نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی • شماره ۴۲ • تابستان ۱۳۸۹

شبیه‌سازی بام‌ها راهکار بررسی دقیق تاثیرات دمایی در محیطی مجازی

مریم مسندی*[۱]، دکتر شاهین حیدری[۲]

[۱] کارشناس ارشد انرژی و معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

[۲] 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 محیط‌زیست در آینده‌ای نزدیک با توجه به آهنگ رشد جمعیت فعلی، سهم انرژی‌های تجدید ناپذیر در ترازنامه سالیانه انرژی کشور و گسترش بی‌رویه آلاینده‌های زیست محیطی قطعی است، مگر آنکه تغییراتی سریع در شیوه ها صورت گیرد. یکی از این تغییر روش‌ها (در میان صدها روش دیگر) اصلاح ساخت و ساز به منظور کاهش اتلاف انرژی در برنامه‌های آتی کشور هاست. در روش‌های اصلاحی بایستی اجزا معماری در کانون دقت جزءنگر معمار و هم کل‌نگر 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 می کند. محیط مجازی، اقلیمی مشابه اقلیم مورد نظر را ایجاد کرده و نتایج لازم را فراهم می آورد. مقاله حاضر نتیجه شبیه‌سازی اینچنینی برای بام تحت‌نرم افزار RSPT و Design builder است که برای گزینه‌های مختلف بام در اقلیم شهر تهران صورت گرفته و حاوی تغییرات دقیق دما در طی ساعاتِ ماه‌های مختلف است. این اطلاعات می‌توانند داده‌هایی تعیین کننده در جهت طراحی مناسب در تهران محسوب گردند.

واژه های کلیدی:

بام، ساختمان، شبیه سازی، دما، انرژی، محیط زیست.

* نویسنده مسئول: تلفن: ۸۸۰۲۴۶۶۸-۰۲۱، نمابر: ۴۴۶۶۹۲۰۵-۰۲۱، **E-mail:** maryammasnadi@gmail.com.

مقدمه

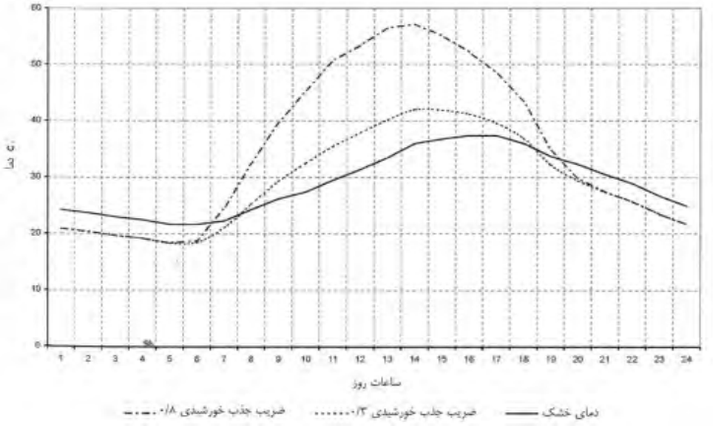
با توجه به سهم اتلاف انرژی، در افزایش بی مورد مصرف انرژیِ ساختمان، خسارات جبران ناپذیر محیط زیستی به بار آمده و خواهد آمد. اقدام جهت شناخت علل اتلاف و برنامه ریزی برای حذف آنها باید جز اولویت های بخش طراحی انرژی قرار گیرد.

بام یکی از اجزاء اصلی ساختمان است که عموماً مورد بی مهری طراحان معماری است. معماران فقط به ملاحظات آب بندی آن توجه داشته و سعی دارند با ساده ترین و کم هزینه ترین راهکارها و بی توجه به ملاحظات حرارتی، آن را بنا سازند. با بررسی عملکرد حرارتی اجزاء ساختمان و پیگیری تغییرات آنها در ساعات و فصول مختلف می توان 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 صرفه جویی غیر مستقیم انرژی، به خصوص در محیط های شهری، موثر است.

بام ها نه تنها از اجزاء مختلف ساختمان محافظت می کنند، بلکه می توانند در گرمایش، سرمایش، تهویه و روشنایی نیز مورد بهره برداری قرار گرفته تا در بهینه مصرف کردن منابع انرژی کمک و یاری رسان 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 می شود. بام ها جزئی از پوسته خارجی ساختمان هستند که بیشتر از بقیه اجزاء در معرض عوامل جوی قرار می گیرند. می توان گفت که تعادل بین نقش های محیطی، محافظتی و قابل انتخاب بام تابع عوامل موقتی و نیز زمینه ای آن است. گاه با اضافه کردن عناصری نقش تعدیلی را دگرگون و یا به نوعی عوض می کنیم. نمودار تصویر ۱ موقعیت بام را بهتر تبیین می کند. 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 شده اند. در شکل مشاهده می شود 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 درشب، تاثیر سرمایش تابشی، یعنی اتلاف حرارت ویژه ازطریق پرتوهای امواج بلند به آسمان، را نشان می دهد. در هر صورت طراحی بام باید در جهت کنترل جذب پرتوهای خورشیدی و تاثیر آنها بر فضاهای داخلیِ 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
- سایه اندازی بام برای کاهش اثر پرتوهای خورشیدی مستقیم

در کنار این موارد باید توجه ویژه ای به مسائلی دیگر نیز داشته باشیم. برای مثال رنگ سطوح بام بر میزان جذب انرژی خورشیدی تاثیر قطعی دارد. بام های سفید به دلیل قابلیت انعکاس هشتاد



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 سایه اندازی بام می تواند راه حلی دیگر برای تفوق به مشکل آزار دهنده تابش ناخواسته باشد. سایه اندازی از طریق لایه سازی 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 می رسد. در سایه چنین تحلیلی، مورد قابل لمس تر بوده و بیشتر مورد استفاده واقع می شود. برای چنین کارِ پژوهشی، معمولاً پژوهش های میدانی ناکارآمدند. شبیه سازی کامپیوتری راهکاری ست که در سال های اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته است. در سایه این تکنیک و با شناخت نقاط بحرانی ساختمان می توان در پی تغییر آن برآمده و مشکل را برطرف ساخت. نرم افزارهای متعددی برای این منظور طراحی شده اند که قابلیت دریافت اطلاعات کالبدی بنا را داشته و خروجی آنها دمای داخلی یا میزان صرفه جویی در مصرف انرژی و یا نحوه توزیع شار حرارتی است که در نتیجه شرکت اجزا مختلف در تبادلات حرارتی به وجود آمده اند. یکی از برجسته ترین نرم افزارهای موجود Energy Plus است که اولین نسخه آن در سال ۱۹۹۸ ارائه شد. نرم افزارهای مختلفی با تکیه بر جزئی خاص طراحی شده اند (URL1) ولی هیچیک امکان مقایسه تکنیک های مختلف را فراهم نکرده اند. شبیه سازی این مقاله بر روی مدولی محدود صورت می گیرد، ولی طبق نظر دینودی و نیکولوپولو، چنانچه گیاهان در کالبد شهرها بوده و وارد محل زندگی انسانها شوند، خرد اقلیم را تغییر می دهند و دمای شهرها را تا ۱۰ درجه می توانند 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 بام های شهر، توزیع بسیار مناسبی را ایجاد می کند

روش‌شناسی

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 ساخت‌وساز کشور رایج نبوده و درصورت اجرا نیز بر اساس زیبایی شناسی بنا شده اند)، امکان اندازه گیری دماهای حقیقی در نمونه‌های واقعی فراهم نیست، از این‌رو شبیه سازی کامپیوتری بعنوان 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 نرم افزار RSPT و Design builder استفاده شده است. نرم افزار RSPT بر مبنای مطالعات و نتایج کتاب Roof Cooling Thecniques طراحی شده که امکان شبیه سازی سه تکنیک حوضچه بام، تشعشع کننده سرمایشی آبی و هوایی در آن پیش بینی شده است. موتور شبیه‌سازی نرم افزار Design builder version 1.9.0.003، energy plus بوده و برتری آن از این جهت است که بر خلاف energy plus، امکان شبیه سازی در محیطی بصری فراهم است. از این‌رو نتایج هم به‌صورت عددی و هم به‌صورت نمودار قابل ارائه هستند. با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از کتاب Cooling Thecniques Roof در ابتدا، مبنای کار بر نرم افزار RSPT قرار گرفت اما نظر به اینکه بام‌های سبز در این برنامه پیش بینی نشده بودند، برای تکمیل مقایسه از نرم افزار Design Builder استفاده شد که امکان شبیه‌سازی بام سبز نیز در آن پیش بینی شده است. این نرم افزار محیط شبیه سازی گسترده‌تری داشته و داده‌های وسیع‌تری را نیز نتیجه می‌دهد.

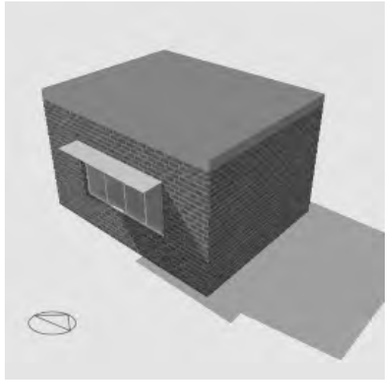
داده‌های هواشناسی (محدودیت‌ها)

نرم افزار Design builder به‌گونه‌ای طراحی شده که امکان گسترش داده‌های هواشناسی آن با اتصال به سایت اصلی وجود دارد ولی متاسفانه پس از واردکردن اطلاعات هواشناسی تهران، مشکلاتی در نرم افزار ایجاد می‌شود. به عنوان راه‌حل، خروجی داده‌های هواشناسی نرم افزار Meteonorm 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.

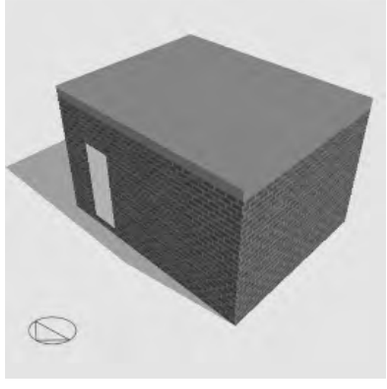
اطلاعات ورودی و نتایج شبیه‌سازی

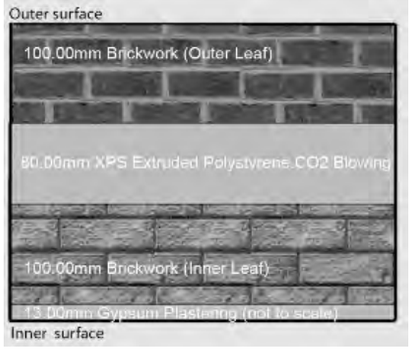
گام اول- شبیه سازی بام ساده تخت

شبیه سازی این بام، تحت عنوان simple roof انجام شد. نتایج این شبیه‌سازی به‌عنوان داده‌های مرجع در نظر گرفته‌شده 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 به گونه‌ای 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 درنظر گرفته‌شده‌اند 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. به‌دلیل آنکه انتخاب هرگونه تاسیسات گرمایشی و سرمایشی مستلزم انتخاب دمای تنظیم می باشد که نتایج را پیچیده کرده و تاثیر مستقیم نوع بام را پنهان می‌سازد، در این حالت برای بنا سیستم تاسیسات مکانیکی در نظر گرفته نشده است.

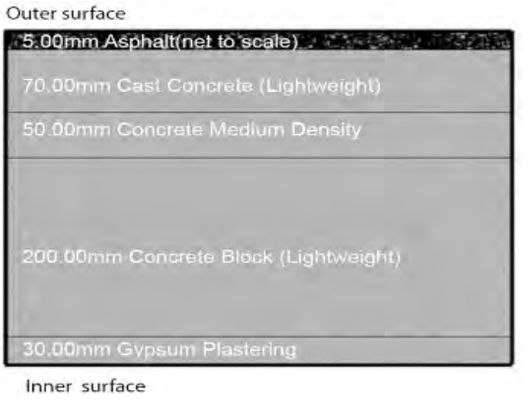


تصویر ۲- مدل شبیه سازی.





تصویر ۳- مقطع دیوار.



تصویر ۴- مقطع بام.

تصویر ۵- مشخصات پنجره.

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 به‌صورت گنبدهای دو پوسته و شیروانی‌ها بوده و امروزه در بام های تخت نیز به‌صورت سقف کاذب رواج دارند. در صورتی که بام از نوع سبکِ دو لایه باشد، مصالح می‌توانند ورق‌های سفالی، آزبست 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 (۵میلیمتر آلومینیوم با فاصله هوایی ۱۰۰ میلیمتری) و لایه داخلی مشابه بام ساده مرجع می باشد.

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 نشده‌است. .نمودار بدست آمده برای بام دو پوسته بر نمودار بام ساده مطابقت داده شده تا تغییرات براحتی قابل تشخیص باشد. بیشترین تغییرات در ۵ ماهه 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 سرمایشی بنا را، آن هم در حد دهم درجه، کاهش می‌دهد.

تشعشع کننده سرمایشی به‌عنوان تعدیل کننده حرارتی

درزمینه سرمایش غیر فعال، تشعشع کننده وسیله‌ای است که با تابش امواج بلند به آسمان در پراکنده سازی حرارت ساختمان شرکت می‌کند. تشعشع کننده ممکن است بخش جدایی‌ناپذیری از ساختمان بوده و یا واسطه‌ای برای پراکنده‌سازی حرارت از سیال انتقال حرارتی همچون هوا یا آب باشد. اجزاء اصلی سیستم تشعشع کننده سرمایشی 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 پیش‌بینی نشده‌است، برای شبیه‌سازی این بخش از نرم افزار RSPT استفاده شده است. طراحی این نرم افزار بگونه‌ای 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 صرفنظر کرده و تنها به نتایج تشعشع کننده هوا می پردازیم. در اینجا به‌دلیل تفاوت نرم‌افزار و محیط کار، امکان ایجاد مشخصات کالبدی دقیقاً مطابق با گزینه قبلی نبود ولی مشخصات به‌گونه‌ای وارد شده تا کمترین تفاوت ایجاد گردد. در بخش نتایج، امکان استفاده از دو نوع خروجی وجود دارد که شامل صرفه‌جویی در مصرف انرژی سرمایشی 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 سالیانه تشعشع‌کننده یک‌بار برای کارکرد دائم و بار دیگر نیز برای کارکرد شبانه انجام گرفت. با توجه به نتایج و میزان افزایش صرفه‌جویی در کارکرد دائم نسبت به کارکرد شبانه، بهره‌وری کارکرد شبانه بیشتر بوده در نتیجه این گزینه به‌صورت ماهیانه نیز مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی دقیق نتایج (جدول ۱) مشخص می‌شود که میزان صرفه جویی و کاهش در تقاضای انرژی سرمایشی 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 می شود تا به پایین‌ترین حد خود در ماه تیر می‌رسد. برای بررسی دقیق وضعیت ماه تیر، که بار سرمایشی 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 $25^{\circ}c$ فرض کرده و گزینه‌ای که آن را $27^{\circ}c$ در نظر گرفته است، نشان می دهد، لزوم توجه دقیق‌تر بر پایه دمای آسایش را به پژوهشگران توصیه می‌کند.

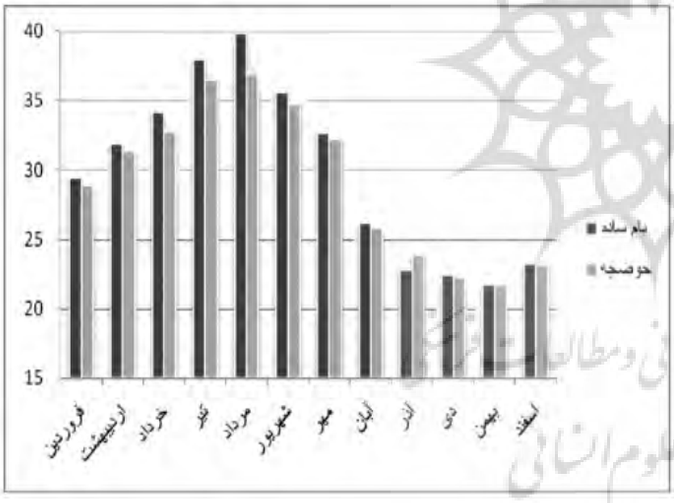
جدول ۱- بررسی نتایج صرفه جویی انرژی سرمایشی با کارکرد شبانه تشعشع کننده هوا.

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	۳۸/۷	۲۱/۲۵
آبان	۰	۰	۰
آذر	۰	۰	۰

حوضچه بام به‌عنوان تکنیک واسط

حوضچه بام سیستمی متشکل از حجمی مشخص از آب به عنوان واسطه‌ای 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 می‌کند و سپس از طریق فرایندهای طبیعی خنک می‌گردد. کاربرد های حوضچه‌های بام بر حسب اینکه آیا آب در کیسه‌ها نگه داشته شده یا در حد دست‌اندازهای بام، پر شده‌است، طبقه بندی می‌شوند که در هر یک از آنها، عایق حرارتی می‌تواند ثابت یا متحرک باشد. اجزاء اصلی سیستم حوضچه بام شامل تکیه‌گاه حوضچه، محفظه آب، پوشش حفاظتی و سیستم پاشش و گردش آب می‌باشند. در این مورد نیز مشخصات کالبدی دقیقاً با نمونه بام ساده برابری می‌کند تنها تفاوت در مشخصات بام است. بخش زیرین لایه‌های بام مطابق لایه‌های بام ساده است ولی علاوه بر آن لایه‌ای از سطحی آلومینیمی (بعنوان تکیه‌گاه 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 می‌توان 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 کاهشی دمایی مشاهده می‌شود. که این اختلاف در دوره زمانی خرداد تا شهریور محسوس‌تر است.



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 شده‌است ، امکان مقایسه بین نتایج دو نرم افزار برای گزینه‌ای 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 تشعشع‌کننده سرمایشی است تا شرایطی یکسان در دو نرم افزار پیش آید.

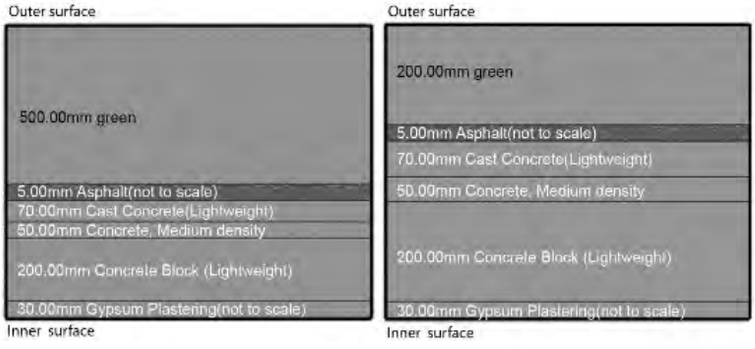
جدول ۲ - خروجی های آسایشی حوضچه بام در RSPT.

	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
کاهش دمای متوسط (درجه سانتیگراد)	۱/٤	۱/۳	۱/٦	۲	۲/۱	۲/۲

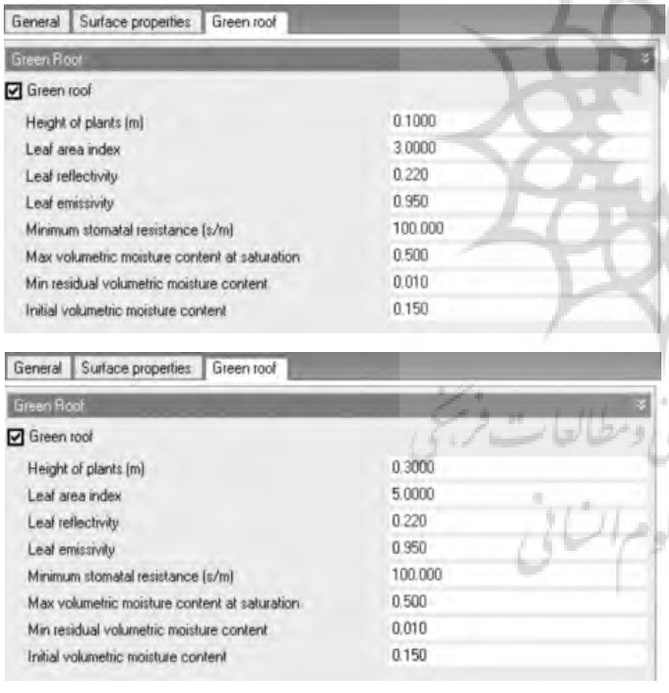
تجزیه و تحلیل بام سبز

بام سبز جایگزینی مناسب برای گیاهان از بین رفته فضاهای شهری، بهبود بخش خرداقلیم محلی، کاهش دهنده دریافت حرارتی و تعدیل بخش شرایط حرارتی داخل است. بام‌های سبزِ گسترده و فشرده از لایه‌های متعددی تشکیل شده‌اند تا سطحی برای رویش و هم‌چنین زهکشی آب اضافی روی بام، فراهم کنند. این لایه ها شامل لایه گیاه، خاک، فیلتر خاک، زهکش، پوسته آب بند و لایه زیر غشایی‌اند.

نتایج به‌دست آمده از مطالعات، حاکی از این است که بام های سبز می‌توانند دما را کنترل و لایه‌های عایق حرارتی ایجاد کنند، هرچند که کارآیی آنها وابسته به شرایط روزانه این بام‌ها ست. 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 لایه‌های بام در این مورد، مطابق لایه‌های 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 سانتی‌متر می باشد که ۱۰ سانتی‌متر آن مربوط به گیاه است و در بام سبز فشرده، عمق کلی ۵۰ سانتی‌متر بوده و ۳۰ سانتی‌متر 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 می‌شود که در این تکنیک افزایش دما در ماه های سرد سال قابل تشخیص است. به‌معنای آنکه کاهش بار گرمایشی ساختمان در این فصول محسوس‌تر است. چنین کاهشی از اوایل مهر تا اوایل ماه اردیبهشت اتفاق می‌افتد. برای بررسی دقیق‌تر، دماهای این بخش با فواصلی سه ساعتی در جدول ۳ ارائه شده‌است. از مقایسه اعداد می‌توان 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 می‌دهد. با بررسی نمودارمشاهده می‌شود که بیشترین تغییر دما در بام سبز فشرده همچون بام سبز گسترده بصورت افزایش دما در محدوده زمانی اوایل ماه مهر تا اوایل اردیبهشت است. جدول ۳ مقایسه دمای ساعتی (هر سه ساعت) پانزدهم این دوره ۵ ماهه برای بام سبز فشرده را نشان می‌دهد.



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



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 می‌افتد مشابه بام سبز گسترده اما محسوس‌تر است. در ساعاتی که در جدول مشخص شده‌اند مقدار تغییر به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد. ازاین‌رو تاثیر بیشتری نیز بر کاهش بار گرمایشی بنا دارد. همان‌طور که مشخص است بیشترین تغییر در ساعاتی اتفاق می‌افتد که دمای هوای خارجی به حداقل خود می‌رسد.

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

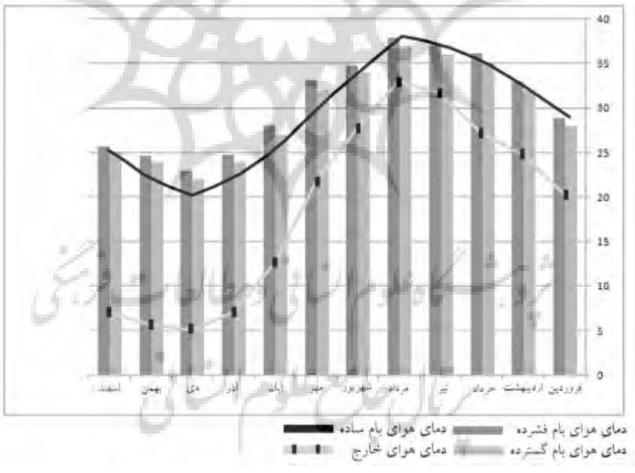
	۱۵ مهر	۱۵ آبان	۱۵ آذر	۱۵ دی	۱۵ بهمن
۰	۳۲/۷۹	۲۷/۴۵	۲۲/۶	۱۶/۲۶	۳۱/۳۱
	۳۲/۵۲	۲۶/۷۸	۲۱/۹۳	۱۵/۳۷	۲۰/۷۹
۳	۳۲/۱۱	۲۶/۴۹	۲۱/۶۶	۱۵/۳۳	۲۰/۱۷
	۳۱/۸۶	۲۵/۸۲	۲۰/۹۸	۱۴/۴۳	۱۹/۴۴
۶	۳۱/۴۹	۲۵/۶۷	۲۰/۹۹	۱۴/۵	۱۹/۳۹
	۳۱/۲۱	۲۴/۹۵	۲۰/۳	۱۳/۵۷	۱۸/۵۸
۹	۳۳/۶۳	۲۵/۹۲	۲۱/۴۳	۱۵/۲۸	۱۹/۱۱
	۳۳/۲۳	۲۵/۱۶	۲۰/۷۳	۱۴/۳۲	۱۸/۲۱
۱۲	۳۴/۹۸	۲۷/۱۸	۲۵/۳۲	۲۲/۱۴	۲۲/۳۵
	۳۴/۵۹	۲۶/۶۶	۲۴/۸	۲۱/۹۵	۲۲/۰۹
۱۵	۳۵/۰۱	۲۷/۳۲	۲۶/۰۳	۲۲/۵۴	۲۲/۵۳
	۳۴/۷۷	۲۶/۷۸	۲۵/۵۹	۲۲/۴۱	۲۲/۳۶
۱۸	۳۳/۵۱	۲۶/۵۸	۲۴/۶۸	۲۲/۱۷	۲۳/۳۹
	۳۳/۲۵	۲۶/۰۳	۲۴/۳	۲۱/۹۶	۲۲/۳
۲۱	۳۳/۹۵	۲۶/۰۶	۲۴/۲۳	۲۱/۹۷	۲۲/۳۹
	۳۲/۵۷	۲۵/۵۲	۲۳/۸۷	۲۲/۰۳	۲۲/۲۹

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

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 مهر	۱۵ آبان	۱۵ آذر	۱۵ دی	۱۵ بهمن
۰	۳۴/۷	۳۷/۵۷	۲۳/۰۴	۱۶/۷۴	۳۱/۴۷
	۳۲/۵۲	۲۶/۷۸	۲۱/۹۳	۱۵/۳۷	۲۰/۷۹
۳	۳۳/۰۲	۲۶/۶۲	۲۲/۱۵	۱۵/۸۴	۲۰/۳۳
	۳۱/۸۶	۲۵/۸۲	۲۰/۹۸	۱۴/۴۳	۱۹/۴۴
۶	۳۱/۴	۲۵/۸۲	۲۱/۴۹	۱۵/۰۴	۱۹/۵۶
	۳۱/۲۱	۲۴/۹۵	۲۰/۳	۱۳/۵۷	۱۸/۵۸
۹	۳۲/۵۳	۲۶/۰۷	۲۱/۹۵	۱۵/۸۶	۱۹/۲۸
	۳۲/۲۳	۲۵/۱۶	۲۰/۷۳	۱۴/۳۲	۱۸/۲۱
۱۲	۳۴/۹۱	۲۷/۴۸	۲۵/۶۷	۲۲/۳۴	۲۳/۴۴
	۳۴/۵۹	۲۶/۶۶	۲۴/۸	۲۱/۹۵	۲۲/۰۹
۱۵	۳۴/۹۵	۲۷/۳۹	۲۶/۲۹	۲۲/۴۶	۲۲/۴۶
	۳۴/۷۷	۲۶/۷۸	۲۵/۵۹	۲۲/۴۱	۲۲/۳۶
۱۸	۳۳/۴۵	۲۶/۶۷	۲۴/۹۵	۲۲/۱۸	۲۲/۴۸
	۳۳/۲۵	۲۶/۰۳	۲۴/۳	۲۱/۹۶	۲۲/۳
۲۱	۳۲/۸۷	۲۶/۱۵	۲۴/۵	۲۲/۰۲	۲۲/۴۴
	۳۲/۵۷	۲۵/۵۲	۲۳/۸۷	۲۲/۰۳	۲۲/۲۹

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



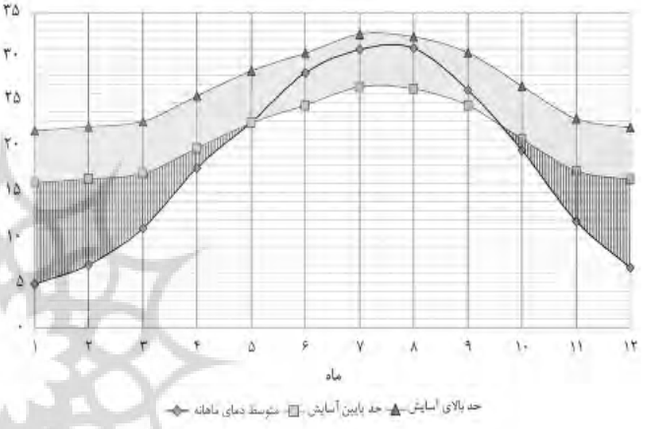
تصویر ۹- نمودار دمای بام ساده، بام سبز گسترده و بام فشرده به همراه نمایشگر دمای خارج.

نتیجه

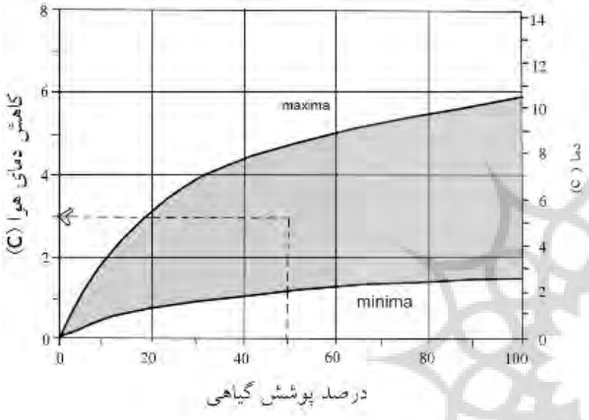
در شبیه‌سازی‌های انجام شده، پس از وارد کردن داده‌های اولیه مورد نیاز، نتایج دقیق و کاملی به‌دست آمد که امکان پیگیری رفتار حرارتی جداره مورد نظر و تاثیر آن بر دمای داخلی را فراهم نمود. اینک با داده‌های بدست آمده می‌توان به‌راحتی تکنیک مناسبی را برای بام بنا انتخاب نمود که راندمان حرارتی قابل قبولی در تمام سال ارائه دهد. نکته کلیدی استفاده از شبیه‌سازی در این است که این برنامه تنها وضع مورد نظر را بررسی می‌نماید و پس از آن وظیفه طراح است که با توجه به تمام نقاط بحرانی نتایج، امکانات وضع موجود و هزینه های ساخت، مناسب‌ترین 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 به‌دست آمده و پس از آن با استفاده از جدول آسایش حرارتی کتاب بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان (حیدری، ۱۳۸۴)، محدوده آسایش

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 آن‌که 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 ساخت ها خواهند داشت. اگر متوسط تعداد طبقات را 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 زیست محیطی و آلودگی هوا تا ۱۸٪ کاهش می‌یابند.

چنانچه شماتیک شکل ۱۲ را منطبق با تغییر دما برای شهر تهران در نقاط مختلف شهریِ بعدازظهر یک روز تابستان بدانیم، در این صورت وجود پوشش سبز (برای ۲۵٪ بام ها)، دما را از حد (۳۳/۳-۲۹/۲ درجه) به‌حد (۳۰/۳-۲۶/۲ درجه) کاهش داده و بار سرمایشی فصل گرم را کم خواهد کرد.



تصویر ۱۰- بررسی نمودار متوسط ماهانه دما و محدوده آسایش تهران.



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

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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