

## شبيه‌سازی بام‌ها راهکار بررسی دقیق تاثیرات دمایی در محیطی مجازی

مریم مسندی<sup>۱\*</sup>، دکتر شاهین حیدری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد انرژی و معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۷/۲۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۹/۳/۱)

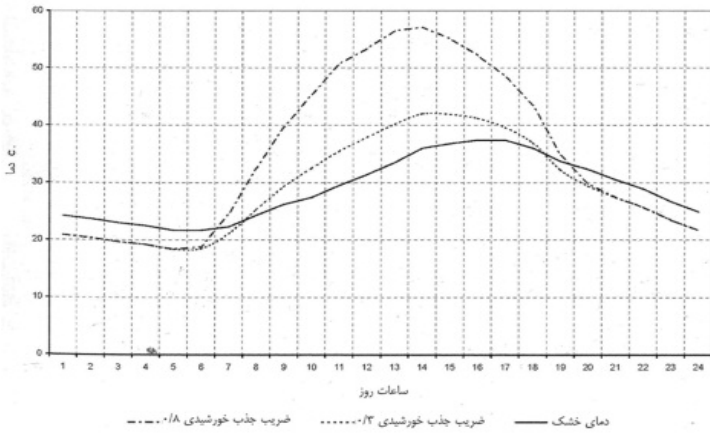
### چکیده:

بحران انرژی و محیط زیست در آینده‌ای نزدیک با توجه به آهنگ رشد جمعیت فعلی، سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در ترازنامه سالیانه انرژی کشور و گسترش بی‌رویه آلاینده‌های زیست محیطی قطعی است، مگر آنکه تغییراتی سریع در شیوه‌ها صورت گیرد. یکی از این تغییر روش‌ها (در میان صدها روش دیگر) اصلاح ساخت و ساز به منظور کاهش اتلاف انرژی در برنامه‌های آتی کشورهاست. در روش‌های اصلاحی بایستی اجزا معماری در کانون دقت جزء نگر معمار و هم کل نگر او قرار گیرند. با توجه به گستردگی بام نسبت به سایر اجزا پوسته خارجی، مطالعه عملکرد حرارتی آن گامی مهم در جهت دسترسی به راهکارهای مناسب کاهش اتلاف حرارت بنا محسوب می‌شود. از سوی دیگر عدم دسترسی به نمونه‌های اجرا شده تکنیک‌های مختلف، پژوهشگر را به سمت شبیه‌سازی کامپیوتری به عنوان روشی جایگزین برای عملیات میدانی، رهنمون می‌کند. محیط مجازی، اقلیمی مشابه اقلیم مورد نظر را ایجاد کرده و نتایج لازم را فراهم می‌آورد. مقاله حاضر نتیجه شبیه‌سازی اینچنینی برای بام تحت نرم افزار RSPT و Design builder است که برای گزینه‌های مختلف بام در اقلیم شهر تهران صورت گرفته و حاوی تغییرات دقیق دما در طی ساعات ماه‌های مختلف است. این اطلاعات می‌توانند داده‌هایی تعیین کننده در جهت طراحی مناسب در تهران محسوب گردند.

### واژه‌های کلیدی:

بام، ساختمان، شبیه‌سازی، دما، انرژی، محیط زیست.

## مقدمه



تصویر ۱- نمودار دمای خارجی ساعتی و دماهای سطوح افقی خارجی با ضریب جذب خورشیدی ۰/۳ (پایین) و ۰/۸ (بالا) در یک روز تابستانی. ماخذ: (Yannas, 2005)

درصدی تابش، از وضعیت مناسبی برخوردار هستند. از طرفی دیگر در بعضی مناطق سایه‌اندازی بام می‌تواند راه حلی دیگر برای تفوق به مشکل آزار دهنده تابش ناخواسته باشد. سایه‌اندازی از طریق لایه‌سازی ساختمان بام و یا با بکارگیری اجزاء خارجی اضافی مانند گیاهان قابل تأمین است.

برای درک درست مسئله، ارائه عدد و رقم و تحلیل کمی بام ضروری به نظر می‌رسد. در سایه‌چنین تحلیلی، مورد قابل لمس تر بوده و بیشتر مورد استفاده واقع می‌شود. برای چنین کار پژوهشی، معمولاً پژوهش‌های میدانی ناکارآمدند. شبیه‌سازی کامپیوتری راهکاری است که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته است. در سایه این تکنیک و با شناخت نقاط بحرانی ساختمان می‌توان در پی تغییر آن برآمده و مشکل را برطرف ساخت. نرم افزارهای متعددی برای این منظور طراحی شده‌اند که قابلیت دریافت اطلاعات کالبدی بنا را داشته و خروجی آنها دمای داخلی یا میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی و یا نحوه توزیع شار حرارتی است که در نتیجه شرکت اجزا مختلف در تبدلات حرارتی به وجود آمده‌اند. یکی از برجسته‌ترین نرم افزارهای موجود Energy Plus است که اولین نسخه آن در سال ۱۹۹۸ ارائه شد. نرم افزارهای مختلفی با تکیه بر جزئی خاص طراحی شده‌اند (URL1) ولی هیچیک امکان مقایسه تکنیک‌های مختلف را فراهم نکرده‌اند. شبیه‌سازی این مقاله بر روی مدولی محدود صورت می‌گیرد، ولی طبق نظر دینودی و نیکولوپولو، چنانچه گیاهان در کالبد شهرها بوده و وارد محل زندگی انسانها شوند، خرد اقلیم را تغییر می‌دهند و دمای شهرها را تا ۱۰ درجه می‌توانند کاهش دهند (Nikolopoulou, Dinoudi, 2000) تاکید کوپ و همکارانش (Koppe, 2004) نیز بر روی توزیع مناسب فضاهای سبز در جهت ارتقاء سطح سلامت انسانهاست که باتوجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، بام سبز، گزینه مناسب تهران و در صورت جایگزینی بام‌های شهر، توزیع بسیار مناسبی را ایجاد می‌کند

با توجه به سهم اتلاف انرژی، در افزایش بی‌مورد مصرف انرژی ساختمان، خسارات جبران ناپذیر محیط زیستی به بار آمده و خواهد آمد. اقدام جهت شناخت علل اتلاف و برنامه‌ریزی برای حذف آنها باید جز اولویت‌های بخش طراحی انرژی قرار گیرد.

بام یکی از اجزاء اصلی ساختمان است که عموماً مورد بی‌مهری طراحان معماری است. معماران فقط به ملاحظات آب‌بندی آن توجه داشته و سعی دارند با ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین راهکارها و بی‌توجه به ملاحظات حرارتی، آن را بنا سازند. با بررسی عملکرد حرارتی اجزاء ساختمان و پیگیری تغییرات آنها در ساعات و فصول مختلف می‌توان به راهکارهایی موثر در جهت اصلاح طراحی اجزاء دست یافت و متوجه شد که چنین عنصر معماری تا چه اندازه در اتلاف انرژی بنا یا صرفه‌جویی غیرمستقیم انرژی، به خصوص در محیط‌های شهری، موثر است.

بام‌ها نه تنها از اجزاء مختلف ساختمان محافظت می‌کنند، بلکه می‌توانند در گرمایش، سرمایش، تهویه و روشنایی نیز مورد بهره‌برداری قرار گرفته تا در بهینه مصرف کردن منابع انرژی کمک و یاری‌رسان باشند. رویکرد اصلی در طراحی بام، کارکرد محافظتی آن است. این کارکرد باعث حفاظت از تشعشع نامطلوب خورشید، کنترل دمای محیط داخلی و جلوگیری از ورود باد، باران و برف می‌شود. بام‌ها جزئی از پوسته خارجی ساختمان هستند که بیشتر از بقیه اجزاء در معرض عوامل جوی قرار می‌گیرند. می‌توان گفت که تعادل بین نقش‌های محیطی، محافظتی و قابل انتخاب بام تابع عوامل موقتی و نیز زمینه‌ای آن است. گاه با اضافه کردن عناصری نقش تعدیلی را درگگون و یا به نوعی عوض می‌کنیم. نمودار تصویر ۱ موقعیت بام را بهتر تبیین می‌کند. در این نمودار دمای هوای یک روز تابستانی با دمای سطوح افقی دو بام با ضریب جذب ۰/۳ و ۰/۸ به ترتیب مقایسه شده‌اند. در شکل مشاهده می‌شود که افزایش دمای سطح تا حد بالاتر از دمای هوای محیط، تابع ضریب جذب خورشیدی سطح است. نقطه اوج تاثیر تابش خورشیدی در ظهر روی سطح بام است. افت دمای سطوح تا حد پایین تر از دمای هوای محیط در شب، تاثیر سرمایش تابشی، یعنی اتلاف حرارت ویژه از طریق پرتوهای امواج بلند به آسمان، را نشان می‌دهد. در هر صورت طراحی بام باید در جهت کنترل جذب پرتوهای خورشیدی و تاثیر آنها بر فضاهای داخلی باشد که ممکن است از طریق یک یا چند مورد از موارد زیر حاصل شود:

- انتخاب مناسب موقعیت قرار گیری، زاویه شیب و مساحت بام
- پوشش نهایی خارجی روشن برای کاهش جذب پرتوهای خورشیدی
- سایه‌اندازی بام برای کاهش اثر پرتوهای خورشیدی مستقیم در کنار این موارد باید توجه ویژه‌ای به مسائلی دیگر نیز داشته باشیم. برای مثال رنگ سطوح بام بر میزان جذب انرژی خورشیدی تاثیر قطعی دارد. بام‌های سفید به دلیل قابلیت انعکاس هشتاد

## روش‌شناسی

## داده‌های هواشناسی (محدودیت‌ها)

نرم افزار Design builder به‌گونه‌ای طراحی شده که امکان گسترش داده‌های هواشناسی آن با اتصال به سایت اصلی وجود دارد ولی متأسفانه پس از واردکردن اطلاعات هواشناسی تهران، مشکلاتی در نرم افزار ایجاد می‌شود. به عنوان راه‌حل، خروجی داده‌های هواشناسی نرم افزار Meeonorm 6 برای شهر تهران با تغییر نام و شکل، جایگزین داده‌های هواشناسی Design builder گردید. در نرم افزار RSPT نیز مشخصات هواشناسی تنها برای بخشی از شهرهای اروپا پیش‌بینی شده‌است، ولی ذکر گردیده که امکان گسترش اطلاعات هواشناسی وجود دارد. در نتیجه پوشه اصلاح شده هواشناسی تهران جایگزین داده‌های قبلی آن گردید.

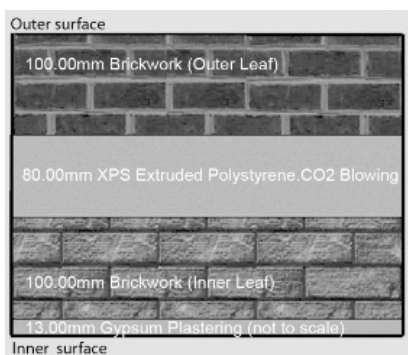
## اطلاعات ورودی و نتایج شبیه‌سازی

### گام اول- شبیه‌سازی بام ساده تخت

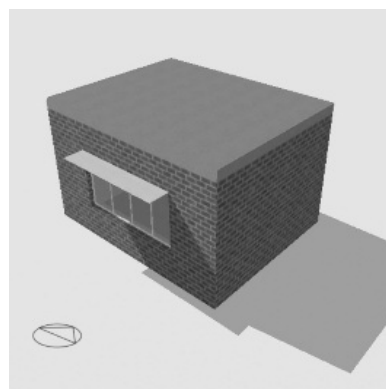
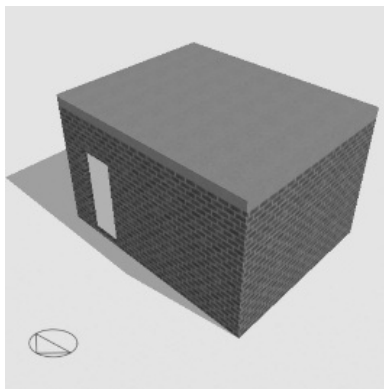
شبیه‌سازی این بام، تحت عنوان simple roof انجام شد. نتایج این شبیه‌سازی به‌عنوان داده‌های مرجع در نظر گرفته شده تا برای مقایسه تغییرات در جایگزینی بام‌های مرکب به‌کار رود. از لحاظ کالبدی، ساختمان مورد بررسی اتاقکی به طول ۵ و عرض ۴ متر بوده که رو به جنوب دارد. شرایط پوسته ساختمان به‌گونه‌ای انتخاب شده که انتقال حرارت از طرق دیگر اجزاء تا حد امکان کنترل شده و محدود به بام گردیده تا متغیرها محدود گردند و امکان بررسی دقیق تغییرات فراهم شود (تصویر ۱). دیوارهای خارجی با ضخامت ۲۲ سانتیمتر در نظر گرفته شده‌اند که دو جداره بوده و لایه‌ای عایق حرارتی در بین آنها قرار دارد. بام نیز ترکیبی از لایه‌های متداول سقف تیرچه بلوک بتنی است (تصاویر ۲، ۳، ۴، ۵). با انتخاب فعالیت Retail-typical، درصد حضور افراد و میزان فعالیت آنها بر مبنای این کاربری مشخص شد. نتایج شبیه‌سازی این قسمت شامل دماهای ساعتی داخلی و خارجی بنا است. به دلیل آنکه انتخاب هرگونه تاسیسات گرمایشی و سرمایشی مستلزم انتخاب دمای تنظیم می‌باشد که نتایج را پیچیده کرده و تأثیر مستقیم نوع بام را پنهان می‌سازد، در این حالت برای بنا سیستم تاسیسات مکانیکی در نظر گرفته نشده است.

روش شبیه‌سازی کامپیوتری محیطی مجازی را برای بررسی جزء به جزء رفتارهای حرارتی اجزاء ساختمان فراهم می‌آورد. شبیه‌سازی بام در نرم‌افزارهای مربوطه، راهکاری است که بوسیله آن امکان بررسی دقیق‌تر تخمین شرایط و پتانسیل‌های انواع بام‌ها در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی فراهم می‌شود. با توجه به اینکه در تکنیک‌های مورد بررسی به استثنای بام‌های دو پوسته (که در روند ساخت و ساز کشور رایج نبوده و در صورت اجرا نیز بر اساس زیبایی‌شناسی بنا شده‌اند)، امکان اندازه‌گیری دماهای حقیقی در نمونه‌های واقعی فراهم نیست، از این رو شبیه‌سازی کامپیوتری به‌عنوان روشی جایگزین انتخاب می‌شود. در این روش امکان ساخت هر گونه بنایی در هر شرایط اقلیمی در محیطی مجازی وجود داشته و نتایج بدست آمده نیز هیچ‌گونه محدودیت عددی و زمانی ندارند.

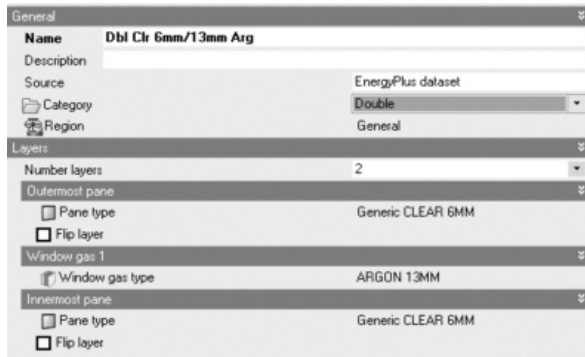
در این پژوهش از دو نرم‌افزار RSPT و Design builder استفاده شده است. نرم‌افزار RSPT بر مبنای مطالعات و نتایج کتاب Roof Cooling Techniques طراحی شده که امکان شبیه‌سازی سه تکنیک حوضچه بام، تشعشع‌کننده سرمایشی آبی و هوایی در آن پیش‌بینی شده است. موتور شبیه‌سازی نرم‌افزار Design builder version 1.9.0.003، energy plus بوده و برتری آن از این جهت است که بر خلاف energy plus، امکان شبیه‌سازی در محیطی بصری فراهم است. از این رو نتایج هم به صورت عددی و هم به صورت نمودار قابل ارائه هستند. با توجه به اطلاعات به دست آمده از کتاب Roof Cooling Techniques در ابتدا، مبنای کار بر نرم‌افزار RSPT قرار گرفت اما نظر به اینکه بام‌های سبز در این برنامه پیش‌بینی نشده بودند، برای تکمیل مقایسه از نرم‌افزار Design Builder استفاده شد که امکان شبیه‌سازی بام سبز نیز در آن پیش‌بینی شده است. این نرم‌افزار محیط شبیه‌سازی گسترده‌تری داشته و داده‌های وسیع‌تری را نیز نتیجه می‌دهد.



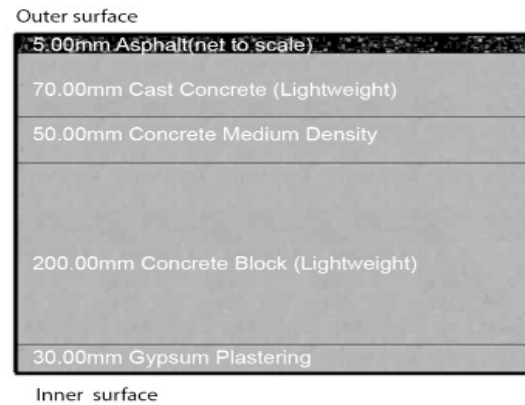
تصویر ۳- مقطع دیوار.



تصویر ۲- مدل شبیه‌سازی.



تصویر ۵- مشخصات پنجره.



تصویر ۴- مقطع بام.

شرکت می‌کند. تشعشع کننده ممکن است بخش جدایی ناپذیری از ساختمان بوده و یا واسطه‌ای برای پراکنده سازی حرارت از سیال انتقال حرارتی همچون هوا یا آب باشد. اجزاء اصلی سیستم تشعشع کننده سرمایه‌ی شامل تشعشع کننده (ساطع کننده یا پراکنده کننده حرارت)، سیال انتقال حرارت (آب یا هوا)، عایق حرارتی، مخزن سرما و مبادله کننده حرارت است. (Yannas, 2005) به دلیل آنکه مشخصات تشعشع کننده‌های بام تشعشعی در برنامه design builder پیش بینی نشده است، برای شبیه سازی این بخش از نرم افزار RSPT استفاده شده است. طراحی این نرم افزار به گونه‌ای است که امکان انتخاب تشعشع کننده آبی تنها در ترکیب با حوضچه بام وجود دارد. لذا با توجه به روند مطالعات که مبنی بر بررسی جداگانه هر تکنیک می باشد، از شبیه سازی تشعشع کننده آبی صرف نظر کرده و تنها به نتایج تشعشع کننده هوا می پردازیم. در اینجا به دلیل تفاوت نرم افزار و محیط کار، امکان ایجاد مشخصات کالبدی دقیقاً مطابق با گزینه قبلی نبود ولی مشخصات به گونه‌ای وارد شده تا کمترین تفاوت ایجاد گردد. در بخش نتایج، امکان استفاده از دو نوع خروجی وجود دارد که شامل صرفه جویی در مصرف انرژی سرمایه‌ی و نیز کاهش دماهای بالاتر از حد آسایش است. این نکته نیز قابل توجه بود که برنامه کارکرد تشعشع کننده باید مشخص می‌شد. به این سبب، شبیه سازی سالانه تشعشع کننده یکبار برای کارکرد دائم و بار دیگر نیز برای کارکرد شبانه انجام گرفت. با توجه به نتایج و میزان افزایش صرفه جویی در کارکرد دائم نسبت به کارکرد شبانه، بهره‌وری کارکرد شبانه بیشتر بوده در نتیجه این گزینه به صورت ماهیانه نیز مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی دقیق نتایج (جدول ۱) مشخص می‌شود که میزان صرفه جویی و کاهش در تقاضای انرژی سرمایه‌ی در ماه‌های فروردین و مهر به بیشترین میزان خود می‌رسد ولی با حرکت بسوی ماه‌هایی که حداکثر دما در آنها اتفاق می‌افتد، از میزان بهره‌وری این سیستم کاسته می‌شود تا به پایین‌ترین حد خود در ماه تیر می‌رسد. برای بررسی دقیق وضعیت ماه تیر، که بار سرمایه‌ی به حداکثر میزان خود می‌رسد، خروجی آسایش این ماه نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌ای که تغییر ایجاد شده، بین گزینه‌ای که دمای آسایش را  $25^{\circ}\text{C}$  فرض کرده و گزینه‌ای که آن را  $27^{\circ}\text{C}$  در نظر گرفته است، نشان می‌دهد، لزوم توجه دقیق‌تر بر پایه دمای آسایش را به پژوهشگران توصیه می‌کند.

## گام دوم- شبیه سازی بام دو پوسته

در این بام‌ها، بام و سقف یکی نبوده و فاصله بین آنها وجود دارد. موارد استفاده این روش در گذشته به صورت گنبد‌های دو پوسته و شیروانی‌ها بوده و امروزه در بام‌های تخت نیز به صورت سقف کاذب رواج دارند. در صورتی که بام از نوع سبک دو لایه باشد، مصالح می‌توانند ورق‌های سفالی، آزیست و سیمان، آهن گالوانیزه و آلومینیم و مصالح سقف، یک شبکه فلزی آویزان از بام و پوشش گچ و ورق‌های چوبی یا آکوستیک باشند. در حالتی دیگر، بام از مصالحی سبک وزن و سقف از ماده‌ای متراکم ساخته می‌شود. حتی می‌توان آنها را با دو سازه‌ی مستقل، مجزا ساخت. در این مورد نیز مشخصات کالبدی دقیقاً با نمونه مرجع برابری می‌کنند و تنها مشخصات بام متفاوت است. در مدل شبیه سازی شده، هوای بین دو لایه ارتباطی با هوای بیرون ندارد. لایه بیرونی بام دو پوسته سبک در نظر گرفته شده (۵ میلی‌متر آلومینیوم با فاصله هوایی ۱۰۰ میلی‌متری) و لایه داخلی مشابه بام ساده مرجع می‌باشد. نتایج این بام نیز شامل دماهای ساعتی داخلی و خارجی بنا است و مشابه حالت قبل در این حالت نیز برای بنا سیستم تاسیسات مکانیکی در نظر گرفته نشده است. نمودار بدست آمده برای بام دو پوسته بر نمودار بام ساده مطابقت داده شده تا تغییرات براحتی قابل تشخیص باشد. بیشترین تغییرات در ۵ ماه اول سال (فروردین تا شهریور) مشاهده گردید (حداکثر ۲ درجه سانتیگراد) در بقیه ماه‌ها بطور تقریبی همپوشانی کامل بود (حداکثر نیم درجه سانتیگراد). تغییرات یاد شده بسیار ظریف بوده که عمدتاً به دلیل ایجاد سایه بر روی بام و کاهش دریافت‌های خورشیدی است. به بیانی روشن می‌توان گفت که تغییر دمایی موجود تنها مقدار بار سرمایه‌ی بنا را، آن هم در حد دهم درجه، کاهش می‌دهد.

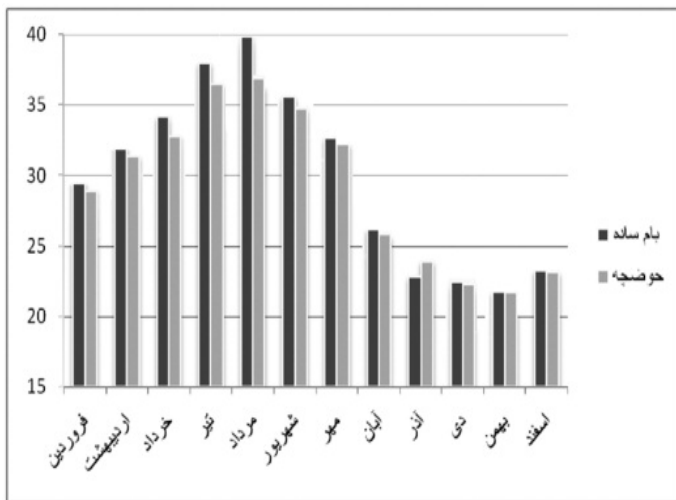
## تشعشع کننده سرمایه‌ی به عنوان تعدیل کننده حرارتی

در زمینه سرمایه‌ی غیر فعال، تشعشع کننده وسیله‌ای است که با تابش امواج بلند به آسمان در پراکنده سازی حرارت ساختمان

جدول ۱- بررسی نتایج صرفه جویی انرژی سرمایشی با کارکرد شبانه تشعشع کننده هوا.

زمان	تقاضای انرژی سرمایشی بدون کاربرد تکنیک (kwh)	تقاضای انرژی سرمایشی با کاربرد تکنیک (kwh)	درصد صرفه جویی (%)
دی	۰	۰	۰
بهمن	۰	۰	۰
اسفند	۰	۰	۰
فروردین	۹/۸	۷/۳	۲۵/۹۶
اردیبهشت	۸۳/۵	۶۷/۹	۱۸/۶۸
خرداد	۲۶۰/۷	۲۴۱/۹	۷/۱۹
تیر	۳۸۷/۶	۳۷۳/۷	۳/۵۸
مرداد	۳۴۸/۸	۳۳۲/۷	۴/۶۳
شهریور	۱۹۳/۷	۱۷۳	۱۰/۶۶
مهر	۳۶/۵	۲۸/۷	۲۱/۲۵
آبان	۰	۰	۰
آذر	۰	۰	۰

### حوضچه بام به عنوان تکنیک واسط



تصویر ۶- نمودار دما در دو حالت بام ساده و حوضچه بام.

با توجه به اینکه گزینه حوضچه بام در محاسبات نرم افزار RSPT پیش بینی شده است ، امکان مقایسه بین نتایج دو نرم افزار برای گزینه ای یکسان فراهم است. اگر چه باید این نکته را در نظر داشت که نرم افزار RSPT محیط کار محدودتری داشته و امکان تعیین دقیق مشخصات جدار موجود نمی باشد. شرایط جدار در این وضعیت مطابق شرایط اعمال شده بر گزینه تشعشع کننده سرمایشی هوا است. تنها تغییر در انتخاب تکنیک حوضچه بام به جای تشعشع کننده سرمایشی است تا شرایطی یکسان در دو نرم افزار پیش آید.

حوضچه بام سیستمی متشکل از حجمی مشخص از آب به عنوان واسطه ای برای ذخیره و تبادل حرارت است. انتقال حرارت بین حوضچه بام و فضاهای ساختمان ممکن است به وسیله اتصال حرارتی مستقیم یا غیر مستقیم (از طریق اعمال عنصری واسطه) فراهم گردد. در حالت سرمایش، آب داخل حوضچه به عنوان انباره دائمی حرارت اضافی ساختمان عمل کرده و به این صورت در پراکنده سازی حرارت و سرمایش فضاهای داخلی شرکت می کند و سپس از طریق فرایندهای طبیعی خنک می گردد. کاربردهای حوضچه های بام بر حسب اینکه آیا آب در کیسه ها نگه داشته شده یا در حد دست اندازهای بام، پر شده است، طبقه بندی می شوند که در هر یک از آنها، عایق حرارتی می تواند ثابت یا متحرک باشد. اجزاء اصلی سیستم حوضچه بام شامل تکیه گاه حوضچه، محفظه آب، پوشش حفاظتی و سیستم پاشش و گردش آب می باشند. در این مورد نیز مشخصات کالبدی دقیقاً با نمونه بام ساده برابری می کند تنها تفاوت در مشخصات بام است. بخش زیرین لایه های بام مطابق لایه های بام ساده است ولی علاوه بر آن لایه ای از سطحی آلومینیمی (بعنوان تکیه گاه حوضچه) و ۲۰ سانتی متر آب نیز به آن افزوده شده است. نتایج شبیه سازی این گزینه نیز شامل دماهای ساعتی داخلی و خارجی بنا است و همچنین در مشخصات هیچگونه سیستم تاسیسات مکانیکی در نظر گرفته نشده است. نمودار بدست آمده برای حوضچه بام بر نمودار بام ساده مطابقت داده شد تا تغییرات به راحتی قابل تشخیص باشند. به جهت اهمیت این نمودار را در تصویر ۶ می توان مشاهده کرد. نمودار به خوبی بیانگر آن است که در شرایط شهر تهران، به جز در نیمه دوم سال از مهر تا اسفند، در بقیه ماه ها (نیمه اول) عموماً گاهشی دمایی مشاهده می شود. که این اختلاف در دوره زمانی خرداد تا شهریور محسوس تر است.

جدول ۲- خروجی های آسایشی حوضچه بام در RSPT.

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	تأهش دمای متوسط (درجه سانتیگراد)
۲/۲	۲/۱	۲	۱/۶	۱/۳	۱/۴	

## تجزیه و تحلیل بام سبز

Outer surface	Outer surface
500.00mm green	200.00mm green
5.00mm Asphalt(not to scale)	5.00mm Asphalt(not to scale)
70.00mm Cast Concrete(Lightweight)	70.00mm Cast Concrete(Lightweight)
50.00mm Concrete, Medium density	50.00mm Concrete, Medium density
200.00mm Concrete Block (Lightweight)	200.00mm Concrete Block (Lightweight)
30.00mm Gypsum Plastering(not to scale)	30.00mm Gypsum Plastering(not to scale)
Inner surface	Inner surface

تصویر ۷-مقطع بام سبز گسترده (بالا) و فشرده (پایین).

General	Surface properties	Green roof
Green Roof		
<input checked="" type="checkbox"/>	Green roof	
Height of plants (m)		0.1000
Leaf area index		3.0000
Leaf reflectivity		0.220
Leaf emissivity		0.950
Minimum stomatal resistance (s/m)		100.000
Max volumetric moisture content at saturation		0.500
Min residual volumetric moisture content		0.010
Initial volumetric moisture content		0.150

General	Surface properties	Green roof
Green Roof		
<input checked="" type="checkbox"/>	Green roof	
Height of plants (m)		0.3000
Leaf area index		5.0000
Leaf reflectivity		0.220
Leaf emissivity		0.950
Minimum stomatal resistance (s/m)		100.000
Max volumetric moisture content at saturation		0.500
Min residual volumetric moisture content		0.010
Initial volumetric moisture content		0.150

تصویر ۸-مشخصات لایه بام سبز گسترده (بالا) و فشرده (پایین).

با توجه به جدول ۳ و ۴ افزایش دمایی که در ماه های سرد سال در دمای داخلی ساختمانی با بام سبز فشرده اتفاق می افتد مشابه بام سبز گسترده اما محسوس تر است. در ساعاتی که در جدول مشخص شده اند مقدار تغییر به ماکزیم مقدار خود می رسد. از این رو تاثیر بیشتری نیز بر کاهش بار گرمایشی بنا دارد. همان طور که مشخص است بیشترین تغییر در ساعاتی اتفاق می افتد که دمای هوای خارجی به حداقل خود می رسد.

بام سبز جایگزینی مناسب برای گیاهان از بین رفته فضاهای شهری، بهبود بخش خرد اقلیم محلی، کاهش دهنده دریافت حرارتی و تعدیل بخش شرایط حرارتی داخل است. بام های سبز گسترده و فشرده از لایه های متعددی تشکیل شده اند تا سطحی برای رویش و هم چنین زهکشی آب اضافی روی بام، فراهم کنند. این لایه ها شامل لایه گیاه، خاک، فیلتر خاک، زهکش، پوسته آب بند و لایه زیر غشایی اند.

نتایج به دست آمده از مطالعات، حاکی از این است که بام های سبز می توانند دما را کنترل و لایه های عایق حرارتی ایجاد کنند، هر چند که کارایی آنها وابسته به شرایط روزانه این بام ها است. شبیه سازی این بخش شامل دو بخش بام سبز گسترده و فشرده می باشد. در این مورد نیز تنها تفاوت مشخصات کالبدی با نمونه بام ساده مرجع، در جزئیات بام می باشد. بخش زیرین لایه های بام در این مورد، مطابق لایه های بام ساده است. تفاوتی که وجود دارد اضافه نمودن لایه های لازم دیگر برای بام سبز در دو عمق متفاوت است. در بام سبز گسترده، عمق لایه بام ۲۰ سانتی متر می باشد که ۱۰ سانتی متر آن مربوط به گیاه است و در بام سبز فشرده، عمق کلی ۵۰ سانتی متر بوده و ۳۰ سانتی متر آن مربوط به گیاه است (تصویر ۷). در ضمن شاخص سطح برگ بام سبز گسترده سه بوده که در بام سبز فشرده پنج می باشد (شاخص سطح برگ (LAI) نسبت سطح برگ به سطح زمین است) (تصویر ۸). نتایج این قسمت مشابه موارد قبل، شامل دماهای ساعتی داخلی و خارجی بنا است و برای بنا هیچ سیستم تاسیسات مکانیکی در نظر گرفته نشده است. با بررسی نتایج مشاهده می شود که در این تکنیک افزایش دما در ماه های سرد سال قابل تشخیص است. به معنای آنکه کاهش بار گرمایشی ساختمان در این فصول محسوس تر است. چنین کاهش از اوایل مهر تا اوایل ماه اردیبهشت اتفاق می افتد. برای بررسی دقیق تر، دماهای این بخش با فواصلی سه ساعتی در جدول ۳ ارائه شده است. از مقایسه اعداد می توان به این نتیجه رسید که در این بخش افزایش دما و متعاقباً تاثیر آن در کاهش بار گرمایشی کم است. از این رو چنین بامی تاثیر قابل توجهی بر بار سرمایشی ندارد. تصویر ۹ مقایسه ای بین دما در سه بام ساده، سبز گسترده و سبز فشرده را نشان می دهد. با بررسی نمودار مشاهده می شود که بیشترین تغییر دما در بام سبز فشرده همچون بام سبز گسترده بصورت افزایش دما در محدوده زمانی اوایل مهر تا اوایل اردیبهشت است. جدول ۳ مقایسه دمای ساعتی (هر سه ساعت) پانزدهم این دوره ۵ ماهه برای بام سبز فشرده را نشان می دهد.

جدول ۴- مقایسه دماهای ساعتی (با فاصله ۳ ساعت) روز پانزدهم ۵ ماه از سال در ساختمان هایی با بام سبز فشرده و بام های ساده.

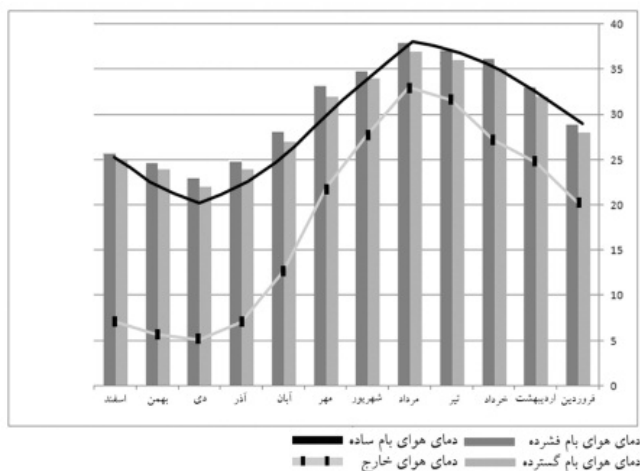
	۱۵ بهمن	۱۵ دی	۱۵ آذر	۱۵ آبان	۱۵ مهر
۰	۲۱/۴۷	۱۶/۷۴	۲۳/۰۴	۲۷/۵۷	۳۲/۷
	۲۰/۷۹	۱۵/۳۷	۲۱/۹۳	۲۶/۷۸	۳۲/۵۲
۳	۲۰/۳۲	۱۵/۸۴	۲۲/۱۵	۲۶/۶۴	۳۲/۰۲
	۱۹/۴۴	۱۴/۴۳	۲۰/۹۸	۲۵/۸۲	۳۱/۸۶
۶	۱۹/۵۶	۱۵/۰۴	۲۱/۴۹	۲۵/۸۲	۳۱/۴
	۱۸/۵۸	۱۳/۵۷	۲۰/۳	۲۴/۹۵	۳۱/۲۱
۹	۱۹/۲۸	۱۵/۸۶	۲۱/۹۵	۲۶/۰۷	۳۲/۵۲
	۱۸/۲۱	۱۴/۳۲	۲۰/۷۲	۲۵/۱۶	۳۲/۲۳
۱۲	۲۲/۴۴	۲۲/۳۲	۲۵/۶۷	۲۷/۲۸	۳۴/۹۱
	۲۲/۰۹	۲۱/۹۵	۲۴/۸	۲۶/۶۶	۳۴/۵۹
۱۵	۲۲/۴۶	۲۲/۴۶	۲۶/۲۹	۲۷/۳۹	۳۴/۹۵
	۲۲/۳۶	۲۲/۴۱	۲۵/۵۹	۲۶/۷۸	۳۴/۷۷
۱۸	۲۲/۴۸	۲۲/۱۸	۲۴/۹۵	۲۶/۶۷	۳۳/۴۵
	۲۲/۳	۲۱/۹۶	۲۴/۳	۲۶/۰۳	۳۳/۲۵
۲۱	۲۲/۴۴	۲۲/۰۲	۲۴/۵	۲۶/۱۵	۳۲/۸۷
	۲۲/۲۹	۲۲/۰۳	۲۳/۸۷	۲۵/۵۲	۳۲/۵۷

(اعداد کمرنگ نشان دهنده دماهای داخلی در ساختمانی با بام سبز فشرده بوده و اعداد پررنگ دماهای ساختمانی ساده مرجع است)

جدول ۳- مقایسه دماهای ساعتی (فاصله ۳ ساعت) ۵ ماه در ساختمان هایی با بام سبز گسترده و بام های ساده.

	۱۵ بهمن	۱۵ دی	۱۵ آذر	۱۵ آبان	۱۵ مهر
۰	۲۱/۳۱	۱۶/۲۶	۲۲/۶	۲۷/۴۵	۳۲/۷۹
	۲۰/۷۹	۱۵/۳۷	۲۱/۹۳	۲۶/۷۸	۳۲/۵۲
۳	۲۰/۱۷	۱۵/۳۳	۲۱/۶۶	۲۶/۴۹	۳۲/۱۱
	۱۹/۴۴	۱۴/۴۳	۲۰/۹۸	۲۵/۸۲	۳۱/۸۶
۶	۱۹/۳۹	۱۴/۵	۲۰/۹۹	۲۵/۶۷	۳۱/۴۹
	۱۸/۵۸	۱۳/۵۷	۲۰/۳	۲۴/۹۵	۳۱/۲۱
۹	۱۹/۱۱	۱۵/۲۸	۲۱/۴۳	۲۵/۹۲	۳۲/۶۳
	۱۸/۲۱	۱۴/۳۲	۲۰/۷۲	۲۵/۱۶	۳۲/۲۳
۱۲	۲۲/۳۵	۲۲/۱۴	۲۵/۳۲	۲۷/۱۸	۳۴/۹۸
	۲۲/۰۹	۲۱/۹۵	۲۴/۸	۲۶/۶۶	۳۴/۵۹
۱۵	۲۲/۵۳	۲۲/۵۴	۲۶/۰۳	۲۷/۳۲	۳۵/۰۱
	۲۲/۳۶	۲۲/۴۱	۲۵/۵۹	۲۶/۷۸	۳۴/۷۷
۱۸	۲۲/۳۹	۲۲/۱۷	۲۴/۶۸	۲۶/۵۸	۳۳/۵۱
	۲۲/۳	۲۱/۹۶	۲۴/۳	۲۶/۰۳	۳۳/۲۵
۲۱	۲۲/۳۹	۲۱/۹۷	۲۴/۲۳	۲۶/۰۶	۳۲/۹۵
	۲۲/۲۹	۲۲/۰۳	۲۳/۸۷	۲۵/۵۲	۳۲/۵۷

(اعداد کمرنگ نشان دهنده دماهای داخلی در ساختمانی با بام سبز گسترده بوده و اعداد پررنگ دماهای ساختمانی ساده مرجع است)



تصویر ۹- نمودار دمای بام ساده، بام سبز گسترده و بام فشرده به همراه نمایشگر دمای خارج.

## نتیجه

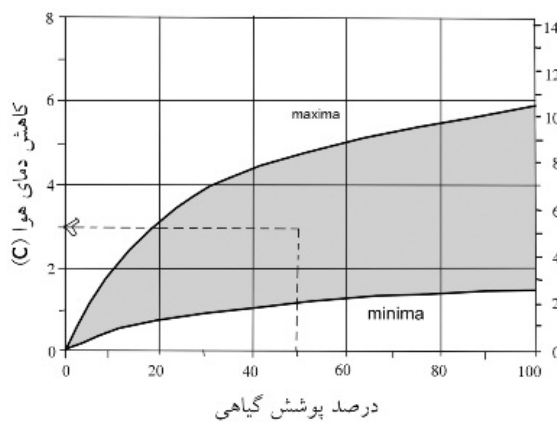
می‌نماید و پس از آن وظیفه طراح است که با توجه به تمام نقاط بحرانی نتایج، امکانات وضع موجود و هزینه های ساخت، مناسب ترین تکنیک را انتخاب نموده و جدار حرارتی آن را طراحی نماید. متوسط دمای ماهانه و درصد رطوبت نسبی با استفاده از آمار ده ساله (۲۰۰۳-۱۹۹۳) هواشناسی تهران به دست آمده و پس از آن با استفاده از جدول آسایش حرارتی کتاب بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان (حیدری، ۱۳۸۴)، محدوده آسایش

در شبیه سازی های انجام شده، پس از وارد کردن داده های اولیه مورد نیاز، نتایج دقیق و کاملی به دست آمد که امکان پیگیری رفتار حرارتی جداره مورد نظر و تاثیر آن بر دمای داخلی را فراهم نمود. اینک با داده های بدست آمده می‌توان به راحتی تکنیک مناسبی را برای بام بنا انتخاب نمود که راندمان حرارتی قابل قبولی در تمام سال ارائه دهد. نکته کلیدی استفاده از شبیه سازی در این است که این برنامه تنها وضع مورد نظر را بررسی

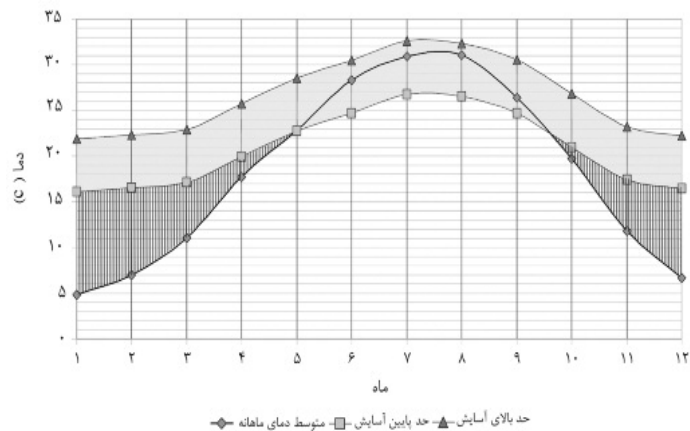
در تهران چهار در نظر گرفته باشیم، با فرض استفاده از فقط ۲۵٪ بام‌ها به عنوان فضای سبز و تلاقی آن با فضای سبز موجود، به کمک تصویر ۱۱ متوجه می‌شویم که دمای این شهر تا ۳ درجه در فصل گرم کاهش داشته و در نتیجه آن ۲۱٪ کاهش مصرف انرژی خواهیم داشت. علاوه بر آن مشکلات زیست‌محیطی و آلودگی هوا تا ۱۸٪ کاهش می‌یابند.

چنانچه شماتیک شکل ۱۲ را منطبق با تغییر دما برای شهر تهران در نقاط مختلف شهری بعد از ظهر یک روز تابستان بدانیم، در این صورت وجود پوشش سبز (برای ۲۵٪ بام‌ها)، دما را از حد  $29/2 - 32/3$  (درجه) به حد  $26/2 - 30/3$  (درجه) کاهش داده و بار سرمایشی فصل گرم را کم خواهد کرد.

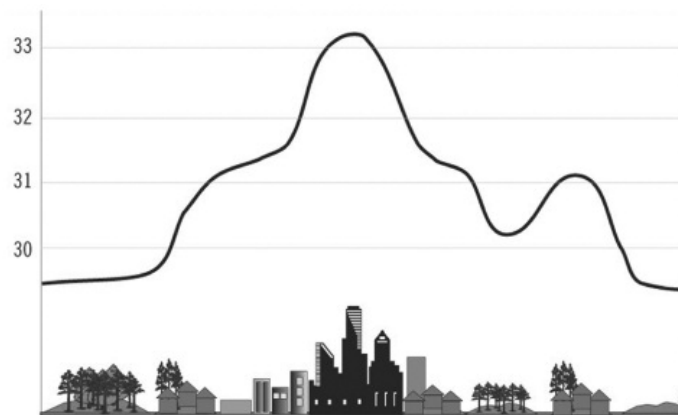
حرارتی این شهر، تعیین گردید (تصویر ۱۰). با بررسی منحنی دمای متوسط و محدوده آسایش حرارتی در نمودار می‌توان به این نتیجه رسید که در محدوده زمانی بین ماه اردیبهشت (می) و اواسط شهریور (سپتامبر)، دمای متوسط در محدوده آسایش قرار می‌گیرد (فصل سرمایش)، ولی در بقیه ماهها برای رسیدن به حد پایین آسایش به گرمایش نیاز است. نتیجه آن که سیاست اصلی طراحی بنا بایستی در جهت پیش‌بینی راه‌حل‌های اقلیمی برای گرمایش بنا باشد. مطابق نتایج شبیه‌سازی، بام سبز، تکنیک مناسبی برای شهر تهران بوده و جوابگوی نیاز حرارتی این شهر است. از طرفی دیگر سطح سبز شده شهری، افزایشی معادل سطح زیر ساخت‌ها خواهند داشت. اگر متوسط تعداد طبقات را



تصویر ۱۱ - سرمایش ناشی از پوشش گیاهی.  
ماخذ: (طراحی اقلیمی، آقایی، ۱۳۸۶)



تصویر ۱۰ - بررسی نمودار متوسط ماهانه دما و محدوده آسایش تهران.  
حد بالای آسایش - حد پایین آسایش - متوسط دمای ماهانه



تصویر ۱۲ - دمای بعد از ظهر یک روز تابستانی منطبق با توزیع نقاط شهری تهران.  
ماخذ: ([URL2: http://www.builditmartvc.org/background/background2.php](http://www.builditmartvc.org/background/background2.php))

## فهرست منابع:

حیدری، شاهین (۱۳۸۴)، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان با تکیه بر استاندارد نوین آسایش حرارتی در ایران، انتشارات وزارت نیرو، تهران.  
آقایی، سعید (۱۳۸۶)، خورشید، باد و نور - طراحی اقلیمی، انتشارات گنج هنر، تهران

URL1: <http://www.caed.calpoly.edu/sites/ehhf/src/resources/manual.pdf>

URL2: <http://www.builditmartvc.org/background/background2.php>

Dinouidi.A, Nikolopoulou.M (2000), Vegetation in the urban environment: Microclimatic Analysis and Benefits, Center for renewable energy sources, Pikerimion.

Koppe.C, Kovats.S, Gendritzky, Jaud Menne.B (2004), Health and global environmental change, Heat Waves, No.2, Energy environment and sustainable development, World health organization.

Yannas, Simon & Evyatar Erell & Jose Luis Molina (2005), Roof Cooling Techniques, Earthscan.