



## بررسی عملکرد حیاط و خصیصه‌های طراحی آن برای بهبود عملکرد گرمایی و آسایش حرارتی در شرایط آب و هوایی تهران

سید محمدرضا ملکی<sup>1</sup>، بهروز محمدکاری<sup>2\*</sup> مهدی معرفت<sup>3</sup>

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران  
 2- استادیار مهندسی عمران (فیزیک ساختمان)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران  
 3- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران  
 \* تهران، صندوق پستی 1696-13145، kari@bhrc.ac.ir

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل  
 دریافت: 13 آذر 1395  
 پذیرش: 12 اسفند 1395  
 ارائه در سایت: 09 اردیبهشت 1396  
 کلید واژگان:

### چکیده

حیاط به‌عنوان یکی از عناصر موجود در طراحی ساختمان از دیرباز همواره مورد توجه معماران ایرانی بوده است. با توجه به نقش ریزاقلمی حیاط و نقش بهبوددهنده آن در عملکرد گرمایی ساختمان، پژوهش‌های بسیاری در این رابطه صورت گرفته است. این پژوهش نقش عوامل طراحی و فرم حیاط را در مراحل پیش‌طراحی با نقطه‌نظر عملکرد گرمایی و همین‌طور شرایط آسایش حرارتی مورد بررسی قرار می‌دهد. در این پژوهش نقش ویژه حیاط در عملکرد گرمایی ساختمان با توجه به جانمایی حیاط و دیگر پارامترهای طراحی مانند نسبت هندسی اضلاع حیاط و جهت‌گیری‌های ساختمان و حیاط مورد بررسی قرار گرفته است. با در نظر گرفتن نقش ریزاقلمی حیاط و همین‌طور شرایط آسایش حرارتی سه نوع طرح هندسی اصلی حیاط یعنی تمام‌بسته، نیمه‌بسته و تمام‌باز توسط نرم‌افزار ENVI-met و حل دینامیک سیالات محاسباتی شبیه‌سازی شد و با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. برای بررسی آسایش حرارتی نیز از مدل ارتقا یافته آسایش حرارتی فنگر برای محاسبه معیار PMV در حیاط استفاده شده است. نتایج حاصل نشان‌دهنده عملکرد گرمایی بهتر حیاط تمام‌بسته بوده و با بررسی نسبت‌های متفاوت طول به عرض در حیاط‌های تمام‌بسته این نتیجه به‌دست آمد که با نزدیک‌تر شدن به نسبت طول به عرض 1، عملکرد حیاط در آسایش حرارتی و همین‌طور پایین‌تر آوردن دمای هوای ریزاقلمی موفق‌تر خواهد بود. همین‌طور با تمرکز بر اقلیم آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی شهر تهران، طبق نتایج این پژوهش جهت‌گیری شمالی-جنوبی و افزایش ارتفاع حیاط به‌عنوان راه‌کارهای مؤثر بر ارتقا عملکرد گرمایی هویژه در هندسه حیاط نیمه‌بسته و تمام‌بسته، پیشنهاد می‌شوند.

## Investigating courtyard and its design parameters for thermal performance and comfort in Tehran climate

Seyyed Mohammad Reza Maleki<sup>1</sup>, Behrooz Mohammad Kari<sup>2\*</sup>, Mehdi Maerefat<sup>1</sup>

- 1- Department Of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.  
 2- Energy, Acoustic & Light Department, Road, Housing & Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran  
 \* P.O.B. 1696-13145, Tehran, Iran, kari@bhrc.ac.ir

### ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper  
 Received 03 December 2016  
 Accepted 02 March 2017  
 Available Online 29 April 2017

### Keywords:

Courtyard  
 Micro-Climature  
 Thermal Comfort  
 Thermal Performance  
 CFD Simulation

### ABSTRACT

Courtyard has been recognized as one of the main elements in the Iranian culture, architecture and building design. According to its micro-climate effect in improving thermal performance of building, courtyard has been considered as a considerable subject for many researches. This paper investigates the courtyard's design parameters and geometric configurations in pre-design states for improving thermal performance and comfort. For achieving this point, in this research the influence of courtyard orientation, horizontal dimensions and other parameters related to geometry have been evaluated. Due to micro-climate effect of courtyard on parameters related to thermal comfort, three main geometric layouts such as closed, semi-closed and open geometry have been investigated and compared by CFD simulations in ENVI-met software. The thermal comfort parameters are also investigated through comparing mean PMV in all simulations cases, using Fanger's extended model. The results showed that thermal performance of closed shaped courtyard is better than other layouts. Also the comparison of results related to different aspect ratios (length to width ratios), provide evidence that thermal performance improves as the aspect ratio gets close to 1. That means as the courtyard shape encloses to the form of a square, the thermal performance improves and the mean air temperature in the investigated microclimates declines. To determine the best configuration for Tehran's climate, the results showed north-south orientation of building and increase of the height of the courtyard, are the two most appropriate considerations that will directly improve the thermal performance and comfort, specifically in closed and semi-closed layout.

### Please cite this article using:

S. M. R. Maleki, B. Mohammad Kari, M. Maerefat, Investigating courtyard and its design parameters for thermal performance and comfort in Tehran climate, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 4, pp. 369-380, 2017 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

## 1- مقدمه

موارد زیر به چند روش سایه‌اندازی که عموماً برای حیاط ساختمان‌ها به کار می‌رود اشاره شده است [9].

- ایجاد سایه با مسقف کردن حیاط
- ایجاد سایه با استفاده از دیگر بخش‌ها و جدارهای ساختمان
- ایجاد سایه با جهت‌گیری مناسب ساختمان
- ایجاد سایه با درخت و پوشش گیاهی

در این پژوهش بر سایه‌اندازی توسط شکل طراحی ساختمان و جهت‌گیری آن تأکید شده است.

## 3- روش‌شناسی پژوهش

## 3-1- پیشینه پژوهش

پژوهش‌های بسیاری در مورد بررسی نقش ریزاقليمی حیاط مورد مطالعه قرار گرفته است. تابالدا و همکاران در سال 2005 با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی به تأثیر و نقش شکل ساختمان و حیاط در رسیدن به شرایط آسایش حرارتی در ساختمان پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اندازه‌های حیاط و جهت‌گیری ساختمان و جایگیری اتاق‌ها بر سرعت هوای داخل اتاق‌ها و آسایش حرارتی تأثیرگذار است [11]. المسری و همکاران در سال 2012 در پژوهشی اثرات اضافه‌کردن حیاط به ساختمان را در اقلیم‌های گرم و خشک دومی مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش مقایسه‌ای میان دو نوع ساختمان با حیاط تمام‌بسته و تمام‌باز صورت گرفته و سپس پارامترهای تأثیرگذار از جمله تعداد طبقات ساختمان، نوع مواد انعکاس‌دهنده، ضخامت دیوارها مورد بررسی قرار گرفته است. مدل بهینه نهایی سبب کاهش مصرف سالیانه انرژی در ساختمان به اندازه 11.16% نسبت به ساختمان معمول می‌شد [15]. یاسا و همکاران در سال 2014 با بررسی 7 مدل مختلف حیاط با هندسه‌های متفاوت و در اقلیم‌های متفاوت و با بررسی اثرات سایه در این مدل‌ها به نتایج تعیین‌کننده برای رسیدن به عملکرد حرارتی بهتر اشاره کرده‌اند. طبق نتایج آن‌ها با نزدیک شدن شکل کف حیاط داخلی به مربع اثرات سایه بیشتر شده و بار سرمایی کاهش می‌یابد [13]. الحمفدی و همکاران در سال 2015 با استفاده از شبیه‌سازی و دینامیک سیالات محاسباتی در تهویه ساختمان و بررسی تهویه طبیعی توسط این روش به بررسی دو نسبت منظری طراحی حیاط و یافتن مشخصات حرارتی و سرعت باد و آسایش حرارتی دست زده است. نتایج این پژوهش نشان داده نسبت منظری در طراحی تأثیر مستقیمی بر آسایش حرارتی خواهد داشت. طبق بررسی آن‌ها حیاط نیمه‌بسته با نسبت منظری 1:1 خواهد داشت [16]. در ایران نیز تزرغان و همکاران در سال 1394 هندسه حیاط را بر مصرف انرژی خانه‌های حیاط در اقلیم گرم و خشک را با تعریف نسبت‌های محیط به ارتفاع حیاط، طول به عرض حیاط و نسبت مساحت بازشو به سطح حیاط مورد بررسی قرار دادند. عمده متغیر مورد توجه پژوهش میزان انرژی خورشیدی حیاط در این پژوهش بوده است. نتایج این پژوهش پیشنهاد تناسب هندسی برای رسیدن به کاهش مصرف انرژی است [17]. عیالی و موحد در سال 1394 با بررسی خانه‌های سنتی شیراز دارای حیاط جهت‌گیری عمده حیاط‌ها و میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط آن‌ها را محاسبه کردند. تحقیقات آن‌ها نشان‌دهنده وجود جهت‌گیری مناسب برای بهبود دریافت انرژی خورشیدی بود [18].

## 3-2- آسایش حرارتی

یکی از راه‌های رسیدن به پایداری و توسعه شهری طراحی و بهینه‌سازی عناصر درونی طراحی شهری است. یکی از روش‌های تهویه ساختمان‌های شهری می‌تواند بازبررسی عناصر موجود در معماری سنتی باشد [1]. با این که حیاط هزاران سال در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، اما امروزه نیز حیاط جایگاهی کلیدی در طراحی ساختمان‌ها در فضای شهری متراکم با اشکال گوناگون و مدرن دارد [2].

استفاده از حیاط یکی از راه‌های معمول تهویه طبیعی است. حیاط می‌تواند یک فضای به نسبت بسته را مانند یک کانال برای هدایت جریان هوا توسط ورودی‌های بزرگ به ساختمان فراهم کند. تراکنش‌های میان هندسه شهری و خصوصیت‌های سطح تحت یک اقلیم آب و هوایی خاص سبب ساخته‌شدن ریزاقليم‌ها<sup>1</sup> می‌شوند. در واقع حیاط با تغییر اقلیم به ریزاقليمی در اطراف ساختمان سبب افزایش جریان هوای درون ساختمان می‌شود [3].

## 2- کارایی گرمایی حیاط

## 1- عوامل تأثیرگذار روی کارایی گرمایی حیاط

شرایط بسیاری برای بررسی کارایی یک حیاط وجود دارد. این شرایط برحسب خصوصیات و فیزیک مسئله می‌تواند به صورت گوناگون دسته‌بندی و بررسی شود. نسبت منظری، جهت‌گیری، شرایط مرزی، درجه و مقدار گشودگی (زاویه رؤیت)<sup>2</sup> و نوع دیوارهای آن مهم‌ترین پارامترهایی که کارایی یک حیاط را تحت تأثیر قرار می‌دهد [4]. براساس دسته‌بندی الداوود [5] کارایی دمایی حیاط توسط متغیرهای بسیاری تحت تأثیر قرار می‌گیرد:

- 1- متغیرهای طراحی مانند ارتفاع، نوع مواد به‌کاررفته در کف حیاط
- 2- متغیرهای اقلیمی و تأثیر آن‌ها بر عملکرد حیاط

به اعتقاد زکریا و همکار او [6] اثرات سایه و تهویه مهم‌ترین ملاحظات برای بررسی طراحی حیاط است. در این پژوهش نیز این دو عامل یعنی اثرات تهویه و سایه مورد توافق برای بررسی قرار گرفت. در یک توضیح جامع و کلی اثرات سایه معمولاً به جهت‌گیری، ارتفاع و همچنین میزان گشودگی (زاویه رؤیت) ساختمان به آسمان بستگی دارد. از سویی اثرات تهویه یا به‌طورکلی اثرات همرفت<sup>3</sup> به شرایط باد بیرونی و با اختلاف دمای حیاط با خارج بستگی دارد [7].

برای بررسی اثرات تهویه در حیاط از روش‌های متفاوتی از جمله مطالعات میدانی و تجربی در اقلیم‌های آب و هوایی مختلف استفاده شده است [9,8]. همین‌طور از مدل‌سازی‌های متنوع چون استفاده از مطالعات تونل هوا و شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی نیز در مواردی که نیازمند بررسی پارامتریک موضوع بوده‌اند استفاده شده است [10,11]. نسبت عرض به طول و همین‌طور نسبت عرض به ارتفاع در حیاط‌های مختلف طبق بررسی‌های پارامتریک مربوط به هندسه حیاط می‌تواند عامل تعیین‌کننده‌ای در عملکرد گرمایی حیاط باشد [12]. همین‌طور نوع هندسه حیاط نیز در عملکرد حرارتی مؤثر است [13,14].

در مورد اثرات مربوط به سایه، جذب تشعشع خورشید توسط سطوح حیاط سبب بالا رفتن دمای آن و لایه هوای برآمده از روی آن شده، در نتیجه دمای هوا در آن محوطه افزایش می‌یابد. در نتیجه در نظر گرفتن شرایط سایه، برای کاهش تشعشع مستقیم خورشید و جذب گرمایی ضروری است. در

<sup>1</sup> Micro-Climates

<sup>2</sup> Exposure

<sup>3</sup> Stack Effect

20% و دمای 35.5 درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد. لازم به یادآوری است برای شبیه‌سازی از جهت و سرعت باد میانگین به‌صورت ثابت با استفاده از داده‌های آب و هوایی واقعی استفاده شده است. طبق این فرض سرعت میانگین باد 3.2 متر بر ثانیه و با جهت 200 درجه نسبت به شمال صورت می‌پذیرد [21].

شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی ریزاقلیم «انوی-مت ۳» انجام شده است. این نرم‌افزار جزو تنها مدل‌های محاسباتی است که می‌تواند خصیصه‌های کلی حیاط و پارامترهایی مانند مختصات جغرافیایی و جهت‌گیری ساختمان و همین‌طور ضرایب سطوح و یا پوشش‌های گیاهی را همراه با حل هم‌زمان تشعشع و جریان هوا منظور نماید [22]. مدل ریزاقلیمی این نرم‌افزار جریان هوا در اطراف ساختمان را با در نظر گرفتن دیگر پارامترهای محیطی مانند ضرایب دید و تشعشع‌های موج کوتاه و یا موج بلند و همین‌طور معادلات مربوط به رطوبت به‌طور هم‌زمان محاسبه می‌کند [23]. متغیرهای اصلی که در نرم‌افزار انوی- مت شبیه‌سازی می‌شوند شامل موارد زیر است.

- جهت و سرعت باد
- دمای هوا
- رطوبت دما
- معادلات توربولانس
- شارهای تشعشعی
- پوشش گیاهی

معادلات مربوط به متغیرهای بالا توسط مدل کلی نرم‌افزار انوی- مت با یکدیگر کوپل شده و محاسبه نهایی انجام می‌شود. معادلات اشاره‌شده در هر بخش با توجه به منبع اصلی کد انوی- مت و پژوهش بروس و فلیر در سال 1998 نوشته شده‌اند [22]. این نرم‌افزار یک مدل محاسباتی سه‌بعدی است که مشخصه‌های سطوح، گیاهان و پارامترهای آلودگی و اندرکنش‌های آب و هوایی را در محدوده خاص شبکه‌بندی 0.5-10 متر و در بازه‌های زمانی 1-10 ثانیه شبیه‌سازی می‌کند. هرچند که تغییر شبکه در این نرم‌افزار انعطاف زیادی ندارد، ولی این نرم‌افزار با استفاده از روش‌های عددی مانند استفاده از شبکه متناوب<sup>۳</sup> و بررسی میزان میدان جریان در بازه‌های محاسباتی مختلف درصد صحت حل عددی برمی‌آید. نرم‌افزار انوی- مت می‌تواند دمای هوا (°C)، فشار بخار آب (hPa)، رطوبت نسبی (%، سرعت باد (m/s) و دمای میانگین تشعشعی (°C) را به‌عنوان نتایج خروجی برای تحلیل ارائه کند. تاکنون پژوهش‌های بسیاری این نرم‌افزار را مورد تأیید قرار داده‌اند و برای شبیه‌سازی توأمان تشعشع و جریان در یک ریزاقلیم از آن استفاده کرده‌اند [25,24]. پژوهش‌های دیگری نیز میزان خطای شبیه‌سازی عددی با داده‌های تجربی را در این نرم‌افزار مورد بررسی و روش عددی مورد استفاده را مورد تأیید قرار داده‌اند [26]. پژوهش‌هایی در این زمینه یعنی بررسی عوامل مؤثر بر کارکرد حرارتی حیاط و محیط بیرونی ساختمان و تأثیر آن بر ریزاقلیم ایجادشده با استفاده از همین نرم‌افزار در اقلیم‌ها و کشورهای مختلف صورت گرفته است [24,9].

### 3-3-1- فرض‌های مربوط به شبیه‌سازی

فرض‌های استفاده‌شده برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار انوی- مت شامل موارد زیر است [22].

آسایش حرارتی در این پژوهش توسط معیار «متوسط رأی پیش‌بینی‌شده»<sup>۱</sup> اصلاح‌شده صورت می‌گیرد. PMV در ابتدا برای تمعین آسایش حرارتی در داخل ساختمان استفاده می‌شده است؛ اما بعدها برای استفاده در محیط بیرون ساختمان نیز اصلاح شد و ارتقا یافت [19]. معادله تعادل انرژی نشان‌دهنده تبادل گرما میان بدن و محیط بیرونی به‌صورت رابطه (1) است.

$$M + W + Q_R(MRT, \vartheta) + Q_H(T_a, \vartheta) + Q_L(e, \vartheta) + Q_{SW}(e, \vartheta) + Q_{RS}(T_a, e) = S \quad (1)$$

که در معادله بالا  $M$  نرخ متابولیک،  $W$  مقدار فعالیت فیزیکی بدن،  $Q_R$  مقدار گرمای تشعشعی که تابعی از دمای میانگین تشعشعی ( $MRT$  °C) و سرعت هواس  $\vartheta$  (m/s) است.  $Q_H$  مقدار شار آشفته محسوس حرارتی که تابعی از دمای هوا ( $T_a$  °C) و همین‌طور سرعت هواس  $Q_L$  مقدار گرمای نهان ناشی از تبخیر رطوبت پخش‌شده روی سطح پوست و وابسته به رطوبت ( $e$ ) و سرعت هواس  $Q_{SW}$  مقدار گرمای نهان تبخیر ناشی از تعرق و  $Q_{RS}$  مقدار گرمای ناشی از تنفس (هم نهان و هم محسوس) و  $S$  مقدار گرمای ذخیره شده است. در معادله بالا تمامی عبارات کلی دارای واحد  $W \cdot m^{-2}$  هستند. نرخ متابولیک همیشه مثبت و مقدار کار، گرمای نهان ناشی از تبخیر رطوبت و تنفس نیز همیشه منفی است.

مقدار تشعشع خورشید تأثیر به‌سزایی روی آسایش حرارتی دارد. کلید استفاده از معادله فنگر اصلاح‌شده با در نظر گرفتن تشعشع مقدار  $MRT$  یا میانگین دمای تشعشعی در هنگام تابش مستقیم خورشید است. به صورت معمول معیار PMV بین -4 تا +4 و در هنگام آسایش نزدیک به 0 خواهد بود، ولی این معیار یک معیار ایستا<sup>۲</sup> است، به این معنی که بدن فرد مدت زمان زیادی برای رسیدن به نقطه تعادل گرمایی در یک وضعیت آب و هوایی خاص نیاز دارد. به همین دلیل باید گفت PMV در واقع تابعی از موقعیت آب و هوایی محلی است که فرد در آن قرار گرفته است. از این‌رو می‌توان بیان کرد که این معیار می‌تواند مقادیری کمتر و یا بیشتر از حدود آسایش تعیین شده نیز در محیط بیرون از ساختمان پیدا کند. در این پژوهش برای محاسبه آسایش حرارتی از پارامترهای مطابق با جدول 1 منطبق با داده‌های میانگین ارائه‌شده در پژوهش لیچنتنبلت و همکارانش [20] متناسب با جنسیت، سن و خصوصیات فیزیکی متفاوت استفاده شده است.

### 3-3-3- شبیه‌سازی

شبیه‌سازی کلی برای بررسی عملکرد دمایی حیاط در شهر تهران در تابستان و به‌یشینه دمایی این اقلیم صورت می‌گیرد. در این مقطع زمانی شهر تهران دارای به‌یشینه دمایی 38 و کمینه دمایی 21 درجه سانتی‌گراد است. شبیه‌سازی در روز 3 مرداد ماه (روز بحرانی طراحی) با رطوبت نسبی میانگین

جدول 1 فرض‌های موجود برای محاسبه آسایش حرارتی

پارامتر مربوط به آسایش حرارتی	مقدار انتخاب‌شده
سن فرد	30
قد (m)	1.75
وزن (kg)	75
پوشش (Clo)	0.9
سرعت راه رفتن (m/s)	0.2
نرخ متابولیک (W)	127

<sup>1</sup> Predicted Mean vote (PMV)

<sup>2</sup> Stationary

<sup>3</sup> ENVI-met v4.0

<sup>4</sup> Staggered grid

حیاط به معماران و طراحان معرفی کند. بنا به الزام موجود در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان در ایران [27] که برای فضای محصور و پاسیو حداقل 6% مساحت ساختمان بالای 100m<sup>2</sup> با حداقل عرض 3m را برای حیاط محصور در نظر می‌گیرد. در این مسئله سعی شده است ساختمان‌هایی با زیربنای تقریبی 200m<sup>2</sup>، حداقل عرض 3m و با نسبت‌های مختلف طول به عرض ساختمان و حیاط در نظر گرفته شود.

جدول 3 هندسه‌های موردنیاز بررسی را با استفاده از قیدهای طراحی اشاره شده برای یک ساختمان با طرح‌های متفاوت نشان می‌دهد. علاوه بر این جهت‌گیری‌های مختلف هر یک از هندسه‌ها برای بررسی اثرات سایه‌اندازی و مقدار تشعشع در میان مدل‌های مختلف لحاظ شده است. در این طرح‌های اولیه ارتفاع ساختمان‌ها و بررسی نقش آن‌ها به علت دویعدی بودن طرح لحاظ نشده است. در ادامه نقش ارتفاع نیز به دلیل حل سه‌بعدی مدل‌ها با ارتفاع متفاوت بررسی خواهد شد. از نام‌گذاری‌های شرقی- غربی<sup>4</sup>، غربی- شرقی<sup>5</sup>، شمالی- جنوبی<sup>6</sup> و جنوبی- شمالی<sup>7</sup> برای سهولت در نام‌گذاری مدل‌های هندسی در جهت‌گیری‌های متفاوت استفاده شده است.

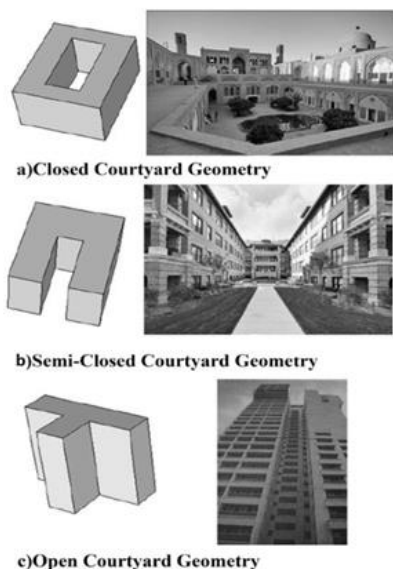


Fig. 1 Different courtyard geometry and layout [6]

شکل 1 انواع مختلف هندسه و طرح‌های حیاط [6]

جدول 3 مدل‌های موردنظر شبیه‌سازی براساس ارتفاع و نوع هندسه

Table 3 Different models due to their geometry and heights

ارتفاع (m)	ابعاد حیاط (m)	ابعاد ساختمان (m)	شبکه‌بندی مسئله	نام مدل هندسی
3	3-3	15-15	50-50-30	M1
3	3-4	12-18	50-50-30	M2
3	3-6	10-20	60-50-30	M3
3	4-4	15-15	50-50-30	M4
6	4-4	15-15	50-50-35	M5
9	4-4	15-15	50-50-40	M6
3	4-4	15-15	50-50-35	M7
6	4-4	15-15	50-50-35	M8
9	4-4	15-15	50-50-40	M9
3	4-4	18-15	60-50-35	M10
6	4-4	18-15	60-50-35	M11
9	4-4	18-15	60-50-40	M12

<sup>4</sup> East to West Orientation (EW)

<sup>5</sup> West to East Orientation (WE)

<sup>6</sup> North to South Orientation (NS)

<sup>7</sup> South to North Orientation (SN)

- سطح زمین صاف بوده و زبری ندارد.
- ساختمان‌ها به صورت جعبه مدل‌سازی می‌شوند.
- شبکه‌بندی با ابعاد 0.5-1 متر صورت می‌پذیرد. شبکه‌های گسترده‌تر تنها در محور ارتفاع (z) با اندازه‌های مساوی و یا به صورت تصادفی (تلسکوپی) شکل می‌پذیرد.
- پروفیل سرعت باد همان‌طور که پیشتر اشاره شد در تمام زمان محاسبه ثابت و یکسان در نظر گرفته می‌شود؛ به همین دلیل سرعت باد در نزدیکی تمام سطوح یکسان است.
- ساختمان‌ها دمای یکسان دارند و نرخ تولید حرارت در آن‌ها برابر با نرخ از دست رفتن گرماست.

در مورد سومین فرض هرچند در نگاه اول شبکه موردنظر در مقیاسی بزرگ به نظر می‌رسد، ولی باید توجه داشت که این اندازه‌ها برای مدل‌سازی ریزاقلیم اندازه‌های مناسبی هستند. پنجمین فرض نیز به این علت که آسایش حرارتی در طول روز مطرح است، شرط مناسبی است. دمای بلوک اولیه نیز با توجه به شرط 5 در ابتدای شبیه‌سازی براساس داده آب و هوایی و مقدار اولیه دمای هوا توسط نرم‌افزار تخمین زده خواهد شد. بدیهی است مقدار دمای سطوح ساختمان‌ها در طول مدت شبیه‌سازی و با بالا رفتن دمای هوا در طول روز تغییر می‌کند.

### 3-2-3- شرایط مربوط به شبیه‌سازی

شرایط موجود برای شبیه‌سازی مطابق با جدول 2 است. خواص فیزیکی و حرارتی دیوارها و سقف‌ها مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار انتخاب شده است [22].

### 3-4- هندسه‌های مورد نظر برای شبیه‌سازی

دسته‌بندی‌های متفاوتی در میان هندسه‌های مختلف حیاط برای بررسی انواع حیاط و مقایسه میان کارکرد گرمایی میان آن‌ها معرفی شده است. در این پژوهش دسته‌بندی «هاید<sup>1</sup>» به عنوان دسته‌بندی مناسب برای انواع هندسه حیاط با تکیه بر کارایی حیاط مورد توافق قرار گرفت که مطابق زیر است [6].

- حیاط تمام‌بسته
- حیاط نیمه‌بسته
- حیاط تمام‌باز

شکل 1 انواع مختلف هندسه حیاط را نشان می‌دهد. این پژوهش درصدد آن است تا فرم<sup>2</sup> اولیه‌ای را برای ساختمان‌های متفاوت برای طراحی هندسی

جدول 2 شرایط ورودی برای شبیه‌سازی

Table 2 Initial condition and inputs for simulation

مقدار	پارامتر ورودی	مقدار	پارامتر ورودی
20	دمای اولیه بلوک ساختمان (°C)	1394/5/3	روز محاسبه
200	جهت میانگین باد (درجه)	35.5	متوسط دمای هوا (°C)
k-ε	حل توربولانس	11.4	دمای شرایط اولیه (°C)
0.8	ضریب بازتاب تشعشعی <sup>3</sup> سقف	3.1	سرعت متوسط باد (m/s)
0.8	ضریب بازتاب تشعشعی دیوار	35%	میانگین رطوبت نسبی
0.9	ضریب انتقال حرارت سقف (W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> )	بلوک سیمانی	جنس دیوار
0.9	بلوک سیمانی	بلوک سیمانی	جنس سقف
		تهران	موقعیت جغرافیایی

<sup>1</sup> Hyde

<sup>2</sup> Layout

<sup>3</sup> Albedo

#### 4- حل مسئله و شبیه‌سازی

##### 1-4- بررسی هندسه‌ی تمام‌بسته

بررسی هندسه تمام‌بسته شامل 3 قسمت خواهد بود. بررسی جهت‌گیری حیاط با فرم مربع که در شکل 2 مشخص شده است. همین‌طور بررسی نسبت‌های منطقی مختلف (0.5، 0.66، 1.5 و 2) در حیاط تمام‌بسته که در شکل 3 مشخص شده و بررسی نقش ارتفاع برای بررسی تأثیر ارتفاع در کارایی گرمایی حیاط تمام‌بسته از مدل اولیه که مدل حیاط متقارن بود استفاده شد. از آن‌جا که نتایج مربوط به حیاط با ابعاد 3m×3m طبق بررسی‌هایی که در قسمت نتایج به آن‌ها اشاره شده است، شباهتی بسیار به یکدیگر داشت، ابعاد حیاط 4m×4m در نظر گرفته شد تا نتایج اثر ارتفاع در تمام سطح حیاط بیشتر محسوس باشد. همان‌طور که در شکل 4 مشخص است حیاط با فرم مربع در ارتفاع‌های 3، 6 و 9 متر یعنی یک، دو و سه طبقه مورد پژوهش قرار گرفته است.

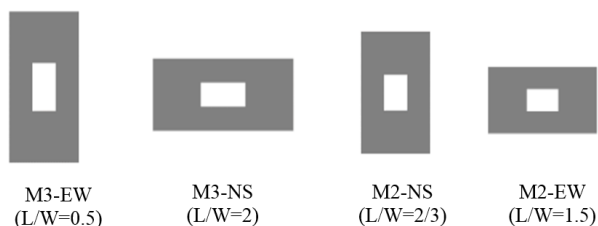
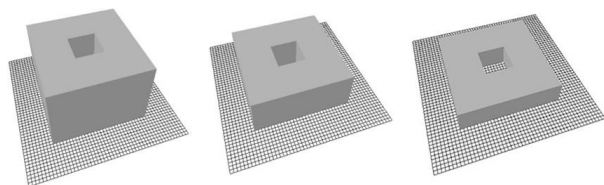


Fig. 3 Courtyard with different aspect ratios

شکل 3 حیاط‌های تمام‌بسته با نسبت‌های منطقی متفاوت



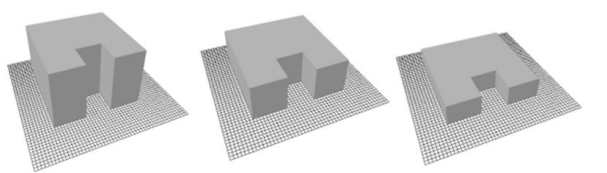
M6 (3 Stories)

M5 (2 Stories)

M4 (1 Storey)

Fig. 4 Closed courtyards with different heights

شکل 4 حالت‌های مختلف حیاط تمام‌بسته با ارتفاع‌های متفاوت



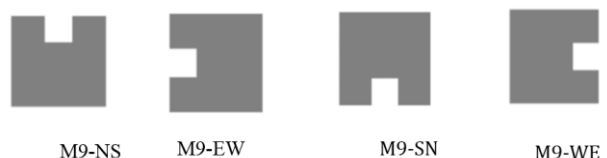
M9 (3 Stories)

M8 (2 Stories)

M7 (1 Storey)

Fig. 5 Semi-Closed courtyards with different heights

شکل 5 حالت‌های مختلف حیاط نیمه‌بسته با ارتفاع‌های متفاوت



M9-NS

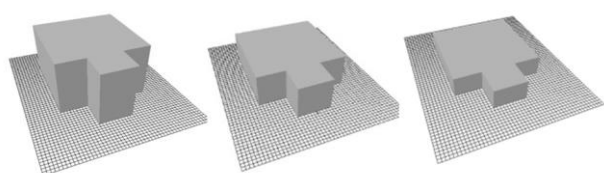
M9-EW

M9-SN

M9-WE

Fig. 6 Different orientation of semi-closed courtyard

شکل 6 جهت‌گیری متفاوت حیاط نیمه‌بسته



M12 (3 Stories)

M11 (2 Stories)

M10 (1 Storey)

Fig. 7 Open courtyards with different heights

شکل 7 حالت‌های مختلف حیاط تمام‌باز با ارتفاع‌های متفاوت

#### 4-4- صحت‌سنجی و آزمون ابزار شبیه‌سازی

همان‌طور که در بخش شبیه‌سازی نیز مطرح شد پژوهش‌های معتبر بسیاری صحت عملکرد این نرم‌افزار را مورد بررسی و تأیید قرار داده‌اند. از این‌رو برای صحت‌سنجی شبیه‌سازی صورت گرفته با توجه به موجود بودن داده‌های آب و هوایی و همین‌طور شبیه‌سازی در پژوهش غفاریان‌حسینی و همکاران او، شبیه‌سازی این پژوهش در شهر مالزی با شرایط آب و هوایی و جغرافیایی مورد مقایسه قرار گرفت [24]. نتایج پژوهش کنونی همان‌طور که در شکل 9 نیز مشخص است نشان از نزدیکی داده‌های تجربی و شبیه‌سازی‌شده با این

##### 2-4- بررسی هندسه نیمه‌بسته

در این بررسی سه مدل با ارتفاع‌های مختلف و در واقع با طبقات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های 7، 8 و 9 به ترتیب معین‌کننده حیاط نیمه‌بسته با عرض و طول یکسان و با ارتفاع‌های 3، 6 و 9 متری است که در شکل 5 نیز نشان داده شده‌اند. برای بررسی جهت‌گیری در این هندسه 4 جهت‌گیری اصلی با توجه به قرارگیری سمت باز حیاط نسبت به جهت شمال مورد بررسی قرار گرفت تا با نتایج مربوط به حیاط تمام‌بسته مورد مقایسه قرار گیرد. ارتفاع مدل‌های بررسی‌شده برای بهتر بودن نتایج سه طبقه (9m) انتخاب شد تا تأثیرات ارتفاع در نتیجه بررسی جهت‌گیری مؤثر نباشد. مدل‌های استفاده‌شده هندسی برای تحقیق و مقایسه در شکل 6 مشخص هستند.

##### 3-4- بررسی هندسه تمام‌باز

برای بررسی کارایی گرمایی حیاط باز از سه مدل با ارتفاع‌های مختلف و در واقع با طبقات مختلف استفاده شد. مدل‌های 10، 11 و 12 به ترتیب معین‌کننده حیاط تمام‌باز با عرض و طول یکسان و با ارتفاع‌های 3، 6 و 9 متری هستند که در شکل 7 نیز نشان داده شده‌اند. در حیاط تمام‌باز باید توجه داشت که دو قسمت باز در مجاورت محیط بیرونی برای هر حیاط وجود دارد که با توجه به مدل‌های موجود در شکل 8 در مدل 12 با جهت‌گیری غربی-شرقی (نخستین شکل از سمت راست) قسمتی که در بالا قرار دارد بالادست و قسمتی که در پایین وجود دارد، پایین‌دست حیاط تعریف می‌شود. به همین نسبت با دوران مدل حیاط باز، قسمت بالادست و پایین‌دست، دوران خواهند کرد. در این شبیه‌سازی 4 جهت‌گیری اصلی با توجه به قرارگیری حیاط نسبت به جهت شمال مورد بررسی قرار گرفت. ارتفاع مدل‌های بررسی‌شده برای بهتر بودن نتایج سه طبقه (9m) انتخاب شد تا تأثیرات ارتفاع در نتیجه بررسی جهت‌گیری مؤثر نباشد.



M1-NW (Diagonal orientation)

M1-EW (Normal orientation)

Fig. 2 Two square layouts with different orientation

شکل 2 دو مدل تمام‌بسته مربع با جهت‌گیری‌های مختلف

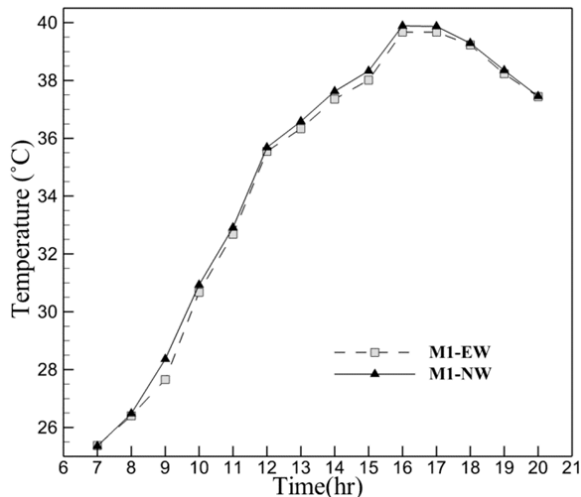


Fig. 10 Mean air temperature for diagonal and normal square layouts at 1.5m above ground

شکل 10 دمای هوای میانگین برای مدل‌های مربع با جانمایی قطری و معمولی در ارتفاع 1.5m

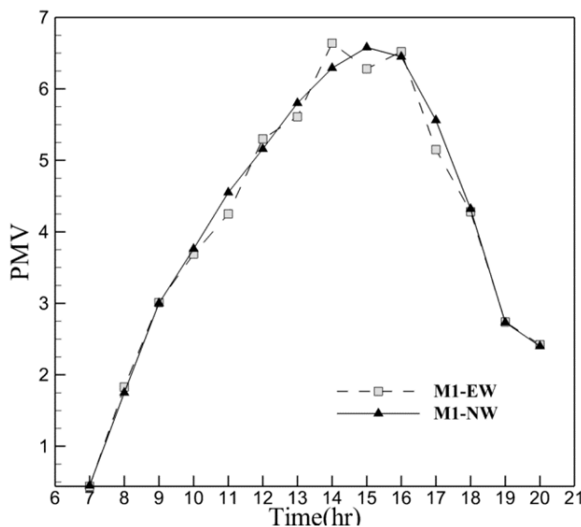


Fig. 11 Calculated mean PMV: diagonal and normal square layouts at 1.5m above ground

شکل 11 میانگین معیار آسایش حرارتی محاسبه‌شده برای مدل‌های مربع با جانمایی قطری و معمولی در ارتفاع 1.5m

حداقل  $0.5^{\circ}\text{C}$ ، عملکرد بهتری نسبت به دیگر طرح‌ها با نسبت ضرایب طول به عرض دیگر دارد. می‌توان بر مبنای پارامتر دمای هوای میانگین این‌طور نتیجه گرفت که در مدل‌ها با نسبت منظری متفاوت، هر چه حیاط به سمت مربع شدن (نسبت طول به عرض 1) نزدیک شود دمای هوا کمتر خواهد بود؛ از سویی نتایج دو مدل با نسبت طول به عرض 1 و همین‌طور 1.5 بسیار نزدیک به یکدیگر است؛ هرچند ساختمان با نسبت طول به عرض 1.5 نتایج بهتری در دمای هوای میانگین نسبت به مدل با نسبت طول به عرض 1 دارد. با توجه به شکل‌های 13 و 15 نیز آسایش حرارتی در مدل 1 که نسبت طول به عرض 1 را دارد، در ساعات اوج گرما از روندی خلاف مدل در جهت‌گیری دیگر پیروی می‌کند. عملکرد این مدل در آسایش حرارتی در هر دو نوع جهت‌گیری شمالی-جنوبی و شرقی-غربی بهتر از دیگر مدل‌هاست. با توجه به بررسی دیگر پژوهش‌ها مانند پژوهش برکویچ و همکاران [9] مقدار تفاوت

پژوهش دارد. شبیه‌سازی این پژوهش در مقایسه با شبیه‌سازی معیار به دلیل استفاده از داده‌ی اولیه مناسب و استفاده از نقطه شروع دقیق در ساعت 6 صبح (شرایط اولیه دمایی و رطوبت واقعی در اقلیم آب و هوایی مالزی) عملکرد بهتری داشته است و نزدیکی بیشتری به داده‌های آب و هوایی موجود در تحقیق نام‌برده دارد.

## 5- نتایج

### 5-1- بررسی هندسه تمام‌بسته متقارن با نسبت منظری یک

همان‌طور که در شکل 10 مشهود است دمای میانگین مربوط به مدل با جهت‌گیری عادی تا  $0.5^{\circ}\text{C}$  خنک‌تر از دمای مدل با جهت‌گیری قطری است. با توجه به شکل 11 در مورد آسایش حرارتی باید اشاره کرد که مقادیر بالای PMV در نمودارهای مربوط به حیاط نشان‌دهنده عدم وجود آسایش حرارتی در ساعاتی از روز است. آسایش حرارتی در مدل عادی در ساعاتی از روز مقادیر کمتری به نسبت مدل با جهت‌گیری قطری دارد. در نهایت تفاوت چندانی در کارایی گرمایی دو حیاط دیده نمی‌شود و هر دو نتایج تقریباً یکسانی با دو جهت‌گیری متفاوت دارند. اثرات سایه‌اندازی برای ایجاد آسایش حرارتی در این نوع حیاط کافی نیست و آسایش حرارتی مطلوب را تنها تا ساعاتی از صبح داریم.

### 5-2- بررسی هندسه و جهت‌گیری‌های مختلف حیاط بسته

با توجه به شکل‌های 12 و 14 در جهت‌گیری شرقی-غربی دمای ساختمان با نسبت منظری 1.5 به نسبت دیگر مدل‌ها تا  $0.5^{\circ}\text{C}$  کمتر است. از طرفی دمای هوا در مدل با نسبت منظری 1 در ساعاتی از روز با اختلاف‌های  $1^{\circ}\text{C}$  و



Fig. 8 Different orientation of open courtyard

شکل 8 جهت‌گیری متفاوت حیاط تمام‌باز

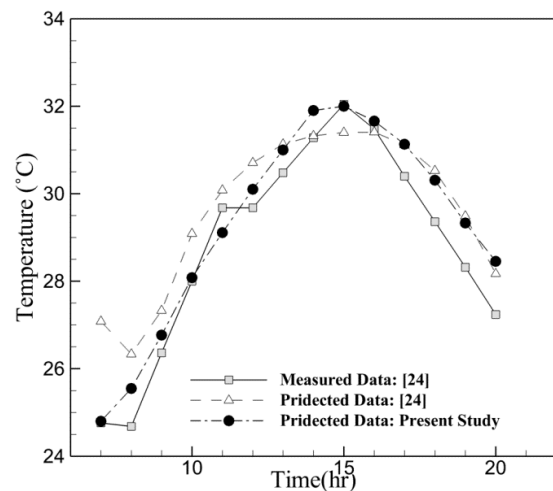


Fig. 9 Validating the simulation by comparing mean air temperature results: reference's and present study's data at 3m above ground

شکل 9 صحت‌سنجی شبیه‌سازی با مقایسه داده‌های میانگین دمای هوا حیاط مابین داده‌های مرجع و این پژوهش در ارتفاع 3m

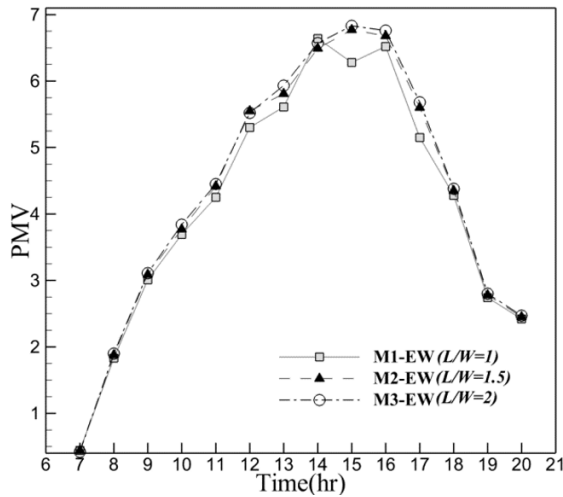


Fig. 13 Calculated mean PMV of different aspect ratios layouts at 1.5m above ground

شکل 13 میانگین آسایش حرارتی محاسبه شده مدل‌ها با نسبت‌های منطقی متفاوت در ارتفاع 1.5m

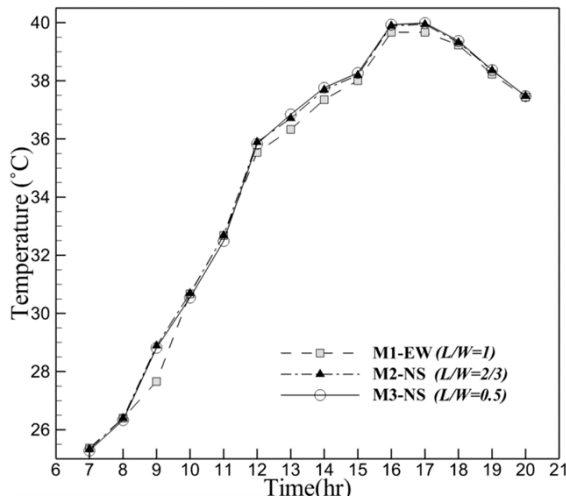


Fig. 14 Mean air temperature of different aspect ratios layouts at 1.5m above ground

شکل 14 دمای هوای میانگین برای مدل‌ها با نسبت‌های منطقی متفاوت در ارتفاع 1.5m

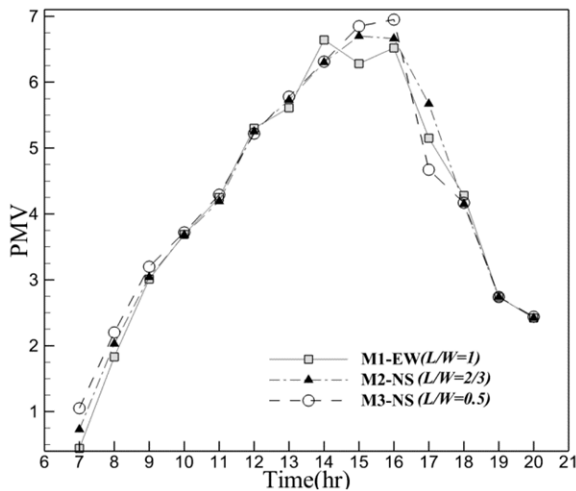


Fig. 15 Calculated mean PMV of different aspect ratios layouts at 1.5m above ground

شکل 15 میانگین آسایش حرارتی محاسبه شده مدل‌ها با نسبت‌های منطقی متفاوت در ارتفاع 1.5m

دمای هوای میانگین حیاط با نسبت منطقی بهینه با دیگر مدل‌ها در موقعیت جغرافیایی اسرائیل تا 0.5 درجه سانتی‌گراد بوده است. با توجه به مقایسه میان نتایج این پژوهش با نتایج مرجع یادشده می‌توان گفت مقدار اختلاف دمای 1 درجه به دست آمده می‌تواند مقداری قابل توجه باشد.

### 3-5- بررسی نقش ارتفاع در حیاط تمام‌بسته

در این قسمت هر دو نوع تشعشع موج کوتاه (پخش شده و مستقیم) و دمای میانگین هوا را مورد بررسی قرار داده‌ایم. همان‌طور که در شکل 16 نیز مشهود است با افزایش ارتفاع و تعداد طبقات ساختمان در حیاط تمام‌بسته دمای هوا در ساعات اولیه صبح تغییر چندانی در میان مدل‌های مختلف ندارد؛ ولی با گذشت زمان و از ساعات ظهر تا اوج گرما یعنی ساعت 16 تفاوت محسوس تا 2°C در میان مدل 3 طبقه و یک طبقه خواهیم داشت.

تفاوت دمایی میان مدل‌های دو طبقه و سه طبقه در ساعات نزدیک به غروب آفتاب بسیار کمتر شده و از کاهش تأثیر نقش ارتفاع در دمای هوای میانگین خبر می‌دهد. در نتیجه بررسی شکل 17 یعنی بررسی شار تشعشعی مستقیم و پخشی در مدل‌های مورد بررسی باید اذعان کرد که اختلاف میان میزان تابش مستقیم آفتاب به حیاط در مدل‌ها با ارتفاع بیشتر (9m و 6m) کاملاً محسوس است، به گونه‌ای که برای مثال در ساعات اولیه صبح مدل سه طبقه تا ساعت 10 صبح هیچ گونه بار حرارتی مستقیمی دریافت نمی‌کند، یعنی به دلیل سایه‌اندازی جدارها، تشعشع مستقیمی بر کف و جدارهای رو به حیاط نخواهیم داشت، و اوج شار حرارتی دریافت شده در این مدل، در ساعت 12 ظهر، 500 W.m<sup>-2</sup> است. این در حالی است که ساختمان یک طبقه و نیز دو طبقه بیشینه شار مستقیم دریافتی تا 800 W.m<sup>-2</sup> داشته و از ساعت 7 صبح شار مستقیم را دریافت کرده‌اند. با بررسی نتایج می‌توان به این نکته پی برد که در مدل یک طبقه (مدل 4)، بار تشعشعی پخش شده 3 برابر دیگر مدل‌های 2 و 3 طبقه بوده است. بار تشعشعی پخش شده میان مدل‌های دو طبقه (مدل 5) و سه طبقه (مدل 6) تفاوت چندانی ندارد، هر چند که بار تشعشعی دریافتی روی سطوح برای ساختمان 3 طبقه از ساختمان 2 طبقه کمتر است

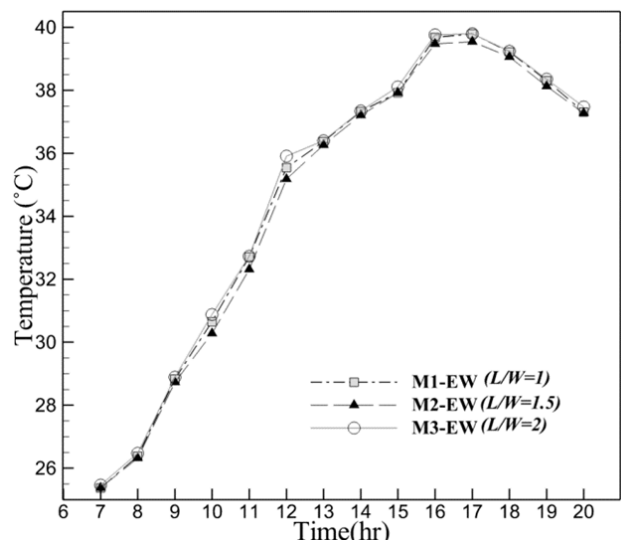


Fig. 12 Mean air temperature of different aspect ratios layouts at 1.5m above ground

شکل 12 دمای هوای میانگین برای مدل‌ها با نسبت‌های منطقی متفاوت در ارتفاع 1.5m

آسایش حرارتی کمتر بوده است. همان‌طور که در شکل 19 (کانتور آسایش حرارتی) نیز مشخص است عملکرد حیاط نیمه‌بسته در هیچ یک از جهت‌گیری‌ها در مقایسه با حیاط نیمه‌بسته (مدل 6) بهتر نیست و آسایش حرارتی بیشتر و یکنواخت‌تری در حیاط تمام‌بسته نسبت به مدل نیمه‌بسته وجود دارد.

#### 5-5- بررسی اثر ارتفاع در کارایی گرمایی حیاط نیمه‌بسته

در بررسی نقش ارتفاع در عملکرد حرارتی حیاط نیمه‌بسته این نکته به خوبی مشهود است که در اثر بهبود اثر سایه‌اندازی به علت افزایش ارتفاع ساختمان اثر عواملی چون دما و میزان تشعشع کاهش می‌یابد. براساس شکل 20 با افزایش ارتفاع و طبقات ساختمان در حیاط نیمه‌بسته دمای هوا تغییر چندانی در میان مدل‌های مختلف ندارد. برخلاف این مدل در تمام‌بسته این اختلاف دما در میان طبقات با افزایش ارتفاع مشهود بود. مدل 3 طبقه تا  $0.5^{\circ}\text{C}$  در ساعاتی از سایر مدل‌ها کمتر و نشان‌دهنده عملکرد بهتر در این زمینه است. با بررسی نتایج ارائه‌شده شکل 21 یعنی بررسی شار

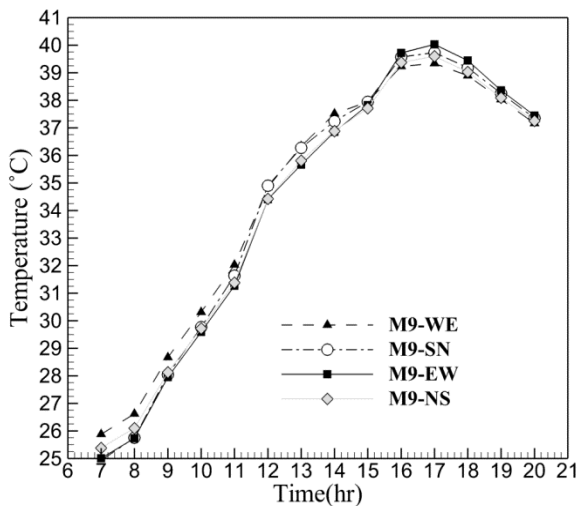


Fig. 18 Mean air temperature of different orientation at 1.5m above ground, semi-close courtyard

شکل 18 میانگین دمای هوا در جهت‌گیری‌های مختلف حیاط نیمه‌بسته در ارتفاع 1.5m

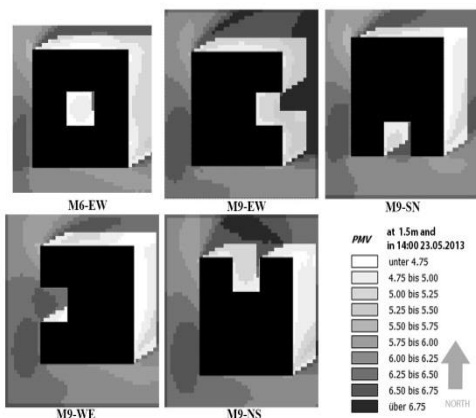


Fig. 19 PMV contour of different orientation of semi-closed courtyard at 14:00 at 1.5m above ground

شکل 19 کانتور آسایش حرارتی در جهت‌گیری‌های مختلف حیاط نیمه‌بسته در ساعت 14:00 و در ارتفاع 1.5 متر

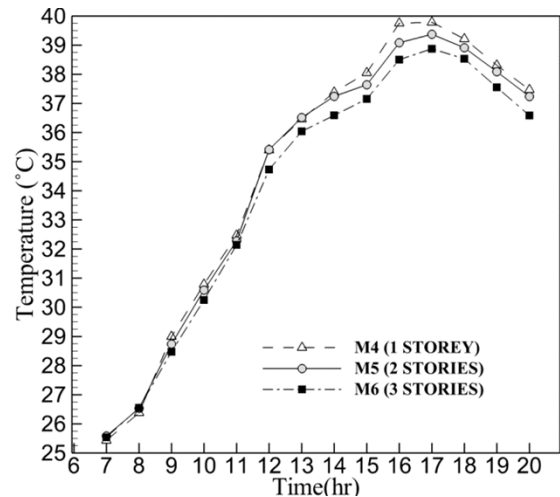


Fig. 16 Mean air temperature of closed courtyard at 1.5m above ground with different heights

شکل 16 میانگین دمای هوای حیاط تمام‌بسته با ارتفاع‌های متفاوت در ارتفاع 1.5m

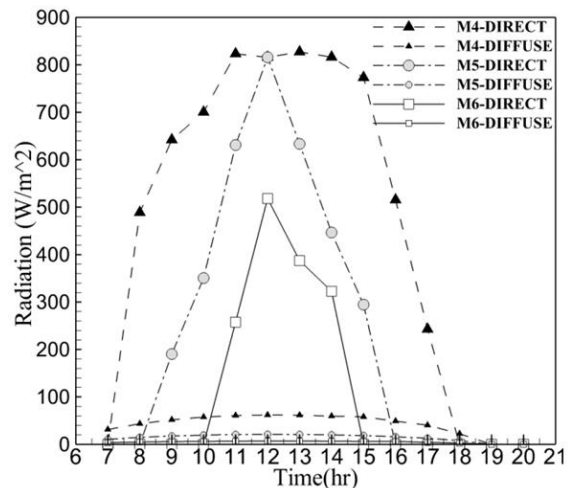


Fig. 17 Mean radiation for closed courtyard with different heights at 1.5m above ground

شکل 17 میانگین تشعشع برای حیاط تمام‌بسته با ارتفاع متفاوت در ارتفاع 1.5m

#### 4-5- بررسی جهت‌گیری در کارایی گرمایی حیاط نیمه‌بسته

با توجه به شکل 18 دمای هر چهار جهت‌گیری نزدیک به یکدیگر است. جهت‌گیری‌های شرقی- غربی و شمالی- جنوبی به مقدار  $0.5^{\circ}\text{C}$  تفاوت دمایی با مدل‌های دیگر دارند. با بررسی دقیق نتایج می‌توان به این نتیجه دست‌یافت که جهت‌گیری شرقی- غربی برای حیاط با هندسه نیمه‌بسته تا پیش از ساعت اوج گرما بهترین عملکرد را دارد، اما از شروع ساعات اوج گرما یعنی ساعت 15 دمای میانگین در این جهت‌گیری تا  $1^{\circ}\text{C}$  از دیگر جهت‌گیری‌ها بیشتر است و در نتیجه عملکرد ضعیف‌تری دارد. جهت‌گیری که در هر دو بازه یعنی پیش از ساعات اوج گرما و در اوج گرما تا غروب آفتاب عملکرد مناسبی دارد، جهت‌گیری شمالی- جنوبی است. با بررسی شکل 19 یعنی کانتور آسایش حرارتی نیز می‌توان به این نتیجه دست‌یافت که دو جهت‌گیری شرقی- غربی و شمالی- جنوبی نیز در میان دیگر جهت‌گیری‌های موجود در ساعت بحرانی روز یعنی ساعت 14 مقدار آسایش حرارتی بیشتری دارند. بدترین عملکرد در آسایش حرارتی مربوط به جهت‌گیری غربی- شرقی و بهترین عملکرد مربوط به جهت‌گیری شمالی- جنوبی براساس میزان



گرمایی به نسبت حیاط تمام‌بسته کمتر است.

### 5-6- بررسی تأثیر جهت‌گیری بر کارایی گرمایی حیاط تمام‌باز

حیاط تمام‌باز دو قسمت بالادست و پایین‌دست دارد. با توجه به نتایج مربوط به تغییرات دما در شکل‌های 22 و 23 می‌توان این نکته را دریافت که برای مدل‌هایی که جهت‌گیری شمالی-جنوبی و همین‌طور جنوبی-شمالی دارند، مقدار دمای میانگین هوا در بالادست و پایین‌دست حیاط تغییرات یکسانی ندارد. برای روشن شدن این موضوع می‌توان به جهت‌گیری شمالی-جنوبی در قسمت بالادست و پایین‌دست در ساعات 14-19 در شکل‌های 22 و 23 توجه کرد. در قسمت پایین‌دست حیاط در این مدل دمای هوا به نسبت دیگر جهت‌گیری‌ها، در برخی ساعات تا  $1.5^{\circ}\text{C}$  کمتر است، با این حال در همین مدل در قسمت بالادست دمای بیشتری به نسبت دیگر جهت‌گیری‌ها وجود دارد. این مسئله برای جهت‌گیری غربی-شرقی حیاط تمام‌باز نیز صادق است؛ یعنی در قسمت پایین‌دست حیاط عملکرد این جهت‌گیری بسیار ضعیف‌تر از باقی جهت‌گیری‌ها بوده، ولی در قسمت بالادست در ساعات اوج گرما، عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است.

باید در نظر داشت که جهت‌گیری شمالی-جنوبی بهترین عملکرد دمایی را در هر دو قسمت بالادست و پایین‌دست با در نظر گرفتن ساعات مختلف شبیه‌سازی داشته است. همان‌طور که در کانتور آسایش حرارتی شکل 24 برمی‌آید مقدار آسایش حرارتی در قسمت بالادست جهت‌گیری شمالی-جنوبی از سایر مدل‌ها بیشتر بوده است، اما در پایین‌دست این امر به دلیل عدم وجود سایه‌اندازی مناسب محقق نشده و جهت‌گیری شرقی-غربی در هر دو قسمت حیاط یعنی هم بالادست و هم پایین‌دست، آسایش حرارتی کمتر ولی یکنواخت‌تری نسبت به جهت‌گیری شمالی-جنوبی دارد. باید دقت کرد آسایش حرارتی در مدل تمام‌باز به نسبت مدل تمام‌بسته مقدار کمتری دارد و در کل استفاده از مدل تمام‌باز تأثیر منفی بر آسایش حرارتی دارد.

### 5-7- بررسی ارتفاع در کارایی گرمایی حیاط تمام‌باز

میانگین نتایج به‌دست‌آمده از قسمت بالادست و پایین‌دست حیاط برای

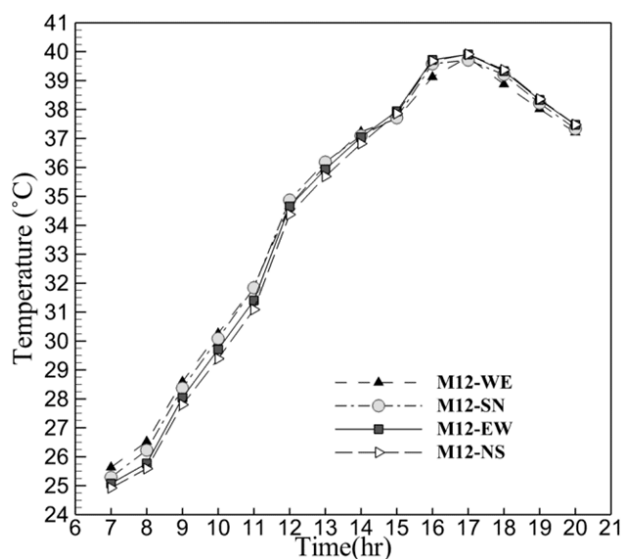


Fig. 22 Mean air temperature different open courtyard orientation upside of courtyard at 1.5m above ground

شکل 22 میانگین دمای هوای حیاط باز با جهت‌گیری‌های متفاوت در بالادست حیاط در ارتفاع 1.5m

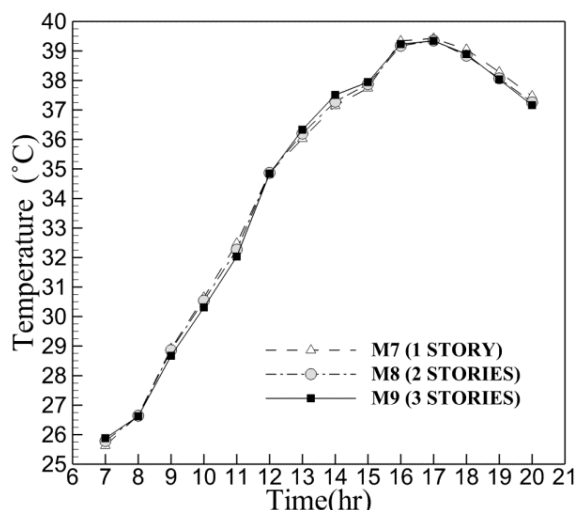


Fig. 20 Mean air temperature of semi-close courtyard at 1.5m above ground with different heights

شکل 20 میانگین دمای هوای حیاط نیمه‌بسته در 1.5m با ارتفاع‌های متفاوت

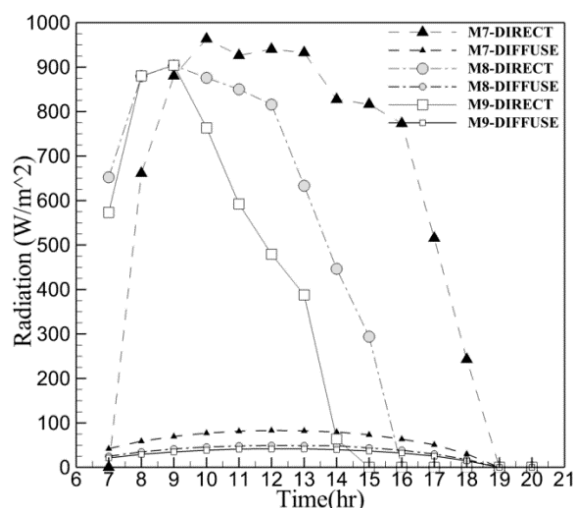


Fig. 21 Mean radiation of semi-close courtyard at 1.5m above ground with different heights

شکل 21 میانگین مقدار تشعشع حیاط نیمه‌بسته با ارتفاع‌های متفاوت در ارتفاع 1.5 متر

تشعشعی مستقیم و پخش‌شده در مدل‌های مورد بررسی باید بیان کرد که اختلاف میان میزان تابش مستقیم آفتاب به حیاط در مدل‌ها با ارتفاع بیشتر (6m و 9m) کاملاً محسوس است.

برخلاف مدل تمام‌بسته که در ساعات اولیه صبح مقدار تابش مستقیم صفر بود در این مدل به دلیل نبود دیوار و عدم وجود مانع برای تابش مستقیم، شار حرارتی  $550 \text{ W.m}^{-2}$  را در ساعات اولیه شبیه‌سازی داریم. این در حالی است که در ساختمان یک طبقه و نیز دو طبقه بیشینه شار مستقیم دریافتی  $1000 \text{ W.m}^{-2}$  و به نسبت مدل تمام‌بسته به‌مراتب بیشتر است. در مورد بار تشعشعی پخش‌شده نیز با بررسی نتایج می‌توان به این نکته پی برد که در مدل یک طبقه (مدل 7) بار تشعشعی پخش‌شده چند برابر دیگر مدل‌هاست. باید توجه داشت که شار پخش‌شده در مدل نیمه‌بسته نیز از شار پخش‌شده در مدل تمام‌بسته بیشتر است و مقدار بار تشعشعی این نوع حیاط به نسبت حیاط تمام‌بسته با سطح و نسبت طول و عرض یکسان و با ارتفاعی یکسان بیشتر است. از این‌رو، تأثیر ارتفاع در حیاط نیمه‌بسته بر عملکرد

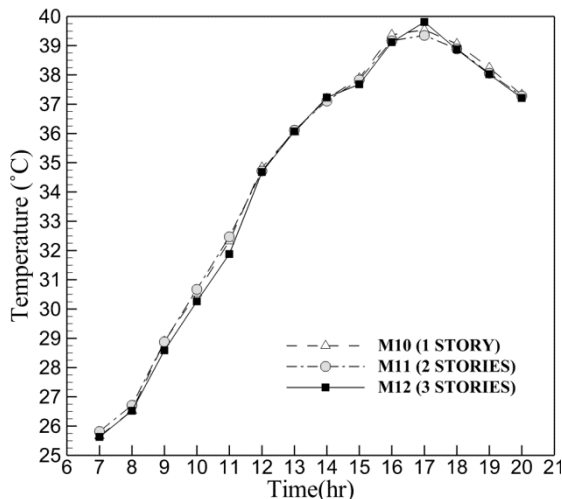


Fig. 25 Mean air temperature of open courtyard at 1.5m above ground with different heights

شکل 25 دمای میانگین حیاط تمام‌باز با ارتفاع‌های متفاوت در ارتفاع 1.5m

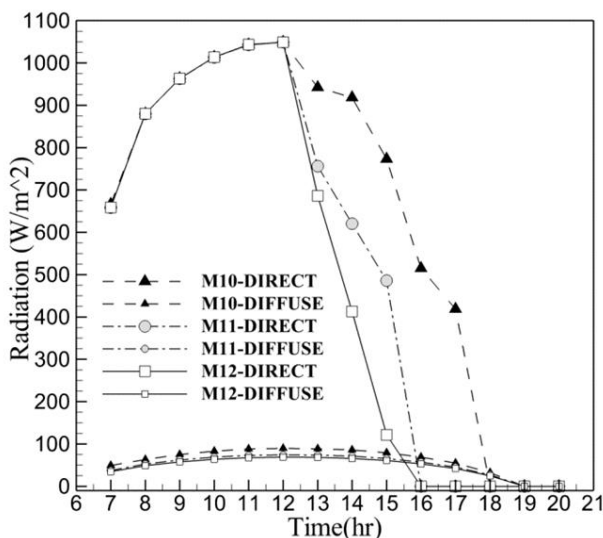


Fig. 26 Mean radiation for open courtyard with different heights at 1.5m above ground

شکل 26 میانگین تشعشع برای حیاط تمام‌باز با ارتفاع‌های متفاوت در ارتفاع 1.5m

صفر خواهد شد و شاهد سایه‌اندازی کامل خواهیم بود. برای درک بهتر این موضوع در نمودار شکل 26 با دقت در مقدار تشعشع‌های ساختمان سه‌طبقه (مدل 12) شاهد صفر بودن تابش مستقیم از ساعت 15 تا پایان روز خواهیم بود. درحالی‌که برای ساختمان یک طبقه (مدل 10) از ساعت 18 شاهد عدم تابش مستقیم آفتاب در این قسمت از حیاط هستیم. مانند دیگر هندسه‌های حیاط در حیاط تمام‌باز نیز با افزایش ارتفاع ساختمان مقدار دمای هوای میانگین کاهش یافته است. با ملاحظه این خصیصه می‌توان بیان داشت عملکرد ساختمان 3 طبقه به صورت نسبی از مدل‌های یک و دو طبقه بهتر بوده است.

#### 5-8- مقایسه بین انواع هندسه‌ی حیاط در بهترین جهت‌گیری و ارتفاع

مقایسه بین سه فرم مختلف حیاط در یک ارتفاع و جهت‌گیری یکسان، می‌تواند نقش تعیین‌کننده فرم حیاط را روشن سازد. برای این منظور

ارزیابی اثر ارتفاع مورد بررسی قرار گرفت. شکل 25 نشان‌دهنده تغییرات دما در طول ساعات مختلف برای حیاط تمام‌باز در مدل‌هایی با طبقات مختلف است. در شکل 25 مشهود است که در هندسه تمام‌باز تأثیرات ارتفاع در دمای میانگین هوا چندان مؤثر نیست. به صورت کلی به جز ساعاتی دمای هوای حیاط ساختمان سه‌طبقه در نهایت تا  $0.5^{\circ}\text{C}$  از سایر مدل‌ها بهتر بوده است. در نتیجه تأثیر افزایش ارتفاع روی حیاط تمام‌باز به نسبت حیاط نیمه‌بسته و تمام‌بسته بسیار کمتر بوده و حیاط تمام‌باز عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان می‌دهد. همین‌طور با بررسی شکل 26 یعنی مقدار تشعشع دریافتی مستقیم و پخش‌شده میانگین در قسمت بالادست و پایین‌دست حیاط باز، می‌توان به این نکته پی برد که مقدار نسبی شار دریافتی با افزایش ارتفاع ساختمان، به علت سایه‌اندازی بهتر، کاهش می‌یابد.

هرچند این کاهش نیز به نسبت دیگر هندسه‌های حیاط یعنی بسته و نیمه‌بسته کمتر است. در ساعات پایانی روز و تا غروب آفتاب، در حیاط تمام‌باز نیز مقدار تشعشع دریافتی رو به کاهش و صفر شدن می‌گذارد و تابش مستقیم دریافتی با افزایش تعداد طبقات در ساعات بیشتری از دوره اوج گرما

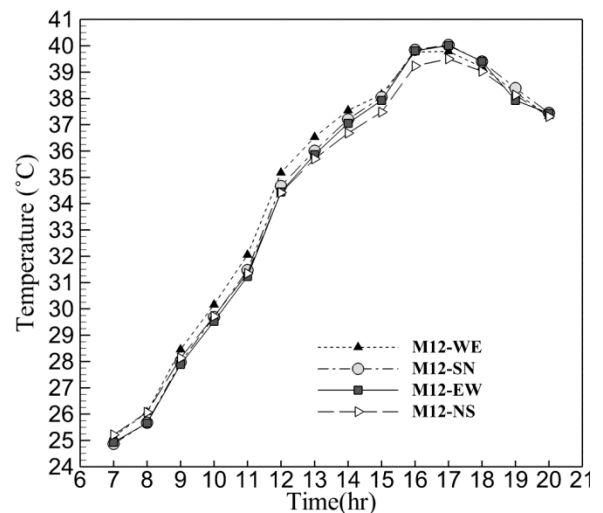


Fig. 23 Mean air temperature for different open courtyard orientation downside of courtyard at 1.5m above ground

شکل 23 میانگین دمای هوای حیاط باز با جهت‌گیری‌های متفاوت در پایین‌دست حیاط در ارتفاع 1.5m

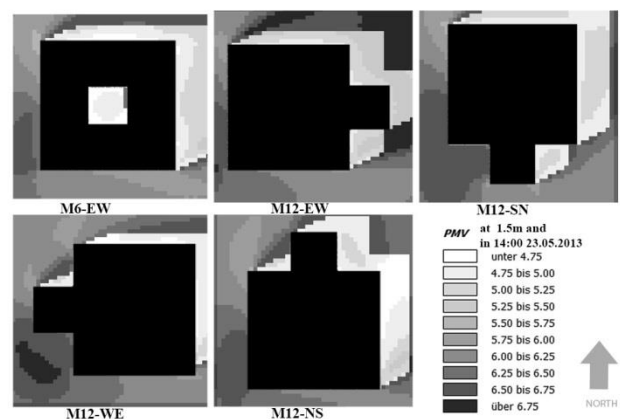


Fig. 24 PMV contour of different orientation of open courtyard at 14:00 at 1.5m above ground

شکل 24 کانتور آسایش حرارتی در جهت‌گیری‌های مختلف حیاط تمام‌باز در ساعت 14:00 در ارتفاع 1.5m

5- در مدل تمام‌باز با افزایش ارتفاع (برخلاف حیاط‌های تمام‌بسته و نیم‌بسته) کاهش محسوسی در دمای هوای میانگین و مقدار تشعشع پخشی نخواهیم داشت.

6- بهترین جهت‌گیری برای حیاط‌های نیم‌بسته و تمام‌باز در موقعیت آب و هوایی تهران براساس مقدار دمای هوای میانگین کمتر و جهت‌گیری شمالی- جنوبی است. باین‌حال در ساعت اوج گرما هر دو حیاط نیمه‌بسته و تمام‌باز با جهت‌گیری شرقی- غربی شرایط آسایش حرارتی یکنواخت‌تری دارند.

7- در میان هندسه‌های متفاوت با اندازه‌ها و نسبت‌های منظری و ارتفاع‌های مشخص و یکسان تا پیش از ساعات اوج گرما کارایی حرارتی بهتری در حیاط باز و نیم‌بسته را شاهد خواهیم بود.

8- در صورتی که ساعات اوج گرما برای ما حائز اهمیت باشد، هندسه تمام‌بسته با ارتفاع مناسب و با نسبت طول به عرض نزدیک به یک می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش دمای هوای میانگین اطراف ساختمان و آسایش حرارتی داشته باشد.

### 7- مراجع

- [1] I. A. Meir, D. Pearlmutter, Y. Etzion, On the Microclimatic Behavior of Two Semi-Enclosed Attached Courtyards In A Hot Dry Region, *Building And Environment*, Vol. 30, No. 4, pp. 563-572, 1995.
- [2] M.N. Bahadori, H. Safarzadeh, Passive cooling effects of courtyards, *Building and Environment*, Vol. 40, No. 1, pp. 89-104, 2005.
- [3] M. Taleghani, M. Tenpierik, A. van den Dobbelsteen, D. J. Sailor, Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands, *Solar Energy*, Vol. 103, No. 1, pp. 108-124, 2014.
- [4] B. Edwards, M. Sibley, M. Hakmi, P. Land, *Courtyard Housing: Past, Present & Future*, pp. 87-100, New York: Taylor & Francis, 2006.
- [5] A. Aldawoud, Thermal performance of courtyard buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 5 pp. 906-910, 2008.
- [6] M. Zakaria, T. Kubota, Environmental Design Consideration for Courtyards in Residential Buildings in Hot-humid Climates: A Review, *Built Environment And Sustainability*, Vol. 1, No. 1, pp. 45-51, 2014.
- [7] N. Khan, Y. Su, S. B. Riffat, A review on wind driven ventilation techniques, *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 8 pp. 1586-1604, 2008.
- [8] A. S. Muhaisen, Shading Simulation Of The Courtyard Form In Different Climatic Regions, *Building and Environment*, Vol. 41, No. 12, pp. 1731-1741, 2006.
- [9] S. Berkovic, A. Yezioro, A. Bitan, Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate, *Solar Energy*, Vol. 86, No. 5, pp. 1173-1186, 2012.
- [10] S. Sharples, R. Bensalem, Airflow in courtyard and atrium buildings in the urban environment: A wind tunnel study, *Solar Energy*, Vol. 70, No. 3, pp. 237-244, 2001.
- [11] A. Tablada, B. Blocken, J. Carmeliet, F. De Troyer, H. Verschure, The influence of courtyard geometry on air flow and thermal comfort: CFD and thermal comfort simulations, *Proceedings of 22nd conference on passive and low energy architecture*, Zouk Mosbeh, Lebanon, November 13-16, 2005.
- [12] A. Almhafd, N. Ibrahim, S. S. Ahmad, J. Yahya, Courtyard design variants and microclimate Performance, *Social And Behavioral Sciences*, Vol. 103, No. 1, pp. 3-14, 2014.
- [13] E. Yasa, V. Ok, Evaluation of the effect of courtyard building shapes on solar heat gains and energy efficiency according to different climatic regions, *Energy and Building*, Vol. 73, No. 1 pp. 192-199, 2014.
- [14] A. S. Muhaisen, B. Gadi Mohammad, Mathematical model for calculating shaded and sunlit areas in a circular courtyard geometry, *Building And Environment*, Vol. 40, No. 12, pp. 1619-1625, 2005.
- [15] N. Al-Masri, B. Abu-Hijleh, Courtyard housing in midrise buildings: An environmental assessment in hot-arid climate, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 4, pp. 1892-1898, 2012.

مقایسه‌ای میان دمای هوا میانگین در هر سه فرم حیاط (تمام‌بسته، نیمه‌بسته و تمام‌باز سه‌طبقه) و با مساحت و طول و عرض یکسان صورت گرفت. با توجه به نتایج حاصل از شکل 27 می‌توان نتیجه گرفت که در حیاط تمام‌بسته، در طول مدت اوج گرما، دما تا نزدیک  $1.5^{\circ}\text{C}$  از دیگر مدل‌ها کمتر است. نتیجه‌گیری کلی شامل این نکته است که در میان هندسه‌های متفاوت با اندازه‌ها و نسبت‌های منظری و ارتفاع‌های مشخص و یکسان (تا پیش از ساعات اوج گرما) کارایی حرارتی بهتری در حیاط باز و نیم‌بسته خواهیم داشت؛ در صورتی که در ساعات اوج گرما عملکرد حیاط بسته بهتر خواهد بود. در صورتی که ساعات اوج گرما در طراحی برای ما دارای اهمیت است و باید حیاط تمام‌بسته را در طراحی حیاط ساختمان در اولویت قرار دهیم.

### 6- جمع‌بندی

در این پژوهش حیاط را به‌عنوان ریزاقلمی در نظر گرفتیم تا در میان حالت‌های مختلف هندسی حیاط عواملی چون نسبت اضلاع و ارتفاع و همین‌طور جهت‌گیری جغرافیایی مورد بررسی قرار گیرد. در همین راستا آسایش حرارتی، دمای هوای میانگین و مقدار بار تشعشعی برای بررسی عملکرد حرارتی حیاط در موقعیت جغرافیایی و اقلیمی شهر تهران مورد توجه قرار گرفتند. از آن‌جا که نتایج فقط در طول و عرض جغرافیایی شهر تهران به دست آمده‌اند قابل تعمیم به دیگر مناطق کشور نیستند، اما دیگر نواحی جغرافیایی و اقلیمی می‌تواند موضوع مناسبی برای پژوهش‌های آینده باشد. نتایج کلی زیر براساس بررسی‌های بالا به دست آمدند.

- 1- حیاط تمام‌بسته در نسبت‌های طول به عرض نزدیک به 1 کاهش بیشتر دمای میانگین هوا و آسایش حرارتی بهتری را در پی دارد.
- 2- با فاصله گرفتن نسبت طول به عرض در حیاط تمام‌بسته از عدد 1 دمای هوا تا  $1^{\circ}\text{C}$  افزایش پیدا خواهد کرد و عملکرد ضعیف‌تری خواهد داشت.
- 3- جهت‌گیری در عملکرد حیاط تمام‌بسته با نسبت طول به عرض 1 تأثیر قابل‌توجهی ندارد.
- 4- در حیاط تمام‌بسته و نیمه‌بسته با افزایش ارتفاع تأثیر بار تشعشعی مستقیم و پخش‌شده کاهش می‌یابد و سبب کاهش میانگین دمای هوا تا  $1.5^{\circ}\text{C}$  می‌شود.

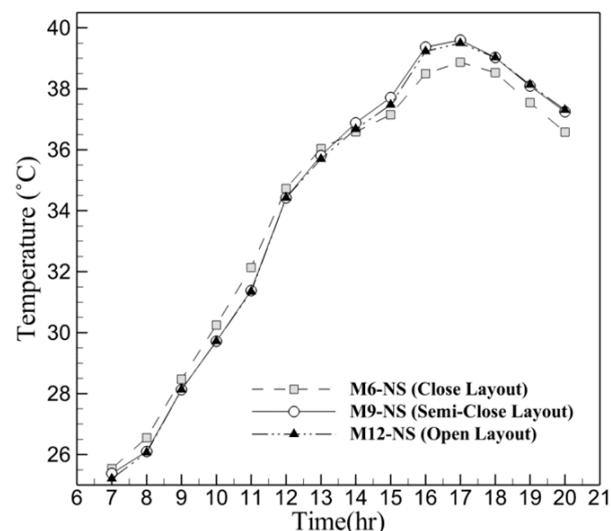


Fig. 27 Mean air temperature for courtyards with different layouts at 1.5m above ground

شکل 27 دمای میانگین هوا برای حیاط با هندسه‌های متفاوت در ارتفاع 1.5m

- 2016, Meteorological Organization of I.R. of Iran; <http://www.Irimo.ir/>. [22] M. Bruse, *Simulation Model*, Accessed on 22 July 2016; <http://www.model.envi-met.com/>
- [23] E.L. Krüger, F.O. Minella, F. Rasia, Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil, *Building and Environment*, Vol. 46, No. 3, pp. 621-634, 2011.
- [24] A. Ghaffarhoseini, U. Beradi, A. Ghaffarhoseini, Thermal performance of unshaded courtyards in hot and humid climates, *Building and Environment*, Vol. 87, No. 1, pp. 154-168, 2015.
- [25] M. W. Yahia, E. Johansson, Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria—The example of residential spaces with detached buildings, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 125, No. 1, pp. 1-16, 2014.
- [26] G. Maggionto, R. Buccolieri, M. A. Santo, L. S. Leo, S. Di Sabatino, Validation of temperature-perturbation and CFD-based modelling for the prediction of the thermal urban environment: The Lecce (IT) case study, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 60, No. 1, pp. 69-83, 2014.
- [27] Office of national building regulation, *General building requirements*, Second Edition, pp. 68-70, Tehran: Tosseh Iran, 2013.
- [16] A. Almhafdy, N. Ibrahim, S. S. Ahmad, J. Yahya, Thermal performance analysis of courtyards in a hot humid climate using Computational Fluid Dynamics CFD method, *Social and Behavioral Sciences*, Vol. 170, No. 1, pp. 474-483, 2015.
- [17] S. Tazarfan, M. Masumi, H. Bagheri, The central courtyard garden geometry home energy usage in hot and dry climates Iran, *proceeding of 3th International Congress on Civil Engineering, architecture and urban development*, Tehran, Iran, December 29-31, 2015. (in Persian فارسی)
- [18] H. Ayali, K. Movahed, Determine the optimal direction of central yard of houses at qajar period in Shiraz based on the rate of solar energy radiation, *Geography and Development*, Vol. 42, No.14, pp. 161-182, 2016. (in Persian فارسی)
- [19] T. Honjo, Thermal Comfort in Outdoor Environment, *Global Environmental Research*, Vol. 13, No. 1, pp. 43-47, 2009.
- [20] W. D. Van Marken Lichtenbelt, A. J. H. Frijns, A. M. J. Van Ooijen, D. Fiala, A. M. Kester, A. A. Van Steenhoven, Validation of an individualized model of human thermoregulation for Predicting responses to cold air, *Biometeorology*, Vol. 51, No.3, pp. 169-179, 2007
- [21] *Weather Data of Tehran: August 2015*, Accessed on 28 August