تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۶ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲
نوع مقاله: پژوهشی
شماره صفحه ۱۰۹-۱۲۶

تأثیر آب و گیاه در عملکرد اقلیمی نورگیرهای داخلی ساختمان
بررسی موردی: ساختمان مسکونی واقع در شهر تهران*

فاطمه فخرالساعه
کارشناس ارشد مهندسی معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
E-mail: ffakhrosaeh@gmail.com

منصوره طاهباز
دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail: m-tahbaz@sbu.ac.ir

جواد دیواندری
استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
E-mail: j.divandari@gmail.com

هانیه صنایعیان
استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail: sanayeayan@iust.ac.ir

چکیده

با رایج شدن شیوه زندگی آپارتمانی و افزایش تراکم شهری، نورگیرها یا پاسیوها به عنوان فضاهای تأمین کننده نور و هوای تازه در فضاهای داخلی طبقات مختلف، بسیار مورد استفاده قرار گرفتند. اینطور به نظر می‌رسد که استفاده از پاسیوها همراه با آب و گیاه در ساختمان‌ها می‌تواند در تعدیل شرایط اقلیمی محیط به روش غیر فعال و در نتیجه کاهش مصرف انرژی نقش به سزایی را ایفا کند. در مقاله حاضر، نورگیر مسقف یک ساختمان پنج طبقه مسکونی دارای گیاه و همراه با تزریق رطوبت استخر به فضای نورگیر مرکزی، واقع در شمال تهران به صورت میدانی و شبیه‌سازی موردمطالعه قرار گرفته است. با استفاده از برداشت میدانی به کمک تجهیزات هواشناسی دما، رطوبت، دمای کروی و دمای تر کروی، اندازه‌گیری‌هایی در دو فصل گرم و سرد سال انجام شد. نتایج نشان می‌دهد نورگیر مسقف همراه با گیاه و تزریق رطوبت استخر به فضای آن، موجب ایجاد خرد اقلیمی معتدل در فضای نورگیر شده که به طور میانگین، در فصل گرم دمای هوا را ۴ °c کاهش داده و موجب افزایش ۱۱/۷ °c دمای داخل نورگیر نسبت به محیط خارج در فصل سرد شده است. همچنین مشخص گردید که با حذف رطوبت استخر، اختلاف دما بین طبقات پاسیو افزایش خواهد یافت. با مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی و مطالعات میدانی مشخص شد، با حذف گیاه و رطوبت استخر، اختلاف دمای شبانه روز در نورگیر افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: پاسیوی داخلی، شرایط آسایش، تأثیر آب و گیاه، تعدیل خرد اقلیم

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد فاطمه فخرالساعه با عنوان «طراحی مجموعه مسکونی با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی توسط پاسیو، جهت گرمایش غیر فعال و تهویه طبیعی» است که با راهنمایی دکتر جواد دیواندری و دکتر منصوره طاهباز و مشاوره دکتر هانیه صنایعیان در دانشکده هنر و معماری دانشگاه کاشان انجام گرفته است.

مقدمه

انرژی نقش مهمی در زندگی انسان و پیشرفت کشورها ایفا می‌کند. وقوع انقلاب صنعتی، موجب پیشرفت تکنولوژی و تغییر در سبک زندگی انسان و در نتیجه، افزایش بسیاری در مصرف اشکال مختلف انرژی خصوصاً از نوع تجدیدناپذیر گردید. از سوی دیگر بیش از ۴۰٪ انرژی کشورها در ساختمان‌ها (حاجی پور و فروزان، ۱۳۹۳) و میزان زیادی از این آمار در بخش مسکونی استفاده می‌شود، از این رو، لازم است در مراحل اولیه طراحی به میزان قابل توجهی از هدر رفت انرژی در این حوزه جلوگیری شود. در این میان یکی از فضاهای پر کاربرد در بناهای مسکونی تهران، نورگیرهای داخلی، آتریوم[1]ها و یا پاسیوها هستند که با ایجاد یک خرد اقلیم و با عملکرد غیر فعال، فضا را به شرایط آسایش حرارتی نزدیک می‌نمایند. مزایای زیست محیطی این فضاها، پس از بحران انرژی در سال ۱۹۷۰ و اوایل سال ۱۹۸۰ میلادی، به عنوان یک پاسخ جدید در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها مطرح گردید (Moosavi *et al*., 2014) و از آن پس استفاده از فضاهای آتریومی در معماری مدرن رایج شد. این کار با هدف زنده‌سازی فضاهای داخلی با استفاده از نور طبیعی، ارائه راه‌حل‌هایی برای مشکلات تهویه طبیعی و سازگاری ساختمان، و افزایش تعاملات اجتماعی مردم در پی نزدیک شدن به شرایط آسایش انسانی، صورت پذیرفت (Tahbaz & Kazemzadeh, 2012). در این مقاله ضمن ارائه روش تحقیق، مطالعات از طریق اندازه‌گیری‌های دقیق میدانی و شبیه‌سازی بر روی ساختمان مسکونی واقع در شمال تهران انجام خواهد شد و وضعیت عملکرد اقلیمی نورگیر در شرایط همراه با آب و گیاه و بدون آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ادبیات تحقیق

مطالعه و بررسی تأثیر عوامل محیطی در فضاهای آتریوم، عملکرد آتریوم و فضاهای مجاور آن از سال ۱۹۸۰ آغاز شد. بیشتر این مطالعات برای حل مشکلات ایجاد شده جهت تأمین روشنایی و عملکرد حرارتی آتریوم و نورگیرهای داخلی در اقلیم‌های مختلف با تمرکز بیشتر بر روی آتریوم‌های پوشش‌دار بوده است (کاظم‌زاده، قبادیان، و طاهباز، ۱۳۹۳). همچنین پژوهش‌های متعدد، نقش دوگانه فضاهای آتریومی و عملکرد پیچیده آنها را در ایجاد ریز اقلیم‌های ساختمانی تأیید نموده‌اند. از یک طرف جذب حرارت در این فضاها، در تابستان، بار سرمایش را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر گرمای نگهداری شده در این فضاها، در زمستان، همراه با اتلاف حرارت، نیاز به گرمایش فضاهای مجاور را کاهش می‌دهد (مفیدی، حسینی، و مدی، ۱۳۸۹). از دیدگاه مصرف انرژی کل نیز با کشیده شدن نورگیر داخلی به صورت شمالی-جنوبی، مصرف انرژی کاهش می‌یابد (صنایعیان، ۱۳۹۳). مدی و همکاران با مطالعه‌ای که بر روی دو نورگیر اداری در تهران انجام دادند، دریافتند مساحت سطوح شفاف در تبادل و جذب حرارتی نقش مهمی داشته و بر جابه‌جایی لایه‌های هوای گرم درون نورگیر تأثیرگذار است. وضعیت رطوبت نسبی در نورگیرها با افت شدید همراه بوده و در زمستان تشدید می‌شود، در صورت عدم وجود مجرای ورودی و خروجی هوا، جریان هوای رو به بالا وجود نداشته و ماندگاری هوا با انباشت حرارت در طبقات بالا در نورگیرهای محصور بدون بازشو، همراه است. به علاوه طبقات فوقانی و تحتانی نورگیر نسبت به روشن و خاموش بودن سامانه تهویه مطبوع واکنشی نداشته و متأثر از شرایط کالبدی خود و دمای بیرون رفتار کرده‌اند اما طبقات تحتانی در نورگیرهای با ابعاد کوچک از سامانه تهویه مطبوع و ورودی ساختمان تأثیر می‌پذیرند (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۹). در پژوهشی که احدی و همکاران (2018) بر روی پاسیوی بدون سقف، با هندسه مربع و مستطیل در ساختمان‌های پنج طبقه مسکونی در تهران انجام دادند، دریافتند که پاسیوهای مربع(۴×۴) و مستطیل (۴×۳) قادر به دریافت نور مطلوب برای فضاهای اطراف خود می‌باشند، این پاسیوها می‌توانند میزان تهویه کافی برای اتاق‌های متصلشان را فراهم کنند، این

درحالی است که پاسیوهای مربع شکل نور بهتر و پاسیوهای مستطیل شکل با کشیدگی شرقی- غربی، تهویه بهتری را تأمین خواهند کرد، آنها ترکیب پلان‌های مربع و مستطیل را به عنوان یک سیستم یکپارچه جهت تأمین همزمان نور و تهویه طبیعی پیشنهاد نمودند. از طرفی دیگر این فضاها به دلیل تأمین محیطی پر نور، امکان کاشت و رشد مناسب گیاهان را فراهم می‌آورند. این امر نه تنها موجب افزایش غنای آتریوم خواهد شد، بلکه تبدیل این امر به یک الگو، می‌تواند کاشت گیاه در فضاهای نورگیرهای داخلی را مرسوم نماید (برزگر گنجی، نوروزیان پور، و بنی عامریان، ۱۳۹۲). مطالعات اخیر در آتریوم فضاهای درمانی نشان می‌دهد که شرایط آتریوم‌ها همراه با گیاه نسبت به آتریوم-های بدون گیاه از لحاظ رطوبت نسبی و شرایط دمایی به محدوده آسایش نزدیک‌تر می‌باشد (Tahbaz & Kazemzadeh, 2012). فرانت[۲] و میهالاکاکو[۳] (2001) بیان می‌کنند که گیاهان به موجب عملکردهای زیست شناختی فتوسنتز، تنفس، تعرق و تبخیر، جذب مقدار قابل توجهی از تابش خورشیدی و ایجاد یک لایه محافظ، دمای هوای محیط در تابستان را کاهش می‌دهند. آنها در پژوهش خود، برای احیای ساختمان تاریخی و بهبود عملکرد حرارتی آن، ترکیب آتریوم و بام سبز عایق‌بندی شده را به عنوان بهینه‌ترین حالت پیشنهاد نمودند. اکبری[۴] و همکاران (1997) اثر ترکیب سایه اندازی و تعرق گیاهان روی مصرف انرژی چندین ساختمان یک طبقه را در شهرهای آمریکا مطالعه کردند و نتایج شبیه‌سازی نشان داد که افزودن یک درخت در هر خانه، ذخیره انرژی سرمایشی را از ۱۲٪ تا ۲۴ ٪ تغییر خواهد داد. به علاوه، سه درخت در هر خانه می‌تواند بار سرمایش را بین ۱۷ تا ۵۷ ٪ کاهش دهد. در تحقیقی تأثیر سایه و سایبان گیاهی در یک ساختمان اداری، بر میزان مصرف انرژی، انتشار کربن و همچنین عملکرد کارکنان مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که سایبان گیاهی نسبت به سایبان فلزی معمولی، مزایای عملکردی متعددی برای ساختمان، ساکنان، بافت شهری و محیط طبیعی محلی داشته است و مزایای روانشناسی گیاهان به میزان قابل توجهی مهم‌تر از عملکرد حرارتی آنها می‌باشد (Mangone & van der Linden, 2014). مطالعات فوق غالباً روی ساختمان‌های آتریوم دار کوتاه مرتبه و بلند مرتبه‌ای صورت گرفته که فاقد متغیر آب و گیاه و یا دارای میزان ناچیزی گیاه در فضای نورگیر بوده‌اند. همچنین بخش دیگری از مطالعات، به نقش مثبت وجود گیاه در ساختمان بر روی شرایط آسایش حرارتی و انسانی، به صورت کمی و کیفی پرداخته‌اند. تحقیق حاضر بر روی ساختمان مسکونی با ارتفاع متوسط پنج طبقه انجام خواهد گرفت که دارای نورگیر مرکزی همراه با آب و گیاه می‌باشد و تأثیر آب و گیاه بر روی دما و رطوبت پاسیو مورد تحقیق و بررسی قرار خواهد گرفت.

روش تحقیق

روش تحقیق مورد استفاده در این مقاله پس از مرور ادبیات و انتخاب متغیرهای مؤثر بر اساس اندازه‌گیری میدانی با استفاده از دستگاه‌های هواشناسی سیار، روش شبیه‌سازی و تحلیل مقایسه‌ای می‌باشد. بر اساس مطالعات، ساختمان مسکونی پنج طبقه دارای پاسیو مرکزی، همراه با آب و گیاه در شمال تهران انتخاب گردید و مطالعات اقلیمی سایت مورد نظر و نحوه استقرار نورگیر در ساختمان مسکونی منتخب بررسی شد، سپس اندازه‌گیری‌های میدانی توسط دستگاه‌های دیتالاگر[۵] دما و رطوبت و دستگاه دماسنج دمای تر کروی[۶] (جدول ۱) در فصل تابستان و زمستان به ترتیب در چهار و پنج روز متوالی صورت گرفت، به منظور برداشت دمای هوا در لایه‌های مختلف پاسیو سه دستگاه در طبقات فرد ساختمان قرار داده شد و یک دستگاه دیتالاگر بر بام ساختمان در سایه نصب گردید تا به عنوان مرجع، هر ۳۰ دقیقه داده‌های آب و هوایی محلی را جمع‌آوری نماید (Tahbaz, 2018). در ادامه ساختمان مذکور توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر[۷]، شبیه‌سازی و پس از به دست آوردن نتایج و نمودارها به تحلیل مقایسه‌ای داده‌ها پرداخته شد. ساختمان انتخاب شده به عنوان نمونه موردی

دارای نورگیر مرکزی بوده و شرایط این نورگیر در دو وضعیت: ۱- نورگیر داخلی همراه با پوشش و آب و گیاه و ۲- نورگیر داخلی همراه با پوشش بدون آب و گیاه، در دو فصل گرم و سرد بررسی شده است.

جدول ۱. تصاویر و مشخصات دستگاه‌های استفاده شده در برداشت‌های میدانی (بر اساس اطلاعات شرکت‌های سازنده)

Data logger 98583						
Heat Index 8778						
دستگاه	نوع عملکرد	تعداد	واحد	محدوده دمایی ℃	محدوده رطوبتی ٪	دقت
Data logger 98583	دما- رطوبت	۴	℃ / ℉ و ٪	۴۰- تا ۸۵	۰/۱ تا ۹۹/۹ ٪	± ۰/۶ ℃ ± ٪ ۳
Heat Index 8778	دما- رطوبت WBGT	۱	℃ / ℉ و ٪	۰ تا ۵۰	۰ تا ۱۰۰ ٪	± ۰/۶ ℃ ± ٪ ۳

مطالعات اقلیمی

شهر تهران از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۵۱ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و از ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع زمین تهران از سمت جنوب به شمال شهر، افزایش یافته، به طوری که ارتفاع قسمت‌های پست شهر حدود ۹۰۰ متر و قسمت‌های مرتفع تا ۱۸۰۰ متر می‌رسد. اختلاف ارتفاع ۹۰۰ متری باعث تعدیل آب و هوا، پوشش گیاهی مناسب‌تر و ایجاد مناطق ییلاقی زیبا در شمال تهران شده است (شهرداری تهران، ۱۳۸۵). میانگین دمای سالانه ایستگاه اقدسیه در ده سال اخیر ۱۶/۲۳ c̊، بالاترین دمای ثبت شده ۴۱/۸ c̊ در ماه جولای و پایین‌ترین آن ۱۳ c̊- در ماه ژانویه بوده و میانگین بارش سالانه در این مدت ۳۸۱/۵ میلی‌متر بوده است. میانگین ده ساله رطوبت نسبی بین ۲۰٪ تا ۷۱٪ تغییر کرده است که خشکی نسبی هوا در ماه‌های گرم سال را نشان می‌دهد. میانگین ساعات آفتابی موجود در این شهر از ۴/۷۷ ساعت در ژانویه تا ۱۰/۳۴ ساعت در ژوئن، نقش تعیین کننده تابش خورشیدی در ویژگی‌های اقلیمی شهر را در بر دارد (میانگین اطلاعات ایستگاه هواشناسی اقدسیه در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷). باد غالب سالانه تهران از سمت غرب و باد سرد سریع آن از سمت غرب و شمال غربی می‌وزد. بر اساس مشخصات بیان شده شمال شهر تهران از نظر پهنه‌بندی اقلیمی ایران در زیر اقلیم سرد- معتدل و در گروه ۵-۲ واقع شده است.

معرفی بررسی موردی

ساختمان مسکونی بهاران در شمال تهران، در محله ولنجک واقع شده است و حدود ۷/۴ کیلومتر از ایستگاه هواشناسی شمال تهران واقع در اقدسیه فاصله دارد. این ساختمان در ارتفاع ۱۶۶۵ متری از سطح دریا قرار

گرفته، جهت گیری ساختمان شمال غربی- جنوب شرقی بوده (شکل ۱) و دارای ۵۰۰۰ مترمربع زیربنا و ۸ طبقه می‌باشد که ۶ طبقه آن بر روی زمین بنا شده و دو طبقه دیگر در زیر زمین قرار دارد و تنها از طریق راه پله با نورگیر مرکزی ارتباط دارد. کل بنا دارای دو نورگیر، یک نورگیر مرکزی و یک نورگیر کناری می‌باشد، ارتفاع نورگیر از کف تا میانه سقف شیب‌دار نورگیر مرکزی ۲۲/۴ متر است، از لحاظ پلانی نیز نورگیر دارای طول و عرض۶/۲۷×۷/۱ می‌باشد، پوشش شفاف نورگیر نیز به گونه‌ای طراحی شده که قابلیت تحمل بار در چنین دهانه‌ای را داشته باشد همچنین از شیشه‌های سکوریت و لمینیت شده ۱۰ میلی‌متری بر روی آن استفاده شده است (شکل ۲). در سه وجه از چهار وجه نورگیر اتاق‌های خواب و در وجه چهارم راهروی متصل به راه پله قرار دارد، پهنای این راهرو ۲ متر و ارتفاع مفید آن ۲/۸۵ می‌باشد و نورگیر بدون هیچ حائلی با باکس پله ۴/۹۰×۲/۶۰ ارتباط دارد، این باکس پله تا طبقه ۲- ادامه دارد و نورگیر تا همکف ادامه یافته است. بخش تحتانی نورگیر در همکف از یک سو با لابی، از یک سو با راه پله، از یک سو با درب فضای ورزشی و استخر و از سوی دیگر با راهروی ورودی ساختمان مرتبط است، این راهرو دارای درب برقی خودکار می‌باشد و تنها در هنگام ورود خروج ساکنان برای چندین ثانیه باز خواهد شد. در طبقه ۲- ، باکس پله از طریق درب شیشه‌ای که اکثر اوقات باز می‌باشد با فضای پارکینگ و هوای آزاد ارتباط دارد، به علاوه پنجره اتاق‌های اطراف نورگیر در هنگام اندازه‌گیری‌های میدانی بسته بوده‌اند. بنابراین به دلیل موقعیت قرارگیری نورگیر در ساختمان، این فضا ارتباط هوایی چندانی با فضای خارجی ندارد.

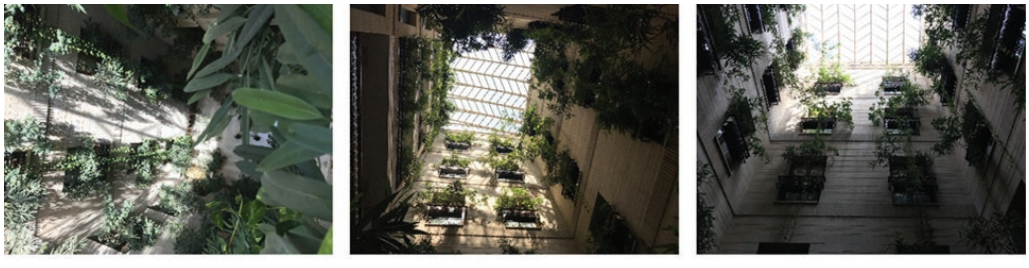
شکل ۱. ساختمان بهاران در بلوک شهری

شکل ۲. فضای داخلی و پوشش نورگیر ساختمان بهاران

حجم نورگیر بر اساس محاسبات ۹۷۴/۴۷ مترمکعب می باشد. نسبت پلانی نورگیر PAR[۸]، برابر ۱/۱ و نسبت مقطعی[۹] SAR آن نیز ۳/۵ است، بنابراین این نورگیر در زمره نورگیرهای متوسط قرار می‌گیرد که در زمستان به دلیل زاویه تابش افقی‌تر خورشید، لکه آفتاب بر روی سطوح طبقات چهارم و پنجم قرار گرفته و طبقات میانی و تحتانی توان کم‌تری در دریافت نور خورشید دارند، در تابستان نیز لکه آفتاب در هنگام ظهر تا سطح کف پاسیو نفوذ کرده و پاسیو از روشنایی مناسبی برخوردار خواهد شد، در شکل ۳ میزان نفوذ نور خورشید در نورگیر نشان داده شده است. در تمام وجوه و کف نورگیر گلدان‌های گیاه طبیعی متعددی به کار رفته است، در راهرو ورودی طبقه همکف دو دریچه و در بالای درب هر آسانسور تنها در طبقه همکف، دریچه‌ای برای تهویه مطبوع قرار داده شده اما در راهرو طبقات و راه پله دریچه‌ای برای سرمایش و گرمایش تعبیه نشده است. از طرفی، به دلیل عدم وجود هواکش در استخر، در صورت بسته بودن درب فضای ورزشی و استخر، رطوبت این فضا تا ۱۰۰٪ افزایش یافته و موجب خیس شدن سقف و دیوارهای فضای ورزشی می‌شود، بنابراین در تمام طول سال، خصوصاً در زمستان به دلیل گرم بودن آب استخر، در صورت عدم استفاده از این فضا، درب استخر به طور دائم باز بوده و حدود ۴۰٪ از رطوبت استخر را به فضای نورگیر تزریق می‌نماید. درب دوم استخر در طبقه ۱- نیز در تمام طول سال باز می‌باشد. بر روی پوشش شیشه‌ای پاسیو هیچ گونه پنجره‌ای برای خروج هوای گرم تعبیه نشده است اما دو درب راهروی متصل به پاسیو در خرپشته همواره باز است و در بالای هر در نیز دو دریچه مربع شکل ۴۰×۴۰ سانتی‌متر اجرا شده است که در تابستان و زمستان، دما و رطوبت حبس شده در بالای پاسیو از طریق این درب‌ها و دریچه‌ها خارج می‌شود.

اندازه‌گیری میدانی

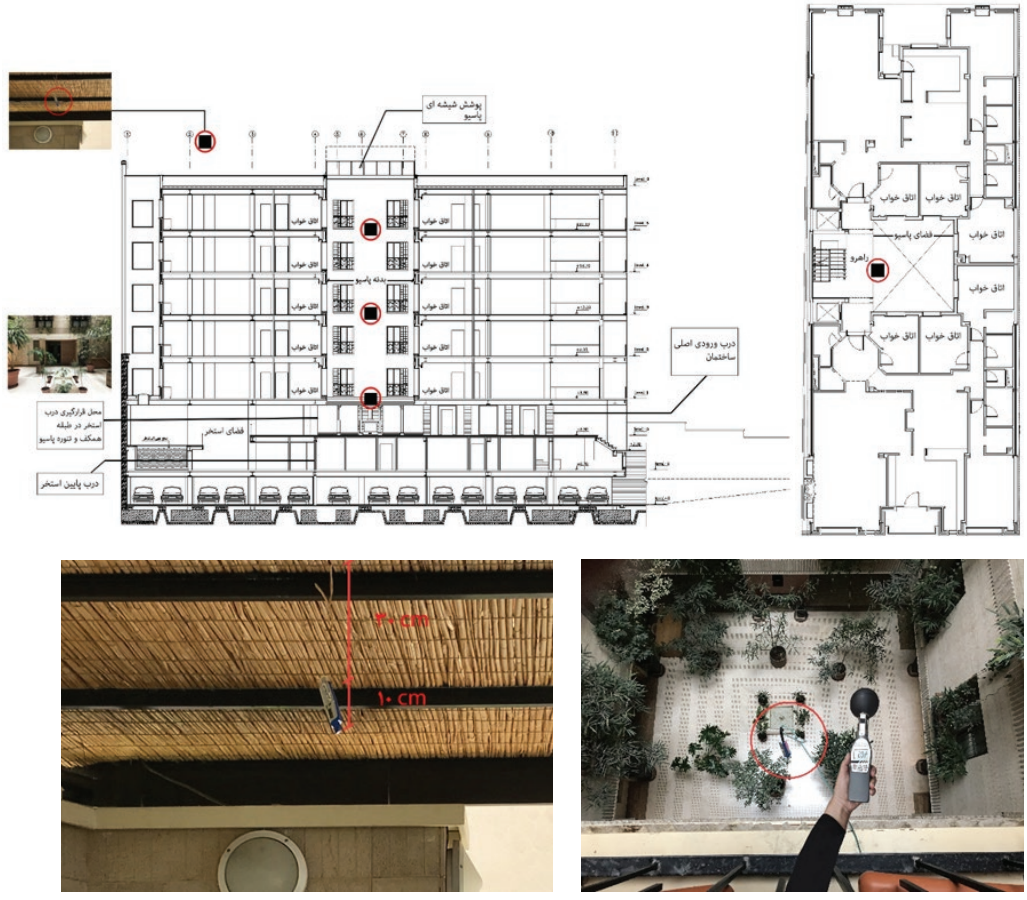
مطالعات میدانی در چهار روز متوالی در تابستان و پنج روز متوالی در زمستان صورت گرفت. اندازه‌گیری‌های تابستانی در روزهای کاملاً آفتابی در تاریخ ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ شهریور ماه (۵، ۶، ۷ و۸ سپتامبر) انجام شده است. اندازه‌گیری‌ها به وسیله دستگاه‌های ثبت داده هواشناسی، دیتالاگر در هر ۱۵ دقیقه انجام گرفتند، این دستگاه‌ها در طبقات اول، سوم و پنجم به صورت ثابت نصب گردیدند و یک دستگاه دیتالاگر نیز برای ثبت دما و رطوبت خارج از ساختمان بر روی پشت بام در سایه قرار داده شد. اندازه‌گیری-های زمستانی نیز با روش فوق در پنج روز متوالی آفتابی و ابری در تاریخ ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ اسفند ماه (۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶ فوریه) صورت گرفت. با توجه به محدودیت تعداد دستگاه‌ها، دستگاه‌ها تنها در طبقات فرد ساختمان قرار داده شد. به علاوه شاخص دمای تر کروی در هر ساعت یک مرتبه در پشت بام و طبقات به صورت دستی اندازه‌گیری شد. در شکل ۴ محل نصب دستگاه‌های دیتالاگر دما و رطوبت و برداشت اطلاعات به صورت دستی، مشخص شده است.



سوم اسفند ۱۳۹۷ - هنگام ظهر | چهاردهم شهریور ۱۳۹۷ - هنگام ظهر | اول تیر ۱۳۹۸ - هنگام ظهر

شکل ۳. میزان نفوذ آفتاب در نورگیر ساختمان بهاران

به دلیل عملکرد مسکونی ساختمان، تأسیسات مکانیکی در واحدها و در طبقه همکف در زمان هر دو برداشت به طور تمام وقت روشن بوده‌اند، در راه پله و راهرو میانی طبقات نیز هیچ گونه تأسیسات مکانیکی به کار نرفته است و این فضا به همراه پاسیو به عنوان فضای کنترل نشده محسوب می‌شوند. همچنین پنجره اتاق‌های مرتبط با نورگیر در هنگام اندازه‌گیری‌های میدانی، بسته بوده است. آنچه می‌توان در بررسی نمودارها مورد توجه قرار داد، بسته شدن درب استخر به طور آگاهانه در محدوده‌های زمانی گوناگون در زمستان می‌باشد که موجب تغییراتی در لایه‌بندی رطوبتی پاسیو و افزایش اختلافات دمایی در طبقات شده است.

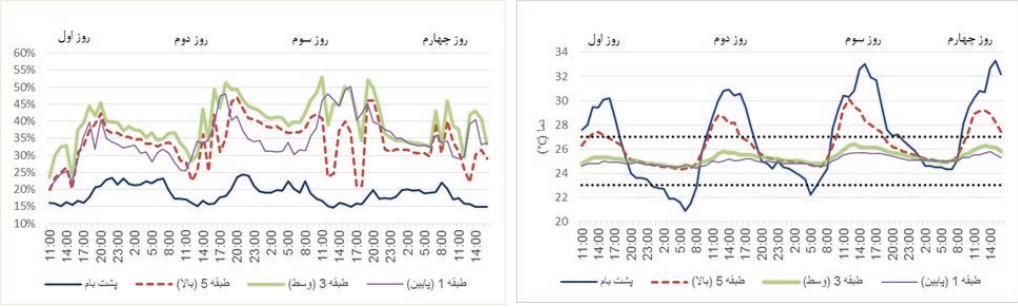


شکل ۴. محل نصب و استفاده از دستگاه‌های دیتالاگر در پلان، مقطع و فضاهای ساختمان

اندازه‌گیری میدانی در فصل تابستان

دوره چهار روزه برای برداشت داده‌های دما و رطوبت در شهریور ماه به عنوان برداشت تابستانی انتخاب شد و این در حالی است که دمای هوا در این ماه نسبت به دمای اوج تابستان حدود ۵ درجه سانتی‌گراد در منطقه شمیران کاهش می‌یابد. روزهای اندازه‌گیری در شهریور هوا کاملاً آفتابی بوده و متوسط ساعات آفتابی در این دوره به طور میانگین ۹/۵ ساعت در روز محاسبه شده است. بر اساس نمودار تغییرات دمایی در بیرون، دمای هوا در این ایام ۲۰/۹ تا ۳۳/۳ درجه سانتی‌گراد بوده و متوسط دمای بیرون ۲۶/۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. با توجه به شکل ۵ راست، طبقات اول تا سوم در تابستان تأثیر چندانی از نور خورشید نگرفته و دمای آنها بیشتر تحت تأثیر بار داخلی و انرژی ذخیره شده در مصالح و گیاهان می‌باشد. اختلاف دمای حداکثر و حداقل در

این طبقات کم‌تر از ۲ ˚c می‌باشد، در حالی که اختلاف متوسط دمای حداکثر این طبقات با حداکثر دمای بیرون ۷/۲ ˚c است و آتریوم در این طبقات، به خوبی به عنوان فضای واسط عمل کرده و دما را در محدوده آسایش قرار داده است. طبقات بالا کاملاً تحت تأثیر تابش خورشید قرار گرفته و نمودار در طول روز با الگوی تغییرات دمایی بیرون پیش رفته است، اما با این حال در تمام ساعات روز، دما از بیرون کم‌تر بوده که این امر به دلیل ارتفاع نسبتاً مناسب نورگیر و باز بودن درب‌ها و دریچه‌های خرپشته می‌باشد که از انباشت حرارت بیش از حد در ترازهای بالای پاسیو جلوگیری کرده است. به طور کلی دمای نورگیر در هنگام شب در تمامی طبقات یکسان بوده و در محدوده آسایش قرار می-گیرد، در طول روز نیز دما در طبقات اول تا سوم مناسب بوده، از طبقه سوم به بالا دمای هوا افزایش یافته و در طبقه پنجم به ۳۰/۱ درجه سانتی‌گراد در گرم‌ترین زمان روز می‌رسد. میانگین دمای پاسیو در این ایام، ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است.



شکل ۵. راست: مقایسه درجه حرارت بیرون و طبقات نورگیر، چپ: تغییرات رطوبت در خارج و طبقات نورگیر ساختمان بهاران در روزهای چهاردهم تا هفدهم شهریور ۱۳۹۷

اختلاف درجه حرارت شبانه روز در بیرون از نورگیر به طور میانگین ۱۰/۴ ˚c بوده، در حالی‌که این اختلاف حرارت در داخل نورگیر به ۳ ˚c می‌رسد. بنابراین پاسیو سرپوشیده همراه با گیاه و تزریق رطوبت استخر به فضای پاسیو، خرد اقلیمی معتدل را ایجاد نموده که می‌تواند در ساعات اوج گرما در روزهای تابستانی دمای هوا را حدوداً تا ۴/۱ ˚c پایین آورد. به علاوه دمای نورگیر با تأخیر ۲ ساعته نسبت به بیرون افزایش یافته و ۳ ساعت زودتر از بیرون کاهش می‌یابد.

رطوبت یکی از عوامل تأثیرگذار در تأمین شرایط آسایش و یا تشدید گرما می‌باشد. دمای محیط و فشار هوا بر میزان بخار آب در هوا مؤثر هستند. بر اساس شکل ۵ چپ، میزان رطوبت نسبی موجود در خارج ساختمان در طول دوره برداشت همواره پایین‌تر از میزان رطوبت نسبی در داخل نورگیر بوده است. حداکثر رطوبت نسبی محیط خارج در تابستان ۲۴/۳ ٪ و حداقل آن ۱۴/۶ ٪ در دوره برداشت تابستانی رقم خورده است. در حالی‌که میانگین رطوبت نسبی نورگیر در این دوره ۳۶ ٪ بوده که در محدوده آسایش رطوبتی قرار می‌گیرد، نکته جالب توجه در نمودار تغییرات رطوبت نسبی طبقات، لایه‌بندی رطوبتی در طبقات مختلف نورگیر می‌باشد. در غالب نتایج، رطوبت در طبقه سوم بیشتر از طبقات اول و پنجم می‌باشد، نحوه لایه‌بندی رطوبتی در پاسیو را به دو صورت می‌توان بیان کرد:

۱. پیش از ظهر تا عصر: الگوی نامنظم لایه‌بندی رطوبتی که در اغلب موارد رطوبت در طبقه سوم بیشتر است.
۲. از عصر تا پیش از ظهر: لایه‌بندی رطوبتی از زیاد به کم، به ترتیب طبقه سوم، پنجم و اول.

به طور کلی نمودار رطوبتی طبقات دارای نوسان بسیاری می‌باشد، در طول شب از شدت این افت و خیز کاسته شده و نمودار از الگوی نسبتاً ثابتی پیروی می‌کند، در حالی که در طی روز شدت این نوسان‌ها زیاد

شده و نمودار از الگوی خاصی برخوردار نیست. در کل، میانگین رطوبت نسبی در نورگیر در طول روز و شب برابر بوده است.

اندازه‌گیری میدانی در فصل زمستان

برداشت‌های زمستانی در پنج روز متوالی در ابتدای اسفند ماه صورت گرفت.[۱۰] در این دوره از برداشت، شرایط آسمان در روزهای اول، سوم و پنجم، آفتابی و در روزهای دوم و چهارم، ابری همراه با دو رگبار باران بوده است. میانگین ساعات آفتابی بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی شمیران در این روزها ۵/۲ ساعت در روز محاسبه شده است. دمای هوا در این ایام بنا بر دیتالاگر نصب شده در پشت بام ۲/۵ تا ۱۲/۵ سانتی‌گراد بوده و متوسط دمای بیرون ۶/۷ سانتی‌گراد برآورد شده است.

شرایط کالبدی پاسیو شبیه به شرایط برداشت قبلی در تابستان بوده و تنها تغییر عمده‌ای که در داخل پاسیو نسبت به دوره برداشت تابستانی ایجاد شده است، باز شدن درب استخر در تمام ساعات به جز هنگام استفاده از استخر در طبقه همکف می‌باشد.

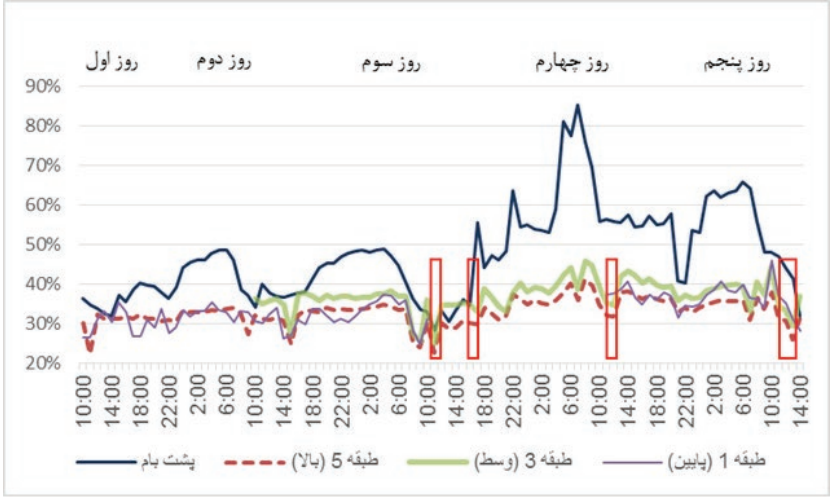
با توجه به شکل ۶، دمای هوای نورگیر در دو لایه اصلی دسته‌بندی می‌شود که طبقات سوم و پنجم در یک لایه و طبقه اول در لایه-ای دیگر قرار دارند. دمای طبقات سوم و پنجم در طول روز تا حدی از یکدیگر فاصله می‌گیرند، به طوری‌که دمای پنجمین طبقه تا ۱/۵ سانتی‌گراد با طبقه سوم اختلاف دارد، اما دمای این طبقات در شب بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشند. دمای طبقه اول که در لایه‌ای متفاوت از طبقات بالا قرار گرفته، در هیچ ساعت از شبانه روز به این طبقات نزدیک نشده و دمای این طبقه در اغلب ساعات با طبقه پنجم حدود ۳ و با طبقه سوم حدود ۲ تفاوت دمایی دارد، این اختلاف دمایی طبقه اول با طبقات بالایی به سبب جریان هوای خنکی است که از طبقه ۲- و از طریق راه‌پله به همکف و بخش تحتانی پاسیو نفوذ می‌کند، علاوه بر این موضوع، به دلیل لکه آفتابی که در طبقات بالا بر روی سطوح طبقات چهارم و پنجم قرار می‌گیرد، دمای این طبقات نسبت به طبقات پایین‌تر افزایش یافته است.

شکل ۶. مقایسه درجه حرارت بیرون و طبقات نورگیر در روزهای سوم تا هفتم اسفند ۱۳۹۷، زمان‌های بسته شدن درب استخر توسط مستطیل‌ها نشان داده شده است.

به دلیل مسقف بودن نورگیر، ابری و یا آفتابی بودن آسمان در زمستان، تأثیر زیادی در متوسط دمای نورگیر ندارد. در مقایسه طبقات، در شرایط آسمان آفتابی دمای طبقه پنجم پاسیو ۰/۵ °c و دمای طبقه سوم ۰/۴ °c بیشتر از دمای این طبقات در شرایط آسمان ابری بوده است، این تفاوت دما در حداکثر میزان خود در طبقه پنجم به دمای ۱ °c و در طبقه سوم به دمای ۰/۵ °c در شرایط آسمان آفتابی نسبت به آسمان ابری می‌رسد. به علاوه تفاوت دمایی طبقات پنجم و سوم در طی روزهای آفتابی بیشتر از روزهای ابری می‌باشد.

جهت تشخیص تأثیر رطوبت استخر بر روی دما و رطوبت نورگیر، چند مرتبه درب استخر بسته شد، با توجه شکل ۶ می‌توان دریافت که با حذف رطوبت استخر، اختلاف دما در طبقات پاسیو افزایش یافته است، به طوری که این اختلاف دما تا ۴/۲ °c هم رسیده است. به طور کلی، نورگیر ساختمان بهاران در زمستان و ایام سرد سال به خوبی عمل کرده و عملکرد ایستای نورگیر موجب شده، متوسط دمای نورگیر ۱۱/۷ °c از متوسط دمای محیط خارج بیشتر باشد و این خاصیت سبب قرارگیری دمای پاسیو در نزدیکی محدوده آسایش در زمستان شده است.

اختلاف درجه حرارت در بیرون از نورگیر در ایام برداشت زمستانی به طور میانگین ۷ °c می‌باشد، در صورتی‌که اختلاف حرارت در داخل نورگیر به ۱/۱ °c می‌رسد، با وجود این که تأسیسات گرمایشی در داخل نورگیر وجود ندارد، این اختلاف دمای اندک در داخل به دلیل بسته بودن سقف و کف نورگیر، جانمایی مرکزی در پلان، عدم ارتباط هوایی با بیرون و وجود گیاهان متعدد و رطوبت تزریق شده از استخر به فضای پاسیو می‌باشد. دمای نورگیر با تأخیر ۳ ساعته نسبت به بیرون افزایش یافته و ۲ ساعت دیرتر از بیرون به مقدار کمی کاهش می‌یابد. همان‌طور که گفته شد، در فصول سرد سال به دلیل گرم بودن آب استخر و رطوبت بالای فضای ورزشی که آسیب زننده به سقف‌ها و دیوارهای این فضا می‌باشد، درب استخر در اکثر مواقع به سمت بخش تحتانی پاسیو باز بوده که این امر موجب تزریق رطوبت زیادی در پاسیو می‌گردد. بر اساس آمار و ارقام، همواره رطوبت نسبی هوا در فصول سرد افزایش می‌یابد، این موضوع در شکل ۷ نیز مشهود است. در روزهای برداشت آمار میدانی در این ماه رطوبت نسبی محیط غالباً از رطوبت نسبی نورگیر بیشتر بوده است، میانگین رطوبت نسبی محیط در این ایام ۴۷/۵ ٪ و میزان حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۸۵/۲ ٪ و ۲۸/۵ ٪ بوده، حداکثر رطوبت نسبی در هنگام وقوع باران رقم خورده است.



شکل ۷. تغییرات رطوبت در طبقات نورگیر ساختمان بهاران در روزهای سوم تا هفتم اسفند ۱۳۹۷، زمان‌های بسته شدن درب استخر توسط مستطیل‌ها نشان داده شده است.

لایه‌بندی رطوبتی درون نورگیر همچون لایه‌بندی رطوبتی در برداشت تابستانی می‌باشد. به نحوی که رطوبت طبقه سوم به طور متوسط ۳ ٪ تا ۴ ٪ از رطوبت طبقات اول و پنجم بیشتر بوده است. در این ایام درب استخر چند مرتبه به طور کنترل شده در ساعات ۱۰:۳۰ الی ۱۱:۳۰، ۱۶:۱۰ الی ۱۷:۱۰ و ۱۰:۳۰ الی ۱۳ بسته شد، رطوبت موجود در نورگیر در این ساعات کاهش یافت، همچنین علاوه بر کاهش رطوبت، لایه‌بندی رطوبتی نورگیر تغییر کرده و لایه‌بندی به ترتیب از زیاد به کم به لایه‌بندی طبقه اول، سوم و پنجم تبدیل می‌شود. باز بودن درب استخر تأثیر به سزایی در رطوبت نورگیر گذاشته است و موجب قرارگیری نورگیر یا پاسیو در محدوده آسایش رطوبتی شده است، علاوه بر این افزایش رطوبت موجب بقای بهتر گیاهان موجود در نورگیر شده است. در جدول ۲ حداقل، حداکثر، میانگین دما و میانگین رطوبت طبقات نورگیر و بام در روزهای اندازه‌گیری میدانی در تابستان و زمستان ارائه شده است.

جدول ۲. حداقل، حداکثر و میانگین دما و میانگین رطوبت طبقات نورگیر و بام در روزهای اندازه‌گیری میدانی در تابستان و زمستان

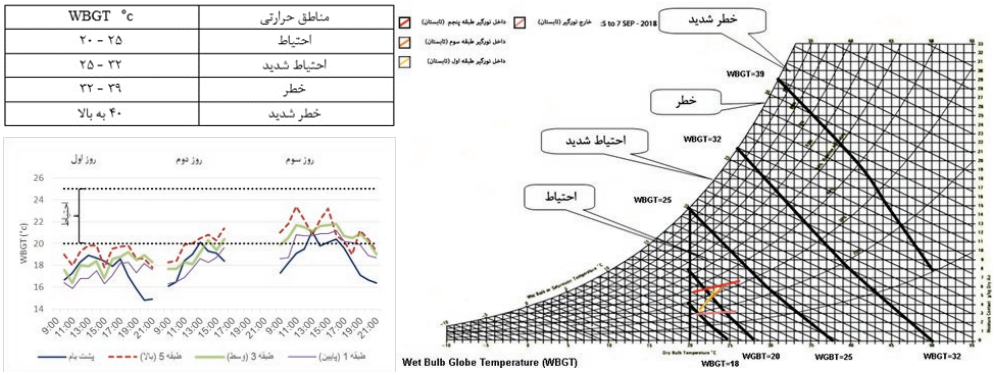
	تابستان				زمستان			
دما / طبقه	حداکثر ℃	حداقل ℃	میانگین ℃	میانگین رطوبت ٪	حداکثر ℃	حداقل ℃	میانگین ℃	میانگین رطوبت ٪
اول	۲۵/۸	۲۴/۴	۲۵	٪ ۳۴/۷	۱۷/۸	۱۴/۴	۱۶/۶	٪ ۳۳/۵
سوم	۲۶/۴	۲۴/۵	۲۵/۳	٪ ۳۹/۴	۱۹/۳	۱۷/۶	۱۸/۵	٪ ۳۷/۱۵
پنجم	۳۰/۱	۲۴/۳	۲۶/۳	٪ ۳۳/۸	۲۰/۷	۱۷/۷	۱۹/۱	٪ ۳۳/۰۳
بام	۳۳/۳	۲۰/۹	۲۶/۴	٪ ۱۸/۶	۱۲/۵	۲/۵	۶/۷	٪ ۴۷/۴۷

شاخص دمای تر کروی (WBGT) در فصل تابستان

WBGT تابعی از چهار فاکتور محیطی (دمای هوا، حرکت هوا، درجه حرارت تابشی و رطوبت هوا) می‌باشد که بر روی استرس گرمایی محیطی انسان تأثیرگذار است. در بسته تر کروی، شاخص WBGT برای اندازه‌گیری پتانسیل خطر احتمالی استرس گرمایی استفاده می‌شود، این شاخص جهت تأثیر مستقیمی که نور خورشید روی موضوع دارد، به کار می‌رود. بسته‌های تر کروی شامل سه دماسنج برای اندازه‌گیری سه فاکتور مختلف محیطی مانند دمای خشک ℃ DB)، دمای مرطوب (℃) WB و کره سیاه (℃) BG می‌باشند. WBGT با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Tahbaz, 2018):

$$WBGT=0.7\,WB+0.2\,BG+0.1\,DB \qquad (۱)$$

شاخص WBGT به وسیله دستگاه دمای تر کروی در روزهای اندازه‌گیری میدانی در داخل و خارج نورگیر اندازه‌گیری شد. از این دستگاه رأس هر ساعت به صورت دستی، با فاصله ۰/۵ متر از جداره و هم ارتفاع با دستگاه‌های دیتالاگر نصب شده در طبقات، استفاده گردید (شکل ۴). در شهریور ماه با قرار گرفتن دستگاه در طبقه پنجم و تجاوز شاخص WBGT از ℃ ۲۲، بوق اخطار دستگاه برای چندین مرتبه به صدا در آمد، که نشان از قرارگیری استرس گرمایی در منطقه خطر در محیط داخلی می‌باشد. در شکل ۸ شاخص WBGT بر روی نمودار سایکرومتریک و دمای تر کروی برداشت شده در فصل تابستان همراه با مناطق حرارتی WBGT، نشان داده شده است.

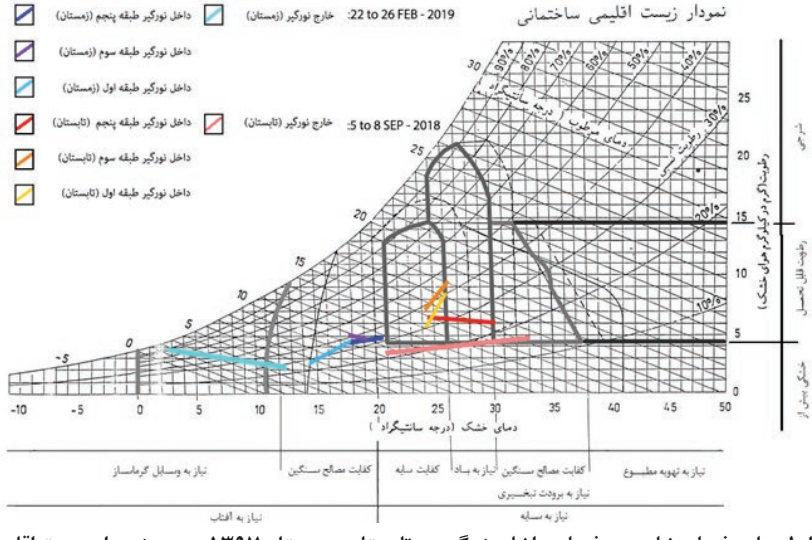


شکل ۸. راست: شاخص WBGT در طبقات و خارج نورگیر فصل تابستان ۱۳۹۷ بر روی نمودار سایکرومتریک، چپ بالا: مناطق حرارتی دمای تر کروی، چپ پایین: شاخص WBGT در طبقات و خارج نورگیر، چهاردهم تا شانزدهم شهریور ۱۳۹۷

منبع: Tahbaz, 2018

شرایط آسایش در نورگیر مورد مطالعه

نمودار زیست اقلیمی ساختمانی گیوونی (شکل ۹) نشان می‌دهد که تغییرات دما و رطوبت نورگیر در فصول تابستان و زمستان در طبقات میانی ناچیز بوده، در طول تابستان، دما و رطوبت در طبقات اول تا سوم کاملاً در محدوده آسایش قرار داشته و در طبقات بالا اختلاف دمای شبانه روز افزایش یافته و دما در طی روز از حد آسایش گذر خواهد کرد. در زمستان نیز دما در طبقات بالا به محدوده آسایش نزدیک بوده و دمای طبقات پایینی به دلیل باز بودن درب زیرزمین و درب‌های پشت بام و ایجاد جریان هوای سرد، خنک‌تر می‌باشند. به طور کلی، دو متغیر دما و رطوبت در تابستان نسبتاً مناسب بوده و در فصل زمستان از محدوه آسایش فاصله می‌گیرند. برای بهبود این شرایط در فصل گرم می‌توان با ایجاد کوران هوا در پاسیو، این فضا را در شرایط دمایی مناسبی قرار داد، از آن جایی که دمای شمال شهر تهران در طول روزهای تابستانی در برخی اوقات به بالاتر از ۳۵ c° نیز خواهد رسید، استفاده از تهویه طبیعی در طول روز موجب بالاتر رفتن دمای پاسیو خواهد شد، بنابراین تنها تهویه و جریان هوا در هنگام شب و در دماهای پایین‌تر از ۳۵ c° توصیه می‌گردد. همچنین بر اساس نمودار، جهت نزدیک کردن دما و رطوبت نورگیر به حد مطلوب در فصول سرد، استفاده از مصالح با جرم حرارتی بالا می‌تواند راه گشا باشد.



شکل ۹. شرایط دمایی فضای خارجی و فضای داخلی نورگیر در تابستان و زمستان ۱۳۹۷ بر روی نمودار زیست اقلیمی گیوونی

تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی

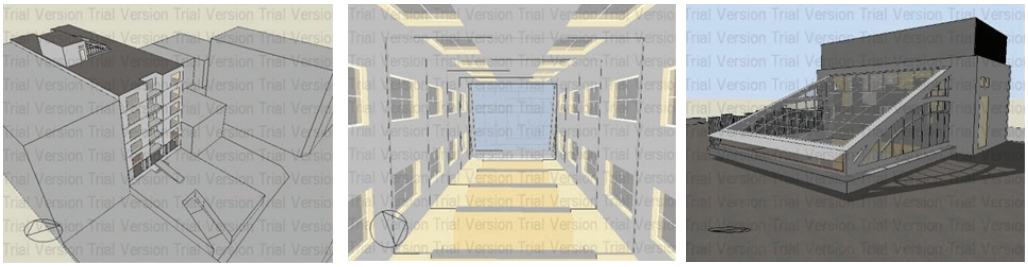
جهت مقایسه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی علاوه بر مقایسه درجه حرارت روی نمودار، از مدل رگرسیون خطی ساده بهره گرفته شده است. در آمار، رگرسیون خطی، یک رویکرد مدل خطی بین متغیر پاسخ با یک یا چند متغیر توصیفی است و برای کشف مدل رابطه خطی بین متغیرها از رگرسیون استفاده می‌گردد. خط رگرسیونی به نحوی از میان نقاط می‌گذرد که کم‌ترین فاصله بین نقاط و این خط ایجاد گردد. برای سنجش نوع (مستقیم و معکوس) و شدت رابطه بین متغیر پاسخ و توصیفی می‌توان از ضریب همبستگی استفاده کرد. مثبت یا منفی بودن ضریب بیانگر نوع رابطه می‌باشد و هر چه ضریب همبستگی به ۱ یا ۱- نزدیک‌تر باشد، شدت رابطه متغیر مستقل و وابسته بیشتر است (اصغری جعفر آبادی، سلطانی و محمدی، ۱۳۹۲).

تنظیمات نرم‌افزار شبیه‌سازی

ضریب انتقال حرارتی[11] دیوارهای خارجی مطابق با مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ۰/۶۴ در نظر گرفته شده است (جدول ۳). پنجره‌های خارجی و اطراف پاسیو از نوع دو جداره انتخاب شده، مصالح دیوارهای پاسیو از سنگ مرمریت و کف و دیوارهای راه پله از نوع تراورتن مطابق با آنچه در واقعیت وجود داشت، انتخاب گردید. سقف پاسیو با شیشه تک جداره و پروفیل فلزی سفید پوشانده شد. سیستم سرمایش و گرمایش در راهرو و پاسیو خاموش و این فضاها به عنوان فضای کنترل نشده تنظیم گردیدند. درجه حرارت شروع سرمایش[12] و گرمایش[13] در فضاهای مسکونی c° ۲۳ و c° ۲۷، بر اساس دمای آسایش مردم تهران قرار داده شد (صنایعیان، ۱۳۹۳، ۶۷). همچنین تهویه طبیعی[14] برای کل ساختمان فعال گردید و حداقل دمای شروع استفاده از تهویه طبیعی روی c° ۲۴ تنظیم و میزان تغییر هوا در هر ساعت ac/h ۵ تنظیم گردید. در راهرو طبقات احجامی با مصالح بام سبز به عنوان گیاه قرار داده شد و به فضای استخر رطوبت زن[15] اضافه گردید. شکل ۱۰ نمونه مدل سازی شده از ساختمان مورد مطالعه، در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر را نشان می‌دهد.

جدول۳. مشخصات حرارتی جداره‌ها، کف و سقف نورگیر در نرم افزار دیزاین بیلدر

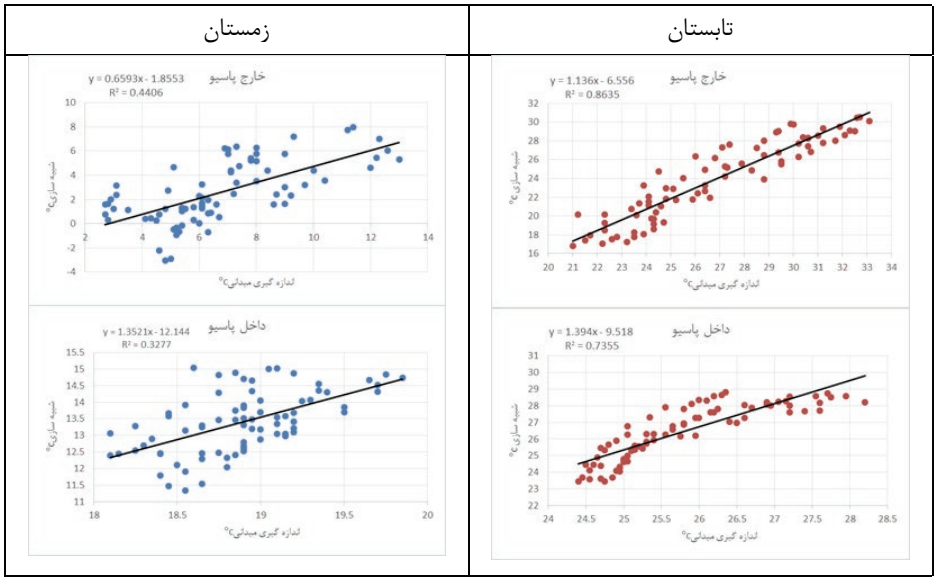
اجزای ساختمان		ضریب انتقال حرارت W/m^2K	ظرفیت حرارتی داخلی[16] KJ/m^2K	مقاومت حرارتی[17] m^2K/W
دیوارهای پوسته خارجی ساختمان		۰/۶۴	۱۳۴/۸	۱/۵۶۲
دیوارهای اطراف نورگیر		۰/۶۵	۱۳۴/۸	۱/۵۳۸
کف نورگیر		۰/۴۵	۱۱۷/۶۴۸	۲/۲۲
پوشش یا سقف نورگیر	پروفیل فلزی	۰/۴۹۵	۱۲/۵۸۸	۲/۰۲
	شیشه	۲/۶۶۵	-	-



شکل ۱۰. تصاویر شبیه‌سازی شده ساختمان بهاران در محیط نرم افزار دیزاین بیلدر

اعتبارسنجی نرم‌افزار شبیه‌سازی

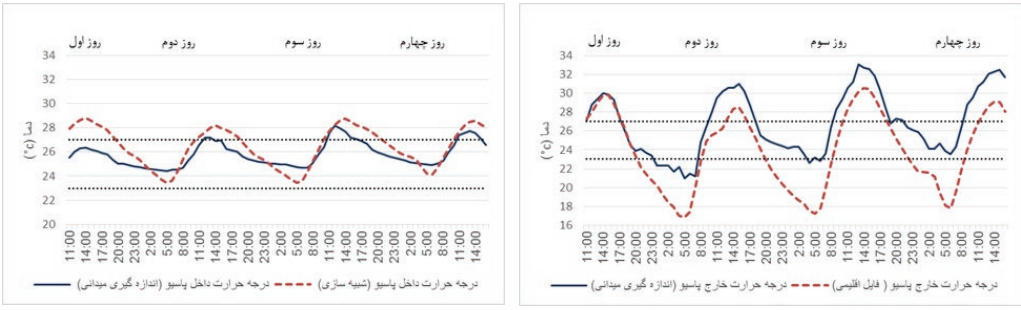
شکل ۱۱ نقاط پراکنش درجه حرارت در اندازه‌گیری میدانی را در ازاء مقادیر حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که رابطه مستقیم و خطی بین آنها وجود دارد، در بالای هر نمودار معادله خط رگرسیون و ضریب تعیین(توان دوم ضریب همبستگی) قرار داده شده است. در تابستان، دمای فایل اقلیمی در خارج پاسیو حدود c° ۳ از روزهای اندازه‌گیری میدانی سردتر بوده است، این اتفاق می‌بایست با میزان کم‌تری در نتایج شبیه‌سازی در داخل نورگیر نمود پیدا می‌کرد، در حالی که در داخل نورگیر متوسط دمای حاصل از شبیه‌سازی c° ۰/۶۵ از اندازه‌گیری میدانی گرم‌تر بوده است، به علاوه در شکل ۱۱، تابستان، نزدیکی نقاط به خط رگرسیون و نزدیکی ضریب تعیین به عدد یک در خارج و داخل پاسیو قوت همبستگی را نشان می‌دهد. به طور کلی، به دلیل هماهنگی روند دو نمودار و سایر نکات ذکر شده در بالا، می‌توان نتایج حاصل از شبیه‌سازی در تابستان را معتبر دانست. در فصل زمستان نوسان نمودارها بر اساس تغییرات دمای خارجی بوده و در جایی که دمای خارج پاسیو در دو نمودار یک روند را طی می‌کنند، روند نمودارها بر اساس شکل ۱۳ در داخل پاسیو نیز با یکدیگر هماهنگ بوده است. شکل ۱۱ در زمستان بیان می‌دارد، همان‌طور که فایل اقلیمی و اندازه‌گیری میدانی در خارج از پاسیو دارای قوت همبستگی متوسط می‌باشند، داده‌های اندازه‌گیری میدانی و داده‌های حاصل از شبیه‌سازی نیز همبستگی متوسطی با یکدیگر دارند، از این رو، نتایج شبیه‌سازی در زمستان با اندازه‌گیری‌های میدانی مطابقت داشته و شبیه‌سازی دارای اعتبار می‌باشد.



شکل ۱۱. نمودار نقاط پراکنش درجه حرارت حاصل از اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی در تابستان (شهریور) و زمستان (اسفند)

مقایسه اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی در فصل تابستان

شکل ۱۲ راست دمای هوا حاصل از اندازه‌گیری میدانی و فایل اقلیمی[۱۸] شمال تهران در شهریور را نشان می‌دهد. میانگین دمای فایل اقلیمی°c ۲/۹ از اندازه‌گیری میدانی خنک‌تر می‌باشد و دمای هوا در روزهای اندازه‌گیری گرم‌تر از فایل اقلیمی بوده است. حداکثر اختلاف دما°c ۶ بوده و حداقل این اختلاف به°c ۰/۲۲ می‌رسد.

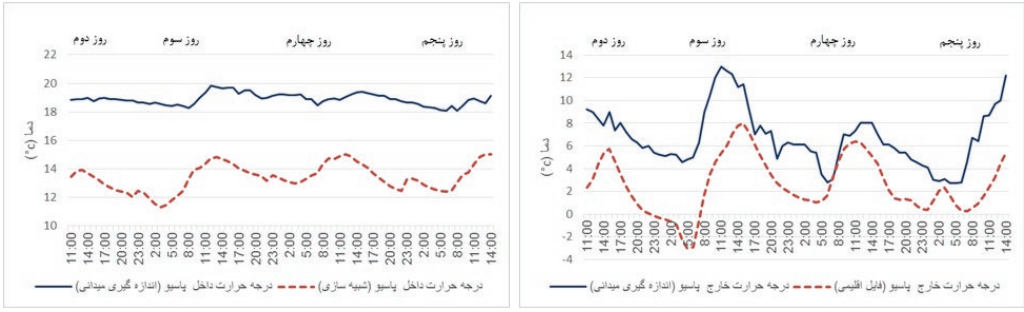


شکل ۱۲. راست: تغییرات درجه حرارت حاصل از اندازه‌گیری میدانی و فایل اقلیمی در خارج نورگیر، چپ: تغییرات درجه حرارت حاصل از اندازه‌گیری میدانی (همراه با آب و گیاه) و شبیه سازی (بدون آب و گیاه) در داخل نورگیر- چهاردهم تا هفدهم شهریور ۱۳۹۷

شکل ۱۲ چپ نتایج حاصل از شبیه‌سازی و میانگین دمای طبقات در واقعیت را جهت مقایسه پاسیو در دو حالت بدون آب و گیاه (شبیه‌سازی) و همراه با آب و گیاه (اندازه‌گیری میدانی)، نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی به طور میانگین°c ۰/۶۵ گرم تر از نتایج حاصل از اندازه‌گیری میدانی بوده است. حداکثر اختلاف دما بین این دو نمودار°c ۲/۴۸ و حداقل°c ۰/۰۰۳ بوده، این اختلاف دما به طور میانگین به°c ۰/۹۳ می‌رسد. نکته دیگری که در این نمودار مشهود است، نوسان بیشتر داده‌های حاصل از شبیه‌سازی نسبت به اندازه‌گیری میدانی می‌باشد، به طوری که اختلاف دمای شبانه روز در داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی °c ۳/۱۵ بوده است و این عدد در داده‌های حاصل از شبیه‌سازی به°c ۵/۰۵ می‌رسد. اختلاف دمای °c ۱/۹ بین نتایج به سبب وجود گیاه در پاسیو و رطوبت تزریق شده از استخر به فضای پاسیو در اندازه‌گیری میدانی می‌باشد که موجب کاهش اختلاف دما در طی شبانه روز در داخل پاسیو شده است. در محیط نرم‌افزار با حذف متغیر آب و گیاه از پاسیو، اختلاف دمای شبانه روز افزایش یافته است.

مقایسه اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی در فصل زمستان

شکل ۱۳ راست، دمای هوای حاصل از اندازه‌گیری میدانی و فایل اقلیمی شمال تهران در روزهای برداشت میدانی در اسفند ماه را نشان می‌دهد. به علت ابری و آفتابی شدن آسمان و بارش‌های مقطعی، روند دو نمودار در برخی از زمان‌ها با یکدیگر متفاوت است. میانگین دما در فایل اقلیمی °c ۴/۱۵ سردتر از ایام اندازه‌گیری زمستانی بوده است. حداکثر اختلاف دما بین دو نمودار°c ۷/۹ و حداقل این اختلاف به°c ۰/۰۵ می‌رسد.



شکل ۱۳. راست: تغییرات درجه حرارت حاصل از اندازه‌گیری میدانی و فایل اقلیمی در خارج نورگیر، چپ: تغییرات درجه حرارت حاصل از اندازه‌گیری میدانی (همراه با آب و گیاه) و شبیه‌سازی (بدون آب و گیاه) در داخل نورگیر در روزهای چهارم تا هفتم اسفند ۱۳۹۷

شکل ۱۳ چپ، نتایج حاصل از شبیه‌سازی و میانگین دمای طبقات در واقعیت را، در داخل نورگیر و در ایام برداشت زمستانی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در بالا بیان شد، فایل اقلیمی در ایام اندازه‌گیری زمستان c° ۴/۱۵ خنک‌تر از اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده در خارج نورگیر بوده است. از آن‌جایی که دمای محیط خارجی تأثیر زیادی روی توزیع دمایی در فضای آتریوم نسبت به بار حرارتی داخل ساختمان دارد (Liu, Lin & Chou, ۲۰۰۹)، از این رو، به طور میانگین اختلاف دمای c° ۵/۵۸ بین دو نمودار مشاهده می‌شود. حداکثر اختلاف دمای بین دو نمودار c° ۷/۴۷ و حداقل این مقدار c° ۳/۸۶ می‌باشد. اختلاف دمای بین شبانه روز داخل نورگیر در اندازه‌گیری‌های میدانی c° ۱/۲۷ بوده و در نتایج حاصل از شبیه‌سازی به c° ۳/۰۷ می‌رسد. اختلاف c° ۱/۸ بین دمای شبانه روز در دو نمودار، همانند تابستان به جهت حذف متغیر آب و گیاه در نرم‌افزار جهت مقایسه پاسیو همراه با آب و گیاه و بدون آن است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله نورگیر مرکزی یک ساختمان پنج طبقه در شمال شهر تهران مورد مطالعه میدانی و شبیه‌سازی قرار گرفته است. در بخش میدانی، نورگیر همراه با متغیرهای گیاه و رطوبت حاصل از استخر مورد بررسی قرار گرفته، این متغیرها در بخش شبیه‌سازی جهت مقایسه نورگیر بدون آب و گیاه، حذف گردیدند. نتایج حاصل از مطالعات میدانی و شبیه‌سازی به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

- اندازه‌گیری‌های میدانی در تابستان و زمستان نشان دادند که نورگیر مسقف ساختمان بهاران همراه با گیاه و تزریق رطوبت استخر به فضای نورگیر، خرد اقلیمی معتدل را ایجاد نموده که به طور میانگین دمای هوا را در تابستان c° ۴/۱ کاهش و در زمستان c° ۱۱/۷ افزایش داده است.
- در تابستان دمای نورگیر از ساعت ۸ تا ۲۴ خنک‌تر از فضای بیرون بوده و این امر موجب می‌شود فضاهای اطراف نورگیر نیاز کم‌تری به سرمایش در طول روز تابستان داشته باشند، در هنگام شب از ساعت ۲۴ تا ۸ صبح، دمای نورگیر بیشتر از بیرون می‌باشد که با طراحی صحیح پاسیو و افزایش جریان هوا، می‌توان میزان تهویه شبانه در پاسیو را افزایش داد و نیاز به سرمایش مکانیکی در شب برای فضاهای اطراف نورگیر را به حداقل و یا صفر رسانید.
- به دلیل وجود رطوبت حاصل از آب و گیاه و بر اساس نمودار زیست اقلیمی گیوونی، دما و رطوبت نورگیر در دو فصل تابستان و زمستان در نزدیکی محدوده آسایش قرار گرفته است، این امر موجب کاهش نیاز فضاهای اطراف نورگیر به سرمایش و گرمایش مکانیکی در طول سال و در نتیجه کاهش مصرف انرژی خواهد شد.

- با بستن چندین مرتبه‌ای درب استخر در هنگام اندازه‌گیری میدانی در زمستان، مشخص گردید که با حذف رطوبت استخر از فضای نورگیر، اختلاف دما در طبقات نورگیر افزایش می‌یابد. همچنین علاوه بر کاهش رطوبت، لایه‌بندی رطوبت در طبقات تغییر کرده و رطوبت به ترتیب از طبقه اول به پنجم کاهش می‌یابد.
- به سبب مسقف بودن نورگیر، شرایط آسمان آفتابی و یا ابری در فصل سرد، تأثیر کمی (به طور میانگین ۰/۵ ℃) در دمای داخلی نورگیر داشته است.
- در نمونه شبیه‌سازی شده، با حذف متغیر گیاه و رطوبت حاصل از آب استخر، نوسان دما در طی شبانه روز افزایش یافته است. به طوری که نتایج حاصل از شبیه‌سازی اختلاف دمای ۱/۸۵ ℃ بیشتر را نسبت به اندازه‌گیری‌های میدانی در طی شبانه روز نشان می‌دهد. بنابراین متغیر رطوبت حاصل از گیاه و آب استخر، نوسانات دمایی در طی شبانه روز در نورگیرهای داخلی را کاهش خواهد داد.

تشکر و قدردانی

از مهندسین مشاور زندیگان و جناب آقای مهندس نیک‌بخت برای در اختیار قرار دادن نقشه‌ها و فراهم نمودن امکان حضور اینجانب در ساختمان ذکر شده تشکر می‌نمایم، همچنین از جناب آقای مهندس ایروانی و اهالی محترم ساختمان بهاران نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

پی‌نوشت‌ها

۱. Atrium، آتریوم در واژه به معنای دهلیز می‌باشد، در پیش از میلاد در یونان به اتاق داخلی یا روشندان و در روم به حیاط‌های اندرونی گفته می‌شده و در معماری معاصر به فضاهای شیشه‌ای میانی یک ساختمان چند طبقه که در اطراف با راهروها و فضاهای اصلی احاطه شده است، اطلاق می‌شود.

2. FERRANTE
3. MIHALAKAKOU
4. Akbari
5. Data logger
6. WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)
7. Design Builder, Version 6.1.2.009
8. Plan Aspect Ratio
9. Section Aspect Ratio

۱۰. به موجب از کار افتادن دستگاه دیتالاگر طبقه سوم در روز اول و دستگاه دیتالاگر طبقه اول در روز سوم داده‌های آماری این دوره در این طبقات ناقص می‌باشد.

11. U-Value
12. Cooling Setpoint Temperature
13. Heating Setpoint Temperature
14. Natural Ventilation
15. Humidification
16. Km - Internal heat capacity
17. R-Value

۱۸. Epw، فایل اقلیمی شمال تهران بر اساس اطلاعات سینوپ سه ساعته ایستگاه هواشناسی اقدسیه در بازه زمانی سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ به سفارش نگارنده توسط دکتر عبدالسلام ابراهیم پور ساخته شده و این فایل در سایت tmy2.ir قرار داده شده است.

فهرست منابع

- اصغری جعفر آبادی، محمد، سلطانی، اکبر، و محمدی، سیده مؤمنه (۱۳۹۲). سری آمار: همبستگی و رگرسیون. *مجله دیابت و لیپید ایران*، ۱۲(۶)، ۴۷۹-۵۰۶.
- برزگر گنجی، هدی، نوروزیان پور، هیربد، و بنی عامریان، صالح (۱۳۹۲). *بررسی آتریوم به عنوان تأمین کننده نور روز در فضاهای آموزشی-فرهنگی در اقلیم سرد و خشک ایران*. همایش بین المللی روشنایی روز و نورپردازی ایران، شیراز.
- حاجی پور، خلیل، و فروزان، نرگس (۱۳۹۳). بررسی تاثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی، نمونه موردی: شهر شیراز. *نشریه هنرهای زیبا*، ۱۹(۴)، ۱۷-۲۶.
- صنایعیان، هانیه (۱۳۹۳). *تأثیر شکل و همجواری فضای نیمه باز بر میزان مصرف انرژی، دسترسی به نور خورشید و تهویه درون ساختمان (نمونه موردی: بناهای مسکونی متداول شهر تهران)*. رساله برای دریافت درجه دکتری معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- کاظم زاده، مرضیه، قبادیان، وحید، و طاهباز، منصوره (۱۳۹۳). آتریوم و روشنایی فضای داخلی ساختمان های اداری. *آرمان شهر*، ۸، ۵۳-۶۱.
- مفیدی، سید مجید، حسینی، سید باقر، و مدی، حسین (۱۳۸۹). بررسی عملکرد اقلیمی نورگیرهای داخلی ساختمان های اداری. *انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران*، ۱ ، ۱۰۱-۱۰۸.
- وبگاه اطلس کلانشهر تهران: http://atlas.tehran.ir
- وبگاه سازمان هواشناسی کل کشور: http://irimo.ir . Retrieved from https://data.irimo.ir/

- Ahadi, A., Saghafi, M., & Tahbaz, M. (2018). The optimization of light-wells with integrating daylight and stack natural ventilation systems in deep-plan residential buildings: A case study of Tehran. *Building Engineering,*18, 220- 244.
- Akbari, H., M. Kurn, D., E. Bretz, S., & W. Hanford, J. (1997). Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings,* 25, 139-148.
- Ferrante, A., & Mihalakakou, G. (2001). The influence of water, green and selected passive techniques on the rehabilitation of historical industrial buildings in urban areas. *Solar Energy,* 70(3), 245-253.
- Liu, P.-C., Lin, H.-T., & Chou, J.-H. (2009). Evaluation of buoyancy-driven ventilation in atrium buildings using. *Building and Environment,* 44, 1970-1979.
- Mangone, G., & van der Linden, K. (2014). Forest microclimates: Investigating the performance potential of vegetation at the building space scale. *Building and Environment,* 73, 12-23.
- Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ab Ghafar, N., & Azzam Ismail, M. (2014). Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 34, 654-670.
- Tahbaz, M. (2018). Microclimate Observation by Outdoor Thermal Indices (Case Study of Five Climates). *International journal of Architectural Engineering and Urban Planning,* 28(1), 49-70.
- Tahbaz, M., & Kazemzadeh, M. (2012). Effect of plant in two atrium building comfort: Report on two field-monitored case studies. *Scientific,* 110-116, 1958-1962.

Received: 25 February, 2020 | Accepted: 02 September, 2020

Document Type: Research Paper

The Effect of Water and Plants on Climatic Performance of Indoor Skylights Case Study: Residential Buildings of Tehran

Fatemeh Fakhrosaeh
Master in Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Arts, University of Kashan, Kashan, Iran

Mansoureh Tahbaz
Associate Professor, Department of Construction, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Corresponding Author)

Javad Divandari
Assistant Professor, Faculty of Architecture and Arts, University of Kashan, Kashan, Iran

Haniyeh Sanaieian
Assistant Professor, School of Architecture and Environmental Design, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract

Indoor skylights or patios are considered one of the pervasive spaces in Tehran's residential buildings. Patios play a significant role in modifying the climatic conditions and bringing the environment closer to humane conditions with a passive approach, thereby reducing energy consumption. The environmental benefits of these spaces were raised as a new response to the energy consumption of buildings after the energy crisis of the 1970s and since then, atrium spaces have been used in modern architecture. Research shows that the climatic performance of skylights is different from and affected by the surrounding conditions and they reduce the need for cooling, heating and mechanical ventilation. On the other hand, they reduce relative humidity, particularly in winter. The purpose of this paper is to obtain the temperature conditions, WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), relative humidity of skylights, and its effect on comfort achievement. For this purpose, a skylight of a roofed five-storey residential building in the north of Tehran with plants and injection of pool moisture into the central skylight space. This is a field work in which simulation was done with indoor skylights with cover, water and plants and indoor skylights with the cover but without water and plants. Field measurements were done by temperature and humidity data loggers, and WBGT device in summer and winter for four and five consecutive days, respectively. In order to record the air temperature in different layers of the patio, three data loggers were installed on the odd floors of the building and a data logger was installed on the roof of the building in the shadow to collect local temperature data every 30 minutes. Then, the building was simulated using the DesignBuilder software and after the results and graphs were obtained, a comparative analysis of the samples was performed and the validity of the simulation results was proved. The results show that the skylights roofed with the plant and injection of the moisture content of the ponds caused a moderate climatic condition in the skylight space, reducing the air temperature to 4° C in the warm season and increasing it to 11.7° C in the cold season. By closing the pool door several times during the field measurements in winter, it was found that the temperature difference in the patio floors increased after the removal of the pool moisture from the skylight. In addition to reducing humidity, the moisture stratification in the floors changed and the humidity decreased from the first to fifth floors. As the skylights were roofed, sunny or cloudy weather conditions in the cold season had little effect (on average 0.5° C) on the internal temperature of the patio. A comparison of the results of simulation and field studies showed that the removal of plant and pool moisture led to an increase in the temperature difference in the skylight. Examining the WBGT index also showed that the fifth-floor patio will be in the caution heat zone during the daytime maximum temperature and will be in the extreme caution zone in the middle of summer.

Keywords: Indoor skylight, comfort conditions, water and plant effect, micro-climate modification