

ORIGINAL ARTICLE

Determining the Characteristics of the Yard at Height for the Climate-Based, Expansible Housing by Measuring the Amount of Energy Consumption and Thermal Comfort (Case Study: Hamadan City)

Mahsa Norouzi¹, Mitra Ghafourian², Zahra Barzegar³

1. M.A. Student in Architecture and Urban Planning, University of Science and Technology, Tehran, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Architecture and Urban Planning, University of Science and Technology, Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Correspondence
Mitra Ghafourian
Email: Ghafourian_m@iust.ac.ir

How to cite

Norouzi, M.; Ghafourian, M.; Barzegar, Z. (2023). Determining the Characteristics of the Yard at Height for the Climate- Based, Expansible Housing by Measuring the Amount of Energy Consumption and Thermal Comfort (Case Study: HamadanCity), Physical Social Planning, 8 (31), 67-84.

ABSTRACT

It is essential to pay attention to the changing needs and demands of users in residential units. The possibility of adapting the space to new conditions depends on the degree of flexibility that can be effective in environmental sustainability. The highest degree of flexibility of interior spaces is provided when they have the necessary light and radiant energy and their energy consumption is reduced to the level of thermal comfort. Therefore, flexible buildings are shallow in plan (between 9-13 meters). It seems that one of the solutions for providing the required radiant energy and establishing thermal comfort in residential apartments is to use the yard. Considering that the development component is one of the most appropriate methods of establishing flexibility in housing, the expansion of the inner space of the apartment in the courtyard is suggested as a model of flexible housing. In order to provide a developable pattern along with the improvement of environmental components, the location and orientation of the courtyard of the apartment units in Hamedan city was chosen in a cold climate. For this purpose, in the models of expandable units, first the optimal orientation of the building and then the appropriate location of the yard in the apartment units have been simulated by Energy Plus software. To provide the best developable model, yards with optimal direction and position were compared before and after development. Along with a 15% increase in infrastructure, a 57% decrease in yard area and a 5% per capita decrease in energy consumption along with a 6% per capita decrease in thermal comfort were obtained. Therefore, expandability in the presented model has been associated with increasing climate efficiency.

KEYWORDS

Thermal comfort, flexibility, high yard, developable housing, energy consumption.

نشریه علمی

برنامه‌ریزی توسعه کالبدی

«مقاله پژوهشی»

تعیین ویژگی‌های حیاط در ارتفاع برای مسکن توسعه‌پذیر - اقلیمی با سنجش میزان مصرف انرژی و آسایش حرارتی (مورد مطالعه: شهر همدان)

مهسا نوروزی^۱، میترا غفوریان^۲، زهرا برزگر^۳

چکیده

توجه به تغییر نیازها و خواسته‌های کاربران در واحدهای مسکونی امری ضروریست. امکان انطباق فضا با شرایط جدید، وابسته به میزان انعطاف‌پذیری که می‌تواند در جهت پایداری زیست‌محیطی موثر باشد. بالاترین میزان انعطاف‌پذیری فضاهای داخلی زمانی تأمین می‌شود که از نور و انرژی تابشی لازم برخوردار باشند و مصرف انرژی آن‌ها تا حد آسایش حرارتی کاهش یابد. در راستای این استدلال ساختمان‌های انعطاف‌پذیر در پلان عمق کمی (بین ۹-۱۳ متر) دارند. به نظر می‌رسد یکی از راهکارهای تأمین انرژی تابشی لازم و برقراری آسایش حرارتی در آپارتمان‌های مسکونی استفاده از حیاط است. با توجه به اینکه مؤلفه توسعه یکی از مناسب‌ترین روش‌های استقرار انعطاف‌پذیری در مسکن است، گسترش فضای داخلی آپارتمان در حیاط به عنوان الگوی مسکن انعطاف‌پذیر پیشنهاد می‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر برای تأمین الگوی توسعه‌پذیر که به طور همزمان ارتقای مؤلفه‌های زیست‌محیطی را نیز به همراه داشته باشد، موقعیت و جهت‌گیری حیاط واحدهای آپارتمانی شهر همدان در اقلیم سرد تعیین شد. بدین منظور در الگوهای واحد توسعه‌پذیر، ابتدا جهت‌گیری مطلوب ساختمان و سپس موقعیت مناسب حیاط در واحدهای آپارتمانی به‌وسیله نرم‌افزار انرژی پلاس شبیه‌سازی شده است. نتیجه به شکل ارائه بهترین الگوی توسعه‌پذیر، دارای جهت و موقعیت بهینه حیاط، قبل و بعد از توسعه مقایسه شد و همراه با ۱۵ درصد افزایش زیربنا، ۵۷ درصد کاهش مساحت حیاط و حدود ۵ درصد کاهش سرانه مصرف انرژی توأم با ۶ درصد کاهش سرانه آسایش حرارتی به‌دست آمد. بنابراین توسعه‌پذیری در الگوی ارائه شده با افزایش بهره‌وری اقلیمی همراه بوده است.

واژه‌های کلیدی

آسایش حرارتی، انعطاف‌پذیری، حیاط در ارتفاع، مسکن توسعه‌پذیر، مصرف انرژی.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.
۲. استادیار گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.
۳. استادیار گروه هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، ایران.

نویسنده مسئول: میترا غفوریان

ایانامه: Ghafourian_m@iust.ac.ir

استناد به این مقاله:

نوروزی، مهسا؛ غفوریان، میترا؛ برزگر، زهرا (۱۴۰۲). تعیین ویژگی‌های حیاط در ارتفاع برای مسکن توسعه‌پذیر - اقلیمی با سنجش میزان مصرف انرژی و آسایش حرارتی (مورد مطالعه: شهر همدان)، فصلنامه علمی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۸ (۳۱)، ۶۷-۸۴.

مقدمه

به اعتقاد راپاپورت مسکن نهادی است برای پاسخگویی به مجموعه‌ای از اهداف، نه اینکه فقط یک ساختار باشد. او خانه را نهادی می‌داند که عملکردی با ابعاد فرهنگی، اجتماعی، آیین مذهبی، شرایط محیطی و اقتصادی دارد. به اعتقاد وی به وجود آوردن یک محیط مناسب و در سازش با شیوه زیستن انسان، هدف اصلی مسکن است (راپاپورت، ۱۳۸۲: ۶۴). تأثیرات تکنولوژی‌های جدید، تغییرات محیطی و اقلیمی، دگرگونی روابط اجتماعی، تغییر ساختارهای فرهنگی و اجتماعی در مسکن مشهود است ولی در بعضی موقع دامنه این تغییرات و دگرگونی‌ها وسیع شده و جامعه نمی‌تواند نسبت به این تغییرات بی‌تفاوت بماند.

طراحی مجتمع‌های مسکونی امروزی، به دلیل نبود توجه به نیازهای انسانی، زندگی فردی و اجتماعی ساکنین را با مشکلاتی مواجه کرده است. یکی از همین مشکلات فقدان انعطاف‌پذیری در طراحی فضاها است، بدین معنی که فضا قابلیت سازگاری با تغییر شرایط زندگی ساکنین را ندارد یا به اصطلاح، مسکن امروز یک فرد پاسخگوی نیازهای فردی او نیست (غفوریان و آقایی، ۱۳۹۵: ۴۱). واجد بودن شرایط انعطاف‌پذیری و قابلیت تطبیق، اعمال تغییرات را به راحتی ممکن می‌کند، طراحان می‌توانند نیازهای فضایی خاصی را پیش‌بینی کنند تا در طول دوره‌های مختلف زندگی هر خانواده، امکان پاسخگویی مسکن به نیاز ساکنین را برآورده سازد. نیازهای فضایی همچون افزودن یا کاستن مساحت اتاق (اتاق خواب یا نشیمن و پذیرایی) (غفوریان، ۱۳۹۷: ۶۴).

از طرفی مسکن امروزی با افزایش جمعیت شهرنشینی و اجبارهای محیطی با الگوهای ناهمگون با محیط‌زیست و نیازهای انسانی مواجه شده است. بررسی‌ها در سیر تحول و تکامل معماری، گواه تغییر نگرش الگوی همجواری عملکردها و روند کاهش تا حذف فضا است. از جمله این فضاها حیاط است که به عنوان یک فرم سازمان‌دهنده در ارتباط متقابل با طبیعت به منظور تزریق روح زندگی در مجموعه‌های مسکونی حس آزادی و پویایی را برای ساکنین فراهم می‌آورد (جهان‌بخش و قنبرپور، ۱۳۹۸: ۶۹). از مهم‌ترین ضرورت‌ها در مسکن امروزی، تأمین فضاهای باز سبز در طبقات است که قابلیت توسعه فضاها را برای واحدهای مسکونی فراهم کند. قابلیت توسعه‌پذیری به عنوان بخشی از رویکردهای انعطاف‌پذیری محسوب می‌شود که می‌تواند بر اساس پارامترهای اقلیمی (تابش و نور) و بصری (دید مناسب) شکل گیرد. عدم توجه به کیفیات اقلیمی فضای باز در آپارتمان‌ها و به تبع آن تأثیر نامطلوب فضای باز بر فضاهای داخلی، منجر به بروز مشکلاتی جدی در سلامت ساکنین شده است که با تعیین

جهت‌گیری مناسب و کیفیات ابعادی و کالبدی تبدیل به فضای مطلوبی می‌شود. توجه به عوامل زیست‌محیطی (اقلیمی) در طراحی معماری می‌تواند با صرف انرژی بهینه، کیفیت زندگی و سلامت کاربران را افزایش دهد. امروزه با افزایش رفاه، نیاز به انرژی در حال افزایش بسیار سریع است و این در حالیست که منابع انرژی محدود است (Pugha^۱ et al, 2011: 634). ساختمان‌های بخش مسکونی از اصلی‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی است. مانند بسیاری دیگر از کشورها در ایران نیز بخش مسکونی سهم بسزایی در مصرف انرژی دارد و تحقیق در این زمینه یکی از نیازهای روز جامعه می‌باشد. مصرف انرژی وابستگی شدیدی با اقلیم منطقه دارد (برزگر و حیدری، ۱۳۹۲: ۴۶). از آنجا که تنها معیار سنجش ساختمان با انرژی بهینه، کم مصرف بودن نیست، سنجش پارامترهای دیگر نیز الزامی است. حدکاهش مصرف انرژی، رعایت میزان آسایش حرارتی به ویژه در بدترین ساعات سرما و گرما است. اهمیت مقوله آسایش حرارتی تا حدی است که بسیاری از محققان و دانشمندان علوم مختلف از جمله معماری، شهرسازی، جغرافیا، مکانیک، انرژی و غیره بدان پرداخته‌اند. آسایش حرارتی از مهم‌ترین معیارها در طراحی ساختمان بر اساس صرفه جویی در مصرف انرژی است. همه عناصر ساختمانی و انواع ساختمان‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که در زمان‌های مختلف پاسخگوی شرایط آب و هوایی خارج باشند و شرایط آسایش حرارتی قابل قبول و حتی لذت‌بخشی را برای ساکنین فراهم کنند (حیدری، ۱۳۸۸: ۷).

هدف از این پژوهش دستیابی به ترکیب مناسب فضای باز و بسته در آپارتمان‌های مسکونی است. پرسش اصلی پژوهش "با چه الگویی می‌توان به کمک جهت‌گیری و موقعیت مناسب حیاط، به تأمین مسکن توسعه‌پذیر و بهینه مصرف انرژی (مسکن توسعه‌پذیر اقلیمی) در شهر همدان دست یافت؟" می‌باشد. در این راستا امکان توسعه مسکن در حیاط، بر اساس میزان مصرف انرژی و آسایش حرارتی در آپارتمان‌های مسکونی شهر همدان بررسی شد. با کمک سنجش این دو پارامتر در نرم افزار انرژی‌پلاس، جهت‌گیری مطلوب ساختمان مشخص شد. در نهایت موقعیت حیاط در الگوهای متفاوت ارزیابی گردید و نتایج به ارائه الگوی حیاط در ارتفاع مطلوب رسید. در تشریح مبانی نظری و پیشینه پژوهش می‌توان به تحقیقات ذیل اشاره کرد.

الف. مسکن توسعه‌پذیر: در گفتمان معماری، «انعطاف‌پذیری» و «انطباق‌پذیری» به شکل‌های مختلفی تعریف شده است. گروک^۲ (۱۹۹۲) به تفاوت انعطاف‌پذیری و

^۱ Graham Pugha

^۲ Steven Groak

فعال و سرمایه‌گذاری آن‌ها در یک پروژه، به ایجاد فرصت‌های جدید برای افراد دارای زمینه‌های محروم کمک کرده است. المنتال از پیمانکاران برای تولید انبوه «نیم‌خانه» استفاده می‌کند تا سپس توسط ساکنینی که از ظرفیت تولیدی خود استفاده می‌کنند، تکمیل شود. مفهوم ساختمان برای توسعه آپارتمان کم-ارتفاع (۲ طبقه) و قابل تکرار، ساختمان‌هایی بود که متخلخل بودند تا به هر آپارتمان اجازه دهند به روش‌های مختلف جدید توسعه یابد و فضاهای متخلخل را پر کنند (O'Brien & Carrasco, 2020:267). طراحی برای شرکت بیمه عمر هند توسط معمار بالکارینا دوشی^۱ یک گونه‌شناسی جدید است که به ساکنان اجازه می‌دهد در یک فرآیند مشارکتی خانه‌سازی شرکت کنند. بالاترین واحد را با یک اتاق و آشپزخانه، یک تراس مجلل و پایین‌ترین واحد را با یک ایوان فراهم می‌کند. هر خوشه از خانه‌ها، مانند زیگورات‌های مینیاتوری چیده شده‌اند و واحدهای بزرگتر طبقه همکف، تراس‌هایی را برای واحدهای کوچکتر و فرورفته در بالا فراهم می‌کنند. ایده آشکار دوشی برای قرار دادن «فرد فقیر در راس افراد ثروتمند» خیلی‌ها را شگفت‌زده کرد. تغییرات فضایی مجاز به انجام داخلی هستند، با این حال، شکل مؤثر دست‌نخورده باقی می‌ماند. با گذشت زمان، ساکنان نیازهای خود را با اضافه کردن برآمدگی‌ها، سقف‌ها، پنجره‌ها و اتاق‌های خاصی که به احساس تعلق و وقار آن‌ها کمک کرده است، برآورده کرده‌اند.

ب. فضای باز: ریشه واژه حیاط در منابع فارسی، مفهومی فراتر از فضای باز و خالی را در ذهن متبادر می‌سازد. حیاط فضایی مرکزی با انتظام هندسی، درونگرا مرتبط با فضاهای اطراف و محور سازماندهی و برگرفته از باغ است که تعاملی تنگاتنگ با اقلیم دارد بررسی‌ها در سیر تحول و تکامل معماری، از جمله فضاهای مسکن، حیاط است که بعنوان یک فرم سازمان‌دهنده در ارتباط متقابل با طبیعت به منظور تزریق روح زندگی در مجموعه‌های مسکونی حس آزادی و پویایی را برای ساکنین فراهم می‌آورد (جهان‌بخش و قنبرپور، ۱۳۹۸: ۶۹). از بررسی نقش حیاط در خانه‌های سنتی در اقلیم‌های مختلف ایران، چنین برمی‌آید که «میان» به معنی قلب و با تأکید بر مرکزیت معنوی، به کار رفته است. سازماندهی فضاها در خانه‌های درون‌گرا نسبت به حیاط شکل می‌گرفته است. در قسمت شمالی حیاط، فضاهای آفتاب‌گیر که در تمام فصول (به ویژه زمستان) قابل استفاده است استقرار می‌یابند و در جنوب آن که پر سایه است بخش تابستانی قرار می‌گیرد. در جبهه شرقی که رو به آفتاب شدید غرب قرار دارد کاربری‌های کم اهمیت و انبار و

انطباق‌پذیری پرداخته است و به واژه "انطباق‌پذیری" با عنوان مناسب بودن برای تنظیمات و تغییرات مربوط به فضای داخلی واحدهای مسکونی اشاره می‌کند. از سوی دیگر، "انعطاف‌پذیری" با مناسب بودن برای "ارایش‌های فیزیکی مختلف" تعریف شده که نه تنها برای تنظیمات داخلی بلکه برای تنظیمات بیرونی خود واحد نیز معتبر است (Groák, 1992: 15-17).

در آخرین مطالعات مربوط به تیل و اشنایدر^۱ (۲۰۰۵) در مورد "انعطاف‌پذیری" در زمینه مسکن، به مفهوم "انعطاف‌پذیری" با ارائه نقد در وضعیت کنونی مسکن بریتانیا به سودمندی اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی اشاره گردید و به این ترتیب نگرش اجتماعی و کالبدی توأمانی در تعریف انعطاف‌پذیری ایجاد شد. رابنک^۲ و همکاران (۱۹۷۴) به تعریف مفاهیم انعطاف‌پذیری و انطباق‌پذیری و تفاوت آن‌ها از یکدیگر پرداخته و دو رویکرد اصلی «توسعه بیرونی» و «توسعه درونی» را برای انعطاف‌پذیری مسکن مطرح کرده‌اند. «توسعه بیرونی» با در دسترس قرار دادن فضای بیشتر بدون نیاز به نقل و انتقال و جابجایی ایجاد می‌شود که در شرایط سخت مالی، به عنوان وسیله‌ای برای در دسترس قرار دادن مالکیت خانه برای افراد با وسایل محدود دیده شده است. منظور از "توسعه درونی" یعنی افزایش مساحت داخلی بدون تغییر مساحت زمین اشغال شده توسط واحد مسکونی است. (Rabeneck et al. 1974: ۸۵-۸۴) در پژوهش غفوریان (۱۳۹۷) به شناسایی گونه‌های انعطاف‌پذیری در طراحی مسکن آپارتمانی ایران پرداخته شده است. این مؤلف‌ها شامل توسعه‌پذیری، قابلیت چیدمان متفاوت میلمان، تفکیک‌پذیری و چندعملکردی بودن در فضای مسکن است. در پژوهش دیگر، غفوریان و همکاران (۱۴۰۰) میزان توسعه‌پذیری در انعطاف‌پذیری فضای داخلی مسکن آپارتمانی ارزیابی کرده‌اند. نتایج حاکی از آن است که ویژگی توسعه و تفکیک در الگوی مسکن یک‌خوابه بصورت حداقل و در واحدهای سه‌خوابه بصورت حداکثر وجود دارد. در ادامه پیشنهاد تخصیص مساحت به فضای شناور که ما بین دو عرصه عمومی و خصوصی در نظر گرفته می‌شود، یک اصل پاسخگو برای توسعه و تفکیک در واحد مسکونی دانسته شده‌است.

معمار اهل شیلی، الخاندرو^۳ با گروه المنتال^۴ در پروژه کوئینتا مونروی^۵ با درک اهمیت آرزوهای ساکنان و مشارکت

^۱Jeremy Till, Tatjana Schneider

^۲Andrew Rabeneck

^۳Add-On

^۴Add-in

^۵Alejandro Aravena

^۶Elemental

^۷Quinta Monroy

^۱Balkrishna Vithaldas Doshi

داشته است و با آسایش حرارتی رابطه تأثیرگذاری دارد (دهناد و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۹۹).

از آنجا که تنها معیار سنجش ساختمان با انرژی بهینه، کم‌مصرف بودن نیست، سنجش پارامترهای دیگر نیز الزامی است. حد کاهش مصرف انرژی، رعایت میزان آسایش حرارتی به ویژه در بدترین ساعات سرما و گرما است. آسایش حرارتی شرایط ذهنی است که رضایت فرد از محیط حرارتی را بیان می‌دارد (ASHRAE-55, 2017). فنگر^۲ با مرتبط دانستن احساس گرما با توان فرد و بر اساس نتایج تجربی به دست آمده از آزمایش، معیاری را به‌عنوان درجه احساس تعریف کرد که ضریب PMV نامیده شد که شاخصی برای پیش‌بینی میانگین آرای حرارتی افراد است. PMV از طریق شش متغیر میزان فعالیت شخص (met) و لباس استفاده‌کنندگان ($close$) به عنوان عوامل شخصی و دما (C°)، متوسط دمای تابشی (C°)، رطوبت نسبی (%) و باد (m/s) به عنوان متغیرهای اقلیمی محاسبه می‌شود (Rupp et al, 2015: 181). همچنین آسایش حرارتی در دسته‌بندی سرد، خنک، کمی خنک، خنثی، کمی گرم، گرم و داغ (از $+3$ تا -3) و بهترین حالت صفر طبقه بندی می‌شود. طبق استاندارد اشری ۵۵، PMV باید بین $+1$ تا -1 برای کاربری مسکونی باشد.

عملکرد حرارتی ساختمان تحت تأثیر عوامل زیادی قرار می‌گیرد. بهبود همه جانبه در جنبه‌های مختلف از جمله طراحی هندسی، ویژگی‌های مصالح، الگوی اشغال و غیره می‌تواند باعث افزایش صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان شود (Lapisa, 2019: 113). در سال‌های اخیر، درک روند مصرف و تبیین روش‌هایی جهت بهینه‌سازی، مورد توجه پژوهشگران در بخش مسکونی قرار گرفته است. در این زمینه، سوان و آگورسال^۳ (۲۰۰۹) به مرور ادبیات تکنیک‌های متفاوت استفاده شده در مدل‌سازی انرژی مصرفی بخش مسکونی پرداخته‌اند. برزگر و حیدری (۱۳۹۲) اشاره نمودند که خانه‌های دارای جهت‌گیری اقلیمی، دارای مصرف انرژی کمتری می‌باشند (برزگر و حیدری، ۱۳۹۲: ۴۵). برزگر و حیدری (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های مصرف انرژی برای بخش مسکونی شیراز در ایران، اثر مساحت ساخته شده و تعداد ساکنین بر مصرف انرژی سالانه را مورد بررسی قرار دادند. برزگر و همکاران (۲۰۱۹) به تأثیر آسایش حرارتی بر استرس در دبیرستان دخترانه دانش‌آموزان بر اساس شاخص میانگین رای پیش‌بینی‌شده (PMV) و درصد پیش‌بینی‌شده ناراضی‌تی (PPD) در یک رویکرد حالت پایدار

غربال جایگزین می‌شود (رضایی و نوروزیان‌ملکی، ۱۳۸۹: ۱۳۱). همچنین بررسی و تبیین نقش مؤلفه‌های کالبدی فضای باز و نیمه‌باز خصوصی در پژوهش جمشیدی و جواهریان (۱۳۹۳) انجام گرفته است. در این پژوهش ارزیابی شکل و مکان به منظور ارتقای کیفیت واحد مسکونی انجام شده که این مؤلفه‌ها از طریق تأثیرگذاری در ایجاد آسایش اقلیمی در مسکن، ایجاد انعطاف‌پذیری، ایجاد بستر تغییرات و شخصی‌سازی و غیره می‌توانند نقش بسزایی در تأمین نیازهای اساسی مرتبط با یک واحد مسکونی داشته باشند.

با توجه به اهمیت نقش فضای باز و نیمه‌باز در مقوله مسکن، مطالعات زیادی در این حیطة انجام گرفته است. اما اکثر پژوهش‌های مربوط به فضای باز و نیمه‌باز در معماری مسکونی به فضاهای باز و نیمه‌عمومی ساختمان‌ها بر مبنای شکل‌گیری روابط اجتماعی توجه کرده‌اند و فضای باز و نیمه‌باز خصوصی کمتر مورد بررسی و توجه قرار گرفته‌اند. همچنین پژوهش‌های معدودی هم که در نظر داشتند تا در مقیاس خرد به حل مسئله کارایی فضاهای باز و نیمه‌باز خصوصی بپردازند، صرفاً به ضرورت وجود این نوع فضاها و یا راهکارهای نظری در معماری مسکونی تأکید داشته‌اند و کمتر به ارائه‌ی الگوهای مؤثری انجامیده است. پژوهش حاضر انعطاف‌پذیری آپارتمان را به صورت توسعه فضای بسته در فضای باز حیاط پیشنهاد می‌دهد. در ادامه، بررسی‌های زیست‌محیطی نسبت به شکل کالبدی حیاط با توجه به توسعه آپارتمان در حیاط اعمال خواهد شد.

ج. مصرف انرژی و آسایش حرارتی: امروزه بحران کیفیت مسکن بر مسئله بحران کمیت غلبه کرده است که دلیل آن را باید در اتخاذ سیاست‌هایی دانست که برای حل معضل مسکن، "هرچه سریع‌تر ساختن"، "هرچه کوچک‌تر ساختن" و "هرچه ارزان‌تر ساختن" را در دستور کار خود دارند. به عقیده اسونو^۱ و همکاران (۲۰۲۱) ساختمان‌ها حدود ۳۶ درصد از انتشار CO_2 و ۴۰ درصد از مصرف انرژی در سطح اتحادیه اروپا را تشکیل می‌دهند (Ascione et al, 2021:1). در ایران مصرف انرژی در ساختمان حدود ۴۸ درصد از کل انرژی مصرف شده را به خود اختصاص می‌دهد (فیضی و همکاران، ۱۳۹۶: ۸). ارتباط بین افزایش انتشار CO_2 در جو و مصرف انرژی، انگیزه‌ای برای استفاده کارآمدتر از انرژی و کاهش تقاضای کل انرژی است (Umbarek et al, 2020:1). تغییرات فرمی و ارتفاع در بلوک‌های مسکونی و عدم تطابق آن با ویژگی‌های اقلیمی، افزایش تقاضای انرژی مصرفی ساختمان‌ها را به دنبال

^۱Povl Ole Fanger

^۲Lukas G. Swan, V. Ismet Ugursal

^۳Fabrizio Ascione

داده‌ها و روش کار

تحقیق حاضر به بررسی موقعیت و جهت مناسب حیاط در واحدهای آپارتمانی شهر همدان با تأکید بر توسعه‌پذیری می‌پردازد. در مجموع ابزارهای مورد استفاده شامل خلاصه‌نویسی و فیش‌برداری و منابع اینترنتی، برداشت میدانی، مشاهده و شبیه‌سازی است. همچنین روش تحلیل داده‌ها به شکل مقایسه تطبیقی الگوهای پیشنهادی بر اساس میزان مصرف انرژی و آسایش حرارتی انجام شده است. براین اساس جامعه آماری این پژوهش شامل ۱۲ الگوی مسکن توسعه‌پذیر پیشنهادی در سه ساختمان با موقعیت متفاوت حیاط که توسط نرم‌افزار انرژی پلاس^۲ - از نظر میزان مصرف انرژی و آسایش حرارتی - مورد بررسی قرار گرفتند، می‌باشد. در این پژوهش نمونه‌گیری از نوع غیر احتمالی و به روش هدفمند انجام شده است. مراحل پژوهش به صورت زیر توضیح داده می‌شود:

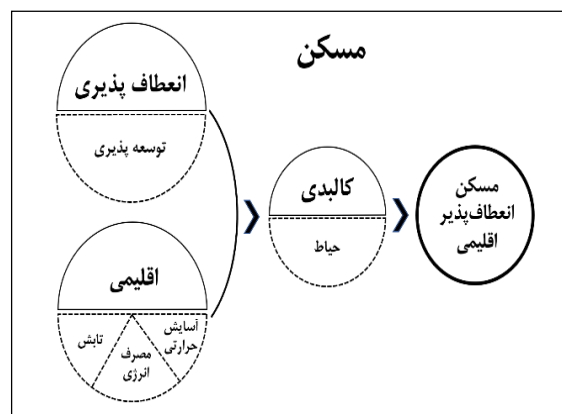
گام اول با ایجاد پرسش اصلی پژوهش آغاز شد: "بوسیله چه الگویی می‌توان به کمک جهت‌گیری و موقعیت مناسب حیاط، به تامین مسکن توسعه‌پذیر و بهینه مصرف انرژی (مسکن توسعه‌پذیر اقلیمی) در شهر همدان دست یافت؟"

شهر همدان بین مدارهای ۵۹/۳۳ تا ۴۹/۳۵ عرض جغرافیایی شمالی و ۴۷/۳۴ تا ۴۹/۳۶ طول جغرافیایی شرقی، دارای اقلیم سرد (کوهستان های غربی)، به‌عنوان شهر مورد مطالعه انتخاب شد (زارعی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۶) (شکل ۲). زمین مناسب مجموعه‌ای بالغ بر ۶۰ واحد مسکونی، بر اساس پارامترهای کالبدی و اقلیمی انتخاب شد که در منطقه یک شهرداری و ناحیه دو به مساحت تقریبی یک هکتار واقع است. بر اساس تحقیقات انجام‌شده در اقلیم سرد، بایستی فرم بنا در جهت مقابله با سرمای شدید طراحی شود و احجام مترامکی نظیر مکعب مستطیل (نزدیک به مکعب) با نسبت کم سطح پوسته خارجی به حجم داخل بنا، برای مناطق سردسیر مناسب است (قبادیان، ۱۳۷۷: ۱۰۲).

لذا ابعاد ساختمان انتخابی ۳۶ متر در ۲۸ متر (نزدیک به مربع) می‌باشد که دارای چهار طبقه مسکونی (هر طبقه ۴ واحد) با اختصاص طبقه همکف به پارکینگ است. حیاط می‌تواند به دو شکل، درونی (در بین احجام مسکونی) یا بیرونی (در لبه‌های خارجی) قرار گیرد که در مقاله حاضر، گونه دوم انتخاب شد. حیاط‌های بیرونی می‌توانند در گوشه و یا وسط اضلاع قرار گیرند، لذا موقعیت حیاط‌های اختصاصی هر واحد (فقط در طبقه آخر) به سه نوع حیاط در چهارگوشه ساختمان (الگوی A)، حیاط

پرداخته‌اند. هان^۱ و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر چیدمان فضای حیاط بر ریز اقلیم ساختمان و طراحی بهینه آن پرداخته‌اند. در حالی که ۷۰ درصد از تقاضای انرژی ساختمان با سیستم‌های تهویه مطبوع برای سرمایش و گرمایش داخلی مرتبط است. بنابراین تمرکز بیشتر بر بهره‌وری انرژی در صنعت ساخت و ساز با جستجوی استراتژی‌های فعال از معماری سنتی ما برای دستیابی به ساختمان‌های کم مصرف و در عین حال در نظر گرفتن آسایش حرارتی داخلی بسیار مهم است (Tabadkani et al, 2022: 964). بنابراین یکی از رایج‌ترین نمونه‌های معماری پاسخگو به اقلیم، خانه‌های حیاط دار است که ممکن است ارزش بازنگری و بازطراحی در معماری مدرن ما، به‌ویژه در اقلیم‌های متفاوت را داشته باشد. چیدمان خوب فضای حیاط برای بهره‌وری انرژی ساختمان و آسایش حرارتی انسان مفید است. متأسفانه، با وجود موقعیت منحصر به فرد حیاط در تاریخ طولانی معماری به عنوان تعدیل‌کننده ریز اقلیم، در قرن‌های اخیر به طور ناعادلانه‌ای نادیده گرفته شده است. تأثیر انواع طراحی حیاط برای افزایش آسایش حرارتی داخلی کمتر در تحقیقات معماری مورد مطالعه قرار گرفته است.

با توجه به مباحث یاد شده، دستیابی به الگوی قابل‌قبول برای شکل‌گیری مسکن انعطاف‌پذیری که بر مبنای مشخصه‌های اقلیمی شکل گرفته باشد، امکان‌پذیر خواهد بود. ارائه مدل مفهومی (شکل ۱) به متغیرهای پژوهش اشاره دارد. در این چهارچوب حیاط به عنوان یک مؤلفه کالبدی نقش یک متغیر مداخله‌گر را بازی کرده و رسیدن به مسکن توسعه‌پذیر- اقلیمی را امکان‌پذیر می‌کند.

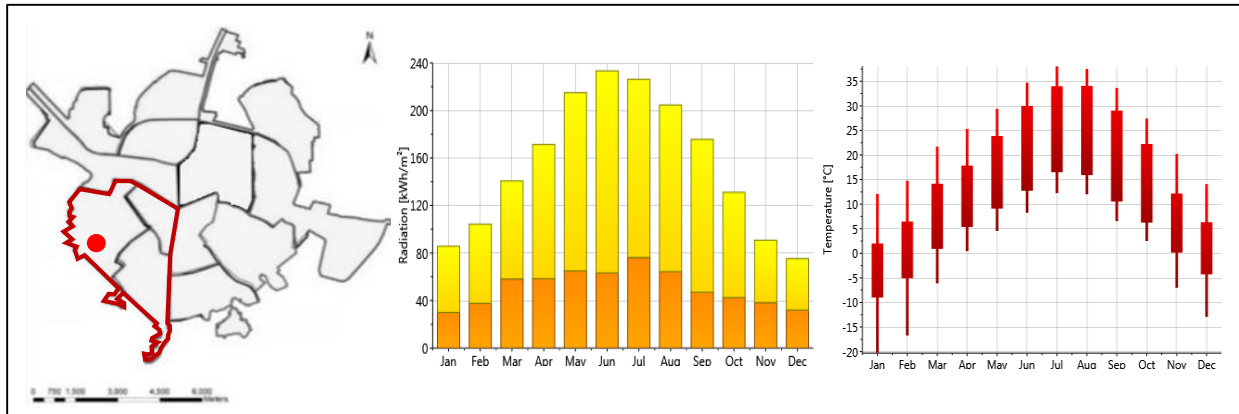


شکل ۱. مدل مفهومی مسکن توسعه‌پذیر- اقلیمی، ماخذ: نگارندگان

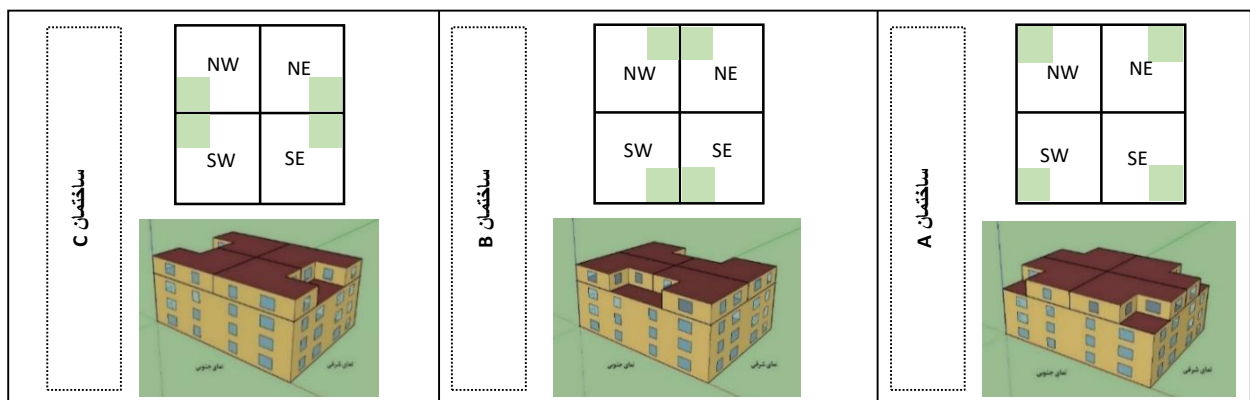
طراحی گردید که این امکان وجود داشته باشد. در نهایت پلان‌های توسعه پذیر طراحی و توسط نرم افزار اتوکد ترسیم و ارائه شد (شکل ۴). در طراحی واحد ها از ۴ نوع پنجره با ابعاد مختلف (سالنی ۴ متر، اتاق و آشپزخانه ۱/۵ متر) استفاده شد. سپس شبیه‌سازی سه‌بعدی ساختمان در نرم‌افزار اسکچ‌آپ انجام گردید.

در شمال- جنوب (الگوی B) و حیاط در شرق-غرب (الگوی C) تقسیم شد (شکل ۳).

بنا بر نتایج پژوهش غفوریان و همکاران (۱۴۰۰) در طراحی واحد توسعه‌پذیر مجاورت حیاط و بالکن با عرصه‌های عمومی و خصوصی، امکان نفوذ این عرصه‌ها را در فضای باز ایجاد می‌کند، (غفوریان و همکاران، ۱۴۰۰: ۴۹)، بنابراین نقشه‌ها به گونه‌ای



شکل ۲. از راست به چپ: دمای ماهانه شهر همدان (درجه سانتی گراد) ۱۴۰۰-۱۴۰۱، میزان سالانه تابش دریافتی بر سطوح افقی (کیلووات ساعت بر مترمربع) ۱۴۰۰-۱۴۰۱، ماخذ: نرم‌افزار متئونرم ورژن ۸/۴، نقشه شهر همدان، مناطق و نواحی آن، ماخذ: طرح تفصیلی همدان



شکل ۳. دیاگرام پلانی بر اساس موقعیت حیاطها و مدل‌سازی ساختمان‌ها، ماخذ: نگارندگان

نتایج مقاله کراولی (۲۰۰۱) نشان داد که داده‌های حاصل از نرم افزار انرژی پلاس به طور کلی تطابق خوبی با ابزارهای شبیه‌سازی اثبات شده دیگر مانند DOE-2، BLAST، TRNSYS و ESP دارد. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که اعتبار (روایی) این نرم افزار شبیه‌سازی اثبات شده و قابل تعمیم است.

ژو و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی نحوه عملکردی سه نرم افزار EnergyPlus، DeST و DOE-2.1E بر اساس

نرم افزار انرژی پلاس یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای شبیه سازی انرژی حال حاضر دنیا است و قادر به مدل‌سازی مصرف انرژی برای گرمایش، سرمایش، تهویه، روشنایی و مصرف آب در ساختمان‌ها است که می‌توان بر مبنای ورودی و خروجی آن، رفتار حرارتی یک ساختمان را قبل از طراحی پیش-بینی کرد (Marco Casini, 2022). در پژوهش حاضر از نسخه ۸/۴ انرژی پلاس استفاده شده است. در جدول ۱ ورودی‌های این نرم افزار توضیح داده شده است.

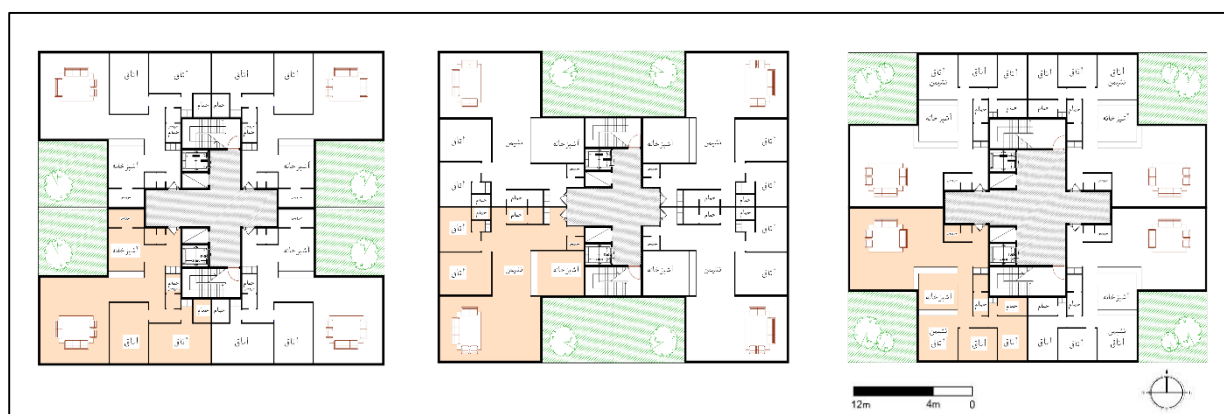
استاندارد اشرفی پرداخته اند. نتایج حاکی از آن است که نرم افزار انرژی‌پلاس می‌تواند تعادل حرارتی منطقه (PMV) و PPD را به شکل بهتری محاسبه و ارائه نماید، لذا این نرم افزار روایی و پایایی بالایی دارد.

جدول ۱. ورودی های نرم افزار انرژی پلاس، ورژن ۸٫۴، ماخذ: نگارندگان

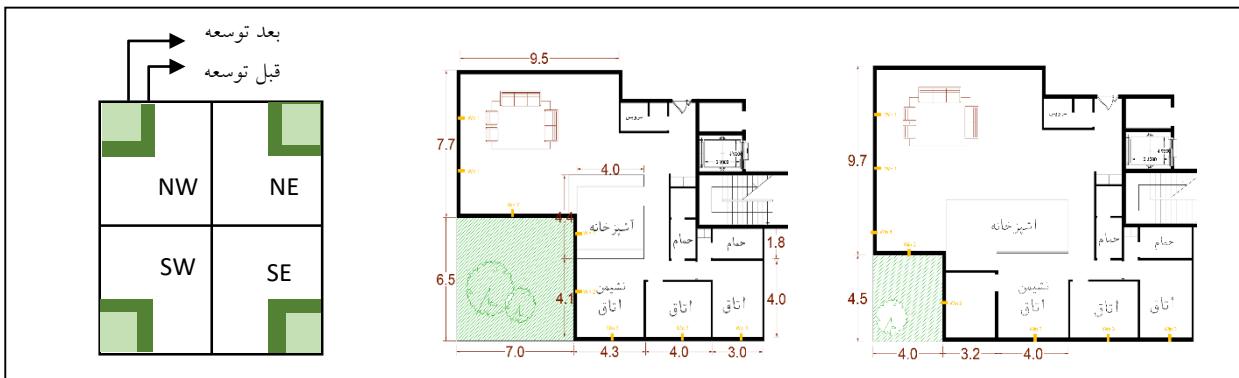
مدل سازی حجم	خروجی از نرم افزار اسکچاپ با پسوند OS:Space5 به نرم افزار انرژی پلاس
تعیین زون های حرارتی	شامل شش زون حرارتی: کل طبقه اول تا سوم، هر کدام از واحدهای NW، NE، SW، SE، مشاعات
داده های هواشناسی (دما، رطوبت، باد)	خروجی از نرم افزار متئونرم با پسوند EPW به نرم افزار انرژی پلاس
انتخاب بازه زمانی در سال ۲۰۲۲	پانزدهم همه ماه‌ها، سردترین روز سال: دوازدهم ژانویه (۲۲دی)، گرم ترین روز سال: ۲۹ جولای (۷مرداد)، از ساعت ۰۰:۰۰ تا ۲۳:۰۰
تعیین جهت گیری ساختمان	از زاویه ۳۰- درجه (تمایل به جنوب غرب) تا ۳۰+ درجه (تمایل به جنوب شرق) با فاصله ۱۰ درجه‌ای
ضریب انتقال حرارتی (U Value)	دیوار خارجی: ۱/۰۱ w/m ² k، سقف: ۰/۶۳ w/m ² k، کف: ۱/۸۳ w/m ² k
حد آسایش حرارتی	حد بالا: ۲۱ درجه سانتی‌گراد برای شروع سیستم گرمایش حد پایین: ۲۶ درجه سانتی‌گراد برای شروع سیستم سرمایش
شرایط مرزی خارجی و داخلی سطوح	در تماس با هوای بیرون، در تماس با خاک، در معرض نور خورشید، در معرض باد
تعداد دفعات تکرار محاسبات	دقت کار، ۶ مرتبه در هر زون و در هر لحظه

حیاط از ۴۲ به ۱۸ مترمربع کاهش یافت (شکل ۵). پس از شبیه‌سازی مجدد، با کمک نرم‌افزار انرژی‌پلاس و با شرایط کاملاً یکسان، مصرف انرژی و آسایش حرارتی واحد بهینه قبل و بعد توسعه مقایسه شد. در نهایت بهترین الگوی توسعه‌پذیر واحدهای هم‌جهت از نظر آسایش حرارتی و مصرف انرژی به صورت توامان معرفی شد. الگوی ارائه شده می‌تواند بعنوان نمونه‌ای از مسکن توسعه‌پذیر اقلیمی به طراحان شهر همدان معرفی گردد.

در گام بعد به مقایسه مصرف انرژی سالانه و سردترین و گرم‌ترین روز سال، آسایش حرارتی سالانه، سردترین و گرم‌ترین روز در سه ساختمان مختلف بر اساس تفاوت الگوی موقعیت‌های حیاط پرداخته شد و سپس مصرف انرژی سالانه و سردترین و گرم‌ترین روز سال، آسایش حرارتی سالانه، سردترین و گرم‌ترین روز در واحدهای هم‌جهت در سه ساختمان بررسی شد. در راستای دستیابی به مسکن توسعه‌پذیر، بخشی از حیاط به زیربنای الگوی توسعه‌پذیر بهینه اضافه شد و مساحت



شکل ۴. از راست به چپ: پلان ساختمان A، پلان ساختمان B، پلان ساختمان C، ماخذ: نگارندگان



شکل ۵. پلان یک واحد قبل و بعد از توسعه، ماخذ: نگارندگان

توسعه و گسترش به حیاط را در مجاورت خود دارد. ساکنین می‌توانند بر اساس نیاز فضایی خود آن را تغییر داده و تکنیک توسعه‌پذیری را تحقق بخشند (شکل ۵). همه ساختمان‌ها شامل چهار واحد L شکل هستند (شکل ۴).

میزان مصرف انرژی سالانه، سردترین روز و گرم‌ترین روز ساختمان‌های A، B و C هرکدام شامل چهار واحد در نرم‌افزار انرژی‌پلاس محاسبه شد. واحدها بر اساس جهت نورگیری نام‌گذاری شده‌اند، بطور مثال ANW شامل واحد جنوب غربی ساختمان A است. سردترین ماه سال در شهر همدان بر اساس داده‌های هواشناسی نرم‌افزار متئونرم ماه ژانویه (دی - بهمن) است. این ماه بیشترین مصرف انرژی گرمایشی دارد که عمده بسته مصرفی انرژی در مسکن است. با بررسی مصرف انرژی سالانه کل واحدها، الگوی بهینه حیاط اقلیمی، واحد (ASE) است (شکل ۷). واحدهای هم‌جهت در سه ساختمان A، B و C قبل از توسعه شامل سه واحد در جهت NW، سه واحد در جهت NE، سه واحد در جهت SW و سه واحد در جهت SE هستند. در این بخش در راستای یافتن بهترین الگوی حیاط در مسکن توسعه‌پذیر در هریک از جهات ذکر شده، به بررسی مصرف انرژی سالانه، سردترین روز و گرم‌ترین روز این دسته بندی بطور مجزا پرداخته شد و واحد بهینه در هر جهت معرفی گردید (جدول ۲). از نظر انرژی ماه سرد کم‌مصرف‌ترین واحد هر جهت متعلق به تمام واحد های ساختمان A و از نظر مصرف انرژی سالانه متعلق به سه واحد ساختمان A و یک واحد از ساختمان C (CNW) است (شکل ۶). با بررسی دمای هوای کلیه روزهای سال ۲۰۲۲ با متئونرم، سردترین روز سال ۱۲ ژانویه (۲۲دی) و گرم‌ترین روز سال ۲۹ جولای (۷مرداد) گردید، با محاسبه مصرف انرژی در ۲۴ ساعت این دو شبانه‌روز، ساعتی که در آن بهترین و بدترین آسایش حرارتی تعیین شد. با محاسبه مصرف انرژی در سردترین روز، ساعت ۱۶ بهترین و ساعت ۷ بدترین میزان را داشت. بهترین مصرف انرژی

شرح و تفسیر نتایج

الف. مصرف انرژی: پژوهش حاضر در راستای رسیدن به الگوی مناسب مسکن توسعه‌پذیر اقلیمی با رویکرد توسعه‌پذیری از طریق حیاط اختصاصی واحدها انجام گرفته است. بدین منظور در جستجوی قالب مناسب جهت‌گیری و موقعیت حیاط در واحدهای آپارتمانی پرداخته است. داده‌های مستخرج از نرم‌افزار انرژی‌پلاس به سه دسته تقسیم می‌شود: میزان مصرف انرژی سالانه در هفت جهت‌گیری متفاوت ساختمان خام در سایت، میزان مصرف انرژی سالانه، سردترین روز و گرم‌ترین روز برای واحدهای هم‌جهت قبل از توسعه، میزان مصرف انرژی سالانه، سردترین روز و گرم‌ترین روز در واحدهای بهینه بعد از توسعه. نتایج نرم‌افزار انرژی‌پلاس جهت یافتن بهترین جهت‌گیری ساختمان از زاویه -30° درجه (تمایل به جنوب غرب) تا $+30^\circ$ درجه (تمایل به جنوب شرق) با فاصله 10° درجه‌ای (شامل هفت موقعیت مختلف زاویه‌ای) ارزیابی شد. بهترین زاویه جهت‌گیری الگوی ساختمانی از نظر مصرف انرژی، زاویه صفر (ساختمان شمالی-جنوبی) ($431355/0$ کیلووات‌ساعت) می‌باشد. به طوریکه هرچه به سمت زاویه -30° درجه ($434425/1$ کیلووات‌ساعت) و یا $+30^\circ$ درجه ($434321/0$ کیلووات‌ساعت) از زاویه صفر درجه فاصله گرفته شد، این میزان بیشتر شد.

قبل از توسعه: بر اساس مطالعات بنتلی و همکاران (۱۳۸۲) بالاترین میزان انعطاف‌پذیری فضاهای داخلی بنا زمانی تأمین می‌شود که بتوان بطور طبیعی شرایط محیطی آن را از نظر نور و غیره تنظیم نمود. در راستای این استدلال ساختمان‌های انعطاف‌پذیر در پلان عمق کمی، بین ۹-۱۳ متر را دارند (بنتلی و همکاران، ۱۳۸۲: ۱۷۹) جهت رسیدن به این الگو با در نظر گرفتن پلان L شکل، عمق ساختمان نسبت به حیاط مجاور به ۱۱ متر رسید. در این حالت توسعه‌پذیری واحدها با نفوذ دو بدنه مجاور به حیاط تأمین می‌شود. موقعیت حیاط به گونه‌ای طراحی

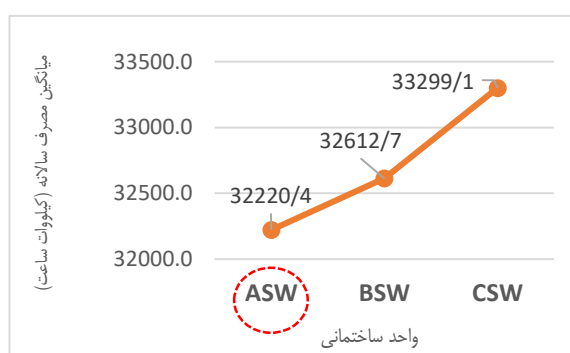
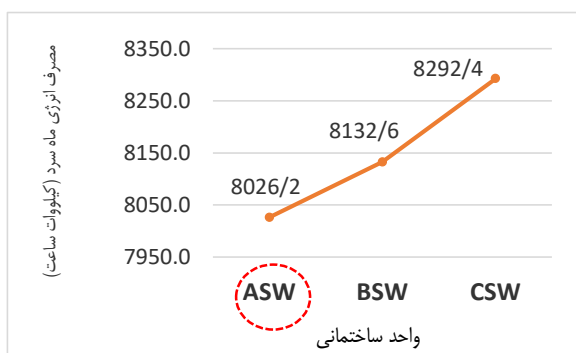
سردترین روز متعلق به واحد های ASW, BSE, CNW و CNE است. در گرم ترین روز ساعت ۱ شب تا ۹ صبح بهترین و ساعت ۱۶ بدترین میزان مصرف انرژی را داشت و بهترین مصرف انرژی گرم ترین روز متعلق به تمام واحد های A است (جدول ۳).

جدول ۲. مصرف سالانه و ماه سرد (کیلووات ساعت) واحدهای هم جهت، منبع: نگارندگان

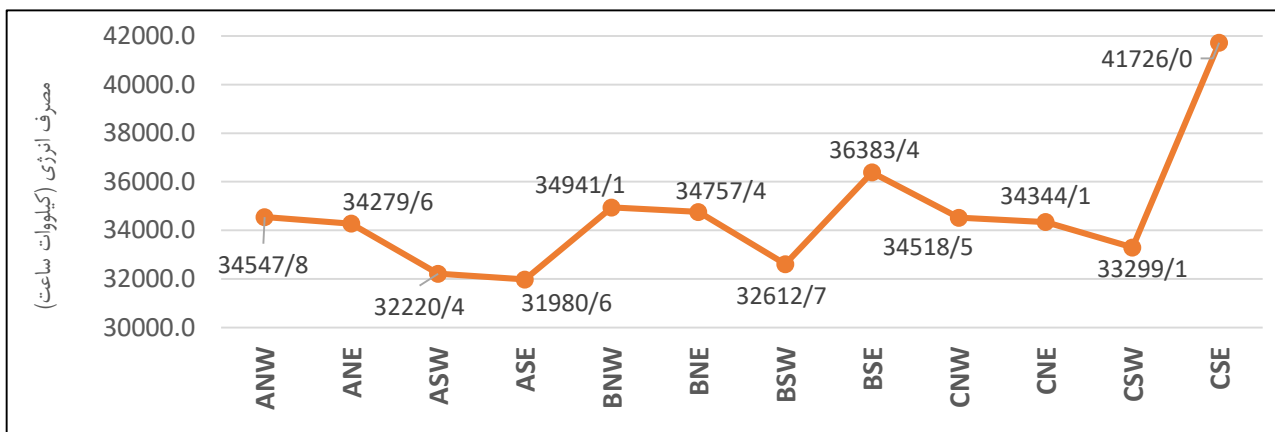
NE			NW			واحد
A	B	C	A	B	C	ساختمان
۳۴۲۷۹/۶	۳۴۷۵۷/۴	۳۴۳۴۴/۱	۳۴۵۴۷/۸	۳۴۹۴۱/۱	۳۴۵۱۸/۵	سالانه
۸۵۶۷/۱	۸۶۷۴/۴	۸۵۸۴/۹	۸۵۶۹/۹	۸۶۸۶/۱	۸۵۷۱/۴	ماه سرد
SE			SW			واحد
A	B	C	A	B	C	ساختمان
۳۱۹۸۰/۶	۳۶۳۸۳/۴	۴۱۷۲۶/۰	۳۲۲۲۰/۴	۳۲۶۱۲/۷	۳۳۲۹۹/۱	سالانه
۸۰۲۷/۴	۸۱۵۸/۱	۱۰۲۸۵/۲	۸۰۲۶/۲	۸۱۳۲/۶	۸۲۹۲/۴	ماه سرد

جدول ۳. مصرف انرژی در گرم ترین و سردترین روز (کیلووات ساعت) واحدهای هم جهت، منبع: نگارندگان

تاریخ	زمان	A				B				C			
		NW	NE	SW	SE	NW	NE	SW	SE	NW	NE	SW	SE
۲۹/۰۷	۹:۰۰-۱:۰۰/./././././././././././.
	۰۰:۱۶	۲۷۳۴/۵	۹۴۹۲/۴	۵۵۲۶/۵	۱۲۰۵/۵	۷۸۳۱/۵	۵۱۱۴/۵	۹۸۷۷/۵	۹۵۳۳/۷	۶۷۶۲/۵	۲۲۸۴/۵	۷۶۰۸/۵	۸۶۰۵/۶
	۰۰:۱۷	۵۴۹۲/۵	۹۲۳۰/۴	۷۰۷۱/۵	۰۴۲۹/۵	۹۹۱۴/۵	۵۷۵۷/۵	۱۵۳۷/۶	۶۳۰۷/۷	۸۵۷۲/۵	۱۷۶۱/۵	۹۲۴۷/۵	۷۱۰۵/۶
	MAX	۵۴۹۲/۵	۹۴۹۲/۴	۷۰۷۱/۵	۱۲۰۵/۵	۹۹۱۴/۵	۵۷۵۷/۵	۱۵۳۷/۶	۹۵۳۳/۷	۸۵۷۲/۵	۲۲۸۴/۵	۹۲۴۷/۵	۸۶۰۵/۶
	MIN/./././././././././././.
۱۲/۰۱	۰۰:۰۷	۳۳۹۲/۱	۳۳۹۲/۱	۸۵۶۲۰	۸۵۷۴۲۰	۶۶۵۰/۲۱	۶۶۰۴۲۱	۳۶۶۴/۲۱	۰۶۶۵۲۲	۶۸۱۶۲۱	۶۹۳۹/۲۱	۴۷۸۴/۲۱	۲۵۱۴/۲۶
	۰۰:۱۵	۹۰۹۰/۱۳	۳۳۱۷/۱۴	۴۲۶۳/۱۱	۹۵۶۱/۱۱	۹۸۷۸/۱۳	۲۵۳۵/۱۴	۶۰۳۲/۱۱	۹۷۷۸/۹	۳۳۶۵/۱۳	۷۶۶۲/۱۳	۰۶۸۸/۱۲	۰۹۱۰/۱۶
	۰۰:۱۶	۷۹۶۸/۱۳	۲۶۴۳/۱۴	۵۰۲۳/۱۱	۳۷۰۰/۱۲	۷۹۲۵/۱۳	۳۰۴۵/۱۴	۸۱۰۰/۱۱	۰۹۸۴/۱۱	۱۳۴۳/۱۳	۹۹۸۰/۱۳	۲۹۴۰/۱۲	۳۴۳۱/۱۶
	MAX	۳۳۹۲/۱	۳۳۹۲/۱	۸۵۶۲۰	۸۵۷۴۲۰	۶۶۵۰/۲۱	۶۶۰۴۲۱	۳۶۶۴/۲۱	۰۶۶۵۲۲	۶۸۱۶۲۱	۶۹۳۹/۲۱	۴۷۸۴/۲۱	۲۵۱۴/۲۶
	MIN	۷۹۶۸/۱۳	۲۶۴۳/۱۴	۴۲۶۳/۱۱	۹۵۶۱/۱۱	۷۹۲۵/۱۳	۲۵۳۵/۱۴	۶۰۳۲/۱۱	۹۷۷۸/۹	۱۳۴۳/۱۳	۷۶۶۲/۱۳	۰۶۸۸/۱۲	۰۹۱۰/۱۶



شکل ۶. راست: مصرف سالانه واحدهای هم جهت SW، چپ: مصرف ماه سرد واحدهای هم جهت SW، منبع: نگارندگان



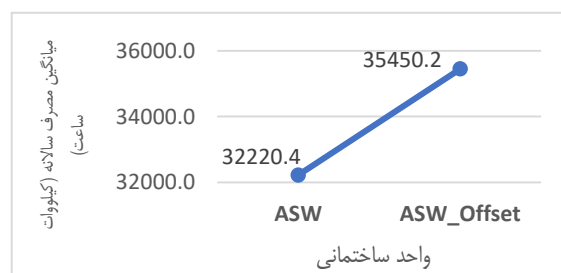
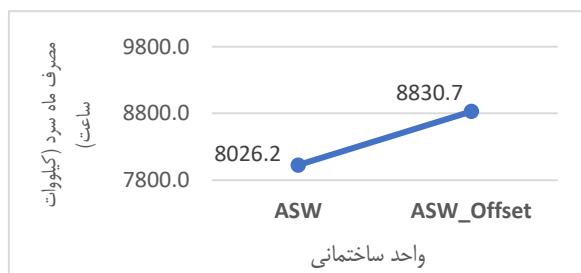
شکل ۷. میزان مصرف انرژی سالانه ساختمان A، B، C، ماخذ: نگارندگان

کاهش، سرانه ماه سرد ۳/۷۰ درصد کاهش، سرانه سردترین روز ۳/۵۹ درصد کاهش و سرانه گرم‌ترین روز ۶/۲۷ درصد کاهش یافت (شکل ۹). در ANE سرانه سالانه ۳/۲۶ درصد کاهش، سرانه ماه سرد ۳/۵۱ درصد کاهش، سرانه سردترین روز ۳/۲۱ درصد کاهش و سرانه گرم‌ترین روز ۴/۸۸ درصد با کاهش مواجه بود.

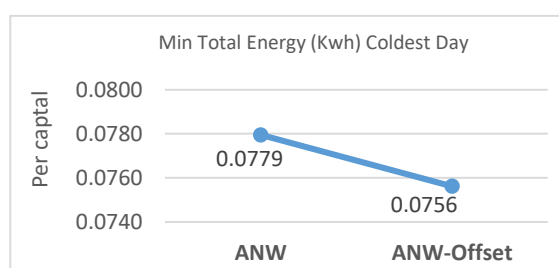
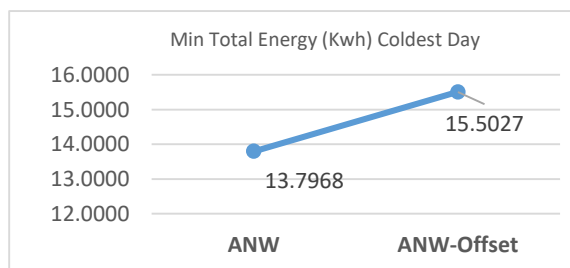
جدول ۴. مصرف انرژی سالانه و ماهانه (کیلووات ساعت) واحدهای هم‌جهت ساختمان A بعد از توسعه، منبع: نگارندگان

نوع/ واحد	NW	NE	SW	SE
سالانه	۳۸۵۶۳/۹	۳۸۴۰۷/۷	۳۵۴۵۰/۲	۳۵۱۷۷/۱
ماه سرد	۹۵۵۸/۷	۹۵۲۴/۱	۸۸۳۰/۷	۸۸۲۴/۱

بعد از توسعه: نتایج نشان داد که میزان مصرف انرژی سالانه، سردترین و گرم‌ترین روز واحدها بعد از توسعه افزایش یافت (جدول ۴)، اما با محاسبه میزان مصرف انرژی سالانه و ماه سرد به ازای هر مترمربع (سرانه هر مترمربع) و مقایسه در قبل و بعد از توسعه می‌توان گفت که در واحد ASW میزان مصرف انرژی سالانه و ماه سرد افزایش یافت (شکل ۸)، اما سرانه سالانه و ماه سرد ۵ درصد کاهش، سردترین روز ۶/۹۴ درصد کاهش و سرانه گرم‌ترین روز ۵/۶۹ درصد کاهش یافت. در ASE، سرانه سالانه ۵/۰۹ درصد کاهش، سرانه ماه سرد ۵/۰۳ درصد کاهش، سرانه سردترین روز ۷/۱۱ درصد کاهش و سرانه گرم‌ترین روز ۴/۱۸ درصد کاهش یافت. در ANW سرانه سالانه ۲/۹ درصد



شکل ۸. راست: مصرف سالانه واحدهای هم‌جهت SW بعد از توسعه چپ: مصرف ماه سرد واحدهای هم‌جهت SW بعد از توسعه، ماخذ: نگارندگان

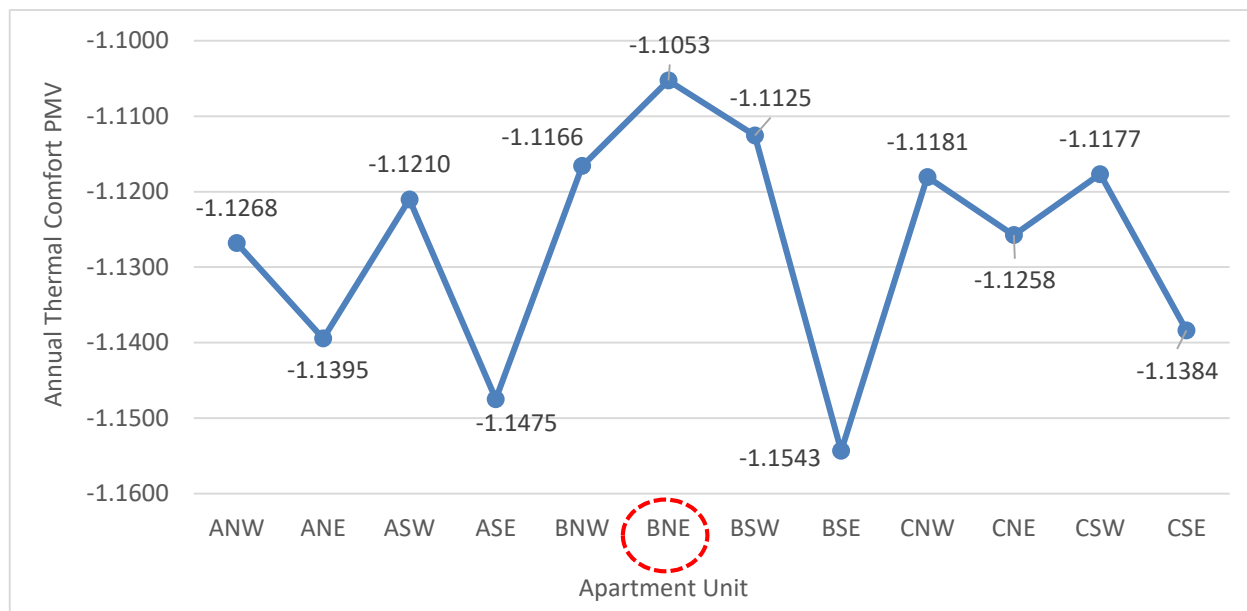


شکل ۹. مقایسه مینیمم مصرف انرژی و سرانه آن در سردترین روز واحد ANW قبل و بعد از توسعه، ماخذ: نگارندگان

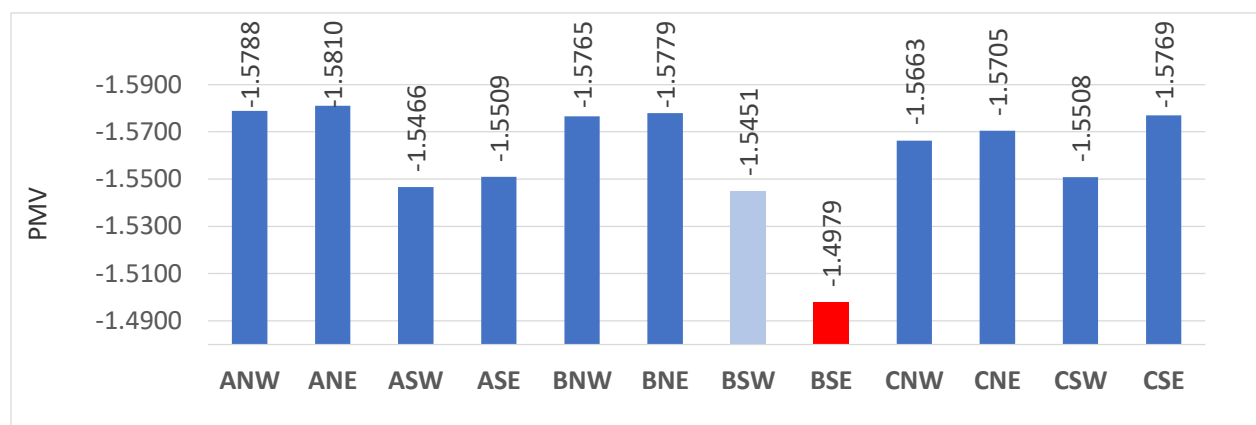
هوای کلیه روزهای سال ۲۰۲۲ با متئونورم، سردترین روز سال ۱۲ ژانویه (۲۲دی) و گرم‌ترین روز سال ۲۹ جولای (۷مرداد) گردید، با محاسبه آسایش حرارتی در ۲۴ ساعت این دو شبانه‌روز، ساعتی که در آن بهترین و بدترین آسایش حرارتی تعیین شد و میزان PMV دوازده حالت در این دو روز با هم مقایسه شد (جدول ۵). با محاسبه آسایش حرارتی در سردترین روز، ساعت ۱۶ بهترین و ساعت ۸ بدترین میزان را داشت که بهترین متعلق به BSW، بدترین متعلق به CSE بود (بدلیل اختلاف ساعتی در BSE این واحد بعنوان نقطه پرش حذف شد (شکل ۱۱). با محاسبه آسایش حرارتی در گرم‌ترین روز، ساعت ۵ بهترین و ساعت ۱۶ بدترین میزان را داشت و بهترین میزان متعلق به ANW و بدترین متعلق به CSE بود. واحدهای BSE و ASE با اختلاف PMV زیاد، به‌عنوان نقطه پرت حذف شد.

ب) آسایش حرارتی: داده‌های مستخرج آسایش حرارتی از نرم‌افزار انرژی‌پلاس به سه دسته تقسیم می‌شود: میزان مصرف انرژی سالانه در هفت جهت‌گیری متفاوت ساختمان خام، میزان مصرف انرژی سالانه، سردترین و گرم‌ترین در واحدهای هم‌جهت قبل از توسعه، میزان مصرف انرژی سالانه، و گرم‌ترین واحد پهنه بعد از توسعه. بهترین حالت جهت‌گیری ساختمان از زاویه -30° تا $+30^{\circ}$ درجه ($-1/0.645$ تا $-1/0.476$) از نظر آسایش حرارتی سالانه ارزیابی گردید. بهترین زاویه جهت‌گیری الگوی ساختمانی در آسایش حرارتی، زاویه صفر (ساختمان شمالی-جنوبی) ($-1/0.42$) می‌باشد.

قبل از توسعه: با بررسی میزان آسایش حرارتی سالانه دوازده واحد الگوهای مطروحه بهترین واحد متعلق به BNE (شکل ۱۰) و در ماه سرد متعلق به BSE می‌باشد (شکل ۱۱). با بررسی دمای



شکل ۱۰. آسایش حرارتی سالانه واحدها قبل توسعه، ماخذ: نگارندگان



شکل ۱۱. مینیمم آسایش حرارتی سردترین روز، منبع: نگارندگان

جدول ۵. آسایش حرارتی گرم‌ترین و سردترین روز سال، ماخذ: نگارندگان

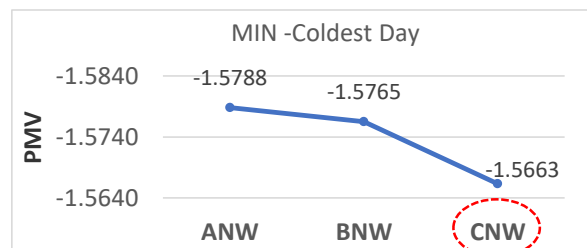
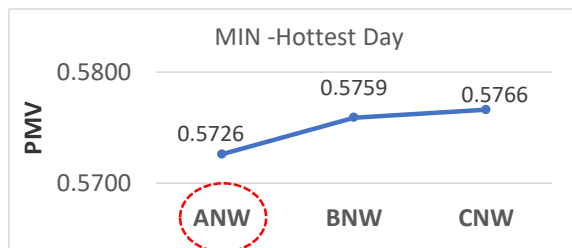
تاریخ	زمان	A				B				C			
		NW	NE	SW	SE	NW	NE	SW	SE	NW	NE	SW	SE
۲۹/۰۷	۰۰:۰۵	-۰/۵۷۲۶	-۰/۵۷۴۱	-۰/۵۷۶۰	-۰/۵۷۳۲	-۰/۵۷۵۹	-۰/۵۷۶۹	-۰/۵۷۴۹	-۰/۹۳۳۹	-۰/۵۷۶۶	-۰/۵۷۳۷	-۰/۵۷۶۱	-۰/۵۷۷۶
	۰۰:۱۶	۱/۰۳۴۵	۱/۰۳۷۲	۱/۰۴۰۶	۱/۰۳۵۶	۱/۰۴۰۴	۱/۰۴۲۲	۱/۰۳۸۵	۱/۶۸۵۴	۱/۰۴۱۷	۱/۰۳۶۴	۱/۰۴۰۷	۱/۰۴۳۶
	MAX	۱/۰۳۴۵	۱/۰۳۷۲	۱/۰۴۰۶	۱/۰۳۵۶	۱/۰۴۰۴	۱/۰۴۲۲	۱/۰۳۸۵	۱/۶۸۵۴	۱/۰۴۱۷	۱/۰۳۶۴	۱/۰۴۰۷	۱/۰۴۳۶
	MIN	-۰/۵۷۲۶	-۰/۵۷۴۱	-۰/۵۷۶۰	-۰/۵۷۳۲	-۰/۵۷۵۹	-۰/۵۷۶۹	-۰/۵۷۴۹	-۰/۹۳۳۹	-۰/۵۷۶۶	-۰/۵۷۳۷	-۰/۵۷۶۱	-۰/۵۷۷۶
۱۲/۰۱	۰۰:۰۷	۱/۶۳۶۴	۱/۶۳۶۶	۱/۶۲۶۲	۱/۶۲۶۶	۱/۶۳۷۱	۱/۶۳۷۲	۱/۶۲۷۱	۱/۶۷۱۲	۱/۶۳۳۸	۱/۶۳۴۴	۱/۶۲۸۷	۱/۶۶۲۵
	۰۰:۰۸	۱/۶۴۰۰	۱/۶۳۸۴	۱/۶۲۹۸	۱/۶۳۰۸	۱/۶۴۰۵	۱/۶۵۰۴	۱/۶۲۸۷	۱/۶۵۹۴	۱/۶۳۷۶	۱/۶۴۷۴	۱/۶۳۱۴	۱/۶۶۱۲
	۰۰:۱۶	۱/۵۷۸۸	۱/۵۸۱۰	۱/۵۴۶۶	۱/۵۵۰۹	۱/۵۷۶۵	۱/۵۷۷۹	۱/۵۴۵۱	۱/۴۹۷۹	۱/۵۶۶۳	۱/۵۷۰۵	۱/۵۵۰۸	۱/۵۷۶۹
	MAX	۱/۶۴۰۰	۱/۶۳۸۴	۱/۶۲۹۸	۱/۶۳۰۸	۱/۶۴۰۵	۱/۶۵۰۴	۱/۶۲۸۷	۱/۶۷۱۲	۱/۶۳۷۶	۱/۶۴۷۴	۱/۶۳۱۴	۱/۶۶۲۵
	MIN	۱/۵۷۸۸	۱/۵۸۱۰	۱/۵۴۶۶	۱/۵۵۰۹	۱/۵۷۶۵	۱/۵۷۷۹	۱/۵۴۵۱	۱/۴۹۷۹	۱/۵۶۶۳	۱/۵۷۰۵	۱/۵۵۰۸	۱/۵۷۶۹

(جدول ۵). با بررسی چهارجهت، ساختمان A در هر چهار جهت PMV زیر ۰/۵ را داراست و بهترین ساختمان گردید. در سردترین روز، بهترین میزان جهت NW متعلق به C (شکل ۱۲)، جهت NE متعلق به C، جهت SW متعلق به B و جهت SE متعلق به A بود. با مقایسه آسایش حرارتی در ۲۴ ساعت گرم‌ترین روز سال در واحدهای هم‌جهت، بهترین میزان جهت NW متعلق به A (شکل ۱۲)، جهت NE متعلق به A، جهت SW متعلق به B و جهت SE متعلق به C بود.

همچنین آسایش حرارتی واحدهای هم‌جهت در سالانه از ۱/۱۵- تا ۱/۱۰- است، بهترین میزان جهت NW متعلق به B، جهت NE متعلق به B، جهت SW متعلق به B و جهت SE متعلق به C بود (جدول ۶). آسایش حرارتی واحدهای هم‌جهت در ماه سرد از ۱/۴۸- تا ۱/۴۷- است و به دلیل نزدیکی اعداد از نتایج مقاله حذف شد. آسایش حرارتی واحدهای هم‌جهت در سردترین روز از ۱/۴۹- تا ۱/۶۷- و در گرم‌ترین روز از ۰/۵۷ تا ۱/۶۸ است

جدول ۶. آسایش حرارتی سالانه و ماه سرد واحدهای هم‌جهت، منبع: نگارندگان

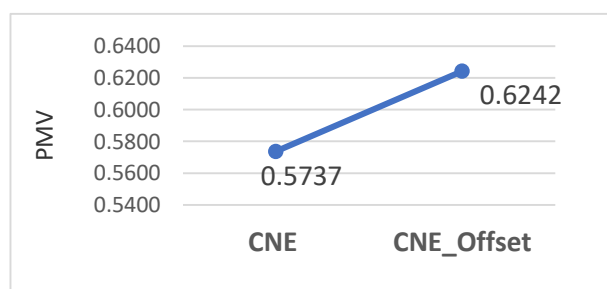
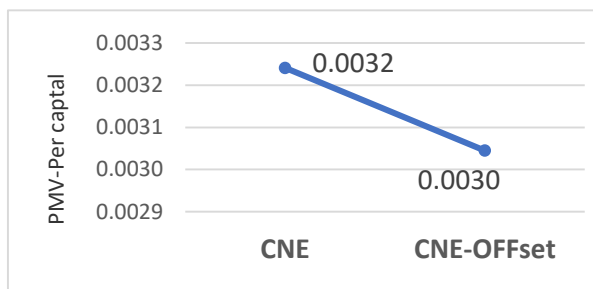
NE			NW			واحد ساختمان
A	B	C	A	B	C	
-۱/۱۳۹۴	-۱/۱۰۵۲	-۱/۱۲۵۷	-۱/۱۲۶۸	-۱/۱۱۶۵	-۱/۱۱۸۰	سالانه
-۱/۴۸۲۵	-۱/۴۸۱۷	-۱/۴۷۸۷	-۱/۴۸۲۵	-۱/۴۸۲۰	-۱/۴۷۸۲	ماه سرد
SE			SW			واحد ساختمان
A	B	C	A	B	C	
-۱/۱۴۷۴	-۱/۱۵۴۳	-۱/۱۳۸۳	-۱/۱۲۱۰	-۱/۱۱۲۵	-۱/۱۱۷۶	سالانه
-۱/۴۷۰۹	-۱/۴۷۰۰	-۱/۴۸۳۲	-۱/۴۷۰۶	-۱/۴۷۰۲	-۱/۴۷۲۴	ماه سرد



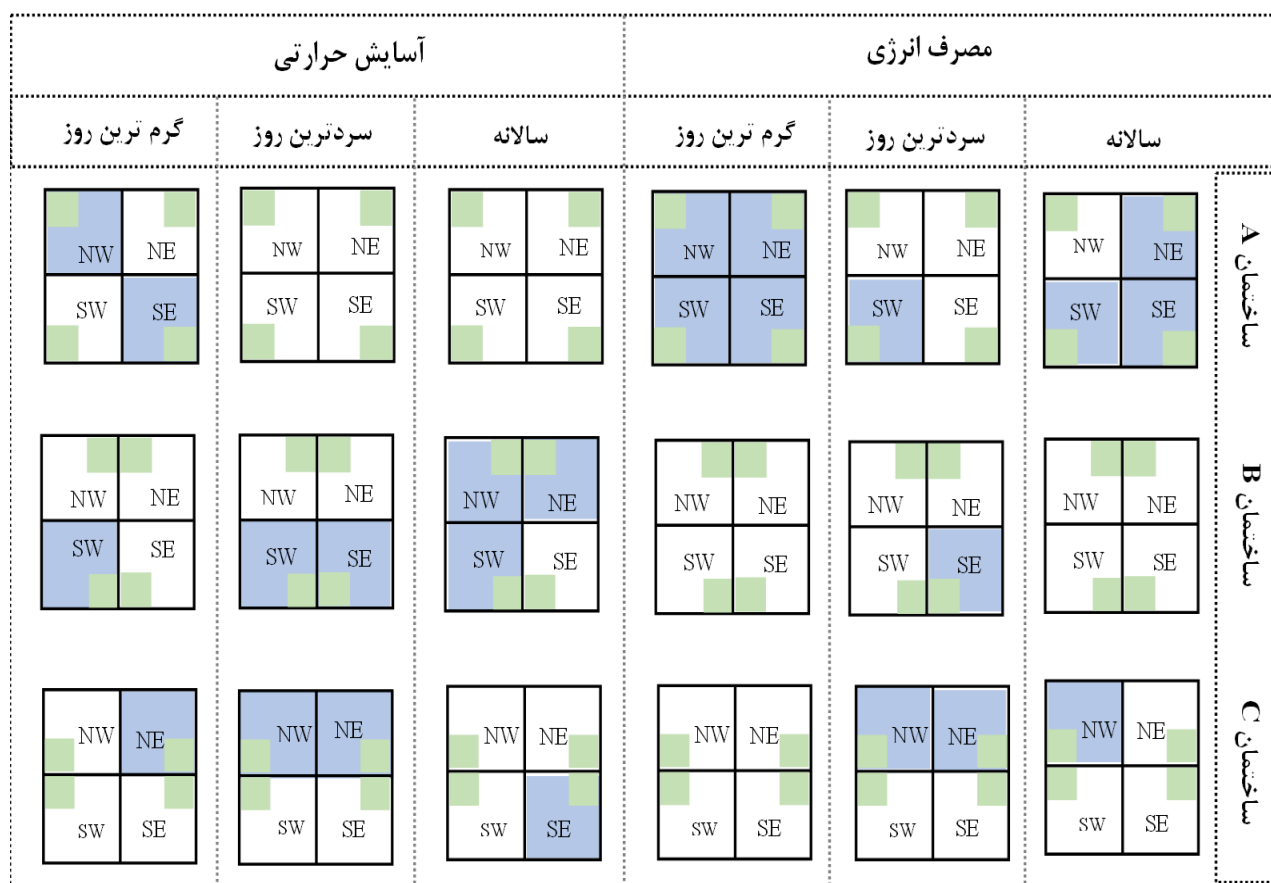
شکل ۱۲. مینیمم آسایش حرارتی واحدهای هم‌جهت در گرم‌ترین و سردترین روز، ماخذ: نگارندگان

آسایش حرارتی را داشت. میزان PMV واحد CNE در گرم‌ترین روز بعد از توسعه افزایش یافت. سپس سرانه مصرف آن در قبل و بعد از توسعه طبق مقایسه انجام شد ۶ درصد کاهش یافته بود (شکل ۱۳). همچنین با محاسبه سردترین روز در این واحد، ساعت ۱۶ بهترین و ساعت ۸ بدترین آسایش حرارتی را داشت و سرانه مصرف واحد بعد از توسعه ۶ درصد کاهش یافته است.

بعد از توسعه: با اعمال توسعه در واحد بهینه (CNE)، آسایش حرارتی سالانه، سردترین و گرم‌ترین روز سال بررسی شد. با محاسبه آسایش حرارتی سالانه، میزان PMV واحد CNE بعد از توسعه افزایش یافت. سپس سرانه مصرف آن در قبل و بعد از توسعه مقایسه شد و کاهش یافت. با محاسبه آسایش حرارتی در گرم‌ترین روز در CNE، ساعت ۵ بهترین و ساعت ۱۶ بدترین



شکل ۱۳. مقایسه مینیمم آسایش حرارتی و سرانه مصرف آن در گرم‌ترین روز واحد CNE قبل و بعد از توسعه، ماخذ نگارندگان



شکل ۱۴. مقایسه آسایش حرارتی و مصرف انرژی واحدهای هم‌جهت (مقایسه ستونی)، رنگ آبی: واحد بهینه در هر جهت، منبع: نگارندگان

چهار واحد L شکل هستند تا عمق ساختمان کاهش یافته و به تعبیر بنتلی بالاترین میزان انعطاف‌پذیری حاصل شود (شکل ۵).

(ب) مصرف انرژی:

- با مقایسه میزان مصرف انرژی سالانه و همچنین ماه سرد (ژانویه) واحدها، بهترین الگو ASE است. از طرفی به دلیل انعطاف‌پذیری فضای داخلی ساختمان در زمستان و تابستان، موقعیت‌های مختلف در عرصه عمومی و خصوصی متناسب با سرمایه‌ش و گرمایش مطلوب خورشیدی تامین می‌شود.

- در مقایسه واحدهای هم‌جهت هر جبهه، بهترین مصرف انرژی سالانه، متعلق به واحدهای ANE, ASW, ASE و CNW است (شکل ۱۴).

- در مقایسه واحدهای هم‌جهت هر جبهه، بهترین مصرف انرژی ماه سرد، متعلق به واحدهای ساختمان A است که دارای حیاط در گوشه‌های پلان خود است.

- در مقایسه واحدهای هم‌جهت هر جبهه، بهترین مصرف انرژی سردترین روز متعلق به واحدهای BSE, ASW و CNW و CNE و در گرم‌ترین روز متعلق به تمام واحدهای A است (شکل ۱۴).

- بعد از توسعه واحدهای بهینه به سمت حیاط و افزایش ۱۵ درصدی زیربنا، سرمایه‌ش و گرمایش مطلوب خورشیدی نیز، عملکرد کاهشی خود را حفظ می‌کند، زیرا کلیت ساختمان‌ها، جهت‌گیری اصلی فضاها، همچنین تعداد پنجره و سطح تابش‌گیر تغییر نیافته است. بدین ترتیب با طراحی مناسب، دستیابی به انعطاف‌پذیری با رویکرد توسعه توأم با ویژگی‌های اقلیمی در حیاط و بنا امکان پذیر شد.

- نهایتاً مصرف انرژی سالانه سردترین و گرم‌ترین روز، قبل و بعد از توسعه مقایسه گردید و با وجود افزایش مقدار، سرانه مصرف انرژی سالانه به ازای هر مترمربع (سرانه‌ی هر مترمربع) بین ۳/۲۶ تا ۵/۰۹ درصد کاهش، در سردترین روز بین ۲/۹۸ تا ۷/۱۱ درصد و در گرم‌ترین روز بین ۴/۱۸ تا ۶/۲۷ درصد کاهش یافته است.

(ج) آسایش حرارتی:

- با مقایسه دوازده‌گانه میزان آسایش حرارتی ماه گرم و همچنین سردترین و گرم‌ترین روز واحد‌ها، بهترین الگو در ماه گرم متعلق به واحد CNE، در گرم‌ترین روز متعلق به واحد ANW و در سردترین روز متعلق به واحد BSE است.

- در مقایسه واحدهای هم‌جهت هر جبهه، بهترین آسایش حرارتی سالانه متعلق به سه واحد از ساختمان B و یک واحد از ساختمان C (CSE) است. بهترین آسایش حرارتی گرم‌ترین روز در جهت NW و SE متعلق به ساختمان A و در جهت NE متعلق

ج) مقایسه مصرف انرژی و آسایش حرارتی در

واحدهای هم‌جهت: در راستای دستیابی به واحد توسعه‌پذیر بهینه از نظر آسایش حرارتی و مصرف انرژی به‌صورت توأم در هر جهت، ابتدا متغیرهای مصرف انرژی و آسایش حرارتی واحدهای ساختمان‌های A، سپس B و نهایتاً C با یکدیگر مقایسه شد و بهینه‌ترین واحد هر ساختمان تعیین شد. سپس واحدهای بهینه سه ساختمان با هم مقایسه شد که منتج به یک الگوی نهایی شد (شکل ۱۴). بطور مثال در مقایسه مصرف انرژی سالانه واحدهای هم‌جهت در سه ساختمان، سه واحد آبی شده شکل ۱۴ در ساختمان A بهینه بودند و یکی در ساختمان C.

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف تعیین جهت و موقعیت حیاط در ارتفاع برای مسکن توسعه‌پذیر- اقلیمی شکل گرفته است. بر این اساس ساختمان در تناسب مربعی با چرخش از زاویه ۳۰- درجه (تمایل به جنوب غرب) تا ۳۰+ درجه (تمایل به جنوب شرق) در هفت موقعیت متفاوت مورد سنجش قرار گرفت. در ادامه به وسیله نرم‌افزار انرژی‌پلاس با معیار سنجش مصرف انرژی و آسایش حرارتی شبیه‌سازی شد و جهت‌گیری مطلوب انتخاب و سپس سه الگوی متفاوت حیاط در ساختمان A، B و C از نظر میزان دو پارامتر بررسی شد. روش تحقیق حاضر به سه بخش اصلی شامل انتخاب جهت‌گیری ساختمان خام، تدوین الگوی حیاط در مسکن انعطاف‌پذیر با رویکرد توسعه، سپس سنجش میزان مصرف انرژی سالانه، سردترین روز و گرم‌ترین روز و همچنین آسایش حرارتی سالانه، سردترین و گرم‌ترین روز در سه الگوی انتخاب شده و نهایتاً با توسعه واحدهای بهینه در حیاط به همراه مقایسه میزان مصرف انرژی و آسایش حرارتی آن‌ها با قبل از توسعه، تقسیم گردید.

(الف) جهت‌گیری و موقعیت حیاط:

- بنابر پژوهش برزگر و حیدری (۱۳۹۲) خانه‌های دارای جهت‌گیری اقلیمی دارای مصرف کمتری هستند. بدیهی است کشیدگی شرقی-غربی، موقعیت‌های حیاط در شمال و جنوب ساختمان امکان نورگیری مناسب را ایجاد می‌کند و علاوه بر این اضافه نمودن نور شرق تکمیل‌کننده نورگیری مطلوب ساختمان است.

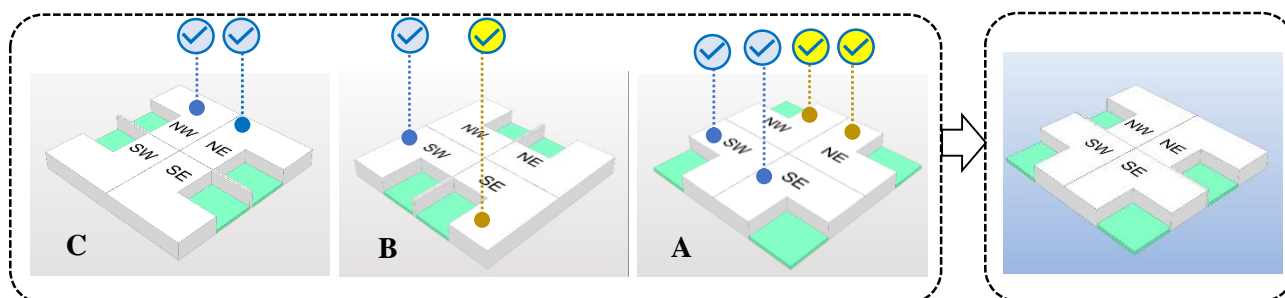
- طراحی مسکن توسعه‌پذیر به کمک استفاده از قابلیت همجواری با حیاط و با هدف کاهش مصرف انرژی تا حد آسایش حرارتی در سه الگوی حیاط در چهارگوشه ساختمان (الگوی A)، حیاط در شمال و جنوب ساختمان (الگوی B)، حیاط در شرق و غرب ساختمان (الگوی C) تقسیم شد. همه ساختمان‌ها شامل

درصد) پس از توسعه، همزمان با استقرار انعطاف‌پذیری (رویکرد توسعه)، کارایی اقلیمی (نور و تابش خورشیدی) نیز افزایش یافته است.

به‌عنوان نتیجه اصلی این پژوهش، با مقایسه توامان مصرف انرژی و آسایش حرارتی واحدهای هم‌جهت، بهترین واحدها در جهت NW و NE متعلق به ساختمان C و سپس A، در جهت SW متعلق به ساختمان A و B، در جهت SE متعلق به ساختمان A و سپس B است (شکل ۱۵ چپ).

به ساختمان C و SW متعلق به ساختمان B است. بهترین آسایش حرارتی سردترین روز، در جهت NW و NE متعلق به ساختمان C و در جهت SW و SE متعلق به ساختمان B است (شکل ۱۴).

- آسایش حرارتی ماه گرم، گرم‌ترین روز و سردترین روز واحد بهینه، قبل و بعد از توسعه مقایسه شد و با وجود افزایش مقدار آسایش حرارتی، میزان سرانه آسایش حرارتی کاهش، در سردترین روز و گرم‌ترین روز ۶ درصد کاهش یافته است. بنابراین با وجود افزایش زیربنا (۱۵ درصد) و کاهش مساحت حیاط (۵۷٪)



شکل ۱۵. چپ: الگوی بهینه آسایش حرارتی و مصرف انرژی واحدهای هم‌جهت به صورت توامان، (آبی: اولویت اول، زرد: اولویت دوم) راست: الگوی بهینه حیاط در هر جهت، منبع: نگارندگان

جمشیدی، مژگان و جواهریان، مهرداد (۱۳۹۳). نقش فضاهای باز- نیمه‌باز خصوصی در ارتقا کیفیت واحدهای مسکونی. کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران، گرگان.

جهان‌بخش، حیدر و قنبرپور، مریم (۱۳۹۸). حیاط در بلند مرتبه های مسکونی. چاپ اول، قزوین: انتشارات جهاد دانشگاهی.

حیدری، شاهین (۱۳۸۸). دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران. هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، ۳۸، ۵-۱۴.

دهنداد، نازنین، کریمی، باقر و مهدی نژاد، جمال‌الدین (۱۴۰۰). تبیین تأثیر ارتفاع و فرم گونه‌های مسکونی مبتنی بر ایجاد آسایش حرارتی فضاهای باز جمعی (نمونه مورد مطالعه: مجتمع‌های مسکونی شهر شیراز). جغرافیا و توسعه فضای شهری، ۸ (۲)، ۱۹۷-۲۱۷.

راپاپورت، ایمس (۱۳۸۲). خاستگاه های فرهنگ معماری. ترجمه صدف آل رسول و بانک افرا، تهران: فصلنامه فرهنگستان هنر.

رضایی، محمود و نوروزیان‌ملکی، سعید (۱۳۸۸). تغییرات عملکردی و کالبدی حیاط در معماری مسکونی معاصر شهر تهران. آبادی، ۶۴، ۱۳۰-۱۳۳.

در تحلیلی دیگر می‌توان گفت که تمام واحدهای ساختمان A، واحدهای جنوبی ساختمان B و واحدهای شمالی ساختمان C بهینه‌اند. در نهایت الگوی بهینه حیاط در هر جهت معرفی گردید (شکل ۱۵ راست). با مقایسه تطبیقی مطالعات پیشینه تحقیق و نتایج این مقاله می‌توان گفت که ادغام دو بحث انعطاف‌پذیری (توسعه) و مسائل اقلیمی می‌تواند راهگشای طراحی های مسکونی کنونی باشد و این مطلب در عین حال می‌تواند به‌عنوان یکی از نوآوری‌های دانش امروز در حوزه مسکن به محققان و طراحان پیشنهاد شود.

منابع

برزگر، زهرا و حیدری، شاهین (۱۳۹۲). بررسی تأثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی، نمونه‌موردی جهت‌گیری جنوب غربی و جنوب شرقی در شهر شیراز. هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، ۱۸ (۱)، ۴۵-۵۶.

بنتلی، ای‌یان و بهزادفر، مصطفی (۱۳۹۷). محیط‌های پاسنده: کتابی راهنما برای طراحان. چاپ چهاردهم، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.

- غفوریان، میترا، آقایی، سپیده و آخوند، نفیسه (۱۴۰۰). ارزیابی میزان توسعه و تفکیک در انعطاف‌پذیری فضای داخلی مسکن آپارتمانی و واحدهای مسکونی مجاور. صفحه، ۳۱ (۹۲)، ۳۳-۵۱.
- فیضی، محسن، سعیدی، مهدی، رفیعی، مرجان و صارمی، حمیدرضا (۱۳۹۶)، بررسی و تحلیل اثرات اقلیمی بر مسکن شهری با تأکید بر بهینه‌سازی مصرف انرژی. معماری سبز، ۳ (۸)، ۱-۱۴.
- قبادیان، وحید (۱۳۹۳). بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران (چاپ نهم)، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- Ascione, F., Bianco, N., Mauro, G. M., & Napolitano, D. F. (2021). Knowledge and energy retrofitting of neighborhoods and districts. A comprehensive approach coupling geographical information systems, building simulations and optimization engines. *Energy Conversion and Management*, 230, ANSIA/ASHRAE Standard 55R. (2017). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.: Atlanta.
- Barzegar, Z., & Heidari, S. (2014). Investigating the relation between built area, occupant number and energy consumption in first modern residential buildings (Case study: 1970s houses in the semi-arid climate of Shiraz, Iran). *Desert*, 19(2), 121-130.
- Najafi, N., Movahed, K., Barzegar, Z., & Samani, S. (2019). The Effect of Ventilation by Window Opening on Stress, Anxiety, and Depression of Female High School Students. *International Journal of School Health*, 6(2), 1-5.
- Casini, M. (2022). Construction 4.0: Advanced Technology, Tools and Materials for the Digital Transformation of the Construction Industry, In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering.
- Groák, S. (1992). The Idea of Building: Thought And Action In The Design And Production Of Buildings. London: E&FN Spon: An.
- John Habraken, N. (2008). Design for flexibility. *Building Research & Information*, 36(3), 290-296.
- Han, J., Li, X., Li, B., Yang, W., Yin, W., Peng, Y., & Feng, T. (2023). Research on the influence of courtyard space layout on building microclimate and its optimal design. *Energy and Buildings*, 289, 113035.
- Lapisa, R. (2019). The effect of building geometric shape and orientation on its energy performance in various climate regions. *GEOMATE Journal*, 16(53), 113-119.
- O'Brien, D., & Carrasco, S. (2021). Contested incrementalism: Elemental's Quinta Monroy settlement fifteen years on. *Frontiers of Architectural Research*, 10(2), 263-273.
- Pugh, G., Clarke, L., Marlay, R., Kyle, P., Wise, M., McJeon, H., & Chan, G. (2011). Energy R&D portfolio analysis based on climate change mitigation. *Energy Economics*, 33(4), 634-643.
- Rabeneck, A., Sheppard, D., & Town, P. (1974). Housing: Flexibility/Adaptability ? *Architectural Design*, 44, 76-90.
- Rupp, R. F., Vásquez, N. G., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and buildings*, 105, 178-205.
- زارعی، محمد ابراهیم، حاتمی مجد، فائزه و محمدیان منصور، صاحب (۱۳۹۷). *خانه‌های قدیمی همدان (جلد ۱)، دانشنامه استان همدان* (چاپ اول)، تهران: نشر طلایی (ناشر فرهنگ‌نامه های طلایی).
- غفوریان، میترا (۱۳۹۷). شناسایی گونه‌های انعطاف‌پذیری در طراحی مسکن آپارتمانی ایران. معماری و شهرسازی ایران، ۹ (۱۵)، ۶۳-۷۳.
- غفوریان، میترا و آقایی، سپیده (۱۳۹۵). بازشناسی و اولویت‌بندی معیارهای انعطاف‌پذیری در طراحی مسکن آپارتمانی ایران. صفحه، ۲۶ (۷۴)، ۴۱-۶۴.

- Schneider, T., & Till, J. (2005). Flexible housing: opportunities and limits. *Arq: Architectural Research Quarterly*, 9(2), 157-166.
- Swan, L. G., & Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(8), 1819-1835.
- Tabadkani, A., Aghasizadeh, S., Banihashemi, S., & Hajirasouli, A. (2022). Courtyard design impact on indoor thermal comfort and utility costs for residential households: Comparative analysis and deep-learning predictive model. *Frontiers of Architectural Research*, 11(5), 963-980.
- Umbark, M. A., Alghoul, S. K., & Dekam, E. I. (2020). Energy consumption in residential buildings: Comparison between three different building styles. *Sustainable Development Research*, 2(1): 1-8
- Witte, M. J., Henninger, R. H., Glazer, J., & Crawley, D. B. (2001). Testing and validation of a new building energy simulation program. Proceedings, Building Simulation, International Building Performance Simulation Association (IBSPA), Rio de Janeiro, Brazil.
- Zhu, D., Hong, T., Yan, D., & Wang, C. (2012). Comparison of building energy modeling programs: building loads (No. LBNL-6034E). Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States).