بررسی تأثیر آتریوم بر شرایط محیط داخلی، آسایش حرارتی ساکنان و میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری، نمونه‌موردی: شهر تهران*

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۰۶
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۰۲/۰۴

نازنین نصراللهی - صفورا عبدالله‌زاده*** - ساناز لیتکوهی*****

چکیده

طراحی ساختمان‌هایی با ویژگی صرفه‌جویی در انرژی و نگهداشت منابع طبیعی، در زمره اصلی‌ترین مسئولیت‌های معماران قرار می‌گیرد. آتریوم به‌عنوان یک فضای باز داخلی است که علاوه بر تأثیر آن بر بهینه‌سازی مصرف انرژی، می‌تواند اثرات مثبتی بر درک افراد از محیط داخل داشته باشد. در این تحقیق دو نمونه مطالعاتی ساختمان اداری دارای آتریوم و بدون آتریوم در شهر تهران انتخاب شدند که از نظر خصوصیات مساحت، تعداد طبقات، نسبت مساحت بازشوهای بیرونی به مساحت دیوار، سیستم گرمایشی و سرمایشی، میانگین تعداد پرسنل در متر مربع، جنس مصالح و نوع عایق‌بندی کمترین تفاوت را باهم داشتند. هدف از این مطالعه بررسی مقایسه‌ای شرایط محیط داخلی و میزان مصرف انرژی در هر دو ساختمان اداری دارای آتریوم و ساختمان اداری بدون آتریوم جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و تعدیل شرایط فیزیکی محیط کار می‌باشد. در این تحقیق از مطالعات میدانی شامل تکمیل پرسشنامه و اندازه‌گیری عوامل محیطی توسط حسگرهای حرارتی در هر دو ساختمان در فصل تابستان استفاده شده است. جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، آزمون تی مستقل، آزمون ناپارامتریک من ویتنی، تک متغیره، آنالیز تجزیه واریانس یک طرفه، تحلیل چند دامنه‌ای دانکن و همبستگی اسپیرمن استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهند، وجود آتریوم اثر مثبت معنی‌داری بر رضایت‌مندی کارمندان از شرایط محیط داخلی از نظر آسایش حرارتی، کیفیت نور و آسایش بصری داشته است. هم‌چنین میزان روشنایی روز در ساختمان دارای آتریوم در مقایسه با ساختمان بدون آتریوم سطح بالاتری داشته درحالی که میزان مصرف انرژی الکتریکی، رطوبت نسبی و درجه حرارت آن پایین‌تر بوده است. به‌طورکلی نتایج نشان داده که وجود آتریوم تأثیر معنی‌داری در کاهش مصرف انرژی و ایجاد آسایش حرارتی در این ساختمان اداری داشته است.

واژگان کلیدی: آتریوم، مصرف انرژی، روشنایی روز، آسایش حرارتی، ساختمان اداری.

* این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد معماری نویسنده دوم با عنوان «طراحی و تحلیل الگوی کارآمد و بهینه آتریوم در ساختمان‌های اداری تهران» به راهنمایی خانم دکتر نازنین نصراللهی و خانم دکتر ساناز لیتکوهی در دانشکده هنر و معماری دانشگاه پیام نور تهران می‌باشد.

** دانشیار معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران (نویسنده مسئول).
Email: n.nasrollahi@ilam.ac.ir
*** کارشناس ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه پیام نور تهران، تهران، ایران.
**** استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه پیام نور تهران، تهران، ایران.

مقدمه

در اصطلاح آتریوم به‌عنوان یک فضای باز داخلی با امکان ارتباط با محیط بیرون تعریف شده است (Sekkei, 1989). آتریوم به نور طبیعی اجازه می‌دهد به مرکز مناطق تاریک اتاق‌های مجاور نفوذ کند و نیاز به انرژی نورانی مصنوعی را کاهش و باعث حداکثر کردن مزایای دریافت مستقیم انرژی خورشید می‌شود (Sharples & Lash, 2007). آتریوم علاوه بر ایجاد ارتباط بین طبقات ساختمان، فضای میانی مناسبی بین محیط داخلی و بیرونی را شکل می‌دهد و در واقع مانند فیلتری در برابر اثرات عوامل نامناسب محیط بیرون مانند باران، برف، باد و غیره عمل نموده (Brown & DeKay, 2001)، در عین حال امکان استفاده از عوامل مطلوب محیط بیرون مثل پرتو خورشید، هوای تازه و چشم‌انداز را فراهم می‌کند (Bryn, 1993, Laouadi et al., 2002).

آتریوم به‌عنوان یک میانجی، اتلاف گرما از فضاهای مجاور را کاهش می‌دهد و برای فضاهای مجاور گرما تولید می‌کند. همچنین گرمای خورشید را دریافت و در اختیار فضاهای مجاور قرار می‌دهد. در زمستان چنین گرمایی بسیار کارا خواهد بود (Hung, 2003, Laouadi & Atif, 1999). امروزه در مناطق شهری، افراد ۹۰-۸۰ درصد اوقات خود را در داخل ساختمان‌ها درحالی‌که مشغول انجام فعالیت‌های مختلفی هستند، سپری می‌نمایند. شرایط نامطلوب محیطی اغلب‌اند و مانع انجام صحیح فعالیت‌های روزمره شده و فشارهایی را برجسم و روان انسان وارد سازد، که حاصل آن ناراحتی و از دست دادن کارایی می‌باشد، سرانجام ممکن است سلامت انسان را مختل نماید (Abdoli et al., 2006). در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه آسایش حرارتی به انجام رسیده است که بیشتر رابطه این موضوع با عوامل دیگر از جمله اتلاف انرژی (Martín et al., 2008)، شرایط اقلیمی (Tsutsumi et al., 2007) و سابقه دمایی به‌عنوان مثال مدت زمان قرارگیری در معرض حرارت روزانه (Chun et al., 2008) را مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق تعریف آسایش حرارتی، محدوده‌ای از دما و رطوبت است که در آن سازوکار تنظیم حرارتی بدن در حداقل فعالیت باشد (Givoni, 1976). زوکلای (۱۹۸۷) محدوده دمای آسایش را بر اساس میانگین دمای محیط تعریف کرد (Szokolay, 1987). برای رفع مشکل، فضاهای واسطی مانند آتریوم‌ها مطرح شده‌اند که تأمین‌کننده روشنایی طبیعی، شرایط آسایش داخلی و ایجاد خرده اقلیم معتدل هستند.

طراحان آگاه از مسأله انرژی در ساختمان، آتریوم را به‌عنوان وسیله‌ای برای کنترل بهینه انرژی به‌کار برده‌اند، زیرا آن‌ها از مصرف نادرست انرژی و خطر آن برای محیط زیست (تولید گازهای مضر) آگاه بودند (Aldawoud & Clark, 2008). از سوی دیگر بیان شده که آتریوم توانایی جذب و ذخیره انرژی خورشید را به شکل یک سامانه ایستا دارد و از این نظر به شکل جذب غیر مستقیم انرژی خورشید را در فضای زیر خود ذخیره می‌کند. این حرارت باعث می‌شود تا دمای متوسط آتریوم در طول سال بین ۱۵ تا ۱۸ درجه ثابت باقی بماند که نتیجه آن عدم تأثیر نوسانات دمای محیط بر فضای داخلی و مجاور آتریوم است (Etzion et al., 1997). استفاده از روشنایی روز در آتریوم به‌طور خاص سودمند است زیرا آتریوم به نور طبیعی اجازه می‌دهد به مرکز مناطق تاریک اتاق‌های مجاور نفوذ کند و نیاز به استفاده از انرژی نورانی مصنوعی را کاهش داده و شرایط محیط داخلی را بهبود می‌بخشد (Sharples & Lash, 2007). مدنی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی نقش آتریوم در بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان‌های اداری دریافتند که در صورت طراحی مناسب، آتریوم‌ها قابلیت‌های مناسبی برای جذب انرژی خورشید و ذخیره‌سازی آن دارند. این میزان انرژی می‌تواند تا ۴۰٪ از انرژی مصرفی برای تأمین آسایش حرارتی درون آتریوم را کاهش دهد (Madani et al., 2012). مقایسه بین کارایی انرژی آتریوم و محوطه محصور نشان داد که با ایجاد آتریوم پنجره‌های فضاهای مجاور درونی، می‌توانند تا حد نیاز بزرگ شده و با نفوذ روشنایی طبیعی موجب افزایش کارایی حرارتی وکاهش مصرف نیروی برق شوند (Aldawoud et al., 2008). هندسه آتریوم اثر قابل‌توجهی بر مصرف انرژی دارد و آتریوم‌هایی با شکل کشیده نسبت به دیگر اشکال کارایی انرژی کمتری دارند و نیز کارایی انرژی در آتریوم در شرایط اقلیمی مختلف متفاوت است (Aldawoud, 2013). در مطالعه ای عملکرد خنک‌کنندگی آتریوم در یک ساختمان اداری در مناطق گرمسیری، بررسی و دریافتند که آتریوم با تغییر الگوی جریان هوا باعث کاهش رطوبت و دمای محیط داخلی در ساعات کاری شده است (Moosavi et al., 2015).

در ارتباط با اهمیت کارکرد آتریوم و نقش مثبت آن بر رضایتمندی کارکنان و تأمین آسایش حرارتی تحقیقات متفاوتی انجام شده است. از اهداف جدیدی که معماران در طراحی یا توسعه ساختمان‌ها در نظر گرفته اند، امکان ایجاد رابطه جدید مابین فضای درون ساختمان با فضای بیرون است. با اینکار رابطه‌ای همگرا مابین افراد درون و جامعه بیرون از ساختمان پدید می‌آید (Guimarães-Costa et al., 2008).

در پژوهشی با بررسی راهکارهای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های دارای آتریوم در مناطق حاره دریافتند که با شناخت ماهیت آتریوم و برنامه‌ریزی براساس کنترل شرایط محیطی آن می‌توان با صرف کمترین انرژی، شرایط آسایشی را در آن ایجاد و از اتلاف حرارتی تا حد زیادی جلوگیری کرد (Abd Halid & Wang, 2012). فوردهام (۲۰۰۰) عقیده دارد که برای راحتی دید آتریوم راه‌حل مؤثری در استفاده از روشنایی روز در فضای داخلی ساختمان است و در مقایسه با ساختمان‌های معمولی، استفاده از آتریوم بسیار کارآمد است. در واقع ترکیب بین نور مصنوعی و نور طبیعی مؤثرترین

راه برای تأمین نیاز نوری ساختمان است (Fordham, 2000). نظر به مطالعات مذکور و اینکه تاکنون مطالعات متمرکزی در ایران جهت بررسی کارکرد حرارتی و آسایش حرارتی آتریوم در ساختمان‌های اداری به صورت کمی و کیفی وجود ندارد، لذا تمرکز براین موضوع و انجام دادن آن با روش تحقیق مرتبط ضروری بنظر می‌رسد. هدف از این مطالعه بررسی مقایسه‌ای نمونه‌های مطالعاتی اداری موجود در شهر تهران با تمرکز بر ارزیابی کیفیت محیط داخل، مصرف انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان‌های اداری دارای آتریوم و بدون آتریوم می‌باشد.

۱. روش کار

در این تحقیق از مطالعات میدانی شامل پرسشنامه و اندازه‌گیری‌های میدانی در دو نمونه مطالعاتی انتخاب شده در شهر تهران استفاده شده است. جهت انتخاب نمونه‌های مطالعاتی تحقیق از ساختمان‌های اداری که به‌صورت معمول در سطح شهر تهران وجود دارند یک نمونه مطالعاتی از ساختمان‌های بدون آتریوم و یک نمونه از ساختمان‌های دارای آتریوم انتخاب شده است تا متغیر های مهم مورد تحقیق پس از بررسی مورد پژوهش قرار گیرند. در این راستا سعی شده است که ساختار نمونه‌های مطالعاتی به لحاظ تعداد طبقات، جهت‌گیری ساختمان، شکل کالبدی ساختمان و مساحت آن تقریباً یکسان باشند. جهت تدوین پرسشنامه از فرمت پرسشنامه استاندارد بین‌المللی اشری (ASHRE Standard55, 2013) و پرسشنامه مربوط به مرکز پژوهشی دانشگاه کالیفرنیا/ برکلی (CBE) استفاده شده (Center of the Built Environment) (CBE) و پس از ترجمه جهت تطابق با فرضیات تحقیق تغییراتی در سؤالات ایجاد و سؤالاتی به متن پرسشنامه اضافه شد. در فرمت پرسشنامه سؤالات اصلی به دسته‌های مختلفی نظیر سؤالات زمینه‌ای و شخصی، سؤلات رضایتمندی و سؤالات مربوط به کیفیت محیط داخل تقسیم شده است (جدول ۱). در این مطالعه براساس روش مورگان و حجم جامعه مورد آمار برداری حجم نمونه (تعداد پرسش‌نامه) تعیین و پرسشنامه بین کارکنان هر ساختمان توزیع شد که ۹۰ درصد افراد در فرآیند پاسخگویی شرکت داشتند.

جدول ۱: نمونه‌ای از سؤالات مهم پرسشنامه‌ای

عناوین سؤالات منتخب پرسشنامه				
۱- آیا در طول روزهای مختلف سال به‌دلیل کمبود نور مجبور به روشن کردن لامپ شده‌اید؟				
الف- خیلی زیاد	ب- زیاد	ج- کم	د- خیلی کم	ه- اصلا
۲- اگر شما از دمای فضای خود ناراضی هستید کدامیک از عوامل زیر در نارضایتی شما سهیم هستند؟				
۲-۱- در هوای خیلی گرم / گرم دمای فضای من چنین است: (بهترین گزینه را علامت بزنید)				
الف- همیشه خیلی گرم	ب- اغلب خیلی گرم	ج- گاهی خیلی گرم	د- گاهی خیلی سرد	ه- همیشه خیلی سرد
۲-۲- در هوای خنک/ سرد، دمای اتاق من چنین است: (مناسب‌ترین گزینه را علامت بزنید)				
الف- همیشه خیلی گرم	ب- اغلب خیلی گرم	ج- گاهی خیلی گرم	د- گاهی خیلی سرد	ه- همیشه خیلی سرد

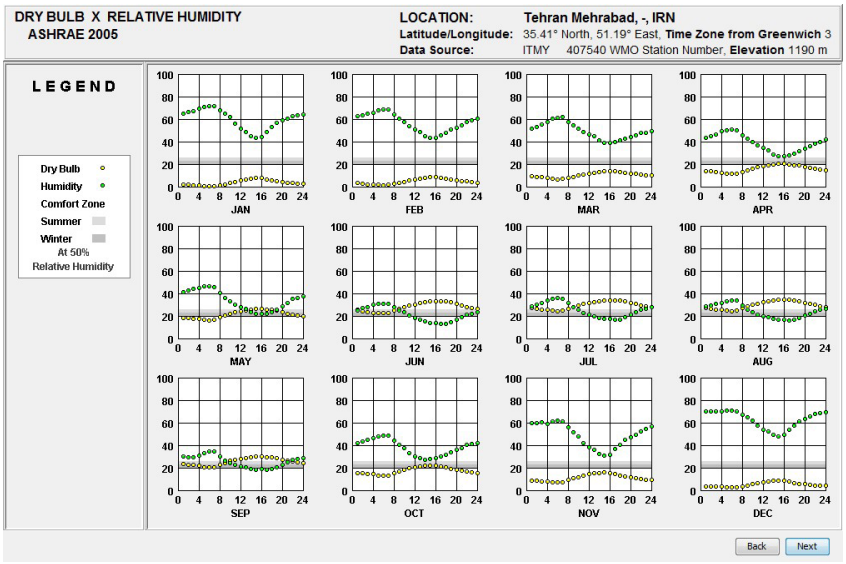
به‌منظور بررسی روایی پرسشنامه، ۱۰ درصد پرسشنامه‌ها به‌صورت تصادفی بین افراد توزیع شد تا مشکلات احتمالی و ابهامات رفع شود. همزمان با تکمیل پرسشنامه، مطالعات میدانی به روش اندازه‌گیری محیطی توسط ابزارهای پژوهشی شامل حس‌گرهای حرارتی و لوکس‌متر انجام شده است. متغیرهای مورد اندازه‌گیری شامل دما، رطوبت نسبی و شدت نور می‌باشد. جهت اندازه‌گیری همزمان دما و رطوبت از حس‌گر حرارتی با نام تجاری Standard Thermometer با میزان خطای ۰/۱± درجه سانتی‌گراد و جهت اندازه‌گیری شدت نور از دستگاه لوکس‌متر standard مدل st-1309 استفاده شده است (شکل ۱).

شکل ۱: حسگرهای حرارتی (راست)، مدل استاندارد و لوکس‌متر (چپ)

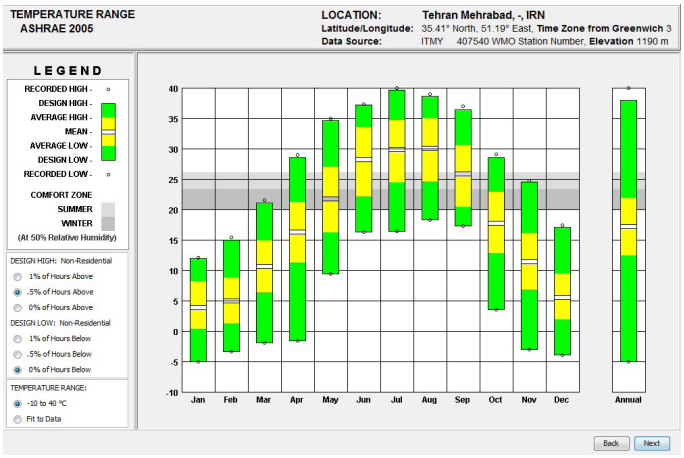
حسگرها قبل از استفاده کالیبره شده و از کارایی دقیق آن اطمینان حاصل شده است. موقعیت حسگرها به دور از تأثیرات مستقیم منابع انرژی از قبیل تابش خورشید، سیستم‌های خنک‌سازی و غیره در نظر گرفته شده است. به‌منظور برداشت داده‌های نوری، دستگاه در اتاق کار و نزدیک میز کارمندان قرار داده شده تا از این طریق بتوان در مقایسه دو ساختمان به نتایج درستی از لحاظ نورگیری و رضایت‌مندی کارکنان از محیط کار خود رسید. همچنین برای مقایسه میزان مصرف انرژی در دو ساختمان فیش‌های سالیانه گاز و برق جمع‌آوری و به واحد مشابه kwh/m^2 تبدیل شد. اندازه‌گیری‌های میدانی از تاریخ سیزدهم تیرماه سال ۱۳۹۲ به‌مدت سه روز کاری انجام شد. برداشت اطلاعات به صورت آمار شبانه‌روزی بوده و به‌دلیل محدودیت، در هر ساختمان حسگرهای حرارتی در طبقات اول، میانی و آخر نصب شد و در مجموع ۷۲ داده در هر دستگاه طی فواصل یک ساعته ذخیره شده است. برای برداشت داده‌های نوری در ساعات ۸ تا ۱۰ صبح و ۱۲ تا ۱۴ ظهر میزان روشنایی روز در کلیه جهات و در تمامی طبقات، در هر دو ساختمان توسط دستگاه لوکس‌متر ثبت شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها به‌ترتیب با آزمون کلوموگراف اسمیرنوف و لون بررسی شد. به‌منظور بررسی عوامل محیطی و نقش آن‌ها در تمایز شرایط محل کار در دو ساختمان دارای آتریوم و بدون آتریوم از تحلیل مؤلفه‌های اصلی[1] یا PCA استفاده شد. برای انجام این تحلیل از نرم‌افزار PC-ORD با پشتیبانی داده‌های اکسلی فرمت WK1 استفاده شد. طبقه‌بندی نقاط برداشت بر مبنای ماتریس داده‌های محیطی با تحلیل خوشه‌ای[2] یا CA انجام شد. برای مقایسه ساختمان با آتریوم و بدون آتریوم از نظر درجه حرارت و رطوبت نسبی محیط داخلی از آزمون تی مستقل استفاده شد. بررسی تفاوت و عدم تفاوت نظر کارکنان ساختمان بدون آتریوم و آتریوم‌دار در مورد شرایط مختلف محیط کار (داده‌های پرسشنامه‌ها) براساس آزمون ناپارامتریک من ویتنی انجام شد. اثر همزمان جهت نقاط برداشت و نوع ساختمان (دارای آتریوم و بدون آتریوم) بر میزان نور طبیعی براساس آزمون تحلیل واریانس تک متغیره انجام شد. آنالیز تجزیه واریانس یک طرفه برای بررسی تفاوت جهت‌های مختلف ساختمان از نظر نور و تحلیل چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسات چندگانه میانگین‌ها استفاده شد. بررسی همبستگی بین نور مصنوعی و رضایت از شرایط نوری در دو ساختمان با همبستگی اسپیرمن انجام شد. این تحلیل‌ها در نرم‌افزار SPSS انجام شد.

تحلیل‌های اقلیمی شهر تهران با استفاده از نرم افزار Climate Consultant انجام شد. میزان دما و رطوبت نسبی شهرتهران و مقایسه آن‌ها با محدوده آسایش حرارتی نشان داده که در مقایسه با استاندارد بین‌المللی اشری ۵۵، تنها برخی از روزهای ماه اردیبهشت، اواخر شهریور و مهر در محدوده آسایش قرار گرفته‌اند (نمودار ۱). براساس تحلیل‌های اقلیمی مستخرج از نرم‌افزار Climate Consultant، کمترین و بیشترین دمای هوای شهر تهران به‌ترتیب ۵- و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و این مقادیر به‌طور متوسط ۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد در ماه‌های دی و تیر می باشند. حدود ۵ ماه از سال نیاز به گرمایش و ۴ ماه از سال به سرمایش نیاز دارد (نمودار ۲). نمودار سایکرومتریک شهر تهران نشان می‌دهد که داده‌های اقلیمی تنها در ۱۲/۴ درصد از سال در محدوده آسایش قرار گرفته است. هم‌چنین این نمودار نشان می‌دهد برای رسیدن به آسایش، به گرمایش و سرمایش نیاز است و میزان نیاز به گرمایش کمی بیشتر از سرمایش است. مهمترین تمهیدات اقلیمی پیشنهاد شده در این نمودار به‌ترتیب اولویت: گرمایش و در صورت ضرورت رطوبت زدایی در ۳۲/۹ درصد از اوقات سال، نیاز به سرمایش به‌صورت برودت تبخیری در ۲۸/۲ درصد از اوقات سال، ذخیره حرارتی داخلی در ۲۰/۲ درصد از اوقات سال و استفاده از سایه‌انداز برای بازشوها در ۱۶/۵ درصد از سال می‌باشند (نمودار ۳).

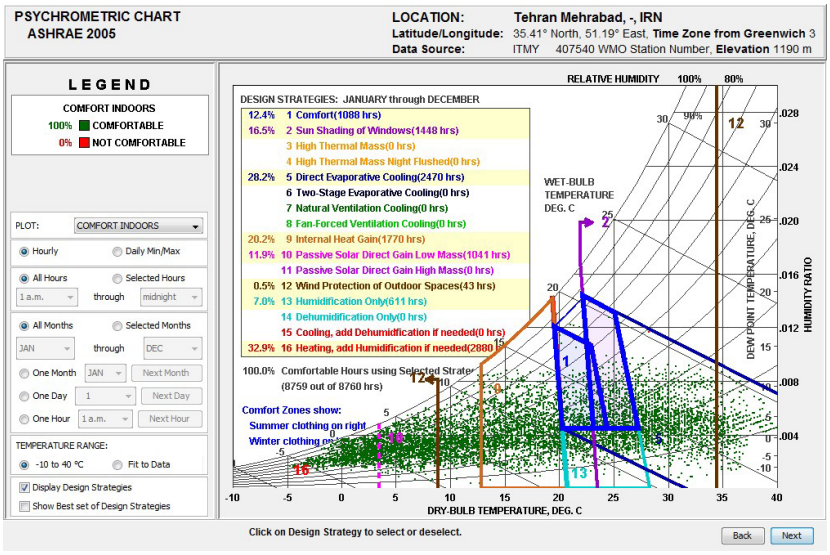
نمودار ۱: دمای هوا و رطوبت نسبی در ماه‌های مختلف سال در شهر تهران با استفاده از نرم‌افزار Climate Consultant



نمودار ۲: دمای هوای شهر تهران با استفاده از نرم‌افزار اقلیمی Climate Consultant



نمودار ۳: سایکرومتریک شهرتهران با استفاده از نرم‌افزار Climate Consultant



۱-۱- نمونه‌های مطالعاتی

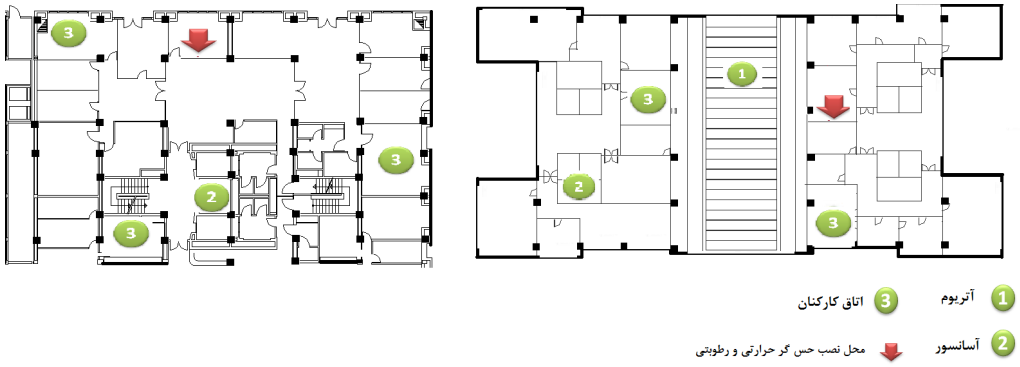
نمونه مطالعاتی ۱: ساختمان راه آهن

ساختمان راه آهن با پلان مستطیل شکل و نسبت طول به عرض ۲، مساحتی حدود ۵۱۶۳۸ متر مربع را دارا می‌باشد. این ساختمان شامل آتریوم و دارای ۲۱ طبقه می‌باشد که شامل ۱۸ طبقه فوقانی و سه طبقه در زیر زمین می‌باشد (شکل ۲). تعداد کارکنان مشغول به‌کار در این ساختمان ۱۶۰۰ نفر می‌باشد.

شکل ۲: ساختمان راه آهن جمهوری اسلامی ایران

نمونه مطالعاتی ۲: ساختمان وزارت بهداشت
ساختمان وزارت بهداشت که به‌عنوان یک ساختمان متداول و فاقد آتریوم انتخاب شده است. با نسبت طول به عرض ۱/۵ دارای مساحتی حدود۵۰۳۰۰ متر مربع و با ارتفاع ۱۵ طبقه فوقانی و ۲ طبقه زیر زمین می‌باشد. تعداد کارکنان مشغول به‌کار در این ساختمان ۱۴۰۰ نفر می‌باشد. در هردو ساختمان بنای اصلی در وسط محوطه قرارگرفته است، به صورتی که جداره‌های خارجی ساختمان در تماس با ساختمان دیگری نمی‌باشد و همچنین کشیدگی ساختمان‌ها در جهت شرقی- غربی و ورودی در جهت جنوب می‌باشد. برای گرمایش و سرمایش در هر دو ساختمان از سیستم فن‌کویل استفاده شده است.
ابزارهای اندازه‌گیری در ساختمان راه آهن در اتاق‌های کاری که اطراف آتریوم قرار داشته نصب شده و در ساختمان وزارت بهداشت به‌دلیل شرایط تقریباً یکسان، اتاق‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب و سپس دستگاه‌ها نصب شده است (شکل ۳).

شکل ۳: پلان ساختمان راه آهن (راست)، ساختمان وزارت بهداشت (ب) و محل نصب حسگرها



۲. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در این بخش تجزیه و تحلیل داده‌ها به دو بخش اصلی شامل: تجزیه و تحلیل داده‌های پرسشنامه و تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری عوامل فیزیکی دسته‌بندی شده است. هر کدام از دسته‌بندی ها شامل زیر مجموعه‌های مرتبط می‌باشند.

۲-۱- تجزیه و تحلیل داده‌های پرسشنامه

۲-۱-۱-بررسی تفاوت و عدم تفاوت نظر کارکنان ساختمان بدون آتریوم و آتریوم‌دار در مورد شرایط مختلف محیط کار براساس آزمون ناپارامتریک من ویتنی

نتایج بررسی نظر کارکنان دو ساختمان مورد بررسی یعنی ساختمان دارای آتریوم و بدون آتریوم نشان می‌دهد که نظر دو گروه در خصوص رضایت از شرایط سرمایشی و گرمایشی محیط کار، وضعیت گرمایی محیط کار در تابستان، وضعیت گرمایی محیط کار در زمستان، شرایط دمایی درهوای خیلی گرم/ گرم، شرایط دمایی در هوای خنک/ سرد، علت عدم آسایش حرارتی در تابستان، اجبار به روشن کردن لامپ‌ها در طول روزهای مختلف سال، میزان نیاز به روشن کردن لامپ در روزهای ابری جهت دید مناسب، میزان رضایت از نور طبیعی در محیط کار، میزان رضایت از آسایش بصری به لحاظ خیرگی بازتاب کنتراست اختلاف معنی‌داری دارد (جداول ۲ و ۳). بر این اساس، در مجموع می‌توان گفت وجود آتریوم اثر مثبت معنی‌داری بر رضایتمندی کارمندان از شرایط محیط داخلی از نظر تهویه، حرارتی و بصری داشته است.

جدول ۲: بررسی تفاوت و عدم تفاوت نظر کارکنان ساختمان بدون آتریوم و آتریوم‌دار در مورد کیفیت محیط داخل براساس آزمون ناپارامتریک من ویتنی: رضایتمندی حرارتی، حس حرارتی و کارایی

متغیر	جزئیات نظر کارکنان	جزئیات نظر کارکنان	سطح معنی‌داری
	ساختمان با آتریوم	ساختمان بدون آتریوم	
رضایت از شرایط سرمایشی و گرمایشی محیط کار	٪۶۶/۰۷ افراد راضی	٪۴۶/۷ افراد ناراضی	P<۰۱/۰
	٪۲۶/۷ افراد خیلی راضی	٪۲۰ افراد کمی ناراضی	
	٪۶/۷ افراد کمی راضی	٪۲۰ افراد خیلی ناراضی	

وضعیت گرمایی محیط کار در تابستان	٪۸۶/۷ افراد مناسب	٪۶۰ افراد کمی گرم	P<۰۱/۰
		٪۲۰ افراد گرم	
	٪۱۳/۳ افراد کمی گرم	٪۶/۷ افراد خیلی گرم	
		٪۳/۲ افراد کمی سرد	
وضعیت گرمایی محیط کار در زمستان	٪۶۶/۷ افراد کمی گرم	٪۷۳/۳ افراد کمی سرد	P<۰۱/۰
	٪۲۳/۷ افراد مناسب	٪۲۰ افراد کمی گرم.	
	٪۶/۷ افراد خیلی گرم	٪۶/۷ افراد خیلی گرم	
تأمین آسایش حرارتی قابلیت انجام کار را افزایش می‌دهد	بیش از ۹۰ درصد افراد در دو گروه: خیلی افزایش می‌دهد		Ns
شرایط دمایی در هوای خیلی گرم/ گرم	٪۹۳/۳ افراد گاهی خیلی گرم	٪۸۶/۷ افراد گاهی خیلی گرم	P<۰۱/۰
	٪۶/۷ افراد گاهی خیلی سرد.	٪۱۳/۳ افراد اغلب خیلی گرم	
شرایط دمایی در هوای خنک/ سرد	٪۴۶/۷ افراد گاهی خیلی گرم	٪۶۶/۷ افراد گاهی خیلی سرد	P<۰۱/۰
	٪۳۳/۳ افراد اغلب خیلی گرم	٪۱۳/۳ افراد گاهی خیلی گرم	
	٪۲۰ افراد گاهی خیلی سرد	٪۱۳/۳ غالبا خیلی گرم	
علت عدم آسایش حرارتی در تابستان	٪۶۰ افراد ورود زیاد نور خورشید	٪۴۵ افراد حرکت خیلی کم هوا	P<۰۱/۰
	٪۲۵ افراد عدم بازوبسته شدن پنجره‌ها	٪۳۰ افراد رطوبت خیلی بالا	
	٪۱۵ افراد تنظیم ترموستات توسط دیگران	٪۱۵ افراد حرارت ناشی از تجهیزات اداری	

جدول ۳: بررسی تفاوت و عدم تفاوت نظر کارکنان ساختمان بدون آتریوم و آتریوم‌دار در مورد کیفیت محیط داخل براساس آزمون ناپارامتریک من ویتنی: رضایت‌مندی از نور، آسایش بصری، آسایش صوتی و تهویه

میزان رضایت از نور طبیعی در محیط کار	٪۳۳/۳ افراد خیلی راضی	٪۴۰ افراد ناراضی	P<۰۱/۰
	٪۳۳/۳ افراد راضی	٪۳۳/۳ افراد خیلی ناراضی	
	٪۳۳/۳ افراد کمی راضی	٪۲۶/۷ افراد کمی ناراضی	
میزان اهمیت نور مناسب برای محیط کاری	بیش از ٪۹۰ افراد اهمیت نور مناسب را خیلی زیاد ارزیابی کرده اند		Ns
میزان رضایت از آسایش بصری به‌لحاظ خیرگی، بازتاب، کنتراست و غیره	٪۱۳/۳ افراد خیلی راضی	٪۲۶/۷ افراد کمی راضی	
	٪۶۰ افراد راضی	٪۳۳/۳ افراد کمی ناراضی	
	٪۲۶/۷ افراد کمی راضی	٪۴۰ افراد ناراضی	
میزان نیاز به روشن کردن لامپ در روزهای ابری جهت دید مناسب	٪۴۰ افراد خیلی کم	٪۳/۵۳ افراد خیلی زیاد	P<۰۱/۰
	٪۳۳ افراد کم	٪۴۰ افراد زیاد	
	٪۲۶/۷ افراد اصلا	٪۶/۷ افراد کم	
اجبار به روشن کردن لامپ‌ها در طول روزهای مختلف سال	٪۶۰ افراد خیلی کم	٪۵۳/۳ افراد خیلی زیاد	P<۰۱/۰
	٪۴۰ افراد اصلا	٪۴۰ افراد زیاد	
	-	٪۶/۷ افراد کم	
میزان رضایت‌مندی از صدای موجود در محیط کاری	تفاوتی بین دو گروه وجود ندارد و هر دو از شرایط موجود رضایت داشتند.		Ns

تعداد زمان‌هایی در زمستان که ورود نور طبیعی نیاز گرمایی را تأمین نموده به‌طوری‌که دیگرکمتر یا اصلا نیازی به روشن بودن وسایل گرماساز نباشد.	٪۵۳/۳ افراد زیاد	٪۷۳/۳ افراد کم	P<۰/۰۱
	٪۴۶/۷ افراد کم	٪۲۶/۷ افراد خیلی کم	
میزان رضایت‌مندی از تهویه طبیعی	بیش از ۸۰ ٪ افراد در هر دو ساختمان ناراضی و خیلی ناراضی بودند		Ns

Ns: عدم معنی‌داری

۲-۱-۲- بررسی همبستگی بین نور مصنوعی و رضایت از شرایط نوری در دو ساختمان

نتایج همبستگی اسپیرمن بین میزان نور مصنوعی و رضایت از شرایط نوری نشان داد که در ساختمان دارای آتریوم همبستگی معنی‌داری در این خصوص جود ندارد. در ساختمان بدون آتریوم بین دو عامل ذکر شده بستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که در ساختمان آتریوم‌دار شرایط نور طبیعی آنقدر مطلوب است که از نظر کارکنان نیاز به روشن کردن لامپ احساس نمی‌شود (جدول ۴).

جدول ۴: همبستگی اسپیرمن بین نور مصنوعی و رضایت از شرایط نوری در دو ساختمان

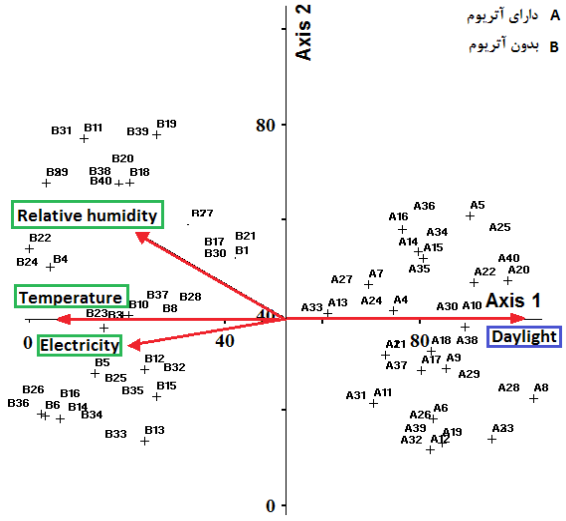
متغیر ها	مقدار نور مصنوعی	دارای آتریوم
رضایت از شرایط نوری	سطح معنی‌داری ns ۰/۱۵۲	
رضایت از شرایط نوری	سطح معنی‌داری ** ۰/۹۶۶	بدون آتریوم

۲-۲- تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری عوامل فیزیکی

۲-۲-۱- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی چهار متغیر محیطی نشان می‌دهد که مؤلفه‌های اصلی اول (محورX) و دوم (محور Y) با مقادیر ویژه ۳/۱۳ و ۰/۵ به‌ترتیب ۷۸/۴۶ و ۱۲/۷ درصد از تغییرات خصوصیات محیطی ساختمان‌ها را توجیه می‌کنند. نتایج این تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که تعداد دو گروه مشخص در امتداد مؤلفه‌های اصلی اول و دوم قابل تمایز می‌باشند. این دو گروه انطباق کامل با نقاط برداشت در دو ساختمان دارند. تفسیر مؤلفه‌ها (محورها) فقط براساس متغیرهایی که به طور معنی‌داری با مؤلفه‌های اصلی اول و دوم همبسته هستند، به‌عمل آمده است. گروه مربوط به ساختمان دارای آتریوم بیشترین همبستگی را با جهت مثبت محور اول دارد. درحالی‌که گروه ساختمان بدون آتریوم در نقطه مقابل با جهت منفی محور اول و جهت منفی و مثبت محور دوم همبستگی دارد. بالا بودن مقدار روشنایی روز مهمترین عامل در گروه مربوط به ساختمان دارای آتریوم است. در این گروه مقدار مصرف انرژی الکتریکی، رطوبت نسبی و درجه حرارت پایین‌تر است. از طرفی بالا بودن مقدار مصرف انرژی الکتریکی، رطوبت نسبی و درجه حرارت و پایین بودن روشنایی روز در گروه ساختمان بدون آتریوم مشهود است. بنابراین دو ساختمان شرایط محیطی متفاوتی دارند (نمودار ۴) (جدول۵).

نمودار ۴: دندروگرام تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) عوامل محیطی



جدول ۵: همبستگی بین محور ۱ و ۲ تحلیل PCA و متغیرهای محیطی

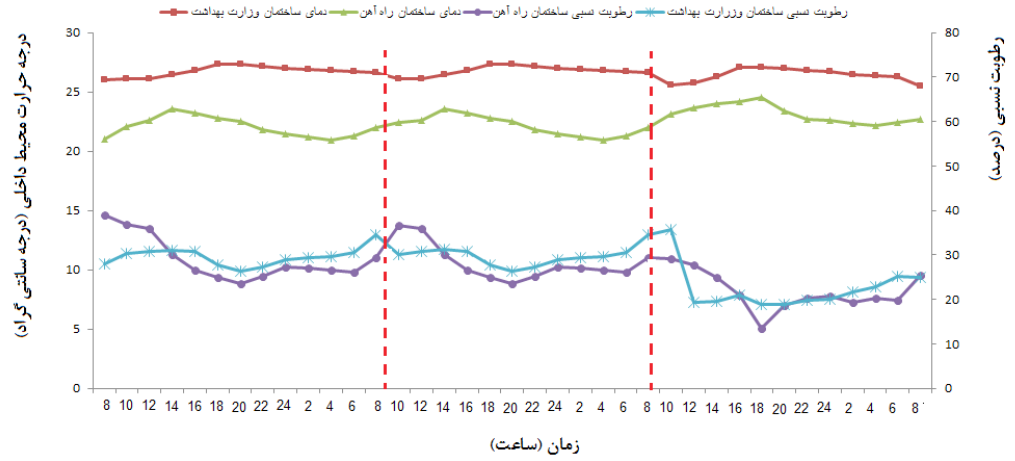
متغیرهای محیطی	محور ۱	محور ۲
روشنایی روز	۰/۹۵ **	۰/۰۶ ns
رطوبت نسبی	-۰/۷۸ **	۰/۳۶ *
درجه حرارت	-۰/۹۳ **	۰/۰۱ ns
انرژی الکتریکی مصرفی	-۰/۸۶ **	-۰/۲
مقادیر ویژه	۳/۱۳	۰/۵
درصد تبیین واریانس	۷۸/۴۶	۱۲/۷

* نشان‌دهنده معنی‌دار بودن همبستگی در سطح ۰/۰۵
** نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۱ و ns معنی‌دار نبودن را نشان می‌دهد.

۲-۲-۲- مقایسه ساختمان با آتریوم و بدون آتریوم از نظر درجه حرارت و رطوبت نسبی محیط داخلی

در نمودار ۵، دمای هوا و رطوبت نسبی اندازه‌گیری شده در هر دو نمونه مطالعاتی مورد مقایسه قرار گرفته است. داده‌ها نشان می‌دهند که دمای هوای داخلی ساختمان وزارت بهداشت (بدون آتریوم) به‌طور متوسط بالای ۲۵ درجه سانتیگراد و شرایط گرمتری نسبت به ساختمان راه آهن (با آتریوم) داشته است. همچنین تفاوت چندانی در مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت نسبی میان هر دو ساختمان مشاهده نمی‌شود.

نمودار ۵: مقایسه تغییرات همزمان دمای هوا و رطوبت نسبی در ساختمان‌های راه آهن و وزارت بهداشت در سه روز کاری

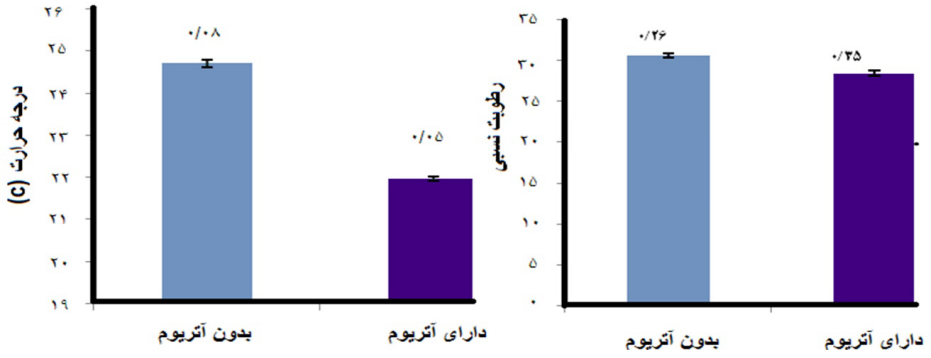


در ادامه و پس از تحلیل آماری، نتایج آزمون t مستقل برای مقایسه ساختمان با آتریوم و بدون آتریوم از نظر درجه حرارت و رطوبت نسبی نشان داد که تفاوت دو ساختمان در سطح ۱٪ معنی‌دار است. همچنین بیشترین میانگین درجه حرارت و رطوبت نسبی مربوط به ساختمان بدون آتریوم است (جدول ۶ و نمودار ۶).

جدول ۶: نتایج مقایسه میانگین درجه حرارت و رطوبت نسبی محیط داخلی ساختمان دارای آتریوم و بدون آتریوم براساس آزمون t مستقل

خصوصیات محیط داخلی ساختمان	درجه حرارت	رطوبت نسبی
ساختمان دارای آتریوم	۲۱/۹۷	۲۸/۳۹
ساختمان بدون آتریوم	۲۴/۷	۳۰/۵۷
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
عدد t جدول	۲۶/۴۳	۴/۹۴

نمودار ۶: نتایج مقایسه میانگین درجه حرارت و رطوبت نسبی محیط داخلی ساختمان دارای آتریوم و بدون آتریوم



۳-۲-۲- اثر همزمان جهت نقاط برداشت و نوع ساختمان (دارای آتریوم و بدون آتریوم) بر میزان نور طبیعی

براساس آزمون تحلیل واریانس تک متغیره و براساس جدول آماره‌های توصیفی برای هریک از ترکیب‌های عامل‌ها در مدل می‌توان به مقایسه بصری تفاوت میانگین میزان نور در بین جهت های مختلف جغرافیایی ساختمان‌های اداری دارای آتریوم و بدون آتریوم پرداخت (جدول ۷).

جدول ۷: آماره‌های توصیفی برای هریک از ترکیب‌های عامل‌ها و مقایسه تفاوت میانگین میزان نور در بین جهت‌های مختلف جغرافیایی ساختمان‌های اداری دارای آتریوم و بدون آتریوم

ساختمان	انحراف معیار	میانگین نور طبیعی	جهت نقاط برداشت در ساختمان‌ها
بدون آتریوم	۴/۵۹	۴/۷۷	شمال
	۲۶/۵۰	۱۰۳/۲۳	جنوب
	۱۲/۴۱	۳۱/۲۳	شرق
	۱۱/۳۵	۹/۷۵	غرب
دارای آتریوم	۴۲/۶۲	۳۷/۲۴	کل ۱
	۵۰۱/۱۲	۱۶۶۷/۵۳	شمال
	۸۴۵/۸۷	۲۳۳۶/۷۶	جنوب
	۱۰۶/۸۷	۶۰۲/۱۵	شرق
	۱۹۶/۶۱	۸۹۷/۴۵	غرب
	۶۱/۸۳۸	۱۳۷۸/۴۸	کل ۱

نتایج جدول آزمون‌های اثرات بین آزمون‌ها که مهمترین نتایج برای تفسیر نتایج آزمون تحلیل واریانس تک متغیره می‌باشد، معنی‌داری یا عدم معنی‌داری کل مدل و همچنین تأثیر جداگانه هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته رانشان می‌دهد (جدول ۸).

۱. تأثیر جداگانه متغیر نوع ساختمان (با آتریوم یا بدون آتریوم) ($sig = ۰۰۰/۰, f = ۳۶۷/۶$) نشان می‌دهد که تأثیر جداگانه متغیر نوع ساختمان بر میزان نور معنی‌دار می‌باشد. یعنی به لحاظ آماری میانگین میزان نور در بین ساختمان دارای آتریوم و بدون آتریوم متفاوت بوده و یکسان نمی‌باشد.

۲. در مورد تأثیر جداگانه متغیر جهت جغرافیایی بر میزان نور براساس مقدار آزمون ($sig = ۰۰۰/۰, f = ۳۳/۵۵$) می‌توان گفت که تفاوت معنی‌دار آماری بین جهت‌های مختلف از نظر نور وجود دارد.

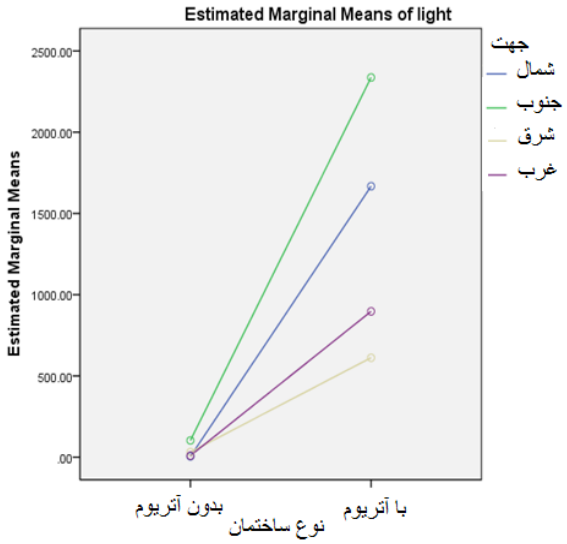
۳. تعامل بین نوع ساختمان و جهت و نیز تأثیر همزمان این دو متغیر مستقل بر متغیر وابسته نور به لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد ($sig = ۰۰۰/۰, f = ۲۸/۶$). به عبارتی میانگین مقدار نور ساختمان دارای آتریوم و بدون آتریوم در هر چهار جهت جغرافیایی متفاوت است. نتیجه دیگر از این جدول مقدار ضریب تعیین است. این ضریب که مقدار تعدیل شده آن ۰/۸۴۲ است، نشان می‌دهد که دو متغیر نوع ساختمان و جهت جغرافیایی به‌طور مشترک توانسته‌اند ۰/۸۴۲ درصد از واریانس

متغیر وابسته نور را تبیین کنند. لذا سایر واریانس (۰/۱۵۸) متغیر وابسته نور تحت تأثیر سایر عوامل است (نمودار ۷).

جدول ۸: اثرات بین آزمودنی‌ها بر متغیر وابسته نور

منبع تغییرات	F	میانگین مربعات	سطح معنی‌داری
مدل تصحیح شده	۷۹/۱۹	۱۰۰۷۴۱۰۷/۰۱	۰/۰۰۲
نوع ساختمان	۳۶۷/۶۶	۴۶۷۷۱۵۴۶/۹۲	۰/۰۰۱
جهت	۳۳/۵۵	۴۲۶۸۴۸۳/۲۷	۰/۰۰۰
نوع ساختمان * جهت	۲۸/۶۷	۳۶۴۷۲۵۰/۷۸	۰/۰۰۳

نمودار ۷: توزیع میانگین نور طبیعی در دو ساختمان و در جهت‌های مختلف



۴-۲-۲- مقایسه میزان نور در جهت‌های مختلف در ساختمان بدون آتریوم

آنالیز تجزیه واریانس یک طرفه نشان داد که بین جهت‌های مختلف این ساختمان از نظر نور تفاوت معنی‌دار است (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن نیز نشان داد که جهت جنوبی بیشترین و جهت‌های شمالی و غربی کمترین نور را داشتند (جدول ۱۰).

جدول ۹: تجزیه واریانس یکطرفه نور بین جهت‌های مختلف ساختمان بدون آتریوم

متغیر	df	F	سطح معنی‌داری
نور بین جهت‌های مختلف ساختمان بدون آتریوم	۳	۱۰۶	۰/۰۰۰

جدول ۱۰: مقایسه میانگین نور بین جهت‌های مختلف بر اساس آزمون دانکن در ساختمان بدون آتریوم

بدون آتریوم	گروه‌ها		
شمال	۱	۲	۳
غرب	۴/۷۷		
شرق	۹/۷۵		
جنوب		۳۱/۲۳	۱۰۳/۲۳
Sig.	۰/۴۲	۱/۰۰	۱/۰۰

۵-۲-۲- مقایسه میزان نور در جهت‌های مختلف در ساختمان آتریوم‌دار

آنالیز تجزیه واریانس یک طرفه نشان داد که بین جهت‌های مختلف این ساختمان از نظر نور تفاوت معنی‌دار است (جدول ۱۱). مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن نیز نشان داد که جهت جنوبی بیشترین و جهت‌های شمالی و غربی کم‌ترین نور را داشتند (جدول ۱۲).

جدول ۱۱: تجزیه واریانس یک طرفه نور بین جهت‌های مختلف ساختمان دارای آتریوم

متغیر	df	F	سطح معنی‌داری
نور بین جهت‌های مختلف ساختمان دارای آتریوم	۳	۳۱	۰/۰۰۰

جدول ۱۲: مقایسه میانگین نور بین جهت‌های مختلف بر اساس آزمون دانکن در ساختمان دارای آتریوم

	گروه‌ها		
بدون آتریوم	۱	۲	۳
شرق	۶۱۲/۱۵		
غرب	۸۹۷/۴۶		
شمال		۱۶۶۷/۵۳	
جنوب			۲۳۳۶/۷۶
سطح معنی‌داری	۰/۱۵۶	۱/۰۰	۱/۰۰

امروزه انرژی زیادی صرف روشنایی فضاهای مسکونی و تجاری و حذف گرمای ناشی از سیستم‌های روشنایی می‌شود. استفاده از نور روز برای روشنایی دارای فواید اقتصادی و زیست محیطی بسیاری است و در این راستا آتریوم می‌تواند نقش مهمی ایفا کند (Ochoa & Capelute, 2006). بررسی‌های تحقیق نشان داد که جهت جنوبی بیشترین و جهت‌های شمالی و غربی کمترین بهره‌گیری از نور طبیعی را داشتند. لذا کسب نور حداکثر در جهت جنوبی در ساختمان دارای آتریوم قابل توجیه است. بررسی‌ها نشان داده که برای بهره‌گیری بیشتر از نور طبیعی جهت غالب آتریوم باید به سمت جنوب باشد (Hung, 2003, Laouadi & Atif, 1999).

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه بررسی مقایسه‌ای کیفیت محیط داخل، آسایش حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری دارای آتریوم و بدون آتریوم در شهر تهران بوده است. در این تحقیق از مطالعات میدانی شامل پرسشنامه و اندازه‌گیری‌های میدانی به‌صورت هم‌زمان در دو نمونه مطالعاتی انتخاب شده در شهر تهران استفاده شده است. نتایج داده‌های پرسشنامه‌ای نشان داده است که وجود آتریوم اثر مثبت معنی‌داری بر رضایتمندی کارمندان از شرایط محیط داخلی از نظر آسایش حرارتی، آسایش بصری و تهویه داشته است. هم‌چنین نتایج نشان داده است که در ساختمان اداری دارای آتریوم مرکزی، با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی شهر تهران نسبت به ساختمان فاقد آتریوم، مقدار روشنایی روز سطح بالاتری دارد. از طرفی بالا بودن میزان مصرف انرژی الکتریکی، رطوبت نسبی و درجه حرارت و پایین بودن روشنایی روز در ساختمان بدون آتریوم مشهود بوده است. اگرچه آتریوم به شکل دیگری به نام حیاط مرکزی در گذشته در ایران رایج بوده است، اما هنوز به جایگاه آتریوم در شرایط کنونی کشور و به‌خصوص در ساختمان‌های بلندمرتبه توجه کافی نشده است. نتایج تحقیق حاضر که در مورد مقایسه ساختمان دارای آتریوم مرکزی و ساختمان بدون آتریوم است به‌خوبی نشان داد که آتریوم در شرایط اقلیمی تهران می‌تواند مقدار مصرف انرژی را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد و میزان نور طبیعی با همه مزایای آن را در محیط داخلی افزایش دهد و همچنین باعث افزایش کارایی و رضایتمندی کارکنان از شرایط محیط کاری خود شود. با توجه به این که این مطالعه تنها در دو نمونه مطالعاتی مورد بررسی قرارگرفته است، لذا جهت عمومیت‌دهی به نتایج تحقیق، هدایت این‌گونه تحقیقات در تعداد بیشتری از نمونه‌های مطالعاتی مشابه ضروری می‌باشد.

پی‌نوشت

1. Principal Component Analysis (PCA)
2. Cluster Analysis

References

- Abd Halid, H., Wang, F. (2012). Design and Low Energy Ventilation Solutions for Atria in the Tropics. *Sustainable Cities and Society*, 2(1), 8-28.
- Abdoli, M. & Fasihi, A. (2006). The Climatic Impact of Tehran on Energy Consumption in Residential Buildings. *4th Conference on Energy Conservation in Building*. Tehran, Iran.
- Aldawoud, A. (2013). The Influence of the Atrium Geometry on the Building Energy Performance. *Energy and Buildings*, 57, 1-5.
- Aldawoud, A., Clark, R. (2008). Comparative Analysis of Energy Performance between Courtyard and Atrium in Buildings. *Energy and Buildings*, 40(3), 209-214.
- ASHRE Standard, 5. (2013). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE.
- Brown, G., DeKay , M. (2001). *Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies*. New York.
- Bryn, I. (1993). Atrium Buildings Environmental Design and Energy Use. *Ashrae Transactins*, 99 (part 1).
- Center of the Built Environment (CBE). (n.d.). *Berkeley*. California. Retrieved 06 07, 2013, from http://cbe.berkeley.edu/research/index.htm.
- Chun, C., Kwok, A., Mitamura, T., Miwa, N. & Tamura, A. (2008). Thermal Diary: Connecting Temperature History to Indoor Comfort. *Building and Environment*, 43, 877–885.
- Etzion, Y., Pearlmutter, D., Erell, E., & Meier, I. (1997). Adaptive Architecture: Integrating Low Energy Technologies for Climate Control in Desert. *Automation in Construction*, 6(5-6), 417-425.
- Fordham, M. (2000). Natural Ventilation. *Renewable Energy*, 19, 17-37.
- Givoni, B. (1976). *Man, Climate and Architecture*. New York: Elsevier Press.
- Guimarães-Costa, N., Pina, E. & Cunha, P. (2008). The Atrium Effect of Website Openness on the Communication of Corporate Social Responsibility. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 15, 43-51.
- Hung, W. (2003). Architectural Aspects of Atrium. *International Journal on Engineering Performance-based Fire Codes*, 5(4), 131-137.
- Laouadi, A. & Atif, M. (1999). Comparison between Computed and Field Measured Thermal Parameters in an Atrium Building. *Building and Environment*, 34, 129-138.
- Laouadi, A., Atif, M. & Galasiu, A. (2002). Towards Developing Skylight Design Tools for Thermal and Energy Performance of Atriums in Cold Climates. *Building and Environment*, 37, 1289-1316.
- Madani, R., Mokhtari, M. & Gharaati, M. (2012). The Role of Atrium in Optimizing Fuel Consumption in Office Buildings. *2nd Conference on Environmental Planning and Management (EPM)*. Tehran, Iran.
- Martín, H., Martínez, R. & Gómez, V. (2008). Thermal Comfort Analysis of a Low Temperature Waste Energy Recovery System: SIECHP. *Energy and Buildings*, 40, 561–572.
- Moosavi, L., Mahyuddin, N., & Ghafar, N. (2015). Atrium Cooling Performance in a Low Energy Office Building in the Tropics, A Field Study. *Building and Environment*, 94(1), 384-394.
- Ochoa, C. & Capelute, I. (2006). Evaluating Visual Comfort and Performance of Three Natural Lighting Systems for Deep Office Buildings in Highly Luminous Climates. *Journal of Building & Environment*, 41, 1128-1135.
- Sekkei, Y. (1989). Amenity Space for Interaction: Recent Works. Process Architecture, 16-37.
- Sharples, S. & Lash, D. (2007). Daylight in Atrium Building. *Architectural Science Review*, 50, 301-312.
- Szokolay, S. (1987). *Thermal Design of Buildings*. Australia: Raia Education Division Canberra.
- Tsutsumi, H., Tanabe, S., Harigaya, J., Iguchi, Y. & Nakamura, G. (2007). Effect of Humidity on Human Comfort and Productivity after Step Changes from Warm and Humid Environment. *Building and Environment*, 42, 4034 – 4042.