خنک‌سازی غیرمکانیکی تبخیری

دکتر زهرا قیابکلو*

چکیده

امروزه مسائلی از قبیل محدودیت ذخایر انرژی فسیلی و همچنین هزینهٔ بالای تولید انرژی الکتریکی و مهمتر از آن آلودگی زیستی ناشی از بهره‌گیری از وسایل مکانیکی تنظیم شرایط محیطی سبب شده که در بسیاری از کشورهای جهان توجه سیاستگذاران طراحی معماری و پژوهشگران به سمت مطالعات در زمینهٔ چگونگی طرح و احداث بناهای کارآمد یا به کارگیری انرژیهای طبیعی برای حل مسائل سرمایش و گرمایش معطوف گردد.

با توجه به موقعیت جغرافیایی و وسعت قابل ملاحظهٔ مناطق گرم و خشک کشور ایران، به کارگیری سیستمهای سرمایش تبخیری می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

مقالهٔ حاضر نگرشی کلی به انواع گوناگون سیستمهای خنک‌سازی غیرمکانیکی تبخیری و بحث و بررسی دربارهٔ نحوهٔ اجرا و همچنین مزایا و معایب سیستمهای فوق است.

کلید واژه‌ها

خنک‌سازی غیرمکانیکی تبخیری، آسایش حرارتی، بناهای کارآمد، معماری اقلیم گرم و خشک.

---

* استادیار گروه آموزشی معماری، دانشکده هنرهای زیبا ـ دانشگاه تهران.

مقدمه

از آنجایی که اغلب ساختمانهای امروزی ایران بدون توجه به شرایط اقلیمی و بهره‌گیری صحیح از منابع طبیعی انرژی بنا شده است و بعضاً تقلیدی غیرآگاهانه از معماری غرب می‌باشند. شرایط داخلی این‌گونه بناها در اکثر مواقع سرد و گرم سال غیرقابل تحمل است و چاره‌ای جز به کارگیری وسائل مکانیکی تنظیم کنندهٔ شرایط داخلی ساختمان باقی نمی‌ماند.

مسئلهٔ تهویه و خنک‌سازی یکی از عمده‌ترین و پرهزینه‌ترین معضلات ساختمانهای مدرن امروزی در بسیاری از مناطق گرم و حتی معتدل جهان است. این‌گونه بناها اعم از آپارتمانها، آسمانخراشها، مراکز تجاری، ساختمانهای اداری و غیره، به لحاظ شکل ظاهری بعضاً به گونه‌ای طراحی شده‌اند که عملاً امکان تهویهٔ طبیعی وجود ندارد. همچنین در بسیاری از ساختمانهای اداری در کشورهای توسعه یافته، به دلیل گرمای ناشی از کامپیوترهای متعدد و روشناییهای مصنوعی، حتی در فصول سرما نیز تهویه و تبرید مکانیکی با هزینه‌های گزاف صورت می‌گیرد.

طبق پژوهشی که در سال ۱۹۸۲ میلادی با عنوان «مصرف و صرفه‌جوئی انرژی در ساختمانها» انجام گرفته است، تقریباً ۴۰ درصد از کل انرژی تولیدی در جوامع توسعه یافته صرف بخش ساختمان می‌شود که قسمت اعظم آن مربوط به دستگاههای تهویهٔ مطبوع است.[۱] گذشته از مسئله مصرف انرژی و هزینه‌های سنگین مربوط به آن، معضل آلودگی ناشی از استفاده از مادهٔ کلرو فلورو کربن (CFC) در صنعت تهویه و تبرید یکی از خطرناکترین مضرات این سیستمها محسوب می‌شود. آمار و ارقام منتشر شدهٔ جهانی در سال ۱۹۹۰ میلادی حاکی از آن است که سیستمهای تهویه و خنک‌ساز به تنهایی ۲۵ درصد کل CFC تولیدی جهان را مصرف می‌کنند که یکی از مهمترین عوامل تخریب لایهٔ اُزُن جو زمین به‌شمار می‌رود.[۲]

با توجه به عوامل فوق، امروزه در بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، مبالغ قابل توجهی صرف تحقیق و مطالعات در زمینهٔ چگونگی طرح و احداث ساختمانهای کارآمد از لحاظ صرفه‌جویی در مصرف انرژی و راه‌حلهای طبیعی برای حل مسئلهٔ سرمایش و گرمایش می‌شود و جهت‌گیری سیاستهای طراحی ساختمان به سوی بهره‌مندی هرچه بیشتر از انرژیهای ناشی از عوامل اقلیمی است.

سیستمهای خنک‌ساز غیرمکانیکی

به طور کلی، انواع سیستمهای خنک‌ساز غیرمکانیکی (Passive Cooling Systems) از نقطه نظر انتقال حرارت (Heat transfer) به چهار گروه عمدهٔ زیر تقسیم می‌شود:

۱. خنک‌سازی تبخیری (Evaporative cooling)

۲. خنک‌سازی با جریان هوا (Convective cooling)

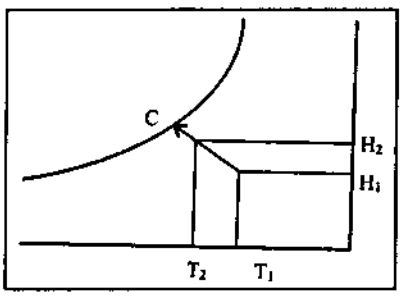
۳. خنک‌سازی با تشعشع (Radiant cooling)

۴. خنک‌سازی از طریق زمین (Earth cooling)

قابل ذکر است که این سیستمها را می‌توان از جنبه‌هایی دیگر نیز تقسیم‌بندی کرد. به‌عنوان مثال از لحاظ طرق کاهش جذب حرارت از قبیل جهت‌گیری مناسب ساختمان، ایجاد سایه، عایق‌کاری و درزبندی، جنس و رنگ نما و یا از لحاظ انواع منابع خنک کننده مانند هوا، آسمان، آب و خاک، نوع انتقال حرارت و روشهای ذخیرهٔ سرما، که بسط و توضیح هریک از این موارد خارج از حوصلهٔ این نوشتار است.

در اقلیمهای گرم و خشک، علاوه بر مسئله گرما، خشکی هوا و پایین بودن میزان رطوبت از عوامل آزاردهندهٔ دیگری به‌شمار می‌رود. بنابراین، در میان انواع راه‌حلهای غیرمکانیکی و طبیعی، خنک‌سازی تبخیری علاوه برآنکه موجب کاهش دمای هوا می‌شود، به افزایش رطوبت نسبی نیز می‌انجامد و در نتیجه شرایط محیطی مطلوبتری ایجاد می‌کند.

به طور کلی، پدیدهٔ تبخیر هنگامی رخ می‌دهد که سطح آب در معرض تماس با هوای گرم و خشک قرار گیرد، خواه به صورت اسپری کردن آب در هوا، یا در قالب یک مادهٔ مرطوب و یا به شکل آزاد در طبیعت و کنار برکه‌ها و آبشارها.



تصویر شمارهٔ ۱. روند خنک‌سازی از طریق تبخیر در جدول سایکرومتریک

با توجه به جدول سایکرومتریک (تصویر شمارهٔ ۱)، هوای گرم در نقطهٔ A با درجه حرارت خشک (T_1)، درجه حرارت تر (C) و رطوبت (H_1) توسط فرایند خنک‌سازی تبخیری به سمت نقطهٔ C حرکت می‌کند و بنابراین از میزان دمای خشک هوا کاسته و به میزان رطوبت افزوده می‌گردد. جایگاه نقطهٔ B بستگی به بازدهی سیستم خنک‌ساز خواهد داشت، بدان معنا که با ۱۰۰ درصد بازدهی سیستم، درجه حرارت به پایین‌ترین حد ممکن

می‌رسد و بر درجه حرارت تر (نقطهٔ C) منطبق می‌شود و هرچه درصد بازدهی پایین‌تر باشد، نقطهٔ B به نقطهٔ A نزدیکتر می‌شود. بدین ترتیب، هرچه میزان اختلاف درجه حرارت تر و درجه حرارت خشک در یک منطقه بیشتر باشد، سیستم کارایی مفیدتری خواهد داشت.

سیستم‌های خنک‌سازی تبخیری

هنگامی که آب از حالت مایع به بخار تبدیل می‌شود، حرارت قابل توجهی را از محیط پیرامون خود جذب می‌کند. از این پدیدهٔ جذب حرارت به دو طریق می‌توان در خنک کردن ساختمانها بهره جست؛ اگر آب تبخیر شده و هوای خنک حاصله به طور مستقیم وارد فضای داخل ساختمان شود، عمل انجام شده و هوای خنک حاصله به طور مستقیم وارد فضای داخل ساختمان شود، عمل انجام شده را «سیستم خنک‌سازی با تبخیر مستقیم» و اگر عمل تبخیر در خارج فضای داخلی ساختمان انجام گردد و موجب جذب حرارت از عناصر ساختمانی (مانند سقف) شود و در نتیجه فضای داخل ساختمان به صورت غیرمستقیم خنک شود، این عمل «سیستم خنک‌سازی با تبخیر غیرمستقیم» نامیده می‌شود.

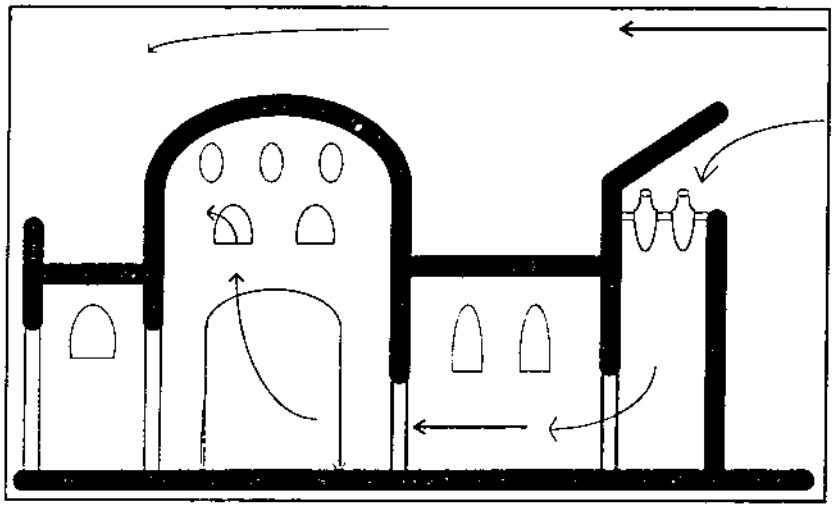
الف ـ سیستم خنک‌سازی با تبخیر مستقیم

در گذشته در بسیاری از مناطق گرم و خشک جهان، تدابیر مختلفی برای حل مسئلهٔ گرما اندیشیده شده است. در بعضی از مناطق مصر، از بادگیر و کوزه‌های حاوی آب توأماً برای ایجاد هوای خنک و مرطوب استفاده می‌شود (تصویر شمارهٔ ۲). هوای گرم ورودی توسط بادگیر از سطح کوزه‌های حاوی آب عبور داده و در نتیجه مرطوب می‌شود. هوای خنک شده نیز به حرکت جریان هوا به سمت پایین کمک می‌کند و بدین ترتیب، هوای خنک در داخل ساختمان جریان می‌یابد.

در سال ۱۹۸۶ میلادی، نوع پیشرفتهٔ سیستم مذکور در منطقهٔ آریزونای امریکا مورد آزمایش قرار گرفت.[۳] بدین منظور، ساختمانی متعلق به آزمایشگاه تحقیقات محیط زیست با ۹۳ مترمربع زیربنا انتخاب شد. این بنا شامل یک بادگیر به ارتفاع ۷/۶ متر و سطح مقطع ۱/۸ × ۱/۸ مترمربع، و در سمت مقابل یک دودکش خورشیدی (Solar chimney) با سطح مقطع ۱/۲ × ۳/۴ مترمربع و ارتفاع ۷/۶ متر برای مکش هوای داخل به منظور ایجاد جریان هواست (تصویر شماره ۳). در قسمت فوقانی بادگیر، صفحاتی از جنس سلولز به ضخامت ۱۰ سانتیمتر قرار داده شده است که با قطرات آب مرطوب می‌شود. در ضمن، آب اضافی نیز به کمک پمپی به قدرت ۹۰ وات در مخازنی که در قسمت تحتانی صفحات تعبیه شده است مجدداً گردش می‌یابد. بدین ترتیب، طی مطالعات ثبت شده، در حالی که حداکثر درجه حرارت خشک و تر هوای خارج به ترتیب ۴۰/۶ و ۲۱/۶ درجهٔ سانتیگراد بوده، دمای هوای دریافتی از بادگیر ۲۳/۹ درجهٔ سانتیگراد و سرعت آن ۰/۷۵ متر در ثانیه اندازه‌گیری شده است که کاهش دمای قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. از جمله اشکالات این سیستم می‌توان به هزینهٔ ساخت بادگیر و همچنین دودکش خورشیدی اشاره کرد.

مردم کشور هند در برخی نقاط از روش سنتی استفاده از علف کاسکاس (Khuss-Khuss) برای خنک کردن منازل خود استفاده می‌کنند. آنان علفها را به صورت پرده در تابستان جلو پنجره و در نصب می‌کنند و از آنجایی که این علف بسیار نفوذپذیر است، تا مدت طولانی می‌تواند رطوبت را در خود نگاه دارد. با پاشیدن متناوب آب، پردهٔ مذکور مرطوب نگاه داشته و بادی که از لا به لای منافذ آن عبور می‌کند خنک و مرطوب می‌شود.

سیستم مشابه دیگری که می‌توان بدان اشاره کرد، صفحات مرطوب شونده‌ای است که جلو پنجره‌ها نصب می‌کنند که یا از جنس پوشالی است که در کولرهای آبی از آنها استفاده می‌شود و یا از جنس خرده سنگهایی که توسط دو جدارهٔ سیم توری محافظت می‌شوند. با نصب این صفحات در جدارهٔ رو به باد ساختمان و مرطوب نگاه داشتن آنها در فصل



تصویر شمارهٔ ۲. سیستم خنک‌سازی سنتی در مصر

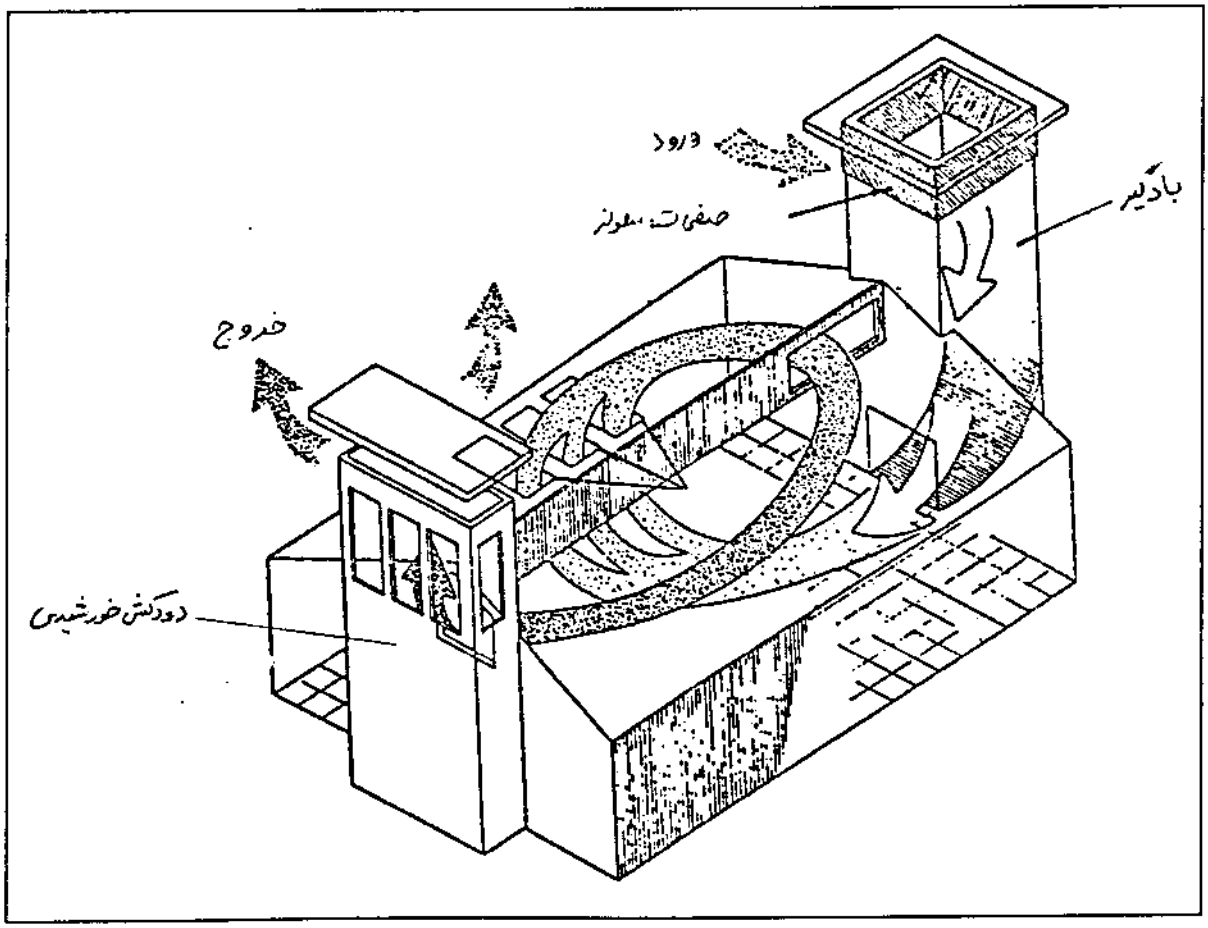
تابستان، اختلاف دمای محسوسی حاصل می‌آید. از جمله اشکالات این سیستم می‌توان به کاهش سرعت جریان هوا در داخل ساختمان و همچنین مسدود کردن دید از پنجره‌ها اشاره کرد.

استفاده از حوضخانه‌ها و همین طور حیاط‌های مرکزی با گیاهان سرسبز و آبنماها نیز مثال‌های دیگری هستند که مردم کشور ما از دیرباز با آنها آشنایی دارند.

ب ـ سیستم خنک‌سازی با تبخیر غیرمستقیم

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، این سیستم از طریق خنک کردن یکی از عناصر ساختمانی به کمک تبخیر عمل می‌کند. در این نوع راه‌حل، هوای داخل ساختمان بدون هیچ‌گونه افزایشی در رطوبت خنک می‌شود. به همین دلیل، از این روش می‌توان در مناطق گرم و مرطوب نیز بهره جست. استفاده از حوضچه‌ها یا استخرهای سقفی (Roof ponds) یکی از رایج‌ترین انواع این سیستم‌هاست که اولین بار در دهه ۱۹۳۰ میلادی به اجرا درآمد و نتایج موفقیت‌آمیزی را نیز به دنبال داشت. روش کار این سیستم، خنک کردن سقف بنا و در نتیجه، جذب حرارت توسط آبی است که در سقف تبخیر می‌شود. اولین تجارب به این شکل بود که سقف بنا به صورت استخری با عایق رطوبتی کامل به عمق تقریبی ۱۰ سانتیمتر ساخته می‌شد. بدین ترتیب در طول روز بخشی از انرژی تابشی نور خورشید منعکس و بخش قابل ملاحظهٔ دیگر صرف تبخیر آب موجود استخر می‌شود و در نتیجه انرژی دریافتی از طریق سقف ساختمان، که اصلی‌ترین عنصر جذب حرارت خورشید در طول روز است، کاهش می‌یابد.

نوع تکامل یافته این سیستم (Sky-therm) اولین بار توسط هی‌ویلوت در سال ۱۹۶۹ میلادی پیشنهاد شد و مورد آزمایش قرار گرفت.[۴] این سیستم شامل سقفی دو جداره است که جدارهٔ اصلی به همان صورت قبلی حوضچه‌ای است با عمق تقریبی ۱۰ سانتیمتر آب و جدارهٔ دوم سقف متحرکی است ساخته شده از عایق حرارتی مناسب. هنگام تابستان، در طول روز، برای ممانعت از تابش خورشید و گرم شدن آب درون استخر هم از طریق تشعشع و هم تبخیر پایین می‌آید و بدین ترتیب همواره خنک می‌ماند (تصویر شمارهٔ ۴). یکی دیگر از



تصویر شمارهٔ ۳. سیستم ورود هوای مرطوب از طریق بادگیر و خروج از طریق دودکش خورشیدی[۳]

مزایای این سیستم، کاربرد آن در فصل سرماست. در زمستان عمل باز و بسته شدن سقف متحرک در طول شبانه روز به صورت عکس انجام می‌پذیرد؛ بدین صورت که صبح هنگام همراه با طلوع خورشید، سقف عایق باز می‌شود تا با تشعشع نور خورشید حرارت را جذب کند و در هنگام شب، برای حفظ گرمای حاصله سقف را می‌بندند (تصویر شمارهٔ ۵). بدین ترتیب آب درون استخر و بالطبع هوای درون ساختمان گرم نگاه داشته می‌شود.

سرمایش طبیعی توسط بام‌های پوشیده از کاه روش دیگری است که در برخی از نقاط گرمسیری (با بارانهای تابستانی) ژاپن رواج دارد. بنا بر گزارش سال ۱۹۸۲ میلادی کیمورا (Kimura) و یامازاکی (Yamazaki)، این‌گونه بام‌ها در طول شب به سبب بارندگی رطوبت را جذب می‌کنند و در طول روز به تدریج رطوبت جذب شده را از طریق تبخیر از دست می‌دهند. به این ترتیب دمای درونی کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. ارقام ثبت شده نشانگر آن است که در دمای هوای ۳۳ درجهٔ سانتیگراد خارجی، دمای درونی ۲۵ درجه سانتیگراد بوده است.[۵]

در زمینهٔ به کارگیری سقف بناها برای تأمین سرمای مورد نیاز ساختمان‌ها، چه از طریق تبخیر و چه از طریق تشعشع و یا هر دوی آنها، طرح‌ها و پیشنهادهای متعددی به مرحله تجربه و آزمایش در آمده‌اند که اشاره به کلیه موارد، خارج از حوصلهٔ این مقاله است و تنها به بررسی مختصر یک مورد از آنها که در سال ۱۹۸۱ میلادی توسط گیوونی ارائه شده پرداخته می‌شود.[۶]

در این نمونه، ۸ مدل کوچک براساس راه‌حل‌های مختلف خنک‌سازی از طریق سقف ساخته شده و همزمان مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته‌اند (جدول ۱)، که عبارت‌اند از:

۱. سقف استاندارد با عایق حرارتی برای مقایسه با سایر موارد (مدل پایه).

۲. استفاده از رنگ سفید در بام برای انعکاس نور خورشید.

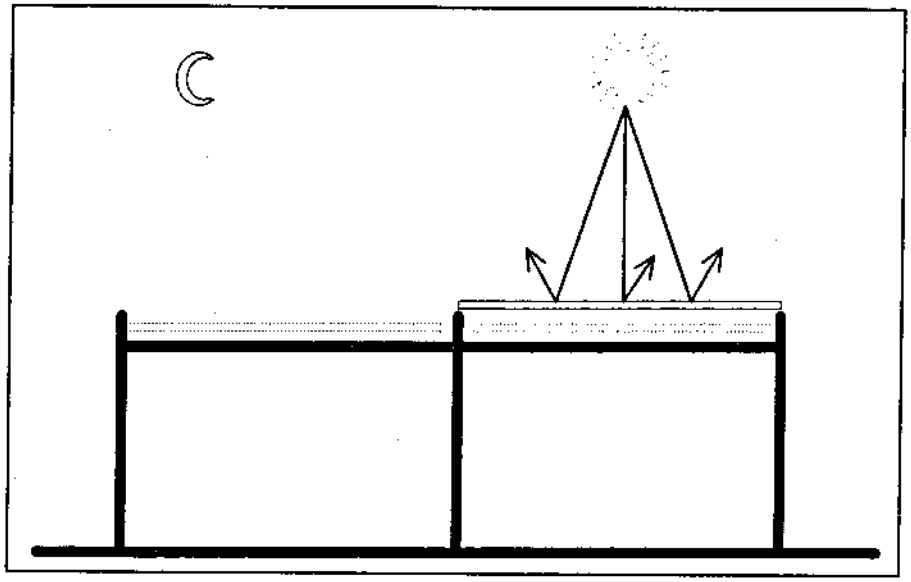
۳. ایجاد سایه و جریان مداوم هوا در بام.

۴. استفاده از آب در سقف به صورت استخر بدون پوشش.

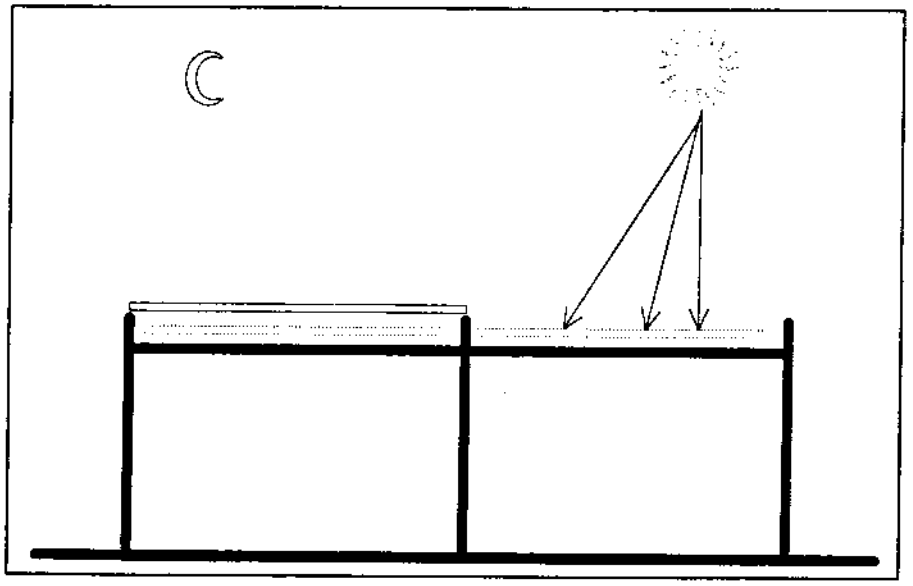
۵. استفاده از آب در سقف با پوشش برای ایجاد سایه.

۶ استفاده از سقف متحرک و عایق حرارتی روی حوضچه‌های آبی بام به صورتی که در روز پوشیده و شب هنگام باز گردد.

۷. سقف بتنی همراه با سقف



تصویر شمارهٔ ۴. روند سرمایش در تابستان



تصویر شمارهٔ ۵. روند گرمایش در زمستان

جدول شماره ۱. حداکثر، حداقل و میانگین درجه حرارت حاصله از سقف‌های متحرک.[۶]

موارد اندازه‌گیری شده	دمای سطح سقف					دمای هوای داخل				
انواع سیستمها	Min.	Max.	Ave.	ΔMax.	ΔAve.	Min.	Max.	Ave.	ΔMax.	ΔAve.
درجه حرارت خشک هوای خارج (DBT)	۱۵/۳	۲۶/۹	۲۱/۱	—	—	۱۵/۳	۲۶/۹	۲۱/۱	—	—
درجه حرارت‌تر هوای خارج (WBT)	۱۴	۱۹	۱۶/۵	—	—	۱۴	۱۹	۱۶/۵	—	—
سقف استاندارد با عایق حرارتی کامل	۱۹/۵	۲۴/۶	۲۲	—	—	۱۹/۴	۲۵/۶	۲۲/۵	—	—
استفاده از رنگ سفید	۱۲/۳	۳۰/۸	۲۱/۵	۶/۲	- ۰/۵	۱۴/۲	۳۰/۴	۲۲/۳	۴/۸	- ۰/۲
ایجاد سایه و جریان هوا	۱۵/۹	۲۸/۸	۲۲/۳	۴/۲	۰/۳	۱۶/۶	۲۹/۱	۲۲/۸	۳/۵	۰/۳
استخر بدون پوشش	۱۴	۲۷/۱	۲۰/۵	۲/۵	- ۱/۵	۱۴/۶	۲۷/۸	۲۱/۲	۲/۲	- ۱/۳
استخر با پوشش جهت سایه	۱۵/۲	۱۹/۹	۱۷/۵	- ۴/۷	- ۴/۵	۱۵/۶	۲۱/۹	۱۸/۷	- ۳/۷	- ۳/۸
استخر با پوشش عایق حرارتی متحرک	۱۳/۷	۱۹/۷	۱۶/۷	- ۴/۹	- ۵/۳	۱۴/۷	۲۱/۴	۱۸	- ۴/۲	- ۴/۳
سقف بتنی و عایق متحرک	۱۴	۲۱/۹	۱۷/۶	- ۳/۴	- ۴/۴	۱۵/۲	۲۲/۴	۱۸/۸	- ۳/۲	- ۳/۷
سقف، عایق حرارتی، سنگریزه و آب	۱۷/۴	۲۱/۴	۱۹/۴	- ۳/۲	- ۲/۶	۱۷/۸	۲۲/۵	۲۰/۱	- ۳/۱	- ۲/۴

متحرک عایق حرارتی که در طول روز بسته و هنگام شب باز گردد.

۸. استفاده از سه لایهٔ عایق حرارتی، قشر سنگریزه و آب در بام.

نتایج حاصل نشانگر آن است که در سقفی که از رنگ سفید به عنوان عنصر انعکاسی استفاده شده است، دمای سقف در اکثر اوقات پائین‌تر از دمای خارج بوده است. اما به هر حال حداکثر دمای داخلی بالاتر از دمای خارج بوده است. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که این راه‌حل بیشتر برای مناطق گرم و معتدل مناسب است. قابل ذکر است که این‌گونه سقف‌ها در فصل زمستان موجب از دست دادن انرژی گرمایی فراوان می‌گردد.

ایجاد سایه برروی بام نیز مانع جذب فراوان حرارت توسط تشعشع مستقیم نور خورشید و همچنین حذف انتشار امواج با طول موج بلند می‌شوند و تنها راه‌حل باقیمانده جذب حرارت از طریق جابجایی هوای گرم بین سطح بام و سایه‌بان خواهد بود. متوسط حرارت داخلی، تقریباً مشابه سقف استاندارد است، اما نوسان حرارت داخلی (تفاضل حداقل و حداکثر) در حدود ۱۳ درجه سانتیگراد است، در صورتی که در مدل پایه این نوسان ۶ درجه سانتیگراد بوده است. همچنین حداکثر درجه حرارت داخلی بالاتر و حداقل آن پایین‌تر بوده است.

مدل استخر آب بدون سایه‌بان از جمله نمونه‌های اولیهٔ کاهش غیرمستقیم درجه حرارت داخلی از طریق تبخیر است. نتایج حاصل نشانگر آن است که در این رویه، حوضچه آب تمامی اشعهٔ مادون قرمز نور خورشید را جذب می‌کند و در مجموع انرژی حرارتی بیشتری را در مقایسه با مدل سفید رنگ دریافت می‌دارد، اما در عین حال گرمای حاصل را از طریق تبخیر و انتشار امواج با طول موج بلند از دست می‌دهد.

به طور کلی، می‌توان گفت که حوضچهٔ سقفی بدون ایجاد پوشش، تأثیر محسوسی در کاهش دمای داخلی مناطق گرم و خشک به دنبال نخواهد داشت، در صورتی که در نمونهٔ بعدی که استخر آب همراه با سایه‌بان در نظر گرفته شده است، کاهش دمای چشمگیری دیده می‌شود. در این مدل، سقف به عنوان یک عنصر خنک‌کنندهٔ فضای داخلی به‌شمار می‌رود. هنگام شب کاهش دمای آب تنها از طریق تبخیر صورت می‌گیرد و از طریق تشعشع امکان‌پذیر نخواهد بود. در نتیجه، حداقل دمای داخلی در مقایسه با استخر بدون پوشش بیشتر است و در مقایسه با مدل پایه، میانگین، حداکثر و حداقل درجه حرارت داخلی کمتر است. این سیستم برای تابستان‌ها مفید است اما در زمستان‌ها حتی اگر آب استخر را خالی کنند، چون در سقف سایه ایجاد می‌شود، مناسب نیست و برای مناطق با زمستان گرم سودمندتر است.

سیستم حوضچهٔ آب با عایق متحرک یکی از پر هزینه‌ترین و در عین حال سودمندترین سیستمها در دو فصل تابستان و زمستان است. حداکثر دمای سطح سقف و دمای داخلی در مقایسه با سایر مدل‌ها کمتر است و میانگین، حداکثر و حداقل دمای داخلی همواره پایین‌تر از مدل استاندارد است.

در سقف بتنی با عایق متحرک، ذخیرهٔ سرما و نقش خنک‌سازی به خوبی ایفا می‌شود و در مقایسه با مدل پایه، ارقام نشانگر کاهش دما در تمام مواقع است.

طرح مدل نهایی سقفی است که با یک لایهٔ عایق حرارتی، قشری از سنگریزه و سپس استخری از آب پوشانده شده است. در اینجا

سنگریزه‌ها، اولاً برای ثابت نگاه داشتن صفحات عایق روی بام و ثانیاً برای ایجاد سایه و ممانعت از تابش مستقیم نور خورشید به سقف به کار برده می‌شوند. بدین ترتیب، حصول سرما از طریق تبخیر در فصل تابستان امکان‌پذیر است و در فصل زمستان نیز با خالی کردن آب درون استخر می‌توان از عایق بودن سقف و در نتیجه به حداقل رسیدن تبادل حرارتی از این طریق استفاده کرد. دمای داخلی این سیستم نیز همواره پائین‌تر از مدل پایه است، اما به خوبی سه مدل پیشین نمی‌باشد. به هر حال، استفاده از این راه‌حل ارزان‌تر از سقف متحرک است.

سیستم‌های حوضچهٔ سقفی علی‌رغم منافع و مزایایشان، معایبی نیز دارند که به نوبهٔ خود بسیار قابل توجه بوده و موجب عدم استقبال از این سیستم شده است. برخی از این اشکالات عبارتند از:

الف ـ پر هزینه بودن ساخت سقف دو جداره و همینطور اجرای عایق رطوبتی با کیفیت مناسب.

ب ـ اشکالات ناشی از باز و بسته کردن سقف متحرک.

ج ـ محدودیت عملکرد سیستم و استفادهٔ آن تنها برای ساختمانهای یک طبقه و یا بالاترین طبقهٔ ساختمان‌های چندین طبقه.

در خاتمه قابل ذکر است که تحقیقات و مطالعات وسیعی در مراکز پژوهشی جهان در جهت رفع مشکلات سیستم‌های مذکور و پیشنهاد سیستم‌های جدید و کاراتر در حال انجام است.

نتیجه

در مناطق گرم و خشک و نیمه خشک، علاوه بر مسئلهٔ گرما، کاستی میزان رطوبت هوا یکی از عوامل مهم تأثیر گذارنده بر عدم آسایش محیطی است. از این‌رو پرداختن به رفع این معضل از طریق راه‌حل‌های طبیعی قابل تحسین بوده و در این میان نقش مؤثر سیستم‌های تبخیری مستقیم غیرقابل انکار می‌باشد. بدیهی است که در نظر گرفتن عواملی از قبیل هزینه، سادگی تکنیک و قابلیت اجرا و بُعد زیبایی سیستم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و در غیر اینصورت مورد استقبال قرار نخواهد گرفت.

این مقاله نگرش مختصری بود جهت آشنایی بر اصول کلی سیستم‌های خنک‌کنندهٔ مستقیم و غیرمستقیم تبخیری که بدون اتکا بر نیروی الکتریسیته، در حد امکان قادر به فراهم نمودن آسایش و تنظیم شرایط محیطی می‌باشند.

منابع و مآخذ

1. carroll, D. 1982. Energy Consumption and Conservation in Buildings: An International Comparison. Proce 3rd Int. Symposium of Energy Conservation in the Built Environment. Vol. 1 A, CIB / AN Foras Fobartha Dublin.
2. Kelly. S. 1990.Global Phase-out of Fully Halogenated Chloroflurocarbons Under the Terms of the Montreal Protocol Potential Replacements and Their Current Status. Proc ASHRAE - FRIGAIR'90. CSIR. Pretoria, RSA.
3. Cunningham, W. A. and hompson, T. L. 1986. Passive Cooling with Natural Draft Cooling Towers in Combination with Solar Chimney. Passive and Low Energy Conference PLEA.
4. Hay. H., and Yellot, J.I. 969. Natural Air Conditioning with Roof Ponds and Moveable Insulation. ASHRAE Trans. 75, 165.
5. Kimur, K. and Yamazaki, K. 1982. Passive Cooling Performance of Thatched Roofs in Traditional Japanese Vernacular Houses. PLEAA 82 Conference. Bermuda, Pergamon Press, p. 3/1.
6. Givoni. B. 1981. Experimental Studies on Radiant and Evaporative Cooling of Roofs. Proceeding of the International Passive and Hybrid Cooling Conference. American Section of the International Solar Energy Society. Miami Beach. p. 279.