

## Thermal Characteristics of Outdoor and Semi-Outdoor Spaces in the Climate of Tehran, Iran

Mina Vard<sup>1</sup>  | Mohsen Faizi<sup>2</sup>  | Mehdi Khakzand<sup>3</sup>  | Morteza Ojaghlu<sup>4</sup> 

1. Master of Architecture, University of Science and Technology, Tehran, Iran. [minavard@yahoo.com](mailto:minavard@yahoo.com)

2. Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Iran. [mfaizi@iust.ac.ir](mailto:mfaizi@iust.ac.ir)

3. Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Iran. [mkhakzand@iust.ac.ir](mailto:mkhakzand@iust.ac.ir)

4. Master of Architecture, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. [morteza.ojaglu@gmail.com](mailto:morteza.ojaglu@gmail.com)

### Article Info:

**Article type:**  
Research Article

**history:**  
**Received:**

2023/4/27

**Received:**

2023/9/7

**Accepted:**

2023/10/1

**Published:**

2024/1/5

### Keywords:

Thermal Comfort,  
Outdoor Spaces,  
Semi-Outdoor  
Spaces, Envi-met  
3.1, Climatic  
Factors.

**A**bstract: Thermal comfort and its related concerns are becoming increasingly significant in modern cities. Contemporary architecture is heavily influenced by surrounding environmental issues. In recent years, there has been a growing focus on architectural design aimed at achieving sustainable and eco-friendly solutions among architects and researchers in the field. Historically, Iranian architecture effectively responded to its environment, providing thermal comfort to its inhabitants without harming nature. This highlights the necessity of integrating ecological considerations into today's architecture and urbanization, as well as addressing the lack of sufficient research on ecological issues in architecture. To this end, the Envi-met 3.1 software was utilized to simulate various outdoor and semi-outdoor spaces within Tehran's climate. The study examined semi-closed spaces, semi-open spaces, open spaces, and enclosed spaces as part of the design environment of a residential complex, focusing on their structure and thermal behaviors. The results indicate that semi-open spaces exhibit the lowest temperatures. The thermal behavior of semi-closed spaces is similar to that of semi-open spaces; however, due to air stagnation, their temperatures are higher. Semi-closed spaces generally have lower humidity levels because of their reduced proximity to surrounding areas. In contrast, the relative humidity in open and semi-open spaces is more influenced by the absolute humidity of the location than by temperature. Furthermore, wind speed in enclosed open environments is lower than in other areas, while the average radiant temperature in semi-closed spaces reaches its lowest levels.

**Cite this article:** Vard, M. Faizi, M. Khakzand, M. Ojaghlu, M (2024) Thermal Characteristics of Outdoor and Semi-Outdoor Spaces in the Climate of Tehran, Iran, *Architectural & Environmental Research* 1(1), 167-196. <https://doi.org/10.30470/jaer.2019.88226.1029>

© The Author(s).

**Homepage:** [jaer.znu.ac.ir](http://jaer.znu.ac.ir)

**Publisher:** University of Zanjan





## ویژگی‌های حرارتی فضاهای باز و نیمه‌باز در شرایط اقلیم شهر تهران

مینا ورد<sup>۱</sup> | محسن فیضی<sup>۲</sup> | مهدی خاکزند<sup>۳</sup> | مرتضی اجاقلو<sup>۴</sup>

۱. کارشناسی ارشد معماری دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران. minavard@yahoo.com

۲. استاد دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران. mfaizi@iust.ac.ir

۳. استادیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران. mkhakzand@iust.ac.ir

۴. کارشناسی ارشد معماری دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. morteza.ojaqlu@gmail.com

### اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

### تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۲/۲/۳

بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۱۶

پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۹

انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵

### واژگان کلیدی:

آسایش حرارتی، فضاهای باز، فضاهای نیمه‌باز، عوامل اقلیمی.

**چکیده:** دوران معاصر ما به طور کامل تحت تأثیر مسائل مربوط به عوامل محیطی است. در سال‌های اخیر توجه به طراحی معماری جهت دستیابی به معماری پایدار و سازگار با محیط‌زیست از دغدغه‌های معماری، معماران و پژوهشگران این حوزه است. معماری ایران در گذشته خود به طور کامل نسبت به محیط‌زیست خود مسئول بوده و آسایش حرارتی ساکنین خود را بدون لطمه‌زدن به طبیعت و محیط‌زیست خود تأمین می‌کرده است؛ لذا توجه اکولوژیکی به معماری و شهرسازی امروز و کمبود پژوهشی مباحث اکولوژیکی در معماری ضرورت پژوهشی نوشته حاضر را تبیین می‌کند. در همین راستا در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار انویمت ۳.۱ به شبیه‌سازی ساختار مختلف فضای باز در اقلیم تهران پرداخته است. در این پژوهش فضاهای نیمه‌بسته، فضاهای نیمه‌باز، فضاهای باز محصور، فضاهای کاملاً باز در قالب طراحی محیط یک مجتمع مسکونی و رفتارهای حرارتی این فضاها بررسی می‌شود. نتایج این پژوهش بیان می‌کند. کمترین میزان دمای هوا مربوط به فضای نیمه‌باز است. رفتار حرارتی فضای نیمه‌بسته بسیار شبیه فضای نیمه‌باز است؛ ولی به علت جریان هوای راکدتر دمای هوای بیشتری نسبت به فضای نیمه‌باز تجربه می‌کند. فضای نیمه‌بسته به علت مجاورت کمتر با محیط اطراف خود عموماً از میزان رطوبت کمتری برخوردار هستند. رطوبت نسبی در فضاهای باز و نیمه‌باز بیشتر از دمای هوا متأثر از رطوبت مطلق آن فضا است. سرعت باد در محیط‌های باز محصور از میزان کمتری نسبت به سایر نقاط برخوردار است و به طور عکس سرعت باد در فضاهای کاملاً باز میزان بالاتری را برخوردار است. همگی میانگین دمای تابشی در فضاهای نیمه‌بسته به کمترین مقدار خود می‌رسد.

**استناد:** ورد، مینا، فیضی، محسن، خاکزند، مهدی، اجاقلو، مرتضی (۱۴۰۲). ویژگی‌های حرارتی فضاهای باز و نیمه‌باز در شرایط اقلیم شهر تهران. پژوهش‌های معماری و محیط، (۱۱)، ۱۹۶-۱۶۷. <https://doi.org/10.30470/jaer.2019.88226.1029>.  
ناشر: دانشگاه زنجان.  
© نویسندگان .

DOI: <https://doi.org/10.30470/jaer.2019.88226.1029>

Homepage: jaer.znu.ac.ir



**مقدمه**

در حال حاضر توجه به نیازهای اساسی شهروندان در محیط‌های شهری و توجه به برطرف نمودن مشکلات و معضلات اقلیمی به‌منظور کاهش نارضایتی و افزایش سطح سلامت در محیط‌های باز شهری از جمله مسائلی است که اخیراً مورد توجه، برنامه‌ریزان و طراحان شهری و معماری قرار گرفته است و همچنین استفاده از راهکارهای غیرفعال در مسائل طراحی معماری، همواره جزو مهم‌ترین مسائل به شمار می‌رود. تعامل صحیح کالبد معماری با محیط پیرامون آن توجه به الزامات این تعامل جهت دستیابی بالاترین سطح آسایش حرارتی چه در فضاهای بیرون و باز ساختمان‌ها و چه در فضاهای داخلی از حوزه‌های پراز پرسش معماری در حوزه طراحی اقلیمی و پایدار است. چگونگی طراحی ساختمان‌ها به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین عنصر شهری، تأثیر بسزایی بر تغییرات محیط‌زیست و میزان مصرف منابع زیرزمینی موجود خواهد داشت. سال‌هاست که محققین در حوزه

اقلیم‌شناسی، معماری به مطالعه رابطه انسان با محیط و عوامل مؤثر بر آن می‌پردازند. انسان و محیط تأثیرات متقابلی بر یکدیگر دارند که اساس این پژوهش‌ها را بنیان نهاده است. توجه به این روابط، سعی در روشن ساختن چگونگی آن و اثرگذاری‌های متقابل بنا و محیط بر یکدیگر، و تأثیر این دو بر احساس انسانی مورد پژوهش، پژوهشگران این عرضه از دوران باستان با به امروز بوده است. گذشتگان هوشیار ما، در اقلیم‌های متفاوت روش‌های متفاوتی برای تطابق معماری با اقلیم برای رسیدن به آسایش حرارتی و در نتیجه صرفه‌جویی مصرف انرژی به کار می‌بستند. در ایران، توجه خاص به استفاده صحیح و مؤثر از انرژی تجدیدپذیر با روش‌های بسیار ساده و به‌کارگیری تکنیک‌های سنتی و بومی با توجه به شرایط اقلیمی و فرهنگی، معماری ما را متمایز و ماندگار کرده است. با نگاهی به بناهای بومی و سنتی دیده می‌شود که این بناها شرایط ناسازگار خارج را با صرف کمترین انرژی به فضای متعادل و مطلوب داخل تبدیل می‌کنند و

Ghaffarianhoseini et al.  
,2015; Taleghani et al. ,2014;  
(Fahmy & Sharples,2009).

عواملی چون:

- جهت گیری
- میزان ارتفاع
- میزان بازتابش مصالح
- میزان فضای سبز

عامل مشترک بررسی ویژگی کالبدی بناها باتوجهبه دستیابی به حدود آسایش حرارتی در فضا هستند. جهت گیری در راستای جذب کمترین تابش در اقلیم های گرم و مرطوب و خشک ( Ghaffarianhoseini et al. , 2015 ) و حیاط مرکزی در اقلیم های معتدل ( Taleghani et al. ,2014 ) توصیه گشته اند. افزایش ارتفاع و تأثیر آن در افزایش میزان دمای شبانه در بسیاری از مطالعات برای اقلیم های مختلف گزارش شده است به جهت جذب میزان بیشتر بازتابش غیرمستقیم در فضاهای باز عمیق این فضاها با کاهش میزان تابش معکوس در شب مواجه شده بیشتر میزان بازتابش از مصالح به وسیله خود محیط این فضاها جذب شده موجب افزایش

این همان مفهوم معماری سنتی باتوجهبه اقلیم است که می تواند در حال حاضر و در آینده تکرار شود، بدون اینکه رنگ کهنگی بر خود گیرد (حیدری، ۱۳۹۳). محیط های باز چه در شهرسازی و معماری سنتی و چه در شهرسازی و معماری مدرن به علت حضور مردم از اهمیت خاصی برخوردار هستند؛ ولی علی رغم میزان اهمیت پژوهش کافی در راستای چگونگی شکل گیری این فضاها انجام نگرفته است و در مقام عمل اغلب الگوهای سنتی به ناقص و شکلی مورد استفاده قرار گرفته؛ لذا در این پژوهش به نحوه رفتار حرارتی انواع فضاهای باز در غالب یک محیط مفروض در اقلیم تهران پرداخته می شود.

### پیشینه تحقیق

مشخصات فیزیکی و کالبدی بناها و تأثیر آن در میزان و حدود آسایش حرارتی در اقلیم های متفاوت در بسیاری از پژوهش ها و مطالعات مورد بررسی قرار گرفته اند و نتایج آن میزان تکرار این پژوهش ها بیانگر قابل تعمیم بودن این داده ها است ( Berkovic et al. ,2012; )

(Shahidan et al. , 2012). نقش فضای سبز و تأثیر آن در بهبود شرایط دمایی و اقلیمی فضای باز در مطالعات متعددی بیان شده‌اند و اخیراً در پژوهش‌های بسیاری به شبیه‌سازی میزان درصدهای مختلف فضای سبز مطابق موارد زیر پرداخته‌اند.

(۱) ۱۰۰ درصد زمین پوشیده از

چمن طبیعی

(۲) پوشش ۲۰ درصدی

(۳) پوشش ۴۰ درصدی

(۴) پوشش ۶۰ درصدی

در این مطالعات به جنبه‌های مختلف فضای سبز و تأثیر آن مورد بررسی قرار گرفته است. نقش تبخیری و جذب دمای محیط منجر به کاهش دمای در شاخص‌های دمایی متفاوتی مانند PET گشته است (Wong et al. , 2008; Chen & Ng, 2013; Yang et al. , 2013; Emmanuel et al. , 2007). فضای سبز و ایجاد فضای سایه و جلوگیری از نفوذ تابش مستقیم به سطوح عمودی و افقی منجر به کاهش دمای سطوح و همچنین میانگین دمای تابشی

دمای سطوح شده و در کنار این موضوع فضاهای باز عمیق از میزان تهویه کمتری برخوردار است و همه این موارد موجب افزایش دمای هوا و همچنین افزایش میزان میانگین دمای تابشی در محیط‌ها می‌شود (Wang et al. , 2015; Ghaffarianhoseini et al. , 2015; Lindberg et al. , 2008; Almhafdy et al. , 2013). مصالح با میزان باز تابش بالا موجب جذب بیشتر این تابش‌ها چه به صورت مستقیم و چه غیرمستقیم به وسیله عوامل محیط باز و انسان‌ها حاضر در محیط‌ها می‌شود؛ لذا در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده ۳ مقدار میزان باز تابش مطابق موارد ذیل تحت عنوان آلبدو<sup>۱</sup> بررسی شده‌اند:

(۱) ۰.۳ مانند آجر و بتن

(۲) ۰.۵۵ مانند سنگ مرمر

(۳) ۰.۹ مانند سطوح براق

در این مطالعات میزان آلبدو ۰.۳۳ به عنوان مناسب‌ترین مصالح برای اقلیم‌های گرم و مرطوب، گرم و خشک و معتدل عنوان شده است (Salata et al. , 2015; Huttner, 2012; Ambrosini et al. , 2014;

1. Albedo

## - فضاهای کاملاً باز

دسته بندی فضاهای باز از نظر رفتارهای آنان موضوعی است بعد از چالش های حرارتی شهرها مطرح گردید و در مطالعات گوناگونی به بررسی پاسخ دهی محیط های شهری از نظر حرارتی پرداختند ( Ahmed, 2003; Nikolopoulou & Steemers. 2003; Nikolopoulou & Lykoudis, 2006; Cheng & NG, 2006). میزان آسایش حرارتی در محیط های نیمه بسته اطراف فضاهای سبز و محیط های مجاور فضاهای نیمه باز در پژوهشی در سال ۲۰۱۴ مورد مطالعه میدانی قرار گرفت و نتایج آن بیانگر کاهش دمای ۶.۵ کلوینی در فضای باز و فضاهای سبز مجاور فضاهای شهری کاهش ۱ تا ۱.۵ کلوینی در ساعات روز نسبت به محیط اطراف خود دارند (Tsiros & Hoffman, 2014).  
روش های ارزیابی آسایش حرارتی در فضای نیمه باز

۱- روش ارزیابی ایستا<sup>۱</sup>

برای ارزیابی آسایش حرارتی فضای نیمه باز دو اصل عمده وجود دارد: ارزیابی

می شود ( Gál, 2014; Asawa et al., 2008; Li et al., 2016; Tan et al., 2016). اخیراً موضوع روانی و تأثیر ذهنی فضای سبز مورد بررسی قرار گرفته و اشاره شده است علاوه بر تأثیرات محیطی فضای سبز و درختان در کاهش دمای هوا و دمای تابشی محیط، وضعیت ذهنی و احساس حرارتی ناشی از حضور فضای سبز و درختان موجب ارتقای وضعیت و رضایت حرارتی افراد محیط می شود ( Peng & Jim, 2013; Wang et al., 2015; Spangenberg et al., 2008). مشخصات و ویژگی های فیزیکی بناها در مطالعات اشاره شده را می شود به اقلیم های متناظر تعمیم داد.

در این پژوهش با توجه به مطالب اشاره به سایر مشخصه های فیزیکی محیط و ساختار شکلی آنها مطابق موارد ذیل پرداخته می شود که تاکنون کمتر به این موضوع پرداخته شده است.

## - فضاهای نیمه بسته

## - فضاهای نیمه باز

## - فضاهای باز محصور

ایستا و ارزیابی نایستا و فعال. (et al., 2004). دمای معادل فیزیولوژیکی<sup>4</sup> (PET) (Mayer & Hoppe, 1987) شاخص حرارتی رایجی برای ارزیابی شرایط حرارتی افراد در روش ایستا و پایدار برای فضاهای باز و نیمه‌باز است. در فضاهای باز و نیمه‌باز برای بررسی تأثیر تابش‌های مستقیم و غیرمستقیم بر انسان از شاخص PET استفاده می‌شود که معتبرترین شاخص حرارتی برای فضاهای باز و نیمه‌باز است. در تعریف PET به برهم‌کنش عوامل اقلیمی و تعادل و تبادل حرارتی بدن انسان با عوامل محیطی توجه می‌شود و ارزیابی نهایی آنها اساس دمای پوست انسان در شرایط محیطی باز انجام می‌شود (Hoppe, 1999). بکارگیری شاخص حرارتی PET دارای مزیت‌های نسبت به سایر شاخص‌های حرارتی هست، اولاً تأثیرات تمامی عوامل اقلیمی به‌وسیله پاسخ‌های آن قابل‌مقایسه و ارزیابی است (Hoppe, 1999) ثانیاً در شاخص حرارتی PET از واحدهای آشنا مانند

ایستا و ارزیابی نایستا و فعال. حالت اول به بررسی قرارگیری انسان در برابر محیط پیرامونی خود و تبادل حرارتی با آن است، بنابراین معادلات عددی تعادل انرژی برای کنترل میزان تنظیم حرارتی استفاده می‌شود. در این روش مشکلاتی در خصوص رفتارهای حرارتی انسان وجود دارد (Chen & NG, 2012). بسیاری شاخص‌های حرارتی رایج در این روش مورداستفاده قرار می‌گیرد. شاخص حرارتی<sup>1</sup> PMV به‌وسیله فانگر<sup>2</sup> معرفی شد و این شاخص حرارتی به پیش‌بینی پاسخ حرارتی انسان در قالب دسته‌بندی هفت‌گانه می‌پردازد. این شاخص به‌وسیله شاخص حرارتی شاخص حرارتی<sup>3</sup> PPD مورد بسط و تفسیر قرار گرفت که در آن به درصد نارضایتی حرارتی افراد به‌وسیله شاخص PMV می‌پردازد هرچند این دو شاخص یاد شده اساساً برای فضای داخلی طراحی و لحاظ شده است و این شاخص‌ها برای فضای باز و نیمه‌باز مناسب نیست (Chen et al., 2011; Thorsson )

5. Physiological Equivalent Temperature

2. Predicted mean vote

3. Fanger

4. Predicted Percentage Dissatisfied

باشد. با توجه تعامل و سازگاری گرمایی انسان در این روش قابل مشاهده است؛ اما مشکل اصلی این روش کنترل نشانگرهای حرارتی انسان مانند دمای متوسط بدن در فضاهای نیمه باز و باز است و مشکل بعدی شرایط روانی حاکم بر وضعیت حرارتی در این روش لحاظ نشده است.

### شبیه سازی و محاسبات رایانه ای

ساختمان یک محیط بسیار پیچیده است، جایی که و جداره های بیرونی آن، سیستم ها و تجهیزات تأسیساتی و سیستم نورپردازی و روشنایی مهم ترین مؤلفه های مصرف انرژی را شکل می دهند و به صورت سیستمی یکپارچه، رفتار انرژی را مشخص می کند؛ لذا درک و فهم عملکرد انرژی به مثابه نتیجه و حاصل همه جانبه های فرایند طراحی ساختمان از اهمیت ویژه ای برخوردار است و خود پیچیدگی زیادی را در بر دارد که ابزارهای مدل سازی و تحلیل می تواند تا حدی مؤثر باشد (Hong, 2000). از میان این ابزارها که در اختیار افراد و کارشناسان درگیر با حیطه فرایند طراحی

Gulyas et al. ) سلسیوس است (2006), سوم استفاده از شاخص حرارتی توسط افراد غیرمتخصص است (Lin et al., 2010). مزیت چهارم محاسبه آسان و راحت آن به وسیله نرم افزارهای رایگان مانند ریمن<sup>۱</sup> است (Matzarakis et al. , 2007).

### ۲- روش ارزیابی غیرایستا<sup>۲</sup>

به حالت عکس، مدل "دو گره پیرس" سنگ بنای ارزیابی حرارتی به روش دینامیک است (Gagge, 1986). مفهوم ارزیابی غیرایستا برای وضعیت غیرفعال بر پایه تقسیم پیکر انسان به دو قسمت پوست و هسته و درون بدن انسان، میزان انحراف دمای سطح پوست و دمای درونی انسان و محاسبات نرخ های تعریق در این روش به سادگی قابل محاسبه هستند (Hoppe, 2002). استفاده از روش غیرایستا در فضاهای باز و نیمه باز به خاطر فعالیت انسان در فضای باز مورد پیشنهاد قرار می گیرد و همچنین استفاده از ارزیابی حالت ارزیابی ایستا برای فضای باز و نیمه باز در شرایطی قابل استفاده که مدت حضور افراد در آن کمتر یک ساعت

2. None-steady-state method

6. Rayman

پیاده‌سازی و استفاده شده است. اصلی‌ترین این نرم‌افزارها، مواردی هستند که بنا را به طور کامل شبیه‌سازی کرده و مواردی نظیر میزان مصرف در دوره‌های مختلف، هزینه انرژی، محاسبات مربوط به دما و رطوبت را که نتایج شاخص‌های اصلی عملکرد انرژی در ساختمان هستند، در قالب خروجی‌های مختلف مشخص می‌کنند. به‌طور کلی نرم‌افزارهای تحلیل انرژی موجود به دو دسته روش‌های پیشرو و معکوس تقسیم می‌شوند. در روش پیشرو، پیش‌بینی‌های انرژی بر اساس توصیف کالبدی مانند پیکربندی، موقعیت، جزییات مصالح و نوع عملکرد سیستم‌های تهویه مطبوع انجام می‌گیرد. اکثر ابزارهای شبیه‌سازی انرژی موجود از رویکرد مد پیشرو تبعیت می‌کنند. در رویکرد معکوس، مدل تحلیل انرژی سعی می‌کند با استفاده از مصرف انرژی فصلی، آب و هوا و داده‌های مربوط به کارایی، نمونه عوامل ساختمان مانند ضریب بار ساختمان، بار پایه ساختمان یا ثابت زمانی ساختمان را استنتاج کند. مدل‌های معکوس به لحاظ تنظیم روابط، نسبت به

قرار دارد، کارترین آنها در زمینه ارزیابی رفتار انرژی، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی هستند. این نرم‌افزارها با ایجاد محیط مجازی ساختمان، این امکان را فراهم می‌آورند تا پیش‌بینی عملکردی ساختمان تا حد ممکن نزدیک به واقعیت باشد و با بهینه‌سازی و بهبود طرح خود، فناوری‌های جدید صرفه‌جویی و انرژی کار را معرفی کند (Hensen, 2002). از آنجا که رفتارهای حرارتی جاری در ساختمان متشکل از رفتارهای گوناگون است، انواع مختلفی از شبیه‌سازی برای تحلیل این رفتارهای مختلف به وجود آمده است. معماران برای به‌کارگیری شبیه‌سازی، لازم است از انواع و کاربرد هر یک از آنها آگاه باشند تا بتوانند روش مناسبی را در زمان مناسب برای انجام شبیه‌سازی انتخاب کنند. تأثیر شبیه‌سازی در فرایند طراحی زمانی چشمگیر است که تحلیل عملکرد انرژی در گام‌های آغازین طراحی تشخیص داده شوند. طی ۵۰ سال اخیر بیش از صدها برنامه شبیه‌سازی مرتبط با مبحث انرژی در ساختمان توسط سازمان‌های مختلف درگیر در این حوزه،

مدل‌های پیش‌رو از پیچیدگی کمتری برخوردار هستند (قیابکلو، ۱۳۸۶). محاسبه میزان انرژی مصرفی ساختمان به سه روش پایدار، نیمه پایدار و ناپایدار امکان پذیر است که عمدتاً نرم‌افزارهای موجود به روش نیمه پایدار انرژی مصرفی، ساختمان را محاسبه می‌نماید.

### شبیه‌سازی فضاهای باز و نیمه‌باز

استفاده از نرم‌افزار پایه و اساس شبیه‌سازی کامپیوتری است. به‌عنوان رویکرد کلی، در این روش با ورود اطلاعات و شرایط محیطی مانند ساختمان‌ها، درختان، شرایط آب و هوایی و سایر عوامل و خروجی آن پیش‌بینی و ارائه پارامترهای محیطی مرتبط با این عوامل فرضی است. میانگین دمای تابشی<sup>۱</sup> به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر محیطی مؤثر بر آسایش حرارتی انسان در بعضی از نرم‌افزار به‌طور صحیح و موثق قابل اندازه‌گیری و پیش‌بینی است به‌عنوان مثال ریمن به‌وسیله پروفیسور ماتزاراکیس در سال ۲۰۰۷ معرفی شد. در این نرم‌افزار با استفاده از عامل مؤثر

ضریب دید به آسمان<sup>۲</sup> و سایر عوامل محیطی مانند دمای هوا، سرعت باد و... به محاسبه میانگین دمای تابشی پرداخته می‌شود و لذا به طبع آن شاخص‌های حرارتی متنوعی در قابل محاسبه است و به دلیل میزان دقت در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما این نرم‌افزار صرفاً محاسباتی بوده و قابلیت پیش‌بینی و تحلیل شرایط اقلیمی در فضاهای باز و نیمه‌باز را ندارد. نرم‌افزارهای شبیه‌ساز محیطی مانند انویمت<sup>۳</sup> (Bruse & Fleer, 1998)، سول وینگ<sup>۴</sup> (Lindberg et al., 2008) و تاوان اسکوپ<sup>۵</sup> (Teller et al., 2001) به تحلیل یکپارچه محیط‌های ساخته شده اعم از باز و نیمه‌باز می‌پردازند. در دسترس بودن نسخه آموزشی انویمت و توسعه این نرم‌افزار منجر به استفاده وسیع پژوهشگران از این نرم‌افزار شده است.

### روش تحقیق

در این پژوهش به‌منظور تعیین ویژگی‌ها و

4. SOLWEIG  
5. Town scope

1. Mean Radiant Temperature (Tmrt)  
2. Sky View Factor (SVF)  
3. Envi-met

شیشه‌سازی انجام می‌گیرد. اطلاعات اندازه‌گیری شده در بخش اعتبارسنجی نرم‌افزار به وسیله دیتا لاگر<sup>۲</sup> لوترون ال-ام<sup>۲</sup> ۸۰۰۰ در ارتفاع ۱.۴ متری گردیده است. میزان وابستگی عناصر محیطی با عوامل اقلیمی در نرم‌افزار آماری تحلیل اس پی اس اس<sup>۳</sup> انجام گردیده است.

نرم‌افزار انویمت ۳.۱ (ENVI-met3.1)

این مدل یک برنامه ۳ بعدی اقلیمی برای شیشه‌سازی تأثیرات متقابل بین سطوح، گیاهان و هوا در محیط‌های شهری است. این مدل توسط پروفیسور مایکل بروس (micheal Bruse) در دانشگاه ماینز آلمان (mainz university) طراحی شده (Bruse, 1999) و در حال توسعه است (Bruse, 2004). این نرم‌افزار در تحقیقات بسیاری مورد استفاده و آزمایش قرار گرفته است (Huttner et al., 2008; Ambrosini et al., 2014; Elnabawi et al., 2013; Allegrini et al., 2015; Taleghani et al., 2015; Ghaffarianhoseini et al., 2015).

این مدل به‌خاطر پوشش کامل فرایند

ساختارهای حرارتی فضاهای باز و نیمه‌باز از روش شیشه‌سازی استفاده گردیده است. همچنین در این تحقیق با در نظر گرفتن گونه‌های مطالعه شده فضای باز به بررسی یکپارچه فضاهای باز و نیمه‌باز پرداخته می‌شود. ارتفاع مجتمع مسکونی باتوجه به فراوانی ارتفاع آنها به انتخاب بلوک‌های ۱۰ طبقه به‌عنوان بناهای نمونه انتخاب می‌شود (عینی فر و قاضی‌زاده، ۱۳۸۹). میزان فضای باز این مجتمع با توجه دستورالعمل شورای عالی شهرسازی و معماری ایران (۱۳۸۳) محاسبه گردید و مطابق نتایج آن، میزان ۷۰٪ درصد لحاظ می‌گردد. شیشه‌سازی اقلیمی این مجتمع مسکونی فرضی توسط نرم‌افزار انویمت انجام می‌گردد و روز ۱۵ مرداد ۱۳۹۶ به‌عنوان گرم‌ترین روز سال ۹۶ (یکشنبه- ۱۵ مرداد ۱۳۹۶) به‌عنوان روز مبنای شیشه‌سازی انتخاب گردید و نتایج شیشه‌سازی در نرم‌افزار لئوناردو<sup>۱</sup> مصور و تحلیل می‌گردد. بخش اعتبارسنجی این مقاله به روش اندازه‌گیری میدانی و مقایسه آن به نتایج به‌دست آمده از فرایند

6. eonardo  
1. Data logger

2. Lutron LM-8000  
3. SPSS

شبهه سازی محیط های شهری مورد توجه قرار گرفته و صحت نتایج آن در بسیاری از تحقیقات به اثبات رسیده و محدودیت های استفاده از آن نیز مشخص شده است.

برای شبهه سازی واکنش های متقابل سطح - گیاه - هوا بلکه برای محیط های درون شهری و تجزیه و تحلیل رژیم آسایش دمایی در مقیاس های خرد کاربرد دارد این مدل با قدرت تفکیک افقی از ۰.۵ تا ۱ متر و چارچوب زمانی ۲۴ تا ۴۸ ساعت تا کمینه ی گام های زمانی ۱۰ ثانیه طراحی شده است که به دلیل قدرت فضایی بالا درک تغییرات خرد آب و هوایی را آسان نموده است و دارای چهار برنامه ی مکمل از جمله نرم افزار لئوناردو نیز است که برای تفسیر و تحلیل داده های خروجی مدل به صورت نقشه و نمودار به کار می رود. انویمت ترکیب ۴ عامل خاک، گیاهان، اتمسفر و ساختمان است. در نسخه ۴ این مدل انومیت تغییرات زیادی در راستای ارتقای صحت خروجی های این مدل انجام گرفته است. محیط ۳ بعدی جدید به لحاظ گرافیکی

به محیط مدل اضافه شده است که جزئیات بیشتری را در حوزه معماری شامل می شود. ویژگی های اصلی انویمت ۴ به شرح زیر است:

- ۱: اصلاح گر کامل محیط ۳ بعدی
  - ۲: محاسبه دقیق تر و پیشرفته تر دما نما و تعدیل انرژی
  - ۳: سیستم فورسینگ (Forcing)، (Hunttner & Bruse, 2009).
- یکی از مهم ترین ویژگی مدل انویمت محاسبه دقیق صحیح میانگین دمای تابشی (Tmrt) در شرایط فضای باز است ( ; hunttner et al., 2008; Chow & Brazel, 2012). از محدودیت های این مدل محاسبه شاخص حرارتی PET در نسخه های آموزشی و رایگان آن است.

### اعتبارسنجی نتایج شبهه سازی انویمت ۳.۱

به همین منظور برای دستیابی به اطلاعات شبهه سازی معتبر اطلاعات ساعتی اندازه گیری شده دمای هوا در محوطه مجتمع مسکونی اکباتان تهران با اطلاعات پیش بینی شده توسط انویمت

۳.۱) (ENVI-met3.1) مقایسه گردید. اندازه‌گیری گردید. ۲۸ خردادماه و ۳ تیرماه ۱۳۹۶ برای شبیه‌سازی انتخاب شده‌اند. همه اطلاعات اقلیمی در ارتفاع ۱.۴ متری از سطح زمین اندازه‌گیری شده‌اند. برای شبیه‌سازی با انویمت فایل مربوط به محوطه و فایل ساختار اقلیمی محلی نیاز است که مطابق جدول ۱ در نظر گرفته شده است. مدت ۲ روز در خرداد و تیر ۱۳۹۶ به منظور کاهش تأثیر تابش بر روی دمای هوا سنسور (sensor) اندازه‌گیری دمای هوا با وسیله یک محافظ پارچه‌ای سفیدرنگ محافظت گردید. به همین منظور دمای هوای محوطه مجتمع مسکونی اکباتان تهران به طور متوالی به مدت ۲ روز در خرداد و تیر ۱۳۹۶

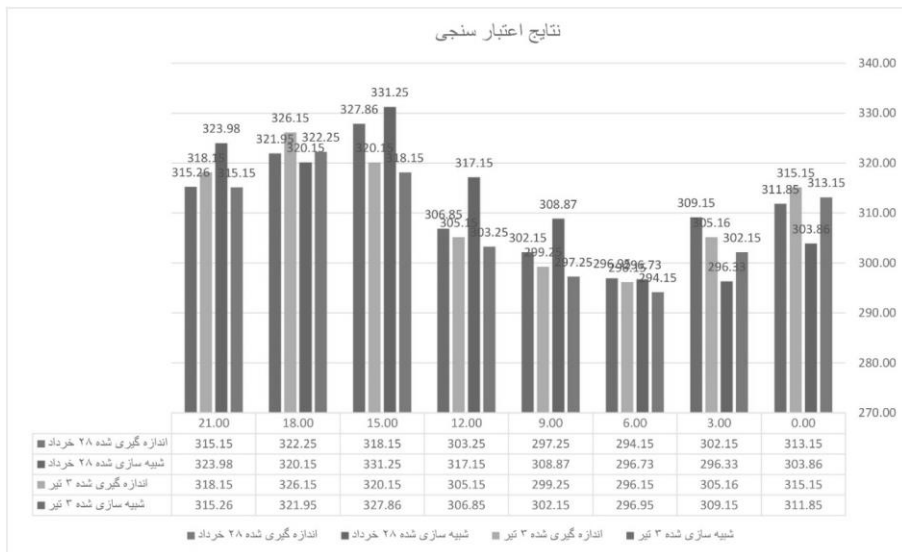
Simulation day	23. 06. 2017	17. 06. 2017
Simulation period	24h(21:00-21:00)	24h(21:00-21:00)
Spatial resolution	1m horizontally,2m vertically	1m horizontally,2m vertically
Wind speed	1m/s	0m/s
Air temperature	294. 15	296. 15
Wind direction (N=0,E=90)	315	45
Relative midity(in 2m)	64. 58%	34. 87%
Indoor temperature	293K(20°C)	293K(20°C)
Heat transmission	Wall=1. 6 w/m <sup>2</sup>	Wall=1. 6 w/m <sup>2</sup>
albedo	Wall=0. 21 roofs=0. 18	Wall=0. 21 roofs=0. 18
Walking Speed (m/s)	0. 0	0. 0
Energy-Exchange (Col. 2 M/A)	116	116
Mech. Factor	0. 0	0. 0
Heattransfer resistance cloths	0. 5	0. 5
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm)	294. 15	296. 15
Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm)	292. 35	293. 15
Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm)	8842	289. 3
Relative Humidity Upper Layer (0-20 cm)	64	34
Relative Humidity Middle Layer (20-50 cm)	66	37
Relative Humidity Deep Layer (below 50 cm)	70	39

جدول (۱): اطلاعات شبیه‌سازی. ماخذ. نتارندگان

بنابراین برای تعیین میزان صحت اطلاعات به دست آمده از فرایند شیشه سازی از نرم افزار اسپاس اس استفاده گردید و به وسیله ضریب همبستگی پیرسون تحلیل گردیده و مطابق شکل ۱ و بر اساس مقایسه اطلاعات به دست آمده از نتایج شیشه سازی و اندازه گیری میدانی، ضریب همبستگی پیرسون برای درک و اثبات میزان صحت اطلاعات شیشه سازی محاسبه گردید و نتایج آن از همبستگی ۷۲ درصدی اطلاعات برای روز ۲۸ خرداد ( $R=0.72$ ) و همبستگی ۹۳ درصدی برای روز ۳ تیر ( $R=0.93$ )

دمای هوا به عنوان محسوس ترین عامل اقلیمی در بازه های زمانی ۳ ساعته و اندازه گیری و مقایسه شده است. اطلاعات پایه برای شیشه سازی بر اساس اطلاعات ساعت ۶ صبح روز مرجع اندازه گیری و در نظر گرفته شده است. اندازه گیری و مقایسه دمای هوا از جهت کاربردی بوده اطلاعات به دست آمده در بخش تحلیل یافته ها اهمیت پیدا می کند.

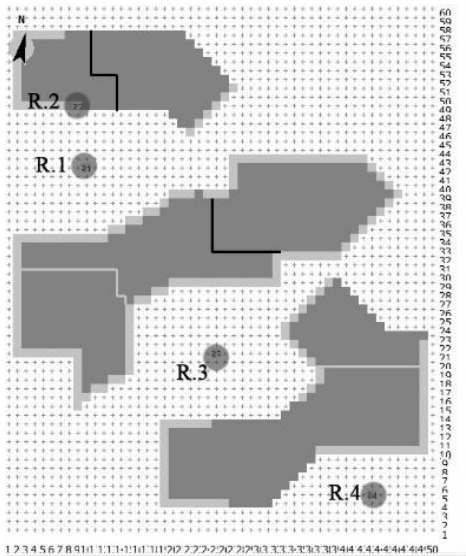
مطابق نتایج به دست آمده از فرایند اندازه گیری و شیشه سازی ملاحظه می گردد فرایند تغییر دماها و همبستگی دما از مقادیر مناسبی برخوردار است؛



تصویر (۱): مقایسه دماهای فرآیند اعتبار سنجی

تهران برخوردار است و این اطلاعات می‌توانند برای شهر تهران تعمیم داده شوند.

— کلیه اطلاعات شبیه‌سازی در وسط حیاط مرکزی و در ارتفاع ۱.۴ متری محاسبه گردیده است.



تصویر (۲): مکان‌های گیرنده‌های اقلیمی در مدل انویمت، (ماخذ: نگارندگان)

خبر می‌دهند. بنابراین نتایج شبیه‌سازی از میزان قابل قبول صحت برای دمای هوای محوطه مجتمع مسکونی اکباتان **تحلیل محیطی مجتمع مسکونی طراحی شده**

برای تحلیل اقلیمی مجتمع مسکونی ۴ گیرنده مجازی مطابق تصویر (۲) قرار گرفته است.

فضاهای باز این مجتمع مسکونی به ۴ حالت:

- فضای نیمه‌بسته
- فضای نیمه‌باز
- فضای محصور
- فضای باز

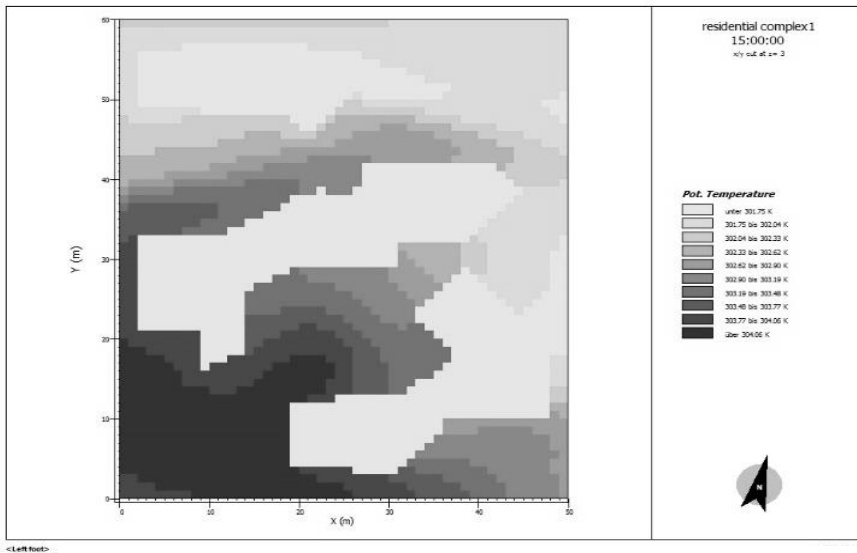
— تحلیلی اقلیمی این نقاط به‌وسیله گیرنده‌های مجازی در نقاط مشخص شده در ارتفاع ۱.۴ متری ثبت می‌گردد.

— اطلاعات اقلیمی پایه‌ای این شبیه‌سازی مربوط به روز ۱۵ مرداد ۱۳۹۶ می‌باشد.

— اطلاعات اقلیمی برای شبیه‌سازی بر اساس گزارش سازمان هواشناسی کل کشور استخراج و مطابق جدول تنظیم گردید.

جدول (۲): اطلاعات اقلیمی روز ۱۵ مرداد ۱۳۹۶ تهران برای شبیه‌سازی، (ماخذ نگارندگان)

Simulation day	06. 08. 2017
Simulation period	14h(6:00-20:00)
Spatial resolution	1m horizontally, 2m vertically
Initial Temperature	294. 15(21) °C
Wind speed	3m/s
Wind direction (N=0,E=90)	270
Relative humidity(in 2m)	73. 27%
Indoor temperature	295. 15K(20°C)
Heat transmission	Wall=1. 6 w/m <sup>2</sup>
albedo	Wall=0. 21 roofs=0. 18
Walking Speed (m/s)	0. 0
Energy-Exchange (Col. 2 M/A)	116
Mech. Factor	0. 0
Heattransfer resistance cloths	0. 5



تصویر (۴): تصویر محیط دمای هوا در ساعت ۱۵. ماخذ: نگارندگان

**مقایسه دمای هوا در نقاط منتخب**

دمای هوا در محیط‌های نیمه‌باز می‌باشد؛ لذا کمترین میزان دمای هوا مربوط گیرنده مجاری شماره ۱ می‌باشد (فضای نیمه‌باز) است. رفتار حرارتی فضای نیمه‌بسته بسیار شبیه فضای نیمه‌باز است؛ ولی به علت جریان هوای راکدتر دمای هوای بیشتری نسبت به فضای نیمه‌باز تجربه می‌کند. رفتار دمای هوای نقاط منتخب به تفکیک ساعت در نمودار ذیل بیان شده است.

**مقایسه رطوبت نسبی در نقاط منتخب**

رطوبت نسبی از عوامل اقلیمی هست که به شدت وابسته دمای هوا بوده و میزان آن در هوا متناسب با تغییر دما تغییر می‌کند. در قسمت قبل دریافته شد که اختلاف دمای بین نقاط مختلف زیاد نبوده و بیشینه اختلاف از ۱.۵ درجه فراتر نمی‌رود. بنابراین تغییرات رطوبت نسبی این نقاط تابعی از میزان مطلق رطوبت موجود است نه دمای هوا. بنابراین میزان تغییرات متناظر بین نقاط فرار تر ۱.۵ درصد نمی‌رود. کنترل میزان رطوبت در دستیابی به حدوده آسایش حرارتی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. رفتار یکسان نمودار

در تحلیل دمای هوای فضای یاد شده از همان ساعت ابتدایی شبیه‌سازی نقاط ۴ و ۳ به سرعت شروع به افزایش دمای خود می‌کنند و دمای هوای نقطه ۴ (فضای نامحصور و باز) به علت قرارگیری در معرض فضای بکر مجاور خود به میزان ۱.۵ درجه در ساعت اوج خود (۱۴:۰۰) از سایر نقاط گرم‌تر می‌باشد. افزایش دمای هوای به تابع شرایط محیطی اطراف خود می‌باشد؛ اما تأثیر محیط اطراف بر میزان جابجایی دمای هوا به دلیل جابجایی هوا عموماً ناپایدار بوده و به سرعت به هم دمایی با دمای همای محیط خود می‌رسد؛ لذا هر چه محیط محصورتر میزان رکود هوا بیشتر شده باشد، بیشتر تحت تأثیر هوای محیط اطراف خود قرار می‌گیرد و لذا اگر محیط ساخته شده مستعد خنکی باشد دمای هوای کمتری نسبت به دمای هوای پایه تولید می‌کند این امر در گیرنده مجازی نقطه ۳ اتفاق می‌افتد (فضای محصور) امکان حرکت هوا در محیط‌های به مصالح رنگ روشن و داری فضا سبز موجب تاثیرپذیری بیشتر

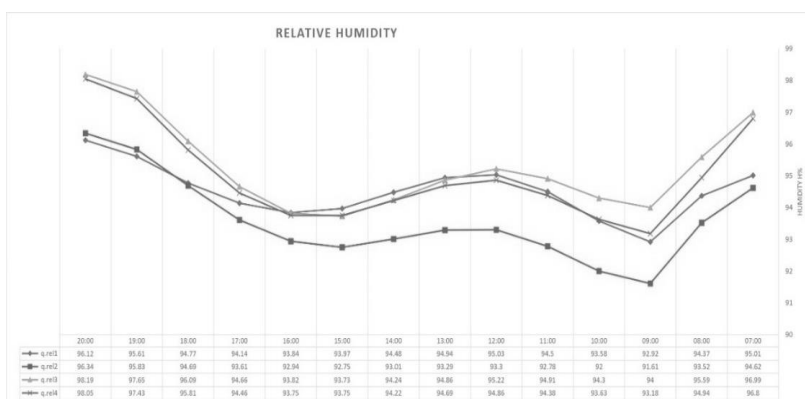
قسمت قبل فضای نیمه‌بسته و نیمه‌باز درصدهای مشابه هم در مورد رطوبت نسبی تولید می‌کنند. فضای نیمه‌بسته به علت مجاورت کمتر با محیط اطراف خود عموماً از میزان رطوبت کمتری برخوردار هستند و نسبت به سایر فضاها در طول روز، میزان کمتری از رطوبت نسبی را تجربه می‌کند. نمودار زیر میزان تغییرات رطوبت نسبی را در ساعات شبیه‌سازی را بیان می‌کند.

نشان دهنده بر هم کنش همزمان میزان رطوبت مطلق و دمای هوا بر رطوبت نسبی نقاط منتخب است. در ساعات ابتدایی روز با افزایش میزان تابش و گرم شدت تدریجی هوا میزان رطوبت نسبی شروع به کاهش می‌کند و این روند تا ساعت ۹ صبح ادامه پیدا می‌کند. با افزایش میزان گرما و مطابق آن افزایش میزان تبخیر سطحی سطوح سبز محیط میزان رطوبت نسبی در نقاط به صورت تدریجی شروع به افزایش می‌کند و در ساعت ۱۲ ظهر به بیشینه مقدار خود می‌رسد و با ثابت شدن میزان تبخیر دوباره میزان دما در کاهش رطوبت نسبی مؤثر واقع می‌شود و با افزایش تدریجی دما رطوبت نسبی کاهش و این کاهش تا ساعت ۱۶ بعد از ظهر ادامه می‌یابد و ساعات بعد از ظهر با کاهش دمای محیط و نزدیک شدن به ساعات پایانی روز رطوبت نسبی نیز شروع به افزایش میزان خود با سرعت بیشتری می‌کند و در تمامی نقاط در ساعت ۲۰ رطوبت نسبی به بیشترین میزان خود می‌رسد. مطابق

**مقایسه سرعت هوا در نقاط منتخب**

حدود آسایش حرارتی با تغییر دامنه سرعت هوا جابه‌جا می‌شود. لزوماً افزایش یا کاهش سرعت هوا به افزایش و کاهش حدود آسایش منجر نمی‌شود. بنابراین کنترل میزان جریان هوا به شدت وابسته برهم‌کنش سایر عوامل محیطی ولی در حالت کلی برای کاهش تأثیر میزان تأثیر دمای هوای بالا تهویه و کوران هوا راهکاری عمومی و کلی است. پدیده تشدید و یا کاهش سرعت هوا به خاطر تغییر هندسه محیطی امری اجتناب‌ناپذیر در محیط‌های ساخته شده است. وجه و هندسه رو به باد و نیز وجود فضای پر فشار و کم فشار امری است که توأم منجر به افزایش موضعی

شبه‌سازی شده است و نقطه شماره ۱ از میزان تهویه طبیعی بیشتری نسبت سایر محیط‌ها و نقاط موجود برخوردار است و همین امر موجب می‌شود که در صورت وجود شرایط اقلیمی مناسب بتوان دامنه حدود آسایش حرارتی را در این گونه محیط‌ها به وسیله افزایش موضعی سرعت هوا را افزایش داد. مطابق همین منطقه محیط‌های نیمه‌بسته شرایط مشابه محیط‌های نیمه‌باز دارند؛ ولی نسبت به آنها سرعت هوای کمتری دارند و نرخ رشد سرعت هوا نیز در این محیط‌ها نسبت به محیط‌های نیمه‌باز کمتر است (نقطه شماره ۲). محیط کاملاً محصور و یا کاملاً باز شرایط

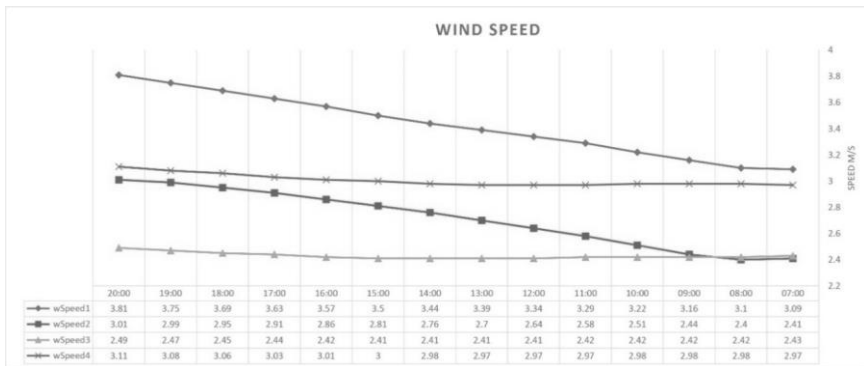


تصویر (۵): نمودار رطوبت نسبی در فضاهای منتخب مجتمع مسکونی. ماخذ: نگارندگان

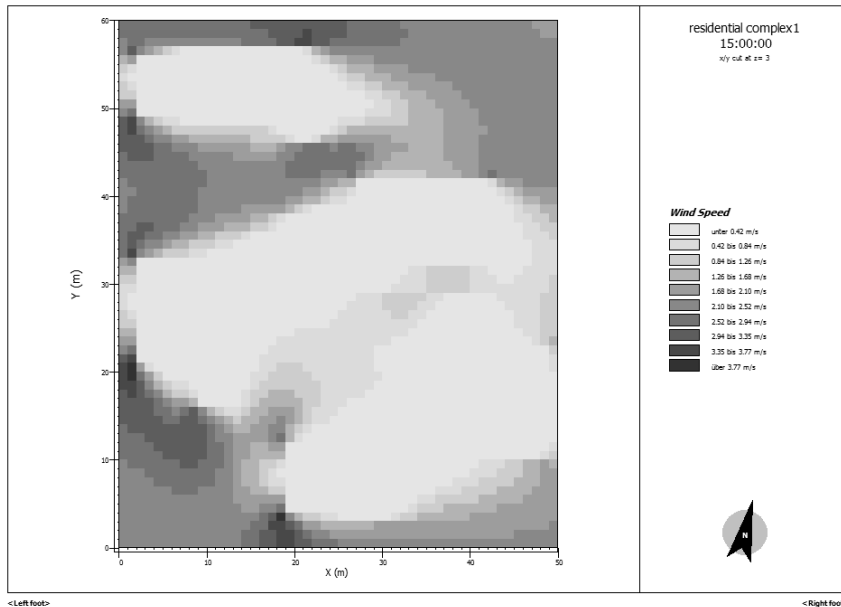
سرعت هوا در محیط نیمه‌بسته محیط ثابتی را در طول روز از نظر سرعت هوا

تجربه می کنند. محیط های کاملاً محصور به دلیل محیط محصور خود میزان سرعت هوای کمتری را نسبت به محیط خود تجربه می کند و در طول روز میزان ثابتی دارد (نقطه شماره ۳)

در حالی که میزان ثابت سرعت هوا در محیط های کاملاً باز به شدت وابسته به میزان سرعت هوای محیط پیرامون خود است (نقطه شماره ۴).



تصویر (۶): نمودار سرعت هوا در فضاهای منتخب مجتمع مسکونی. ماخذ: نگارندگان



تصویر (۷): تصویر محیطی سرعت هوا در ساعت ۱۵. ماخذ نگارندگان

است و مقادیر تغییرات جریان هوا و دمای هوا به تغییرات میانگین دمای تابشی منجر می‌شود. اما مطابق نمودار ذیل  $T_{mrt}$  برای نقطه ۲ (فضای نیمه‌بسته) از کاهش محسوسی برخوردار است. بر خلاف ۳ نقطه دیگر این نقطه به علت قرارگیری در سایه به مراتب از میانگین تابشی کمتری برخوردار است. میزان تابش مستقیم برای این نقطه صفر بوده و میزان تابش غیرمستقیم آن به ضریب بازتابش مصالح کف و دیوارها بستگی دارد و همین امر سبب گشته است میزان  $T_{mrt}$  کمتری را در ساعاتی آفتابی تجربه کند. در ساعت اولیه شبیه‌سازی به علت میزان  $T_{mrt}$  این نقطه مشابه سایر نقاط است با افزایش میزان ارتفاع آفتاب میانگین تابشی هر ۴ نقطه شروع به رشد کرده؛ ولی نرخ رشد نقطه فضای نیمه‌بسته کمتر از سایر نقاط است این تفاوت بین ساعات ۸:۰۰ تا ۱۶:۰۰ اتفاق می‌افتد و با کاهش میزان ارتفاع دوباره آفتاب نرخ کاهش نمودار هر ۴ نقطه شروع به همگرایی کرده و در ساعت ۱۹:۰۰ و

**مقایسه میانگین دمای تابشی در نقاط منتخب**  
 آخرین عامل از عوامل محیطی میانگین دمای تابشی است که در بسیاری از مطالعات به‌عنوان عامل اصلی استرس حرارتی مطرح می‌شود.  $T_{mrt}$  میانگین مجموع تابش‌های مستقیم و غیرمستقیم مطرح است. مطابق نمودار زیر در هر سه بخش فضای باز، محصور و نیمه میزان میانگین دمای تابشی میزان تفاوت فاحشی بین مقادیر وجود ندارد و الگوی رفتاری مشابهی را طی می‌کنند. چرا که در هر سه نقطه میزان تابش مستقیم به یک میزان به گیرنده‌های مجازی میرد و به جهت اینکه میزان بازتابش مصالح نما در هر ۴ نقطه یکسان در نظر گرفته شده و این مورد برای مصالح کف صدق می‌کند. از آنجاکه به‌طور کلی  $T_{mrt}$  متأثر از ۳ عامل محیطی زیر است:

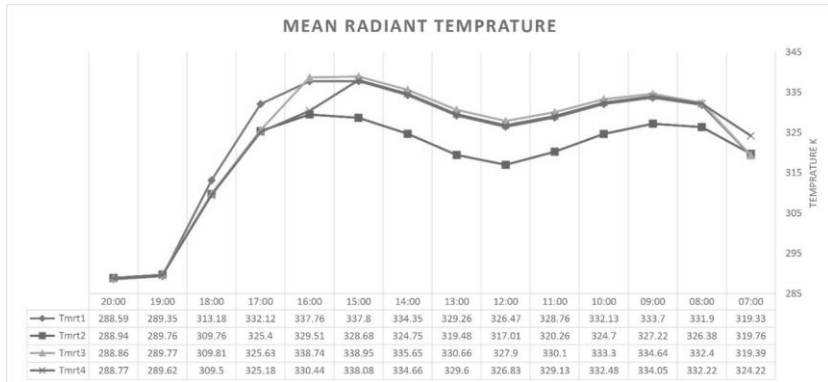
- دمای کروی

- دمای هوا

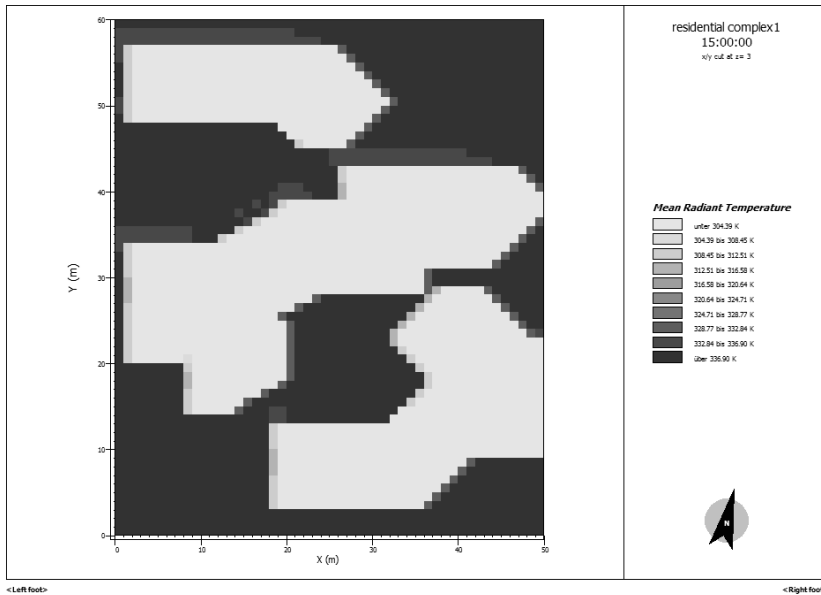
- سرعت هوا

بنابراین مقادیر  $T_{mrt}$  این نقاط بیشتر از آنکه تابع میزان مجمع تابش مستقیم و غیرمستقیم باشد از سرعت جریان هوا و دمای هوا این نقاط متأثر

۲۰:۰۰ یکسان می گردد. نمودار ساعتی است.  
تغییرات Tmrt مطابق نمودار ذیل



تصویر (۸): نمودار میانگین دمای تابشی در فضاهای منتخب مجتمع مسکونی. ماخذ: نگارندگان



تصویر (۹): تصویر محیطی میانگین دمای تابشی در ساعت ۱۵. ماخذ: نگارندگان

## نتیجه‌گیری

شده جهت بررسی و ارزیابی خصوصیات و شرایط حرارتی این فضاها در قالب یک مجتمع مسکونی مفروض انجام گردید و نتایج ذیل به دست آمد:

۱. کمترین میزان دمای هوا مربوط گیرنده مجاری شماره ۱ می‌باشد (فضای نیمه‌باز) و مطابق رفتار حرارتی فضای نیمه‌باز فضای نیمه بسته‌ی مجاور فضای نیمه‌باز دمای هوای خنک‌تری را تجربه می‌کند؛ ولی به علت جریان هوای راکدتر دمای هوای بیشتری نسبت به فضای نیمه‌باز تجربه می‌کند. رفتار دمای هوای نقاط منتخب به تفکیک ساعت در نمودار ذیل بیان شده است.

۲. از نظر میزان رطوبت نسبی، ۴ نقطه ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه حاصل شده بیانگر تاثیرپذیر رطوبت نسبی از میزان رطوبت مطلق محیط در فضاهای باز و نیمه‌باز است. این موضوع باتوجه به ثبات دمای هوا در نقاط یاد شده تبیین می‌گردد. فضای نیمه‌بسته به علت مجاورت کمتر با محیط اطراف خود عموماً از میزان

کیفیت فضاهای باز شهری به شدت متأثر از ویژگی‌های حرارتی آن است و ساختار متفاوت فضاهای باز و نیمه‌باز رفتارهای حرارتی متفاوتی دارند. فعالیت‌های متفاوت در فضای باز و نیمه‌باز و اهمیت حضور مردم در این فضاهای ضرورت ارتقای آگاهی در این حوزه در معماری و شهرسازی مدرن به چشم می‌خورد.

بنابراین تعیین ساختار کالبدی و تبیین رفتار و خصوصیات حرارتی فضاهای باز و نیمه در قالب ۴ وضعیت کالبدی مورد پژوهش قرار گرفت، شامل:

- فضای نیمه‌بسته
- فضای نیمه‌باز
- فضای محصور
- فضای باز

بر روی عوامل اقلیمی و محیطی در فضای باز پرداخته می‌شود. بدین منظور، گرم‌ترین روز تهران در سال ۱۳۹۶ (یکشنبه- ۱۵ مرداد ۱۳۹۶) برای شبیه‌سازی فضاهای باز و نیمه‌باز یاد

رطوبت کمتری برخوردار هستند و نسبت به سایر فضاها در طول روز، میزان کمتری از رطوبت نسبی را تجربه می‌کند.

۳. سرعت باد در محیط‌های باز و نیمه مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفت و نتایج آن بیان‌گر سرعت بالای در محیط‌های نیمه‌بسته به علت وجود نواحی پر فشار و کم فشار در مجاورت این گونه فضاهاست و در سایر فضاها کاملاً باز و نیمه‌باز سرعت هوا در این فضا به شدت به سرعت باد در محیط‌های مجاور خود هستند و فضاها را کاملاً محصور نظیر حیاط‌های مرکزی کمتر میزان سرعت باد را تجربه می‌کنند.

۴. میانگین دمای تابشی به‌عنوان موثرترین عامل تأثیرگذار بر حدود آسایش حرارتی در فضای باز مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفت و عوامل مؤثر بر آن

تحلیل گردید. به علت ثابت بودن میزان تابش‌های مستقیم و غیرمستقیم و همچنین مشخصات فیزیکی مصالح، میانگین دمای تابشی این نقاط متأثر میزان دریافت تابش نیستند به استثنای فضای نیمه‌بسته عموماً در سایه قرار دارند. با توجه فرمول محاسباتی میانگین دمای تابشی دریافت می‌شود که سرعت باد و تهویه طبیعی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر میانگین دمای تابشی است و محیطی که سرعت باد بیشتری داشته باشد از میزان دمای میانگین کمتری برخوردار است.

نتایج این پژوهش مربوط به اقلیم تهران در یکی گرم‌ترین روز سال آن است؛ لذا بررسی ساختارهای حرارتی در سایر اقلیم‌ها کاربری‌ها و هندسه‌های متفاوت به‌عنوان پژوهش‌های بعدی توصیه می‌گردد.

#### ملاحظات اخلاقی:

**حامی مالی:** این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.

**تعارض منافع:** طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

**برگرفته از پایان نامه / رساله:** این مقاله مستخرج از رساله / پایان نامه نمی‌باشد.

144, 108-117.

- Almhafdy, A. , Ibrahim, N. , Ahmad, S. S. , & Yahya, J. (2013), Courtyard design variants and microclimate performance. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 101, 170-180.
- Ambrosini, D. , Galli, G. , Mancini, B. , Nardi, I. , & Sfarra, S. (2014), Evaluating mitigation effects of urban heat islands in a historical small center with the ENVI-Met® climate model. *Sustainability*, 6(10), 7013-7029.
- Asawa, T. , Hoyano, A. , & Nakaohkubo, K. (2008), Thermal design tool for outdoor spaces based on heat balance simulation using a 3D-CAD system. *Building and Environment*, 43(12), 2112-2123.
- Berkovic, S. , Yezioro, A. , & Bitan, A. (2012), Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Solar Energy*, 86(5), 1173-1186.
- Bruse, M. (1999), The influences of local environmental design on microclimate-development of a prognostic numerical Model

## منابع

- حیدری، شاهین (۱۳۹۳). سازگاری حرارتی در معماری، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- قیابکلو، زهرا (۱۳۸۶). آشنایی با نرم‌افزار اکوتکت. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.
- عینی‌فر، علیرضا و قاضی‌زاده، سیده ندا (۱۳۸۹). گونه‌شناسی مجتمع‌های مسکونی تهران با معیار فضای باز. نشریه معماری و شهرسازی آرمانشهر، ۵، ۳۵-۴۵.
- دبیرخانه شورای عالی شهرسازی و معماری ایران (۱۳۸۳). مقررات شهرسازی و معماری و طرح‌های توسعه عمرانی. تهران: توسعه ایران.
- Ahmed, K. S. (2003), Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. *Energy and Buildings*, 35(1), 103-110.
- Allegrini, J. , Dorer, V. , & Carmeliet, J. (2015), Influence of morphologies on the microclimate in urban neighbourhoods. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*,

- Cheng, V. , & Ng, E. (2006), Thermal comfort in urban open spaces for Hong Kong. *Architectural Science Review*, 49(3), 236-242.
- Cheng, V. , Ng, E. , Chan, C. , & Givoni, B. (2012), Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. *International journal of biometeorology*, 56(1), 43-56.
- Chow, W. T. , & Brazel, A. J. (2012), Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. *Building and Environment*, 47, 170-181.
- Elnabawi, M. H. , Hamza, N. , & Dudek, S. (2013, August), Use and evaluation of the ENVI-met model for two different urban forms in Cairo, Egypt: measurements and model simulations. In 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France.
- Emmanuel, R. , Rosenlund, H. , & Johansson, E. (2007), Urban shading—a design option for the tropics? A study ENVI-met for the simulation of Wind, temperature and humidity distribution in urban structures. *Temperature and Humidity Distribution in Urban Structures* (in German), Germany, Institute of Geography, University of Bochum.
- Bruse, M. (2004), ENVI-met 3.0: updated model overview. University of Bochum. Retrieved from: [www. envi-met. com](http://www.envi-met.com).
- Bruse, M. , & Fleer, H. (1998), Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software*, 13(3), 373-384.
- Chen, L. , & Ng, E. (2012), Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities*, 29(2), 118-125.
- Chen, L. , & Ng, E. (2013), Simulation of the effect of downtown greenery on thermal comfort in subtropical climate using PET index: a case study in Hong Kong. *Architectural Science Review*, 56(4), 297-305.

- microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: modelling and measurements. *Building and Environment*, 41(12), 1713-1722.
- Hensen, J. L. M. (2002), Simulation for performance based building and systems design: some issues and solution directions. Actes de conférence 6th International Conference on Design and Decision support Systems in Architecture and Urban Planning.
  - Hong, T. , Chou, S. K. , & Bong, T. Y. (2000), Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and environment*, 35(4), 347-361.
  - Höppe, P. (1999), The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International journal of Biometeorology*, 43(2), 71-75.
  - Höppe, P. (2002), Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and buildings*, 34(6),
  - in Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Climatology*, 27(14), 1995-2004.
  - Fahmy, M. , & Sharples, S. (2009), On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt. *Building and Environment*, 44(9), 1907-1916.
  - Gagge, A. P. , Fobelets, A. P. , & Berglund, L. (1986), A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Trans. ; (United States)*, 92(CONF-8606125-).
  - Gál, C. V. (2014), The influence of built form and vegetation on the canopy layer microclimate within urban blocks. *Acta Climatol. Chorol. Univ. Szeged*, 47-48.
  - Ghaffarianhoseini, A. , Berardi, U. , & Ghaffarianhoseini, A. (2015), Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*, 87, 154-168.
  - Gulyás, Á. , Unger, J. , & Matzarakis, A. (2006), Assessment of the

- 713.
- Matzarakis, A. , Rutz, F. , & Mayer, H. (2007), Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *International journal of biometeorology*, 51(4), 323-334.
  - Mayer, H. , & Höppe, P. (1987), Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and applied climatology*, 38(1), 43-49.
  - Nikolopoulou, M. , & Lykoudis, S. (2006), Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *Building and Environment*, 41(11), 1455-1470.
  - Nikolopoulou, M. , & Steemers, K. (2003), Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35(1), 95-101.
  - Peng, L. L. , & Jim, C. Y. (2013), Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. *Energies*, 6(2), 598-618.
  - Salata, F. , Golasi, I. , de Lieto 661-665.
  - Huttner, S. (2012), Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met. Mainz University, Germany.
  - Huttner, S. , Bruse, M. , & Dostal, P. (2008, October), Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. In *5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology (Vol. 18, pp. 307-312)*.
  - Li, J. , Wang, J. , & Wong, N. H. (2016), Urban Microclimate Research in High Density Cities: Case Study in Nanjing. *Procedia Engineering*, 169, 88-99.
  - Lin, T. P. , Matzarakis, A. , & Hwang, R. L. (2010), Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 45(1), 213-221.
  - Lindberg, F. , Holmer, B. , & Thorsson, S. (2008), SOLWEIG 1. 0—Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *International Journal of Biometeorology*, 52(7), 697-

- Taleghani, M. , Tenpierik, M. , van den Dobbelen, A. , & Sailor, D. J. (2014), Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. *Solar Energy*, 103, 108-124.
- Tan, Z. , Lau, K. K. L. , & Ng, E. (2016), Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, 114, 265-274.
- Thorsson, S. , Lindqvist, M. , & Lindqvist, S. (2004), Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 48(3), 149-156.
- Tsiros, I. X. , & Hoffman, M. E. (2014), Thermal and comfort conditions in a semi-closed rear wooded garden and its adjacent semi-open spaces in a Mediterranean climate (Athens) during summer. *Architectural Science Review*, 57(1), 63-82.
- Wang, Y. , Bakker, F. , de Vollaro, A. , & de Lieto Vollaro, R. (2015), How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study. *Energy and Buildings*, 99, 32-49.
- Shahidan, M. F. , Jones, P. J. , Gwilliam, J. , & Salleh, E. (2012), An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. *Building and Environment*, 58, 245-257.
- Spangenberg, J. , Shinzato, P. , Johansson, E. , & Duarte, D. (2008), Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 3(2), 1-19.
- Taleghani, M. , Kleerekoper, L. , Tenpierik, M. , & van den Dobbelen, A. (2015), Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65-78.

- Groot, R. , Wortche, H. , & Leemans, R. (2015), Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by numerical modelling. *Urban ecosystems*, 18(4), 1305-1331.
- Wang, Y. , Berardi, U. , & Akbari, H. (2015), The Urban Heat Island effect in the city of Toronto. *Procedia Engineering*, 118, 137-144.
  - Wong, N. H. , & Jusuf, S. K. (2008), GIS-based greenery evaluation on campus master plan. *Landscape and urban planning*, 84(2), 166-182.
  - Yang, F. , Lau, S. S. , & Qian, F. (2011), Thermal comfort effects of urban design strategies in high-rise urban environments in a sub-tropical climate. *Architectural Science Review*, 54(4), 285-304.