



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

سید محمد رضا ملکی^۱، بهروز محمد کاری^{۲*}، مهدی معروف^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استادیار مهندسی عمران (فیزیک ساختمان)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

۳- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* تهران، صندوق پستی ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵ kari@bhrc.ac.ir

چکیده

حیاط به عنوان یکی از عناصر موجود در طراحی ساختمان از دیرباز همواره مورد توجه معماران ایرانی بوده است. با توجه به نقش ریزاقلیمی 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 تقدیم نظر 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 ریزاقلیمی 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 میار PMV در حیاط استفاده شده است. نتایج حاصل نشان‌دهنده عملکرد گرمایی بهتر حیاط تمام‌بسته بوده و با بررسی نسبت‌های مقاولات طول به عرض در حیاط‌های تمام‌بسته این نتیجه به دست آمد که با نزدیکتر شدن به نسبت طول به عرض ۱، عملکرد حیاط در آسایش حرارتی و همین‌طور پایین‌تر از اوردن دمای هوای ریزاقلیم 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 به عنوان راه کارهای مؤثر بر ارتقا عملکرد گرمایی ویژه در هندسه حیاط نیمه‌بسته و تمام‌بسته، پیشنهاد می‌شوند.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۱۳ آذر ۱۳۹۵

پذیرش: ۱۲ اسفند ۱۳۹۵

ارائه در سایت: ۰۹ اردیبهشت ۱۳۹۶

کلید واژگان:

حیاط

ریزاقلیم

آسایش حرارتی

عملکرد گرمایی

شبیه‌سازی

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

Seyyed Mohammad Reza Maleki¹, Behrooz Mohammad Kari^{2*}, Mehdi Maerefat¹

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-Climate

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- پیشنهاد پژوهش**

پژوهش‌های بسیاری در مورد بررسی نقش ریزاقليمی حیاط مورد مطالعه قرار گرفته است. تابالا 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]. المسri و همکاران در سال 2012 در پژوهشی اثرات اضافه‌کردن حیاط به ساختمان را در اقلیمهای گرم و خشک دویی 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 کردند. طبق نتایج آن‌ها با نزدیک‌شدن شکل کف حیاط داخلی به مریع اثرات سایه بیشتر شده و بار سرمایی کاهش می‌یابد [13]. الحمیدی 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 1:2 نتایج بهتری نسبت به حیاط با همان هندسه، ولی با نسبت منظری 1:1 خواهد داشت [16]. در ایران نیز تزریق 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. عدمه 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 عمدۀ 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 تهییه ساختمان‌های شهری می‌تواند بازبررسی عناصر موجود در معماری سنتی باشد [1]. با این‌که 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 تهییه طبیعی است. حیاط می‌تواند یک فضای به نسبت بسته را مانند یک کانال برای هدایت جریان هوای توسط ورودی‌های بزرگ به ساختمان فراهم کند. تراکنش‌های میان هندسه شهری و خصوصیت‌های سطح تحت یک اقلیم آب و هوایی خاص سبب ساخته‌شدن ریزاقليم‌ها¹ می‌شوند. در واقع حیاط با تغییر اقلیم به ریزاقليمی در اطراف ساختمان سبب افزایش جریان هوای درون ساختمان می‌شود [3].

2- کارایی گرمایی حیاط**2-1- عوامل تأثیرگذار روی کارایی گرمایی حیاط**

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

1- متغیرهای طراحی مانند ارتفاع، نوع مواد به کاررفته در کف حیاط

2- متغیرهای اقلیمی و تأثیر آن‌ها بر عملکرد حیاط

به اعتقاد زکریا و همکار او [6] اثرات سایه و تهییه مهم‌ترین ملاحظات برای بررسی طراحی حیاط است. در این پژوهش نیز این دو عامل یعنی اثرات تهییه 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 تهییه یا به‌طور کلی اثرات همرفت³ به شرایط باد بیرونی و یا اختلاف دمای حیاط با خارج بستگی دارد [7].

برای بررسی اثرات تهییه 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 [11,10]. 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 [14,13].

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

¹ Micro-Climates

² Exposure

³ Stack Effect

20% و دمای 35.5 درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد. لازم به یادآوری است برای شبیه‌سازی از جهت و سرعت باد میانگین به صورت 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-مت³» انجام شده است. این نرمافزار جزو تنها مدل‌های محاسباتی است که می‌تواند خصیصه‌های کلی حیاط و پارامترهای مانند مختصات جغرافیایی و جهت‌گیری ساختمان و همین‌طور ضرایب سطوح و یا پوشش‌های گیاهی را همراه با حل هم‌زمان تشعشع و جریان‌ها منظور نماید [22]. مدل ریزاقلیمی این نرمافزار جریان‌ها 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 به طور هم‌زمان محاسبه می‌کند [23]. متغیرهای اصلی که در نرمافزار انوی-مت شبیه‌سازی می‌شوند شامل موارد زیر است.

- جهت و سرعت باد
- دمای هوای
- رطوبت دما
- معادلات توربولنس
- 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 اشاره شده در هر بخش با توجه به منبع اصلی کد انوی-مت و پژوهش بروس و فلیر در سال 1998 نوشتۀ 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 انعطاف‌زیادی ندارد، ولی این نرمافزار با استفاده از روش‌های عددی مانند استفاده از شبکه متنابو⁴ و بررسی میزان میدان جریان در بازه‌های محاسباتی مختلف در صدد صحت حل عددی برمی‌آید. نرمافزار انوی-مت می‌تواند دمای هوای (°C)، فشار بخار آب (hPa)، رطوبت نسبی (%)، سرعت باد (m/s) و دمای میانگین تشعشعی (°C) را به عنوان نتایج خروجی برای تحلیل ارائه کند. تاکنون پژوهش‌های بسیاری این نرمافزار را مورد تأیید قرار داده‌اند و برای شبیه‌سازی توانمن 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 مورداستفاده 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 ایجاد شده با استفاده از همین نرمافزار در اقلیم‌ها و کشورهای مختلف صورت گرفته است [24,9].

3-1-3-فرض‌های مربوط به شبیه‌سازی

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

آسایش حرارتی در این پژوهش توسط معیار «متوفسط رأی پیش‌بینی شده¹» اصلاح شده صورت می‌گیرد. PMV در ابتدا برای تعیین آسایش حرارتی در داخل ساختمان استفاده می‌شده است؛ اما بعد از این استفاده در محیط بیرون ساختمان نیز اصلاح شد و ارتقا یافت [19]. معادله تعادل انرژی نشان‌دهنده تبادل گرما میان بدن و محیط بیرونی به صورت 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 ($^{\circ}\text{C}$) MRT و سرعت هواست (m/s). همین طور Q_H مقدار شار آشفته محوس حرارتی که تابعی از دمای هوای T_a ($^{\circ}\text{C}$) و همین‌طور سرعت هواست. Q_L مقدار گرمای نهان ناشی از تبخیر رطوبت پخش شده روی سطح پوست و واپسی به رطوبت (e) و سرعت هواست. Q_{SW} 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.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 به سزایی روی آسایش حرارتی دارد. کلید استفاده از معادله فنگر اصلاح شده با در نظر گرفتن تشعشع مقدار MRT یا میانگین دمای تشعشعی در هنگام تابش مستقیم خورشید است. به صورت معمول معیار PMV بین 4-4 و در هنگام آسایش نزدیک به 0 خواهد بود، ولی این معیار یک معیار ایست² 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 تعین 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 ارائه شده در پژوهش لیچتبلت و همکارانش [20] مناسب با جنسیت، سن و خصوصیات فیزیکی متفاوت استفاده شده است.

3-3-شبیه‌سازی

شبیه‌سازی کلی برای بررسی عملکرد دمایی حیاط در شهر تهران در تابستان و بیشینه دمایی این اقلیم صورت می‌گیرد. در این مقطع زمانی شهر تهران دارای بیشینه 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

Table1 Parameters for calculating thermal comfort

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

¹ Predicted Mean vote (PMV)

² Stationary

³ ENVI-met v4.0

⁴ 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 $100m^2$ با حداقل عرض 3m را برای حیاط محصور در نظر می‌گیرد. در این مسئله سعی شده است ساختمان‌هایی با زیربنای تقریبی $200m^2$, 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 دوبعدی 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^۱- شرقی^۲- شمالی- جنوبی^۳- جنوبی- شمالی^۴ برای سهولت در نام‌گذاری مدل‌های هندسی در جهت‌گیری‌های متفاوت استفاده شده است.

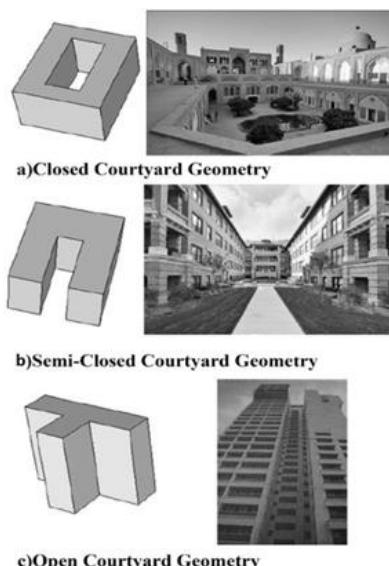


Fig. 1 Different courtyard geometry and layout [6]

شکل 1 انواع مختلف هندسه و طرح‌های حیاط [6]

جدول 3 مدل‌های موردنظر شبیه‌سازی براساس ارتفاع و نوع هندسه

Table3 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

⁴ East to West Orientation (EW)

⁵ West to East Orientation (WE)

⁶ North to South Orientation (NS)

⁷ 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 گستردگر تنها در محور ارتفاع (z) با اندازه‌های مساوی و یا به صورت تصاعدی (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 مطرّح است، شرط مناسبی است. دمای بلوك اولیه نیز با توجه به شرط 5 در ابتدای شبیه‌سازی براساس داده آب و هوایی و مقدار اولیه دمای‌ها توسعه نرم‌افزار تخمین زده خواهد شد. بدینهی است مقدار دمای سطوح ساختمان‌ها در طول مدت شبیه‌سازی و با بالا رفتن دمای‌ها در طول روز تغییر می‌کند.

3-2- 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^۱» 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 درصد آن است تا فرم^۲ اولیه‌ای را برای ساختمان‌های متفاوت برای طراحی هندسی

جدول 2 شرایط ورودی برای شبیه‌سازی

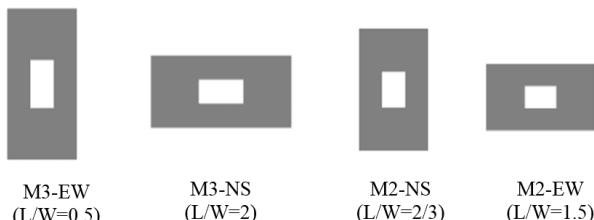
Table2 Initial condition and inputs for simulation

پارامتر ورودی	مدار	پارامتر ورودی	مدار	پارامتر ورودی
دمای اولیه بلوك ساختمان (°C)	1394/5/3	دمای اولیه بلوك ساختمان (°C)	1394/5/3	روز محاسبه
متوسط دمای هوا (°C)	35.5	جهت میانگین باد (درجه)	35.5	دمای شرایط اولیه (°C)
k-ε	11.4	حل توربولانس	11.4	سرعت متوسط باد (m/s)
0.8	3.1	ضریب بازتاب تشعشعی ^۳ سقف	3.1	میانگین رطوبت نسبی
0.8	35%	ضریب بازتاب تشعشعی دیوار	35%	جنس دیوار
0.9	(W.m ⁻² .K ⁻¹)	ضریب انتقال حرارت سقف	بلوک سیمانی	جنس سقف
0.9	بلوک سیمانی	بلوک سیمانی	بلوک سیمانی	موقعیت جغرافیایی
				تهران

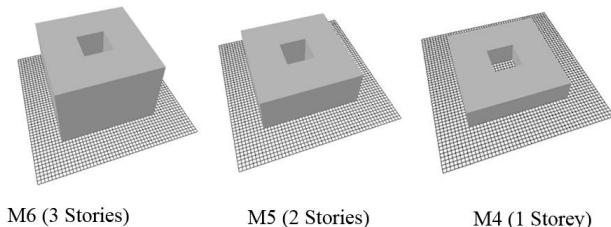
¹ Hyde

² Layout

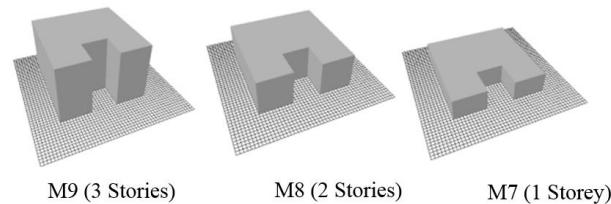
³ Albedo

**Fig. 3** Courtyard with different aspect ratios

شکل ۳ حیاط‌های تمام‌بسته با نسبت‌های منظری مختلف

**Fig.4** Closed courtyards with different heights

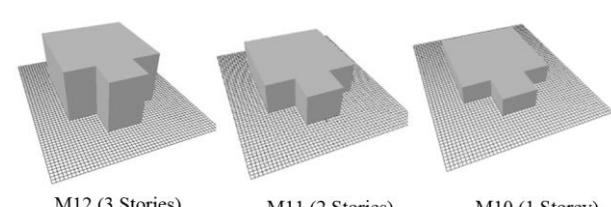
شکل ۴ حالت‌های مختلف حیاط تمام‌بسته با ارتفاع‌های مختلف

**Fig.5** Semi-Closed courtyards with different heights

شکل ۵ حالت‌های مختلف حیاط نیمه‌بسته با ارتفاع‌های مختلف

**Fig.6** Different orientation of semi-closed courtyard

شکل ۶ جهت‌گیری مختلف حیاط نیمه‌بسته

**Fig.7** Open courtyards with different heights

شکل ۷ حالت‌های مختلف حیاط تمام‌باز با ارتفاع‌های مختلف

۴- صحبت‌سنگی و آزمودن ابزار شبیه‌سازی

همان‌طور که در بخش شبیه‌سازی نیز مطرح شد پژوهش‌های معتبر بسیاری صحبت عملکرد این نرم‌افزار را مورد بررسی و تأیید قرار داده‌اند. از این‌رو برای صحبت‌سنگی 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 گرافیکی مورد مقایسه قرار گرفت [24]. نتایج پژوهش کنونی همان‌طور که در شکل ۹ نیز مشخص است نشان از نزدیکی داده‌های تجربی و شبیه‌سازی شده با این

۴- حل مسئله و شبیه‌سازی

۱- بررسی هندسه‌ی تمام‌بسته

بررسی هندسه‌ی تمام‌بسته شامل ۳ قسمت خواهد بود. بررسی جهت‌گیری حیاط با فرم مربع که در شکل ۲ مشخص شده است. همین‌طور بررسی نسبت‌های منظری مختلف (۰.۵, ۰.۶۶, ۱.۵ و ۲) در حیاط تمام‌بسته که در شکل ۳ مشخص شده و بررسی نقش ارتفاع برای بررسی تأثیر ارتفاع در کارایی گرمایی حیاط تمام‌بسته از مدل اولیه که مدل حیاط متقاضن بود استفاده شد. از آنجا که نتایج مربوط به حیاط با ابعاد ۳m×3m طبق بررسی‌هایی که در قسمت نتایج به آن‌ها اشاره شده است، شباهتی بسیار به یکدیگر داشت، ابعاد حیاط ۴m×4m در نظر گرفته شد تا نتایج اثر ارتفاع در تمام سطح حیاط بیشتر محسوس باشد. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است حیاط با فرم مربع در ارتفاع‌های ۳, ۶ و ۹ متر یعنی یک، دو و سه طبقه مورد پژوهش قرار گرفته است.

۲- بررسی هندسه نیمه‌بسته

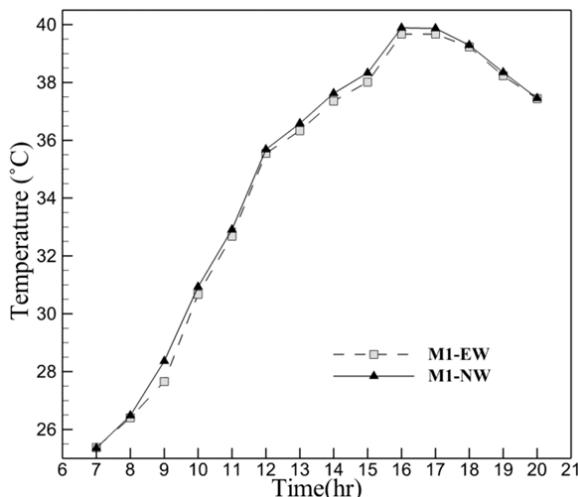
در این بررسی سه مدل با ارتفاع‌های مختلف و در واقع با طبقات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های ۷, ۸ و ۹ به ترتیب معین کننده حیاط نیمه‌بسته با عرض و طول یکسان و با ارتفاع‌های ۳, ۶ و ۹ متری است که در شکل ۵ نیز نشان داده شده‌اند. برای بررسی جهت‌گیری در این هندسه ۴ جهت‌گیری اصلی با توجه به قرار گیری سمت باز حیاط نسبت به جهت شمال مورد بررسی قرار گرفت تا با نتایج مربوط به حیاط تمام‌بسته مورد مقایسه قرار گیرد. ارتفاع مدل‌های بررسی شده برای بهتر بودن نتایج سه‌طبقه (9m) انتخاب شد تا تأثیرات ارتفاع درنتیجه بررسی جهت‌گیری مؤثر نباشد. مدل‌های استفاده شده هندسی برای تحقیق و مقایسه در شکل ۶ مشخص هستند.

۳- بررسی هندسه تمام‌باز

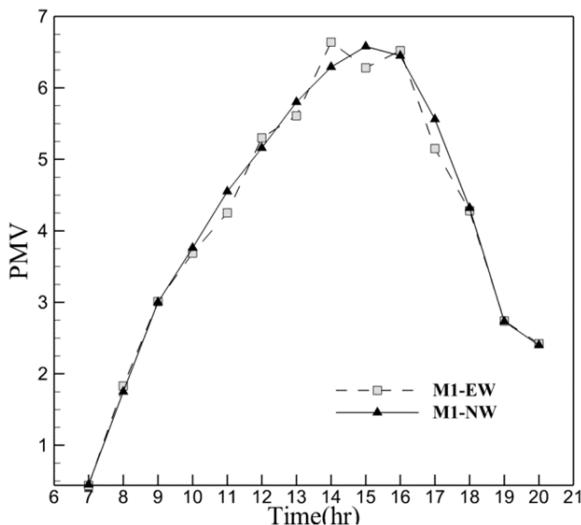
برای بررسی کارایی گرمایی حیاط باز از سه مدل با ارتفاع‌های مختلف و در واقع با طبقات مختلف استفاده شد. مدل‌های ۱۰, ۱۱ و ۱۲ به ترتیب معین کننده حیاط تمام‌باز با عرض و طول یکسان و با ارتفاع‌های ۳, ۶ و ۹ متری هستند که در شکل ۷ نیز نشان داده شده‌اند. در حیاط تمام‌باز باید توجه داشت که دو قسمت باز در مجاورت محیط بیرونی برای هر حیاط وجود دارد که با توجه به مدل‌های موجود در شکل ۸ در مدل ۱۲ با جهت‌گیری غربی-شرقی (نخستین شکل از سمت راست) قسمتی که در بالا قرار دارد بالا دارد و قسمتی که در پایین وجود دارد، پایین‌دست حیاط تعریف می‌شود. به همین نسبت با دوران مدل حیاط باز، قسمت بالا دست و پایین دست، دوران خواهند کرد. در این شبیه‌سازی ۴ جهت‌گیری اصلی با توجه به قرار گیری حیاط نسبت به جهت شمال مورد بررسی قرار گرفت. ارتفاع مدل‌های بررسی شده برای بهتر بودن نتایج سه‌طبقه (9m) انتخاب شد تا تأثیرات ارتفاع درنتیجه بررسی جهت‌گیری مؤثر نباشد.

**Fig.2** Two square layouts with different orientation

شکل ۲ دو مدل تمام‌بسته مربع با جهت‌گیری‌های مختلف



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



شکل 11 میانگین معیار آسایش حرارتی محاسبه شده برای مدل‌های مریع با جانمایی قطری و معمولی در ارتفاع 1.5m

حداقل 0.5°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 مریع شدن (نسبت طول به عرض 1) نزدیک شود دمای هوای 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 ساعت‌های اوج گرمای 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 مدل‌های است. با توجه به بررسی دیگر پژوهش‌ها مانند پژوهش برکوبیج 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

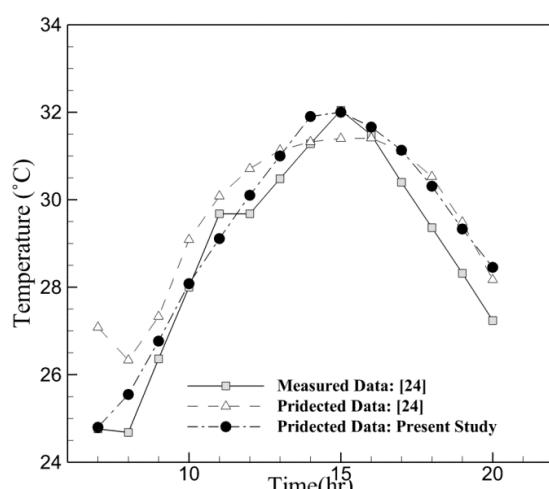
5-1- بررسی هندسه تمام‌بسته متقاضی با نسبت منظری یک همان‌طور که در شکل 10 مشهود است دمای میانگین مربوط به مدل با جهت‌گیری عادی تا 0.5°C خنکتر از دمای مدل با جهت‌گیری قطری است. با توجه به شکل 11 در مورد آسایش حرارتی باید اشاره کرد که مقادیر بالای PMV در نمودارهای مربوط به حیاط نشان‌دهنده عدم وجود آسایش حرارتی در ساعتی از روز است. آسایش حرارتی در مدل عادی در ساعتی از روز مقادیر کمتری به نسبت مدل با جهت‌گیری قطری دارد. درنهایت 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 ساعتی از صحیح داریم.

5-2- بررسی هندسه و جهت‌گیری‌های مختلف حیاط بسته با توجه به شکل‌های 12 و 14 در جهت‌گیری شرقی- غربی دمای هوای ساختمان با نسبت منظری 1.5 به نسبت دیگر مدل‌ها تا 0.5°C کمتر است. از طرفی دمای هوای در مدل با نسبت منظری 1 در ساعتی از روز با اختلافهای 1°C و



شکل 8 جهت‌گیری متفاوت حیاط تمام‌باز

شکل 8 جهت‌گیری متفاوت حیاط تمام‌باز



شکل 9 ساختنی شبیه‌سازی میانگین دمای هوای حیاط مابین

داده‌های مرجع و این پژوهش در ارتفاع 3m

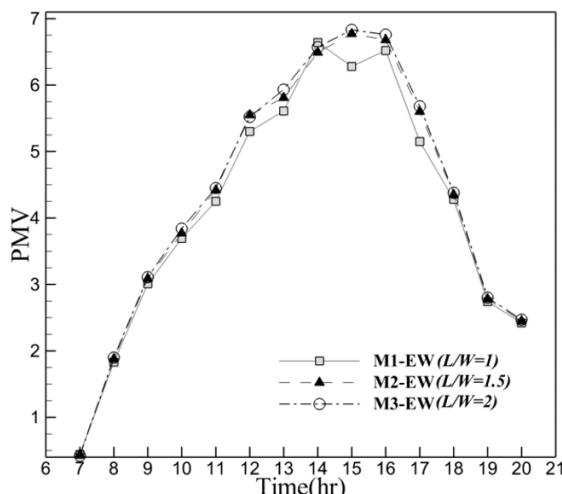


Fig. 13 Calculated mean PMV of different aspect ratios layouts at 1.5m above ground

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

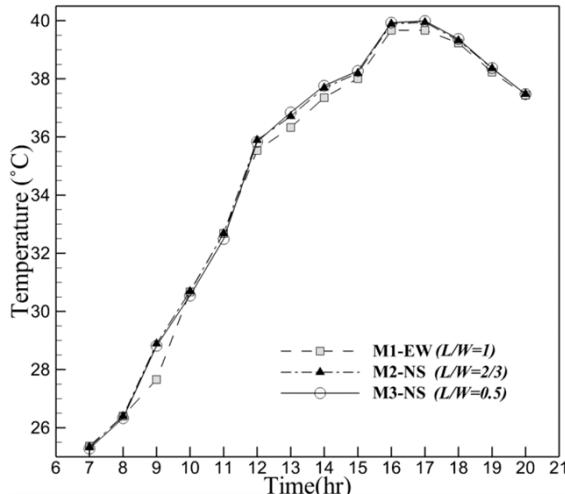


Fig. 14 Mean air temperature of different aspect ratios layouts at 1.5m above ground

شکل 14 دمای های میانگین برای مدل‌ها با نسبت‌های منظری متفاوت در ارتفاع 1.5m

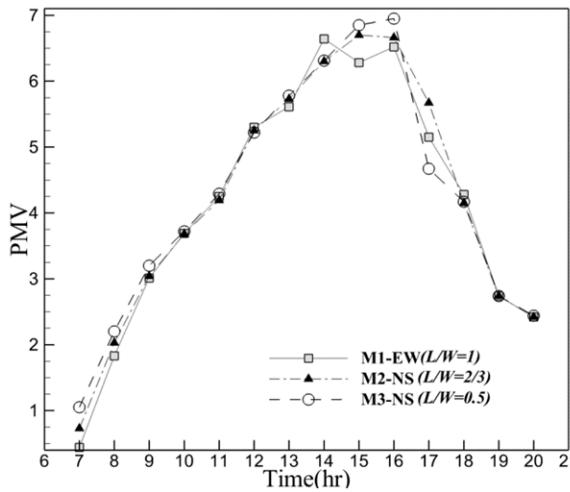


Fig. 15 Calculated mean PMV of different aspect ratios layouts at 1.5m above ground

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

دمای هوای میانگین حیاط با نسبت منظری 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.

5- بررسی نقش ارتفاع در حیاط تمام‌بسته

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

تفاوت دمایی میان مدل‌های دوطبقه و سه‌طبقه در ساعت‌های نزدیک به غروب آفتاب بسیار کمتر شده و از کاهش تأثیر نقش ارتفاع در دمای هوای میانگین خبر می‌دهد. درنتیجه بررسی شکل 17 یعنی بررسی اختلاف میان مستقیم و پخشی در مدل‌های مورد بررسی باید اذعان کرد که اختلاف میان میزان تابش مستقیم آفتاب به حیاط در مدل‌ها با ارتفاع بیشتر (6m و 9m) کاملاً محسوس است، به‌گونه‌ای که برای مثال در ساعت اولیه صحیح مدل دوطبقه تا ساعت 10 صحیح هیچ‌گونه 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^{-2} است. این در حالی است که ساختمان یک طبقه و نیز دوطبقه بیشینه شار مستقیم دریافتی تا 800 W.m^{-2} 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 دوطبقه (مدل 5) و سه‌طبقه (مدل 6) تفاوت چندانی ندارد، هرچند که بار تشعشعی دریافتی روی سطوح برای ساختمان 3 طبقه از ساختمان 2 طبقه کمتر است

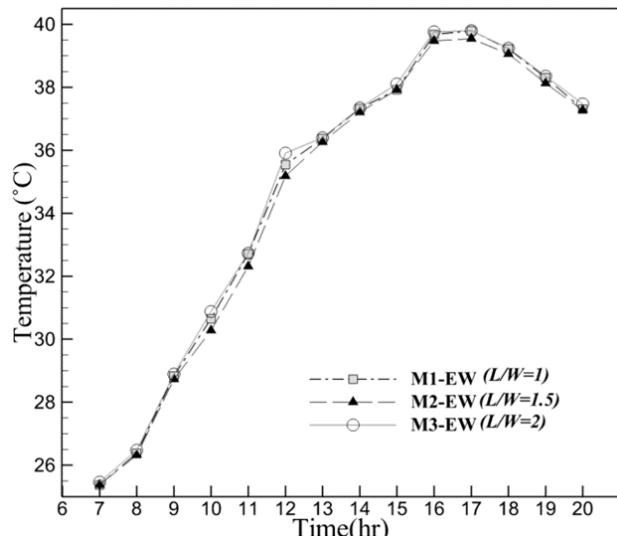


Fig. 12 دمای های میانگین برای مدل‌ها با نسبت‌های منظری متفاوت در ارتفاع 1.5m

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- 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 بوجود اثر سایه‌اندازی به علت افزایش ارتفاع ساختمان اثر عاملی چون دما و میزان تشبع 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 مدل تمام‌بسته این اختلاف دما در میان طبقات با افزایش ارتفاع مشهود بود. دمای مدل 3 طبقه تا 0.5°C در ساعتی از سایر مدل‌ها کمتر و نشان‌دهنده عملکرد بهتر در این زمینه است. با بررسی نتایج ارائه شده شکل 21 یعنی بررسی شار

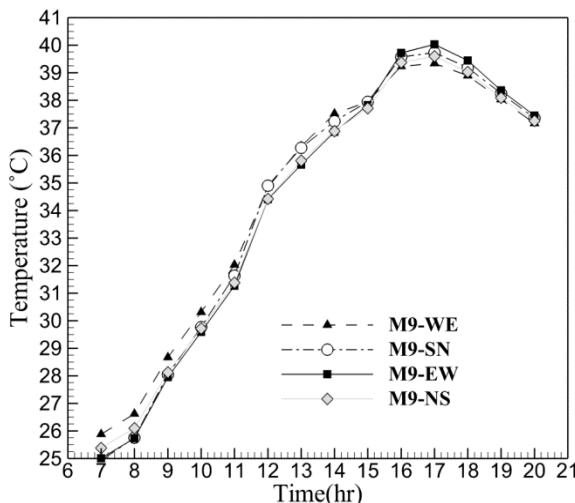


Fig. 18 میانگین دمای هوا در جهت‌گیری‌های مختلف حیاط نیمه‌بسته در ارتفاع 1.5m

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

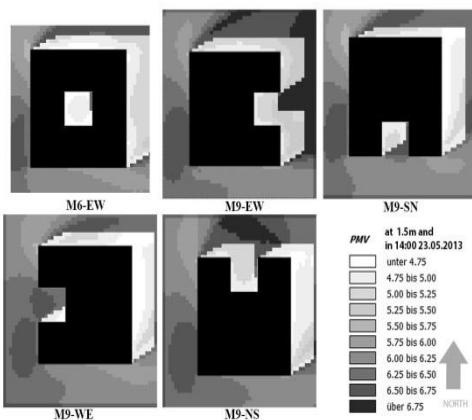


Fig. 19 PMV contour of different orientation of semi-closed courtyard at 14:00 at 1.5m above ground

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

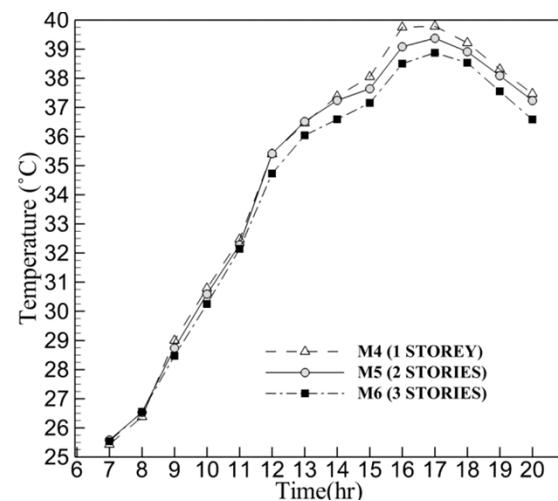


Fig. 16 میانگین دمای های حیاط تمام‌بسته با ارتفاع‌های مختلف در ارتفاع 1.5m

شکل 16 میانگین دمای های حیاط تمام‌بسته با ارتفاع‌های مختلف در ارتفاع 1.5m

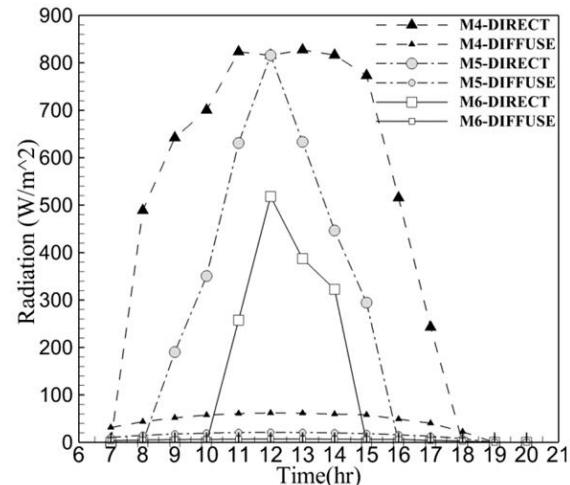


Fig. 17 میانگین تشبع برای حیاط تمام‌بسته با ارتفاع مختلف در ارتفاع 1.5m

شکل 17 میانگین تشبع برای حیاط تمام‌بسته با ارتفاع مختلف در ارتفاع 1.5m

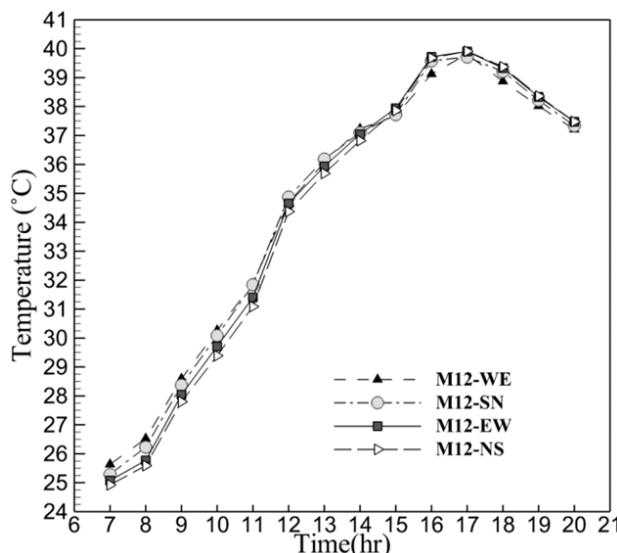
5- بررسی جهت‌گیری در کارایی گرمایی حیاط نیمه‌بسته
با توجه به شکل 18 دمای هر چهار جهت‌گیری نزدیک به یکدیگر است. جهت‌گیری‌های شرقی- غربی و شمالی- جنوبی به مقدار 0.5°C تفاوت دمایی با مدل‌های دیگر دارند. با بررسی دقیق نتایج می‌توان به این نتیجه دست یافت که جهت‌گیری شرقی- غربی برای حیاط با هندسه نیمه‌بسته 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 11°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 دست یافت 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.

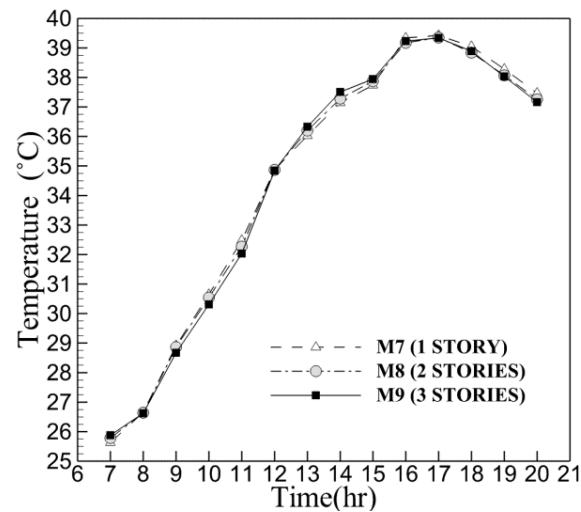
5-6- بررسی تأثیر جهت‌گیری بر کارایی گرمایی حیاط تمام‌باز
حیاط تمام‌باز دو قسمت بالادست و پایین‌دست دارد. با توجه به نتایج مربوط به تغییرات دما در شکل‌های 22 و 23 می‌توان این نکته را دریافت که برای مدل‌هایی که جهت‌گیری شمالی-جنوبی و همین‌طور جنوبی-شمالی دارند، مقدار دمای میانگین هوا در بالادست و پایین‌دست حیاط تغییرات یکسانی ندارد. برای روشن شدن این موضوع می‌توان به جهت‌گیری شمالی-جنوبی 23 در قسمت بالادست و پایین‌دست در ساعت 14-19 در شکل‌های 22 و 23 توجه کرد. در قسمت پایین‌دست حیاط در این مدل دمای هوا به نسبت دیگر جهت‌گیری‌ها، در برخی ساعت‌ها تا 1.5°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 ساعت‌های 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 ساعت‌های 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 و لیکن از هر دو مدل 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 به دست آمده از قسمت بالادست و پایین‌دست حیاط برای

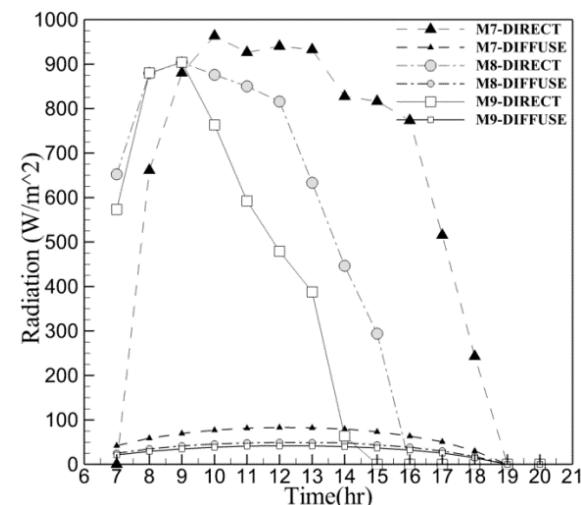


شکل 22 میانگین دمای هوای حیاط باز با جهت‌گیری‌های مختلف در بالادست حیاط در ارتفاع 1.5m



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

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



شکل 21 میانگین مقدار تشعشع حیاط نیمه‌بسته با ارتفاع‌های مختلف در ارتفاع 1.5m

شکل 21 میانگین مقدار تشعشع حیاط نیمه‌بسته با ارتفاع‌های مختلف در ارتفاع 1.5m

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

برخلاف مدل تمام‌بسته که در ساعت‌های اولیه صبح مقدار تابش مستقیم صفر بود در این مدل به دلیل نبود دیوار و عدم وجود مانع برای تابش مستقیم، شار حرارتی 550 W.m^{-2} را در ساعت‌های اولیه شبیه‌سازی داریم. این در حالی است که در ساختمان یک طبقه و نیز طبقه بیشینه شار مستقیم دریافتی 1000 W.m^{-2} و به نسبت مدل تمام‌بسته به مرتبه بیشتر است. در مورد بار تشعشعی پخش شده نیز با بررسی نتایج می‌توان به این نکته پی برد که در مدل یک طبقه (مدل 7) بار تشعشعی پخش شده چند برابر دیگر مدل‌های داشت. باید توجه داشت که شار پخش شده در مدل نیمه‌بسته نیز از شار پخش شده 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 بیشتر است. از این‌رو، تأثیر ارتفاع در حیاط نیمه‌بسته بر عملکرد

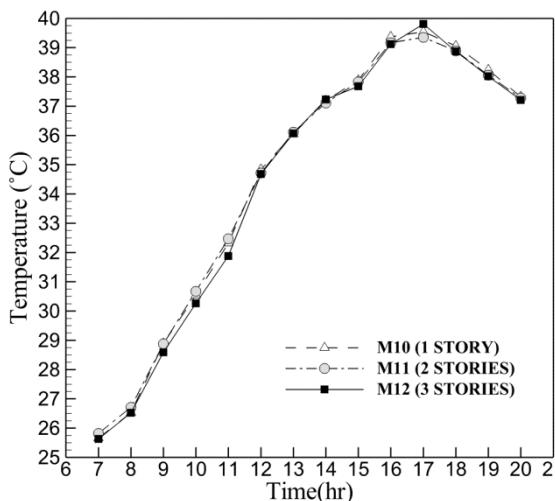


Fig. 25 Mean air temperature of open courtyard at 1.5m above ground with different heights

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

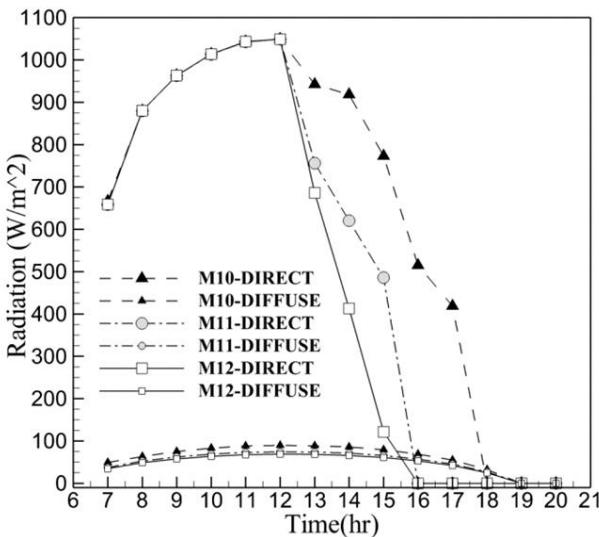


Fig. 26 میانگین تشعشع برای حیاط تمام‌باز با ارتفاع‌های مختلف در ارتفاع 1.5m

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

صرف 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. درحالی که برای ساختمان یک طبقه (مدل 10) از ساعت 18 شاهد عدم تابش مستقیم آفتاب در این قسمت از حیاط هستیم. مانند دیگر هندسه‌های 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 چنان مؤثر نیست. بهصورت کلی به جز ساعتی دمای هوای حیاط ساختمان سه‌طبقه درنهایت تا 0.5°C از سایر مدل‌ها بهتر بوده است. درنتیجه 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 پخش شده 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 می‌پابد.

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

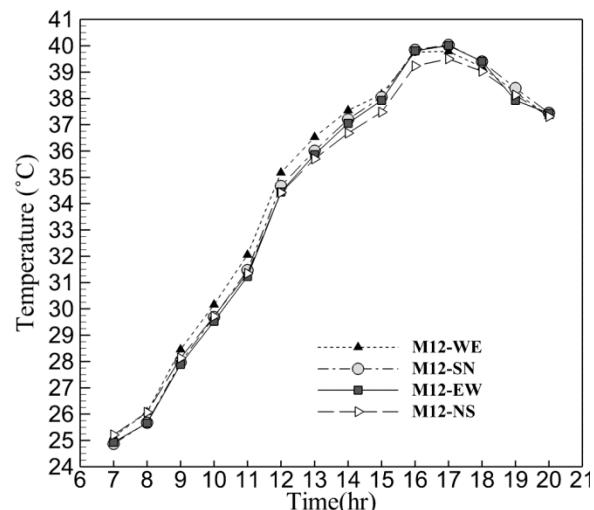


Fig. 23 میانگین دمای هوای حیاط باز با جهت‌گیری‌های مختلف در پایین دست

شکل 23 میانگین دمای هوای حیاط باز با جهت‌گیری‌های مختلف در پایین دست 1.5m در ارتفاع

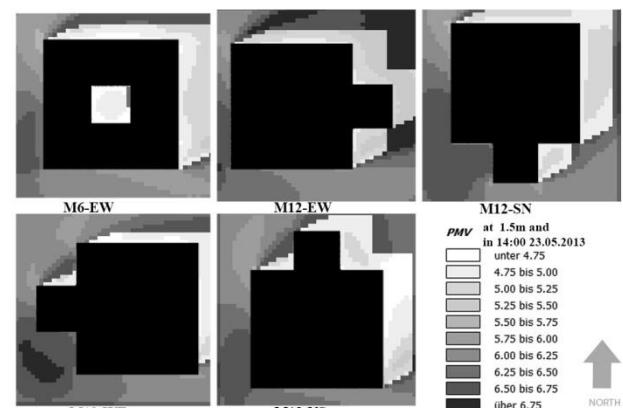


Fig. 24 کانتور آسایش حرارتی در جهت‌گیری‌های مختلف حیاط تمام‌باز در ساعت 14:00

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

- 5- در مدل تمام باز با افزایش ارتفاع (برخلاف حیاط‌های تمام‌بسته و نیمه‌بسته) کاهش محسوسی در دمای هوای میانگین و مقدار تشبع پخشی خواهیم داشت.
- 6- بهترین جهت‌گیری برای حیاط‌های نیمه‌بسته و تمام باز در موقعیت آب و هوایی تهران براساس مقدار دمای هوای میانگین کمتر و جهت‌گیری شمالی-جنوبی است. با این حال در ساعت اوج گرما هر دو حیاط نیمه‌بسته و تمام باز 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 ساعت اوج گرما کارایی حرارتی بهتری در حیاط باز و نیمه‌بسته را شاهد خواهیم بود.
- 8- در صورتی که ساعت اوج گرما برای ما حائز اهمیت باشد، هندسه تمام‌بسته با ارتفاع مناسب و با نسبت طول به عرض نزدیک به یک می‌تواند تأثیر به سازی در کاهش دمای هوای میانگین اطراف ساختمان و آسایش حرارتی داشته باشد.

7- مراجع

- [1] I. A. Meir, D. Pearlmuter, 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. Bahadri, 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 Dobbelaer, 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. Muhsisen, 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. Yeziioro, 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. Almhafid, 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. Muhsisen, 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 هوای 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 15°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 ساعت اوج گرما) کارایی حرارتی بهتری در حیاط باز و نیمه‌بسته خواهیم داشت؛ در صورتی که در ساعت اوج گرما عملکرد حیاط بسته بهتر خواهد بود. در صورتی که ساعت 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 به عنوان ریزاقالیمی 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 تشبعی برای بررسی عملکرد حیاط در موقعیت جغرافیایی و اقلیمی شهر تهران موردنظر قرار گرفتند. از آنجا که نتایج فقط در طول و عرض جغرافیایی شهر تهران به دست آمداند 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 هوای آسایش حرارتی بهتری را در پی دارد.

2- با فاصله گرفتن نسبت طول به عرض در حیاط تمام‌بسته از عدد 1 دمای هوای 15°C افزایش پیدا خواهد کرد و عملکرد ضعیف‌تری خواهد داشت.

3- جهت‌گیری در عملکرد حیاط تمام‌بسته با نسبت طول به عرض 1 تأثیر قابل توجه‌ای ندارد.

4- در حیاط تمام‌بسته و نیمه‌بسته با افزایش ارتفاع تأثیر بار تشبعی مستقیم و پخش‌شده کاهش می‌یابد و سبب کاهش میانگین دمای هوای تا 15°C می‌شود.

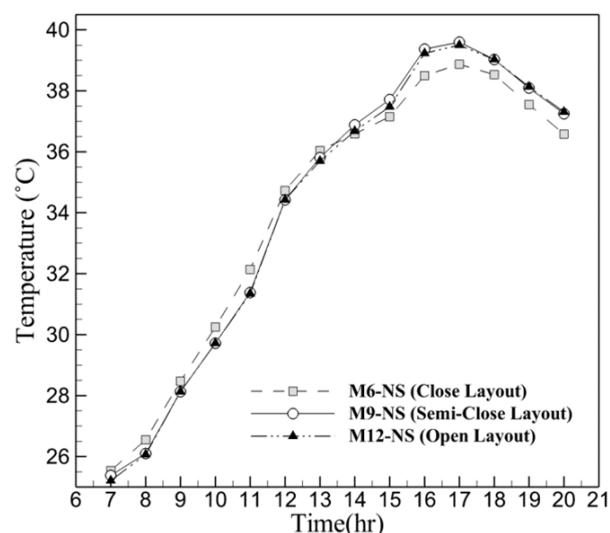


Fig. 27 Mean air temperature for courtyards with different layouts at 1.5m above ground

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

- 2016, Meteorological Organization of I.R. of Iran; <http://www.Irmo.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. Rasía, 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. Maggiotto, 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