن، باعث افزایش کیفیت هوا نیز می‌شود. طراحی یک سیستم تهویه‌ای به پارامترهای گوناگونی مانند سرعت باد، راستای غالب باد و فضای قرارگیری سامانه بستگی دارد. سیستم‌های غیرفعالی مانند بادگیر و هواکش خورشیدی به امر تهویه کمک شایان توجه‌ای می‌کنند. آلودگی صوتی این سیستم‌ها زیاد است و به دلیل موضوعات امنیتی محدودیت کاربرد دارند. شرایط دمایی مطلوبی که این سیستم‌ها ایجاد می‌کنند با توجه به تغییرات دمایی و سرعت باد در طول روز تحت الشعاع قرار می‌گیرد. با توجه به افزایش ساخت و سازها امکان محدود شدن عبور باد از این سیستم‌ها وجود دارد و همچنین عدم تهویه مناسب موجب کاهش کیفیت هوای فضای سرد شونده می‌شود.

۴-۱-۳-۲- سرمایش تبخیری

سرمایش تبخیری[4] فرایندی است که در آن از تبخیر به عنوان یک جاذب گرمایی طبیعی استفاده می‌شود. در این فرایند گرمای محسوس هوا جذب شده و به عنوان گرمای نهان لازم برای تبخیر آب استفاده می‌شود. این سیستم برای شرایط هوایی گرم و خشک مناسب است اما برای موقعیت جغرافیایی گرم و مرطوب توسعه نمی‌شود. سرمایش تبخیری از دو طریق مستقیم و غیرمستقیم صورت می‌گیرد.

1. Earth tunnel cooling
2. Earth sheltering
3. Ventilation cooling
4. Evaporative cooling

۴-۱-۳-۲-۱- سرمایش تبخیری مستقیم

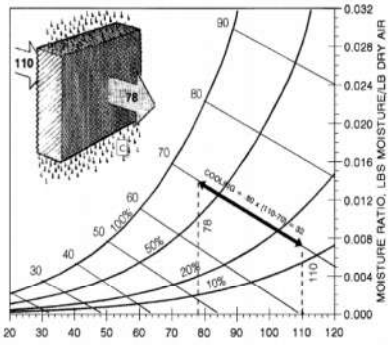
به فرایندی گفته می‌شود که با عبور هوا از یک محیط مرطوب، دمای آن (هوا) را کاهش می‌دهند. گرمای موجود در هوا باعث می‌شود که آب تبخیر شود. با توجه به اینکه به سیستم، گرمایی اضافه و کم نمی‌شود می‌توان فرایند را آدیاباتیک فرض کرد. آب ورودی به سیستم در دمای نقطه تر هوای ورودی تبخیر می‌شود. بنابرین نیازی به اضافه نمودن آب نمی‌باشد. شکل ۲ نشان دهنده فرایند این روش است.

۴-۱-۳-۲-۲- سرمایش تبخیری غیرمستقیم

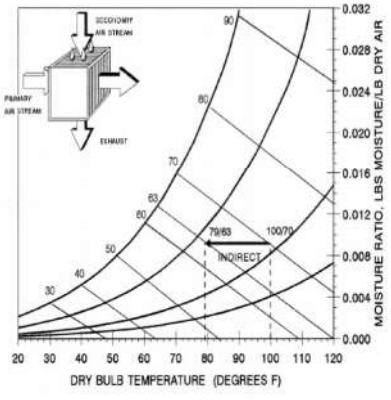
در این فرایند بخار هوای ثانویه با استفاده از آب خنک خواهد شد. بخار هوای خنک شده ثانویه وارد مبدل حرارتی می‌شود و بخار هوای اولیه ورودی را خنک می‌کند. در این روش هیچ افزایش رطوبتی اتفاق نمی‌افتد. شکل ۳ شماتیکی از این فرایند را نشان می‌دهد.

۴-۱-۴- آب‌های زیر زمینی به عنوان چاه حرارتی

آب‌های زیر زمینی با درجه حرارتی پایین‌تر از محیط می‌توانند به عنوان چاه حرارتی استفاده شوند.



شکل ۲ سرمایش تبخیری مستقیم



شکل ۳ سرمایش تبخیری غیرمستقیم

۴-۱-۴-۱- سرمایش هیدروژئوترمال

برای سرمایش فضای مورد نظر، آب‌های زیر زمینی سرد می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در سیستم‌های زمینی، پمپ حرارتی توسط سیستم لوله‌کشی به زمین متصل می‌شود و با به چرخش درآوردن سیال داخل آن باعث تبادل حرارت با زمین و یا آب‌های موجود در زمین می‌گردد. این سیستم‌ها به دو نوع عمده سیستم‌های باز و بسته تقسیم‌بندی می‌شوند. بنابراین برخلاف پمپ‌های حرارتی هوایی، سیستم‌های پمپ حرارتی زمینی، به یک چاه یا یک سیستم حلقه بسته، برای دریافت و یا بیرون دادن حرارت به زمین، نیاز دارند[۸].

۴-۱-۴-۱-۱- سیستم‌های با حلقه باز

سیستم باز، از آب‌های زیرزمینی که در یک چاه معمولی وجود دارد، به عنوان یک چاه حرارتی استفاده می‌کند. آب زیر زمینی به پمپ حرارتی فرستاده می‌شود تا در آنجا، حرارت آن گرفته شود. سپس آب مصرف شده به یک برکه، جوی، گودال، فاضلاب، رودخانه و یا دریاچه ریخته می‌شود. البته این فرآیند، معمولاً در روش تخلیه باز انجام می‌گیرد که ممکن است در تمام نواحی مقدور نباشد. در سیستم‌های باز، آب زیرزمینی به عنوان منبع و مدفن گرما عمل می‌کند، و در حقیقت واسطه انتقال گرما بین آب زیر زمینی و زمین می‌باشد (شکل ۴).

روش دیگر، تخلیه آب مصرفی به یک چاه ثانویه است، که آب را به زمین بر می‌گرداند و تحت عنوان چاه برگشت آب نامیده می‌شود. در بیشتر موارد دو چاه (دابلت[1]) مورد نیاز می‌باشد، یکی برای گرفتن آب از زمین و دیگری برای تخلیه آب استفاده شده، مورد نیاز می‌باشد.

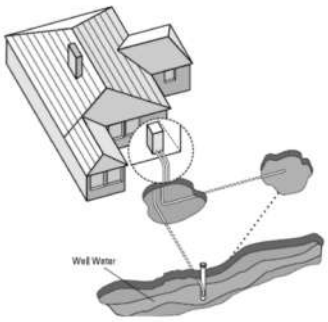
۴-۱-۴-۱-۲- سیستم‌های با حلقه بسته

یک سیستم حلقه بسته، حرارت را از زمین، با استفاده از حلقه پیوسته‌ای از لوله‌های پلاستیکی مخصوص که در زیر خاک قرار دارند، می‌گیرد. در سیستم بسته، سیال عامل در لوله‌های تحت فشار دوباره به گردش در می‌آید. لوله کشی در دو آرایش اصلی عمودی و افقی انجام می‌گیرد (مبدل حرارتی مارپیچ نوع دیگری است که در نواحی با فضای محدود و به ندرت استفاده می‌شود). آرایش عمودی بیشتر در خانه‌های شهری که فضای کمتری در دسترس است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۵ شماتیکی از آرایش عمودی لوله‌ها را نشان می‌دهد. استفاده از آرایش افقی، بیشتر در مکان‌هایی با قابلیت دسترسی به فضای زیاد، رایج می‌باشد (شکل ۶).

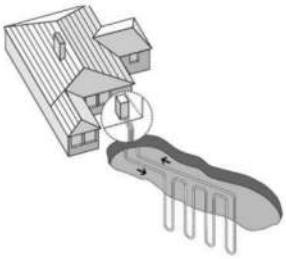
۴-۲- ایجاد سایه[2]

سایه را می‌توان با طیف گسترده‌ای از اقلام مانند محوطه سازی، سقف، ساخت روکش فلزی فتوولتائیک یکپارچه (در بخش سرمایش خورشیدی بیشتر به آن پرداخته خواهد شد)، ساختمان‌های مجاور و ... ایجاد نمود. نوعی گیاهان خاصی نیز وجود دارند که بر روی دیوارهای ساختمان رشد می‌کنند و در تابستان با ایجاد سایه، تعرق و ایجاد رطوبت به فرایند سرمایش کمک می‌کنند و در زمستان با توجه به خزان کردن گیاهان از تابش انرژی خورشیدی جلوگیری به عمل نیاورده و فرایند تابشی را تسریع می‌بخشند.

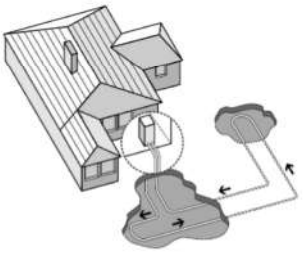
1. Doublet
2. Shading



شکل ۴ پمپ حرارتی با سیستم باز و منبع آب زیرزمینی



شکل ۵ آرایش عمودی سیستم حلقه بسته زمین گرمایی



شکل ۶ آرایش افقی سیستم حلقه بسته زمین گرمایی

۴-۳- سرمایش خورشیدی

ساختمان خورشیدی[3] به ساختمانی گفته می‌شود که توسط انرژی خورشیدی سرد یا گرم شود. سرمایش خورشیدی می‌تواند فعال یا غیرفعال باشد. در حالت فعال انرژی مورد نیاز برای دیگر تجهیزات دفع کننده گرما توسط انرژی خورشیدی تامین می‌شود. وظیفه تولید الکتریسیته از انرژی خورشیدی به عهده صفحات فتوولتائیک است. فتوولتائیک (Photovoltaic یا به اختصار PV) به یکی از انواع سامانه‌های تولید برق از انرژی خورشیدی می‌گویند [۹].

از موارد استفاده از سرمایش خورشیدی غیرفعال می‌توان به هواکش خورشیدی اشاره نمود که در ادامه به بررسی کاربردی از آن پرداخته خواهد شد. معرفت و همکاران [۱۰] سامانه تلفیقی سرمایش تبخیری و هواکش خورشیدی را بررسی کردند. سیستم تلفیقی آنها در شکل ۷ آورده شده است.

این سامانه از دو بخش تشکیل شده است. بخش اول مربوط به هواکش خورشیدی است که از یک صفحه شیشه‌ای و یک جذب کننده تشکیل شده است. انرژی ناشی از جذب شار خورشیدی در هواکش خورشیدی سبب گرم

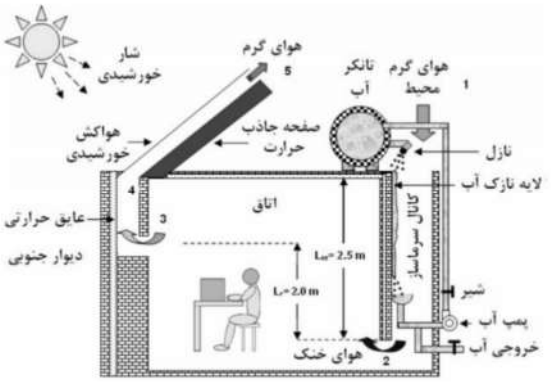
3. Solar house

شدن هوای داخل آن و متعاقبا کاهش چگالی آن می‌شود. نیروی شناوری ناشی از تفاوت چگالی میان هوای داخل و خارج هواکش، سبب مکش هوای داخل اتاق می‌شود. هواکش خورشیدی می‌تواند اثر استک[1] را افزایش دهد. این فرایند بدون اینکه دمای اتاق را افزایش دهد رخ می‌دهد.

هوا بر اثر تفاوت دما و فشار جابجا می‌شود و هرچه این اختلاف بیشتر باشد سرعت این جابجایی بیشتر خواهد بود. هوای گرم تمایل دارد رو به بالا حرکت کند و از راه خروجی سامانه‌های تهویه و روزنه‌های دیگر خارج شود و جای خود را به هوای سردی که از سطوح پایین‌تر می‌آید دهد. این موضوع که به آن اثر دودکشی گفته می‌شود در زمستان‌ها شدیدتر از تابستان‌ها است و می‌توان از آن در جهت تهویه طبیعی هوا کمک گرفت.

بخش دوم این سامانه یک خنک کن تبخیری است که در آن آب اسپری شده از کنار دیوار عبور کرده و به صورت فیلم نازکی به انتهای کانال سرازیر می‌شود. مابین این فرایند آب با هوا تبادل انرژی دارد. هوای نزدیک فیلم آب، میانگین دمای آب اسپری شده را به خود می‌گیرد. مادامی که فشار جزئی بخار آب در سطح تماس هوا و آب از فشار هوا بیشتر باشد انتقال جرم از آب به هوا صورت می‌پذیرد. یکی دیگر از عوامل تبادل انرژی، اختلاف دمای سطح آب با هوا است که منجر به فرایند جابجایی می‌شود. پمپ، آب جمع آوری شده در لگنی که انتهای کانال تبخیری تعبیه شده است را به چرخه سرمایش باز می‌گرداند. با توجه به اینکه آب، این چرخه را چندین بار طی می‌کند در انتها دمای آن به دمای اشباع آدیاباتیک هوا می‌رسد. بنابراین می‌توان این سیستم را سرمایش تبخیری غیرفعال مستقیم دانست.

نحوه‌ی عملکرد کلی سامانه اینگونه است که انرژی خورشیدی دمای هوای موجود در هواکش خورشیدی را افزایش داده، این هوای گرم شده بنابه دلایلی که پیشتر ذکر شده است موجب تهویه و چرخش هوای موجود از حفره‌ی تبخیری به سمت بیرون هواکش خورشیدی می‌شود. هوایی که توسط هواکش خورشیدی به سمت بیرون کشیده می‌شود از سطوحی مرطوبی در حفره‌ی تبخیری عبور می‌کند و موجب خنک شدن دمای اتاق می‌شود. با توضیحات داده شده هم فرایند سرمایش و هم فرایند تهویه هوای اتاق توسط کانال تبخیری و انرژی خورشیدی انجام می‌پذیرد.



شکل ۷ سامانه سرمایش طبیعی متشکل از هواکش خورشیدی و کانال سرمایش تبخیری

1. Stack

۴-۴- نقش جرم حرارتی و مواد تغییر فاز دهنده در سرمایش غیرفعال

ذخیره حرارتی[2] یا توده حرارتی به روش یا ایده‌ای گفته می‌شود که در طراحی ساختمان برای مقابله با نوسانات شدید دمای داخلی آن به کار برده می‌شود.

زمانی که دمای هوای بیرون ساختمان پایین است (شب هنگام)، جداره‌ها و سازه‌های سنگین و چگال ساختمان انرژی حرارتی را در خود ذخیره می‌کنند و در روز که دمای محیط بیرونی گرم می‌گردد انرژی سرمایی را به صورت انتقال تابشی و همرفتی در درون ساختمان آزاد می‌سازند (و برعکس). به کمک روش ذخیره حرارتی بدون نیاز به وسایل گرم کننده یا سرد کننده می‌توان دمای ساختمان را در اقلیم‌هایی که اختلاف دمای روز و شب زیاد است متعادل ساخت. آب، بتن و سنگ نمونه‌هایی از مواد جرم حرارتی بالا می‌باشند. ماده تغییر فاز دهنده[3] (PCM) ماده‌ای است با نقطه ذوب (همجوشی) بالا، که در دمای خاصی ذوب یا جامد می‌شود و قادر به ذخیره سازی و انتشار مقادیر زیادی از انرژی است. حرارت زمانی که تغییرات مواد از جامد به مایع و بالعکس رخ می‌دهد جذب شده یا آزاد می‌شود. بنابراین، PCM به عنوان ذخیره ساز گرمای نهان طبقه‌بندی می‌شود [۱۱].

۵- نتیجه‌گیری

در این نگارش به بررسی انواع مختلفی از روش‌های سرمایش غیرفعال پرداخته شد. مزیت‌ها و معایب روش‌های گوناگون ذکر شد. مختصری از نتایج بدست آمده از این نگارش عبارتند از:

- سیستم‌های سرمایشی غیرفعال جایگزینی مناسب برای سیستم‌های سرمایش مکانیکی می‌باشند.
- سیستم‌های سرمایش غیرفعال سازگار با محیط زیست هستند و آسایش حرارتی مناسبی را ایجاد می‌کنند.
- این سیستم‌ها، سیستم‌های پویایی هستند که عملکردشان با زمان، روز و فصل تغییر می‌کند.
- طراحی سیستم‌های سرمایش غیرفعال به شدت به محیطی که قرار است در آن کار کنند وابسته است.

۶- مراجع

[1] *Wind catcher*, accessed 3 June 2014; http://www.taraznews.com/content/33332.
[2] D.G.L. Samuel, S.M.S.Nagendra, and M.P. Maiya, Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: A review, *Building and Environment*, 2013, 66, (0), pp. 54-64.
[3] Ali AHH, Taha IMS, Ismail IM, Cooling of water flowing through a night sky radiator, *Sol Energ* 1995;55:235-53.
[4] B. Orel, M.K. Gunde, A. Krainer, Radiative cooling efficiency of white pigmented paints, *Sol Energ* 1993;50:477-82.
[5] G. Heidarinejad, M. Farmahini Farahani, and S. Delfani, Investigation of a hybrid system of nocturnal radiative cooling and direct evaporative cooling, *Building and Environment*, 2010, 45, (6), pp. 1521-1528.
[6] S.S. Bharadwaj, N.K. Bansal, Temperature distribution inside ground for various surface conditions, *Build Environ* 1981;16:183-92.
[7] M. Maerefat, and A.P. Haghighi, Passive cooling of buildings by using integrated earth to air heat exchanger and solar chimney, *Renewable Energy*, 2010, 35, (10), pp. 2316-2324.
[8] *geothermal pumps*, accessed 2 June 2014; http://www.suna.org.ir/fa/geothermal/pumps.
[9] *Photovoltaics*, accessed 15 June 2014; http://mehdibaghalha.persianblog.ir/post/311/v.
[10] M. Maerefat, and A.P. Haghighi, Natural cooling of stand-alone houses using solar chimney and evaporative cooling cavity, *Renewable Energy*, 2010, 35, (9), pp. 2040-2052.
[11] *Phase-change material*, accessed 28 June 2014; http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-change_material.

2. Thermal mass
3. phase change material