



Investigating of ventilation in apartments in a hot and semi-humid climate

ARTICLE INFO

Article Type

Analytic Study

Authors

Raziyeh Rezadoost Dezfuli ¹
Mohsen Taban ^{2*}
Hassan Bazazzadeh ³

How to cite this article

Rezadoost Dezfuli R, Taban M*, Bazazzadeh H. Investigating of ventilation in apartments in a hot and semi-humid climate. 2023 September 23, 13(2):85-103
<https://doi.org/10.1001.1.23224991.1402.13.2.5.4>

1. Graduate Master of Architectural engineering, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology.

2. Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology.

3. Researcher, Faculty of Architecture, Poznan University of Technology.

*Correspondence

Address: Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology.

Email: Hassan.bazazzadeh@doctorate.put.poznan.pl

Phone:

Article History

Received: 2023/02/25

Accepted: 2023/04/06

Published:

ABSTRACT

Aims: Today, the energy crisis has become a global problem, and all countries are involved in this crisis, so solutions with small results can lead to significant changes on a macro scale. Passive cooling strategies are a method to reduce energy consumption in buildings and help improve and promote energy management in hot climates.

Methods: The current study analysis ventilation performance related to constructing four-story buildings. Furthermore, there is a heavy investigation into the mechanical aspects of ventilation; hence this research is going to fill the gap in the architectural view of the ventilation system. The modeling uses energy software (Design-Builder).

Findings: Studies have been conducted to investigate the position of the stack, and the earth's rotation, in addition to changes in the materials of the stack in the residential area of Dezful city. The most frequent residential land size in the residential area of Dezful is 10x20 square meters. In addition, changing materials has a direct impact on stack ventilation.

Conclusion: The simulation outcomes demonstrated that material and site rotation changes could alter the stack's performance, meaning that glass can be more effective than aluminum. Still, the position of the stack in the plan does not make a significant difference in the stack's performance. The result is outstanding for architects and all people working in this field, which can be a guideline in designing energy-efficient.

Keywords: Dezful, Apartment, Stack Ventilation, Stack Position, Natural Ventilation, Indirect Ventilation.

CITATION LINKS

[1] Ozarisooy B. Energy effectiveness of passive.... [2] Cuce E, Sher F, Sadiq H, ... [3] Rahif R, Hamdy M, Homaei S, Zhang C... [4] Iqbal N, Kim DH. Iot task management... [5] Yang D, Li P. Dimensionless design ... [6] Azimirad M, Nadalian B, Alavifard H... [7] Van de Graaf T, Lesage D. The ... [8] Bazazzadeh H, Świt-Jankowska B, Fazeli N, Nadolny ... [9] Morady E, Soltani M, Moradi Kashkooli F, Ziaabasharhagh M, ... [10] Adibhesami MA, Karimi H, Sharifi A, Sepehri B, ... [11] Shaeri J, Mahdaveinejad M, Vakilinejad R... [12] Pilechiha P, Mahdaveinejad M, Rahimian FP &... [13] Talaei M, Mahdaveinejad M, Azari R, Prieto A, ... [14] Laskari M, de Masi RF, Karatasou S ... [15] Bazazzadeh H, Pilechiha P, Nadolny ... [16] Bazazzadeh H, Nadolny A, Safaei SSH... [17] Leng PC, Ahmad MH, Ossen DR, Ling, ... [18] Krzaczek M, Florczuk J, Tejchman ... [19] Stavrakakis G, Zervas P, Sarimveis H, ... [20] Kravchenko I, Kosonen R, Jokisalo ... [21] Kravchenko I, Kosonen R, Jokisalo, ... [22] Kyritsi E, Michael A. An assessment of ... [23] Sakiyama N, Carlo J, Frick J, Garrecht H ... [24] Moret Rodrigues A, Santos M ... [25] Vurro G, Santamaria V, Chiarantoni C ... [26] Abba HY, Majid RA, Ahmed MH, Gbenga, ... [27] Al-Sakkaf A, Mohammed Abdelkader E ... [28] Daemei AB, Limaki AK, Safari H ... [29] Chung LP, Ahmad MH, Ossen DR, ... [30] De la Torre S, Yousif C. Evaluation of chimney ... [31] Elshafei G, Negm A, Bady M, Suzuki M, ... [32] Giouri ED, Tenpierik M, Turrin M ... [33] Michalak P. Thermal—Airflow Coupling ... [34] Rodrigues Marques Sakiyama N, ... [35] Nguyen Y, Wells J. A numerical study on ... [36] Hosien M, Selim S. Effects of the geometrical... [37] Khanal R, Lei C. Solar chimney—A ... [38] Bansal N, Mathur R, Bhandari M... [39] Chen J, Brager GS, Augenbroe G, ... [40] Harvey LD, Korytarova K, Lucon O ... [41] Shi L, Zhang G, Yang W, Huang D... [42] Shi L, Cheng X, Zhang L, Li Z, ... [43] Bouchair A. Solar chimney for, ... [44] Afonso C, Oliveira A. Solar " ... [45] Fakhari M, Heidari S. The Study ... [46] Jianliu X, Weihua L. Study on solar ... [47] Zha X, Zhang J, Qin M. Experimental and numerical ... [48] Punyasompun S, Hirunlabh J, Khedari J, ... [49] Hong S, He G, Ge W, Wu Q, Lv D, Li Z, editors..... [50] Chen Y, Tong Z, Wu W, Samuelson H ... [51] Ding W, Hasemi Y, Yamada T. Natural ... [52] Teleszewski TJ, Gładyszewska-Fiedoruk K ... [53] Mokheimer EM, Shakeel MR, Al-Sadah J ... [54] Deng JY, Wong NH, Hii DJ, Yu Z, Tan E ... [55] Moosavi L, Zandi M, Bidi M, Behroozizade E, Kazemi I... [56] Lei Y, Zhang Y, Wang F, Wang X... [57] Wu Y, Gao N, Niu J, Zang J, and Cao Q... [58] Gan G. Simulation of buoyancy-induced... [59] Saroglou T, Theodosiou T, Givoni B, Meir IA [60] Ozarisooy B, Altan H. Regression forecasting... [61] Alibaba HZ. Heat and air flow behavior ... [62] Suhendri S, Hu M, Su Y, Darkwa J, Riffat S... [63] Ghiaia C, Allard F, Santamouris M, Georgakis...

بررسی تهویه هواکشی در آپارتمان‌های اقلیم گرم و نیمه مرطوب

راضیه رضادوست دزفولی^۱، محسن تابان^{۲*}، حسن بزاززاده^۳

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و

شهرسازی دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول،

ایران.

۲- استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی

دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، دزفول، ایران (نویسنده

مسئول).

۳- پژوهشگر، دانشکده معماری، دانشگاه صنعتی پوزنان، پوزنان،

لهستان.

چکیده

اهداف: امروزه بحران انرژی به یکی از مشکلات جهانی تبدیل شده است. در شرایطی که تمامی کشورها با این بحران درگیر هستند، راهکارهایی با نتایج هرچند کوچک می‌تواند منجر به تغییرات چشمگیری در مقیاس کلان شود. سرمایش به‌عنوان یک راهکار جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان به‌خصوص در اقلیم‌های گرم، کمک شایانی به کنترل میزان مصرف انرژی می‌کند.

ابزار و روش‌ها: پژوهش حاضر قصد دارد عملکرد تهویه هواکشی را در قالب شرایط موجود ساخت‌وساز در ساختمان‌های ۴ طبقه بررسی کند. از طرف دیگر این پژوهش از بررسی‌های موجود برای تهویه هواکشی که غالباً جنبه‌ی مکانیکی دارند فراتر رفته است و بر اساس کاربرد هواکش در معماری به بررسی پرداخته است. بخش اول مطالعات به‌صورت کتابخانه‌ای بوده و مدل‌سازی با استفاده نرم‌افزارهای پیشرفته‌ی انرژی انجام شده است.

یافته‌ها: مطالعات به بررسی موقعیت هواکش و چرخش زمین در بخش مسکونی شهرستان دزفول و همچنین تغییرات مصالح هواکش پرداخته شده است. توده‌ی رایج برای ساخت‌وساز در این بخش از شهر ۱۰ * ۲۰ مترمربع می‌باشد. باتوجه به بررسی‌ها در جهت‌گیری‌های مختلف ساختمان، یافته‌ها نشان می‌دهد که تغییرات مصالح هواکش بر روی عملکرد هواکش تأثیر دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تغییرات مصالح و چرخش در سایت می‌تواند باعث تغییر عملکرد هواکش شود. مشخصاً عملکرد شیشه می‌تواند بهتر از آلومینیوم باعث افزایش سرعت هوا شود. اما موقعیت هواکش در پلان تفاوت چشمگیری را عملکرد هواکش ایجاد نمی‌کند.

کلمات کلیدی: دزفول، تهویه هواکشی، آپارتمان، موقعیت هواکش، تهویه طبیعی، تهویه غیرمستقیم.

مقدمه

ضرورت صرفه‌جویی در مصرف انرژی در دنیا با بروز بحران انرژی در نیمه دوم دهه ۱۹۷۰ میلادی مطرح شد و تاکنون در زمینه‌های مختلف، پیشرفت قابل توجهی داشته است (۱). مصرف انرژی در جهان برای تولید برق از منابع سوخت فسیلی بهره می‌برد که بیش از ۸۰ درصد بوده است (۲). همچنین میزان رشد در مصرف انرژی در ایران با سرعت بالایی روبه‌رو است (۳)، به‌طوری‌که میزان مصرف انرژی در ایران پنج برابر مصرف جهانی است؛ و میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه در جهان ۳۵ تا ۴۰ درصد از سهم مصارف انرژی را به خود اختصاص داده است (۴، ۵، ۶، ۷). بنابراین میزان استفاده و صرفه‌جویی در منابع انرژی در جهان و مخصوصاً در ایران از اهمیت ویژه‌ای داراست (۸). در نتیجه، تقاضا برای راه‌حل‌هایی برای کاهش مصرف انرژی در سراسر جهان به‌ویژه در مناطق گرم افزایش‌یافته است (۹). بهینه کردن اجزا و المان‌های ساختمانی مانند آتریوم، پنجره نه تنها می‌تواند منجر به مصرف بهینه انرژی در حال حاضر شود (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳) بلکه می‌تواند به کم کردن اثرات تغییرات اقلیمی، رفاه و سلامتی انسان در محیط‌های مسکونی کمک کند (۱۴، ۱۵، ۱۶). زندگی بشر همواره با نیازهایی مانند گرمایش در زمستان و سرمایش و تهویه در تابستان همراه بوده است، در طول تاریخ او در جستجوی راه‌هایی بوده که با حداقل هزینه و کار به سرمایش و گرمایش مطلوب برسد و بیشترین بازدهی و کمترین اتلاف را برنامه‌ریزی کند. برای کاهش تقاضای انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها موردتوجه روزافزونی قرار گرفته است. سیستم‌های تهویه طبیعی به دلیل طراحی ساده و الزامات نگهداری راه‌حلی برای نیازهای سرمایش و گرمایش ارزان هستند (۱۷). تهویه طبیعی یکی از راه‌حل‌های غیرفعال موجود برای کاهش مصرف بیش‌ازحد انرژی است و استفاده از روش‌های غیرفعال مسیر امیدوارکننده‌ای را برای کاهش مصرف انرژی و انتشار CO₂ از ساختمان‌ها ارائه می‌دهد (۹). هنوز

مهم‌ترین عامل برای تهویه‌ی ساختمان تهویه طبیعی است و اثر باد خارجی و چگونگی برخورد با آن نیز از مهم‌ترین عوامل در تهویه طبیعی می‌باشد. گرچه اثربخشی و عملکرد آن به عوامل بسیاری مانند اندازه و مکان دهانه‌ها، محل شکاف‌های ورودی و شرایط آب و هوایی محیط بستگی دارد (۱۸، ۱۹). تهویه طبیعی معمولاً از نیروی محرکه باد و شناور حرارتی برای تأمین جریان هوا استفاده می‌کند و بنابراین به شدت به شرایط بیرونی و تفاوت دمای داخل و خارج از خانه بستگی دارد (۲۰، ۲۱). راه‌حل‌های سرمایش غیرفعال برای تهویه طبیعی از جمله تهویه یک‌طرفه، تهویه متقاطع و تهویه پشته‌ای وجود دارند که می‌شود با توجه به ساختمان از آن‌ها بهره گرفت (۲۲، ۲۳).

با در نظر گرفتن میزان تغییرات اقلیمی حال حاضر کمک به ایجاد سرمایش در ساختمان‌های مسکونی از اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش بر اساس توده‌های مسکونی یا همان تیپولوژی ساخت‌وساز برای آپارتمان‌ها در قسمت زمین‌های مسکونی، به بررسی توده‌های رایج و انتخاب بهترین لکه برای ساخت‌وساز در جهت استفاده از تهویه هواکشی پرداخته است. تاکنون درباره‌ی ابعاد این زمینه به‌طور کلی بررسی‌هایی شده است، اما ریشه‌یابی و دقت لازم در آن‌ها به‌گونه‌ای نیست که بتواند پاسخی معمارانه در کنار کارآمدی مطرح کند. زیرا بررسی‌های پیشین پاسخی مکانیکی و به‌دوراز جنبه‌های معمارانه به موضوع داده است. با فرض بر اینکه خصوصیات فیزیکی، و محل هواکش در عملکرد آن تأثیرگذار است، اهداف به شرح زیر است.

یافتن جایگاه مناسب برای قرارگیری تهویه هواکشی در ساختمان پارامترها و عوامل مؤثر بر تهویه طبیعی در ساختمان‌های دارای دودکش.

بررسی چگونگی تأثیر خصوصیات فیزیکی بر روی تهویه هواکشی.

دست‌یابی به الگوی تهویه‌ی هواکشی بهینه در ساختمان مسکونی در اقلیم گرم و نیمه مرطوب.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش با روش تحقیق توصیفی - شبه تجربی انجام شده است. بخش اول که مربوط به جمع‌آوری و شرح و بیان داده‌ها و اطلاعات می‌باشد به روش توصیفی انجام می‌شود. در مطالعات این پژوهش برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار DesignBuilder و موتور Energy plus استفاده شده است. محققان زیادی برای شبیه‌سازی انرژی (۲۴، ۲۵، ۲۶) و بسیاری برای شبیه‌سازی CFD از این نرم‌افزار استفاده کرده‌اند (۲۷، ۲۸، ۲۹). برای مثال، Leng و همکارانش، شبیه‌سازی و روش CFD را در فرآیند بررسی جریان هوا و دمای هوا با اصلاح پارامترها و عوامل مؤثر بر عملکرد حرارتی و تهویه دودکش خورشیدی در یک خانه با استفاده از ماژول CFD نرم‌افزار DesignBuilder انجام دادند (۱۷). در پژوهشی دیگر، اثربخشی تهویه طبیعی در یک ساختمان در آب‌وهوای گرم و مرطوب تابستان (۲۹) توسط ماژول CFD این نرم‌افزار (۳۰) ارزیابی شد. در پژوهشی دیگر برای مطالعه عملکرد حرارتی دودکش خورشیدی و شبیه‌سازی CFD برای بررسی بیشتر الگوی جریان هوای اتاق مورد آزمایش و دودکش خورشیدی، توسط EnergyPlus و شبیه‌سازی CFD در DesignBuilder به کار گرفته شد (۳۱). علاوه بر این، بهینه‌سازی چند هدفه پارامترهای طراحی و ساخت‌وساز ساختمان برای به حداقل رساندن تقاضای مصرف انرژی در عین به حداکثر رساندن تولید انرژی و آسایش حرارتی تطبیقی توسط (۳۲) در این نرم‌افزار انجام شد. این تحقیق همچنین با هدف بررسی موقعیت پشته و پارامترهای فیزیکی است که در آن‌ها (۳۳) ادعا می‌کند که جریان هوای تهویه در یک ساختمان به شرایط محیطی، مصالح و هندسه آن بستگی دارد. این مقاله موقعیت تهویه هواکشی در کنار مصالح آن را در ساختمان چهار طبقه مسکونی (۳۴) ارزیابی می‌کند، زیرا طبق گزارش‌ها، عوامل فیزیکی می‌تواند بر روی تهویه‌ی هواکشی اثرگذار باشد (۳۵) همچنین همان‌طور که در ابتدا ذکر شده این تحقیق از شبیه‌سازی CFD برای مطالعه رفتار دما و سرعت هوا استفاده می‌کند. زیرا این نرم‌افزار شامل رویکرد کوپلینگ داخلی با استفاده از خروجی انرژی پلاس

به عنوان داده های ورودی برای محاسبات CFD است (۳۱). علاوه بر این، مقاله بر تهویه غیرمستقیم که با تهویه هواکشی ترکیب می شود، تمرکز دارد. زیرا تهویه طبیعی در ساختمان ها می تواند با دودکش های خورشیدی بر روی دیوارها یا سقف ترکیب شود تا به صرفه جویی در انرژی کمک کند (۳۵، ۳۶). تهویه مستقیم بدون استراتژی های تبخیر خنک کننده در این اقلیم کارآمد نخواهد بود. بررسی های تهویه طبیعی و نقش آن در سرمایش و گرمایش ساختمان همواره موضوع حائز اهمیتی بوده است. محققان زیادی وجود دارند که مطالعات تجربی را در زمینه افزایش عملکرد دودکش های خورشیدی برای بهبود عملکرد حرارتی ساختمان انجام داده اند. ولی خانال مطالعات مربوط به کاربرد دودکش خورشیدی را از دهه ۱۹۹۰ شروع بررسی کردند که بر تأثیرات هندسه و پیکربندی دودکش خورشیدی و همچنین زاویه شیب دودکش خورشیدی تمرکز دارد (۳۷). همچنین به صورت عددی اولین بار بنسال و همکارانش بر روی دودکش های خورشیدی در سال ۱۹۹۴ انجام شد (۳۸). تهویه طبیعی، به عنوان جایگزینی برای سیستم های تهویه مطبوع، توجه قابل توجهی را به خود جلب کرده است، زیرا مصرف انرژی را کاهش می دهد و کیفیت محیط داخلی ساختمان ها را بهبود می بخشد (۳۹). زیرا این نوع تهویه مقدار انرژی مورد استفاده در خنک سازی فضا بخش مهمی از کل انرژی مصرف شده در ساختمان های مسکونی و تجاری را تشکیل می دهد (۴۰). برای بهبود کارایی تهویه طبیعی، انرژی خورشیدی به روش های مختلفی به کار گرفته شده است. دودکش های خورشیدی یک ویژگی مشترک برای استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان ها برای اطمینان از تهویه طبیعی پایدار بدون تکیه بر نیروی باد است (۴۱)، زیرا عناصر حیاتی این سیستم ها شامل «نمای دو پوسته»، «هواکش» و «سقف» هستند که با دمای متفاوت و تابش خورشیدی کار می کنند (۴۲). همچنین بر این اساس بوچیر در همان سال در الجزایر عرض بهینه یک دودکش خورشیدی را بررسی کرد و نشان داد در آن اقلیم $H/10$

که H ارتفاع دودکش است (۴۳). آفونسو و الیورا، با مقایسه بین دودکش خورشیدی و دودکش معمولی، تأثیر انرژی خورشید را بر افزایش تهویه تأیید کردند و نشان دادند که دودکش خورشیدی به طور مؤثری تهویه را بهبود می بخشد. و ثابت کردند که افزایش جرم حرارتی، تهویه را در طول روز کاهش می دهد اما باعث افزایش تهویه در طول شب می شود (۴۴). فخاری و حیدری به این نتیجه دست یافتند، عمق ۲ متر در دودکش خورشیدی در شهر اصفهان، حالت بهینه برای ارتفاع هواکش است (۴۵) و Jianliu و Weihua عملکرد دودکش خورشیدی را در یک ساختمان یک طبقه (۴۶)، همچنین ژا و همکاران با روش تجربی و عددی دودکش خورشیدی برای تهویه طبیعی را بررسی کردند (۴۷). فونیاسومپن و همکارانش، بیان کردند در صورتی که دودکش خورشیدی به تمام طبقات متصل باشد و برای همه طبقات یک دودکش سراسری در نظر گرفته شود، هواکش عملکرد بهتری دارد (۴۸). نتایج شبیه سازی یک خانه مستقل دو طبقه با دودکش خورشیدی در چین نشان می دهد که استفاده از یک سیستم کنترل می تواند انرژی تهویه سالانه را تا ۷۷.۸ درصد کاهش دهد (۴۹). leng و همکارانش در بررسی تجربی بر روی یک خانه مسکونی در کنار شبیه سازی CFD نشان دادند، یک چاه هوای تراس دار موجود می تواند با تبدیل به یک دودکش خورشیدی، عملکرد حرارتی داخل را افزایش دهد. طراحی خنک کننده غیرفعال در کاهش مصرف انرژی در طول فاز عملیاتی ساختمان، به ویژه در آب و هوای گرمسیری بسیار مهم است (۱۷). باین حال تهویه هواکشی محدودیت های خاصی دارد، به ویژه در ارائه در شرایط گرمایی و آب و هوای شدید (۵۰). همچنین براساس مطالعات دینگ، در ساختمان های چند طبقه، نمی توان شرایط داخلی مطلوب برای طبقات بالا را تنها با استفاده از تهویه طبیعی تضمین کرد (۵۱، ۵۲). بررسی شاخص آسایش حرارتی فنگر در یک ساختمان کم ارتفاع (سه طبقه) را در بوشهر شبیه سازی کردند. آن ها به این نتیجه دست یافتند که فرم مکعب و خروجی بر روی سقف

بهترین عملکرد را از نظر آسایش حرارتی دارد (۱۱). همچنین با توجه به بررسی‌های (۵۳) جهت و جریان باد، زاویه و جهت ساختمان و هواکش -همچنین ویژگی‌های فیزیکی ساختمان (۵۴)-، و مصالح با ظرفیت‌های حرارتی متفاوت، همگی می‌توانند بر رفتار تهویه هواکشی یعنی دما و سرعت هوا، تأثیرگذار باشد. در پژوهشی دیگر، با کمک دودکش‌های خورشیدی در سقف، سرعت هوا در داخل یک ساختمان سه طبقه در سنگاپور به ۰.۴۹ متر بر ثانیه رسید (۵۵). در یک خانه آزمایشی کوچک در تایلند، سرعت بین ۰.۰۷ و ۰.۱۴ متر بر ثانیه بود (۳۱). بر اساس گزارش‌ها، مصرف انرژی ساختمان‌ها با استفاده از این استراتژی در یک ساختمان اداری در توکیو و یک مرکز آزمایشی در قطر ۵۰ درصد و ۸۸ درصد کاهش یافته است (۳۵، ۵۶).

با تأکید بر پیشینه‌ی پژوهش، انتظار می‌رود به صورت تهویه مستقیم به تنهایی کارآمد نباشد و نیاز به ترکیب شدن منبع خنک با دوش‌های آب خنک، کانال‌های زیرزمینی و یا پوشش سبز دارد. تهویه به صورت غیرمستقیم نیز می‌تواند در اقلیم گرم کارآمد باشد. از طرف دیگر برای اینکه کمیت‌های دما و سرعت بسیار در عملکرد این نوع تهویه تأثیرگذار است، نیاز به نرم‌افزاری با قابلیت CFD دارد، تا بتواند تمام معادل انرژی را برای تمام فضا شبیه‌سازی کند، بر این اساس با توجه به مقالات بررسی شده، نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر با موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس مناسب است. تغییر مصالح هواکش، به مصالح که گرما را به خوبی جذب و از خود عبور می‌دهند می‌تواند باعث افزایش شناوری هوا شود، مصالحی مانند، شیشه و آلومینیوم و یا رنگ مشکی، همچنین مطالعات گذشته بر روی جنبه‌های مکانیکی هواکش تمرکز داشته‌اند و کمتر به جنبه‌های معماری پرداخته شده است.

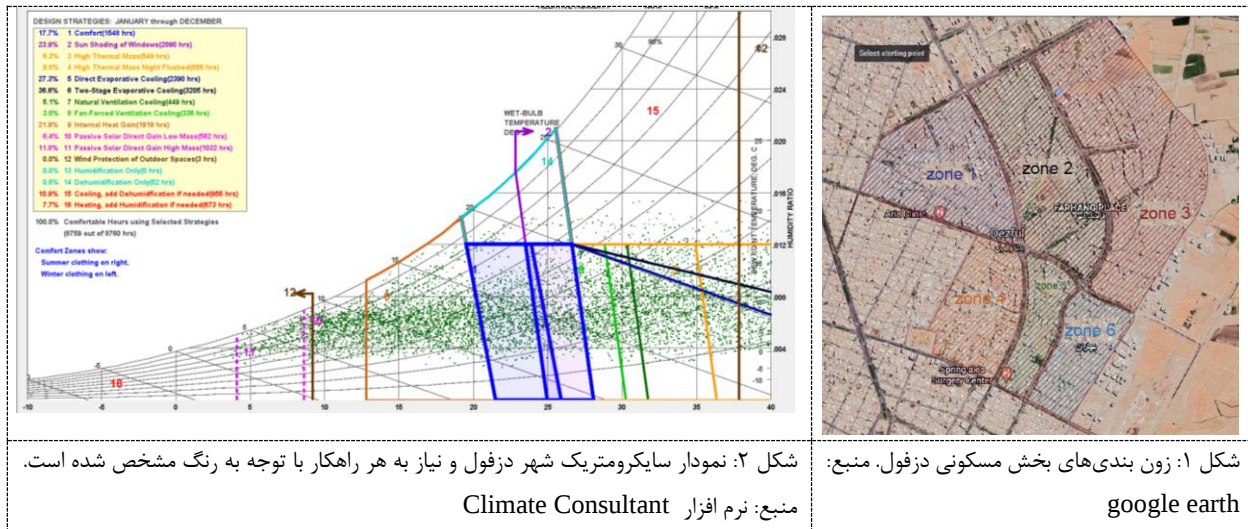
تهویه دودکشی

در روش تهویه طبیعی عمل جابجایی هوا از طریق اثر هواکش یا اثر دودکشی (Stack effect) که مبتنی بر حرکت هوای گرم به بالا و ورود هوای سرد از پایین به جای آن است. اثر شناوری (Buoyancy-Driven) نیز ممکن است

که از طریق وارد کوران هوا که جابجایی هوا از طریق فشار مثبت و منفی باد انجام می‌شود (۵۷). و از همه مهم‌تر تهویه دودکشی (Stack ventilation) یا تهویه هواکشی که مبتنی بر شناوری است به تغییرات چگالی برای جذب (کشش) هوای خنک، هوای خارجی در بازشوهایی با تهویه کم و هوای داخلی در دهانه‌هایی با تهویه بالاتر بستگی دارد. اختلاف درجه حرارت هوای داخل و خارج باعث می‌شود این اتفاق انجام پذیرد؛ درحالی‌که هر بخش هوا با دمای بالاتر از هوای اطراف به طور شناوری افزایش می‌یابد، به عنوان مثال با بادکنک هوای گرم باید به اندازه کافی گرم‌تر از هوای اطراف باشد تا شناور بتواند بر وزن بالون غلبه کند. (۳۵) از آنجاکه هوای گرم نسبت به هوای سرد سبک‌تر است، به سمت بالا حرکت می‌کند (۵۲، ۵۸، ۵۹، ۶۰). وقتی پنجره‌ها در سطوح مختلف باز می‌شوند، هوای گرم داخل ساختمان از طریق دهانه بالایی خارج می‌شود و هوای خنک از خارج از دهانه زیرین وارد ساختمان می‌شود تا جای آن را بگیرد (۶۱). از هواکش یا آتریوم که مشخصه‌های این نوع تهویه هستند، غالباً برای تولید نیروهای شناوری کافی جهت دستیابی به جریان مورد نیاز استفاده می‌شود (۶۲). سیستم‌های تهویه هواکشی هوا را در کل ساختمان گردش می‌دهند و به فرم ساختمان و چیدمان داخلی بستگی دارند (۶۳). در این پژوهش از اثر هواکشی به عنوان عامل ایجاد تهویه استفاده شده است.

معرفی محدوده پژوهش

پژوهش پیش رو در استان خوزستان و شهر دزفول انجام خواهد شد. شهرستان دزفول در موقعیت جغرافیایی بین ۳۲ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. دزفول با آب‌وهوای گرم و نیمه‌مرطوب و درجه حرارت تابستانی بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد است. همچنین باد غالب مربوط به شمال غرب دزفول است. با توجه به نمودار سایکرومتریک (شکل ۲) برای شهر دزفول، سرمایه‌ش غیرفعال ۶۹ درصد می‌تواند به کارآمدی بنا کمک کند.



شکل ۲: نمودار سایکرومتریک شهر دزفول و نیاز به هر راهکار با توجه به رنگ مشخص شده است.

شکل ۱: زون بندی های بخش مسکونی دزفول. منبع:

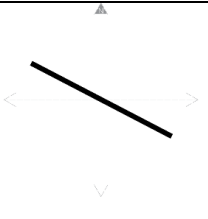
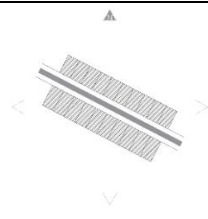
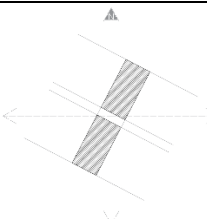
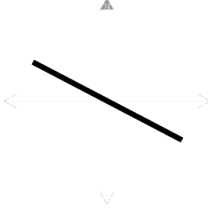
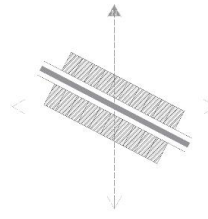
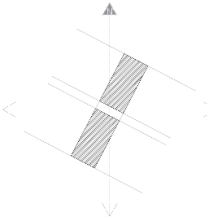
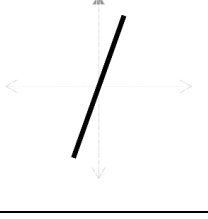
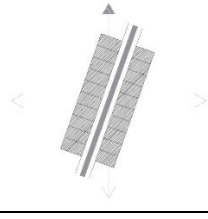
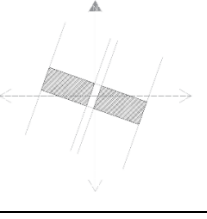
منبع: نرم افزار Climate Consultant

بندهی شده و در جدول ۱ جهت ها و اندازه ی آن ها بیان شده است.

محدودی فرهنگ شهر، بهاران که جز بخش های مسکونی دزفول است برای بررسی الگوی توده ها انتخاب شد. با توجه به شکل ۱ سایت براساس نام گذاری موجود به ۶ زون تقسیم

جدول ۱: معرفی و بررسی زون ها، نگارندگان

شماره	نام زون	ابعاد توده	جهت گیری توده	قرارگیری توده در خیابان	جهت گیری خیابان
Zone 1	پیام آوران	۱۵ * ۱۰			
		۱۵ * ۸			
		۲۰ * ۱۰			
Zone 2	فرهنگ شهر	۲۰ * ۱۰			
		۱۵ * ۱۰			
		۱۶ * ۸			
		۳۰ * ۱۰			
Zone 3	فرهنگ شهر	۲۵ * ۱۰			
		۱۶ * ۸			
		۲۰ * ۱۰			
		۱۵ * ۱۰			
Zone 4	پیام آوران	۱۵ * ۱۰			
		۲۰ * ۱۰			

			۲۵ * ۱۰		
			۲۵ * ۱۰	بهاران	Zone 5
			۱۰ * ۲۰		
			۲۵ * ۱۰	بهاران	Zone 6
			۱۰ * ۲۰		

گرفته شده تا جریان طبیعی و دمای اصلی هوا مشخص باشد. پنجره عرض ۴ متر و ارتفاع ۱ متر ترسیم شده که این پنجره به علت شرایط حاد آب و هوایی در زمان مدل‌سازی، بسته در نظر گرفته شده است. اندازه‌ی هواکش با توجه به بررسی‌های انجام شده ۱ * ۳ متر با ارتفاع ۲/۴۰ متر می‌باشد. یک کانال کلی بر روی تمام سقف قرار دارد، که ارتفاع آن ۴۰ سانتیمتر می‌باشد. دریچه ورودی هوا به به این کانال ۶ متر است. همچنین برای خروجی هوا از این کانال نیز یک دریچه خارجی در فصل مشترک هواکش به اندازه‌ی ۱ * ۳ متر واقع شده است. دریچه ورود هوا به کانال سقف، دریچه ورود هوا به هواکش و دریچه خروجی هواکش نیز در ماه‌های گرم باز است. مواد و مصالح و شرایط گفته شده برای تمام مدل‌ها مشابه یک دیگر و مطابق با جدول ۲ است. محاسبات CFD در روز اول تیر در ساعت ۲ بعد از ظهر انتخاب شده است. لازم به ذکر است، این روز، یک روز بحرانی در میان روزهای بحرانی دیگر از نظر شرایط دمایی می‌باشد. همچنین، دمای ورودی به فضاها ۳۷/۹۰ درجه سانتی گراد می‌باشد.

با توجه به جدول ۱، سه جهت‌گیری کلی توده‌ها در محورهای شمال غربی، به جنوب شرقی، و یا در جهت‌های شمال غربی - جنوب شرقی هستند. جهت توده‌ها نسبت به محور شمال - جنوب یا شرق - غرب با ۱۵ درجه چرخش همراه است. فراوانی بالا ابعاد اندازه ۱۰ * ۲۰ متر و همچنین ۲۵ * ۱۰ می‌باشد. جهت انتخابی براساس پرتکرارترین حالت، شمالی - جنوبی می‌باشد.

۳- یافته‌ها

مطالعات انجام شده و مدل‌سازی‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر ورژن ۷ و شبیه‌سازی‌های انرژی با موتور شبیه‌ساز انرژی پلاس ۹.۲ انجام شده است. تنظیمات نرم‌افزار برای شبیه‌سازی تهویه طبیعی calculated است و هیچ شرط کنترلی برای آن اعمال نشده است. براساس فایل آب و هوایی دزفول، ۵ ماه، گرم و تیر جز گرم‌ترین ماه‌ها می‌باشد (شکل ۳). مدل به عنوان یک زون استاندارد و با کاربری مسکونی می‌باشد، تعداد حضور افراد در آن ۵ و نرخ حضور افراد نیز ۰/۸۲ است. سیستم‌های سرمایش و گرمایش خاموش در نظر

MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	12	15	20	25	32	36	38	38	33	28	19	13	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	6	5	5	8	7	7	10	12	9	9	7	7	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	68	55	41	35	22	19	20	23	26	34	49	69	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	310	320	300	300	50	350	290	340	290	320	320	340	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	1	2	2	2	2	3	3	2	2	1	1	1	m/s

شکل ۳: اطلاعات آب و هوای دزفول، منبع: نرم افزار Climate Consultant و فایل آب و هوایی شهرستان دزفول

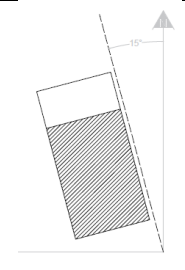
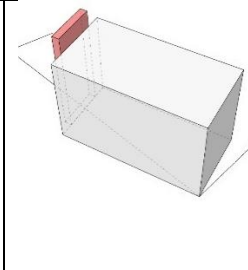
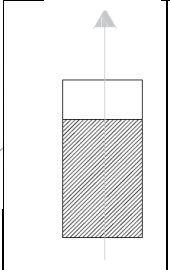
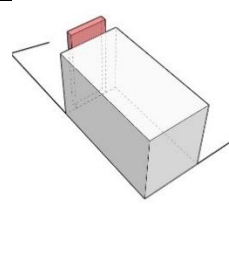
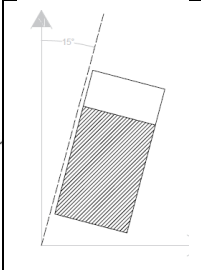
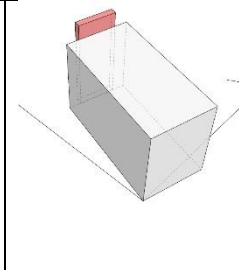
جدول ۲: مصالح استفاده شده در مدل ها، منبع: نگارندگان

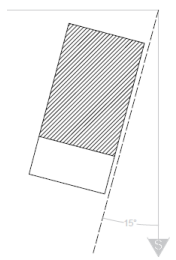
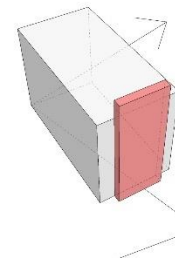
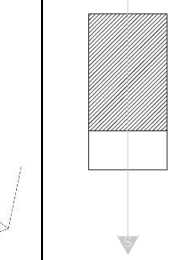
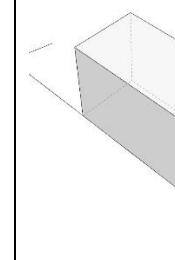
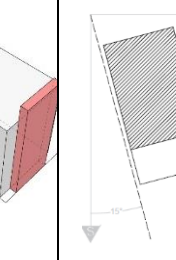
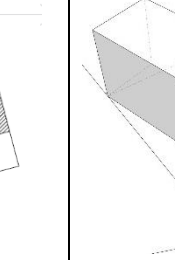
U-value(W/m ² K)	مصالح	نوع جدار
۰/۵۷۰	۱۰ سانتی متر آجر + ۰/۵ سانتی متر پشم سنگ + ۱۰ سانتی متر بتن + ۰/۰۲ متر پلاستر	دیوارهای خارجی
۰/۵	۱۰ سانتی متر آجر + ۰/۵ سانتی متر پشم سنگ + ۰/۵ سانتی متر عایق حرارتی + ۱۰ سانتی متر بتن + ۰/۰۲ متر پلاستر	دیوارهای داخلی
۱۰/۲	۲ سانتی متر نازک کاری + ۳ سانتی متر ملات + ۵ سانتی متر بتن + ۲۵ سانتی متر تیرچه بلوک + ۵ سانتی متر نازک کاری	سقف و کف
۲/۶۶۵	شیشه ی دو جداره ۶ میلی متری + ۱۳ میلی متر هوا بین دو لایه	پنجره

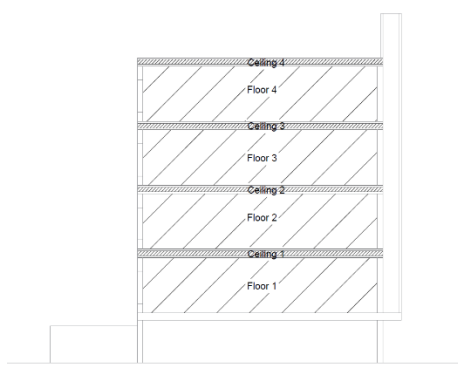
پلان در سایت و اثر آن در عملکرد هواکش می پردازد. همچنین مصالح انتخابی برای هواکش آلومینوم است که در گام بعدی تغییر تمام جداره ی بیرونی هواکش به شیشه برای افزایش جذب گرما نیز بررسی شده است.

جهت گیری زمین و تغییر مصالح هواکش اهمیت بالایی دارد. با توجه به جهت و اندازه ی لکه ی انتخاب شده براساس شرایط بخش مسکونی موجود در دزفول، ۶ مدل در جدول ۳ آمده که سه حالت اول هواکش سمت شمال و در سه حالت دوم در جنوب ساختمان قرار گرفته که به بررسی چرخش

جدول ۳: معرفی شش مدل تعریف شده براساس اطلاعات استخراج شده از زون انتخاب شده. منبع: نگارندگان

					
نام مدل: O1 موقعیت هواکش: شمال ۱۵ درجه چرخش به غرب، نسبت به محور شمالی	نام مدل: O2 موقعیت هواکش: شمال شمالی-جنوبی	نام مدل: O3 موقعیت هواکش: شمال درجه چرخش به شرق، نسبت به محور شمالی			

					
نام مدل: O4 موقعیت هواکش: جنوب درجه چرخش به غرب، نسبت به محور شمالی		نام مدل: O5 موقعیت هواکش: جنوب شمالی-جنوبی		نام مدل: O6 موقعیت هواکش: جنوب ۱۵ درجه چرخش به غرب، نسبت به محور شمالی	



شکل ۴: معرفی زون های طبقات و زون های سقف. منبع: نگارندگان

جدول ۴: بررسی میانگین دمای روزانه در روز اول ماه تیر در شش مدل معرفی شده. مصالح هواکش بدون تغییر و آلومینیوم می باشد. منبع: نگارندگان

جنوب خیابان			شمال خیابان			موقعیت
O6	O5	O4	O3	O2	O1	مدل
۳۴/۳۰	۳۴/۲۹	۳۴/۳۱	۳۴/۴۳	۳۴/۴۱	۳۴/۴۳	طبقه ۱
۳۵/۲۲	۳۵/۲۱	۳۵/۲۳	۳۵/۳۵	۳۵/۳۴	۳۵/۳	طبقه ۲
۳۵/۷۳	۳۵/۷۱	۳۵/۷۳	۳۵/۷	۳۵/۷	۳۵/۷	طبقه ۳
۳۶/۳۶	۳۶/۳۴	۳۶/۳۵	۳۶/۳	۳۶	۳۶	طبقه ۴
۳۴/۴۸	۳۴/۴۵	۳۴/۵	۳۴/۶۵	۳۴/۶۴	۳۴/۶۶	سقف ۱
۳۵/۰۳	۳۵/۰۵	۳۵/۰۴	۳۵/۱۷	۳۵/۱۵	۳۵/۱۶	سقف ۲
۳۵/۵۹	۳۵/۵۸	۳۵/۵۹	۳۵/۶۴	۳۵/۶۲	۳۵/۶۲	سقف ۳
۳۶/۶۰	۳۶/۵۸	۳۶/۵۷	۳۶/۵۰	۳۶/۵۰	۳۶/۵۰	سقف ۴
۳۵/۷۷	۳۵/۷۷	۳۵/۷۸	۳۵/۹۵	۳۵/۹	۳۶	هواکش

جدول ۵: بررسی مقدار هوای ورودی و خروجی بر حسب لیتر بر ثانیه در شش مدل مشخص شده، جنس هواکش آلومینیوم است. منبع: نگارندگان

O6	O5	O4	O3	O2	O1	موقعیت خروجی		
۱۷۳/۷۸	۱۷۸/۵۹	۱۸۱/۳۱	۶۴/۴۸	۹۹/۳۹	۱۱۳/۸۸	سقف ۱	خروج	دریچه‌ی ورود به سقف
۴/۶۳	۳/۱۲	۲/۱۶	۱۰۷/۶۶	۵۷/۱۲	۳۹/۱۳		ورود	
۲۱/۳۲	۱۲۱/۹۹	۱۲۲/۲۹	۴۸/۷۹	۷۴/۳۰	۸۶/۱۴	سقف ۲	خروج	
۱۱۹/۹۲	۲۰/۴۶	۱۹/۵۵	۱۰۵/۶۹	۶۲/۶۴	۴۷/۱۲		ورود	

۱۳/۱۹	۱۲/۲۰	۱۱/۰۴	۱۵/۶۵	۲۱/۰۷	۲۷/۳۵	سقف ۳	خروج
۱۰۹/۱۷	۱۱۱/۹۴	۱۱۳/۰۲	۱۲۵/۵۸	۱۰۲/۴۴	۹۱/۱۶		ورود
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۰	سقف ۴	خروج
۱۷۱/۷۱	۱۷۷/۲۲	۱۷۹/۸۶	۱۲۰/۴۸	۱۲۲/۵۶	۱۰۸/۶۳		ورود
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	ورود	دریچه‌ی خروجی هواکش
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۷۰/۱۹	۱۴۹/۹۸	۲۹/۳۴	خروج	

میانگین دما در روز مد نظر، در حالت‌هایی که هواکش سمت جنوب است میانگین دمای هوا در تمام زون‌ها نسبت به موقعیت دیگر هواکش پایین‌تر است، اما خروجی از هواکش صفر است. از هر سه حالتی که در سمت شمال واقع شده است مدل O2 شرایط بهتری را دارد. اگرچه میزان خروجی وقتی هواکش سمت شمال کم است، اما عملکرد آن بهتر است. یعنی:

$$O2 > O3 > O1 > O4 = O5 = O6$$

با توجه به داده‌ها در جدول ۴ و ۵، در مدل‌هایی که هواکش در سمت جنوب قرار دارد، میزان خروجی هوا از هواکش صفر و وارونگی در مسیر ورود هوا اتفاق می‌افتد، از سقف‌هایی در ارتفاع پایین‌تر هوا بیشتر خارج می‌شود و هوا کمتر به هواکش وارد می‌شود. در سقف آخر (سقف ۴) هوا بیشتر وارد می‌شود و مقدار کمتری خارج می‌شود. زیرا مقدار خروجی از هواکش کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به جدول

جدول ۶: بررسی میانگین دمای روزانه در روز اول ماه تیر در شش مدل معرفی شده. مصالح هواکش به شیشه تغییر کرده است. منبع: نگارندگان

تغییر مصالح هواکش به شیشه	موقعیت مدل	شمال					جنوب	
		O1	O2	O3	O4	O5	O6	
طبقه ۱	طبقه ۱	۳۴/۷۷	۳۴/۷	۳۴/۷۳	۳۴/۷۸	۳۴/۷۲	۳۴/۷۶	
طبقه ۲	طبقه ۲	۳۵/۶۸	۳۵/۶	۳۵/۶۳	۳۵/۸۹	۳۵/۶۲	۳۵/۶۶	
طبقه ۳	طبقه ۳	۳۶	۳۶	۳۶/۰۴	۳۶/۰۹	۳۵/۶۳	۳۶/۰۷	
طبقه ۴	طبقه ۴	۳۶/۶	۳۶/۵	۳۶/۵۵	۳۶/۶	۳۶/۱۲	۳۶/۵۹	
سقف ۱	سقف ۱	۳۴/۹۷	۳۴/۸۹	۳۴/۸۹	۳۴/۹۶	۳۴/۸۹	۳۴/۹۰	
سقف ۲	سقف ۲	۳۵/۴۵	۳۵/۳۷	۳۵/۳۸	۳۵/۴۴	۳۵/۳۷	۳۵/۳۹	
سقف ۳	سقف ۳	۳۵/۸	۳۵/۷۹	۳۵/۸۰	۳۵/۸۶	۳۵/۸۰	۳۵/۸۳	
سقف ۴	سقف ۴	۳۶/۶	۳۶/۶۰	۳۶/۶۵	۳۶/۷۰	۳۶/۶۸	۳۶/۷۰	
هواکش	هواکش	۳۶/۷	۳۶/۵	۳۶/۶	۳۶/۶۴	۳۶/۵	۳۶/۶۰	

جدول ۷: بررسی مقدار هوای ورودی و خروجی بر حسب لیتر بر ثانیه در شش مدل مشخص شده، جنس هواکش آلومینیوم است. منبع: نگارندگان

موقعیت خروجی			O1	O2	O3	O4	O5	O6
دریچه‌ی ورود به سقف	خروج	سقف ۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	ورود		۲۲۶/۱۳	۲۳۸/۰۰	۲۵۴/۲۷	۳۱۰/۶۰	۲۷۸/۱۶	۲۵۳/۵۹
	خروج	سقف ۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	ورود		۲۱۴/۹۱	۲۱۸/۵۱	۲۲۹/۱۸	۲۸۰/۸۰	۲۵۰/۹۷	۲۲۸/۶۲
	خروج	سقف ۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	ورود		۲۰۱/۰۸	۱۹۸/۹۹	۲۰۳/۷۹	۲۴۵/۱۶	۲۱۹/۳۷	۲۰۰/۸۲
	خروج	سقف ۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
	ورود		۱۸۷/۲۴	۱۷۶/۳۱	۱۷۴/۳۴	۲۰۳/۳۸	۱۸۳/۰۷	۱۷۰/۱۹

دریچه‌ی خروجی هواکش	ورود	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
خروج	۴۱۴/۶۱	۸۳۱/۶۸	۴۳۰/۷۲	۵۱۹/۸۸	۹۳۱/۴۱	۴۲۶/۳۵	

مدل O5 است. در بررسی دمایی، شرایط دمایی مدل‌ها وقتی در جنوب واقع شده‌اند بهتر است. مدل شماره O5 از دیگر مدل‌ها به علت شرایط دمایی و میزان ورودی و خروجی بالا، مطلوب‌تر است.

O5> O2> O4> O3> O6> O1

با توجه به جدول ۶ و ۷، بررسی مدل انتخابی بعد از تغییر مصالح هواکش از آلومینیوم به شیشه است؛ و جداری جنوبی ۱۰۰ درصد شیشه در نظر گرفته شده. براساس این تغییر، تغییرات دما به سمت زیاد شدن می‌رود و جریان خروجی افزایش چشمگیری دارد. بیشترین میزان خروجی مربوط به

موقعیت هواکش در آنالیزهای انجام شده اهمیت بالایی دارد. (جدول های ۸ و ۹)

جدول ۸: موقعیت های مختلف برای هواکش در پلان. منبع: نگارندگان

موقعیت	کل	راست	مرکز	چپ	طرفین
پلان					
نام مدل	نام مدل: S	نام مدل: S1	نام مدل: S2	نام مدل: S3	نام مدل: S4
توضیحات	-	بیرون زدگی	تورفتگی	بیرون زدگی	تورفتگی

جدول ۹: موقعیت های مختلف برای هواکش. منبع: نگارندگان

نام مدل	S	S1	S2	S3
حجم				
نام مدل	S4	S5	S6	S7
حجم				

لازم به ذکر است که میزان ۶۵ درصد توده‌ی پر نسبت به زمین اصلی (میزان تراکم قابل ساخت در شهرستان دزفول) به عنوان زون مسکونی برای هر طبقه در نظر گرفته شده است.

هشت مدل با موقعیت‌های مختلف هواکش در پلان با توجه به جدول ۸ و ۹ آمده و میزان تأثیر موقعیت هواکش نسبت به پلان را در شرایط آن و عملکرد بررسی شده، مدل‌ها در دو حالت تورفتگی و بیرون زدگی نسبت به پلان‌اند. شرایط مدل مطابق با بهترین حالت از گام قبلی (O5) می‌باشد. همچنین

جدول ۱۰: میانگین دمای هوای در روز اول تیر در هشت مدل مورد بررسی، منبع: نگارندگان

موقعیت	S	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
	۳۵/۷۵	۳۵/۵۲	۳۵/۵۸	۳۵/۵۷	۳۵/۶۱	۳۵/۵۷	۳۵/۵۸	۳۵/۵۷
طبقه ۱	۳۵/۰۷	۳۴/۷۲	۳۴/۸۵	۳۴/۸۰	۳۴/۸۸	۳۴/۸۰	۳۴/۸۵	۳۴/۸۴
طبقه ۲	۳۵/۸۲	۳۵/۶۲	۳۵/۶۲	۳۵/۵۸	۳۵/۶۷	۳۵/۵۸	۳۵/۶۲	۳۵/۶۱
طبقه ۳	۳۶/۰۹	۳۶/۰۳	۳۵/۹	۳۵/۸۵	۳۵/۹۴	۳۵/۸۸	۳۵/۹	۳۵/۸۸
طبقه ۴	۳۶/۴۷	۳۶/۵۴	۳۶/۳۳	۳۶/۲۹	۳۶/۳۳	۳۶/۲۹	۳۶/۳۳	۳۶/۲۸
سقف ۱	۳۵	۳۴/۸۷	۳۴/۸۶	۳۴/۸۷	۳۴/۹۰	۳۴/۸۷	۳۴/۸۶	۳۴/۸۸
سقف ۲	۳۵/۳۸	۳۵/۲۳	۳۵/۲۲	۳۵/۲۳	۳۵/۲۵	۳۵/۲۴	۳۵/۲۲	۳۵/۲۳
سقف ۳	۳۵/۷۰	۳۵/۵۵	۳۵/۵۴	۳۵/۵۵	۳۵/۵۶	۳۵/۵۶	۳۵/۵۴	۳۵/۵۴
سقف ۴	۳۶/۴۰	۳۶/۳	۳۶/۳۳	۳۶/۳۰	۳۶/۳۴	۳۶/۳۱	۳۶/۳۳	۳۶/۲۷
هواکش	۳۶/۷۹	۳۶/۴	۳۶/۳۳	۳۶/۳۵	۳۶/۳۲	۳۶/۴	۳۶/۳۳	۳۶/۴

جدول ۱۱: بررسی مقدار هوای ورودی و خروجی بر حسب لیتر بر ثانیه در هشت مدل مشخص شده، منبع: نگارندگان

موقعیت دریچه			S	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
ورودی به سقف	ورود	سقف ۱	۳۴۸/۸۵	۲۸۵/۲۳	۲۷۹/۴۱	۲۸۴/۳۲	۲۷۴/۵۶	۲۸۴/۸۴	۲۸۰/۸۴	۲۷۲/۷۲
		سقف ۲	۳۰۷/۹۳	۲۵۷/۲۵	۲۵۲/۶۴	۲۵۷/۸۵	۲۴۷/۹۱	۲۵۸/۱۳	۲۵۴/۱۳	۲۴۷/۹۴
		سقف ۳	۲۵۸/۹۱	۲۲۴/۸۲	۲۱۹/۹۵	۲۲۴/۰۱	۲۱۵/۵۳	۲۲۲/۷۷	۲۲۰/۷۷	۲۱۶/۶۱
		سقف ۴	۱۹۸/۸۳	۱۸۵/۷۵	۱۸۲/۹۵	۱۸۴/۹۷	۱۸۱/۳۴	۱۸۳/۸۶	۱۷۳/۸۶	۱۸۱/۲۶
خروجی هواکش		خروج	۱۱۱۴/۳۱	۹۵۲/۸۹	۹۲۳/۴۶	۹۵۰/۷۸	۹۲۰/۴۵	۹۴۷/۴۳	۹۲۰/۴۳	۹۱۸/۳۹

باتوجه به جدول‌های ۱۰ و ۱۱ و شبیه‌سازی در نرم‌افزار از نظر شرایط دمایی تفاوت قابل‌توجهی وجود ندارد، بااین‌وجود، سه مدل، S1، S2 و S3 شرایط بهتری از نظر دمایی دارند. همچنین مدل S که به علت زیاده‌تر شدن جریان و هوای عبوری، میانگین دمای هوا در روز بالاتر می‌رود و شرایط آن متفاوت‌تر از هفت مدل دیگر است. همچنین در

میزان خروجی جریان هوا، در هشت مدل مدنظر، بیشترین مقدار ورودی به سقف و همچنین خروجی از هواکش مربوط به مدل S و سپس مدل‌های S1، S3، S5 است. مدل S، در طراحی کارآمدی کمتری نسبت به دیگر مدل‌ها دارد. باتوجه به اینکه شرایط دمایی و میزان خروجی مدل S1 نیز مانند مدل S است پس مدل S1 انتخاب شده است.



شکل ۷: مدل S1

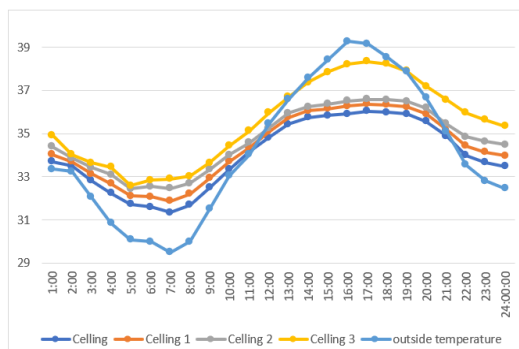
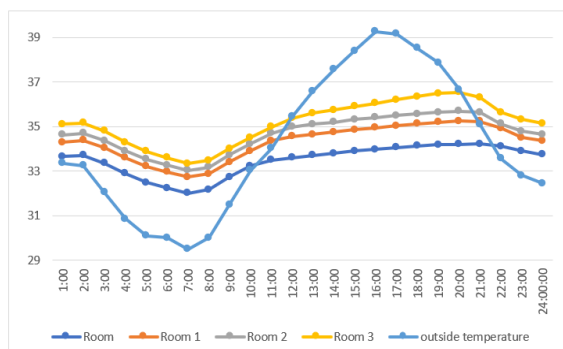
شکل ۶: مدل S1

شکل ۵: نحوه‌ی خروج جریان در مدل

منبع: نگارندگان

نمودارهای زیر نشان‌دهنده‌ی شرایط دمایی مدل به ترتیب در زون‌های سقف، اتاق‌ها، و بعد در زون در روز انتخابی هست.

باتوجه به شبیه‌سازی، ابعاد زمین ۱۰ * ۲۰ مترمربع، میزان ۶۵ درصد تراکم در نظر گرفته شده و مساحت ۱۳۰ مترمربع است. طول این لکه ۱۳ متر و عرض آن ۱۰ متر است.



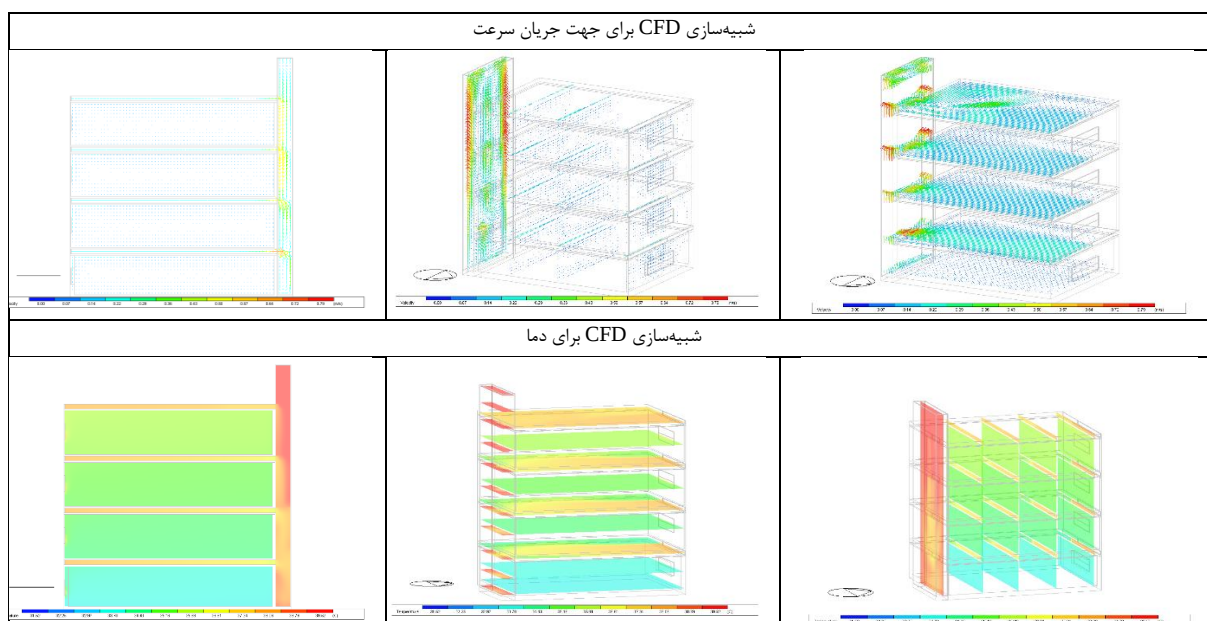
نمودار ۱ (نمودار سمت راست): مقایسه تغییرات دما در سقف طبقات، منبع: نگارندگان

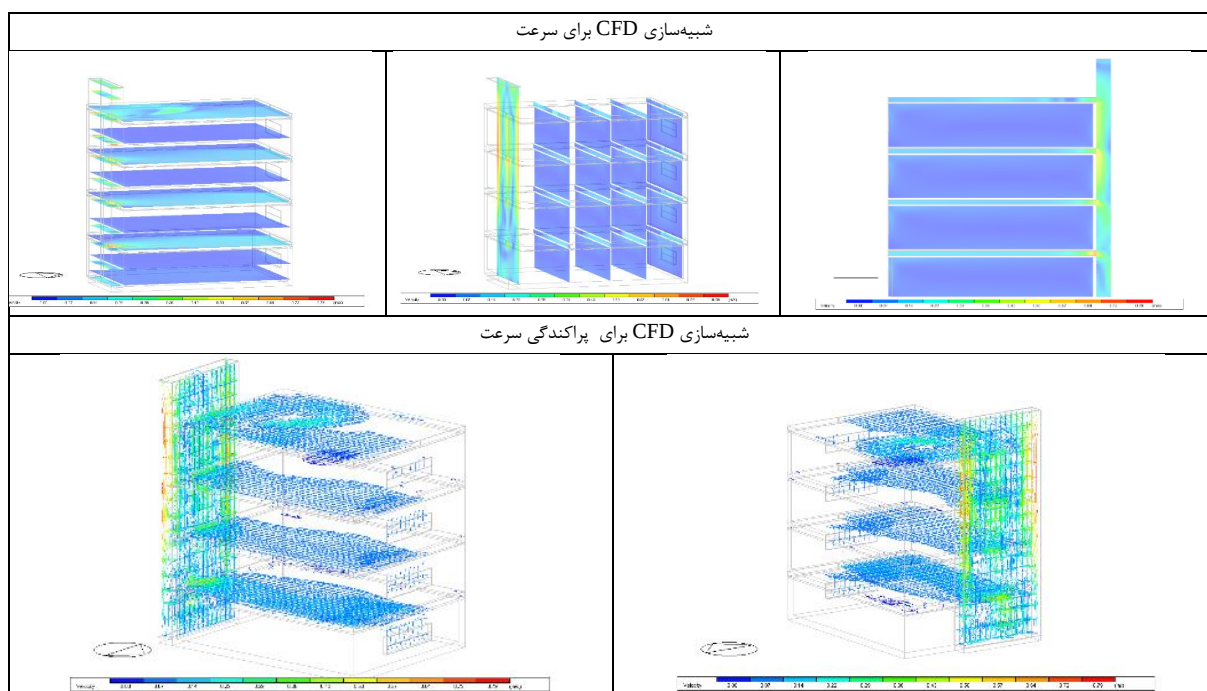
نمودار ۲ (نمودار سمت چپ): مقایسه تغییرات دما در طبقات، منبع: نگارندگان

خروجی به محض ورود به پایین حرکت کرده است. همچنین بعد از آن از کناره‌ها با سرعت ۰/۷۹ متربرثانیه خارج می‌شود. دما در ورودی جریان به فضاها ۳۷/۹۰ درجه‌ی سانتی گراد می‌باشد. دمای فضاها و سقف‌ها در بیشترین حالت به ۳۶/۶۰ درجه رسیده و در فضای اتاق‌ها بیشترین دما ۳۵/۸۰ درجه سانتی گراد می‌باشد و به این معنی است که دما حداقل ۲/۱۰ درجه‌ی سانتی گراد دما هوا بر اثر این تغییرات کاهش یافته است.

دمای هواکش گرم‌تر از فضای بیرون و دمای فضاها داخلی و سقف‌ها پایین‌تر از دمای بیرون است. البته با افزایش ارتفاع دما افزایش یافته و همچنین، از سمت ورودی و خروجی دریچه‌ها سرعت بیشتر است. در مسیر ورودی، سرعت به ۰/۲۲ متر بر ثانیه رسیده است و در محل خروجی سرعت از ۰/۵ تا ۰/۵۷ متر بر ثانیه افزایش یافته است و با همین سرعت از هواکش خارج شده. رفتار و جهت جریان از ورودی سقف به سمت دریچه‌ی فصل مشترک بین هواکش و زون‌های سقف متمایل است. در دریچه‌ی ورودی به هواکش جریان

جدول ۱۲: شبیه‌سازی CFD برای مدل S1. منبع: نگارندگان

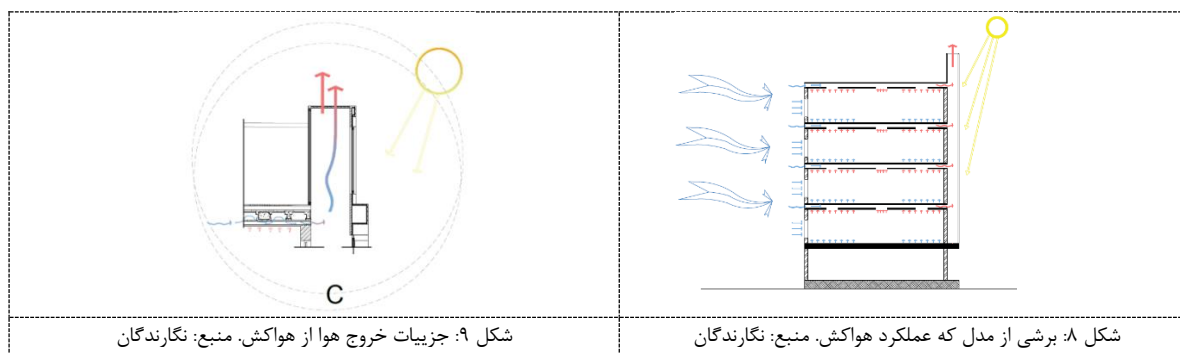


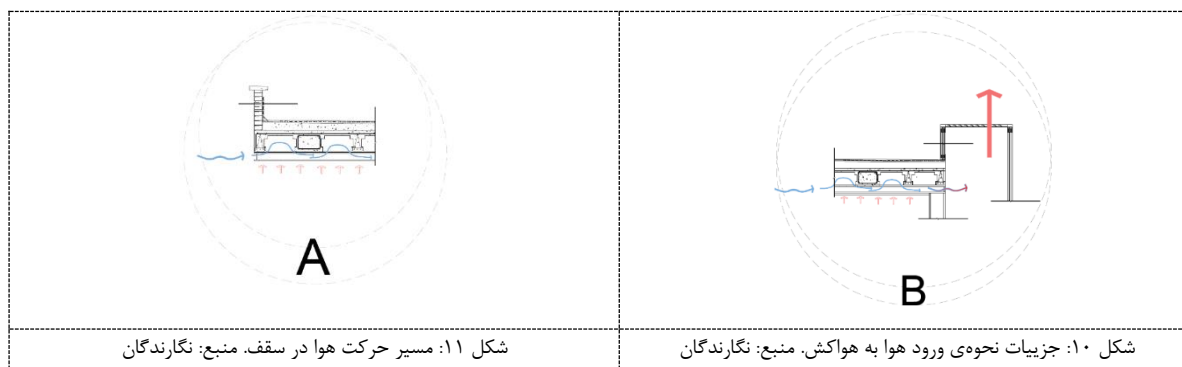


بحث و نتیجه‌گیری

که شمال- جنوب بود بررسی موقعیت هواکش بر روی این مدل انجام شد. شبیه‌سازی نشان داد موقعیت هواکش تفاوت چشمگیری در عملکرد هواکش ندارد. باین وجود، زمانی که هواکش هم‌اندازه با کل سطح مجاور و یا در سمت جنوب باشد، شرایطی مطلوب نسبت به دیگر مدل‌ها دارند. همچنین جزئیات اجرایی (شکل‌های ۸-۱۱) نحوه‌ی عملکرد هواکش را در ساختمان نشان می‌دهند. تا بتواند برای متخصصان در حوزه‌ی ساخت‌وساز و طراحان بیان‌گر کاربرد این پژوهش باشد. بررسی انجام شده می‌تواند مرجعی برای ساخت‌وساز خانه‌ها در این آب‌وهوا باشد.

باتوجه به بررسی‌های انجام شده در بررسی سایت مشاهده شد که ابعاد رایج زمین در بخش مسکونی دزفول 20×10 مترمربع است. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که زمانی که تمام جداره‌های هواکش آلومینوم است. زمانی که جداره‌ی بیرونی هواکش کاملاً با شیشه جایگزین می‌شود، هواکش در سمت جنوب عملکرد بهتری دارد و هواکش در سمت شمال زمانی که متریال جبهه‌ی بیرونی آن تغییر نکند و تمام مصالح آن آلومینوم باشد، عملکرد بهتری دارد. با توجه به جهت بهینه





منافع مالی و حمایت‌ها: موردی توسط نویسندگان گزارش

نشده است

سهم نویسندگان: نویسنده اول، پژوهشگر و نگارنده اصلی مقاله، فعالیت در تدوین محتوا و مطالعات کتابخانه‌ای با سهم ۶۰ درصد. استاد راهنما و فعالیت در روند کنترل و کیفیت مقاله با سهم ۲۰ درصد و نویسنده سوم مشاور و راهنمای روند پژوهش و کنترل آن با سهم ۲۰ درصد

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده

است

تاییدیه‌های اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده

است

تعارض منافع موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است

منابع

- residential buildings. *Energy and Buildings*. 2022 Feb 15;257:111762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103406>
5. Yang D, Li P. Dimensionless design approach, applicability and energy performance of stack-based hybrid ventilation for multi-story buildings. *Energy*. 2015;93:128-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.115>
6. Azimirad M, Nadalian B, Alavifard H, Panirani SN, Bonab SMV, Azimirad F, et al. Microbiological survey and occurrence of bacterial foodborne pathogens in raw and ready-to-eat green leafy vegetables marketed in Tehran, Iran. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2021;237:113824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113824>
7. Van de Graaf T, Lesage D. The International Energy Agency after 35 years: Reform needs and institutional adaptability. *The Review of International Organizations*. 2009;4:293-317. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11558-009-9063-8>
8. Bazazzadeh H, Świt-Jankowska B, Fazeli N, Nadolny A, Safar Ali Najar B, Hashemi Ozarisoy B. Energy effectiveness of passive cooling design strategies to reduce the impact of long-term heatwaves on occupants' thermal comfort in Europe: Climate change and mitigation. *Journal of Cleaner Production*. 2022;330:129675. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129675>
2. Cuce E, Sher F, Sadiq H, Cuce PM, Guclu T, Besir AB. Sustainable ventilation strategies in buildings: CFD research. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2019;36:100540. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100540>
3. Rahif R, Hamdy M, Homaei S, Zhang C, Holzer P, Attia S. Simulation-based framework to evaluate resistivity of cooling strategies in buildings against overheating impact of climate change. *Building and Environment*. 2022;208:108599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108599>
4. Iqbal N, Kim DH. Iot task management mechanism based on predictive optimization for efficient energy consumption in smart

- impact assessment of climate change on building energy consumption in Poland. *Energies*. 2021;14(14):4084. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14144084>
16. Bazazzadeh H, Nadolny A, Safaei SSH. Climate change and building energy consumption: A review of the impact of weather parameters influenced by climate change on household heating and cooling demands of buildings. *European Journal of Sustainable Development*. 2021;10(2):1-. DOI: <https://doi.org/10.14207/ejsd.2021.v10n2p1>
 17. Leng PC, Ahmad MH, Ossen DR, Ling GH, Abdullah S, Aminudin E, et al. The impact of air well geometry in a Malaysian single storey terraced house. *Sustainability*. 2019;11(20):5730. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11205730>
 18. Krzaczek M, Florczuk J, Tejchman J. Field investigations of stack ventilation in a residential building with multiple chimneys and tilted window in cold climate. *Energy and Buildings*. 2015;103:48-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.034>
 19. Stavrakakis G, Zervas P, Sarimveis H, Markatos N. Development of a computational tool to quantify architectural-design effects on thermal comfort in naturally ventilated rural houses. *Building and Environment*. 2010;45(1):65-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.006>
 20. Kravchenko I, Kosonen R, Jokisalo J, Kilpeläinen S. Performance of Modern Passive Stack Ventilation in a Retrofitted Nordic Apartment Building. *Buildings*. 2022;12(2):96. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12020096>
 21. Kravchenko I, Kosonen R, Jokisalo J, Kilpeläinen S, editors. Simulation of modern passive stack ventilation in a retrofitted Nordic apartment building. *E3S Web of Conferences*; 2022: EDP Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20223621403>
 22. Kyritsi E, Michael A. An assessment of the impact of natural ventilation strategies and window opening patterns in office buildings in the mediterranean basin. *Building and*
 - safaei Ss, et al. Efficient Shading Device as an Important Part of Daylightophil Architecture; a Designerly Framework of High-Performance Architecture for an Office Building in Tehran. *Energies*. 2021;14(24):8272. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14248272>
 9. Morady E, Soltani M, Moradi Kashkooli F, Ziabasharhagh M, Al-Haq A, Nathwani J. Improving Energy Efficiency by Utilizing Wetted Cellulose Pads in Passive Cooling Systems. *Energies*. 2022;15(1):369. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15010369>
 10. Adibhesami MA, Karimi H, Sharifi A, Sepehri B, Bazazzadeh H, Berardi U. Optimization of Urban-Scale Sustainable Energy Strategies to Improve Citizens' Health. *Energies*. 2022;16(1):119. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16010119>
 11. Shaeri J, Mahdaveinejad M, Vakilinejad R, Bazazzadeh H, Monfared M. Effects of sea-breeze natural ventilation on thermal comfort in low-rise buildings with diverse atrium roof shapes in BWh regions. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023;41:102638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102638>
 12. Pilechiha P, Mahdaveinejad M, Rahimian FP, Carnemolla P, Seyedzadeh S. Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*. 2020;261:114356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356>
 13. Talaei M, Mahdaveinejad M, Azari R, Prieto A, Sangin H. Multi-objective optimization of building-integrated microalgae photobioreactors for energy and daylighting performance. *Journal of Building Engineering*. 2021;42:102832. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102832>
 14. Laskari M, de Masi RF, Karatasou S, Santamouris M, Assimakopoulos MN. On the impact of user behaviour on heating energy consumption and indoor temperature in residential buildings. *Energy and Buildings*. 2022 Jan 15;255:111657. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111657>
 15. Bazazzadeh H, Pilechiha P, Nadolny A, Mahdaveinejad M, Hashemi safaei Ss. The

- https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.384
31. Elshafei G, Negm A, Bady M, Suzuki M, Ibrahim MG. Numerical and experimental investigations of the impacts of window parameters on indoor natural ventilation in a residential building. *Energy and Buildings*. 2017;141:321-32. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.055
32. Giouri ED, Tenpierik M, Turrin M. Zero energy potential of a high-rise office building in a Mediterranean climate: Using multi-objective optimization to understand the impact of design decisions towards zero-energy high-rise buildings. *Energy and Buildings*. 2020;209:109666. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109666
33. Michalak P. Thermal—Airflow Coupling in Hourly Energy Simulation of a Building with Natural Stack Ventilation. *Energies*. 2022;15(11):4175. DOI: https://doi.org/10.3390/en15114175
34. Rodrigues Marques Sakiyama N, Frick J, Bejat T, Garrecht H. Using CFD to evaluate natural ventilation through a 3D parametric modeling approach. *Energies*. 2021;14(8):2197. DOI: https://doi.org/10.3390/en14082197
35. Nguyen Y, Wells J. A numerical study on induced flowrate and thermal efficiency of a solar chimney with horizontal absorber surface for ventilation of buildings. *Journal of Building Engineering*. 2020;28:101050. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobee.2019.101050
36. Hosien M, Selim S. Effects of the geometrical and operational parameters and alternative outer cover materials on the performance of solar chimney used for natural ventilation. *Energy and Buildings*. 2017;138:355-67. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.041
37. Khanal R, Lei C. Solar chimney—A passive strategy for natural ventilation. *Energy and Buildings*. 2011;43(8):1811-9. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.035
38. Bansal N, Mathur R, Bhandari M. A study of solar chimney assisted wind tower system for Environment. 2020;175:106384. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106384
23. Sakiyama N, Carlo J, Frick J, Garrecht H. Perspectives of naturally ventilated buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020;130:109933. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109933
24. Moret Rodrigues A, Santos M, Gomes MG, Duarte R. Impact of natural ventilation on the thermal and energy performance of buildings in a Mediterranean climate. *Buildings*. 2019;9(5):123. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings9050123
25. Vurro G, Santamaria V, Chiarantoni C, Fiorito F. Climate Change Impact on Energy Poverty and Energy Efficiency in the Public Housing Building Stock of Bari, Italy. *Climate*. 2022;10(4):55. DOI: https://doi.org/10.3390/cli10040055
26. Abba HY, Majid RA, Ahmed MH, Gbenga O. Validation of designbuilder simulation accuracy using field measured data of indoor air temperature in a classroom building. *Management*. 7(27):171-8. DOI: https://doi.org/10/35631/JTHEM.727014
27. Al-Sakkaf A, Mohammed Abdelkader E, Mahmoud S, Bagchi A. Studying energy performance and thermal comfort conditions in heritage buildings: A case study of murabba palace. *Sustainability*. 2021;13(21):12250. DOI: https://doi.org/10.3390/su132112250
28. Daemei AB, Limaki AK, Safari H. Opening performance simulation in natural ventilation using design builder (case study: a residential home in Rasht). *Energy Procedia*. 2016;100:412-22. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.196
29. Chung LP, Ahmad MH, Ossen DR, Hamid M. Effective solar chimney cross section ventilation performance in Malaysia terraced house. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2015;179:276-89. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.431
30. De la Torre S, Yousif C. Evaluation of chimney stack effect in a new brewery using DesignBuilder-EnergyPlus software. *Energy Procedia*. 2014;62:230-5. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.384

- Energy and Buildings. 2013;66:467-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.036>
47. Zha X, Zhang J, Qin M. Experimental and numerical studies of solar chimney for ventilation in low energy buildings. *Procedia Engineering*. 2017;205:1612-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.294>
48. Punyasompun S, Hirunlabh J, Khedari J, Zeghmami B. Investigation on the application of solar chimney for multi-storey buildings. *Renewable Energy*. 2009;34(12):2545-61. DOI: 10.1016/j.renene.2009.03.032
49. Hong S, He G, Ge W, Wu Q, Lv D, Li Z, editors. Annual energy performance simulation of solar chimney in a cold winter and hot summer climate. *Building Simulation*; 2019: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0572-y>
50. Chen Y, Tong Z, Wu W, Samuelson H, Malkawi A, Norford L. Achieving natural ventilation potential in practice: Control schemes and levels of automation. *Applied energy*. 2019;235:1141-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.016>
51. Ding W, Hasemi Y, Yamada T. Natural ventilation performance of a double-skin façade with a solar chimney. *Energy and buildings*. 2005;37(4):411-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.002>
52. Teleszewski TJ, Gładyszewska-Fiedoruk K. Characteristics of humidity in classrooms with stack ventilation and development of calculation models of humidity based on the experiment. *Journal of Building Engineering*. 2020;31:101381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101381>
53. Mokheimer EM, Shakeel MR, Al-Sadah J. A novel design of solar chimney for cooling load reduction and other applications in buildings. *Energy and Buildings*. 2017;153:219-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.011>
54. Deng JY, Wong NH, Hii DJ, Yu Z, Tan E, Zhen M, Tong S. Indoor Thermal Environment in Different Generations of natural ventilation in buildings. *Building and environment*. 1994;29(4):495-500. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(94\)90008-6](https://doi.org/10.1016/0360-1323(94)90008-6)
39. Chen J, Brager GS, Augenbroe G, Song X. Impact of outdoor air quality on the natural ventilation usage of commercial buildings in the US. *Applied energy*. 2019;235:673-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.020>
40. Harvey LD, Korytarova K, Lucon O, Roshchanka V. Construction of a global disaggregated dataset of building energy use and floor area in 2010. *Energy and Buildings*. 2014;76:488-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.011>
41. Shi L, Zhang G, Yang W, Huang D, Cheng X, Setunge S. Determining the influencing factors on the performance of solar chimney in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;88:223-38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.033>
42. Shi L, Cheng X, Zhang L, Li Z, Zhang G, Huang D, et al. Interaction effect of room opening and air inlet on solar chimney performance. *Applied Thermal Engineering*. 2019;159:113877. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113877>
43. Bouchair A. Solar chimney for promoting cooling ventilation in southern Algeria. *Building Services Engineering Research and Technology*. 1994;15(2):81-93. DOI: <https://doi.org/10.1177/014362449401500203>
44. Afonso C, Oliveira A. Solar chimneys: simulation and experiment. *Energy and buildings*. 2000;32(1):71-9. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00038-9)
45. Fakhari M, Heidari S. The Study on ventilation performance of solar chimney and optimal dimensions. *Honar-Ha-Ye-Ziba: Mameary Va ShahrSazi*. 2013;18(2):83-8. [Persian] DOI: <https://doi.org/10.22059/jfaup.2013.50536>
46. Jianliu X, Weihua L. Study on solar chimney used for room natural ventilation in Nanjing.

- 2018;10(9):3284. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10093284>
62. Suhendri S, Hu M, Su Y, Darkwa J, Riffat S. Parametric study of a novel combination of solar chimney and radiative cooling cavity for natural ventilation enhancement in residential buildings. *Building and Environment*. 2022 Nov 1;225:109648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109648>
63. Ghiaus C, Allard F, Santamouris M, Georgakis C, Nicol F. Urban environment influence on natural ventilation potential. *Building and environment*. 2006;41(4):395-406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.003>
- Naturally Ventilated Public Residential Buildings in Singapore. *Atmosphere*. 2022 Dec;13(12):2118. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos13122118>
55. Moosavi L, Zandi M, Bidi M, Behroozzade E, Kazemi I. New design for solar chimney with integrated windcatcher for space cooling and ventilation. *Building and Environment*. 2020;181:106785. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106785>
56. Lei Y, Zhang Y, Wang F, Wang X. Enhancement of natural ventilation of a novel roof solar chimney with perforated absorber plate for building energy conservation. *Applied Thermal Engineering*. 2016;107:653-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.090>
57. Wu Y, Gao N, Niu J, Zang J, and Cao Q., Numerical study on natural ventilation of the wind tower: Effects of combining with different window configurations in a low-rise house. *Building and Environment* 2021 JAN; 188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107450>
58. Gan G. Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation. *Energy and buildings*. 2006;38(5):410-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.08.002>
59. Saroglou T, Theodosiou T, Givoni B, Meir IA. Studies on the optimum double-skin curtain wall design for high-rise buildings in the Mediterranean climate. *Energy and Buildings*. 2020;208:109641. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109641>
60. Ozarisoy B, Altan H. Regression forecasting of 'neutral' adaptive thermal comfort: A field study investigation in the south-eastern Mediterranean climate of Cyprus. *Building and Environment*. 2021;202:108013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108013>
61. Alibaba HZ. Heat and air flow behavior of naturally ventilated offices in a mediterranean climate. *Sustainability*.