بام خنک:
تجربه‌ای در خنک کردن بام از طریق تغییر رنگ

فرشاد رزمگاه[1]

مربی دانشکدهٔ معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی

کلیدواژگان: بام خنک، بازتاب خورشیدی، نشر گرما، شاخص بازتابش خورشیدی، جزیره گرمایی شهر.

چکیده

مصرف انرژی یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در جهان امروزی است. به این موضوع می‌توان از زوایای متفاوتی نگریست. از طرفی مصرف بیشتر انرژی به معنای تولید بیشتر و یا صنعتی بودن کشورها بوده و از طرفی دیگر موجب آلودگی بیشتر محیط زیست خواهد شد .
افزایش گازهای گلخانه‌ای، گرم شدن کرهٔ زمین، آب شدن یخ‌های قطبی، و صدمه دیدن لایهٔ ازن از عوارض آلودگی محیط زیست هستند. همچنین افزایش هزینه‌های انرژی ، بار مالی بیشتری را بر کشورها تحمیل می‌کند.
یکی از مصرف‌کنندگان عمدهٔ انرژی ساختمان‌ها هستند. در این پژوهش نقش رنگ در کاهش مصرف انرژی مطالعه می‌شود و با آزمایشات انجام‌شده محقق می‌گردد که تغییر رنگ بام (سقف) حدود ۱۷٪ به خنک شدن داخل ساختمان‌ها و درنتیجه کاهش مصرف انرژی منجر می‌گردد.
برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها روش‌های متفاوتی را می‌توان به کار گرفت، از تغییر زاویهٔ جهت‌گیری ساختمان‌ها تا عایق‌کاری و یا تغییر مصالح، لکن فعالیت تغییر رنگ در مورد ساختمان‌های موجود به‌سادگی قابل‌حصول و با هزینه‌ای بسیار کم و در برخی موارد بدون هزینهٔ اضافی قابل‌دستیابی است.

پیشگفتار

بر اساس گزارش وزارت انرژی آمریکا حدود ۴۰٪ انرژی کشوردر ساختمان‌ها به مصرف می‌رسد که سهم سرمایش و تهویه حدود ۱۶٪ است. بنا بر این بیش از ۶٪ انرژی دنیا برای سرمایش ساختمان‌ها، اعم از مسکونی و غیره صرف می‌شود.

طبق گزارش شرکت بریتیش پترولئوم مصرف سرانهٔ انرژی ایران در سال ۲۰۱۱ حدود معادل ۳ تن سوخت (نفت) در سال است که با احتساب بیش از ۷۵میلیون نفر جمعیت، مصرف کل انرژی سالیانه بالغ بر ۲۲۵میلیون تن نفت است. چنانچه سهم سرمایش ساختمان‌ها در ایران را نظیر کشور آمریکا در نظر بگیریم، انرژی مصرف‌شده برای سرمایش ساختمان‌ها در سال به بیش از ۱۴میلیون تن نفت می‌رسد.

سهم اتلاف انرژی از طریق بام ساختمان‌ها حدود ۲۲ درصد است. بنا بر این حدود ۳میلیون تن نفت از طریق بام ساختمان‌ها در ایران هدر می‌شود (ت ۱).

حال چنانچه بتوانیم از هدر رفتن بخشی از این انرژی جلوگیری

1. f_razmgah@sbu.ac.ir

پرسش‌های تحقیق

۱. صرف نظر از تغییر مصالح، آیا تغییر رنگ تأثیری بر گرمای بام دارد؟

۲. دراین‌صورت، میزان این تأثیر چقدر است؟

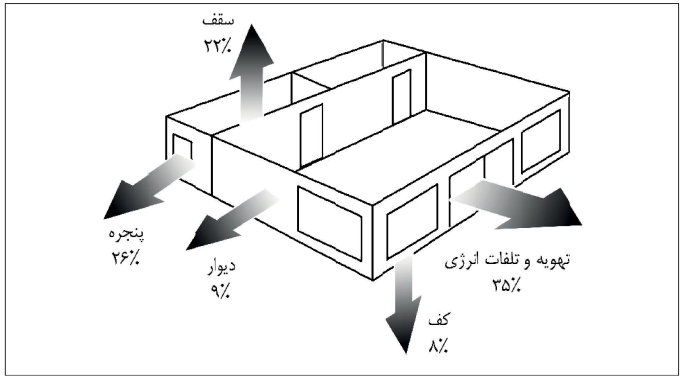
کنیم، ارزش افزودهٔ فراوانی را به دست می‌آوریم. این ارزش افزوده نه‌فقط نصیب کشور خواهد شد، بلکه در درجهٔ اول عاید ساکنین می‌شود.

با استفاده از تمهیدات مهندسی می‌توان مقداری از این میزان انرژی را صرفه‌جویی کرد. مبحث عایق‌کاری ساختمان‌ها، که در سالیان اخیر در کشور ما و در دنیا مطرح شده است، یکی از روش‌های صرفه‌جویی است. روش بهترْ جلوگیری از نفوذ گرمای ناشی از تابش انرژی خورشید به داخل ساختمان است. در منطقه‌ای نظیر ایران، که در اقلیم گرم و خشک قرار دارد، این روش اثرات مثبت بسیاری دارد.

در منطقهٔ خلیج فارس، ۷۰٪ انرژی الکتریکی برای خنک کردن ساختمان‌ها استفاده می‌شود.

در مقیاس کشور آمریکا، استفاده از بام خنک در ساختمان‌ها موجب صرفه‌جویی سالانه بیش از یک میلیارد دلار می‌شود.[۲]

در این مقاله سعی شده است که روش‌های موسوم به بام خنک بررسی شود. همچنین نتایج آزمایشی در زمینهٔ تأثیر رنگ در خنک کردن بام نیز تشریح خواهد شد.



ت ۱. سهم اتلاف انرژی از بخش‌های مختلف ساختمان، مأخذ: نگارنده.

۱. مقدمه

نقش انرژی در ساختمان‌ها از حدود ۳۰ ٪ در کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی تا ۷۰٪ در کشورهای در حال توسعه متفاوت است.[۳] موضوع‌هایی نظیر صرفه‌جویی انرژی، حفظ محیط زیست، کاهش مصرف انرژی، استفادهٔ بیشتر از انرژی خورشید، افزایش قیمت حامل‌های انرژی،

2. R. Levinson, and H. Akbari, "Potential Benefits of Cool Roofs on Commercial Buildings: Conserving Energy, aving Money, and Reducing Emission of Greenhouse Gases and Air Pollutants", in Energy Efficiency, 2009. P. 78.

3. C. Gallo & M. Sala & A.A.M. Sayigh, *Architecture: Comfort and Energy*.

کاهش آلودگی‌های محیطی، و... چند سالی است که در زمینه‌های مختلف مهندسی معماری مطرح می‌شوند. مفاهیمی مثل معماری پایدار، معماری هماهنگ با اقلیم و محیط، معماری سبز، عایق‌بندی حرارتی، بام سبز، و... ناشی از همین رویکرد هستند. یکی دیگر از موضوع‌های مد نظر در ساختمان‌سازی در دهۀ اخیر مبحث «بام خنک» است. در این مقاله ضمن معرفی سه روش متداول برای خنک کردن بام، نتایج پژوهشی در زمینۀ تأثیر تغییر رنگ در خنک کردن بام بیان می‌شود.

میزان تابش خورشید (ثابت خورشید) $1367\ W/m^2$ است.[۴] این مقدار انرژی همان‌قدر که در زمستان و فصول سرد به شکل سودمندی می‌تواند استفاده شود، در تابستان مشکلات ما را افزایش می‌دهد.

انرژی خورشید به سه حالت انرژی ماوراء بنفش (۵٪)، نور مرئی (۴۳٪) و امواج مادون قرمز (۵۲٪) به سطح زمین می‌رسد (ت ۲).

بخش از انرژی خورشید به بام ساختمان‌ها می‌تابد که بر اساس مصالح سنتی رایج نظیر قیروگونی، آسفالت و یا ایزوگام جذب و به گرما تبدیل می‌شود. سپس این حرارت به محیط اطراف منتشر می‌شود و یا از طریق مصالح به فضای داخل سرایت می‌کند. بخشی که از طریق نشر حرارت به محیط منتشر می‌شود، موجب گرم شدن محیط شهرها و ایجاد پدیدۀ «جزیرۀ گرمایی شهر»[۵] می‌گردد.

این پدیده اختلاف دمای حدود ۵ تا ۹ درجۀ سلسیوس (۹ تا ۱۶ درجۀ فارنهایت) را بین مناطق شهری و مناطق حومه در تابستان‌ها ایجاد می‌کند.[۶] این گرمای اضافی بر روی سلامتی انسان‌ها، مصرف انرژی، و محیط زیست تأثیرات نامطلوبی دارد.

بر اساس تحقیقات انجام‌شده، دمای کرۀ زمین در طی ۱۰۰ سال گذشته، بین ۲ تا ۷ درجۀ سلسیوس (۴ تا ۱۳ درجۀ فارنهایت) افزایش یافته است، که بخشی از آن ناشی از همین نشر حرارت است.

استفاده از بام خنک (ت ۳) فواید زیر را دارد:

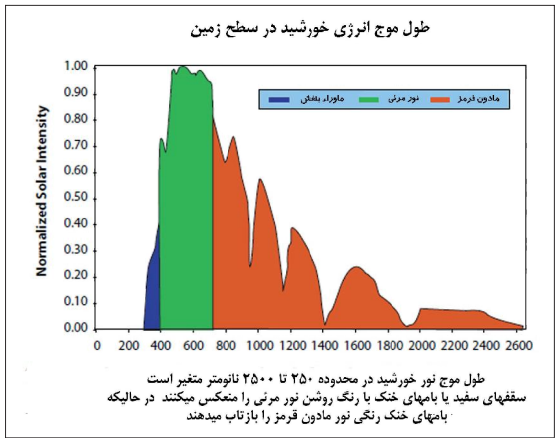
۱. با خنک‌تر کردن فضای داخل ساختمان‌ها در فصل گرم، آسایش ساکنین افزایش می‌دهد.
۲. با کاهش نیاز به دستگاه‌های خنک‌کننده عمر این تجهیزات را افزایش می‌دهد.
۳. بام خنک دوام بیشتری دارد، درنتیجه هزینۀ نگه‌داری و تعمیرات بام را کاهش می‌دهد.
۴. به لحاظ کاهش مصرف انرژی و تولید کمتر گازهای CO_2 و سایر آلاینده‌های محیطی، گرمایش کمتری در سطح کرۀ زمین ایجاد می‌شود.
۵. اثرات نامطلوب پدیدۀ جزیرۀ گرمایی شهرها را کاهش می‌دهد.[۷]

۴. علی نمازیان، *اصول استفاده از تابش خورشید در طراحی معماری*، ص ۱۶.

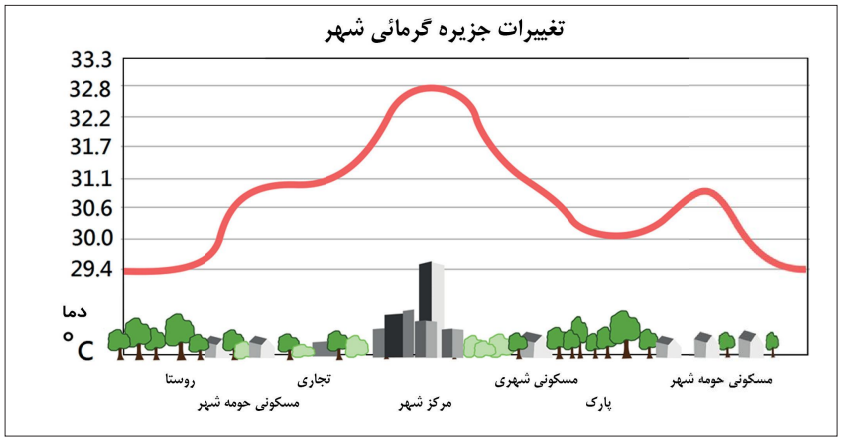
5. UHI : Urban Heat Island

۶. نک:
Ronen Levinson & H. Akbari, "Evolution of Cool-Roof Standards in the US Advances".

۷. نک:
CRRC, "Features and Benefits of Cool Roofs: The Cool Roof Rating Council Program".



ت ۲ (راست). بیناب (طیف) انرژی خورشید در سطح زمین، مأخذ: مؤسسۀ EPA.



ت ۳ (چپ). تغییرات حرارتی جزیرۀ گرمایی شهر، مأخذ: LBNL Heat Island Group

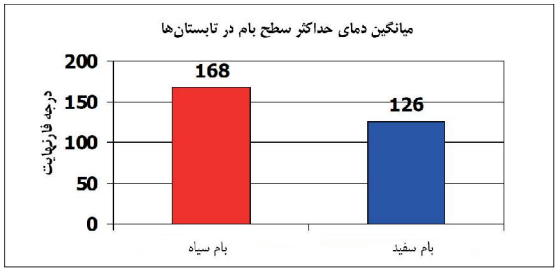
در تحقیقی که در سال ۱۹۹۸ هیلدبرانت برای سه ساختمان اداری، موزه، و نوانخانه در شهر ساکرامنتو ایالت کالیفرنیا انجام داد، بام‌های خنک ۱۷، ۲۶ و ۳۹٪ صرفه‌جویی انرژی در تابستان داشتند. که به ترتیب صرفه‌جویی سالانه‌ای به میزان ۲/۲، ۲/۶ و ۱/۳ kWh/m² خواهند داشت.[۸]

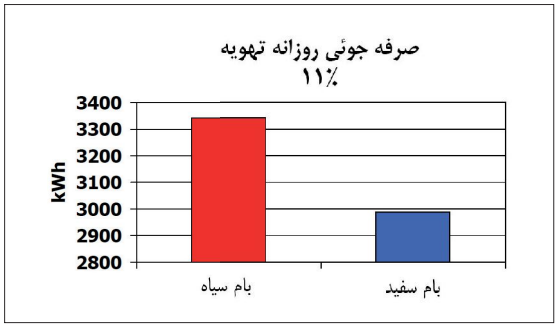
در تحقیقی مشابه که در سال ۲۰۰۱ ارنست اورلاندو[۹] به سفارش EPA[۱۰] و DOE[۱۱] در شهر آستین ایالت تگزاس انجام داد، میزان صرفه‌جویی در انرژی لازم برای سرمایش در فصل گرم ۶/۸ kWh/m² به ازای سطح بام محاسبه شد.[۱۲]

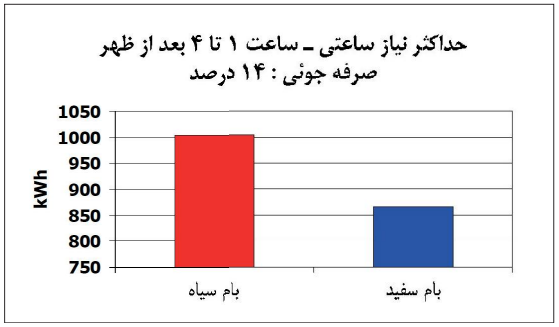
در تحقیق یادشده مصالح نهایی بام ساختمانی تجاری به مساحت ۱۰۰۰۰۰ فوت مربع از مصالح ای پی دی ام[۱۳] سیاه‌رنگ به ترموپلاستیک سفید تغییر داده شد (سایر شرایط نظیر عایق حرارتی بام و یا سیستم تهویهٔ مطبوع ثابت تغییر نکردند). اندازه‌گیری‌ها شامل دمای بیرون، دمای داخل ساختمان، دمای لایه‌های سقف، مصرف کل انرژی، و مصرف انرژی دستگاه‌های خنک‌کننده قبل و پس از تغییر پوشش نهایی سقف انجام پذیرفت. میانگین دمای روزانهٔ سطح بام در فصل تابستان از ۱۶۸ درجهٔ فارنهایت (۷۵ درجهٔ سلسیوس) به ۱۲۶ درجهٔ فارنهایت (۵۲ درجهٔ سلسیوس) کاهش و درنتیجه انرژی به میزان ۱۱٪ صرفه‌جویی شد. همچنین در اوقات پیک نیاز انرژی (ساعت ۱۳ تا ۱۶) این صرفه‌جویی به میزان ۱۴٪ محاسبه شده است.[۴] (ت ۵، ۶ و ۷)

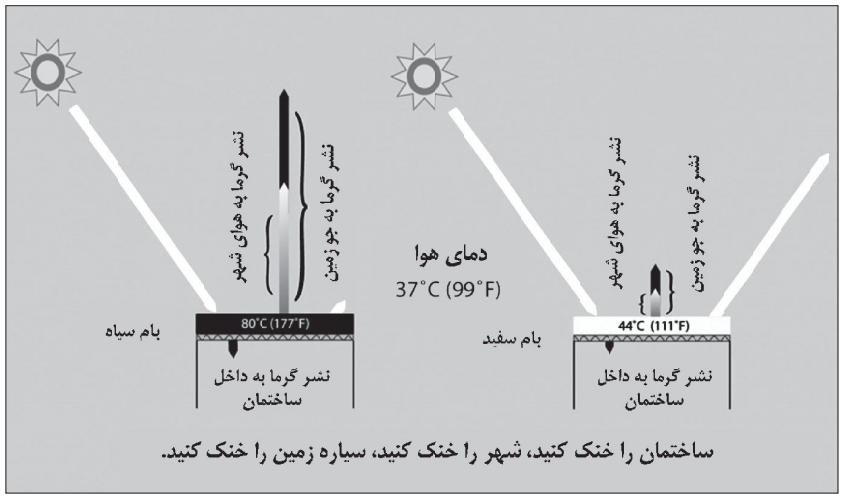
انجام این محاسبات برای مالکین خانه‌های مسکونی بنا به دلایل زیر قابل‌توجیه نیست:

- خصوصیات منطقه و دستگاه‌های تهویه به لحاظ میزان نیاز به انرژی مشخص نیست.
- هزینهٔ واحد انرژی مصرفی مشخص نیست.









۸. نک:
E. Hildebrandt et al, "Assessing the Impacts of White Roofs on Building Energy Loads".

ت ۴ (راست). کاهش گرمای ساختمان‌ها به کاهش گرمای سیاروه زمین منجر می‌شود، مأخذ: مؤسسهٔ DOE.

ت ۵ (چپ، بالا). میانگین دمای حداکثر سطح بام‌ها در تابستان، مأخذ: مؤسسهٔ CRRC.

ت ۶ (چپ، میان). صرفه‌جویی روزانه در سیستم‌های تهویهٔ مطبوع، مأخذ: همان.

ت ۷ (چپ، پایین). نیاز لحظه‌ای انرژی (ساعت ۱ تا ۴ بعدازظهر)، مأخذ: همان.

ـ ارزش سرمایه در آینده مشخص نیست.
ـ عمر مفید بام مشخص نیست.

همچنین سازندگان نیز چندان به فواید بام خنک توجه نمی‌کنند. اولویت برای ایشان کاهش هزینه‌های ساخت است و صرفه‌جویی درازمدت جذابیتی برای آنان نخواهد داشت.[۱۵]

در طرف مقابل، تابش خورشید و سرایت گرما از طریق بام می‌تواند به گرم شدن داخل ساختمان‌ها در فصل سرد کمک کند. ولی به دلیل زاویهٔ پایین تابش خورشید در زمستان‌ها، طول روز کمتر، ابری بودن روزهای زمستانی، و ارزان‌تر بودن هزینهٔ تأمین گرمایش نسبت به تأمین سرمایش، تأثیر گرمایی آن چندان قابل‌توجه نیست و بام خنک هزینهٔ اضافه چندانی را برای گرمایش زمستان تحمیل نمی‌کند.[۱۶]

بر اساس یک مدل‌سازی که آزمایشگاه ملی لارنس برکلی[۱۷] انجام داده است، در مناطق سردسیر که نیاز به گرمایش بیش از نیاز به سرمایش است و یا حتی در فصل گرم سرمایش ساختمان ضروری نیست، استفاده از بام خنک فقط حدود ۳٪ بار گرمایشی ساختمان را افزایش می‌دهد.[۱۸]

در این مقاله ابتدا روش‌های مختلف خنک کردن بام بیان و بررسی و در ادامه نتایج روشی که از روش‌های دیگر امکان‌پذیرتر و عملی‌تر است، در قالب یک آزمایش تجزیه‌وتحلیل می‌شود.

۲. روش‌های خنک کردن بام

تا به امروز محققان سه روش را برای خنک کردن بام توصیه کرده‌اند. ۱. تعبیهٔ پوشش‌هایی برای جذب کمتر؛ ۲. استفاده از پوشش گیاهی در بام ساختمان‌ها؛ ۳. استفاده از رطوبت بر بام ساختمان.

۲. ۱. پوشش‌هایی برای جذب کمتر

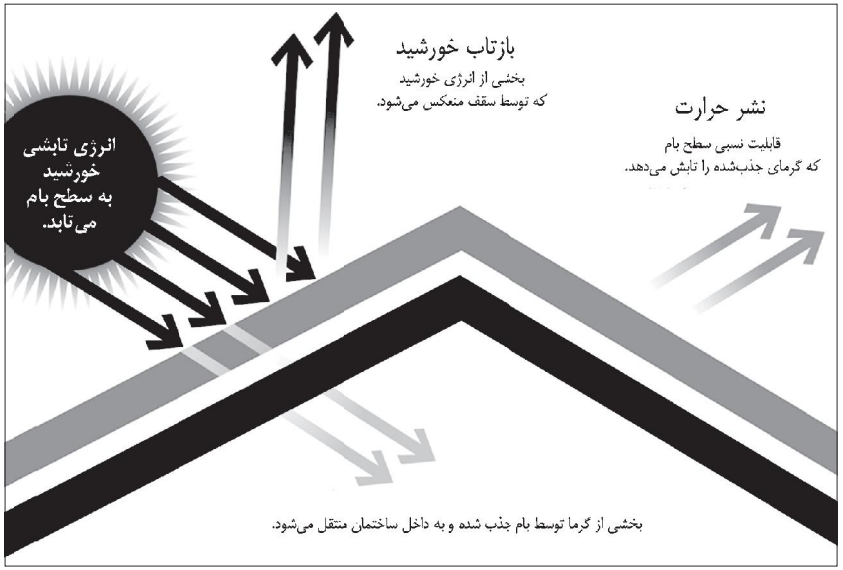
در این روش تمرکز بر جذب کمتر انرژی خورشید و درنتیجه گرمای کمتر سطح بام است . اختلاف دمای بام‌های با پوشش سنتی و بام‌های خنک حدود ۲۸ درجهٔ سلسیوس (۵۰ درجهٔ فارنهایت) است.

از آنجا که نسبت سطح بام به مساحت مفید، در ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه بیشتر است، در این‌گونه ساختمان‌ها صرفه‌جویی بیشتری می‌شود.

میزان خنکی بام با دو مؤلفه، و ترکیب آن‌ها بیان می‌شود.

۲. ۱. ۱. بازتاب خورشید[۱۹]

این مؤلفه با نسبت ۰ تا ۱ بیان می‌شود و میزان بازتاب انرژی خورشیدی تابیده‌شده به یک سطح را بیان می‌کند. عدد صفر به معنای جذب کامل انرژی خورشید و عدد یک به معنای بازتابش کامل است. بدیهی است که هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد، بام خنک‌تر خواهد ماند. بازتاب خورشیدی بام‌های سنتی نظیر ایزوگام و یا آسفالت کمتر از ۰/۲۰ هستند و بنا بر این بیش از ۸۰ درصد انرژی خورشید را جذب و به گرما تبدیل می‌کنند (امواج با طول موج کوتاه را جذب و با تغییر این امواج به طول موج بلند، گرما تولید می‌کنند). البته به میزان افزایش عمر سطح بام و تغییر رنگ آن، مقدار بازتاب خورشید بیشتر می‌شود و بام خنک‌تر خواهد ماند.[۲۰]



ت ۸. مؤلفه‌های تابش خورشید، مأخذ:
LBNL Heat Island Group

9. Ernest Orlando
10. US Environmental Protection Agency
11. Department of Energy
۱۲. نک:
S. Konopacki, et al, "Measured Energy Savings and Demand Reduction from a Reflective Roof Membrane on a Large Retail Store in Austin".

میزان بازتاب خورشیدی سطح دریاها ۲۶٪ و جنگل‌های بارانی ۱۵٪ است. بیابان‌ها بیشترین بازتاب خورشیدی، به میزان ۴۰٪، را دارند. ابرها نیز بخش بیشتری از امواج با طول موج کوتاه را نسبت به سطوح پایین‌تر از خود بازتاب می‌دهند.[۲۱]

مقدار بازتاب خورشیدی برای برف تازه ۹۰٪ و برای زغال ۴٪ است. (ت ۸)

۲. ۱. ۲. نشر حرارت[۲۲]

مقدار این مؤلفه نیز بین ۰ و ۱ است و میزان انتشار گرمای یک جسم به محیط اطراف را بیان می‌کند. اجسامی که در معرض تابش خورشید قرار می‌گیرند، با دریافت امواج مادون قرمز و تبدیل آن‌ها به گرما، این گرما را به محیط منتشر می‌کنند. هرچه این مقدار بیشتر باشد از بام (جسم) گرمای بیشتری ساطع می‌شود و درنتیجه خنک‌تر می‌شود. مقدار نشر حرارت فلزات رنگ‌نشده حدود ۵٪ است و به همین دلیل تا مدت‌ها گرم باقی می‌مانند. (ت ۹)

۲. ۱. ۳. شاخص بازتابش خورشیدی[۲۳]

این مؤلفه ترکیبی از دو مؤلفهٔ قبلی است و برای تشخیص میزان خنکی بام استفاده می‌شود. این شاخص مقایسه‌ای است بین بام مورد نظر و بام مشکی استاندارد و بام سفید استاندارد. شاخص بازتابش خورشیدی برای بام مشکی و پاکیزه به مقدار صفر و برای بام سفیدرنگ و پاکیزه برابر ۱۰۰ است. هرچه مقدار این مؤلفه بیشتر باشد، بام در مقابل تابش خورشید خنک‌تر خواهد بود.

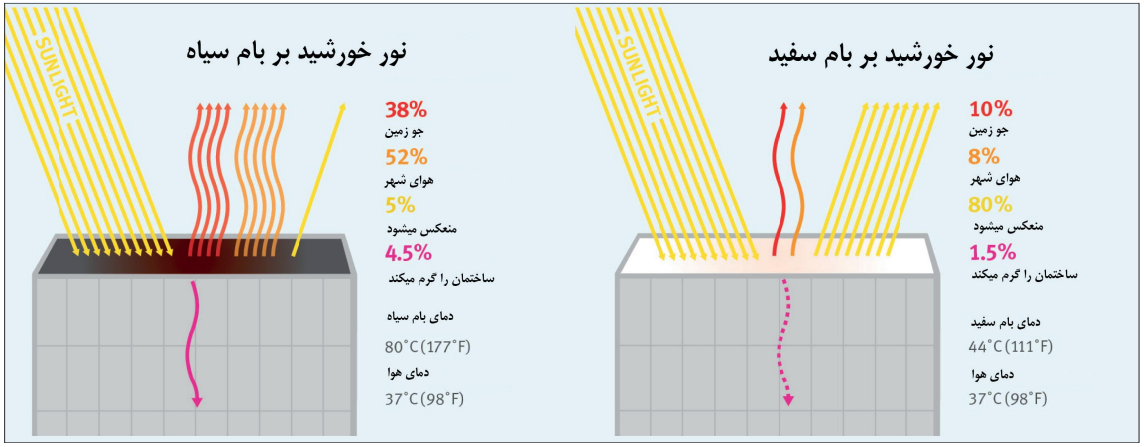
نکتهٔ دیگر شیب بام است. طبق تعاریف، بام با شیب کمتر از نسبت ۲ به ۱۲ بام مسطح[۲۴] و با بیش از این نسبت بام شیب‌دار[۲۵] محسوب می‌شود. بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست[۲۶]، حداقل شاخص بازتابش خورشیدی برای بام خنک مسطح ۶۵ و برای بام خنک شیب‌دار ۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

بر اساس استاندارد ایالت کالیفرنیا آمریکا تحت عنوان Title 24، بازتاب خورشیدی بام خنک مسطح با عمر ۳ سال باید حداقل به میزان ۰/۵۵، حداقل نشر حرارت آن ۰/۷۵، و حداقل شاخص بازتابش خورشیدی آن ۶۴ باشد.

۲. ۲. استفاده از پوشش گیاهی در بام ساختمان‌ها

یکی دیگر از روش‌هایی که می‌تواند به خنک شدن بام ساختمان‌ها کمک کند پوشش گیاهی بر روی بام ساختمان است.

امروزه استفاده از بام سبز[۲۷] و بام باغ[۲۸] در دنیا رواج یافته است. این روش‌ها نه‌فقط موجب گسترش فضای سبز در



ت ۹. نشر حرارت در بام‌های سفید و سیاه، مأخذ: مؤسسهٔ CRRC.

۱۳. مخلوط اتیلن , پروپیلن و داین است. EPDM مصالح ساختمانی مناسب برای مناطق سردسیر است و حتی در دماهای زیر ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد خصوصیات عالی نشان می‌دهد. محدودهٔ دمایی آن ۵۰°C – تا ۱۳۰°C است. مقاومت عالی در برابر ازن دارد .زمان‌مند شدن و اکسیدشوندگی دارد و پیر شدن درجهٔ ناشی از گرمای آن کم است. در برابر مواد شیمیایی آلی و غیرآلی مقاوم است. ضعف آن مقاومت کم در برابر مایعات بر پایهٔ نفت است. همچنین مقاومت شیمیایی آن در برابر فراورده‌های بر پایهٔ غیرمحلول کم است. این مصالح انتخاب معمول در بین فوم‌ها است.

۱۴. نک:
S. Konopacki, et al, ibid.

۱۵. نک:
Akbari, Levinson , ibid.

۱۶. نک:
Ronen Levinso & H. Akbari, ibid.

17. LBNL: Lawrence Berkeley National Lab

۱۸. نک:
H. Akbari and S.J. Knopacki, "The Impact of Reflectivity and Emissivity of Roofs on Building Cooling and Heating Use".

19. Solar Reflectance

۲۰. این مؤلفه تحت عنوان ALBEDO نیز نام‌گذاری شده است.

شهرهای فشرده و متراکم می‌شوند و به تلطیف هوا کمک می‌کنند، بلکه تأثیرات قابل‌توجهی در خنک کردن ساختمان‌ها دارند و صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف انرژی دارند.

بام سبز به روش‌های گوناگون موجب خنک شدن بام و ساختمان می‌شود: گیاهان با ایجاد سایه و همچنین افزایش عایق حرارتی به واسطه لایه‌های تشکیل‌دهندهٔ بام سبز موجب کاهش دما می‌شوند. همچنین ترکیب این لایه‌ها و سازهٔ سقف تاخیر زمانی قابل‌ملاحظه‌ای در انتقال حرارت ایجاد می‌کند که در بهبود شرایط مؤثر است. علاوه‌بر این‌ها، تبخیر رطوبت گیاهان، موجب خنک شدن می‌شود. پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق گرم و مرطوب نشان می‌دهد که بام سبز موجب کاهش چشمگیر دمای بام به میزان ۱۰ تا ۳۰ درجهٔ سلسیوس می‌شود.[۲۹] میزان این کاهش بستگی به جزئیات اجرایی و چگونگی ساخت سقف، گونهٔ گیاهان، و شرایط محیط اطراف دارد.

البته افزایش بارهای وارده بر بام ساختمان‌ها اضافهٔ هزینه خواهند داشت، ولی چندان قابل‌توجه نیست. همچنین استفاده از پوشش‌های گیاهی و آبیاری آن‌ها بر روی بام و در نزدیکی جداره‌های ساختمان، خطرات و آسیب‌های وارد بر ساختمان را افزایش می‌دهند.

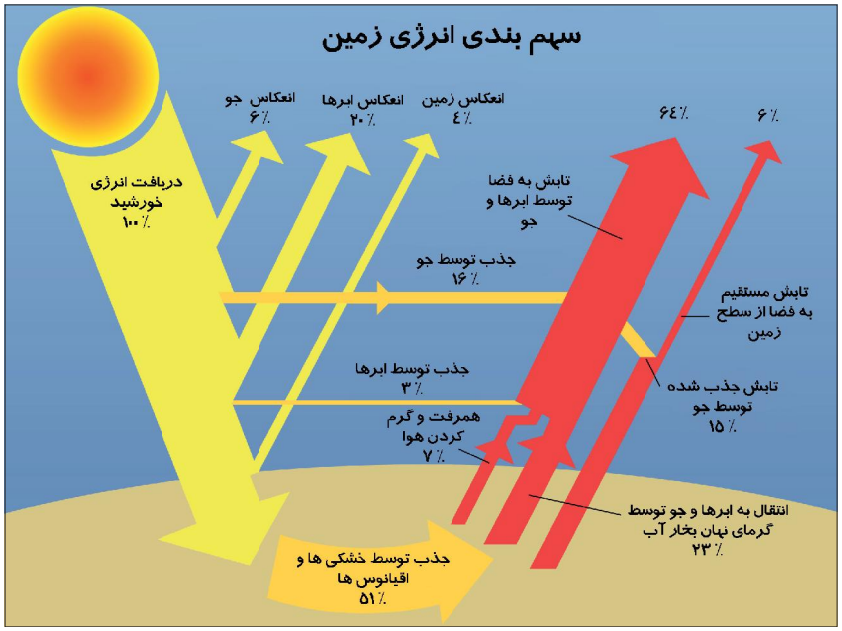
کاشت درخت در نزدیکی ساختمان و استفاده از سایهٔ آن بر روی بام ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه نیز به خنک شدن بام کمک می‌کند. نوع گونهٔ گیاهی، ارتفاع ساختمان، محل (موقعیت)، و جهت جغرافیایی کاشت نسبت به ساختمان در میزان سایه و خنک شدن بام مؤثر است. از طرف دیگر، زمان لازم برای رشد گیاه و سایه‌گستری، و میزان نیاز به آب، برگ‌ریزی (خزان کردن) نیز از امتیاز این روش کم می‌کند. در مورد ساختمان‌های مرتفع که اصولاً این روش قابل‌استفاده نخواهد بود.

۲. ۳. استفاده از رطوبت بر بام ساختمان

از دیگر روش‌های کاهش دمای بام ساختمان‌ها، افزایش رطوبت بر روی بام و درنتیجه کاهش دما به روش تبخیر است. در این روش، قطرات آب بر روی سطح بام پاشیده می‌شود و بر اثر تبخیر سطحی، دمای سطح بام حدود ۲ تا ۳ درجهٔ سلسیوس کاهش می‌یابد. از معایب این روش افزایش مصرف آب و همچنین امکان نشت و نفوذ رطوبت به بخش‌های مختلف بام است. همچنین در مناطق گرم و مرطوب، کارایی این روش کم است و یا عملاً قابل‌استفاده نیست.

۳. آزمایش

از بین سه روش ذکرشده برای خنک کردن بام، روش «استفاده از پوشش‌هایی برای جذب کمتر انرژی خورشید» امکان‌پذیرتر است و برای ساختمان‌های موجود عملی به نظر می‌رسد. هزینهٔ کمتر، نگه‌داری آسان‌تر در درازمدت، و بی‌نیازی به تکنولوژی و نیروی کار ماهر، همگی از فواید این روش نسبت به دو روش دیگر است. در این روش، تغییر رنگ بام ساده‌تر است و با هزینه‌ای کم اجرا می‌شود.



ت ۱۰. تقسیم‌بندی انرژی زمین، مأخذ: همان.

۲۱. بر اساس اطلاعات سازمان ملی هوا و فضای امریکا (Nasa: National Aeronautics and Space Administration).
22. Heat Emmitance
23. SRI : Solar Reflectance Index
24. Low Slope Roofing
25. Steep Slope Roofing
26. EPA Energy Star: Environment Protection Agency

در برخی کشورها تحقیقاتی در زمینهٔ تأثیر رنگ بر روی بام انجام پذیرفته و در همهٔ آن‌ها بر رجحان رنگ سفید بر رنگ سیاه تأکید شده است. لکن از آنجا که نوع رنگ‌های استفاده‌شده و همچنین جنس و پوشش بام در آزمایشات انجام‌شده با مشخصات مصالح متداول در کشورمان متفاوت است و بسیاری از مصالح مورد استفاده در آن‌ها اصولاً در کشور ما یا تولید نمی‌شود و یا در دسترس نیستند، تصمیم بر این شد که آزمایشی بر مبنای مصالح متداول در ایران تدارک شود.

برای تشخیص بهتر میزان تأثیر رنگ در خنک کردن بام، آزمایشی با مشخصات زیر انجام پذیرفت. در این آزمایش بخشی از یک بام شیب‌دار قدیمی با رنگی روشن‌تر از رنگ اولیه رنگ‌آمیزی شد (با توجه به رنگ قبلی سقف و هماهنگی رنگ مذکور با محیط سبز پیرامون، در این آزمایش رنگ جدید در خانوادهٔ رنگ سبز و از انواع رنگ‌های روغنی متداول در بازار انتخاب شد). سپس میزان دمای بام به روش زیر اندازه‌گیری شد:

نوع پوشش بام: ورق آزبست موجدار (ایرانیت) با شیب مثبت به میزان ۲ به ۹/۳۷ (بیش از ۲۱ درصد)

زاویهٔ ساختمان (بام) نسبت به امتداد جنوب: ۴۲ درجهٔ جنوب غربی

روز آزمایش: ۱۳ خرداد ۱۳۹۲

ساعت: ساعت تابستانی ایران[۳۰]

وضعیت آسمان: صاف و آفتابی، باد ملایم

عرض جغرافیایی: ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۲ ثانیهٔ شمالی

ارتفاع از سطح دریا: ۱۹– متر (تعجب نکنید: ساحل دریای مازندران)

رنگ اولیهٔ بام: رنگ روغنی سبز تیره (یشمی)

رنگ جدید بام: رنگ روغنی سبز فسفری

وسایل آزمایش: دوربین دمانگار[۳۱] و دماسنج جیوه‌ای[۳۲]

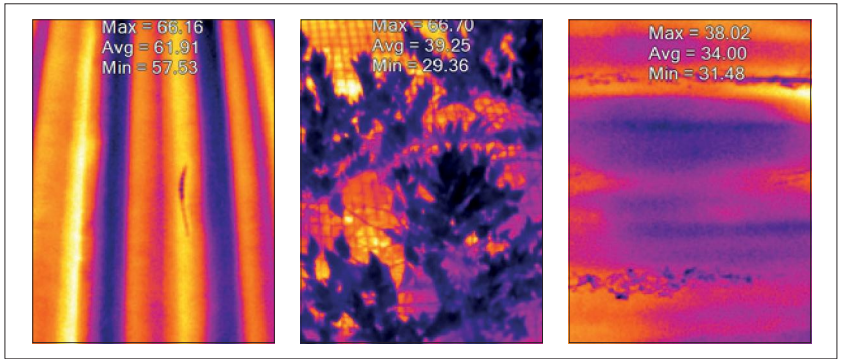
روش انجام آزمایش: از ساعت ۱۱ تا ساعت ۱۹ راس هر ساعت دمای بخش رنگ‌آمیزی‌شدهٔ اولیهٔ بام (A)، رنگ‌آمیزی جدید بام (B) و دمای هوا (C) اندازه‌گیری و در جدولی به شرح زیر منظم گردید. همچنین به صورت یک آزمایش جنبی بخشی از پوشش بام که در معرض سایهٔ درخت (D) است و همچنین بخش دیگری از بام که با گیاه گلیسیرین (E) پوشیده شده است نیز اندازه‌گیری شد. این دو بخش به رنگ سبز یشمی (رنگ اولیهٔ بام) هستند. (ت ۱)

برای پردازش اندازه‌گیری‌ها از نرم‌افزار Smart View 3.2.280.0 استفاده شده است.

نتایج آزمایش به شرح جدول «ت ۱۲» است (بر اساس دمای میانگین و درجهٔ سلسیوس).

با توجه به هندسهٔ بام و محل درخت، از ساعت ۱۸ به بعد سایهٔ درخت بر روی بام قرار ندارد.

ساعت	A	B	C	D	E
۱۱	۴۹/۶۵	۴۸/۰۸	۲۴/۸۰	۲۹/۹۵	۳۵/۲۲
۱۲	۶۱/۹۱	۵۸/۲۰	۲۵/۲۰	۳۳/۹۹	۳۹/۲۵
۱۳	۶۴/۴۴	۶۰/۴۵	۲۵/۳۰	۳۴/۰۰	۳۸/۸۹
۱۴	۶۴/۲۸	۵۹/۳۷	۲۵/۵۰	۳۲/۳۹	۳۶/۵۴
۱۵	۶۲/۹۵	۵۶/۵۴	۲۶/۱۰	۳۲/۰۰	۳۶/۸۸
۱۶	۵۸/۵۴	۵۳/۷۶	۲۶/۸۰	۳۱/۲۳	۳۳/۴۳
۱۷	۴۷/۲۶	۴۳/۹۹	۲۷/۴۰	۲۷/۶۰	۳۰/۱۷
۱۸	۳۸/۶۴	۳۵/۵۳	۲۸/۲۰	–	۲۷/۱۵
۱۹	۳۳/۹۲	۳۲/۰۴	۲۹/۳۰	–	۲۵/۸۳



ت ۱۱ (راست). تصویرهای سطوح آزمایش شده با دوربین دمانگار، مأخذ: نگارنده.
ت ۱۲ (چپ). اندازه‌گیری‌ها، مأخذ: نگارنده.

27. Green Roof
28. Roof Garden
29. N.H. Wong & P.Y. Tan & Y. Chen, Study of Thermal Performance of Extensive Rooftop Greenery Systems in the Tropical Climate".
30. IRDT
۳۱. مادون قرمز مدل Ti125 ساخت شرکت Fluke آمریکا با دقت ۰/۰۱ درجهٔ سلسیوس
۳۲. ساخت شرکت G H ZEAL LTD انگلستان

از اندازه‌گیری‌های انجام‌شده نتایج زیر به دست آمد:

۱. دمای سطح رنگ سبز تیره بین ۱/۵ تا ۶/۵ درجهٔ سلسیوس گرم‌تر از سطح رنگ سبز فسفری است.
۲. حداکثر دمای سطوح رنگ‌شدهٔ بام حدود ساعت ۱۳ روی می‌دهد.
۳. حداکثر اختلاف دمای دو رنگ مختلف، ساعت ۱۵ و حدود ۶/۵ درجهٔ سلسیوس است. رنگ سبز فسفری حرارت خود را سریع‌تر از دست می‌دهد.
۴. حداکثر دما در سایه حدود ساعت ۱۳ است.
۵. دما در سایه از ۳۴ درجهٔ سلسیوس بیشتر نمی‌شود.
۶. حداکثر دمای پوشش گیاهی حدود ساعت ۱۵ روی می‌دهد.
۷. دما در پوشش گیاهی از ۳۹ درجهٔ سلسیوس بیشتر نمی‌شود.
۸. حداکثر دمای هوا حدود ساعت ۱۹ اتفاق می‌افتد.
۹. حداکثر اختلاف دما بین سطح رنگ سبز تیره با دمای هوا در ساعت ۱۳ و حدود ۳۹ درجهٔ سلسیوس است.

رنگ سبز فسفری در حداکثر اختلاف دما، حدود ۱۷ درصد خنک تر از رنگ سبز یشمی است:

درصد خنک‌تر ماندن = (دمای هوا – دمای سبز تیره) / (دمای سبز فسفری – دمای سبز تیره)

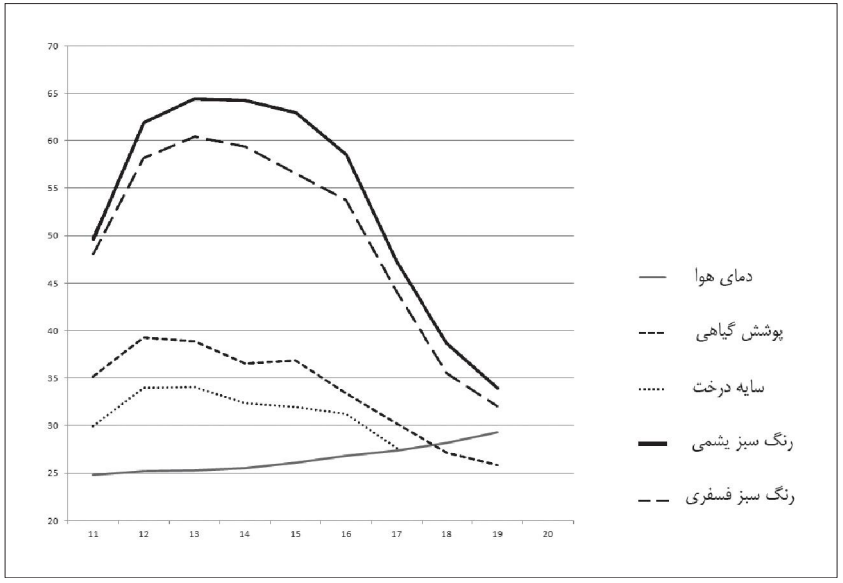
۱۷٪ =(۲۶/۱۰–۶۲/۹۵) / (۵۶/۵۴–۶۲/۹۵)

دمای داخل (زیر سقف) در گرم‌ترین زمان ۲۴ درجهٔ سلسیوس بود. اختلاف دمای داخل و سطح بام در بدترین شرایط حدود ۴۰ درجهٔ سلسیوس است. با فرض ثابت ماندن مقدار R-Value (مقاومت حرارتی ایزولاسیون سقف)، چنانچه دمای سطح بام ۶/۵ درجهٔ سلسیوس کاهش یابد، مقدار Q به میزان تقریبی ۱۶/۵ درصد کاهش می‌یابد (R= DT/ Q). این میزان صرفه‌جویی با پژوهش انجام‌شده در شهر آستین[۳۳] تقریباً هماهنگ است.

نتیجه

برای خنک شدن بام، رنگ‌آمیزی سطح بام بهترین روش نیست. موثرترین روش ایجاد سایه و جلوگیری از رسیدن تابش خورشید به سطح بام است، ولی از بعد اجرایی و هزینه، ساده‌ترین روش، رنگ‌آمیزی است. با فرض اینکه سطوح بام‌های شیب‌دار هر پنج سال یک بار نیاز به رنگ‌آمیزی مجدد دارند، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر رنگ در ۲۰٪ موارد هیچ‌گونه هزینهٔ اضافی به مالک تحمیل نمی‌کند. در سایر موارد نیز اضافه هزینهٔ چندانی ندارد و در بسیاری مواقع این کار را خود ساکنین ساختمان انجام می‌دهند. چنانچه بتوان با رنگ‌آمیزی دمای سطح بام را حدود ۵ درجهٔ سلسیوس کاهش داد، علاوه‌بر صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه، شرایط آسایش در بسیاری از ساختمان‌ها مهیا خواهد شد. البته احتمالاً با رنگ‌های روشن‌تر بام‌های خنک‌تری خواهیم داشت.

در این آزمایش، رنگ سبز فسفری به لحاظ پوشش ساده‌تر رنگ قبلی و همچنین نداشتن تضاد با محیط اطراف انتخاب شده است.



ت ۱۳. نمودار نتایج آزمایشات، مأخذ: نگارنده.

33. Austin

برای تأیید نتیجهٔ قطعی باید این آزمایش با تغییر در مؤلفه‌های زیر تکرار شود:

۱. شرایط اقلیمی
۲. شیب بام
۳. زاویهٔ قرارگیری ساختمان
۴. مصالح پوشش بام
۵. رنگ بام
۶. افزودنی‌ها به رنگ

پس از انجام این آزمایشات، می‌توان در خصوص نتایج تغییر رنگ بام بهتر اظهار نظر کرد.

همچنین با تخمین مساحت بام‌های یک شهر که امکان بالقوهٔ تغییر رنگ را دارند، مقدار کاهش دما و یا به بیان دیگر، مقدار انرژی قابل‌صرفه‌جویی محاسبه می‌شود.

مؤسسات و سازمان‌های مربوطه

CRRC: Cool Roof Rating Council
DOE: Department of Energy
ECRC: European Cool Roof Council
EERE: Enrgy Efficiency and Renewable Energy
EPA: US Environmental Protection Agency
FBC: Florida Building Code
IECC: International Energy Conservation Code
LEED: Leadership in Energy and Environmental Design
USGBC: US Green Building Council

منابع و مآخذ

نمازیان، علی. *اصول استفاده از تابش خورشید در طراحی معماری*، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۹.

Akbari, H. & S.J. Konopacki. "The Impact of Reflectivity and Emissivity of Roofs on Building Cooling and Heating Use", in *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings,VII*, proceedings of ASHRAE THERM VIII, FL, Dec 1998.

ASHRAE 90.2: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

CRRC's Role in Green Buiding. "Features and Benefits of Cool Roofs: The Cool Roof Rating Council Program", in *Journal of Green Building*, Vol. 3, No. 2 (2008).

Gallo,C. & M. Sala & A.A.M. Sayigh. *Architecture: Comfort and Energy*, Elsevier, 1988.

Hildebrandt, E. & W. Bos and R. Moore. "Assessing the Impacts of White Roofs on Building Energy Loads", in *ASHRAE Technical Data Bulletin*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, vol 14, no 2 (1998), pp. 28–36.

Konopacki, S. and H. Akbari. "Measured Energy Savings and Demand Reduction from a Reflective Roof Membrane on a Large Retail Store in Austin", LBNL-47149, Lawence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 2001.

LBNL: Lawrence Berkeley National Lab. A U.S. Department of Energy Office of Science National Lab that Brings Science Solutions to the World.

Levinson, Ronen & Hashem Akbari. "Evolution of Cool-Roof Standards in the US Advances" in *Building Energy Research*, Vol. 2, 2008.

Levinson, R. and H. Akbari, "Potential Benefits of Cool Roofs on Commercial Buildings: Conserving Energy, Saving Money, and Reducing Emission of Greenhouse Gases and Air Pollutants", in *Energy Efficiency*, 2009. Page 78.

Sayigh, Ali. "Introduction", in Gallo,C. & M. Sala & A.A.M. Sayigh. *Architecture: Comfort and Energy*, Pergamon, 1988, p. 1.

Wong, N.H. & P.Y. Tan. & Y. Chen. "Study of Thermal Performance of Extensive Rooftop Greenery Systems in the Tropical Climate", in *Build Environ*, 42 (2007), pp. 25–54.

Young, R. "Cool Roofs: Light –Colored Coverings Reflect Energy Savings and Environmental Benefits", in *Building Design and Construction*, Vol. 39, No. 2 (1998), pp. 62-64.

WWW.COOLROOFTOOLKIT.org