GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 11 (44), Winter 2023 https://ges.iaun.iau.ir ISSN: 2008-7845 20.1001.1.20087845.1401.11.44.4.7

Research Article

Evaluating the Role of Urban Form in Energy Consumption of Building Masses and Thermal Comfort of Open Urban Spaces in the Hot and Dry Climate

Farokhi, Maryam (Corresponding Author)
Assistant Professor, Department of Urban Planning, Advancement in Architecture and Urban Planning Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
E-Mail: Farokhi.m@Par.iaun.ac.ir

Kariminia, Shahab
Assistant Professor, Department of Architecture, Advancement in Architecture and Urban Planning Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Abstract
In the past, cities have been good examples of energy-efficient urban design in terms of ecological constraints. Looking at traditional cities and comparing them with modern urban planning, we see adverse environmental consequences in the scale of design of building units and the spatial structure of cities. Therefore, it seems necessary to identify the effective factors in the design of traditional sustainable cities, using simulation software before the project or in the proposed options, to the optimal forms in the components (individual buildings) and Urban combinations (urban textures) was achieved. The present research combines descriptive-analytical methods, typological studies, drawing and simulation of models, following the analysis of energy consumption and thermal comfort in different types of building forms, urban blocks, and spatial structure of Isfahan in 4 historical periods. Therefore, by using energy simulation software (Design Builder) and thermal comfort (Envi-Met) and analysis of Space Syntax, the relationship between independent variables (physical and spatial characteristics of the urban fabric) and dependent variables, the amount of energy consumption (to provide heating, cooling, and lighting) and thermal comfort, in each of the proposed scenarios, has been investigated. Based on the results, it is possible to formulate guidelines for the climatic design of urban structures in the form of three components; The system and pattern of segmentation and segregation of urban land, the shape and characteristics of the mass/space in urban contexts and the pattern of the network of texture passages, regulation, and operational construction. The dominant forms of the Qajar period are more sustainable forms than other historical periods in terms of energy performance and adaptation to the climate. Also, spatial structures with the highest degree of spatial connection can provide a higher percentage of thermal comfort conditions in urban open spaces.

Keywords: Energy efficient urban design, sustainable urban form, thermal comfort, energy simulation and analysis software.

Citation: Farokhi, M; Kariminia, Sh. (2023), Evaluating the Role of Urban Form in Energy Consumption of Building Masses and Thermal Comfort of Open Urban Spaces in the Hot and Dry Climate, Journal of Geography and Environmental Studies, 11 (44), 58-78. Dor: 20.1001.1.20087845.1401.11.44.4.7

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

20.1001.1.20087845.1401.11.44.4.7

مقاله پژوهشی

ارزیابی نقش فرم شهری در مصرف انرژی توده‌های ساختمانی و آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در اقلیم گرم و خشک

مریم فرخی*

استادیار، گروه شهرسازی، مرکز افق‌های نوین در معماری و شهرسازی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

شهاب کریمی نیا

استادیار، گروه معماری، مرکز افق‌های نوین در معماری و شهرسازی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

چکیده

در گذشته شهرها از نظر توجه به محدودیت‌های اکولوژیک نمونه‌های خوبی از طراحی شهری انرژی کارا بوده‌اند. با نگاهی به شهرهای سنتی و مقایسه آن‌ها با شهرسازی مدرن امروزی، شاهد پیامدهای نامطلوب زیست محیطی در مقیاس طراحی واحدهای ساختمانی و نیز ساختار فضایی شهرها می‌باشیم. لذا به نظر می‌رسد ضروریست ضمن شناسایی عوامل موثر در در طراحی شهرهای پایدار سنتی، با بهره‌گیری از نرم افزارهای شبیه‌سازی بتوان پیش از اجرای طرح و یا در مرحله ارائه گزینه‌های پیشنهادی، به فرم‌های بهینه در اجزا (ساختمان‌های منفرد) و ترکیب‌های شهری (بافت‌های شهری) دست یافت. پژوهش پیش رو با ترکیب روش‌های توصیفی – تحلیلی، مطالعات گونه‌شناختی، ترسیم و شبیه‌سازی مدل‌ها، به دنبال تحلیل مصرف انرژی و آسایش حرارتی در گونه‌های مختلف فرم ساختمانی، بلوک‌های شهری و ساختار فضایی شهر اصفهان در ۴ دوره تاریخی می‌باشد. لذا با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی[1] (دیزاین بیلدر) و آسایش حرارتی[2] (انوی- مت) و تحلیل چیدمان فضایی[3] ارتباط مابین متغیرهای مستقل (مشخصه‌های کالبدی و فضایی بافت شهری) و متغیرهای وابسته، میزان مصرف انرژی (جهت تامین گرمایش، سرمایش و روشنایی) و آسایش حرارتی، در هر یک از سناریوهای پیشنهادی، مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج، می‌توان دستورالعمل طراحی اقلیمی بافت‌های شهری را در قالب سه مولفه؛ نظام و الگوی قطعه‌بندی و تفکیک زمین شهری، شکل و مشخصات توده/فضا در بافت‌های شهری و الگوی شبکه معابر بافت، تنظیم و عملیاتی ساخت. فرم‌های غالب دوره قاجار به لحاظ عملکرد انرژی و نیز همسازی با اقلیم، فرم‌های پایدارتری نسبت به سایر دوره‌های تاریخی می‌باشند. همچنین ساختارهای فضایی با بیشترین میزان همپیوندی و اتصال فضایی می‌توانند درصد بالاتری از شرایط آسایش حرارتی را در فضاهای باز شهری ایجاد نمایند.

کلمات کلیدی: طراحی شهری انرژی کارا، فرم شهری پایدار، آسایش حرارتی ، نرم افزارهای شبیه سازی و تحلیل انرژی.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۵/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰

نویسنده مسئول: مریم فرخی، استادیار، گروه شهرسازی، مرکز افق‌های نوین در معماری و شهرسازی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.
Farokhi.m@Par.iaun.ac.ir

[1] Design Builder

[2] Envi-Met

[3] Space Syntax

۱- مقدمه

افزایش تمرکز بر شهرها در چند دهه گذشته، با چالش‌هایی همراه بوده است که قطعا تغییرات آب و هوایی را به همراه داشته است (Egerer et al, 2021). اهمیت چالش تغییرات اقلیمی تا حدی است که سازمان ملل را بر آن داشت تا در اسناد خود، بحث تغییر اقلیم را در ذیل مباحث امنیت انسانی و امنیت بین المللی وارد کند و از کشورها بخواهد تا همگام با امنیت ملی خود به مقوله تغییر اقلیم و امنیت زیست محیطی نگاه ویژه‌ای داشته باشد (طهماسبی و همکاران، ۱۴۰۰). طبق گزارش سازمان آژانس بین‌المللی انرژی، شهرنشینی عامل کلیدی پیش‌بینی‌های انرژی محسوب می‌شود. حدود ۵۶ درصد از جمعیت جهان در سال ۲۰۲۰ در شهرها و شهرک‌ها زندگی می‌کنند و بیش از ۷۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در شهرها به وقوع می‌پیوندد (Natanian & Wortmaan, 2021). این در حالیست که انتظار می‌رود سهم جمعیت جهان که در شهرها و شهرک‌ها زندگی می‌کنند در سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد افزایش یابد (IEA.2021). در این گزارش، بیشترین میزان مصرف انرژی به کشورهای در حال توسعه از جمله ایران اختصاص دارد که متوسط مصرف سالانه انرژی در آن از رشد ۱۰ درصدی برخوردار می‌باشد (مرتضایی و قندهاری،۱۳۹۹). فرم شهری از جمله عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی در شهرهاست به طوری که درک جامع از رابطه فرم شهری و مصرف انرژی نقشی کلیدی در ایجاد سیاست‌های کاهش اثرات تغییر اقلیم در مقیاس‌های مختلف ایفا می‌کند (شجاع و همکاران، ۱۳۹۸). از آنجایی که رابطه بین خرد اقلیم و فرم شهری یک ارتباط متقابل است (Ibrahim et al, 2021)، فرم شهری می‌تواند شرایط اقلیمی مطلوب در فضاهای بیرونی را نیز ایجاد کند (Maleki et al, 2021). این امر می‌تواند منجر به ارتقای آسایش حرارتی افراد در فضاهای بیرونی شود. به بیان دیگر، فرم شهر از جمله مهمترین عواملی است که طراحی شهری می‌تواند با مداخله در ابعاد گوناگون فضایی، کالبدی و محیطی آن، بر میزان وابستگی به سوخت‌های فسیلی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ایجاد محیط‌های مطلوب برای حضور انسان در شهر اثرگذار باشد (منتظری و همکاران، ۱۳۹۶). از این رو، به منظور کاهش مصرف انرژی توده‌های ساختمانی و همچنین ارتقای آسایش حرارتی کاربران در فضاهای بیرونی، بررسی چگونگی رابطه فرم کالبدی شهر با مصرف انرژی و آسایش حرارتی همانگونه که در سند چشم انداز ۲۰ ساله کشور بدان اشاره شده است، به عنوان ضرورتی ملی و یکی از محورهای مهم برنامه‌ریزی شهری در کشور است که فراتر از دستورالعمل‌ها و مباحثی که تاکنون در سطح تئوری باقی مانده‌اند، به این بخش بپردازد (میرمقتدایی، ۱۳۹۲). در سال‌های اخیر مطالعات قابل توجهی در زمینه ارتباط بین فرم شهر و میزان مصرف انرژی انجام شده است ولی متاسفانه اغلب آنها بر سطوح ماکرو (ملی و یا بخشی) و میکرو (در مقیاس ساختمانی) تمرکز کرده‌اند و اطلاعات کمی راجع به متابولیسم‌های مصرف انرژی در سطح میانی (بافت شهری) وجود دارد (Zari, 2018 & Mangan et al, 2020). با توجه به آنچه در خصوص لزوم بکارگیری راهکارهای عملیاتی در زمینه کاهش مصرف انرژی و نیز افزایش آسایش اقلیمی به خصوص در بخش میانی (بافت شهری) بیان شد، این پژوهش در پی آنست تا با معرفی فاکتورهای فرم شهری به عنوان مهمترین ابزارهای دستیابی به بافت‌های انرژی کارا، و به کارگیری عملی آن‌ها در روش‌های غیر فعال طراحی، به ارزیابی الگوهای پایدار فرم شهری در مقیاس میانی بپردازد.

۲- پیشینه پژوهش :

مطالعات متنوعی در خصوص ارتباط مورفولوژی شهری با آسایش حرارتی افراد پیاده، در اقلیم‌های مختلف صورت گرفته است. از پیشگامان این حیطه مطالعاتی، می‌توان به اولگی[1] (۱۹۶۳) Olgyay و اوک (۱۹۸۷) Oke اشاره کرد که به ترتیب در کتاب های "طراحی با اقلیم" و " لایه‌های مرزی اقلیم‌ها" به ارتباط میان شـــهرها و نحوه طراحی آن‌ها با اقلیم پرداخته‌اند (Olgyay, 2015). پس از آن‌ها، گیونی نیز در کتاب‌های خود (Givoni, 1998) به بررسـی محدوده آسـایش حرارتی انسـان در اقلیم‌های مختلف و

[1] Olgyay

همچنین ارتباط بین عوامل اقلیمی و طراحی شهری پرداخته است (علی نسب،۱۳۹۸). در سال‌های اخیر توجه بیشتری به آسایش حرارتی در فضای باز به منظور طراحی فضاهایی جذاب و راحت شده است، همچنین بسیاری از محققان دریافته‌اند که استفاده و حضور در فضاهای بیرونی شهری ارتباط مستقیمی با شرایط حرارتی فضای باز دارد (Manavvi et al,2021). بنابراین ازآنجایی که فضاهای شهری به عنوان بخش قابل توجهی از شهر نقش مهمی در ایجاد خرداقلیم شهری دارنـــد، طراحان و برنامه ریزان شهری می‌توانند ازطریق برنامه ریزی و طراحی مناسب باعث کاهش اثرات منفی اقلیمی بر سلامت شهروندان شوند (یادگاری و سجادزاده،۱۴۰۰). از جمله مطالعات صورت گرفته در زمینه فرم شهری و مصرف انرژی می‌توان به پژوهش‌های Owens اشاره نمود که برای اولین بار در سال ۱۹۸۶، به ارائه متغیرهای فرم شهری که بر میزان مصرف انرژی در مقیاس ساختمان تا مقیاس منطقه‌ای تاثیرگذار بودند پرداخت که شامل مواردی از جمله؛ الگوی نواحی سکونتی، شبکه‌های ارتباطی مابین نواحی سکونتی، اندازه نواحی سکونتی، شکل و فرم نواحی سکونتی، شبکه ارتباطی داخلی نواحی سکونتی، تراکم، پراکنش کاربری‌ها، درجه تمرکز فعالیت‌ها، الگوی بناها، جهت گیری، موقعیت قرارگیری و طرح ساختمانی آن می‌باشد. در پژوهش دیگری که در سال ۲۰۰۵ توسط Gordon Mitchell صورت گرفت وی ۸ فاکتور؛ هندسه شهری، مورفولوژی ساختمانی، عملکرد حرارتی مصالح، کارآمدی سیستم‌ها و تجهیزات داخلی، فعالیت‌ها و رفتارهای انسانی، قیمت سوخت، امکان به اشتراک گذاشتن زیر ساخت‌ها، میزان درجه حرارت داخلی و خارجی بنا را به عنوان فاکتورهای مؤثر بر میزان مصرف انرژی در واحدهای شهری، معرفی نمود. در پژوهش کاربردی دیگری Salat (2009)، ضمن اشاره به فرم شهری به عنوان حلقه ارتباطی شهرسازی و حفظ منابع طبیعی، فرم شهری، کارآیی ساختمان، کارآمدی تجهیزات، رفتار ساکنان و نوع انرژی مصرفی را بر میزان مصرف انرژی تاثیرگذار می‌داند. وی در سال۲۰۱۳ در زمینه فاکتورهای فرم شهری تاثیرگذار بر مصرف انرژی به مواردی از جمله؛ ترکیب و ساختار توده شامل (مساحت ساخته شده، FAR، ارتفاع ساختمان، تراکم ساختمان، همجواری‌ها)، بازشدگی به سمت خیابان (انسداد و هدایت ظاهری خورشید)، شبکه خیابان‌ها (تراکم نقاط تلاقی و برخورد/ فاصله میان نقاط تلاقی/ عدد میانگین ارتباط بین نقاط که جهت سنجش میزان ارتباطات و دسترسی فضاها، جریان ترافیک و انسداد ترافیک، استفاده از سوخت و تاثیر آن بر آلودگی هوا)، حجم فعال (حجم ساختمان تا عمق ۶ متری که با دریافت نور طبیعی و تهویه، مصرف انرژی را کاهش می‌دهد) اشاره می‌کند.

در سال ۲۰۱۷ سونگ و همکاران[1] در پژوهشی تحت عنوان " فرم شهری و مصرف برق خانگی: یک مطالعه چند سطحی" با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و مطالعات کتابخانه‌ای و تحلیل پارامتریک، به نقش فرم شهری و مصرف انرژی ساختمان پرداخته شده است. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده آن است که عواملی همچون سایه درختان، تراکم محلات، ساختار فضایی معابر، تیپولوژی ساختمان‌ها بر میزان مصرف برق ساختمان موثر می‌باشد. هر چه تراکم در محلات با الگوی غالب آپارتمان و برج بیشتر باشد مصرف برق در فصل تابستان هم بیشتر خواهد شد. در سال ۲۰۲۱، استیون کوان و همکاران در پژوهشی با عنوان فرم شهری و استفاده از انرژی ساختمان: بررسی سیستماتیک اقدامات، مکانیسم‌ها و روش‌ها، به بررسی رابطه بین فرم شهری و مصرف انرژی در اقلیم‌های مختلف آب و هوایی پرداخت. بر اساس پژوهش وی نسبت مساحت همکف، نسبت ارتفاع به عرض معابر، نسبت سطح به حجم توده‌های ساختمانی، عامل دید به آسمان، جهت گیری ابنیه از جمله فاکتورهای تاثیرگذار بر مصرف انرژی توده‌های ساختمانی به شمار می‌روند (Quan et al, 2021). وانگ و همکاران نیز در مقاله‌ای تحت عنوان "از شبیه‌سازی تا رویکرد داده محور: چارچوبی از ادغام مورفولوژی شهری با طراحی شهری کم انرژی" که در سال ۲۰۲۱ منتشر شد، به ارائه یک چارچوب خودکار برای بهینه‌سازی طراحی شهری از طریق استفاده از یک مدل انرژی ساختمان شهری می‌پردازد. بر اساس پژوهش وی شاخص FAR (نسبت کل سطح زیربنای ساختمان به سطح قطعه زمین) در میزان بهینه بودن بافت‌های شهری از حیث

[1] Song et al

انرژی کارایی موثر می‌باشد (Wang et al, 2021). از جمله مطالعات داخلی در این زمینه می‌توان به؛ مقاله خلاقیت‌های طراحی اقلیمی متناسب با جریان باد در بافت قدیم بوشهر (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۹)، بررسی و امکان‌سنجی تاثیر فرم و تراکم بلوک مسکونی بر مصرف انرژی (رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰)، ارتباط میان کاربری حمل و نقل و مصرف انرژی (شهابیان و همکاران، ۱۳۹۲)، بررسی رابطه فرم شهری و مصرف انرژی (براتی و سردره،۱۳۹۲)، بررسی تاثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی (حاجی پور و فروزان، ۱۳۹۳)، طراحی شهری انرژی کارا (علی یاری،۱۳۹۴)، تعاریف مرتبط با شهر پا سخگو به شرایط بومی یا بوم شهر (شریفیان بارفروش و مفیدی شمیرانی، ۱۳۹۳)، طراحی شهر انرژی کارا (احمدی و مهدیزاده، ۱۳۹۴)، بررسی رابطه فرم ساختمان‌های مسکونی با میزان مصرف انرژی آنها در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان (ضرغامی و همکاران، ۱۳۹۴)، تدوین معیارهای طراحی شهری برای محله‌های بدون کربن (لطفی و همکاران، ۱۳۹۵)، ارزیابی و تدوین دستورالعمل و فرایند برنامه ریزی و طراحی شهری مبتنی بر رهیافت کارایی انرژی در شهر (خدابخش و همکاران، ۱۳۹۵)، تاثیر مولفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری (منتظری و همکاران، ۱۳۹۶)، بررسی ریخت-گونه شناسانه بافت‌های مسکونی جدید در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی اولیه (مرتضایی و همکاران، ۱۳۹۶)، تحلیل کارایی انرژی در مدل‌های بافت شهری اقلیم گرم و خشک (فرخی و همکاران، ۱۳۹۷)، بررسی پارامترهای ریخت شناسی شهری در آسایش دمایی خرد اقلیم (بقائی و همکاران، ۱۳۹۸)، تأثیر الگوهای مرفولوژی شهری سنتی و نوین بر جریان باد و اثرات متقابل آن با رویکرد انرژی کارا نمونه مورد مطالعه: شهر اصفهان (فرو شانی و چنگلوایی، ۱۳۹۹)، ارزیابی عملکرد حرارتی بافت‌های شهری در اقلیم شهر تهران: آموزه‌هایی برای طراحی شهری حساس به شرایط خرداقلیم (آقاملایی و همکاران نیز در سال ۱۳۹۹)، سنجش کمی اثرگذاری مورفولوژی بافت‌های شهری بر تغییرات دمای شهر (پورامین، بهزادفر و همکاران، ۱۴۰۰)، مطالعه تطبیقی ریخت شناسی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی (حسینی، شکوهی و نصرالهی،۱۴۰۰) اشاره نمود که اغلب در حوزه نظری باقی مانده است وکمتر به ارائه راه کارهای عملیاتی جهت استفاده در طرح‌های شهری (بازآفرینی مناطق شهری از منظر کارایی انرژی و یا طراحی شهرهای جدید انرژی کارا)، پرداخته‌اند.

۳- مبانی نظری

۳-۱- مصرف انرژی در شهر

مفهوم مصرف انرژی در شهر با مولفه‌های گوناگونی در ارتباط است. در تعریفی عام، فعالیت‌های انسانی به عنوان عامل اصلی مصرف انرژی در جهان مطرح می‌باشند. بر همین اساس، با دسته‌بندی فعالیت‌های مذکور، می‌توان اظهار داشت که مصرف انرژی در شهرها نیز در بخش های مختلفی صورت می‌پذیرد (نوریان و جلالی، ۱۳۹۹). علاوه بر این، شهرها به دلیل نابرابری‌های متعدد در شیوه‌های توسعه اقتصادی و ساختار مصرف، ویژگی‌های مصرف انرژی و پتانسیل‌های کارآیی انرژی متفاوتی دارند (Zhang & Liu, 2021). انرژی مصرفی در محیط به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند و از آنجایی که بخش ساختمان بیش از ۴۰ درصد از کل انرژی در جوامع مدرن را به خود اختصاص داده است، بهبود بهره‌وری انرژی آن‌ها می‌تواند به طور قابل توجهی ردپای کربن[1] را کاهش دهد (Iyengar et al, 2018).

- انرژی پنهان: شامل انرژی مصرف شده در ساخت، توزیع و انتقال مصالح استفاده شده در ساخت مسکن و یا زیرساخت‌های مرتبط با آن
- انرژی عملکردی: انرژی استفاده شده جهت گرمایش، سرمایش و تامین روشنایی فضاهای داخلی
- انرژی مصرف شده برای حمل و نقل: انرژی مصرف‌شده در سفرها برای کار و مصارف خانگی (codoban & kennedy, 2008)

[1] Energy footprint

مصرف انرژی ساختمان‌ها و آلودگی‌های زیست محیطی منتج از آن مرهون مورفولوژی یک شهر است (نصرالهی، ۱۳۹۰)، بنابراین به کارگیری رویکرد انرژی کارآیی در مواجهه با معضلات ناشی از مصرف انرژی در بخش ساختمان و بافت‌های شهری تاثیر بسزایی در کاهش تقاضای انرژی در این بخش خواهد گذاشت، چرا که هدف بازدهی انرژی در شهر، به حداقل رساندن مصرف انرژی در شهرها، به ویژه انرژی مصرف شده در بخش ساختمان و حمل و نقل است (فرخی و همکاران، ۱۳۹۷). در نگاهی کلی، مولفه‌هایی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم یر میزان مصرف انرژی شهرها تاثیرگذار می‌باشند را می‌توان در یک تقسیم‌بندی به صورت زیر بیان نمود:

- ویژگی‌های محیط طبیعی (موقعیت جغرافیایی، اقلیم و دارایی طبیعی)
- ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی شهری (ویژگی‌های خانوار، ساختار اقتصادی و ساختار جمعیتی)
- عملکردهای غالب شهر در مقیاس کلان و بین المللی (نقشی که شهرها در ساختار اقتصادی ملی و بین المللی از نقطه نظر تولید و ارائه خدمات ایفا می‌کنند)
- ویژگی‌های سیستم‌های انرژی شهری هم از نقطه نظر مدیریت و هم توزیع (ساختار و مدیریت منابع تامین انرژی و ویژگی‌های آن)
- فرم (ریخت بافت شهری) و عملکرد شهری (محیط ساخته شده، ساختارها و زیرساخت‌های حمل و نقل، تراکم و عناصر عملکردی و فعالیت‌های شهری) (مرتضایی و همکاران، ۱۳۹۹)

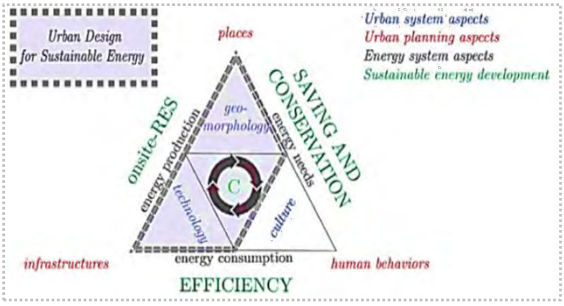
۱-۴- طراحی شهری انرژی کارا

کارایی[1] به معنای کمترین زمان یا انرژی مصرفی، برای بیشترین کاری که انجام شده است، می‌باشد(Trianni et al, 2019). منظور از کارایی انرژی در واقع مصرف بهینه و کارآمد انرژی بوده که با هدف کاهش رشد تقاضای انرژی، تقلیل قابل توجه مصرف سوخت‌های فسیلی و به دنبال آن افزایش عرضه انرژی سالم همراه است(Nadel,2021). انرژی کارایی و صرفه‌جویی در انرژی اصطلاحات مرتبطی هستند، اما هر یک معنای متمایز دارند. با توجه به اداره اطلاعات انرژی(EIA) انرژی کارایی مربوط به استفاده از فناوری برای ارائه خدمات مشابه با انرژی کمتر است، در حالی که صرفه جویی به هر مداخله‌ای مربوط می‌شود که منجر به مصرف انرژی کمتر در رابطه با مقدار کل انرژی مصرف شده شود (GEA, 2012). با درک بهتر رفتار ساکنان در ساختمان‌ها، می‌توان بازده انرژی را افزایش داد و مصرف را کاهش داد (Harputlugil & Wilde, 2021). در تعریفی دیگر، منظور از کارایی انرژی در واقع، مصرف بهینه و کارآمد انرژی بوده که با هدف کاهش رشد تقاضای انرژی، تقلیل قابل توجه مصرف سوخت‌های فسیلی و به دنبال آن افزایش عرضه انرژی سالم، همراه است (فرخی و همکاران، ۱۳۹۷). به عبارتی دیگر هدف انرژی کارایی کاهش میزان تقاضای انرژی مصرفی به واسطه راهکارهایی جهت افزایش عرضه منابع انرژی سالم و عاری از هرگونه آلودگی زیست محیطی خواهد بود. از این رو کارایی انرژی در شهرسازی به امر حداقل سازی مصرف انرژی در شهر می‌پردازد و برای این مقصود از برنامه ریزی سکونتگاه‌ها، کنترل نحوه ساخت و سازو نحوه چیدمان ساختمان‌ها بهره می‌گیرد (مرتضایی،۱۳۹۷ و مرادیان،۱۳۹۵). مفهوم انرژی در شهر، با مولفه‌های برنامه‌ریزی و طراحی شهری در سطوح کلان، میانی و خرد ارتباط مستقیم داشته و با تغییر آنها، میزان مصرف انرژی نیز تغییر خواهد کرد از جمله مهمترین این مؤلفه‌ها می‌توان به ویژگی‌های کالبدی ساختمان، بافت شهری و ساختار فضایی اشاره کرد که سهم بسزایی در کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی بخصوص در بخش میانی و خرد دارد. (Yu. B, 2021).

با توجه به مطالعات انجام شده توسط Brilhante & klaas، Vettorato (2005,2011), Droege (2007, 2008), Owens (1987) (2018)، Zhang & Liu, (2021)، rr ówzzyńska et al, (2021)، مصرف انرژی و کارآیی آن را می‌توان از ابعاد گوناگون مورد

[1] Efficiency

بررسی و تحلیل قرار داد. در سطح کلان معمولا در مقیاس ملی و منطقه‌ای و در قالب راهبردهای کلان ملی و منطقه‌ای، دنبال می شود. در سطح میانی یعنی شهر، نواحی شهری و واحدهای همسایگی، ارتباط تنگاتنگی میان طراحی و مکان یابی مناطق مسکونی، فرم واحدهای همسایگی و مصرف انرژی خانوار در مسکن و حمل و نقل دیده می‌شود. امروزه صاحبنظران بسیاری معتقدند که برنامه‌ریزی و طراحی فیزیکی و کالبدی شهر در مقیاس‌های مختلف اعم از ساختمان، واحد همسایگی، نواحی و مناطق شهری، دستیابی به الگوهای پایدارتر مصرف انرژی را امکان‌پذیر می‌سازند (Brilhante et al, 2019 & Frey,2003).



شکل (۱): استراتژی‌های دستیابی به کارایی انرژی، Vettorato. D, 2005 – 2011

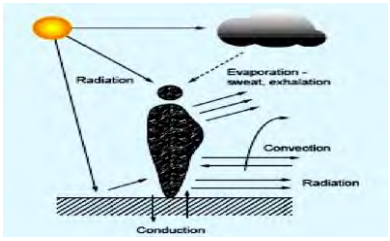
۲-۳- آسایش حرارتی

دیدگاه اقلیمی در طراحی شهری، علاوه بر مطالعه تاثیر پارامترهای مورفولوژیک در کاهش مصرف انرژی توده‌های ساختمانی، بر وضعیت آسایش یا راحتی مردم در محیط‌های شهری، همچون پیاده‌ها در خیابان‌ها، افراد گوناگون در پارک‌های شهری نیز متمرکز است (پوردیهیمی، ۱۳۹۰). در این میان تامین آسایش در فضاهای باز بیش از فضاهای بسته به شناخت شرایط اقلیمی و محیطی وابسته است زیرا در فضاهای داخلی با استفاده از تجهیزات مکانیکی گرمایش و سرمایش می‌توان تحت هر شرایطی، اگر چه با هزینه‌ی و انرژی بیشتر، به طور مصنوعی شرایط آسایش را فراهم نمود ولی در فضاهای باز چنین امکانی وجود ندارد (Al-Yasiri & Sabzo, 2021). از طرف دیگر دستیابی به شرایط آسایش در فضاهای باز زمینه‌ساز دستیابی به آسایش در فضاهای داخلی ساختمان‌هاست، زیرا فضاهای باز بستر دربرگیرنده و سازنده خرد اقلیم محیط پیرامون ساختمان‌ها می‌باشند (Aboelata, 2021) . لذا در صورت رعایت اصول معماری همساز با اقلیم در فضاهای باز، تامین شرایط آسایش در فضاهای داخلی تسهیل شده و صرفه جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی به عمل خواهد آمد. یکی از معیارهای مناسب در تحلیل وضعیت اقلیمی فضاهای باز " معیار پن واردن " است که شرایط آسایش انسان را با توجه به فاکتورهای اقلیمی دما، سرعت باد، تابش آفتاب و فاکتورهای انسانی (میزان فعالیت بدن و لباس مناسب فصل) ارائه کرده است. به کمک این معیار آستانه‌های آسایش عابر پیاده در فصول مختلف در سایه و آفتاب تعیین می‌گردد (Vasilikou,2020) . از سردمداران این دیدگاه فنگر[۱] است که مطالعات او مرجع تهیه بسیاری از استانداردهای مربوط به آسایش گرمایی انسان است (Fanger, 1973). دیدگاه دوم بحث دیگری را مطرح کرده و به انسان به عنوان موجودی هوشمند و فعال در تنظیم آسایش گرمایی خود نگاه می‌کند. در این دیدگاه عادت، توقع، پذیرش، ترجیح[۲]، انسان را در سازگاری او با شرایط محیطی بسیار موثر دانسته و معتقدند یک معیار آسایش جهانی صرفا بر اساس فیزیولوژی

[۱] فنگر (Povl Ole Fanger) 2006-1934 از محققان دانمارکی به نام در زمینه آسایش گرمایی بوده و مطالعات پایه‌ای که از سال ۱۹۷۰انجام داده است همواره ماخذ تهیه معیارها و استانداردهای آسایش گرمایی برای معماران و مهندسان تاسیسات و موسسات استاندارد جهانی مثل اشری (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) , در امریکا و ایزو (International Organization for Standardization) در اروپا (ژنو سوئیس) بوده است.

[۲] Habitation , Expectation , Acceptability , preferences

بدن انسان، همه واقعیت مربوط به احساس آسایش او را پوشش نمی‌دهد. سردمدار این تفکر همفری[۱] است که با اتکاء به مطالعات میدانی و روش‌های سازگاری مردم با شرایط اقلیمی، تفاوت‌های موجود در آستانه‌های آسایش ساکنین بومی اقلیم‌های مختلف را نشان داده است. بر اساس این دو دیدگاه، دو مفهوم کلی آسایش حرارتی و احساس آسایش[۲] به وجود آمده است. پس از آن معماران مختلفی از جمله الگی،گیونی (تاثیر جداره ساختمان در تعیین شرایط آسایش انسان و نیازهای اقلیمی او)، ماهانی، ایوانز و پن واردن به تهیه جداول و نمودارهایی اقدام کردند (رازجویان، ۱۳۸۹)که بر مبنای مقیاس‌ها و ضرایب آسایش حرارتی تهیه شده است. شرایط آسایش حرارتی، محدوده‌ای است از دما و رطوبت که در آن ساز و کار تنظیم حرارت بدن در حداقل فعالیت باشد (Giovoni,1992) و یا می توان آن را شرایطی ذهنی دانست که احساس رضایت از شرایط حرارتی محیط را بیان می کند و به عوامل زیر وابسته است : (ASHREA Standard, 2010)



شکل (۲): فرایند دریافت و از دست دادن انرژی، Salat , 2008

۱. دما و تابش [۳]
۲. دمای موثر و منتج شده[۴]
۳. رطوبت نسبی[۵]
۴. سرعت و شدت گردابهای جریان هوا[۶]
۵. پوشش و فعالیت[۷]
۶. شرایط محیطی: دمای سطوح، دمای پنجره‌ها، سن فرد، سازگاری فرد با محیط، گرادیان عمودی دمای هوا

بنا بر نظر ریچارد هایتر، از بین فاکتورهای ارائه شده، داده های دمایی و رطوبت مهمترین شاخص تشخیص آسایش حرارتی هستند (Richard Hayter, 2007).

۳-۴- ابعاد بافت شهر، مصرف انرژی و آسایش حرارتی

بافت شهر را می‌توان به لحاظ فیزیکی، تجمع واحدهای فضاساختی دید (Madinipour,2013). در یک تعریف کلی بافت ناظر بر آن دسته از ویژگی‌های کالبدی شکل شهرها می‌باشد که در آن نحوه و چگونگی ترکیب و تلفیق سلول‌ها و اجزای شهر در مقیاس سه بعدی در سطح (طول و عرض و ارتفاع) مورد توجه قرار می‌باشد.

---

[۱] همفری (Michael Humphreys)، از محققان انگلیسی در زمینه احساس آسایش گرمایی با توجه به اقلیم پذیری است. او نیز از همان سال‌های ۱۹۷۰ مطالعات مختلفی در زمینه آسایش گرمایی به موازات فینگر انجام داده است ولی بر خلاف فنگر توجه او بیشتر به نقش فعال انسال در ادراکات حسی و روانی او از احساس راحتی مبتنی بر تحقیات میدانی بوده است.

[۲] Thermal Comfort and Thermal Sensation

[۳] Air Temperature

[۴] Mean Radiant Temperature

[۵] Relative Humidity

[۶] Wind Speed

[۷] Clothes & Activity

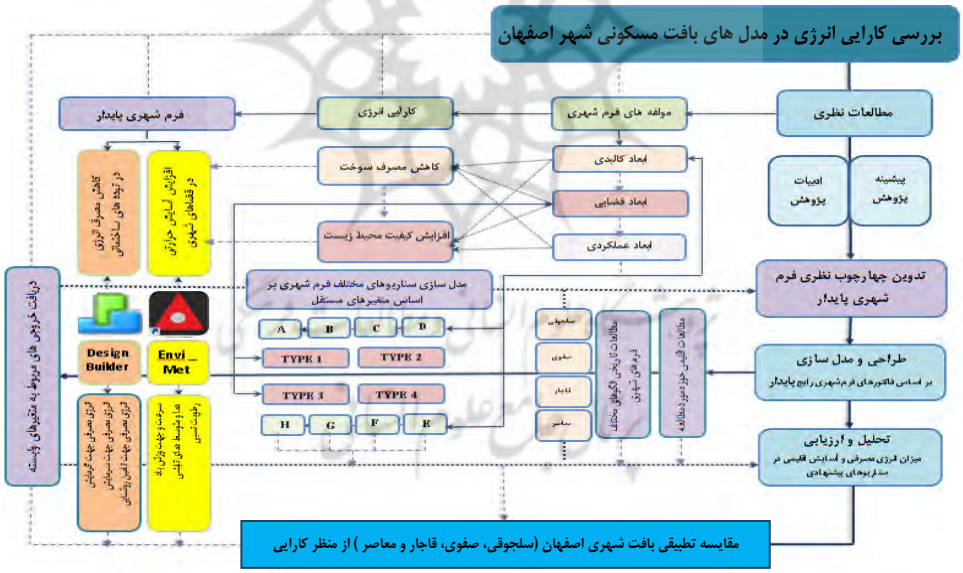
شکل (۳): لایه‌های تشکیل دهنده بافت شهری، نگارندگان برگرفته از Jabareen, 2006

ارتباط بین آسایش حرارتی در فضای باز و مصرف انرژی ساختمان یک موضوع پیچیده است که هم جنبه‌های خرد اقلیم شهری و هم جنبه‌های رفتاری را شامل می‌شود. (Li & Liu, 2020). مصرف انرژی ساختمان تحت تاثیر متغیرهای مختلفی از جمله رفتار ساکنان و عوامل خارجی (اقلیمی) نظیر دما، رطوبت، تابش خورشیدی و سرعت باد است (Kamel et al, 2020). برای طراحان، شناسایی پارامترهای طراحی مناسب در راستای ارتقای آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی ساختمان همواره چالش برانگیز بوده است (Alghamdi et al, 2022). با بهبود شرایط آسایش حرارتی در محیط‌های بیرونی، می‌توان موجبات کاهش مصرف انرژی و افزایش کارآیی انرژی توده‌های ساختمانی را فراهم کرد(Kumar & Sharma, 2020) . استفاده از نیروهای طبیعی (نظیر خورشید) نه تنها محیط زندگی را به فضایی آسوده تبدیل خواهد کرد بلکه در کاهش مصرف انرژی نیز تاثیر فراوانی خواهد داشت (اسفریزی و گندمکار، ۱۳۹۹). در نتیجه، آسایش حرارتی برای کیفیت زندگی ساکنان شهری مهم است. (Lau et al, 2021). همانگونه که پیشتر بدان اشاره شد، یکی از ابعاد طراحی شهری، بعد مورفولوژیکی است که غالبا در ارتباط با پیکربندی فرم و فضای شهری و الگوهای فضایی زیرساخت‌هایی است که از آن پشتیبانی می کنند (Shang, 2020). علاوه بر این، استفاده از انرژی های تجدید پذیر نظیر انرژی خورشیدی، تحت تاثیر هندسه بلوک‌های شهری است (Yang et al, 2021). بر همین اساس، یکی از عوامل موثر بر مصرف انرژی در شهرها، فرم شهری است که به میزان قابل توجهی امکان کاهش مصرف انرژی را از طریق طراحی فراهم می‌سازد (فرخی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به موارد اشاره شده می‌توان از کلیه ابعاد، ویژگی‌ها و خصوصیات فرمال سلول‌ها و دانه‌های شهری که انواع مختلف بافت‌های شهری را شکل می‌دهند و بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها تاثیر گذارند را در قالب ۴ مولفه کلی تقسیم بندی نمود:

شکل (۴): مولفه‌ها و شاخص‌های تاثیرگذار بر مصرف انرژی در توده‌های ساختمانی و آسایش حرارتی در بافت‌های شهری، نگارندگان برگرفته از: Dempsey, N., et al (2010), Jabareen, Y. R., (2006), Serge Salat & Caroline Nowacki (2013) , Manat Sirvanit & Hokao Kazunori (2011), Ratti, C. & Baker, N. & Steemers, K. (2005),Ooka, R. (2010), Vettorato , D. (2005), Yang, J., et al. (2021).

۴- روش شناسی

در این پژوهش، با توجه به ماهیت شهر به عنوان یک سیستم پیچیده و مرکب اجتماعی- فضایی، از فرایند ترکیب روش‌های توصیفی – تحلیلی، مطالعات گونه شناختی، ترسیم و شبیه سازی مدل‌ها ونیز آنالیز داده‌های کمی استفاده شده است. امروزه نقش نرم افزارها در شهرسازی غیرقابل انکار بوده، به نحوی که استفاده از آن ها نه تنها موجب تسریع امر برنامه‌ریزی می‌شود، بلکه دقت طرح‌ها در صورت استفاده از تکنیک‌های شبیه سازی، آنالیز و تحلیل نرم افزاری مناسب به شدت افزایش می‌یابد (Zhang, 2021). در حال حاضر نرم‌افزارهای تخصصی به بازار ارائه شده‌اند که توانایی مدلسازی، محاسبه و تحلیل تقاضای انرژی و نیز شرایط آسایش حرارتی را در فضاهای داخلی و خارجی داراست. در این تحقیق از نرم‌افزار شبیه سازی Design Builder[۱] به عنوان ابزار تحلیل و اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی (مفیدی شمیرانی و همکاران،۱۳۹۲) در بافت‌های شهری و نرم افزار Envi-Met[۲] جهت بررسی فاکتورهای آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری استفاده شده است. روش انجام پژوهش را می‌توان به مراحل زیر تقسیم کرد: مرحله اول شامل مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای در خصوص مفاهیم نظری از جمله مصرف انرژی، مولفه‌های فرم شهری انرژی کارا و آسایش حرارتی می‌باشد. در مرحله دوم با مروری بر ویژگی‌های مورفولوژیک حوزه مطالعاتی (بخش مرکزی شهر اصفهان) و نیز فاکتورهای استخراج یافته در بخش اول، به طراحی مدل‌ها و سناریوهای پیشنهادی پرداخته شده است. در مرحله سوم متغیرهای وابسته پژوهش (انرژی مصرفی واحد های سکونتی و آسایش حرارتی در فضاهای بیرونی) محاسبه شده است و در مرحله پایانی، الگوی بهینه فرم ساختمانی، بلوک شهری و ساختار فضایی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و نیز پیشنهاداتی در راستای افزایش میزان کارایی انرژی در فرم‌های شهری و افزایش آسایش حرارتی فضاهای شهری ارائه می‌گردد.



شکل (۵): چارچوب روش شناختی پژوهش

[۱] نرم افزار دیزاین بیلدر یکی معتبرترین و به روزترین نرم افزارهای مدلسازی انرژی است که مصارف مختلف انرژی در ساختمان نظیر (انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، آب گرم مصرفی، تهویه و سایر تجهیزات مکانیکی و الکتریکی) را به صورت دینامیک مدل سازی می‌نماید. موتور شبیه سازی این نرم افزار انرژی پلاس بوده که توسط بخش انرژی امریکا در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته و بر اساس استانداردهای BESTEST و ASHRAE 14 مورد تایید واقع شده است.

[۲] نرم افزار Envi-Met بر اساس استانداردهای سازمان اشری، برای تعیین شرایط آسایش حرارتی تهیه شده است. این برنامه شامل متغیرهای موثر بر آسایش حرارتی مانند دمای هوا، رطوبت نسبی، میزان فعالیت و پوشش و سرعت وزش باد بوده و می‌تواند مقدار PMV (کمیتی از ادراک آسایش حرارتی) و مقدارPPD (کمیتی از نارضایتی حرارتی) را مشخص کند.

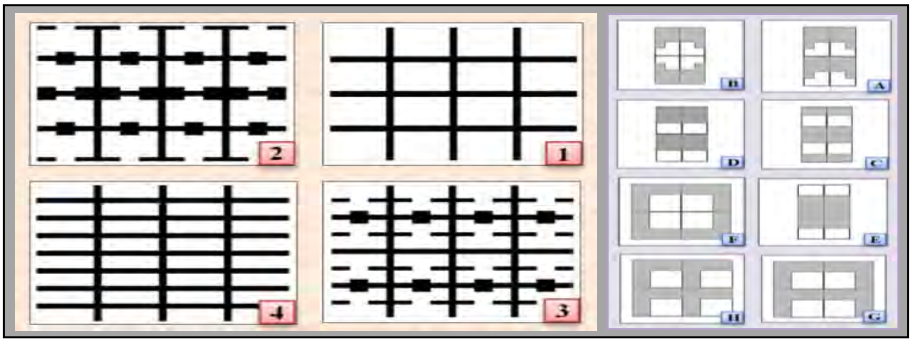
۴- مورد پژوهی

ساختار کالبدی امروز مرکز تاریخی شهر اصفهان از چهار نوع بافت برخوردار است. از جمله بافت درونی، بافت میانی، بافت پیرامونی و بافت ویژه که از دوره‌های تاریخی مختلف (سلجوقیان، صفویه، قاجار، پهلوی و معاصر) به جای مانده است. بافت درونی و بافت ویژه تاریخی که به عنوان هسته تاریخی شهر اصفهان، محدوده تاریخی مصوب شورای عالی شهرسازی و معماری ایران را شامل می‌شود که خود متعلق به سه دوره سلجوقی، صفوی و قاجار می‌باشد (تیپ غالب C,F,G,H). (قاسمی سیچانی، ۱۳۸۹). پس از آن بافت میانی قرار دارد که در زمان قاجار و پهلوی و همزمان با گسترش ساخت و سازهای شهری، با ساختاری شبیه به بافت درونی شکل گرفته است (تیپ غالب C,F,G,H,D,E). بافت پیرامونی که در گذشته با کاربری باغ، بافت مسکونی را احاطه کرده بود، امروزه به صورت بافت مسکونی با ساختار شطرنجی، خارجی‌ترین لایه مرکز تاریخی شهر اصفهان را به عنوان بافت دوره معاصر تشکیل می‌دهد (تیپ غالب A,B,C,D).

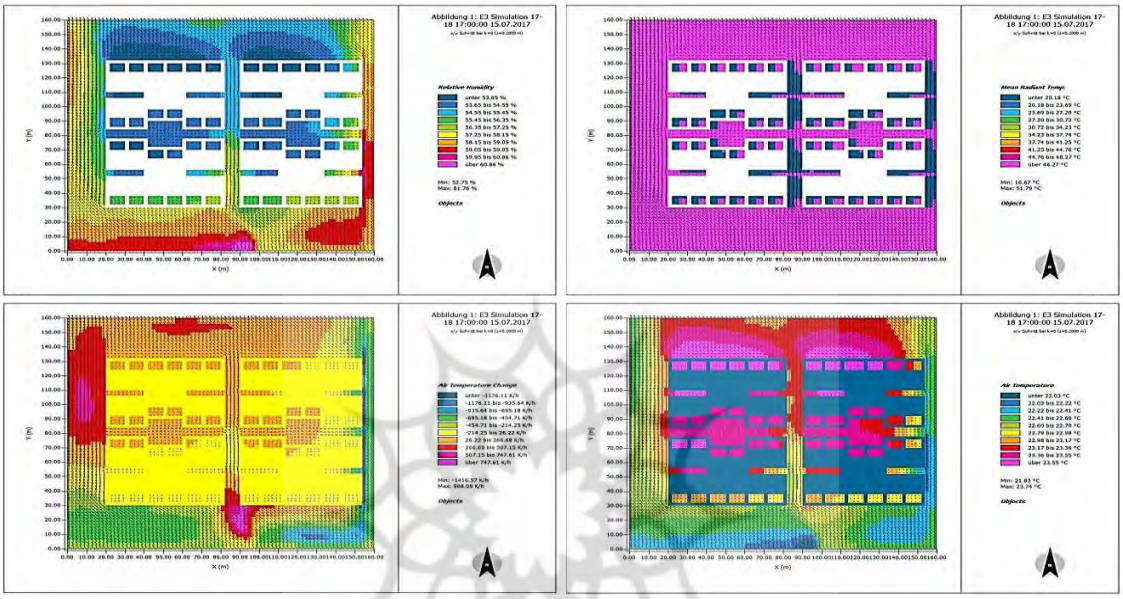
شکل (۶): دوره‌بندی تاریخی شکل گیری بافت مرکزی شهر اصفهان

بافت سکونتی قدیم اصفهان از دیدگاه مورفولوژیک بسیار متراکم و نامنظم است. سلسله‌مراتب واحدهای همسایگی در این بافت ارگانیک بدین صورت است که معمولاً تعدادی خانه مسکونی از یک کوچه بن بست دسترسی می‌گیرند، از تجمع این واحدها شبکه بن‌بست به وجود می‌آید و در مرتبه بعدی از ترکیب چند شبکه بن بست در امتداد یک معبر، واحد همسایگی بن باز ایجاد می‌شود؛ مجموع این معبرها و واحدهای همسایگی پیوسته به آنها زیر محله، به صورت محدوده‌ای منسجم از جهت کالبدی یا کانون و محوری مشترک، پدید می آید و در آخر از به هم پیوستن چند زیر محله، حول یک محور یا کانون اصلی، محله (بافت شهری) شکل می‌گیرد. لازم به ذکر است با توجه به تعدد پارامترهای ارائه شده در پژوهش و نیز سناریوهای متفاوتی که هر یک از پارامترها می‌توانند با آن مورد آزمون و تحلیل قرار گیرد، پژوهش پیش رو تنها بر روی الگوهای مختلف توده گذاری در ساختمان‌های مسکونی (۴ گونه رایج در بافت تاریخی شهر اصفهان)، نفوذپذیری بلوک‌های ساختمانی (با اعمال فاکتور اندازه بلوک و افزایش کیفیت دسترسی پذیری) و نیز ارتباط ما بین توده ساختمانی و معبر (۸ الگوی پیشنهادی[1])، متمرکز شده است.

[1] تمامی مدل‌ها از نظر ارتفاع، سطح اشغال (۶۰٪)، مصالح و جهت گیری از شرایط کاملا یکسانی برخوردار می‌باشند. ضریب انتقال حرارت مصالح انتخاب شده در همه نمونه‌ها مطابق بر مبحث ۱۹، ۳۵۱/. در نظر گرفته شده است و در همه نمونه‌ها سطح یکسانی از نما توسط شیشه پوشیده شده است که منطبق بر وضعیت رایج بافت مورد مطالعه می‌باشد. در ارتباط با شبکه معابر، با توجه به ساختار شطرنجی شهر اصفهان، این مدل به عنوان الگوی غالب بافت‌های شهری اقلیم گرم و خشک مدلسازی شده قرار گرفت و تنها با اعمال تغییراتی در سرانه شبکه راه (درصد اختصاص داده شده به شبکه معابر) و نیز ایجاد گشایش‌های فضایی در قالب مراکز محلی، ۴ سناریو در خصوص ساختار فضایی مورد تحلیل قرار گرفته است.

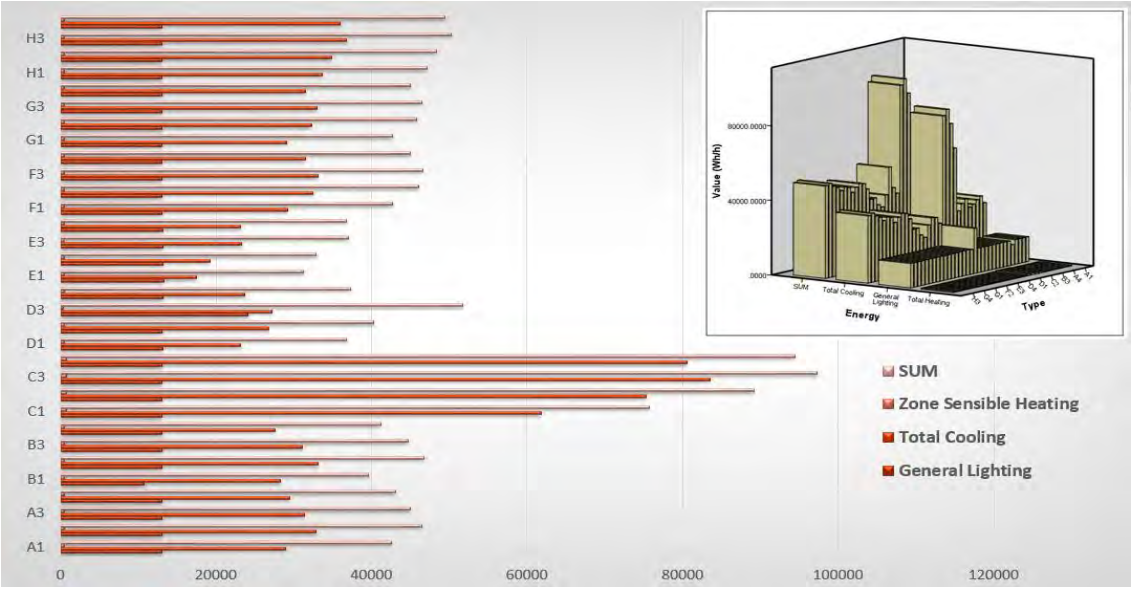


شکل (۷): الگوهای مختلف ساخت توده و فضا در بافت مرکزی اصفهان



شکل (۸): داده‌های شبیه‌سازی آسایش حرارتی در ۴ الگوی بلوک بندی پلاک‌های ساختمانی تیپ E در ۱۲ ماه سال

همانطور که در روش پژوهش بیان شد، در مرحله سوم، اطلاعات منتج از شبیه سازی مصرف انرژی در ۳۲ سناریو، در ماه‌های مختلف سال و نیز نتایج تحلیل آسایش حرارتی در یک زمان مشخص (ساعت ۱۷ بعدظهر ۱۵ جولای سال ۲۰۱۷ میلادی) مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است. ابتدا نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی در سه دسته، انرژی مصرفی جهت تامین روشنایی، گرمایش و سرمایش و یک دسته کلی، تامین انرژی کل ساختمان بجز انرژی مصرفی جهت تامین آب گرم مصرفی در مدل‌ها بر حسب وات ساعت در فضای داخلی معادل یک متر مربع(WH / M2)، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. در بخش دوم کمینه و بیشینه مربوط به فاکتورهای آسایش حرارتی که قبلن معرفی شده‌اند، در مدل‌های منتخب با استفاده از نمودارهای گرافیکی مورد ارزیابی و مقایسه آماری قرار گرفتند.لازم به ذکر است تفاوت برخی مدل‌ها در داده‌های شبیه‌سازی نرم‌افزار Envi-Met بسیار ناچیز است ولی در عمل اختلاف ناچیز در هر یک از پارامترها می‌تواند در آسایش حرارتی به عنوان برایند تاثیرات هر یک از عوامل، بسیار تاثیرگذار باشد.



شکل (۹): آمار توصیفی نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی در توده‌های مسکونی پیشنهادی

۵- یافته‌های پژوهش

با شبیه سازی کلیه مدل‌های پیشنهادی مطابق نمونه ارائه شده، نتایج حاصل از هر یک از متغیرهای پژوهش بر مبنای اطلاعات سالیانه استخراج و در قالب شکل شماره ۹، ارائه شده است. در ادامه به بررسی دقیق‌تر هر یک از مدل‌ها بر اساس سه متغیر انرژی گرمایشی، سرمایشی و انرژی مصرفی جهت ایجاد روشنایی خواهیم پرداخت:

■ **تیپ A و B** *(تیپ غالب دوره معاصر)*: این مدل به صورت L شکل (بدون کشیدگی در تمام طول پلاک) می‌باشد. فرم A، با وجود دریافت حجم بالایی از انرژی خورشیدی، از نظر میزان انرژی مصرفی جهت گرمایش نیز در رتبه دوم قرار دارد. در مقایسه دو تیپ A و B، مدل B با تفاوت جبهه ساخت در پلاک‌های جنوبی و شمالی) از نظر میزان مصرف انرژی فرم بهینه‌تری می‌باشد. هر دو مدل در مقایسه با سایر الگوها از شرایط متوسطی برخوردار می‌باشند و در هر دو، الگوی بافت شماره ۱، کمترین و الگوی بافت شماره ۲ بیشترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. همچنین مدل B1، به دلیل دریافت مناسب نور روز، کمترین میزان مصرف انرژی روشنایی در بین ۳۲ مدل پیشنهادی را دارا می‌باشد.

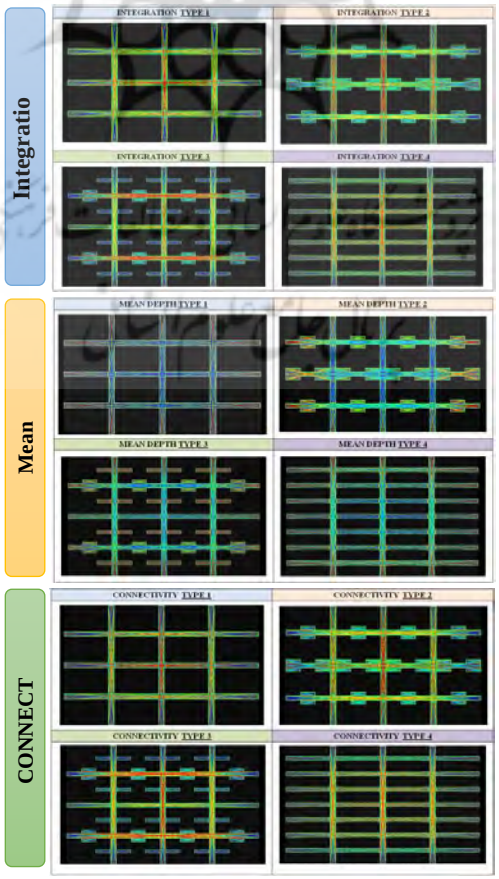
■ **تیپ C** *(تیپ مشترک در بین تمامی دوره‌ها)*: این مدل که به آن فرم خطی اطلاق می‌شود، بنا در شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین بخش زمین قرار می گیرد. در این الگو علی رغم مصرف کم انرژی جهت تامین روشنایی (به خصوص مدل C3)، به دلیل مصرف بالای انرژی گرمایشی و سرمایشی، در کل ناکارآمدترین مدل می‌باشد و بیشترین مصرف انرژی در این مدل (به خصوص مدل C3)، دیده می‌شود.

■ **تیپ D و E** *(تیپ غالب دوره قاجار)*: از جمله نکات حائز اهمیت در خصوص تیپ D که در حال حاضر رایج‌ترین الگوی ساخت از دوره قاجار تاکنون نیز به شمار می‌آید، می‌توان به تفاوت چشم‌گیر در اختلاف میان انرژی مصرفی در دو نمونه از این الگو اشاره کرد. مدل D3 رتبه ۲۸ (بیشترین مصرف انرژی) و مدل D1 رتبه ۴ (کمترین میزان مصرف انرژی) را به خود اختصاص داده است، که بعد از سه مدل E1 (کم مصرف‌ترین مدل در بین ۳۲ گزینه پیشنهادی)، E2 و E3 بهینه‌ترین گزینه می‌باشد. به نظر می‌رسد مدل E، با تفاوت جبهه ساخت در پلاک‌های شمالی، توانسته است بیشترین کارآمدی را از نظر مصرف انرژی تامین نماید. در کل این الگو و نحوه ترکیب آن با سایر قطعات مجاور، فرم برونگرای ساخت در مرکز پلان را نمایش می‌دهد که به نظر می

رسد بهینه‌ترین مدل در اقلیم گرم و خشک (شهر اصفهان) می‌باشد. این الگو در پلان خانه‌های تاریخی شهر اصفهان بخصوص دوره پهلوی و قاجار دیده می‌شود و از آن جمله می‌توان به خانه تاریخی امیرقلی امینی اشاره نمود.

■ **تیپ F، G و H** *(الگوی غالب دوره صفوی، سلجوقی و قاجار)*: در این سه الگو با تغییر نسبت طول به عرض پلاک‌ها (نسبت ۱/۱) در مقایسه با مدل‌های قبل (نسبت ½)، هندسه قطعات به شکل مربع می باشد. در تیپ F ،که الگوی قالب به صورت حیاط مرکزی می‌باشد (الگوی قالب خانه‌های تاریخی: خانه شیخ الاسلام، خانه چرمی و خانه دکتر اعلم)، میزان مصرف انرژی روشنایی و گرمایشی به دلیل دریافت بالای انرژی خورشیدی[۱۹] تقریبا کم است ولی به دلیل مصرف بالای انرژی سرمایشی در این الگو، در مجموع مصرف انرژی عدد بالایی را نمایش می‌دهد. الگوی G (با فرم پلان U شکل)، در جایگاه بعدی پس از تیپ F قرار دارد و الگوی H (با فرم پلان L شکل کشیده در کل طول پلاک) پس از الگوی C، غیرکارامدترین الگوی پیشنهادی می باشد.

شکل (۱۰): رتبه‌بندی الگوهای سازمان فضایی از نظر فاکتورهای آسایش حرارتی



شکل (۱۱): تحلیل Space Syntax (همپیوندی، عمق و میزان اتصال) در مدل‌های پیشنهادی

■ **ساختار شماره ۱:** در مقایسه ۴ الگوی ساختار فضایی، مدل ۱در کنار مدل خطی ۴، به دلیل برخورداری از ساختار خطی در شبکه ارتباطی و ایجاد دالان جهت هدایت بیشتر باد، از نظر درجه حرارت ساختار مناسب‌تری می‌باشد. که ترکیب آن با نحوه توده گذاری رایج در نظام ساخت و ساز از زمان قاجار تاکنون (الگوی D)، می‌تواند از نظر میزان درجه حرارت الگوی مناسب‌تری نسبت به الگوهای مورد مطالعه باشد.

■ **ساختار شماره ۲:** تغییرات دمای محیط ساختار فضایی شماره ۲، با وجود فضاهای باز متمرکز و وجود گره‌های شهری متعدد، بیشترین تغییرات دمایی را در فضای شهری ایجاد می‌کند که ترکیب آن با الگوی E (الگوی رایج دوره قاجار)، در توده گذاری ساختمان تاثیر تغییرات دمایی را به حداکثر میزان خود در بافت‌های مورد مطالعه می‌رساند.

■ **ساختار شماره ۳:** بر اساس نتایج شبیه سازی، ساختار فضایی شماره ۳، با داشتن فضاهای بن بست متعدد، اتصال[1] و همپیوندی کم فضایی[2] و نیز عمق[3] بیشتر فضاها، به عنوان یکی از ساختارهای فضایی ناکارآمد در بین مدل‌های مورد مطالعه به حساب می‌آید که بالاترین میزان دمای محیط و تولید گاز دی اکسید کربن و نیز کمترین میزان رطوبت نسبی و تغییرات دمایی را در میان مدل های مورد مطالعه به خود اختصاص می‌دهد.

■ **ساختار شماره ۴:** ساختار فضایی ۴، با بیشترین میزان همپیوندی، اتصال و نیز کمترین میزان عمق فضاهای ایجاد شده، شرایط بهتری نسبت به سایر مدل‌های مورد مطالعه از نظر میزان تامین شرایط آسایش حرارتی داراست. این مدل با وجود کمترین میزان تغییرات دمایی، کمترین میزان تولید گاز CO_2 و نیز کمترین میزان دمای تابشی را به خود اختصاص داده است. همچنین از نظر میزان رطوبت نسبی و نیز سرعت باد بیشترین میزان در میان سایر مدل‌های فضایی را دارا می باشد. در کل می‌توان این ساختار را به عنوان بهینه‌ترین ساختار فضایی از نظر تامین شرایط آسایش حرارتی در فضای باز شهری نام برد که ترکیب آن با مدل حیاط مرکزی F می‌تواند فرم شهری پایداری را از نظر رطوبت نسبی و متوسط دمای تابشی ایجاد نماید و یا ترکیب آن با مدل E (الگوی رایج در دوره قاجار) می‌تواند منجر به حداکثر شدن وزش باد در فضاهای باز شهری گردد.

در کل با مقایسه نسبت سطح توده ساختمانی به فضاهای باز (شبکه معابر، گشودگی‌های فضایی و نیز حیاط واحدهای مسکونی) می‌توان به این نتیجه دست یافت که ساختارهای فضایی با بیشترین میزان همپیوندی و اتصال فضایی می‌توانند درصد بالاتری از شرایط آسایش حرارتی را در فضاهای باز شهری ایجاد نمایند. با افزایش تراکم توده نسبت به فضا، میزان آسایش حرارتی در الگوهای مختلف فضاهای شهری با کاهش روبه رو است و علی رغم تاثیر مستقیم و مثبت تراکم بر کاهش مصرف انرژی در فضاهای داخلی، در ارتباط با بحث آسایش حرارتی این فاکتور می‌تواند نتیجه عکس و منفی داشته باشد.

۶- نتیجه گیری

با توجه به آنچه در خصوص مقایسه تطبیقی الگوهای رایج در نظام معماری و شهرسازی کهن شهر اصفهان بیان شد می‌توان دستورالعمل طراحی اقلیمی بافت‌های شهری را در قالب سه مولفه؛ نظام و الگوی قطعه‌بندی و تفکیک زمین دانه‌های شهری، شکل و مشخصات توده/فضا در بافت‌های شهری و الگوی شبکه معابر بافت، تنظیم و عملیاتی ساخت. با توجه به هدف مقاله پیش رو مبنی بر ارزیابی کارایی انرژی در مدل‌های مختلف بافت شهری اصفهان، دو هدف عمده کاهش مصرف انرژی در توده‌های ساختمانی و تامین کیفیت آسایش حرارتی در فضاهای شهری، به عنوان اهداف کلان فرایند پژوهش دنبال می‌گردد. در ادامه

[1] Connectivity
[2] Integration
[3] Depth

اهداف عملیاتی، راهبردها و سیاست‌های اجرایی در زمینه طراحی بافت‌های شهری انرژی کارا در طیف وسیعی از مقیاس‌ها از ساختمان منفرد تا مجموعه‌های شهری ارائه شده است.

جدول (۱): اهداف کلان، خرد، راهبردهای افزایش کارایی انرژی بافت‌های شهری

اهداف کلان	اهداف عملیاتی	راهبردهای طراحی	سیاست های اجرایی
کاهش مصرف انرژی عملکردی در توده های ساختمانی	افزایش دریافت انرژی تابشی خورشید	استفاده بهینه از عمق نفوذ نور خورشید	– استفاده از فرم‌های کشیده (مستطیل) نسبت به فرم‌های مربع شکل در تفکیک قطعات مسکونی به منظور استفاده بهینه از عمق نفوذ نور خورشید – ایجاد کشیدگی در پلان ساختمان مسکونی در جهت جنوبی – کاهش عمق قطعات مسکونی به منظور افزایش استفاده از نور خورشید – طراحی ساختمان‌های بلند مرتبه با توجه به سایر ساختمان‌های همجوار و نیز بررسی تاثیر آنها بر وزش باد و اقلیم محلی – طراحی بافت‌های ریزدانه به دلیل افزایش عمق فعال ساختمان ها
		استفاده از حداکثر حجم خورشیدی	– مشخص‌نمودن حداکثر مرز حجم سه‌بعدی ساختمان در بستر سایت به منظور بهره‌گیری از حداکثر پتانسیل انرژی تابشی خورشید. – محاسبه حداکثر حجم ساختمان که حق دسترسی به انرژی خورشیدی هیچ یک از ساختمانهای مجاور را تضییع ننماید(SRE) – محاسبه حداقل ابعاد ممکن برای لفاف ساختمانی به گونه‌ای که همزمان توسط سایر ساختمانهای مجاور سایه اندازی نگردد (SCE)
		استقرار بهینه ساختمان	– افزایش نفوذپذیری در بلوک‌ها به منظور افزایش دستیابی به انرژی تابشی خورشید. – استقرار ساختمان با توجه به دو مؤلفه زاویه تابش آفتاب و جهت جریان باد غالب. – جهت‌گیری قطعات مسکونی به سمت جنوبی و شرقی به منظور دستیابی به نور و گرمای خورشید – طراحی محور اصلی بنا، عمود بر جهت باد مطلوب – استفاده از الگوی حیاط مرکزی به دلیل دریافت بالای انرژی خورشیدی – استفاده از الگوی ساخت پشت به پشت در پلاک‌های جنوبی و شمالی – استفاده از فرم برونگرای ساخت در مرکز پلان – طراحی طولانی‌ترین نمای ساختمان رو به جنوب (در نیمکره شمالی) و در جهت شرقی- غربی
کاهش مصرف انرژی عملکردی در توده های ساختمانی	کاهش دریافت انرژی حرارتی خورشید در فصل تابستان	متراکم سازی	– استفاده از حجم فعال در طراحی مناطق پر تراکم که امکان تابش سطح بالایی از پرتوهای خورشیدی را بر نمای ساختمان ایجاد می کند. – طراحی بافت‌های مسکونی به صورت متراکم و فشرده به منظور کاهش سطح آزاد ساختمان و در تماس با محیط – افزایش سایه اندازی بلوک‌های ساختمانی بر یکدیگر از طریق تعیین حداقل فاصله بین بلوک‌ها با توجه به نظام ارتفاعی قالب
		استفاده از فرم های فشرده و متصل	– استفاده از قطعات با جهت گیری مشابه در ساختار بلوک شهری، و کاهش اتلاف انرژی از طریق جداره‌ها
		استفاده از جریان هوا در پیرامون ساختمان	– جلوگیری از استقرار ساختمان‌های بلند مرتبه با سطح پیشانی زیاد در خیابان‌های باریک به دلیل ایجاد مانع در برابر جریان هوا – استفاده از شبکه ارتباطی هم راستا با باد مطلوب به منظور افزایش تهویه طبیعی
	افزایش دریافت انرژی حرارتی خورشیدی در فصل زمستان	استفاده بهینه از عمق نفوذ نور خورشید	– ایجاد برش های باز (دسترسی) در بلوک‌ها به منظور دستیابی به انرژی حرارتی خورشید
		استفاده از حداکثر حجم خورشیدی	– ترکیب بندی مناسب ساختمان و فضاهای باز به منظور استفاده حداکثری از انرژی حرارتی خورشید
		استقرار بهینه ساختمان	– استقرار ساختمان‌ها در جهت جنوب غربی/شمال شرقی به منظور دریافت بیشتر انرژی حرارتی خورشید – استفاده از قطعات با جهت‌گیری مشابه در ساختار بلوک شهری، و کاهش اتلاف انرژی از طریق جداره‌ها

جدول (۲): اهداف کلان، خرد، راهبردهای طراحی فضاهای شهری اقلیمی

اهداف کلان	اهداف عملیاتی	راهبردهای طراحی	سیاست‌های اجرایی
افزایش کیفیت آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری	افزایش رطوبت نسبی در فضاهای باز شهری	افزایش نمایانی آسمان	– استفاده از جداره عقب نشسته با خط بام قابل رویت جهت ایجاد سایه در مقیاس پیاده روی و افزایش تغییرات دمایی ناشی از نمایانی سطح وسیعی از آسمان
		جهت گیری شبکه ارتباطی	– استفاده از شبکه ارتباطی هم راستا با باد مطلوب به منظور افزایش تغییرات جریان هوا
		استفاده از سطوح و پهنه‌های طبیعی	– استفاده از سازمان‌بندی ساختمان‌ها و فضاهای باز به صورت درهم تنیده به منظور کاهش دمای محیط و افزایش رطوبت نسبی – استفاده از سازمان‌بندی ساختمان‌ها و سطوح آب به صورت درهم تنیده به منظور کاهش دمای محیط و افزایش رطوبت نسبی
		استفاده از جریان هوا	– جلوگیری از استقرار ساختمان‌های بلندمرتبه با سطح پیشانی زیاد در خیابان‌های باریک به دلیل ایجاد مانع در برابر جریان هوا – استفاده از شبکه ارتباطی هم راستا با باد مطلوب به منظور افزایش تهویه طبیعی
	کاهش متوسط دمای تابشی در فضاهای باز شهری	افزایش محصوریت در مقیاس انسانی	– استفاده از سایه مشترک ساختمان‌های بلند مرتبه در فضاهای باز – افزایش نسبت ارتفاع به عرض در فضاهای ارتباطی – استفاده از الگوی ساختمان‌های متصل در طراحی بلوک‌های شهری – استفاده از جداره عقب نشسته با خط بام قابل رویت جهت ایجاد سایه در مقیاس پیاده روی و افزایش تغییرات دمایی ناشی از نمایانی سطح وسیعی از آسمان
		جهت گیری شبکه ارتباطی	– ایجاد شبکه‌های خطی فضای باز از مناطق با تراکم کم به سمت مراکز پرتراکم شهری – استفاده از خیابان‌ها با عرض کمتر در جهت شمالی/جنوبی – استفاده از خیابان‌ها با عرض بیشتر در جهت شرقی/غربی – استفاده از شبکه ارتباطی هم راستا با باد مطلوب به منظور افزایش تهویه طبیعی مطلوب
		استفاده از سطوح نفوذپذیر	– استفاده از سطوح سبز و فضاهای باز با جنس ماسه و سنگ جهت کاهش انرژی جذب شده به وسیله سطوح
		افزایش نسبت فضای باز به توده ساختمانی(OSR)	– افزایش نسبت فضاهای شهری به توده‌های ساختمانی به منظور بهره‌مندی از نسیم های خنک استفاده از بلوک‌های نفوذپذیر جهت ایجاد کریدور جریان هوا
		متراکم سازی	– استفاده از ساختمان‌های بلندمرتبه به منظور هدایت جریان باد رو به سمت خیابان و ایجاد خرد اقلیم مطلوب (اثر گردابی پایین رونده)

جدول (۳): چک لیست طراحی فرم‌های شهری انرژی کارا در ۳ سطح قطعات ساختمانی، بلوک شهری و شبکه معابر

مولفه‌های طراحی	فاکتورهای طراحی	کارایی انرژی توده‌های ساختمانی			آسایش حرارتی فضاهای باز شهری		
		مصرف انرژی روشنایی	مصرف انرژی گرمایشی	مصرف انرژی سرمایشی	متوسط دمای تابشی	میزان رطوبت نسبی	سرعت و جهت وزش باد
الگوی قطعات ساختمانی	ابعاد بنا (طول/ عمق/ ارتفاع)	●	●	●	–	–	–
	سطح اشغال بنا (BCR)	●	–	●	–	●	●
	مجموع مساحت سطوح/حجم کلی ساختمان	✓	✓	✓	–	–	–
	حجم و پاکت حجمی	●	●	●	–	–	–
	گونه ساختمانی (متصل، منفصل، ویلایی، اپارتمانی و غیره..)	●	●	●	–	–	●
	جهت گیری	●	●	●	●	–	●
	موقعیت ساختمان در پلاک	✓	✓	✓	–	–	✓
الگوی بلوک‌های شهری	تراکم (FAR)	✓	✓	✓	✓	-	✓
	ابعاد بلوک	–	●	●	–	–	–
	تعداد قطعات هر بلوک	●	–	–	–	–	–
	نفوذپذیری بلوک	✓	✓	✓	✓	–	✓
	همگن یا ناهمگن بودن (جهت‌گیری، ابعاد و الگوی ساخت)	-	✓	✓	–	–	✓
الگوی شبکه معابر	محصوریت	–	–	–	✓	✓	✓
	نمایانی آسمان	✓	–	–	✓	✓	–
	الگوی خیابان	●	–	–	–	–	●
	جهت گیری خیابان	●	●	●	●	●	●
	تعداد گره‌ها و تقاطع‌ها	✓	–	–	–	–	✓
	نوع پوشش کف (پوشش سبز، آب، نفوذپذیر، نفوذ ناپذیر)	–	–	–	●	●	–
	نرخ فضای باز(OSR)	✓	✓	✓	✓	✓	✓

منابع

آقاملایی، ریحانه؛ امین زاده، بهناز؛ عزیزی، محمدمهدی. (۱۳۹۹)، ارزیابی عملکرد حرارتی بافت‌های شهری در اقلیم شهر تهران، هنرهای زیبا ، ۱۳۹۹، دوره بیست و پنجم ، شماره ۱.

احمدی، ارمغان؛ مهدیزاده، علیرضا. (۱۳۹۴)، تعاریف مرتبط با طراحی شهر انرژی کارا، کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، تبریز.

اسفریزی، مریم ؛ گندمکار، امیر. (۱۳۹۹)، نقش انرژی‌های پایدار در طراحی و ساخت و سازهای شهری (مطالعه موردی: خمینی شهر)، مجله علوم جغرافیایی(جغرافیای کاربردی)، دوره۱۶ ،شماره۳۳ ، بهار و تابستان ۱۳۹۹ ،صفحه ۷۵-۸۴.

براتی، ناصر؛ سردره، علی اکبر.(۱۳۹۲)، تأثیر شاخص‌های فرم شهری بر میزان استفاده از اتومبیل شخصی و مصرف انرژی در مناطق شهر تهران، فصلنامه باغ نظر، (۱۰): ۳-۱۲.

بقایی، مهدی؛ زیاری، یوسفعلی؛ سعیده زرآبادی، زهرا سادات؛ ماجدی، حمید. (۱۳۹۸)، بررسی پارامترهای ریخت شناسی شهری در آسایش دمایی خرد اقلیم(نمونه موردی: کلانشهر تهران)، فصلنامه علمی و پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی.

پورامین، فرانک؛ بهزادفر، مصطفی؛ رضائی راد، هادی. (۱۴۰۰)، سنجش کمی اثرگذاری مورفولوژی بافت‌های شهری بر تغییران دمای شهر، فصلنامه برنامه ریزی توسعه شهری و منطقه ای، ۴ (۱۱).

پوردیهیمی، شهرام. (۱۳۹۰)، زبان اقلیم در طراحی محیطی پایدار، انتشارات دانشگاه بهشتی.

چنگلوایی، یونس؛ بابایی فروشانی، زهرا. (۱۳۹۸)، بررسی تاثیرات انرژی خورشیدی در شکل گیری بافت‌های شهری با تاکید بر توسعه پایدار و مصرف بهینه انرژی،چهارمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم و مهندسی.

حاجی پور، خلیل؛ فروزان، نرجس. (۱۳۹۳)، بررسی تاثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی، نمونه موردی : شهر شیراز . نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی دوره ۱۹ شماره ۴ زمستان.

حسینی، مصطفی؛ شکوهی، محمود؛ نصرالهی، فرشاد. (۱۴۰۰)، مطالعه تطبیقی ریخت شناختی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی. مطالعات معماری ایران ۱۰ (۲۰)، ۱۵۳-۱۷۶.

خدابخش، پیمان ؛ مشایخی، سمیرا ؛ ملک پوراصل، بهزاد. (۱۳۹۵)، ارزیابی و تدوین دستورالعمل و فرآیند برنامه ریزی و طراحی شهری مبتنی بر رهیافت کارآیی انرژی در شهر،دومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی،تهران.

رازجویان، محمود. (۱۳۸۹)، آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم ، دانشگاه شهید بهشتی، چاپ اول.

رفیعیان، مجتبی؛ فتح جلالی، آرمان؛ داداشپور، هاشم. (۱۳۹۰)، بررسی و امکان‌سنجی تاثیر فرم و تراکم بلوک مسکونی بر مصرف انرژی، آرمانشهر، شماره ۶، بهار و تابستان ۱۳۹۰.

رنجبر، احسان؛ پورجعفر، محمدرضا ؛ خلیجی، کیوان. (۱۳۸۹)، خلاقیت‌های طراحی اقلیمی متناسب با جریان باد در بافت قدیم بوشهر، ماهنامه باغ نظر، دوره :۷، شماره. ۱۳.

شجاع، سعیده؛ پورجعفر، محمدرضا ؛ طبیبیان، منوچهر.(۱۳۹۸)، فراتحلیل رابطه فرم شهر و انرژی:مروری بر رویکردها، روش‌ها، مقیاس ها و متغیرها، نشریه دانش شهرسازی، دوره ۳ ، شماره۱،(ص ص.۸۵-۱۰۷).

شریفیان بارفروش،شفق؛ مفیدی شمیرانی، سیدمجید. (۱۳۹۳)، معیارهای شاکله بوم شهر از دیدگاه نظریه پردازان، باغ نظر، ۱۱ (۳۱): ۹۹-۱۰۸.

شفقی، سیروس. (۱۳۸۱)، جغرافیای اصفهان ، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان.

شهابیان، پویان؛ زرین، بهاره؛ عظیمی، شراره. (۱۳۹۲)، بررسی ارتباط بین کاربری، حمل و نقل و میزان مصرف انرژی، فصلنامه صفه، ۲۳ (۶۳): ۷۲-۵۹.

ضرغامی، اسماعیل؛ جهانبخش، حیدر؛ طحانیان، امیرحسین. (۱۳۹۴)، بررسی رابطه فرم ساختمان های مسکونی با میزای مصرف انرژی آنها در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان . نشریه انرژی ایران، دوره ۱۸، شماره ۴. ص: ۶۳-۷۶.

طهماسبی، اصغر؛ قادرمرزی، حامد؛ رحیمی، فردین؛ عزیزی؛ سمیه. (۲۰۲۲)، درک و استراتژی سازگاری جوامع محلی شهرستان مشکین شهر نسبت به تغییرات اقلیمی. توسعه محلی (روستایی- شهری). ۱۳ (۲)، ۶۰۹ – ۶۳۷.

علی نسب, نیلوفر.(۱۳۹۸)، طراحی شبکه معابر با رویکرد آسایش حرارتی(مطالعه موردی: محله دارایی تبریز).

علی یاری، مرجان. (۱۳۹۰)، طراحی شهری انرژی کارا.

فرخی،مریم ؛ ایزدی،محمد سعید ؛ کریمی مشاور، مهرداد.(۱۳۹۷)، تحلیل کارایی انرژی در مدل‌های بافت شهری اقلیم گرم و خشک, نمونه ی موردی: شهر اصفهان،دو فصلنامه معماری ایرانی،شماره ۱۳،(ص ص. ۱۲۷-۱۴۷).

قاسمی سیچانی،مریم؛ معماریان،غلامحسین. (۱۳۸۹)، گونه‌شناسی خانه دوره قاجار اصفهان، نشریه هویت شهر، سال پنجم، شماره ۸۱۳

قاسمی سیچانی، مریم. (۱۳۹۱)، خانه‌های اصفهان، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.

کسمایی، مرتضی. (۱۳۸۵)، اقلیم و معماری، ویراستار احمدی نژاد، محمد، ویرایش دوم، نشر خاک -ص ۹- ۳۰۳.

لطفی، سهند؛ شعله، مهسا؛ فرمند، مریم؛ فتاحی، کاوه. (۱۳۹۵)، تدوین معیارهای طراحی شهری برای محله‌های بدون کربن. فصلنامه علمی پژوهشی نقش جهان، شماره ۱-۶: ۹۲-۸۰.

مرادیان، محدثه. (۱۳۹۵)، راهنمای طراحی شهری انرژی کارا با تاکید بر جداره شهری (نمونه موردی: خیابان ۱۷ شهریور تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

مرتضایی، گلناز؛ محمدی، محمود؛ نصراللهی، فرشاد؛ قلعه نویی، محمود. (۱۳۹۶)، بررسی ریخت-گونه شناسانه بافت های مسکونی جدید در راستای بهینه سازی مصرف انرژی اولیه (نمونه موردی: سپاهان شهر). فصلنامه مطالعات شهری, ۶(۲۴), ۴۱-۵۴.

مرتضایی،گلناز؛ قندهاری، فرناز. (۱۳۹۹)، تدوین مدل مفهومی انرژی کارایی در حوزه شهرسازی مبتنی بر تجارت موفق جهانی، نشریه معماری شناسی(۱۶).

منتظری، مرجان؛ جهانشاه لو، لعلا؛ ماجدی، حمید. (۱۳۹۶)، تأثیر مؤلفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاهای باز شهری (مطالعه موردی: اراضی پشت سیلو شهر یزد). مطالعات محیطی هفت حصار, ۶(۲۳), ۴۹-۶۶.

میرمقتدایی، مهتا.(۱۳۹۲)، ضرورت تدوین راهنمای طراحی شهری با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی، کنفرانس بین المللی توسعه پایدار عمران، معماری و طراحی شهری، تبریز.

نصراللهی، فرشاد. (۱۳۹۰)، ضوابط معماری و شهرسازی کاهش دهنده مصرف انرژی ساختمان‌ها، نشست کمیته ملی انرژی ایران.

نوریان، فرشاد؛ فتح جلالی. (۱۳۹۹)، بررسی و تحلیل اثرات برنامه ریزی کاربری اراضی و شبکه حمل و نقل بر مصرف انرژی در شهر: مورد مطالعاتی: محدوده ۳۵ هکتاری در شهر جدید هشتگرد. معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۳ (۳۱)، ۲۷۱-۲۸۶.

یادگاری، پگاه؛ سجادزاده، حسن. (۱۴۰۰)، نقش الگوی فضایی و پوشش گیاهی فضاهای باز محلی بر میزان آسایش حرارتی در اقلیم سرد. فصلنامه مطالعات شهری, ۱۰(۴۰), ۱۵-۲۶.

Ashrae (2010), ashrae standard 55–2010. Thermal

Alghamdi, s., tang, w., kanjanabootra, s., & alterman, d. (2022). Effect of architectural building design parameters on thermal comfort and energy consumption in higher education buildings. Buildings, 12(3), 329.

Al-yasiri, q., & szabó, m. (2021). Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: a comprehensive analysis. Journal of building engineering, 36, 102122.

Aboelata, a. (2021). Reducing outdoor ii r tmmrrr tt ure, imrr vvigg trrr mll mmmfrr t, nnd aavigg iii lii ggs' cooling energy demand in arid cities–cool paving utilization. Sustainable cities and society, 68, 102762.

Brilhante, o., & klaas, j. (2018). Green city concept and a method to measure green city performance over time applied to fifty cities globally: influence of gdp, population size and energy efficiency. Sustainability, 10(6), 2031.

Belussi, l., barozzi, b., bellazzi, a., danza, l., devitofrancesco, a., fanciulli, c., ... & scrosati, c. (2019). A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. Journal of building engineering, 25, 100772.

Codoban, n. And kennedy, c.a. (2008), metabolism of neighborhoods. Journal of urban planning and development, 13

Dempsey, n., et al (2010), elements of urban form, in dimensions of the sustainable city, springer. P. 21-51.

Designbuilder. (2008-2011). Designbuilder simulation+ cfd training guide. Available from: http://www.designbuilder.co.uk/downloadsv1/doc/designbuilder-simulation-training-manual.pdf.

Droege, p. (2007), the renewable city: a comprehensive guide to an urban revolution, ed. Wiley, chichester, uk.

Droege ,p. (2008), urban energy transition: from fossil fuels to renewable power , ed. Elsevier science; 1 edition, oxford.

Egerer, m., haase, d., mcphearson, t., frantzeskaki, n., andersson, e., nagendra, h., & ossola, a. (2021). Urban change as an untapped opportunity for climate adaptation. Npj urban sustainability, 1(1), 1-9.

Fanger, p. O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. Occupational and environmental medicine, 30(4), 313-324.

Frey, h. (2003) , designing the city: towards a more sustainable urban form. Taylor & francis.

Givoni, b. (1998). Climate considerations in building and urban design. John wiley & sons.

Gea. (2012), global energy assessment - toward a sustainable future. Cambridge university press, cambridge, uk and new york, ny, usa and the international institute for applied systems analysis, laxenburg, austria.

Givoni, b. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and buildings, 18(1), 11-23.

Harputlugil, t., & de wilde, p. (2021). The interaction between humans and buildings for energy efficiency: a critical review. Energy research & social science, 71, 101828.

Hayter, richard, (2007). Designing for comfort, kansas state, university manhattan, ks, usa.

Ibrahim, y., kershaw, t., shepherd, p., & coley, d. (2021). On the optimisation of urban form design, energy consumption and outdoor thermal comfort using a parametric workflow in a hot arid zone. Energies, 14(13), 4026.

Iea (2021), world energy outlook 2021, iea, paris https://www.iea.org/reports/world-energy outlook-2021.

Iyengar, s., lee, s., irwin, d., shenoy, p., & weil, b. (2018, july). Watthome: a data-driven approach for energy efficiency analytics at city-scale. In proceedings of the 24th acm sigkdd international conference on knowledge discovery & data mining (pp. 396-405).

Jabareen, y. R., (2006) , sustainable urban forms: their typologies, models, and concepts, journal of planning education and research, vol. 26, no. 1, pp. 38-52.

Kamel, e., sheikh, s., & huang, x. (2020). Data-driven predictive models for residential building energy use based on the segregation of heating and cooling days. Energy, 206, 118045.

Kumar, p., & sharma, a. (2020). Study on importance, procedure, and scope of outdoor thermal comfort–a review. Sustainable cities and society, 61, 102297.

Li, j., & liu, n. (2020). The perception, optimization strategies and prospects of outdoor thermal comfort in china: a review. Building and environment, 170, 106614.

Lau, k. K. L., tan, z., morakinyo, t. E., & ren, c. (2021). Outdoor thermal comfort in urban environment: assessments and applications in urban planning and design. Springer.

Maleki, l., majedi, h., & zarabadi, z. S. S. (2021). Analyzing the role of urban approaches in response to climate changes with emphasis on biophilic urbanism, a case study: tonekabon city. Urban planning knowledge, 5(1), 147-163.

aa vvvvi, ,,, & -jj sskkrr. .. (1111)1vv ll ttt igg ttt rrrr trrr mll mmmrrr t in aaatt "" – the open air markets in a humid subtropical region. Building and environment, 190, 107527.

rr wwzzykkk,, m,, kki,,, m,, zztcccc kmm ,,mzzznn-krzywzzzsss k,, ,,, kzzkk, jK k&& &jj wwii k, .. (1111). Scenarios as a tool supporting decisions in urban energy policy: the analysis using fuzzy logic, multi-criteria analysis and gis tools. Renewable and sustainable energy reviews, 137, 110598.

Madanipour, a. (ed.). (2013). Whose public space?: international case studies in urban design and development. Routledge.

Mangan, s. D., oral, g. K., kocagil, i. E., & sozen, i. (2020). The impact of urban form on building energy and cost efficiency in temperate-humid zones. Journal of building engineering, 101626.

Mitchell,g. (2005), urban development ,form and energy use in buildings: a review for the solutions project.

Nadel, s. (2021). Who invests in energy efficiency and why?. In world scientific encyclopedia of climate change: case studies of climate risk, action, and opportunity volume 1 (pp. 13-21).

Natanian, j., & wortmann, t. (2021). Simplified evaluation metrics for generative energy-driven urban design: a morphological study of residential blocks in tel aviv. Energy and buildings, 240, 110916.

Nasrollahi, f. (2009), energy efficient architecture for tehran, ifhp world congress urban technology for urban sustainability, climate change and energy efficiency.

Nasrollahi, f.(2009), climate and energy responsive housing in continental climates, universitätsverlag der tu berlin, germany, isbn: 978-3-7983-2144-1. 2009 - 2.

Owens, s.(1987), energy, planning and urban form. London: pion limited.

Oke, t.r.(1987), street design and urban canopy layer climate. Energy and buildings 11, pp.103–113.

Olgyay, v. (2015). Design with climate. In design with climate. Princeton university press.

Owens,s.(1991), energy concious planning ,london:cpre.

Owens, s.e. (1986) , energy, planning and urban form. Pion london.

Ooka, r. (2010) , development of assessment tools for urban climate and heat island mitigation, cpd lecture.

Quan, s. J., & li, c. (2021). Urban form and building energy use: a systematic review of measures, mechanisms, and methodologies. Renewable and sustainable energy reviews, 139, 110662.

Ratti, c. & baker, n. & steemers, k. (2005), energy consumption and urban texture, in energy and buildings, 37, pp. 762-776.

Ratti, c. & d. Raydan, d. & steemers, k.(2003) , building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate, in energy and buildings, 35, pp. 49-59.

Shang, c. (2022). Simulating the impact of urban morphology on energy demand in blocks-a case study of dwellings in nanjing.

Steemers, k.(2003) , energy and the city: density, buildings and transport, in energy and buildings, 35, pp. 3-14.

Salat ,s. (2009), resilient and efficient synergy communities morphological, structural and synergetic approach to energy efficiency.

Salat, s., bourdic, l., & nowacki, c. (2013). Energy and the form of urban fabric: the example of paris. Central europe towards sustainable building.

Song, y., shao, g., song, x., liu, y., pan, l., & ye, h. (2017). The relationships between urban form and urban commuting: an empirical study in china. Sustainability, 9(7), 1150.

Trianni, a., cagno, e., bertolotti, m., thollander, p., & andersson, e. (2019). Energy management: a practice-based assessment model. Applied energy, 235, 1614-1636.

Vasilikou, c., & nikolopoulou, m. (2020). Outdoor thermal comfort for pedestrians in movement: thermal walks in complex urban morphology. International journal of biometeorology, 64(2), 277-291.

Vettorato , d. (2005), bridging urban morphology and energy performance analysis. 47th isocarp congress.

Vettorato, d. , et al. (2011), spatial comparison of renewable energy supply and energy demand for low-carbon settlements. J. Cities (2011), elsevier.

Wang, w., liu, k., zhang, m., shen, y., jing, r., & xu, x. (2021). From simulation to data-driven approach: a framework of integrating urban morphology to low-energy urban design. Renewable energy, 179, 2016-2035.

Yang, j., yang, y., sun, d., jin, c., & xiao, x. (2021). Influence of urban morphological characteristics on thermal environment. Sustainable cities and society, 72, 103045.

Yu, b. (2021). Urban spatial structure and total-factor energy efficiency in chinese provinces. Ecological indicators, 126, 107662.

Zhang, y., & li,, .. (1111)1 Digit— ii mll tt inn frr iii lii gg'' ttt rrrr trrr mll mmmfrr t in rr ban neighborhoods. Buildings, 11(11).

Zari, m.p. (2018). Regenerative urban design and ecosystem biomimicry (1st ed.). Routledge. Https://doi.org/10.4324/9781315114330

نحوه ارجاع به مقاله:

فرخی، مریم؛ کریمی‌نیا، شهاب (۱۴۰۱)، ارزیابی نقش فرم شهری در مصرف انرژی توده‌های ساختمانی و آسایش حرارتی فضاهای باز شهری در اقلیم گرم و خشک، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۱ (۴۴)، ۷۸-۵۸، Dor: 20.1001.1.20087845.1401.11.44.4.7

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – acsses article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.