



Investigation of the Effect of Urban Street Canyon Materials on Microclimate by CFD in Shiraz

Shoeleh Shoara¹, Seyed Majid Mofidi Shemirani^{2*}, Seyed Kamaledin Shahriari³, Zahra Sadat Saeideh Zarabadi⁴

¹PhD Candidate, Faculty of Civil engineering, Art and Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

²Assistant Professor, Head of Urban Development Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

³Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Art and Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁴Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Art and Architecture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article Type:

Original Research

Received: 08.23.2022

Revised: 12.17.2022

Accepted: 01.23.2023

Keyword:

Local Climate Zone
Large Eddy Simulation
Ventilation
Urban Canyon
Material

*Corresponding Author:

Seyed Majid Mofidi Shemirani

Email: s_m_mofidi@iust.ac.ir

Given the rapid acceleration of urbanization in the city of Shiraz in recent years, it seems necessary to study the impact of new developments. The purpose of this study was to investigate the effects of urban canyon material on daily average temperature and net long-wave wall flux. Therefore, the question arises of how urban surface material affects average daily temperatures and wall long-wave net fluxes. In this study, ANSYS FLUENT software was used to numerically model airflow, heat transfer, and solar radiation in a three-dimensional urban environment. The k-ε turbulence model was implemented for the initial modeling, whereas the large-eddy simulation model was utilized for the final modeling. The simulation also used three different materials for the urban facade; aluminum, gray concrete, and white stone, and asphalt for the ground. It was observed that the lowest wall's mean temperature was related to the white stone with a temperature of 294K at approximately 5:00 AM and the highest value was associated with the aluminum material with a temperature of 337K at approximately 14:00 PM. The lowest value of the average net long-wave radiation flux of walls equal to 53 w/m² was related to the aluminum material at approximately 6:30 AM and the highest amount equivalent to 295 w/m² was related to the white stone material at 15 PM. Comparisons revealed that the magnitude of the vortices generated next to the building was approximately the same for the three materials and the formation of vortices behind buildings that were as tall as the buildings.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The use of natural ventilation in Street Canyon plays an important role in reducing the heat island effect. Given the rapid acceleration of urbanization, industrial activity and large-scale construction activities in the city of Shiraz in recent years, it seems necessary to study the impact of new developments. In this study, ANSYS FLUENT software was used to numerically model airflow, heat transfer, and solar radiation in a three-dimensional urban environment.

Methodology

In this study, four variables including pressure, temperature, density, and wind velocity were studied. Airflow was simulated by Navier-Stokes equations. According to the solution strategy of this research, the problem was switched to the LES method after obtaining the initial solution by using the $k - \varepsilon$ model, and the final solution was solved by this technique. In addition, the convective, conductive, and radiant flows were calculated by the governing equations of fluid dynamics. For this purpose, solar radiation was simulated by the Monte Carlo model during the summer solstice on 21 June and the ideal gas law was applied. It is noteworthy that the equations should be solved simultaneously because of the common variables in this problem.

The simulated models included a 3×3 matrix of buildings with equal volumes and cross-sections of 27×27 square meters. The height of the computational domain was 6H to achieve a fully-developed flow field, where H represented the height of the buildings. In this study, input data were considered based on the city of Shiraz with hot and dry climates. The effect of three different materials- gray aluminum composite, gray concrete, and white stone chipping- on temperature change were investigated (Table 1). Furthermore, the computational fluid dynamics (CFD) solver was based on the finite volume method.

Table 1. material Specification according to Radhi et al.

Materials	Symbol	Density <i>kg/m³</i>	Conductivity <i>w/mK</i>	Specific heat <i>Kj/KgK</i>	Infrared emittance
Gray aluminum composite	Al-GY	7680	45	420	0.89
Gray concrete	C-GY	2050	0.719	890	0.9
White stone chipping	ST-CH	2240	1.74	1686	0.93

Boundary conditions

In this model, symmetry boundary conditions were used to simulate a part of the city. In addition, the velocity-inlet was used as the input boundary condition and the mass flow outlet was considered as the output boundary condition. Furthermore, the no-slip boundary condition of the stationary wall was employed for the top view.

Grid Convergence

Grid convergence is one of the most important phases of any research conducted by CFD. In this study, four grid models (Table 2) were designed with similar y^+ value but different grid size. In the current research, three types of materials were developed. Based on calculations in Table 2, the average distance of the first node from the walls was 0.5mm.

Table 2. Table of the grid providers with different y^+ .

Grid number	y^+
Grid 1	200
Grid 2	100
Grid 3	40
Grid 4	10

Results and discussion

In order to analyze the effects of changing materials on temperature and the net longwave flux of the surfaces, the daily walls' average temperature and daily walls' average net long-wave flux were simulated by Ansys Fluent.

- Investigating the effect of material change on the daily walls' average temperature

A comparison of the three types of materials indicates that the lowest daily walls' average temperature in the ratio of 1 in ground dimensions of 108×108 m² related to white stone with an average temperature of 294 K and the highest was related to aluminum material with an average temperature of 337 K (Figure 1).

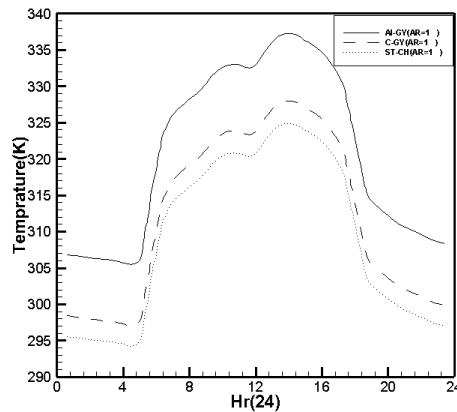


Figure 1. Comparison of the daily walls' average temperature changes for gray aluminum composite, gray concrete, and white stone chipping.

- b. Investigating the effect of material change and daily walls' average net long-wave flux

In addition, a comparison of the three types of materials showed that the lowest the daily walls' average net long-wave flux in the ratio of 1 in ground dimensions of $108 \times 108 \text{ m}^2$ was related to aluminum material at 6:30 am equal to 53 w/m^2 and the highest value was related to white stone material at 3 pm and almost equal to 295 w/m^2 (Figure 2).

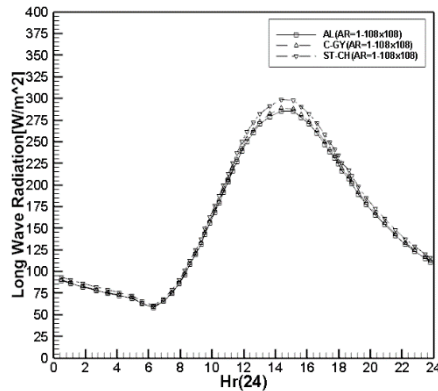


Figure 2. Comparison of the daily walls' average net long-wave flux changes for gray aluminum composite, gray concrete, and white stone chipping.

Conclusion

In this research, the daily average temperature and net longwave flux of walls for the ratio of 1 in ground dimensions of $108 \times 108 \text{ m}^2$ were studied via computational fluid dynamics. Comparisons between the three types of materials show that they have little impact on both the daily walls' average temperature and daily walls' average net long-wave flux.

In addition, comparisons also revealed that the eddies created near the buildings were of almost identical sizes in the three types of materials.

بررسی اثرات مصالح دره خیابان شهری بر خرد اقلیم با استفاده از CFD در شیراز

شعله شعرا^۱، سید مجید مفیدی شمیرانی^{۲*}، سید کمال‌الدین شهریار^۳، زهرا سادات سعیده زرآبادی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- ۲- استادیار، مدیر گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- ۳- استادیار، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- ۴- دانشیار، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

با افزایش شتابان روند شهرنشینی در شهر شیراز بررسی تأثیر مصالح در ساخت‌وسازهای عظیم سال‌های اخیر ضروری به نظر می‌رسد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر ماهیت و نوع مصالح بر تغییرات روزانه متوسط دمای جداره‌های ساختمان و میانگین تابش با طول‌موج بلند جداره‌ها می‌باشد و بر این اساس سؤال مطرح‌شده چگونگی تأثیر مصالح شهری بر تغییرات روزانه متوسط دمای جداره‌های ساختمان و میانگین تابش با طول‌موج بلند جداره‌ها - می‌باشد. در این تحقیق جریان هوا، انتقال حرارت و تابش خورشیدی در دره شهری با نسبت ابعاد یک در شیراز با نرم‌افزار فلونت شبیه‌سازی‌های عددی شد. از مدل‌های تلاطم k-ε برای مدل‌سازی اولیه و از مدل گردابه‌های بزرگ‌مقیاس در مدل‌سازی نهایی استفاده گردید. از سه نوع مصالح مختلف آلومینیوم، بتن خاکستری و سنگ سفید برای ساختمان‌ها و آسفالت برای کف زمین در شبیه‌سازی‌ها منظور گردید. یافته‌ها نشان داد که کم‌ترین میانگین دمای جداره‌ها، مربوط به سنگ سفید با دمای ۲۹۴ درجه کلوین در حدود ساعت ۵:۰۰ صبح و بیشترین آن مربوط به مصالح آلومینیوم با دمای ۳۲۷ درجه کلوین در حدود ساعت ۱۴:۰۰ بعدازظهر و کم‌ترین مقدار میانگین شار تابش خالص با طول‌موج بلند جداره‌ها مربوط به مصالح آلومینیوم به مقدار 2 W/m^2 در ۵۳ در ساعت ۶:۳۰ صبح و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به مصالح سنگ سفید در ساعت ۱۵:۰۰ به مقدار 2 W/m^2 است. در ضمن مقایسه‌ها نشان داد که گردابه‌های به وجود آمده در کنار ساختمان‌ها در هر سه نوع مصالح تقریباً دارای اندازه یکسانی می‌باشند؛ اما نکته جالب‌توجه وجود گردابه‌هایی به اندازه ارتفاع ساختمان در پشت ساختمان‌ها است.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱

بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۰

کلیدواژگان:

زون‌بندی اقلیمی محلی
شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ
تهویه
دره شهری
مصالح

*نویسنده مسئول: سید مجید مفیدی شمیرانی

پست الکترونیکی:

s_m_mofidi@iust.ac.ir

مقدمه

بحث تهویه طبیعی و استفاده از مواهب و نیروهای موجود در طبیعت، به واسطه ساختار شهری، مقوله‌ای است که در پژوهش‌های شهرسازی و معماری مورد بی‌عنایتی واقع شده است و تاکنون الگویی، برای مراحل اولیه برنامه‌ریزی و طراحی شهری، جهت بهره‌وری از انرژی‌های تجدید پذیر مانند انرژی باد که به صورت مستقیم و غیرمستقیم، سبب کاهش اثرات جزایر گرمایی می‌شود، ارائه نشده است. انجام این پژوهش از چند جنبه بسیار مهم است:

- الف. ضرورت استفاده از تهویه طبیعی به منظور کاهش اثرات جزیره گرمایی
- ب. ضرورت استفاده از تهویه طبیعی به منظور کاهش مصرف انرژی
- ج. ضرورت استفاده از تهویه طبیعی به منظور ارتقای کیفیت محیطی و داخل ساختمان

در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران، به دلیل استفاده از انرژی تجدید ناپذیر، افزایش مصرف انرژی سبب تولید آلودگی و گرما می‌شود که این ذرات آلاینده، خود، سبب تشدید اثرات جزایر گرمایی می‌شوند که از یک طرف، جزایر گرمایی به دلیل اکتساب گرما در جو از طرق مختلف، باعث مصرف بیشتر انرژی برق و سایر سوخت‌ها، به منظور تأمین سرمایش مورد نیاز تابستانی ساختمان‌ها شده است و از طرف دیگر، انسداد کریدورها، مانع جریان طبیعی هوا به دلیل تغییر الگوهای وزش باد شده است. علاوه بر این، پیچیدگی، هزینه و زمان بر بودن محاسبات حرارت سطحی شهر و تهویه دره‌های شهری، سبب پدیداری این حلقه گم‌شده میان‌رشته‌ای بین معماری، شهرسازی، مکانیک سیالات و جغرافیا شده است که در این پژوهش به آن پرداخته خواهد شد.

شهر شیراز از نظر جمعیتی، بزرگ‌ترین شهر ناحیه جنوب و جنوب غربی ایران محسوب می‌شود و در تقسیمات سیاسی کشور، یکی از انواع کلان‌شهرهای ایران است و از طرفی دیگر، به دلیل این که اقلیمی گرم و خشک دارد، می‌تواند نمونه موردی مناسبی برای بررسی تغییرات خرد اقلیمی باشد.

خلاف مطالعات پیشین [۱] در این پژوهش، برای بررسی چرخه روزانه گرمای محیط شهری، از شبیه‌سازی انتقال حرارت و حل عددی جریان سیال در مقیاس شهری واقعی استفاده شده است و در واقع شبیه‌سازی‌های ناپایدار با بارگذاری خورشیدی، باد و حرارت به صورت هم‌زمان حل خواهد شد که در کمتر مطالعه‌ای به آن پرداخته شده است. خلاف مطالعات پیشین [۲؛ ۳] که سرعت و دما [۴] را ثابت در نظر گرفته بودند، در این تحقیق، سرعت و جهت باد و دمای ورودی، متغیر با زمان و به صورت واقعی در نظر گرفته شده است. همچنین، استفاده از مدل با مقیاس واقعی از دیگر نوآوری‌های این تحقیق است.

هدف این پژوهش بررسی تأثیر ماهیت و نوع مصالح بر تغییرات روزانه متوسط دمای جداره‌های ساختمان و میانگین تابش با طول موج بلند جداره‌ها می‌باشد و بر این اساس سؤال مطرح شده -چگونگی تأثیر مصالح شریان شهری بر تغییرات روزانه متوسط دمای جداره‌های ساختمان و میانگین تابش با طول موج بلند جداره‌ها - است.

در این تحقیق تراکم شهری منطبق با طرح طبقه‌بندی اقلیمی محلی^۱ [۵] متراکم کم ارتفاع^۲، با سه نوع مصالح رایج در نماهای شهری شیراز (کامپوزیت آلومینیوم خاکستری، بتن خاکستری، قطعات سنگی سفید) مورد بررسی قرار گرفت. چراکه بتن و سنگ سفید از متداول‌ترین و رایج‌ترین مصالح جدید مورد استفاده در نماهای شهری شیراز هستند و اخیراً استفاده از مصالح آلومینیوم در این شهر منسوخ شده است. برای این منظور ابتدا مدل شهری در نرم‌افزار اتوکد ۲۰۲۱ مدل‌سازی شد و سپس جریان هوا در نرم‌افزار فلونت ویرایش ۲۱.۱ تحت زیرمجموعه نرم‌افزاری ANSYS ۲۰۲۱R1 شبیه‌سازی شد. در این مطالعه، حل در دو مرحله انجام پذیرفته است. در قدم اول، برآورد کلی حجم محاسبات

¹ Local climate zone (LCZ)

² Compact low rise

و همچنین جواب‌های اولیه با استفاده از مدل تلاطم $k-\epsilon$ محاسبه شدند؛ سپس جواب‌های حاصل به‌عنوان حدس اولیه در مدل‌سازی با LES به کار گرفته شدند.

ادبیات تحقیق

خلاصه گزارش هیئت بین دولتی تغییرات اقلیمی پیش‌بینی می‌کند که میانگین دمای جهانی تا پایان قرن بیست و یکم به‌طور قابل‌توجهی افزایش خواهد یافت و مقدار این افزایش، به انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو در آینده بستگی دارد. علاوه بر تغییرات اقلیمی جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتظار می‌رود شهرها به دلیل اثر جزیره گرمایی حتی بیشتر گرم شوند [۶؛ ۷]. اقلیم خرد در مناطق شهری با اقلیم مناطق روستایی تفاوت قابل‌توجهی دارد. دمای هوا به دلیل اثر جزیره گرمایی شهری در شهرها بالاتر و سرعت باد به دلیل محیط ساخته‌شده کمتر است [۸]. تأثیر جزایر گرمایی شهری عمدتاً ناشی از کاهش عوامل دید آسمان، استفاده از مصالح با ظرفیت گرمایی بالا، گرمای انسانی، عدم تبخیر و تعرق و کاهش جریان همرفتی است [۹]. اندازه‌گیری‌ها در لندن نشان داد که دمای هوا در شب تا ۷ درجه کلوین بیشتر از اندازه‌گیری‌های خارج از شهر است [۱۰؛ ۱۱].

جزایر گرمایی شهری خطرات بالقوه جدی برای سلامتی انسان به‌ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری دارد، زیرا جمعیت رو به رشد شهری سبب جایگزین محیط طبیعی با مصالح ساختمانی شده است [۱۲]. علاوه بر این، در بیشتر مطالعات دینامیک سیالات محاسباتی^۱ قبلی هم [۷]، هندسه ساختمان‌ها را با استفاده از اشکالی مانند مکعب‌ها و منشورهای مستطیلی، ساده کردند و کمتر نسبت به پیکرندی‌های شهری واقعی و یا هر دو آنها در کنار هم پرداخته‌شده است. گرم شدن کره زمین و امواج گرمای مرتبط [۱۳] ممکن است دما را در مناطق شهری افزایش دهد و پتانسیل سرمایه‌شده را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد. اثر جزایر گرمایی^۲ شهری نه تنها بر تقاضای انرژی برای سرمایش و گرمایش فضاهای ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارد، بلکه تأثیر زیادی بر آسایش حرارتی و سلامت مردم ساکن در مناطق شهری دارد. آگاهی از خرد اقلیم شهری برای تعداد زیادی از کاربردها مهم است. به‌عنوان مثال برای به دست آوردن نتایج دقیق برای شبیه‌سازی انرژی ساختمان، داده‌های خرد اقلیمی دقیق در محل ساختمان موردنیاز است. همچنین برنامه‌ریزان شهری برای بهبود آسایش حرارتی در مناطق شهری موجود یا برای برنامه‌ریزی نواحی شهری جدید با آسایش حرارتی بالا به داده‌های اقلیمی دقیق نیاز دارند [۱۰].

بر طبق تعریف مای و همکاران ۲۰۱۹، دره خیابانی به فضای باریک میان ساختمان‌ها که به‌صورت پیوسته در هر دو طرف خیابان قرار دارند، اشاره دارد [۱۴]. همچنین، از نظر فو و همکاران ۲۰۱۷، دره، خیابان باریکی است که در آن ساختمان‌هایی به‌صورت پی‌درپی^۳ در هر دو سمت قرار دارند [۱۵]. در چنین بخش جوی، جابجایی و تهویه^۴ هوای طبیعی از طریق فرایندهای دینامیکی در مقایسه با فضای باز بشدت محدود است [۱۶]. در ادامه به بیان ویژگی‌های دره شهری پرداخته خواهد شد.

توزیع دمای هوا در داخل دره، تحت تأثیر هندسه، جهت دره، خواص گرمایی ساختمان‌ها و مصالح قرار می‌گیرد. هندسه دره شهری و خواص گرمایی سطح شهری، به‌عنوان دو پارامتر اصلی تأثیرگذار بر روی اقلیم شهری مطرح می‌شود. ارتفاع ساختمان (H) و عرض بین هر دو سمت آنها (W)، بر روی آن تأثیر می‌گذارد. همچنین تشعشع در داخل و خارج، بر روی سرعت باد اثر می‌گذارد. جزیره گرمایی شبانه با نسبت $H=W$ افزایش می‌یابد [۱۷]؛ زیرا خارج شدن امواج

¹ Computational fluid dynamics (CFD)

² Urban heat island (UHI)

³ Successive

⁴ Ventilation

تشعشعاتی به دلیل کم شدن گنبد آسمان، کاهش یافته است. استفاده از مصالح بازتابی در دره شهری، می تواند بر روی میزان کاهش جزیره گرمایی، مخصوصاً در پیاده‌روها اثر بگذارد. هندسه دره شهری، بر روی شدت و دامنه تشعشعی که به سطح خیابان می‌رسد و به سمت جو بازمی‌گردد، تأثیر خواهد گذاشت [۱۸].

ویژگی‌های ساختمان‌ها نقش قابل توجهی بر عملکرد حرارتی در محیط‌های شهری دارند. چنین ویژگی‌هایی، زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند که درجه حرارت سطوح در معرض آفتاب، از دمای هوای اطراف آن، چند درجه گرم‌تر شود. مخصوصاً در مناطقی که تبدیل به جزایر گرمایی می‌شوند، دمای هوا در جهت وزش باد به دلیل تماس با سطوح گرم‌تر، افزایش پیدا می‌کند (به دلیل جریان‌های همرفتی). افزایش دمای هوا، سبب افزایش مصرف انرژی سرمایشی و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. در مناطق صنعتی، اثر جزایر حرارتی با فعالیت‌های انسانی مانند گرمای انسانی و جریان گرمای محسوس، تشدید می‌شود. بسیاری از تحقیقات، نقش مصالح را در گسترش جزایر گرمایی مورد ارزیابی قرار دادند و راه‌حلی مثل استفاده از سیستم پوشش گیاهی و مصالح سرد را ارائه داده‌اند [۱۹]. درک ویژگی‌های گرمایی مصالح برای فهم جریان هوا در داخل دره و نیز برای مطالعه تهویه و جابجایی هوای طبیعی در محیط‌های شهری ضروری است. این رویداد به مقدار انرژی جذب شده به وسیله سطوح شهری مربوط است. سانتا موریس و همکاران، بیان داشتند که در دیوار مقابل یک ساختمان، اختلاف دما وجود دارد که این به دلیل اثر پدیده همرفتی سطوح دیوارهای مجاور است [۱۷]. همچنین بر طبق پژوهش‌های صورت گرفته نوع مصالح نقش قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی را دارا می‌باشد [۲۰؛ ۲۱].

در دهه‌های اخیر مطالعات متعددی در مورد دره‌های خیابانی شهری^۱ از طریق شبیه‌سازی‌های عددی [۲۲؛ ۲۳]، آزمایش‌های تونل باد [۲۴] و اندازه‌گیری‌های میدانی [۲۵]، صورت گرفته و در آنها تأثیر حرارت سطح بر میدان جریان و تبادل حرارت در دره‌های شهری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در بیشتر مطالعات قبلی دینامیک سیالات محاسباتی هم نیز هندسه ساختمان‌ها را با استفاده از اشکالی مانند مکعب‌ها و منشورهای مستطیلی به‌منظور کاهش زمان و هزینه محاسبات ساده کردند [۷].

در ادامه در این مقاله، به معرفی تئوری انجام تحقیق و داده‌ها و روش‌ها پرداخته شد؛ و سپس نتایج حاصل از تحقیق مورد بحث قرار گرفت و در آخر نتیجه نهایی حاصل از تحقیق توضیح داده شد.

تئوری انجام تحقیق

در این مطالعه، ۴ متغیر شامل فشار، دما، چگالی و سرعت وجود دارد. جریان هوا با معادلات ناویر استوکس شبیه‌سازی شد. طبق استراتژی حل این پژوهش ابتدا جواب‌های اولیه با استفاده از مدل $k-\epsilon$ و سپس مسئله به روش LES سوئیچ می‌شود و حل نهایی با این تکنیک انجام می‌گردد. علاوه بر این، جریان همرفتی، رسانایی و تابشی با استفاده از معادلات حاکم بر سیال محاسبه شدند. بدین منظور تابش خورشیدی در انقلاب تابستانی در تاریخ ۲۱ ژوئن (معادل اول تیرماه) با کمک مدل مونت کارلو^۲ شبیه‌سازی شد. همچنین از قانون گازهای ایده‌آل کمک گرفته شد. لازم به ذکر است که به دلیل وجود متغیرهای مشترک در این مسئله، معادلات باید به‌صورت هم‌زمان حل شوند که محاسبات آن زمان‌بر و پرهزینه است. جدول ۱ به‌طور خلاصه روش‌های آنالیز را نشان می‌دهد.

¹ Urban street canyon

² Monte Carlo (MC)

جدول ۱. خلاصه روش‌های آنالیز.

پارامتر/ اجزای اصلی حل	توضیحات
هندس	حل در دره شهری با نسبت ابعاد ۱ در زمین ۱۰۸ در ۱۰۸ مترمربعی (آرایش فشرده)
دامنه جامد ^۱	کامپوزیت آلومینیوم خاکستری بتن خاکستری قطعات سنگی سفید
سیال	هوا - فرمول‌بندی چگالی بر اساس گاز ایده آل
مدل جریان آشفته	حل اولیه با استفاده از مدل k-ε و حل دقیق با استفاده از مدل LES
مدل تشعشعی	مونت کارلو
نوع حل گر	گذرا ^۲
پله زمانی	۸۶۴۰۰۰ پله زمانی با زیر پله ۰.۱ ثانیه‌ای ۱۰۰ تکرار

داده‌ها و روش‌ها

۲۰۱۴ Middel et al. از نرم‌افزار شبیه‌سازی عملکرد حرارتی فضای باز ENVI-Met، برای اندازه‌گیری تغییرات دما و سرعت باد در محیط ساخته شده استفاده کردند. برخی نرم‌افزارهای دیگر مانند Integrated Environmental Solution IES-VE و Energy-Plus بیشتر بر روی پارامترهای حرارتی داخلی و عملکرد متمرکز هستند. این نرم‌افزارها اساساً برای شبیه‌سازی پارامترهای خرد اقلیم در پوشش فضای شهری توسعه یافته‌اند. ANSYS-FLUENT یک نرم‌افزار کاربردی قوی با انعطاف‌پذیری بالا در مدل‌سازی جریان هوا است و می‌تواند طیف گسترده‌ای از پارامترهای مربوط به جریان سیال در خرد اقلیم را در نظر بگیرد [۲۶].

به‌طور کلی در مطالعات کمی از مدل‌های تلاطم LES و RANS^۳ استفاده شده است. بر طبق تحقیق انجام شده توسط Toparlar et al. 2017، از میان ۱۸۳ مطالعه مورد بررسی فقط ۲ مورد مدل‌های LES و RANS هم‌زمان به کار برده شده است که یکی از علت‌های مهم آن، هزینه محاسبات بالای استفاده از مدل‌های LES هست [۲۷].

معرفی مسئله

در این مطالعه مدل تعریف شده شامل ماتریس ۳×۳ ساختمان‌ها با حجم برابر با سطح مقطع ۲۷×۲۷ مترمربع و ارتفاع ۹ متر می‌باشد. شبکه‌بندی برای محاسبات به اندازه ارتفاع ۶H [۲] در نظر گرفته شد تا میدان جریان، به صورت کامل توسعه پیدا کند که در آن H ارتفاع ساختمان‌ها است. در این مدل‌سازی از پیکربندی ایده‌آل تعریف شده متراکم کم ارتفاع پیروی شد [۵]. این شبیه‌سازی در زمینی به ابعاد ۱۰۸ در ۱۰۸ با سطح اشغال ۵۶ درصد صورت گرفت (شکل ۱). در این تحقیق، داده‌های ورودی بر اساس شهر شیراز واقع در ایران با اقلیم گرم و خشک در نظر گرفته شد. در این تحقیق تأثیر سه نوع مصالح مختلف کامپوزیت آلومینیوم، بتن خاکستری و قطعات سنگی بر تغییرات روزانه میانگین چهار جداره (T_{sides}) و تغییرات روزانه میانگین تابش با طول موج بلند چهار جداره (L_{sides}) مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). حل گر^۴ دینامیک سیالات محاسباتی در این تحقیق از نوع فلوئنت و مبتنی بر روش حجم محدود می‌باشد.

¹ Solid Domain

² Transient

³ Reynolds averaged navier stokes (RANS)

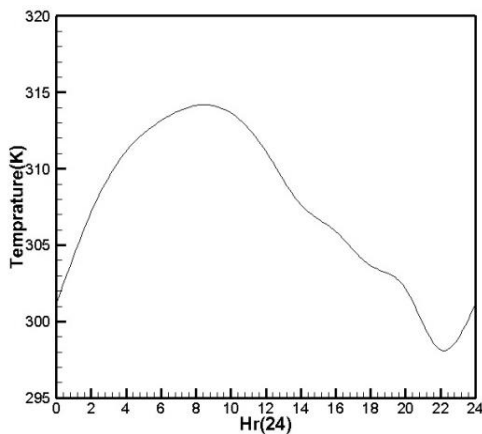
⁴ Solver

جدول ۲. مشخصات مصالح بتون، سنگ و کامپوزیت آلومینیوم [۱۹].

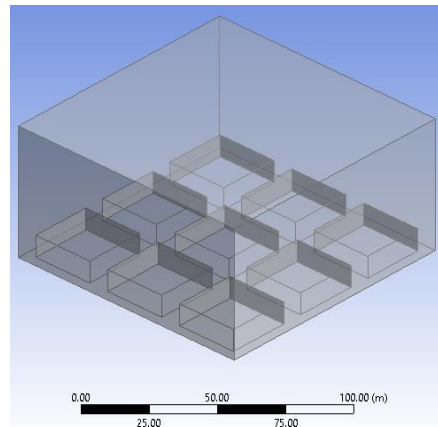
ردیف	مصالح	علامت مشخصه	چگالی ^۱ kg/m ^۳	رسانایی ^۲ w/mk	گرمای ویژه ^۳ Kj/kgk	انتشار مادون قرمز ^۴
۱	کامپوزیت آلومینیوم خاکستری ^۵	AI-GY	۷۶۸۰	۴۵	۴۲۰	۰.۸۹
۲	بتن خاکستری ^۶	C-GY	۲۰۵۰	۰.۷۱۹	۸۹۰	۰.۹
۳	قطعات سنگی سفید ^۷	ST-CH	۲۲۴۰	۱.۷۴	۱۶۸۶	۰.۹۳

معرفی داده‌ها

در این تحقیق داده‌های هواشناسی روز یک تیر شهر شیراز واقع در ایران - به دلیل طولانی‌ترین روز در سال - برای اجرای فرآیند شبیه‌سازی انتخاب شد. منحنی (شکل ۲) شرط مرزی متغیر با زمان برای دما و منحنی (شکل ۳) و (شکل ۴) به‌عنوان متغیرهای سرعت ورودی در نظر گرفته شدند.

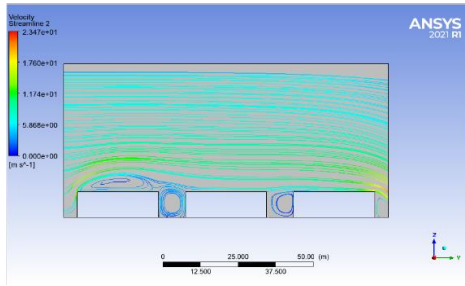


شکل ۲. منحنی میانگین دمایی در ۲۴ ساعت در مرز ورودی.



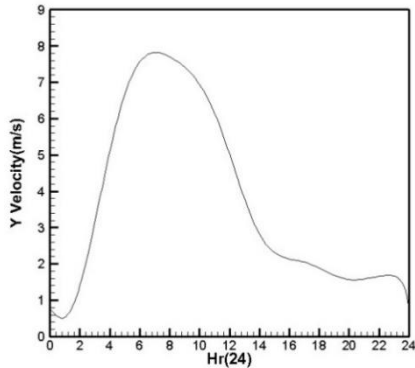
شکل ۱. متراکم کم ارتفاع.

- 1 Density
- 2 Conductivity
- 3 Infrared emittance
- 4 Infrared emittance
- 5 Composite alum-gray
- 6 Concrete-gray
- 7 White stone chipping

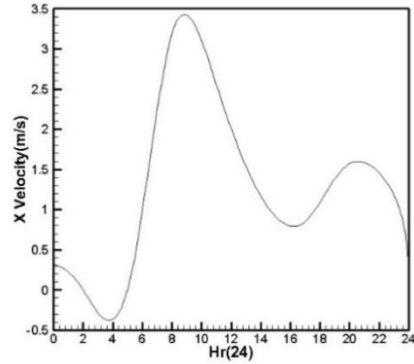


شکل ۱۱- کانتور دما در ساعت ۱۲ ظهر
جنس مصالح (بتن خاکستری).

شکل ۱۰- کانتور دما در ساعت ۱۲ ظهر
جنس مصالح (کامپوزیت آلومینیوم).



شکل ۴. منحنی سرعت در راستای Y در مرز ورودی.



شکل ۳. منحنی سرعت در راستای X در مرز ورودی.

شرایط مرزی

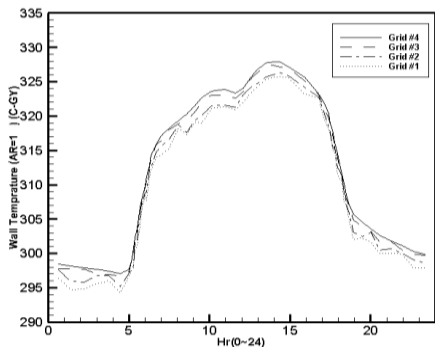
در این تحقیق از شرایط مرزی متقارن (symmetry) استفاده شده که تداعی شبیه‌سازی قسمتی از شهر است. علاوه بر این، شرط مرزی ورودی سرعت (velocity-inlet) در ورودی و شرط مرزی خروجی جرم (mass flow outlet) در خروجی در نظر گرفته شده است. شرط مرزی دیوار ثابت (stationary wall) برای نمای بالایی با شرط عدم لغزش (no slip) در نظر گرفته شد. همچنین، شرط مرزی ساختمان‌ها و زمین، دیوار (wall) در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که این مسئله در ۸۶۴۰۰۰ پله زمانی حل شده است. هر پله زمانی دارای زیر پله زمانی ۰.۱ ثانیه‌ای است. هر ۰.۱ ثانیه از این مسئله در حداکثر ۱۰۰ تکرار حل شده است. به عبارتی هر حل کامل این مسئله برابر با ۸۶۴×۱۰^۵ تکرار است.

همگرایی مش

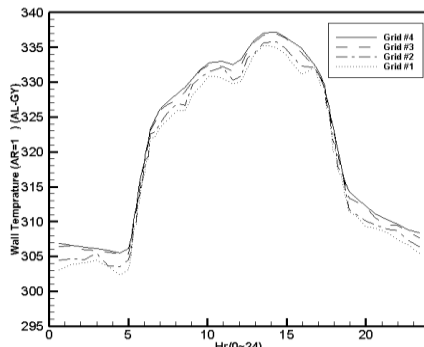
یکی از مهم‌ترین قسمت‌های هر پژوهشی که با استفاده از تکنیک CFD انجام می‌گردد، مطالعه همگرایی مش است. در این مطالعه برای هر مورد حل، چهار مدل شبکه (جدول ۳) با هدف تعیین همگرایی مش در نسبت ابعاد یک، برای سه نوع مصالح (شکل‌های ۵ تا ۷) تولید شد که در مقدار y^+ با یکدیگر مشابه هستند اما در سایز شبکه با یکدیگر متفاوت‌اند. پارامتری که برای همگرایی مش در نظر گرفته شد، میانگین دمای جدارها در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود شبکه‌های شماره ۴ و ۳ همگرا شدند و به‌این ترتیب شبکه شماره ۴ مبنای محاسبه فاصله اولین نود قرار گرفت؛ به‌این ترتیب بر اساس محاسبات انجام شده در (جدول ۴) به‌صورت میانگین فاصله اولین نود از دیواره ۰.۵ mm به دست آمد.

جدول ۳. ارائه شبکه‌های مختلف با y^+ های مختلف.

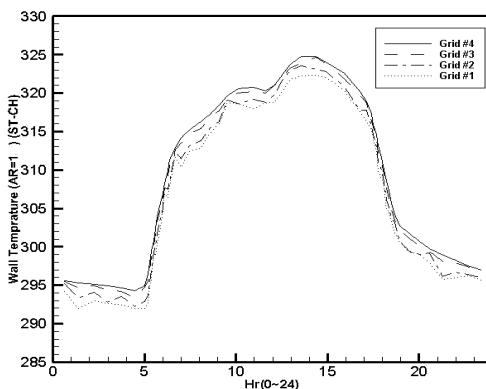
شماره‌ی شبکه	مقدار y^+
شبکه ۱	۲۰۰
شبکه ۲	۱۰۰
شبکه ۳	۴۰
شبکه ۴	۲



شکل ۶. ساختمان نمای بتن خاکستری.



شکل ۵. ساختمان نمای کامپوزیت آلومینیوم.



شکل ۷. ساختمان نمای سنگ سفید.

جدول ۴. جدول محاسبه فاصله اولین نود از دیواره.

ارتفاع	عدد رینولدز	ضریب اصطکاک	تنش برشی	سرعت اصطکاکی	y
H=۹m	$1.0^6 \times 4.7$	$1.0^3 \times 2.68$	0.107 Kg/ms^2	0.3 m/s	$y(l=9)=5.29 \times 10^{-4} \text{ m}$

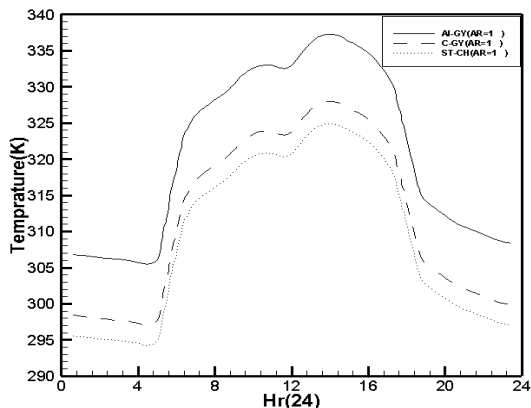
نتایج و بحث

به منظور تجزیه و تحلیل اثرات میدان جریان بر دما و مؤلفه‌های تعادل انرژی سطوح، تغییرات روزانه متوسط دمای چهار دیوار (شمالی، جنوبی، شرقی، غربی) ساختمان (T_{sides}) و تغییرات روزانه میانگین تابش با طول موج بلند چهار جداره (L_{sides}) - که هر کدام چرخه متفاوتی نسبت به موقعیت خورشید با توجه به جهتشان دارند - با استفاده از نرم‌افزار انسیس فلونت نت شبیه‌سازی شد.

بررسی تأثیر تغییرات مصالح بر T_{sides} در دره شهری با نسبت ابعاد یک

شکل ۸ نمودار تغییرات روزانه T_{sides} را برای مصالح مختلف نشان می‌دهد؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود T_{sides} در همه انواع مصالح از ساعت ۵ تا ۷ صبح T_{sides} ناگهان با شیب زیادی افزایش پیدا می‌کند که علت آن پایین بودن ارتفاع

خورشید و در معرض تابش قرار گرفتن سطح بیش تری از دیوارها می باشد؛ سپس این افزایش تا ساعت حدود ۱۴ ادامه پیدا می کند تا به بیشترین مقدار خود در همین ساعت برسد؛ و از آنجایی که از ساعت ۱۲ ظهر خورشیدی، کم کم مناطق در سایه افزایش پیدا می کند، از ساعت ۱۴ تا ۱۸/۵ بعدازظهر T_{sides} با شیب تندی کاهش پیدا می کند و این کاهش تا ۵ صبح ادامه پیدا می کند تا به کمترین مقدار خود در این ساعت برسد. همین طور مقایسه دره شهری با سه نوع مصالح مختلف نشان می دهد که کمترین T_{sides} مربوط به سنگ سفید با دمای ۲۹۴ درجه کلوین در حدود ساعت ۵ صبح و بیشترین آن مربوط به مصالح آلومینیوم با دمای ۳۳۷ درجه کلوین در حدود ساعت ۱۴ بعدازظهر است.

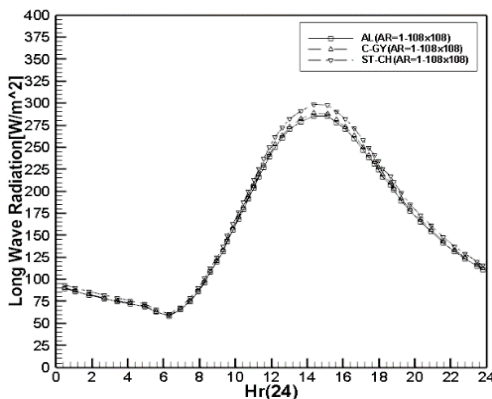


شکل ۸. مقدار میانگین چهار جداره در زمین ۱۰۸ متری با مصالح مختلف در طول ۲۴ ساعت با ضریب منظری ۱.

بررسی تأثیر تغییرات مصالح بر L_{sides} در دره شهری با نسبت ابعاد یک

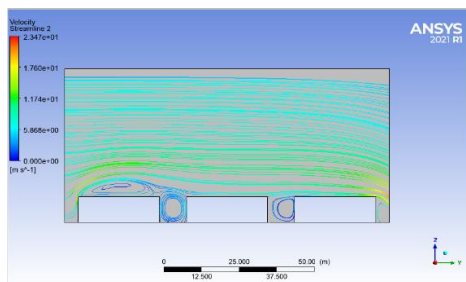
(شکل ۹) نمودار تغییرات روزانه L_{sides} را برای مصالح مختلف نشان می دهد؛ همان طور مشاهده می شود، L_{sides} نیز تحت تأثیر مصالح هست؛ و در هر سه نوع مصالح، در ساعات ابتدایی روز حدود ساعت ۶/۳ صبح تا حدود ساعت ۱۳، تابش با طول موج بلند با شیب تندی افزایش پیدا می کند و این افزایش تا ساعت ۱۵ بعدازظهر با شیب کمتری ادامه پیدا می کند و به ماکزیمم مقدار خود در این ساعت می رسد. پس از آن از ساعت ۱۵ تا شروع روز بعد با شیب نسبتاً تندی کاهش می یابد که البته شیب کاهش L_{sides} در این ساعات نسبت به شیب افزایش L_{sides} در ساعات ابتدایی روز کمتر می باشد؛ که این کاهش با شیب کمتری تا ساعت ۶/۳ صبح ادامه پیدا می کند و در این ساعت در هر سه نوع مصالح، به کمترین مقدار خود می رسد.

در مقایسه بین سه نوع مصالح بتن، آلومینیوم و سنگ سفید دیده می شود که کمترین L_{sides} ، مربوط به مصالح آلومینیوم به مقدار 53 w/m^2 در ساعت ۶/۳ صبح و بیشترین مقدار آن مربوط به مصالح سنگ سفید در ساعت ۱۵ به مقدار 295 w/m^2 است. همچنین بررسی دقیق در این مطالعه نشان می دهد که باینکه مصالح آلومینیوم در طول شبانه روز T_{sides} بالاتری نسبت به بتن و سنگ دارد، اما کمترین مقدار L_{sides} را دارد.

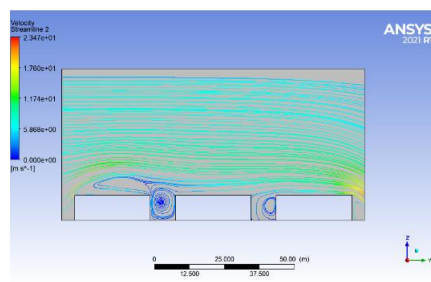


شکل ۹. مقدار خالص شار تشعشی موج بلند برای مصالح مختلف با ضریب منبری^۱.

کانتور چگونگی شکل گیری گردابه‌ها با مصالح مختلف با نسبت ابعاد ۱ در زمین 10.8×10.8 (شکل‌های ۱۰ تا ۱۲) کانتورهای خطوط جریان را برای سه نوع مصالح در دره شهری با نسبت ابعاد ۱ نشان می‌دهد؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود، گردابه‌های به وجود آمده در دره شهری در هر سه نوع مصالح تقریباً دارای اندازه یکسانی می‌باشند که علت آن هندسه یکسان می‌باشد؛ اما نکته مهمی که در این خصوص جالب توجه است وجود گردابه‌هایی به اندازه ارتفاع ساختمان در پشت ساختمان‌هاست که باعث گیر افتادن هوا و عدم تهویه مناسب در این مناطق می‌گردد.

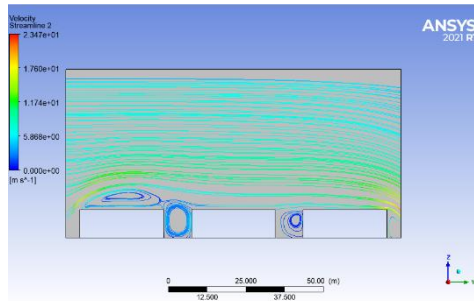


شکل ۱۱- کانتور دما در ساعت ۱۲ ظهر جنس مصالح (بتن خاکستری).



شکل ۱۰- کانتور دما در ساعت ۱۲ ظهر جنس مصالح (کامپوزیت آلومینیوم).

¹ Aspect ratio



شکل ۱۲- کانطور دما در ساعت ۱۲ ظهر
جنس مصالح (قطعات سنگی سفید).

نتیجه گیری

در این تحقیق دما و شار حرارتی برای دره شهری با نسبت ابعاد یک با دینامیک سیالات محاسباتی مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق، ابعاد هندسه واقعی بود و دره شهری با سه نوع مصالح (کامپوزیت آلومینیوم خاکستری، بتن خاکستری، قطعات سنگ سفید) در نظر گرفته شد.

در مدل‌های طراحی شده تابش با طول موج کوتاه و بلند، انتقال حرارت همرفتی در سطوح و رسانایی گرما از طریق دیوارها و زمین در نظر گرفته شده است. همچنین، برای شارهای حرارتی، شارهای آشفته و همرفتی در نظر گرفته شده است. بررسی دقیق در این مطالعه نشان می‌دهد که کمترین T_{sides} مربوط به سنگ سفید و بیشترین آن مربوط به مصالح آلومینیوم است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که کمترین مقدار L_{sides} مربوط به مصالح آلومینیوم و بیشترین مقدار آن مربوط به مصالح سنگ سفید است. پس می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مصالح آلومینیوم در شهر شیراز در جداره شهری می‌تواند بر کاهش اثر جزیره گرمایی موثر باشد. همچنین مقایسه بین سه نوع مصالح نشان می‌دهد که به علت وجود هندسه یکسان، گردابه‌ها دارای اندازه یکسانی هستند؛ اما نکته مهمی که در این خصوص جالب توجه است وجود گردابهایی به اندازه ارتفاع ساختمان در درون دره‌ها می‌باشد و می‌توان نتیجه گرفت که مصالح نقش اساسی در تهویه و در واقع جریان در شهر شیراز ندارند. در مطالعات آینده نقش هندسه دره شهری نیز بر تهویه و همین‌طور جزایر گرمایی به طور دقیق مورد بررسی قرار خواهد گرفت؛ چرا که بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق به نظر می‌رسد هندسه دره شهری نقش مهم‌تری بر تهویه شهری داشته باشند.

References

- [1] Bakarman, M. A., & Chang, J. D. (2015). The Influence of Height/width Ratio on Urban Heat Island in Hot-arid Climates. *Procedia Engineering*, 118, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.408>
- [2] Nazarian, N., & Kleissl, J. (2016). Realistic solar heating in urban areas: Air exchange and street-canyon ventilation. *Building and Environment*, 95(2), 75-93. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.021>
- [3] Yaghoobian, N., & Kleissl, J. (2012). Effect of reflective pavements on building energy use. *Urban Climate*, 2, 25-42. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2012.09.002>
- [4] Blunn, L. P., Coceal, O., Nazarian, N., Barlow, J. F., Plant, R. S., Bohnenstengel, S. I., & Lean, H. W. (2022). Turbulence Characteristics Across a Range of Idealized Urban Canopy Geometries. *Boundary-Layer Meteorology*, 182(2), 275-307. <https://doi.org/10.1007/s10546-021-00658-6>

- [5] Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- [6] Huang, K., Li, X., Liu, X., & Seto, K. C. (2019). Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050. *Environmental Research Letters*, 14(11), 1-12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4b71>
- [7] Mughal, M. O., Kubilay, A., Fatichi, S., Meili, N., Carmeliet, J., Edwards, P., & Burlando, P. (2021). Detailed investigation of vegetation effects on microclimate by means of computational fluid dynamics (CFD) in a tropical urban environment. *Urban Climate*, 39, 100939. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100939>
- [8] Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates* (2 ed.). Routledge. <https://www.routledge.com/Boundary-Layer-Climates/Oke/p/book/9780415043199>
- [9] Asimakopoulos, D. N., Assimakopoulos, V. D., Chrisomallidou, N., Klitsikas, N., Mangold, D., Michel, P., Santamouris, M., & Tsangrassoulis, A. (2001). *Energy and climate in the urban built environment* (M. Santamouris, Ed.). James & James. <https://doi.org/10.4324/9781315073774>
- [10] Allegrini, J., Dorer, V., & Carmeliet, J. (2015). Coupled CFD, radiation and building energy model for studying heat fluxes in an urban environment with generic building configurations. *Sustainable Cities and Society*, 19, 385-394. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.009>
- [11] Watkins, R., Palmer, J., Kolokotroni, M., & Littlefair, P. (2002). The London Heat Island: results from summertime monitoring. *Building Services Engineering Research and Technology*, 23(2), 97-106. <https://doi.org/10.1191/0143624402bt031oa>
- [12] Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2011). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. Routledge. <https://www.routledge.com/Urban-Microclimate-Designing-the-Spaces-Between-Buildings/Erell-Pearlmutter-Williamson/p/book/9781138993983>
- [13] Fischer, E. M., & Schar, C. (2009). Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role for temperature extremes. *Climate Dynamics*, 33(7), 917-935. <https://doi.org/10.1007/s00382-008-0473-8>
- [14] Mei, S-J., Luo, Z., Zhao, F-Y., & Wang, H-Q. (2019). Street canyon ventilation and airborne pollutant dispersion: 2-D versus 3-D CFD simulations. *Sustainable Cities and Society*, 50(2), 101700. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101700>
- [15] Fu, X., Liu, J., Ban-Weiss, G. A., Zhang, J., Huang, X., Ouyang, B., Popoola, O., & Tao, S. (2017). Effects of canyon geometry on the distribution of traffic-related air pollution in a large urban area: Implications of a multi-canyon air pollution dispersion model. *Atmospheric Environment*, 165, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.031>
- [16] Zhong, J., Cai, X-M., & Bloss, W. J. (2016). Coupling dynamics and chemistry in the air pollution modelling of street canyons: A review. *Environmental Pollution*, 214, 690-704. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.052>
- [17] Firdausah, A., & Wonorahardjo, S. (2017, November 11). *Typology study of urban canyon in residential area and the quality of its thermal environment*. HABITechno 3 International Conference, Bandung, Indonesia. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/152/1/012025>
- [18] Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>

- [19] Radhi, H., Assem, E., & Sharples, S. (2014). On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions. *Building and Environment*, 72, 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.005>
- [20] Heydari, E., Mehdinezhad, J., & Doulabi, P. (2022). Strategic Principles of Designing the form of a Residential Building in Bushehr Based on Reducing Energy Consumption. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 18(4), 345-361. <https://doi.org/10.48301/kssa.2022.306864.1761>
- [21] Shayanian, A., Mozaffari Qhadikolaei, F., & Pahlavan, A. (2022). The Effect of Materials in Reducing Energy Consumption in Atrium Commercial Centers in the North and Center of Tehran Province. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 18(4), 429-440. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.281281.1482>
- [22] Li, L., Yang, L., Zhang, L.-J., & Jiang, Y. (2012). Numerical study on the impact of ground heating and ambient wind speed on flow fields in street canyons. *Advances in Atmospheric Sciences*, 29(6), 1227-1237. <https://doi.org/10.1007/s00376-012-1066-3>
- [23] Xie, X., Liu, C.-H., Leung, D. Y. C., & Leung, M. K. H. (2006). Characteristics of air exchange in a street canyon with ground heating. *Atmospheric Environment*, 40(33), 6396-6409. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.050>
- [24] Uehara, K., Murakami, S., Oikawa, S., & Wakamatsu, S. (2000). Wind tunnel experiments on how thermal stratification affects flow in and above urban street canyons. *Atmospheric Environment*, 34(10), 1553-1562. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00410-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00410-0)
- [25] Offerle, B., Eliasson, I., Grimmond, C. S. B., & Holmer, B. (2007). Surface heating in relation to air temperature, wind and turbulence in an urban street canyon. *Boundary-Layer Meteorology*, 122(2), 273-292. <https://doi.org/10.1007/s10546-006-9099-8>
- [26] Middel, A., Häb, K., Brazel, A. J., Martin, C. A., & Guhathakurta, S. (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, 122(1), 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.004>
- [27] Toparlar, Y., Blocken, B., Maiheu, B., & Van Heijst, G. J. F. (2017). A review on the CFD analysis of urban microclimate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1613-1640. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.248>