مطالعات معماری ایران ۲۰

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دهم، شماره ۲۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۰

◆ کاشی‌های هفت‌رنگ مزار در زیارتگاه‌های سلطان عطابخش و سلطان امیراحمد کاشان (سدهٔ دهم تا سیزدهم ه. ق)
● محمدرضا غیاثیان/ محمد مشهدی نوش‌آبادی

◆ بررسی آرایه‌های آجری خانه‌های تاریخی بهبهان در دورهٔ پهلوی
● زینب مشهور

◆ مساجد جامع شهر کرمان؛ شناسایی و تبیین جایگاه شهری و تاریخی
● ذات‌الله نیک‌زاد

◆ مقایسهٔ عملکرد حرارتی شگردهای اقلیمی دُرچَه، کُلَک و خارخُنَه در دورهٔ گرم سال در مسکن بومی منطقهٔ سیستان
● محمدعلی سرگزی/ منصوره طاهباز/ اکبر حاج ابراهیم زرگر

◆ سنجش عملکرد عناصر اقلیمی خانه‌های سنتی بافت تاریخی شیراز با رویکرد آسایش حرارتی؛ مورد پژوهی: ایوان
● جمشید کریم‌زاده/ جمال‌الدین مهدی‌نژاد درزی/ باقر کریمی

◆ ارزیابی میزان خلاقیت و موفقیت تحصیلی دانشجویان معماری دانشگاه تهران از منظر ربع‌های چهارگانهٔ مغزی ند هرمان
● فؤاد خرّمی/ سید امیرسعید محمودی/ مصطفی مختاباد

◆ تحلیل فناوری ساخت بنای سد تاریخی کریت طبس
● امیرحسین صادق‌پور

◆ مطالعهٔ تطبیقی ریخت‌شناختی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی
● مصطفی حسینی/ محمود شکوهی/ فرشاد نصرالهی

◆ مطالعهٔ تطبیقی لانهٔ موریانه و مجموعهٔ زیرزمینی نوش‌آباد
● بابک عالمی

◆ شاخص‌های به‌کارگیری ظرفیت میراث‌فرهنگی برای توسعهٔ پایدار اقتصاد محلی
● سارا تیمورتاش/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

◆ واکاوی مؤلفه‌های مؤثر بر طبقه‌بندی آثار میراث معماری بر اساس رویکردها و سیاست‌های حفاظت در کشورهای اروپا
● ساشا ریاحی‌مقدم/ محمدحسن طالبیان/ اصغر محمدمرادی

◆ یک مدل نظری برای مطالعهٔ روابط همسایگی در محیط‌های مسکونی
● رضا سرّعلی/ شهرام پوردیهیمی

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دهم، شماره ۲۰، پاییز و زمستان ۱۴۰۰
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی‌پور
سردبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به‌ترتیب الفبا):
دکتر ایرج اعتصام. استاد دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات
دکتر عباس اکبری. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر حمیدرضا جیحانی. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر پیروز حناچی. استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری. استاد دانشگاه تهران
دکتر محمدصادق طاهر طلوع دل. دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دکتر علی عبد الرئوف. استاد دانشگاه حمد بن خلیفه قطر
دکتر علی عمرانی‌پور. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر فاطمه کاتب. استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر حسین کلانتری. استاد جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی. استاد دانشگاه کاشان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی و پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی است.

نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می‌شود.

تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: محمد موحدنژاد
(شبستان مسجد جامع اصفهان)
ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت‌پور
ویراستار انگلیسی: غزل نفیسه تابنده
همکار اجرایی: نغمه اسدی چیمه
دورنگار: ۵۵۹۱۳۱۳۲-۰۳۱
نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۵۳۱۵۳-۸۷۳۱۷
رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir
شاپا: ۰۶۳۵-۲۲۵۲

ناشر: مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری (RICeST)
انتشارات: ۳۶۴۶۸۴۵۲-۰۷۱
نمابر: ۳۶۴۶۸۳۵۲-۰۷۱

این نشریه در «ایران ژورنال» نظام نمایه‌سازی مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری (RICeST) به نشانی http://ricest.ac.ir و پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) به نشانی http://isc.gov.ir نمایه می‌شود.

فهرست

۵ **کاشی‌های هفت‌رنگ مزار در زیارتگاه‌های سلطان عطابخش و سلطان امیراحمد کاشان (سدهٔ دهم تا سیزدهم ه. ق)**
محمدرضا غیاثیان/ محمد مشهدی نوش‌آبادی

۲۷ **بررسی آرایه‌های آجری خانه‌های تاریخی بهبهان در دورهٔ پهلوی**
زینب مشهور

۴۹ **مساجد جامع شهر کرمان؛ شناسایی و تبیین جایگاه شهری و تاریخی**
ذات‌الله نیک‌زاد

۶۷ **مقایسهٔ عملکرد حرارتی شگردهای اقلیمی دُرچَه، کُلَک و خارخُنَه در دورهٔ گرم سال در مسکن بومی منطقهٔ سیستان**
محمدعلی سرگزی/ منصوره طاهباز/ اکبر حاج ابراهیم زرگر

۸۹ **سنجش عملکرد عناصر اقلیمی خانه‌های سنتی بافت تاریخی شیراز با رویکرد آسایش حرارتی؛ مورد پژوهی: ایوان**
جمشید کریم‌زاده/ جمال‌الدین مهدی‌نژاد درزی/ باقر کریمی

۱۱۷ **ارزیابی میزان خلاقیت و موفقیت تحصیلی دانشجویان معماری دانشگاه تهران از منظر ربع‌های چهارگانهٔ مغزی ند هرمان**
فؤاد خرّمی/ سید امیرسعید محمودی/ مصطفی مختاباد

۱۳۵ **تحلیل فناوری ساخت بنای سد تاریخی کُریت طبس**
امیرحسین صادق‌پور

۱۵۳ **مطالعهٔ تطبیقی ریخت‌شناختی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی**
مصطفی حسینی/ محمود شکوهی/ فرشاد نصراللهی

۱۷۷ **مطالعهٔ تطبیقی لانهٔ موریانه و مجموعهٔ زیرزمینی نوش‌آباد**
بابک عالمی

۱۹۵ **شاخص‌های به‌کارگیری ظرفیت میراث‌فرهنگی برای توسعهٔ پایدار اقتصاد محلی**
سارا تیمورتاش/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

۲۱۳ **واکاوی مؤلفه‌های مؤثر بر طبقه‌بندی آثار میراث معماری بر اساس رویکردها و سیاست‌های حفاظت در کشورهای اروپا**
ساشا ریاحی‌مقدم/ محمدحسن طالبیان/ اصغر محمدمرادی

۲۳۹ **یک مدل نظری برای مطالعهٔ روابط همسایگی در محیط‌های مسکونی**
رضا سرّعلی/ شهرام پوردیهیمی

۲۵۹ **راهنمای تدوین و ارسال مقاله**

۲۶۱ **بخش انگلیسی**

مطالعهٔ تطبیقی ریخت‌شناختی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی*

علمی پژوهشی

مصطفی حسینی**
محمود شکوهی***
فرشاد نصرالله‌ی****

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۵

چکیده

مصرف انرژی ساختمان‌ها و آلودگی‌های زیست‌محیطی منتج از آن، مرهون مورفولوژی یک شهر است. اغلب پژوهش‌هایی که در شهرسازی و انرژی کارایی انجام شده، مصرف انرژی در شهر را در دو مقیاس خرد (تک‌ساختمان) و کلان (حمل‌ونقل، مدیریت شبکه‌ها و زیرساخت‌ها) ارزیابی کرده‌اند. تمرکز بر شکاف بین این دو سطح، یعنی مقیاس میانی و بافت شهری، همچنین لحاظ داشتن آن در فرایند طراحیِ مجموعه‌های ساختمانی و بافت‌های شهری، می‌تواند موجب بهبود وضعیت بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان گردد. در این مطالعه، شهر بیرجند که در منطقه‌ای کویری با شدت دمایی بالا در تابستان و برودت بالا در زمستان قرار دارد، مورد پژوهش قرار گرفته است. با توجه به اینکه پژوهش دو موضوع مصرف انرژی و ریخت شهری را مورد مطالعه قرار داده و هرکدام روش خاص مطالعهٔ خود را دارد، از روش ترکیبی استفاده شده است. لذا در بخش ریخت شهری، از روش ریخت گونه‌شناسی و با بررسی تصاویر هوایی، نقاط عطف زمانی و مکانی دگردیسی بافت شهر بیرجند شناسایی شده است. در بخش انرژی، از هرکدام از بافت‌های شناسایی‌شده، واحدهای مطالعاتی با مساحت ۱۰۰×۱۰۰ مترمربع انتخاب گردیده و توسط نرم‌افزار هانی‌بی، مصرفِ انرژی هرکدام شبیه‌سازی شده است. در نهایت به روش توصیفی‌تحلیلی ارتباط این دو موضوع با یکدیگر مورد سنجش قرار گرفته است. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که ریخت بافت جدید، عملکرد بهتری نسبت به الگوی ریختی بافت قدیم از منظر انرژی کارایی داشته است. همچنین در بین الگوهای فرمی که در جهت‌گیری و نسبت طول به عمق بهینه‌ای قرار گرفته‌اند، وضعیت بهینهٔ تقاضای انرژی در الگویی که کمترین نسبت سطح به حجم را دارد، به وجود می‌آید.

کلیدواژه‌ها:

انرژی کارایی، ریخت‌گونه‌شناسی، بیرجند.

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۰ ـ پاییز و زمستان ۱۴۰۰
صفحات ۱۷۶-۱۵۳ ۱۵۳

* این مقاله مستخرج از رسالهٔ کارشناسی‌ارشد مصطفی حسینی با عنوان *مطالعهٔ تطبیقی ریخت‌شناختی بافت قدیم و جدید شهر بیرجند از منظر انرژی کارایی (مطالعهٔ موردی: دو بافت قدیم و جدید منتخب از شهر بیرجند)* به راهنمایی نویسندگان دوم و سوم می‌باشد که در دانشگاه هنر اصفهان به انجام رسیده است.

** کارشناس‌ارشد طراحی شهری، دانشگاه هنر اصفهان، نویسندهٔ مسئول، mostafahosseini1994@gmail.com
*** استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان
**** استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی ، دانشگاه هنر اصفهان

پرسش‌های پژوهش

۱. گونه‌های ریختی بافت شهر بیرجند کدام‌اند؟
۲. هرکدام از این ریخت‌گونه‌ها چه عملکردی از منظر تقاضای انرژی دارند؟
۳. چه عواملی باعث تفاوت تقاضای انرژی ریخت‌گونه‌ها می‌شوند؟

مقدمه

ارائهٔ جایزه صلح نوبل ۲۰۰۷ به هیئت بین‌المللی تغییر آب‌وهوا و موضوعاتی ازاین‌دست، آگاهی‌دهندهٔ این موضوع است که تغییرات آب‌وهوایی مسئله‌ای است ویژه که توسط انسان ایجاد شده است (Oliveira 2016). چراکه گرم شدن کرهٔ زمین و افزایش گازهای گلخانه‌ای و تأثیر آن بر تغییرات آب‌وهوایی و بحران‌های زیست‌محیطی، همگی وابسته به مصرف انرژی است. آمارها نشان می‌دهد که ۶۰ تا ۸۰ درصد انرژی جهانی در شهرها به مصرف می‌رسد (Grubler et al. 2012). امروزه کشور ما نیز با مسئلهٔ مصرف انرژی غیرمتعارف و در حال رشد مواجه است که تاکنون سبب ایجاد مشکلات متعدد در ابعاد و زمینه‌های متفاوت شده است. بخش مسکن بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ انرژی در ایران است؛ بیش از ۴۰ درصد انرژی کشور در این بخش مصرف می‌شود. از سوی دیگر، میانگین مصرف انرژی در ساختمان‌های ایران ۲/۵ برابر متوسط جهانی است (Nasrollahi 2009). مصرف بالای انرژی و تأمین بیش از ۹۷ درصد از انرژی کشور از طریق سوخت‌های فسیلی، سبب تغییرات آب‌وهوایی و مشکلات متعدد زیست‌محیطی شده که در حوزه‌های شهری به‌ویژه شهرهای بزرگ‌تر، در کیفیت زندگی و سلامت شهروندان اثرات منفی قابل توجهی گذاشته است. با توجه به این موضوع که مصرف انرژی غیرقابل اجتناب است، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایران به‌لحاظ حفاظت از منابع انرژی، جلوگیری از ضرر و زیان اقتصادی، مقابله با تغییرات آب‌وهوایی و مشکلات زیست‌محیطی، ضرورت و اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

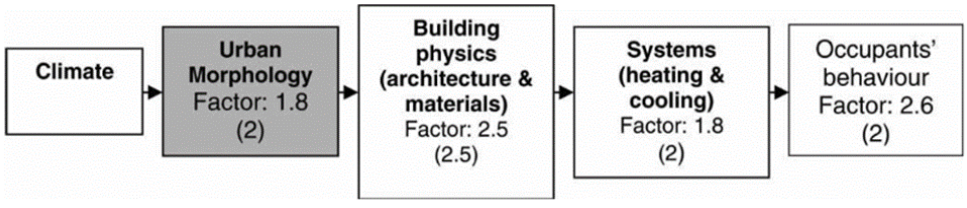
مصرف انرژی ساختمان‌ها و آلودگی‌های زیست‌محیطی منتج از آن مرهون مورفولوژی یک شهر است و پایداری آیندهٔ شهرها می‌تواند با استراتژی‌های طراحی ارتقا یابد (Allen-Dumas et al. 2020). ریخت‌شناختی یا مورفولوژی شهری به‌طور مستقیم با تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی ارتباط دارد (Gupta and Singh 2017)؛ بنابراین فهم تأثیر هندسهٔ شهری برای بهبود کارایی انرژی ضروری است (Oh and Kim 2019). از منظر اقتصادی، صرفه‌جویی در انرژی حاصل از گزینه‌های طراحی در مقیاس شهری بسیار درازمدت است و نیاز به اقدامات فنی پیشرفته مانند سیستم‌های تهویه، سایه‌اندازی که دارای هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا و عمر مفید کوتاه است را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر تمرکز اصلی بر عملکرد ساختمان به‌صورت منفرد و نادیده گرفتن اثر متقابل ساختمان و زمینه‌اش، از عوامل ایجاد بحران انرژی در شهرها است. اغلب ادبیات پژوهشی درباره انرژی نیز، در دو مقیاس شهر و ساختمان به تحلیل می‌پردازد (Oliveir 2016). تأثیر عناصر هندسهٔ شهری مانند طرح‌بندی و شکل ساختمان روی بلوک‌های شهری، برای کاربست در روش‌های برنامه‌ریزان و طراحان شهری به‌ندرت تحلیل شده‌اند (Oh and Kim 2019)؛ بنابراین با توجه به مقیاس ویژگی‌های کالبدی بافت شهری این سؤال مطرح می‌گردد که فرم ایده‌آل ریختی آیندهٔ شهر بیرجند از منظر انرژی کارایی با توجه به روندهای پیشین گونه‌های ریختی چه می‌تواند باشد؟ از همین رو مطالعهٔ حاضر در پی آن است که با ارائهٔ دورنمایی کلی از وضعیت ریخت‌شناسی شهر بیرجند، سپس انتخاب نمایانگرهای مناسب از ریخت‌گونه‌های این شهر به‌عنوان واحدهای مطالعات ریخت‌شناسی و در نهایت، سنجش مصرف انرژی گرمایش و سرمایش هریک از نمایانگرهای ریختی، به بررسی روابط بین شاخص‌های ریخت‌شناختی و مصرف انرژی بپردازد.

۱. پیشینهٔ پژوهش‌های فرم شهر و تقاضای انرژی ساختمان

رابطهٔ میان فرم شهر و تقاضای انرژی ساختمان‌ها موضوعی است که در سال‌های اخیر توجه بسیاری از متخصصان

حوزهٔ شهری و پایداری را به خود جلب کرده است. سیر زمانی این مطالعات به دو فاز اصلی تقسیم می‌شود: فاز اول از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۷ که سال‌های پدیدار شدن این حوزهٔ تحقیقاتی است و فاز دوم مطالعات از سال‌های ۲۰۰۸ تاکنون که شاهد افزایش توجه و انتشار مقالات در زمینهٔ فرم شهر و تقاضای انرژی هستیم (Quan and Lee 2021). روش‌ها و ابزارهای تخمین تقاضای انرژی در مقیاس شهری به دو دستهٔ عمدهٔ مدل‌های بالا به پایین[۱] و پایین به بالا[۲] دسته‌بندی می‌شود (Swan and Ugursal 2009; Frayssinet et al. 2018; Salvati et al. 2020; Abbasabadi and Ashayeri 2019)؛ روش از بالا به پایین به‌طور عمده مبتنی بر داده‌های آماری است و از اعتبار کمتری برای تخمین تقاضای انرژی شهری برخوردار است (Abbasabadi and Ashayeri 2019). در مدل‌های پایین به بالا، مصرف انرژی در مقیاس شهر از طریق محاسبهٔ تقاضای انرژی هر ساختمان به‌صورت جداگانه صورت می‌گیرد و بیشتر بر مبنای مدل‌های فیزیکی و شبیه‌سازی می‌باشد (Kavgic et al. 2010). متدهای پایین به بالا رویکرد غالب و کاربردی برای مدل‌سازی مصرف انرژی شهری است (Reinhart and Davila 2016). یکی از مهم‌ترین مطالعات در دورهٔ زمانی اول مطالعهٔ راتی می‌باشد (Quan and Lee 2021). راتی از روش شبیه‌سازی برای درک و مقایسهٔ عملکرد انرژی بافت‌های مختلف شهری استفاده نمود؛ او و همکارانش پارامترهای مختلفی از جمله حجم و سطح ساخته‌شده، مناطق منفعل و غیرمنفعل، جهت‌گیری نما، زاویه‌های افق شهری و موانع دید آسمان را برای کار خود در نظر گرفتند (Ratti et al. 2005).

در فاز زمانی دوم از مطالعات، تعداد پژوهش‌های شبیه‌سازی بیش از مطالعات آماری بوده است؛ مطالعات رد[۳]، سالات و کوان نمایندگان اصلی مطالعات شبیه‌سازی در این فاز هستند (Quan and Lee 2021). سالات در سال ۲۰۰۹ به معرفی فاکتورهای مؤثر بر مصرف انرژی در شهرهای آسیایی و اروپایی نظیر فرم شهری، کارایی ساختمان، کارآمدی تجهیزات، رفتار ساکنان و نوع مصرف انرژی پرداخت و با اشاره به تحقیق بیکر و استیمرز در سال ۲۰۰۰ به هریک از عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی به‌ترتیب ضریب ۲، ۲ و ۲/۵ برای فاکتورهای فرم شهری (مورفولوژی)، سیستم‌ها و رفتار ساکنان در نظر گرفت. او با ارزیابی بافت‌های شهری با ریخت‌های متفاوت و لحاظ داشتن دو شاخص فاکتور شکلی و نسبت حجم صلب ساختمان به حجم شفاف ساختمان نشان داد که میزان انرژی کارایی بافت شهری به‌تنهایی می‌تواند میزان مصرف انرژی را تا نصف کاهش دهد؛ بنابراین، این معیار می‌تواند در رسیدن به شهری پایدارتر در آینده بسیار بااهمیت باشد.

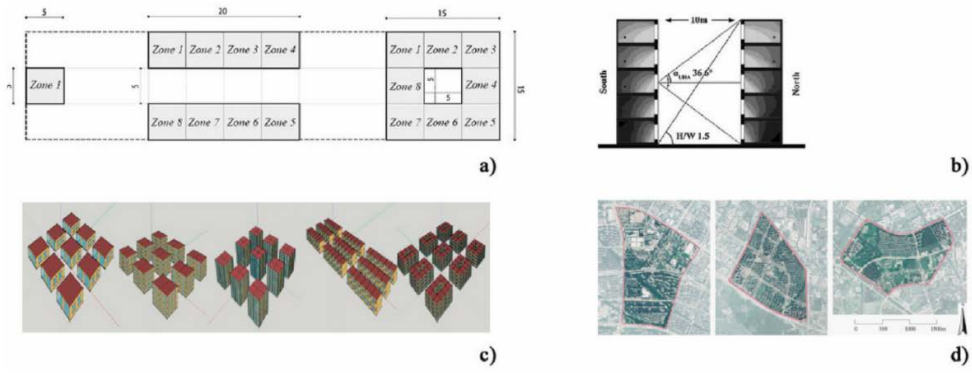


تصویر ۱: فاکتورهای مؤثر بر مصرف انرژی در پاریس، محاسبه‌شده توسط آزمایشگاه مورفولوژی شهری (CSTB). در این فاکتورها به هریک از عوامل مؤثر بر مصرف انرژی ضریب اهمیتی اختصاص داده شده است (Ratti et al. 2005; Salat 2009; Youngsoo and Saehoon 2018)

رد و همکاران میزان تقاضای انرژی گرمایشی را در ارتباط با شاخص‌های تراکم، نسبت سطح به حجم، ارتفاع و سطح اشغال ساختمان در الگوهای مختلف ساختمانی در شهرهای پاریس، لندن، برلین و استانبول ارزیابی کرده‌اند. نتایج این پژوهش، بهره‌وری انرژی گرمایشی را از طریق ایجاد ساختمان متراکم، بلوک‌های فشرده یا ساختمان‌های بلندمرتبه قابل دستیابی می‌داند (Rode et al. 2014).

علاوه بر دسته‌بندی زمانی و مدل‌های تخمین تقاضای انرژی موصوف، تعابیر پژوهشگران این حوزه از فرم شهری به‌طور عمده در چهار گروه شامل مطالعات گروه تیپولوژی[۴]، دره‌های شهری[۵]، شبکهٔ شهری تیپ‌بندی‌شده[۶] و فرم

حقیقی شهر[۷] دسته‌بندی می‌شود. گروه تیپولوژی اشاره به گروهی از تیپ‌های ساختمان‌های ساده‌شده و فرضی دارد که زیرمجموعهٔ یک گونه تعریف می‌شوند. فرم شهری در گروه درهٔ شهری، به‌عنوان درهٔ بین دو خیابان تعریف می‌گردد. گروه شبکهٔ شهری تیپ‌بندی‌شدهٔ فرم شهر را به‌عنوان ماتریسی از ساختمان‌های عام با تیپ خاص تعریف می‌کنند و گروه فرم حقیقی شهر به‌طور مستقیم از الگوهای حقیقی فرم شهر استفاده می‌کند (Quan and Lee 2021).



تصویر ۲: مثال‌هایی از چهار دستهٔ مطالعات فرم شهری و تقاضای انرژی (Quan and Lee 2021).

از پژوهش‌های گروه تیپولوژی می‌توان به مطالعهٔ طالقانی و همکاران در سال ۲۰۱۳ اشاره کرد. طالقانی و همکاران برای مقایسهٔ بین تقاضای انرژی گرمایشی و روشنایی و آسایش حرارتی، سه پیکره‌بندی متفاوت بلوک شهری شامل ساختمان‌های ویلایی، شکل خطی و در نهایت فرم حیاط مرکزی مفروض قرار داده و از طریق آنالیز، اهمیت نسبت سطح به حجم مورد شناسایی قرار گرفت. این تحقیق نشان داد که کاهش نسبت سطح به حجم می‌تواند منجر به کارایی انرژی بالا و آسایش حرارتی بهتری شود (Taleghani et al. 2013). از نمونه پژوهش‌های گروه شبکهٔ شهری تیپ‌بندی‌شده، پژوهش احمدیان و همکاران (Ahmadian et al. 2021) است. این پژوهش از دو شاخص تراکم و به‌طور خاص، پوشش سایت و نسبت قطعه استفاده کرده تا روابط متقابل بین فرم‌های ساخته‌شدهٔ شهری، تراکم و عملکرد انرژی ساختمان را اثبات نماید. این مطالعه که در اقلیم معتدل شهر لندن انجام شده است با محاسبهٔ تقاضای سالانهٔ انرژی برای چهار مدل هندسی نشان داد ساختمان‌های بلندمرتبه با عمق ساختمانی بالا کارایی انرژی بالاتری دارند. علاوه بر این نشان داده شد زاویهٔ قطع شهری بزرگ‌تر در شرایط اقلیمی معتدل با تقاضای انرژی بالاتر همراه است. تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای فرمی از عملکرد انرژی مدل‌ها نشان داد که حیاط مرکزی تونل شکل[۸] و ساختمان‌های منفرد به‌ترتیب بهترین و بدترین عملکرد انرژی را ارائه می‌دهند.

مورگانتی[۹] و همکاران در پژوهشی به‌دنبال شناسایی مجموعه‌ای از شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری[۱۰] (UMIs) بوده‌اند که نشان‌دهندهٔ دقیق‌ترین رابطه با دسترسی خورشیدی بر نما در اقلیم مدیترانه‌ای است. در این پژوهش آن‌ها دسترسی خورشیدی بر نما[۱۱] (SIy) در ۱۴ زمینهٔ شهری[۱۲] در روم و بارسلونا را با توجه به هفت شاخص مورفولوژیکی شهری UMIs تحت عنوان، شاخص سطح اشغال[۱۳] (GSI)، شاخص تراکم به واحد سطح بافت[۱۴] (FSI)، نسبت سطح ساختمان به مساحت سایت[۱۵]، میانگین ارتفاع ساختمان[۱۶]، نسبت حجم به مساحت ساختمان‌ها[۱۷]، نسبت ابعادی ساختمان‌ها[۱۸] (این شاخص به‌عنوان نسبت سطح در معرض ساختمان‌ها به حجم ساختمان‌ها تعریف می‌شود) و شاخص دید به آسمان از نما[۱۹] سنجیدند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که شاخص‌های سطح اشغال (GSI) و نسبت سطح ساختمان به مساحت سایت و فاکتور دید به آسمان همبستگی قوی با دسترسی خورشیدی سطح ساختمان‌ها (Sly) دارند (Morganti et al. 2017).

از جمله پژوهش‌ها می‌توان به گزارش تحقیقاتی سالیانهٔ دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی لندن[۲۰] (LSE) با همکاری

مؤسسهٔ تحقیقات انرژی اروپا (EIFER) در سال ۲۰۱۱ اشاره کرد. در این طرح تحقیقاتی، با شناسایی پنج الگوی معماری ساختمان‌های مسکونی در چهار شهر بزرگ اروپا (لندن، پاریس، برلین و استانبول)، رابطهٔ میان مورفولوژی شهری و کارایی انرژی حرارتی در سه سطح کلان (پیکره‌بندی فضایی شهر، ساختمان‌ها و فضاهای باز مرتبط)، مقیاس میانی (خیابان‌ها و بلوک‌های شهری) و مقیاس خرد (گونه‌شناسی پلاک‌ها و قطعات) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است (LSE به‌نقل از فرخی، ایزدی، و کریمی مشاور ۱۳۹۷). در این راستا طراحی شهری پایدار، توسعهٔ نواحی شهری جدید را از طریق کاربرد استخوان‌بندی شهری صحیح، گونه‌های ساختمانی مناسب، توزیع فضایی مطلوب کاربری‌ها و استفاده از تراکم بهینه تعریف می‌کند.

به‌طور کلی، اندیشمندان بسیاری به تبیین شاخص‌های ریخت‌شناختی انرژی کارایی پرداختند که به‌صورت خلاصه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی در بافت شهری از دیدگاه اندیشمندان

ردیف	پژوهشگر	شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی در بافت شهری
۱	Ratti, Raydan & Steemers (2003)	نسبت سطح به حجم (S/V)، ضریب دید به آسمان SVF
۲	Compagnon (2014)	هندسه، چیدمان و آرایش ترکیبی بلوک‌های شهری، جهت‌گیری، ارتفاع، شکل سقف
۳	Cheng et al. (2006)	طرح چیدمان عمودی و افقی به صورت تصادفی (رندوم)، میزان سطح اشغال سایت، نسبت مساحت ساخت به مساحت قطعه
۴	LSE Cities. (2011)	طراحی شهری پایدار: توسعه نواحی شهری جدید از طریق کاربرد استخوان‌بندی شهری صحیح، گونه‌های ساختمانی مناسب، توزیع فضایی مطلوب کاربری‌ها و استفاده از تراکم بهینه
۵	Van Esch, Looman, and Bruin-Hordijk (2012)	نوع مسکن، جهت‌گیری خیابان، شکل سقف
۶	Taleghani et al. (2013)	هندسه ساختمان، ارتفاع، نسبت سطح به حجم (S/V)
۷	Gupta and Singh (2017)	فرم شهری (هندسه ساختمان)، نسبت عرض (عمق) به طول ساختمان، نسبت‌های فضایی (ratio space): (تابع نسبت L1 به L2 و H به w) یعنی نسبت فاصله بین دو ساختمان به طول ساختمان و ارتفاع ساختمان به عرض خیابان، Aspect Ratio نسبت H به w یا L به L2 یعنی نسبت محصوریت خیابان (ارتفاع H به عرض خیابان W و نسبت فاصله بین دو ساختمان L1 به طول ساختمان L2)
۸	Mohajeri et al. (2016)	نسبت حجم به سطح، تراکم ساختمانی: تعداد کل ساختمان‌های واحد همسایگی تقسیم بر مساحت کل واحد همسایگی، نسبت همسایگی، پوشش سایت، نسبت طبقه
۹	Morganti et al. (2017)	نسبت سطح به حجم (S/V)، نسبت سطح ساختمانی به مساحت قطعه VHurb (Si/A)، (SVF) ضریب دید به آسمان، GSI شاخص سطح اشغال، FSI مجموع مساحت طبقات/مساحت کل قطعه زمین، Hbld نسبت مجموع حجم ساختمان‌ها به مجموع مساحت ساخته‌شده قطعات، V/A نسبت مجموع حجم ساختمان‌ها به مساحت سایت (قطعه)
۱۰	Oh adn Kim. (2019)	نسبت ارتفاع بسته‌شده به عرض دره شهری (H/W)، نسبت سطح به حجم (S/V)، نسبت محیط به مساحت (P/A)
۱۱	Okeil. (2010)	بلوک‌های مسکونی خورشیدی (RSB) به‌عنوان فرم‌های ساختمانی انرژی‌کارا، تابش خورشیدی زمستان را افزایش می‌دهد که منجر به حداکثر سازی پتانسیل استفاده منفعل از انرژی خورشیدی می‌شود
۱۲	Rode et al. (2014)	بهره‌وری انرژی گرمایشی از طریق ایجاد ساختمان متراکم، بلوک‌های فشرده یا ساختمان‌های بلندمرتبه
۱۴	Strømann-Andersen (2010)	هندسه دره‌های شهری بر کل مصرف انرژی در محدوده تا ۳۰٪ برای ادارات و + ۱۹٪ برای مسکن اثر می‌گذارد. هندسه دره‌های شهری، عاملی کلیدی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها است
۱۵	Andreou (2014)	تأثیر بسیار پارامترهایی همچون آرایش، هندسه و جهت‌گیری معابر بر شرایط سایه‌اندازی و دسترسی به انرژی خورشیدی دره‌های شهری بر شرایط خرد اقلیم دره‌های شهری مانند درجه حرارت هوا و دمای سطحی
۱۶	Martins, Adolphe, and Bonhomme (2013)	متوسط ارتفاع ساختمان، نسبت فضای باز و ساخته‌شده نسبت به کل مساحت مجموعه، میزان سطوح خارجی در ارتباط با هوا
۱۷	Ahmadian et al.(2021)	شاخص تراکم، به طور خاص، پوشش سایت و نسبت قطعه

۲. مبانی نظری

۲. ۱. طراحی شهری انرژی‌کارا

کریوتزیگ[۲۱] و همکاران در سال ۲۰۱۵ نشان دادند اگر روندهای فعلی توسعهٔ شهری ادامه یابد، مصرف انرژی شهری تا سال ۲۰۵۰ به حداقل سه برابر میزان مصرف انرژی در سال ۲۰۰۵ افزایش خواهد داشت. از طریق سیاست‌های برنامه‌ریزی و طراحی شهری شاید بتواند این افزایش گسترده در مصرف انرژی شهری را محدود کرده به‌گونه‌ای که فرم شهرها اثرات کاهشی بسزایی در تقاضای انرژی داشته باشند (Allen-Dumas et al. 2020). طراحی شهری انرژی کارا را می‌توان یکی از اقدامات برای کاهش تقاضای انرژی و دستیابی به توسعهٔ پایدار نامید. واژهٔ کارایی در لغت به‌معنای درست‌کار یا استفادهٔ درست از چیزی است، به‌طوری‌که اتلاف وقت، پول و انرژی در آن حداقل باشد (IEA 2017).

مفهوم کارایی انرژی در ابتدا در صنایعی نظیر، صنایع الکتریکی و ماشین‌آلات و در سیستم‌های حمل‌ونقل مطرح شد و پس از آن دامنهٔ آن به حوزهٔ شهرسازی گسترش یافت. بیشترین مصرف انرژی نیز در بُعد شهرسازی به حمل‌ونقل، گرمایش و سرمایش و روشنایی اختصاص می‌یابد که در این بین روشنایی جزء کوچکی را در حدود ۷ درصد در بر می‌گیرد و قابل توجه نیست (Roosa 2004). همانند طراحی و اجرای ساختمان‌ها با حداقل میزان اتلاف انرژی، لازم است طراحی بلوک‌های ساختمانی در مقیاس‌های بزرگ‌تر واحدهای همسایگی و محله‌ها در راستای نیل بهینه‌سازی مصرف انرژی در بافت‌های شهری صورت پذیرد. ازاین‌رو انرژی کارایی در حوزهٔ شهرسازی به امر حداقل‌سازی مصرف انرژی در شهر می‌پردازد و برای این مقصود، از برنامه‌ریزی سکونتگاه‌ها، کنترل نحوهٔ ساخت‌وساز و نحوهٔ چیدمان ساختمان‌ها بهره می‌گیرد (Franchi به‌نقل از مرتضایی و دیگران ۱۳۹۹). توجه به تراکم، فشردگی بافت، جهت‌گیری، نحوهٔ استقرار توده در فضا، شکل بلوک، تناسبات بلوک، طرح چیدمان در ابعاد متفاوت، پیکره‌بندی آن‌ها، هندسهٔ دره‌های شهری تأثیر پذیرفته از این چیدمان از جمله مواردی هستند که مصرف انرژی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. طراحی انرژی کارا یک طراحی چندجانبه‌نگر است و ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را در بر می‌گیرد. با توجه به شرایط اقلیمی ایران و پتانسیل بسیار بالای کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها با به‌کارگیری طراحی شهری متناسب با اقلیم و تدوین ضوابط و مقررات، شهرسازی انرژی‌کارا برای اقلیم‌های مختلف ایران، تأثیر عمده‌ای بر کاهش مصرف انرژی‌بخش ساختمان و در نتیجه بر مصرف انرژی کل کشور خواهد داشت.

۲. ۲. فرم شهر، ریخت‌شناسی و مصرف انرژی

در نگاهی کلان، مؤلفه‌هایی را که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر میزان مصرف انرژی تأثیرگذارند، می‌توان در یک تقسیم‌بندی به‌صورت زیر بیان نمود که فرم یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌هاست:

۱. ویژگی‌های محیط طبیعی؛
۲. ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی شهری؛
۳. عملکردهای غالب شهر در مقیاس کلان و بین‌المللی؛
۴. ویژگی‌های سیستم‌های انرژی شهری هم از نقطه‌نظر مدیریت و هم توزیع؛
۵. فرم (ریخت بافت شهری، ساختارها و تراکم) (GEA 2012).

لینچ[۲۲] (۱۹۸۱) فرم شهر را این‌گونه تعریف می‌کند: «فرم شهر عبارت است از نظم فضایی اشخاصی که مشغول کارند. نتیجهٔ جریان فضایی افراد، کالاها، اطلاعات و خصوصیات فیزیکی که فضا را متناسب با فعالیت‌ها تغییر می‌دهند.» پیام این تعریف آن است که فرم شهر ترکیب پیچیده‌ای از ویژگی‌های کالبدی و غیرکالبدی، همچون جریان‌های کالا و انسان‌هاست (لینچ ۱۹۸۷)؛ بنابراین تعریف امکان شناسایی چهار جنبهٔ وسیع بر اساس تجزیه‌وتحلیل محیط مورد سکونت، طبقه‌بندی‌ها و روابط وجود دارد:

۱. روابط ویژهٔ پدیده‌های فیزیکی اعم از فرم محیط طبیعی و فرم محیط ساخته‌شده.
۲. روابط بین انسان و پدیده‌های فیزیکی شامل زمینهٔ اجتماعی و اقتصادی، عملکردها و فعالیت‌ها، نیت‌ها، ساخت‌وسازها و ادراک.

۳. جریان‌ها شامل جریان‌های طبیعی، جریان‌های انسانی، جریان‌های انرژی و اطلاعات.
۴. تغییرات شامل شکل‌گیری، تغییر شکل، دورهٔ تغییرات (Kropf 2013a).

معمولاً در بررسی فرم شهری از تعاریف جغرافی‌دانان استفاده می‌شود. جغرافی‌دانان در مطالعهٔ فرم شهر، فقط به ریخت شهر می‌پردازند (Carmona et al. 2003). ریخت‌شناسی شهری، جریانی عمده در مطالعهٔ شکل شهر در جغرافیای شهری است که به بررسی شکل بافت‌های شهری و گونه‌بندی آن در وضع موجود می‌پردازد (Madanipour 2001) و یکی از مهم‌ترین رویکردهای کالبدی به شهرهاست که از اواخر قرن نوزدهم میلادی جای خود را در میان سایر شاخه‌های علم، به‌عنوان یک دانش سازمان‌یافته باز کرده است (Oliveira 2016).

به‌طورکلی توافق عمومی از عناصر اصلی فرم شهری الگوی ساختمان، الگوی قطعات، الگوی بلوک و خیابان است که به‌طور مستقیم در ادبیات مکتب بریتانیا ردیابی شود. استفن مارشال[۲۳] در کتاب *طراحی، شهرها و تکامل* (۲۰۰۸) نیز این عناصر را در بررسی خود از تکامل فرم شهری مشخص می‌کند. این عناصر در رویکردی سلسله‌مراتبی، در نهایت بافت شهری را تشکیل می‌دهند (Kropf 2013; Oliveira 2016). مطالعات مورفولوژی شهری در سه مکتب ایتالیایی، انگلیسی و فرانسوی و چهار رویکرد ریخت‌گونه‌شناسی[۲۴]، پیکره‌بندی[۲۵]، تاریخی جغرافیای[۲۶] و آنالیز فضایی[۲۷] دسته‌بندی می‌شود. رویکرد ریخت‌گونه‌شناسی با نگرش انتقادی به محیط ساخته‌شده با بررسی ساختار دقیق و روند تاریخی شکل‌گیری آن در جست‌وجوی رسیدن به پیشنهادهای طراحی از زمینه برای توسعه‌های آتی است (Kropf 2017b, 16-17).

کانسپت نمایانگر بافت شهر یک ابزار تحلیلی توصیفی کاربردی است که یک نقطهٔ میانی را به‌عنوان کانون تحلیلی بافت لحاظ می‌کند و کلید فهم ساختارهای بزرگ مقایس سکونتگاه‌ها می‌باشد. مفهوم کلی نمایانگر بافت شهری در طیف گسترده‌ای از تحقیقات با تمرکز بر عملکرد محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گرایش این تحقیقات عمدتاً تمرکز بر روی معیارهای عملکردی مانند مصرف انرژی و شاخص‌های شرایط محیطی دارد که برخاسته از تفاوت گونه‌ها و اجزای فرم شهری هستند (Kropf 2017, 88-89, 180-181). این مفهوم در مطالعهٔ اسمند[۲۸] جهت ارزیابی پایداری بافت‌های شهری مختلف با عنوان گونه‌های ساختاری شهری[۲۹] یا واحدهای ساختاری شهری[۳۰] نام برده شده است. در نهایت با توجه به تمرکز تحلیلی محقق، مقایسهٔ عملکرد نسبی گونه‌ها توسط ابزارها و معیارها مختلف صورت می‌گیرد (Osmond 2010).

تصویر ۳: سلسله‌مراتب عناصر اصلی فرم ساخته‌شده(Kropf 2014)

واحدهای مورد سنجش از فرم شهر در پژوهش‌های ریخت‌شناسی و کارایی انرژی نیز متنوع است و بستگی به هدف پژوهشگر و تمرکز تحلیلی وی دارد. این موارد در چهار دستهٔ سنجه‌های تراکم، سنجه‌های هندسی، سنجه‌های کاربری زمین و سنجه‌های گونه‌شناسی دسته‌بندی می‌شود. شاخص‌های گروه تراکم شامل شاخص تراکم به واحد سطح بافت، پوشش سایت یا سطح اشغال، تراکم جمعیتی، تراکم مسکونی، شاخص پراکندگی شهری هستند. شاخص‌های هندسی شامل نسبت سطح به حجم، کشیدگی ساختمان، نسبت سطح شفاف، ارتفاع ساختمان‌ها، جهت‌گیری، نسبت ارتفاع به عرض خیابان‌ها، ضریب دید به آسمان است. مطالعاتی گروه گونه‌شناسی عمدتاً به هدف ارائهٔ رتبه‌بندی کارایی انرژی گونه‌های مختلف صورت می‌گیرد و از فرم حقیقی شهر برای مقایسهٔ کلی آنان با یکدیگر استفاده می‌شود. در این مطالعات به‌علت خاص بودن و تنوع بالای گونه‌ها مبنای پایه‌ای برای مقایسه وجود ندارد (Quan and Lee 2021).

از میان متغیرهایی که توسط پژوهشگران مختلف برای شناسایی ارتباط بین تقاضای انرژی و فرم شهر معرفی شده‌اند، رایج‌ترین متغیر تراکم است (Ahmadian et al. 2021). شاخص‌های تراکم جمعیتی، تراکم مسکونی و شاخص پراکندگی شهری بیشتر در مطالعات آماری استفاده می‌شود. از سال ۲۰۰۸ که فاز دوم مطالعات شروع شده، دو سنجهٔ دیگر شاخص تراکم یعنی تراکم در واحد سطح و سطح اشغال در مطالعات پیاپی به‌عنوان متغیری که همبستگی بالایی در ارتباط با جنبه‌های فیزیکی فرم شهر و تقاضای انرژی داشته معرفی گردیده است. تمامی متغیرهای گروه سنجه‌های هندسی به جز شاخص سطح به حجم در دورهٔ دوم معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است (Quan and Lee 2021).

کوان و لی[۳۱] در سال ۲۰۲۱، بر اساس نتایج مطالعات پیشین، آن دسته از شاخص‌های فرم شهری که بیشترین میزان همبستگی را با تقاضای انرژی داشته‌اند، معرفی کرده‌اند. شاخص‌های تراکم در واحد سطح، پوشش سایت، نسبت سطح به حجم، ارتفاع، نسبت ارتفاع به عرض و جهت‌گیری به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌های گروه مطالعات شبیه‌سازی که تمرکز بر جنبه‌های فیزیکی (نه عملکردی و پوشش گیاهی) فرم شهر داشته‌اند، ذکر شدند. تعاریف برخی از شاخص‌های فوق و نحوهٔ تأثیرشان بر مصرف انرژی به شرح جدول ۲ می‌باشند.

جدول ۲: تعاریف برخی از شاخص‌های ریخت‌شناسی مؤثر بر مصرف انرژی در بلوک‌های ساختمانی شهری بر اساس دیدگاه اندیشمندان

ردیف	شاخص	تعریف
۱	**جهت‌گیری** (Ali-Toudert & Mayer 2007)	زاویهٔ قرارگیری بلوک ساختمانی نسبت به جهات جغرافیایی در زمینهٔ شهری است؛ که می‌تواند نشان‌دهندهٔ موقعیت پوستهٔ حرارتیِ در معرض زاویهٔ تابش، میزان سایه‌اندازی و جریان هوا باشد.
۲	**ارتفاع و تعداد طبقات** (Wang et al. 2017) (Nasrollahi 2013)	فاکتور تعداد طبقات بلوک ساختمانی، نسبت سطح به حجم و به‌تبع آن میزان اتلاف انرژی را از طریق پوستهٔ حرارتی ساختمان و در نتیجه مصرف گرمایش و سرمایش را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. فاکتور تعداد طبقات علاوه بر نسبت سطح به حجم، بر نسبت مساحت سقف به مساحت زیربنا نیز تأثیر می‌گذارد که مستقیماً در مصرف انرژی ساختمان مؤثر است.
۳	**نسبت سطح به حجم بلوک ساختمانی (S/V)** (Dekay and Brown 2013)	نشان‌دهندهٔ میزان مساحت اجزای مختلف و کل پوستهٔ حرارتی بلوک ساختمانی مؤثر بر دریافت انرژی تابشی و سایه بر مصرف گرمایش و سرمایش است.
۴	**فرم و هندسه** (Hachem et al. 2013)	شاخص فرم و هندسه نمایانگر نحوهٔ ترکیب و چیدمان تودهٔ ساختمانی و خلق فرم‌های نظیر حیاط مرکزی، U شکل، L شکل یا سایر فرم‌های ممکن است.
۵	**پوشش سایت** (Ahmadian et al. 2021)	این شاخص از نسبت زیربنای ساختمان به مساحت سایت به دست می‌آید.
۶	**نسبت ارتفاع بلوک به عرض خیابان (H/W)**	نشان‌دهندهٔ میزان تابش دریافتی به سطوح عمودی و افقی در بلوک ساختمانی و معابر، سایه‌اندازی و جریان باد است.
۷	**تراکم در واحد سطح FSI**	این شاخص از نسبت تراکم ساختمانی به سطح سایت به دست می‌آید.

۳. روش پژوهش

مطالعهٔ حاضر از حیث هدف کاربردی است. به‌منظور سنجش ارتباط مابین متغیرهای ریخت‌شناسی بافت شهری و میزان مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش در الگوهای چهارگانهٔ شهر بیرجند از روش‌های توصیفی‌تحلیلی و استدلال منطقی، همچنین ابزارهای مطالعات ریخت‌گونه‌شناسی، مدل‌سازی سه‌بعدی و شبیه‌سازی گونه‌های ریختی استفاده شده است. بنا بر هدف پژوهش، ابتدا گونه‌های ریختی شهر بیرجند با بررسی نقشه‌های هوایی و با استفاده از رویکرد ریخت‌گونه شناسایی، شناسایی و تعریف شدند. همان طور که باتتی[۳۲] (1999) ذکر می‌کند: «اصلی‌ترین زمینه که پشتوانه‌ای برای پژوهش‌های ریخت‌شناسی شهری است بناگذاری واحدهای توصیفی پایه‌ای مورفولوژیکی است.» انتخاب سمپل از نمایانگرهای بافت شهری، در تحقیقات حوزهٔ کارایی انرژی و فرم شهری که از رویکردهای مورفولوژی شهری استفاده می‌کنند، به‌نحوی است که نمونهٔ انتخاب‌شده از ریخت‌گونه‌های بافت شهری تا حد ممکن خالص و همگن باشد. به‌عبارت دیگر مقیاس نمونهٔ نمایانگرهای بافت شهری در مطالعاتی که فرم حقیقی شهر را مورد تحلیل قرار می‌دهند، بسته به شعاعی که نمونه‌های همگن در آن قرار می‌گیرد متغیر می‌شود. برای مثال، رد در مطالعهٔ خود نمونه‌هایی با شعاع ۵۰۰ در ۵۰۰ مترمربع استفاده کرد. در برخی مطالعات سمپل‌های با طول ۲۵۰ در ۲۵۰ متر به‌عنوان واحد مناسب معرفی شده (Stewart and Oke 2012 and Salvati et al. 2020)، در برخی پژوهش‌ها نیز انتخاب نماینگرهایی از طیفی با شبکهٔ به شعاع ۱×۱ کیلومترمربع (Theurer 1999) تا ۱۰۰×۱۰۰ مترمربع (Cionco and Elleefen 1998) نیز دیده شده است.

کروف[۳۳] نیز تعریف یک مرز مستطیل با مربع‌شکل را مناسب‌ترین راه برای تعریف سمپل مطالعاتی معرفی می‌کند و از آن به‌عنوان مرزهای دلبخواه[۳۴] نام می‌برد (Kropf 2017 52)؛ بنابراین پس از شناسایی ریخت‌گونه‌ها با بررسی تصاویر هوایی و شناسایی نقاط عطف زمانی و مکانی دگردیسی بافت‌های شهر بیرجند، با در نظر گرفتن حفظ ماهیت ریخت‌شناسانهٔ هر بافت، واحدهای با مساحت ۱۰۰×۱۰۰ مترمربع به‌عنوان مقیاس مناسب نمونهٔ مطالعه (به‌ترتیبی که نمایانگر جنبه‌های ریختی آن بافت باشد) به‌منظور انجام فرایند تحلیل انتخاب شده است.

در ادامه، روند شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار هانی‌بی[۳۵] صورت گرفته است. هانی‌بی نیز از پلاگین‌های پارامتریک آنالیز محیطی گرس‌هاپر[۳۶] بوده که آن را به موتورهای شبیه‌سازی اعتبارسنجی‌شده نظیر انرژی پلاس[۳۷]، رادیانس[۳۸]، دی سیم[۳۹] و اوپن استدیو[۴۰] برای شبیه‌سازی نور و انرژی مصرفی بنا متصل می‌کند (Roudsari, Pak and Smith 2013). اعتبار و دقت این پلاگین شبیه‌سازی توسط چندین محقق مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است (Xu et al. 2020) نظیر پژوهش حسین‌زاده و دیگران (2021). از قابلیت‌های این پلاگین، محاسبهٔ دقیق تقاضای انرژی، نمایش داده‌ها به‌صورت عددی و گرافیکی با توجه به متغیرهای دلخواه و عدم وجود محدودیت در تعریف زون‌های حرارتی[۴۱] و مساحت شبیه‌سازی است. نرم‌افزار نظیر دیزاین بیلدر به‌علت محدودیت در تعریف تعداد زیادی زون‌های حرارتی (احمدی ونهری و مهدیزاده حکاک ۱۳۹۴) برای شبیه‌سازی مصرف انرژی تمامی ساختمان‌ها در یک بافت شهری مناسب نیست. همچنین برای محاسبهٔ مصرف انرژی ساختمان‌ها در نرم‌افزار هانی‌بی داده‌های اقلیمی شهر با فرمت EPW(EnergyPlus Development Team 2018) به نرم‌افزار داده شده است.

از دیگر عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی بافت شهری، مصالح سقف و دیوار، مصالح نما، کف فضاهای شهری، عایق پنجره‌ها ست (Kampf and Robinson 2007; Robinson 2012). در این پژوهش، به‌دلیل اعتبار تحلیلی و مقایسه‌ای نتایج، بر اساس شاخص‌های ریخت‌شناسی شهری معین، تمامی عوامل غیر ریخت‌شناسی مانند رفتار کاربر، کاربری زمین، میزان پوشش فضای سبز، نرخ تعویض هوا، ضریب انعکاس مصالح، ضریب عایق، ضریب انتقال حرارت، مصالح دیوار و نما به‌صورت ثابت برای ریخت‌گونه‌های بافت شهر بیرجند در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین تنها متغیر تأثیرگذار در عملکردهای محیطی، هندسه و پیکره‌بندی شکل شهر است. مقادیر دقیق پارامترهای تأثیرگذار که ثابت در نظر گرفته شده، در جدول ۳ ارائه شده است. متغیرهای هدف تقاضای انرژی گرمایش، سرمایش و تقاضای انرژی کل می‌باشد.

جدول ۳: پارامترها و مقادیر آن‌ها برای شبیه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها با استفاده پلاگین هانی‌بی و موتور انرژی پلاس

Parameter	Setting
Building and zone program template	Midrise apartment
Window-to-wall ratio	0.2
Cooling set point	26 °C
Heating set point	20°C
Internal loads Equipment	3.875 W/m2
Lighting	11.84 W/m2
Infiltration rate	0.0002 m3/s-m2
Occupancy	0.0283 person/m2
Building construction Floor surface	100 mm lightweight concrete with acoustic tile U value=1.45 W/m2 K
Wall surface	200mm heavyweight concrete with insulation U value=0.46 W/m2 K
Window surface	Double glazing of 3mm clear glass with air gap U value=2.36 W/m2 K Solar transmittance=0.837

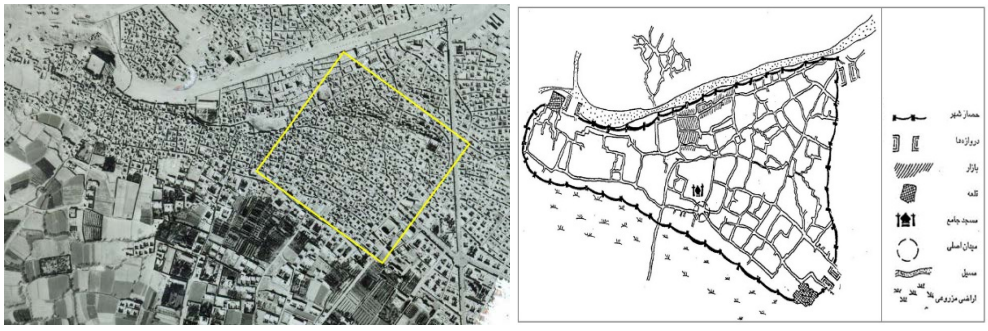
۳. ۱. محدودهٔ مورد مطالعه

بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی و مرکز شهرستان بیرجند است. شهر بیرجند در منطقهٔ نیمه‌بیابانی اقلیم گرم و خشک در شرق فلات مرکزی ایران واقع شده است. بر اساس آمار ۴۶ سالهٔ ایستگاه سینوپتیک بیرجند، متوسط دمای

سالانهٔ این شهر ۱۶/۷ درجه ثبت شده است. دامنهٔ تغییرات زیاد دمای سالیانه و نیز اختلاف زیاد میان حداقل و حداکثر مطلق دما، گویای نوسان زیاد دما و غلبهٔ وضعیت کویری در آب‌وهوای شهرستان بیرجند است. جهت کلی وزش بادها، سالیانه و ماهیانه متغیر بوده و متوسط باد سالیانهٔ ایستگاه بیرجند برابر با ۲/۱۴ نات برآورد شده است. از آنجا که میزان بارندگی سالیانهٔ بیرجند ناچیز (۱۷۴/۴ میلی‌متر) و نوسان حرارتی آن نسبتاً زیاد است (۳۷/۹ درجه سانتی‌گراد)، مقدار ضریب رطوبتی کوچک و برابر ۱۳/۵۵ محاسبه شده است. با توجه به شرایط اقلیمی، بر اساس آباک آمبرژه اقلیم منطقه از نوع «خشک سرد» می‌باشد و نیز تصویر اقلیمی بیرجند بر اساس آباک دمارتن (Demurton) مشخص‌کنندهٔ «آب‌وهوای خشک» است.

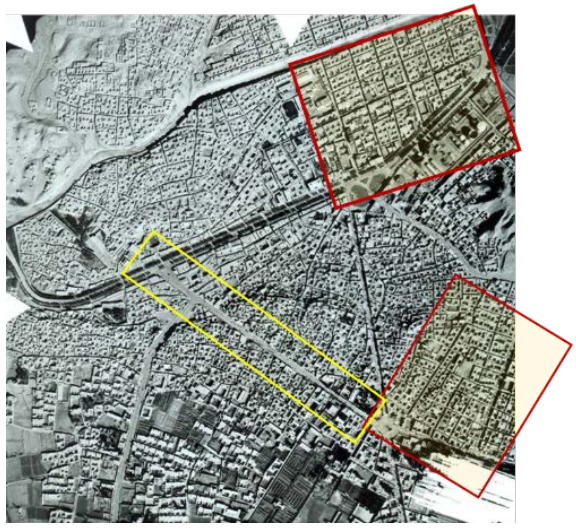
این شهر در دوره‌های مختلف تاریخی دارای تغییراتی در ساختار و منظر شهری خود بوده است؛ و از آنجا که دستورالعمل کلی ساخت‌وساز در شهر بیرجند بر مبنای توسعهٔ شهر بوده و ساخت‌سازی چندانی بر روی بافت قدیم انجام نشده، هستهٔ شهر هم‌اکنون باقی است به‌طوری که کالبد شهر بیرجند به‌راحتی روند توسعهٔ شهر را نشان می‌دهد. بر اساس سه عامل الگوی خیابان، الگوی قطعات و الگوی ساختمان به‌عنوان سه جزء اساسی شکل ساخته‌شده (Kropf 2013; Oliveira 2016) و با بررسی عکس‌های هوایی و مستندات تصویری می‌توان چهار نوع بافت در سیر تکاملی شهر بیرجند به شرح ذیل شناسایی کرد.

ریخت‌گونهٔ اول (بافت سنتی با هستهٔ کهن و تاریخی): شامل هستهٔ اولیهٔ شهر بیرجند حول عنصر مرکزی مسجد چهار درخت که این بافت نمایانگر کارکرد وضعیت شهر سنتی ایرانی است. این محدوده دارای بافتی انداموار و ارگانیک است. وحدت طراحی و رشد تدریجی، دو جزء اصلی این نظم بوده است (وفائی‌فر ۱۳۸۴). این محدوده از منظر جنبه‌های عام ریخت‌شناسی با بررسی سه عنصر اصلی ریخت‌شناسی یعنی الگوی خیابان، الگوی قطعات و الگوی ساختمانی، دارای پیکره‌بندی و ساختاری با الگوی خیابان ارگانیک و الگوی قطعات و ساختمانی حیاط مرکزی است.



تصویر ۴: راست: هستهٔ اولیهٔ شهر بیرجند (وفائی‌فر، ۱۳۸۴)، چپ: موقعیت هستهٔ اولیهٔ شهر در تصویر هوایی گرفته‌شده در سال ۱۳۳۴

ریخت‌گونهٔ دوم (توسعهٔ دگرگون‌شدهٔ هستهٔ کهن و تاریخی): که در طی گذار از سال‌های ۱۳۳۵ و ۱۳۴۵ الگویی با ساختار شطرنجی و الگوی ارگانیک و فشرده قطعات همراه با الگوی ساختمانی حیاط مرکزی ظهور و گسترش اندکی داشت. این الگو را می‌توان نقطهٔ عطف دگردیسی‌های ریخت‌شناسانهٔ شهر بیرجند دانست. این‌گونه بافت با ماهیت بافت‌های قدیمی با ساختار قطعات فشرده پذیرای نخستین نمودهای مدرنیته در شهر بیرجند در دهه‌های ۱۳۲۰ و ۱۳۳۰ خورشیدی است و تا سال ۱۳۴۴ کالبد شهر را شکل می‌دهد. خصوصیات عمدهٔ این بافت، گرایش به شبکهٔ معابر شطرنجی و در عین حال حفظ عناصر قدیمی در سطح ساختمان است (فاطمی و گلزار ۱۳۸۹).



تصویر ۵: موقعیت ریخت‌گونهٔ دوم در پیرامون هستهٔ اولیهٔ شهر در سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۴۵

ریخت‌گونهٔ سوم (گسترش‌های فرمی دگرگون‌شده): در دههٔ ۴۰ با گسترش ناگهانی شهرنشینی به‌واسطهٔ تغییرات در ساختار اقتصادی‌اجتماعی کشور، الگوی بافت جدید با طرح و نقشهٔ متمایز پیرامون بافت قدیم، که در سال‌های ۳۰ و ۴۰ اولین نمودهای خود را در قالب ساختار و الگوی خیابان‌های شطرنجی نشان داده بود و سعی بر این داشت با حفظ الگوی سنتی ساختمان‌ها ماهیت خود را پنهان نماید، اکنون با قدرت بیشتری ظهور می‌یابد و الگوی قطعات و ساختمانش را نیز، در توسعه‌های جدید با خود همراه می‌کند؛ یعنی ظهور الگوهای جدید با ساختاری شطرنجی، بلوک‌های منظم هندسی و سری قطعات ردیفی و الگوهای ساختمانی چندطبقهٔ ۶۰ درصد ساخت که آن را ریخت‌گونهٔ شماره ۳ شهر بیرجند می‌نامیم. این بافت شهری بخش وسیعی از مساحت شهر را به خود اختصاص داده است. الگوی بلوک و طرح‌بندی زمین در این حوزه، بزرگ، منظم و تفکیک‌شده است. این روند ساخت‌وساز تا آغاز سال‌های ۸۰ ادامه می‌یابد (همان). همچنین از دیدگاه فاطمی و گلزار (۱۳۸۹) بافت حاشیه‌ای در شهر با الگوی نزدیک به شبکهٔ شطرنجی، ساخت‌وساز بدون ضابطه و غیرمجاز و نماهای تکمیل‌نشده، بافرهنگ غالب روستایی و تراکم بالای جمعیت شکل‌گرفته است که در این پژوهش در دسته‌بندی بافت سوم قرار می‌گیرد.

تصویر۶: ریخت‌گونهٔ سوم با ساختار شطرنجی و بلوک‌های منظم در سال‌های ۱۳۵۴ به‌بعد

ریخت‌گونهٔ چهارم (بلوک‌های آپارتمانی ردیفی در توسعه‌های جدید): از آن دوره تاکنون به‌دلیل اجرای پروژه‌های انبوه‌سازی تعاونی‌های مسکن و ادارات در اراضی پادگان و سایت اداری و سایر اراضی الحاق‌شده به شهر، شاهد الگوی نوینی از ساخت ساز و بافت شهری هستیم که پیوستگی با الگوهای پیشین نداشته و در راستای پاسخ‌گویی فوری به نیاز مسکن جمعیت شهری پدید آمده است. این الگو را که کاملاً مجزا از الگوهای پیشین بوده، می‌توان سوپر بلوک‌های آپارتمانی ایزوله دانست؛ با ساختار پراکنده و گسسته، همچنین قطعات و ساختمان‌هایی به‌صورت بلوک‌های آپارتمانی.

تصویر ۷: ریخت‌گونهٔ چهارم، بلوک‌های آپارتمانی ایزوله‌شده

جدول ۴: ویژگی‌های چهار گونه بافت در نمونه شهر بیرجند

گونهٔ بافت	نمونه گونهٔ بافت	جنبه‌های عام ریخت‌شناسی	ویژگی‌های عام	نوع قطعه
سنتی با هستهٔ کهن و تاریخی		پیکره‌بندی و ساختار ارگانیک بلوک و قطعات فشرده	هستهٔ تاریخی و کهن	حیاط مرکزی و فرم‌های مشابه
توسعهٔ دگرگون‌شده هستهٔ کهن و تاریخی		ساختار شطرنجی با الگوی ارگانیک قطعات بلوک و قطعات فشرده	مرکز دگرگون‌شده	حیاط مرکزی و فرم‌های مشابه
گسترش‌های فرمی دگرگون‌شده		ساختار شطرنجی بلوک‌های هندسی منظم قطعات و سری قطعات ردیفی	فرم‌های چندطبقه ردیفی با شبکه شطرنجی	حیاط یک‌طرفه ۶۰ درصد ساخت
بلوک‌های آپارتمانی ردیفی در توسعه‌های جدید		ساختار پراکنده و گسسته بلوک‌های آپارتمانی ایزوله‌شده	گسترش‌های فرمی دگرگون‌شده	بلوک‌های آپارتمانی ایزوله

٤. یافته‌های پژوهش

٤. ١. تحلیل نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی سرمایش و گرمایش

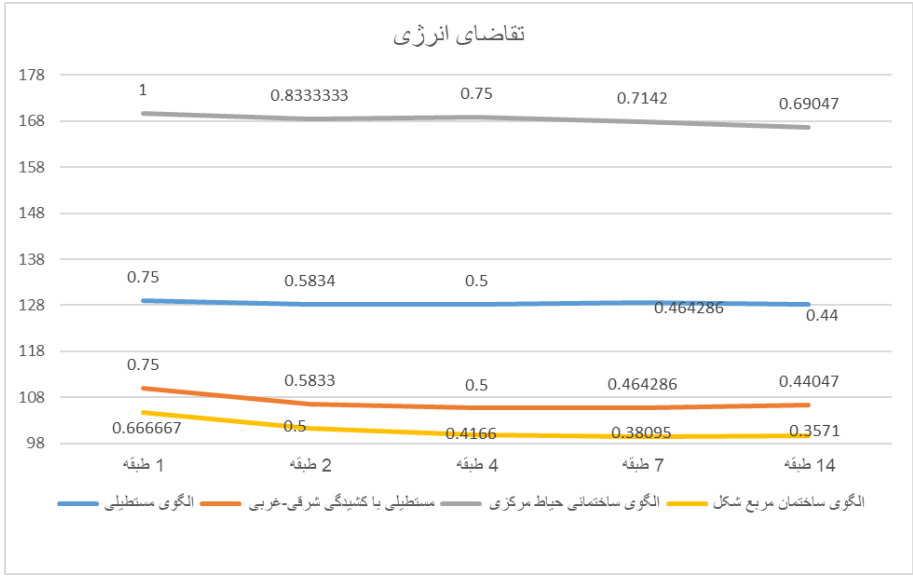
برای شناخت تأثیر ویژگی‌های ریخت‌شناسی بافت شهریِ شهر بیرجند بر میزان تقاضای انرژی، الگوهای چهارگانهٔ بافت مسکونی بیرجند توسط نرم‌افزار هانی‌بی مدل‌سازی شد. جدول ۶ میزان مصرف انرژی سرمایش و گرمایش هر بافت را برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع در سال نشان می‌دهد. بافت شمارهٔ ۱ و ۲ به‌عنوان نمایانگرهایی از بافت قدیم و بافت شمارهٔ ۳ و ۴ به‌عنوان نمایانگرهای بافت جدید در نظر گرفته شده است. همان گونه که نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان می‌دهد، بافت شمارهٔ ۳ با الگوی ردیفی، دارای کمترین میزان تقاضای انرژی بوده و به‌طور کلی بافت قدیم دارای تقاضای انرژی بیشتری نسبت به بافت جدید است.

جدول ۵: نتایج اولیهٔ شبیه‌سازی برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع وضعیت شاخص‌های مورفولوژیکی در هر بافت

بافت	مصرف انرژی کل (کیلووات ساعت بر مترمربع)	مصرف انرژی سرمایش (کیلووات ساعت بر مترمربع)	مصرف انرژی گرمایش (کیلووات ساعت بر مترمربع)	نسبت سطح به حجم	پوشش سایت	نسبت ارتفاع به عرض	تراکم در واحد سطح	ارتفاع
۱	۱۰۴/۷۶۵۴	۴۳/۰۶۶۱۲	۶۱/۶۹۹۲۹	۰/۴۰۰۹۷۱	۰/۷۴۰۲۱۶	۱/۶۶	۰/۷۴۰۲۱۶	۵
۲	۱۳۸/۸۴۲	۵۰/۸۶۱۱۹	۸۷/۹۸۰۸۳	۰/۴۵۶۵۹	۰/۷۱۱۲۴۸	۱/۰۹۸	۰/۷۱۱۲۴۸	۵
۳	۵۹/۲۷۷۰۶	۳۳/۹۰۷۵۱	۲۵/۳۶۹۵۵	۰/۳۰۹۳۶۸	۰/۶۴۴۷۰۹	۰/۵۲	۱/۲۳۲۱۸۷	۶
۴	۶۴/۰۵۴۰۵۳	۳۹/۹۹۲۱۶۵	۲۴/۳۷۷۳۲۷	۰/۲۵۰۳۶۲	۰/۴۸۹۳۶۲	۱/۰۴۷	۲/۹۳۶۱۷	۱۸

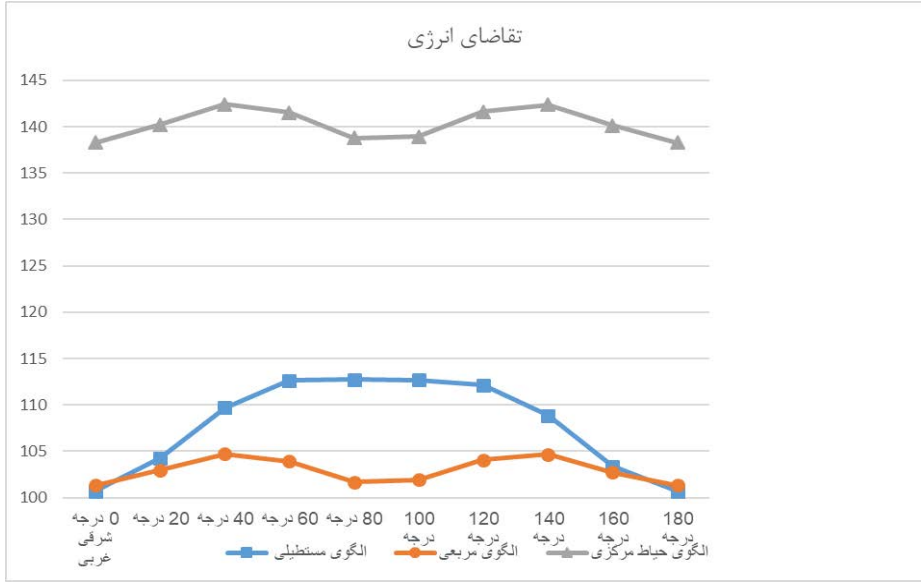
برای یافتن دلیل میزان تقاضای انرژی زیاد در بافت‌های ۱ و ۲ و میزان تقاضای انرژی کم در بافت‌های ۳ و ۴، نحوهٔ رفتار تقاضای انرژی با تغییر وضعیت اصلی‌ترین و مؤثرترین شاخص‌های مؤثر معرفی‌شده در ادبیات پژوهش، شامل شاخص الگوی ساختمان، تعداد طبقات (FSI)، مساحت ساختمان (GSI)، نسبت طول به عمق ساختمان و جهت‌گیری در دو مقیاس تک‌ساختمان و تک‌بلوک که سلسله‌مراتب پایین‌تر بافت شهری را شکل می‌دهند، به‌صورت جداگانه و با کنترل سایر شاخص‌های مؤثر بر میزان تقاضای انرژی مورد تحلیل قرار گرفتند. شاخص‌های مهمی مانند نرخ تعویض هوا، ضریب انعکاس مصالح، ضریب عایق، ضریب انتقال حرارت، مصالح دیوار، نما در تمامی آنالیزها به‌صورت یکسان در نظر گرفته شده است. در مقیاس تک‌ساختمان، نتایج شبیه‌سازی چهار الگوی ساختمانی شامل الگوی حیاط مرکزی، مربعی، مستطیلی با جبههٔ فرعی رو به جنوب و مستطیلی با جبههٔ اصلی رو به جنوب، بیانگر این موضوع است که الگوی مربع و الگوی مستطیلی با جبههٔ اصلی رو به جنوب، از منظر تقاضای انرژی کل، سرمایش و گرمایش، عملکرد بهتری داشته است. در نتیجه شکل‌گیری بافت قدیم بر مبنای حیاط مرکزی را می‌توان یکی از عوامل تقاضای انرژی بالاتر بافت قدیم نسبت به بافت جدید دانست.

نکتهٔ قابل توجه در تصویر ۸، تفاوت در دو الگوی ساختمانی مستطیلی با ویژگی‌های یکسان و جهت‌گیری متفاوت است که نشان می‌دهند شاخص جهت‌گیری شاخصی بسیار بااهمیت است و در اولین گام برای رسیدن به فرمی انرژی کارا بایستی مدنظر قرار بگیرد؛ ازاین‌رو به بررسی شاخص جهت‌گیری می‌پردازیم. برای بررسی شاخص جهت‌گیری در مقیاس تک‌ساختمان، سه الگوی ساختمانی مربعی، مستطیلی و حیاط مرکزی در زاویه‌های مختلف با مساحت یکسان (الگوی مستطیلی ۱۲ متر جبههٔ جنوبی در عمق ۸ متر، الگوی حیاط مرکزی با چهار زون در ابعاد ۴ در ۹، الگوی مربعی ۱۲ در ۱۲) مورد بررسی قرار گرفتند. جهت‌گیری ابتدایی ساختمان‌ها شرقی‌غربی است که به‌عنوان جهت‌گیری صفر در نظر گرفته شده است. نتایج آنالیزها نشان می‌دهد در تمامی الگوها از جمله الگوی حیاط مرکزی، جهت‌گیری شرقی‌غربی مناسب‌ترین جهت‌گیری است.



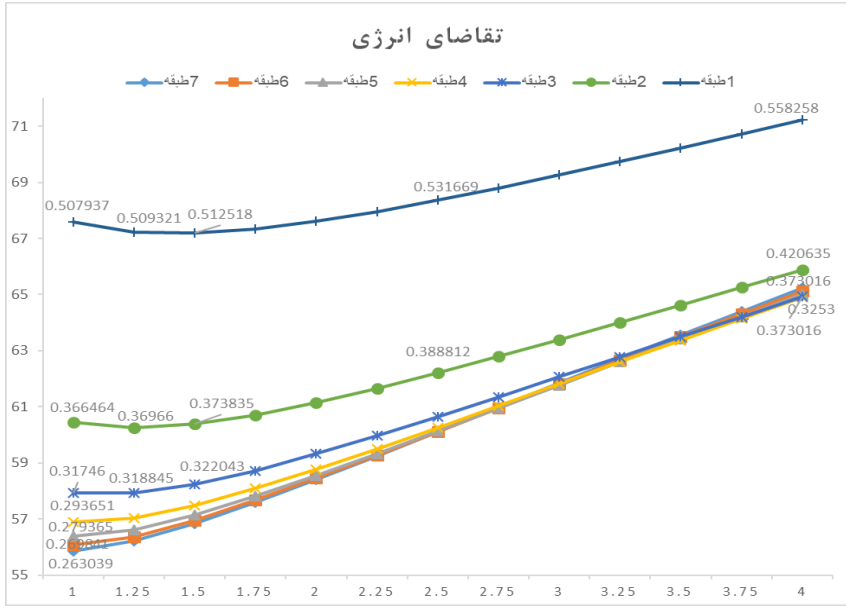
تصویر ۸: مقایسهٔ گونه‌های متفاوت ساختمانی از منظر میزان تقاضای انرژی کل در طبقات مختلف، محور افقی نشان‌دهندهٔ تعداد طبقات و محور عمودی نشان‌دهندهٔ میزان مصرف انرژی برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع، مساحت تمامی الگوها یکسان و ۱۴۴ مترمربع است.

مطابق با تصویر ۹، تقاضای انرژی الگوی مستطیلی در جهت‌گیری شرقی‌غربی اندکی پایین از تقاضای انرژی الگوی مربعی است. به همین دلیل در ادامه، برای بررسی سایر هندسه‌های ممکن که در تناسباتی بین این دو فرم قرار می‌گیرند، یک فرم با مساحت و جهت‌گیری ثابت شرقی‌غربی در نسبت طول به عمق (عرض) مختلف بین ۱ به ۱ تا ۳ به ۱ (بالاتر از نسبت ۳ به ۱ فرم تولیدشده بسیار خطی و خارج از فرم‌های متعارف می‌گردد) در تراکم‌های بین ۱ تا ۷ طبقه، مورد آنالیز قرار می‌گیرد.



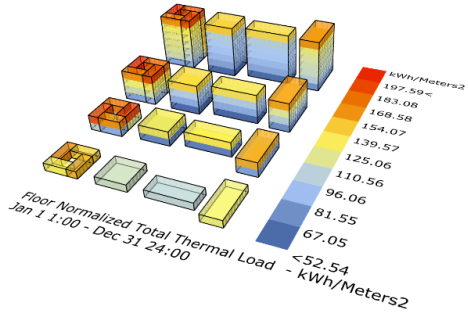
تصویر ۹: تعیین جهت‌گیری مطلوب برای ساختمان‌ها در الگوهای مختلف از منظر تقاضای انرژی کل، محور افقی نشان‌دهندهٔ زاویهٔ جهت‌گیری ساختمان نسبت به محور شرقی‌غربی و محور عمودی نشان‌دهندهٔ میزان مصرف انرژی برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع است.

نتایج شبیه‌سازی مطابق تصویر ۱۰ نشان می‌دهد بهینه‌ترین وضعیت تقاضای انرژی در فرمی با الگوی مستطیل با جبهۀ اصلی رو به جنوب در تناسبات نزدیک به طول به عمق ۱ به ۱، با کمترین نسبت سطح به حجم اتفاق افتاده است؛ بنابراین در وهلۀ اول جهت‌گیری مناسب و سپس تولید فرمی مستطیل‌شکل با کمترین نسبت سطح به حجم مهم‌ترین گام‌ها در تولید فرمی انرژی کاراست. همچنین بر اساس تصویر ۱۰ افزایش تعداد طبقات (تراکم) از یک به دو طبقه موجب کاهش محسوس تقاضای انرژی می‌شود. در جهت‌گیری و نسبت طول به عمق بهینۀ ساختمان، افزایش تراکم موجب کاهش تقاضای انرژی می‌گردد.



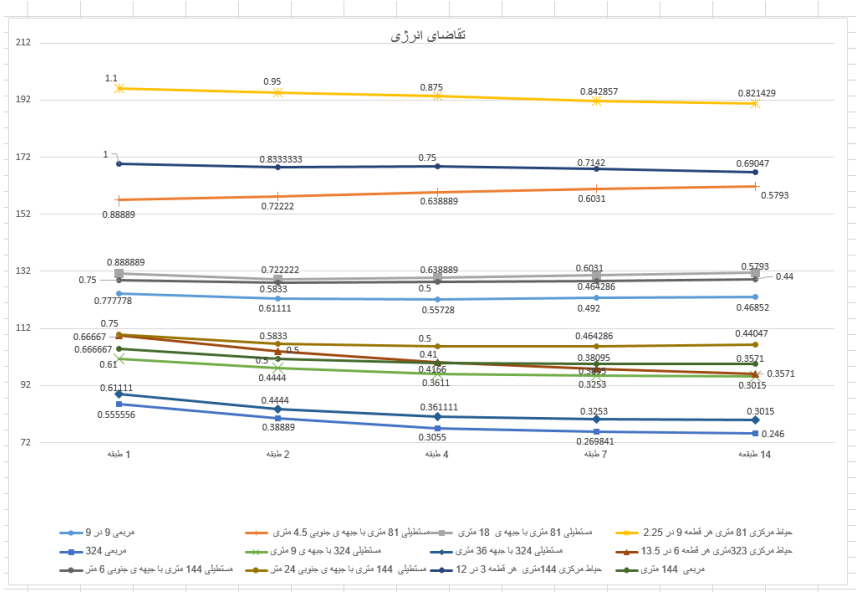
تصویر ۱۰: تعیین نسبت طول به عمق و تراکم مطلوب برای ساختمان‌ها از منظر تقاضای انرژی کل، محور افقی نشان‌دهندۀ نسبت طول به عمق ساختمان نسبت و محور عمودی نشان‌دهندۀ میزان مصرف انرژی برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع است

نتایج شبیه‌سازی افزایش شاخص FSI در سایر الگوها بیان می‌کند با افزایش تراکم ساختمان (تعداد طبقات) در تمامی الگوها به‌جز الگوی حیاط مرکزی تقاضای انرژی گرمایشی کاهش و تقاضای انرژی سرمایشی به مقدار اندکی افزایش و درمجموع تقاضای انرژی کل کاهش یافته است. دلیل رفتار متفاوت الگوی حیاط مرکزی را می‌توان سایه‌اندازی سایر سطوح جنوبی، شرقی و غربی الگوی حیاط مرکزی بر جبهۀ شمالی دانست که منجر به افزایش تقاضای انرژی گرمایشی در این زون و در پی آن افزایش تقاضای انرژی کل ساختمان می‌شود. همچنین با توجه به ثابت بودن طول و عرض ساختمان، با افزایش تعداد طبقات شدت سایه‌اندازی بیشتر شده و به‌موازات آن تقاضای انرژی گرمایشی کل ساختمان بالا می‌رود.



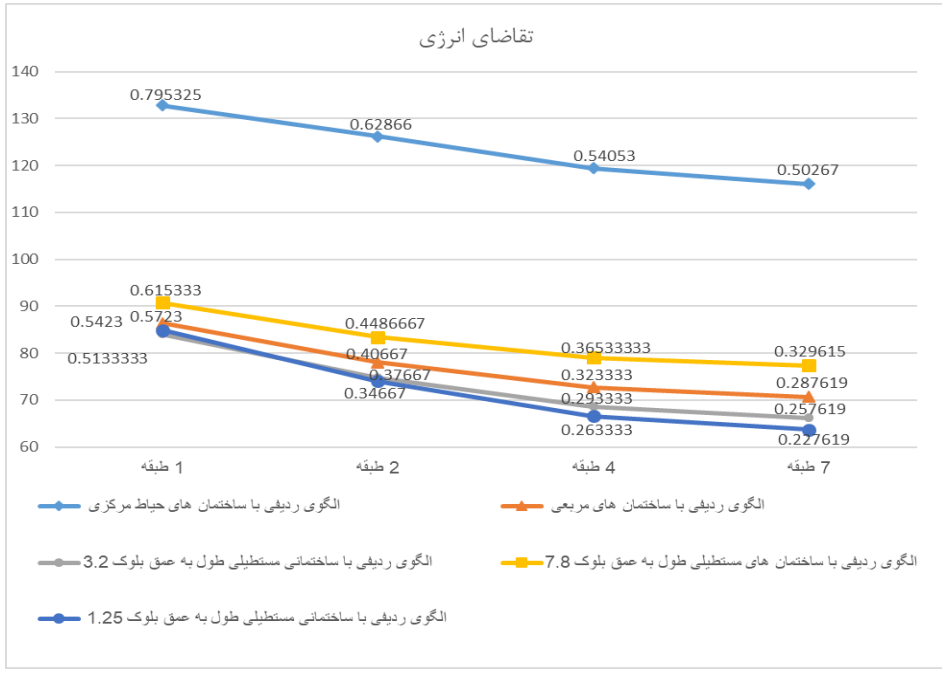
تصویر ۱۱: رفتار الگوهای ساختمانی در برابر افزایش تعداد طبقات از منظر میزان تقاضای انرژی کل

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مطابق با شاخص (GSI) در سه الگوی مربعی، مستطیلی با جبههٔ اصلی رو به جنوب و حیاط مرکزی در مساحت‌های ۹۱، ۱۴۴ و ۳۲۴ مترمربع بیانگر آن است که در ساختمان‌های انفرادی افزایش مساحت ساختمان موجب کاهش تقاضای انرژی کل، گرمایش و سرمایش می‌شود. الگوی حیاط مرکزی با کمترین مساحت (۹۱) دارای بیشترین میزان مصرف انرژی و الگوی مربعی با بیشترین مساحت (۳۲۴) دارای کمترین میزان تقاضای انرژی می‌باشد؛ اما یک استثنا نیز وجود دارد. الگوی مستطیلی با جبههٔ فرعی رو به جنوب و مساحت کف ۱۴۴ مترمربع در مقایسه با الگوی مربع با مساحت ۸۱ مترمربع، به‌علت جهت‌گیری نامطلوب، عملکرد ضعیف‌تری از منظر میزان تقاضای انرژی نسبت به الگویی با مساحت کمتر از خود نشان داده است. این امر اهمیت شاخص جهت‌گیری را نشان می‌دهد و گویای این مطلب است که در کاهش میزان تقاضای انرژی، جهت‌گیری مطلوب عامل اساسی‌تری نسبت به شاخص‌های مساحت کف است.



تصویر ۱۲: رفتار گونه‌های مختلف ساختمانی با افزایش مساحت و تعداد طبقات از منظر میزان تقاضای انرژی کل، محور افقی نشان‌دهندهٔ تعداد طبقات و محور عمودی نشان‌دهندهٔ میزان مصرف انرژی برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع

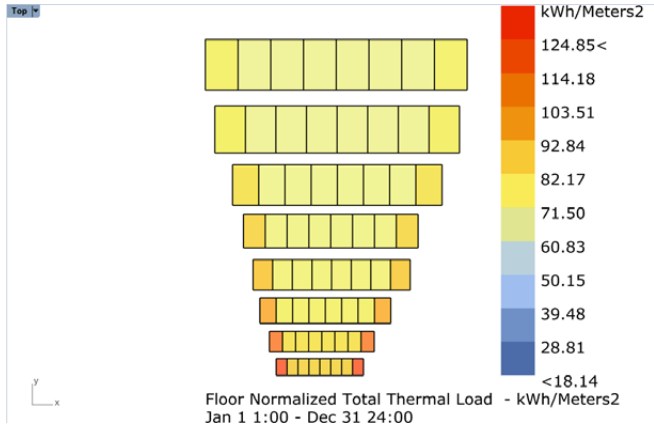
در مقیاس تک‌بلوک نتایج شبیه‌سازی پنج نوع بلوک ردیفی با ساختمان‌های حیاط مرکزی، مربعی، مستطیلی با کشیدگی شمالی‌جنوبی (با نسبت طول به عمق ساختمانی ۰/۲۵)، مستطیلی با کشیدگی شمالی جنوبی (نسبت طول به عمق ساختمان ۰/۶۴)، مستطیلی با کشیدگی شرقی‌غربی (نسبت طول به عمق ساختمان ۱/۵۶) بیانگر تقاضای انرژی بالاتر بلوک با الگوی ساختمانی حیاط مرکزی در مقایسه با الگوی بلوک با ساختمان‌های مستطیلی با طول کم (نسبت طول به عمق کمتر) است. در نظر گرفتن قطعات با نسبت طول به عمق کم موجب بالا رفتن سطح مشترک ساختمان‌ها می‌شود که از دو نظر دارای اهمیت است: اول اینکه باعث کاهش سطح در معرض و در نهایت کاهش نسبت سطح به حجم می‌گردد؛ همچنین از جنبهٔ دیگر افزایش سطح مشترک ساختمان‌ها در این الگو، باعث کاهش هدررفت حرارتی ساختمان‌ها می‌گردد. بدین ترتیب در مقایس ساختمان همچنین در مقیاس بالاتر نظیر بلوک (در صورت رعایت جهت‌گیری، قطعه‌بندی و نسبت طول به عمق بلوک) در نظر گرفتن هندسهٔ بلوک به‌نحوی که فرم تولیدشده نسبت سطح به حجم کمتری را داشته باشد، موجب افزایش عملکرد تقاضای انرژی از منظر تقاضای انرژی سرمایش و گرمایش می‌شود.



تصویر ۱۳: مقایسهٔ بلوک‌ها با الگوهای ساختمانی متفاوت از منظر میزان تقاضای انرژی کل، محور افقی نشان‌دهندهٔ تعداد طبقات و محور عمودی نشان‌دهندهٔ میزان مصرف انرژی برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع

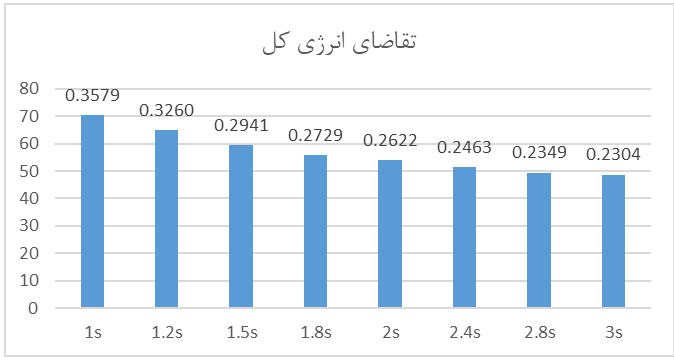
نتایج شبیه‌سازی مطابق با شاخص FSI بیان می‌کند همانند مقیاس تک‌ساختمان افزایش تعداد طبقات با کاهش شدید تقاضای انرژی گرمایش همراه بوده و تقاضای انرژی سرمایشی رفتار یکسانی را از خود نشان نداده. به‌طور کلی افزایش تعداد طبقات با کاهش تقاضای انرژی گرمایشی و تقاضای انرژی کل همراه بوده است.

برای بررسی تأثیر شاخص GSI بر عملکرد بلوک شهری، دو بلوک با ساختمان‌های مستطیل‌شکل و حیاط مرکزی در مساحت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد در یک ردیف بلوک ساختمانی افزایش مساحت ساختمان‌ها و بالطبع افزایش مساحت بلوک، موجب کاهش میزان تقاضای انرژی در هر مترمربع می‌شود. به‌عبارت بهتر، درشت‌دانه بودن بلوک‌های شهری به کاهش تقاضای انرژی کمک می‌کند.



تصویر ۱۴: کاهش میزان مصرف انرژی با افزایش مساحت بلوک

نسبت ارتفاع به عرض یکی دیگر از شاخص‌هایی است که همانند شاخص جهت‌گیری مستقل از شاخص نسبت سطح به حجم است. برای بررسی نحوهٔ تأثیرگذاری این شاخص تعداد ۴ بلوک ردیفی با تعداد طبقات ثابت ۷ (۲۱ متر)، با دو همسایگی شرقی و غربی با ارتفاع ۲۱ متر و فاصلهٔ ثابت ۱۲ متر از بلوک‌های مرکزی در نظر گرفته شده است. مطابق تصویر ۱۵ بهینه‌ترین نسبت ارتفاع به عرض در نسبتی بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ رقم می‌خورد. در نتیجه نسبت ارتفاع به عرض معابر در بافت قدیم از دیگر دلایل مصرف انرژی بسیار در این بافت است.



تصویر ۱۵: نتایج تغییرات نسبت ارتفاع به عرض بلوک‌های ساختمانی و میزان تأثیر آن بر میزان تقاضای انرژی کل، محور افقی نشان‌دهندهٔ عرض معبر و محور عمودی نشان‌دهندهٔ میزان مصرف انرژی برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع

۵. بحث مقایسهٔ مصرف انرژی در گونه‌های ریختی مختلف بافت شهر بیرجند

بافت قدیم برخلاف تصور رایج، به‌دلیل شکل‌گیری بر اساس الگوی غالب حیاط مرکزی، مساحت کم ساختمان‌ها و بلوک‌ها، پایین بودن تراکم ساختمانی و تعداد طبقات، جهت‌گیری نامطلوب از منظر کارایی انرژی (جهت‌گیری مطابق با مسیر قنات‌ها و یا مواردی چون عوامل نظامی، حکومتی. در حالی که جهت‌گیری مطلوب شرقی‌غربی است)، نسبت سطح به حجم بالا (میزان تقاضای انرژی با نسبت سطح به حجم نسبت مستقیم دارد) و در نهایت نسبت ارتفاع به عرض زیاد به‌دلیل معابر کم‌عرض (کاهش نسبت ارتفاع به عرض با کاهش مقادیر تقاضای انرژی همراه خواهد بود)، میزان تقاضای انرژی بیشتری نسبت به بافت جدید شهر بیرجند دارد. بایستی در نظر داشت که این مطالعه فقط تأثیر ویژگی‌های ریختی بافت را مدنظر داشته و بیان می‌دارد که بافت قدیم از منظر ویژگی‌های ریختی (هندسی) کارایی پایین‌تری از منظر تقاضای انرژی سرمایش و گرمایش داشته است. وجود عنصر مرکزی حوض آب در ساختمان‌های قدیمی نقش تعدیل‌گری بسیار بالایی در کاهش استرس دمایی و بالطبع کاهش تقاضای انرژی داشته، همچنین رفتار کوچ‌کنندهٔ ساکنان در جبهه‌های ساختمان حیاط مرکزی، می‌تواند نتایج حقیقی میزان مصرف انرژی را به نفع بافت قدیم رقم بزند.

پژوهشگر در فرایند پژوهش با این نکته مواجه شد که با لحاظ جهت‌گیری (شرقی‌غربی) و نسبت طول به عمق بهینه، وضعیت بهینهٔ عملکرد ساختمان از منظر تقاضای انرژی سرمایش و گرمایش در حالتی به وجود می‌آید که شاخص سطح به حجم کمترین میزان خود را دارد. با نظر به مقادیر عددی که در تمامی نمودارها قرار گرفته و بیانگر شاخص سطح به حجم است، این موضوع مشهود است. از نظر معادلاتی و منطقی، نیز شاخص سطح به حجم فاکتوری نهان در شاخص‌های نظیر تراکم و سطح اشغال است که با آنان همپوشانی دارد. در مقیاس بالاتر نظیر بلوک نیز در صورت رعایت جهت‌گیری، نسبت طول به عمق و قطعه‌بندی بهینه، چیدمان قطعات به‌نحوی که موجب تولید فرم بلوکی با نسبت سطح به حجم کمتری شود، منجر به کاهش تقاضای انرژی خواهد گردید. به‌عبارت دیگر، اولویت‌بندی شاخص‌ها به این صورت است: جهت‌گیری نمای اصلی رو به جنوب، فرم مستطیل، کاهش نسبت سطح به حجم، افزایش تراکم، افزایش سطح اشغال و نسبت ارتفاع به عرض در نسبتی بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵.

در مطالعاتی که در ایران در اقلیم‌های مختلف به انجام رسیده، غالباً تحلیل تقاضای انرژی تعدادی مدل جهت معرفی مدل برتر صورت گرفته است و به فهمی کمّی از دلیل تفاوت در عملکرد فرم‌ها از منظر تقاضای انرژی نرسیده‌اند، نتایج صرفاً به‌صورت مقایسهٔ مدل‌ها و ارائه مدل پیشنهادی بوده است. با روابط حاکم شناسایی‌شده در پژوهش، می‌توان پاسخ‌گو بودن یک الگو را از منظر تقاضای انرژی سرمایش و گرمایش بر اساس مؤلفهٔ تابش در اقلیم‌های مشابه، توجیه و تعریف کرد. بدین ترتیب که در بین الگوهای فرمی که در جهت‌گیری و نسبت طول به عمق بهینه‌ای قرار گرفته‌اند، وضعیت بهینه تقاضای انرژی در الگویی که کمترین نسبت سطح به حجم را دارد، به وجود می‌آید.

جدول ۶: خلاصهٔ وضعیت بهینهٔ شاخص‌های مورفولوژیکی در شهر بیرجند

شاخص	خلاصهٔ وضعیت شاخص‌ها در شهر بیرجند		شاخص در وضعیت بهینه	
	بافت قدیم	بافت جدید	مقیاس تک‌ساختمان	مقیاس تک‌بلوک
الگوی ساختمان	حیاط مرکزی	مربع، مستطیل	الگوی ساختمانی مستطیلی با جبههٔ اصلی رو به جنوب	فرم بلوک مستطیل‌شکل نزدیک به هندسه مربع با جبههٔ اصلی رو به جنوب با کمترین نسبت سطح به حجم
تعداد طبقات (FSI)	۱ تا ۲ طبقه (تراکم ساختمانی کم)	۲ تا ۷ طبقه (تراکم ساختمانی زیاد)	افزایش تراکم	افزایش تراکم
مساحت ساختمان (GSI)	کم (بافت غالب ریزدانه)	زیاد	افزایش مساحتِ گونه و طراحی هندسه‌ای با کمترین نسبت سطح به حجم	بلوک‌های شهری درشت‌دانه
نسبت طول به عمق ساختمان			نسبت طول به عمق نزدیک به یک که منجر به تولید فرم مستطیل‌شکل با جبههٔ اصلی رو به جنوب شود.	قطعات ساختمانی مستطیل‌شکل به هم چسبیده با کشیدگی شمالی‌جنوبی که منجر به تولید بلوکی مستطیل‌شکل با نسبت طول به عمق نزدیک به یک و جبههٔ اصلی رو به جنوب گردد.
جهت‌گیری	جهت‌گیری‌های مختلف و نامناسب از منظر کارای انرژی	شمالی‌جنوبی شرقی‌غربی	شرقی‌غربی	شرقی‌غربی
نسبت سطح به حجم	زیاد	کم	کم	کم
نسبت ارتفاع به عرض	زیاد	کم	_	ارتفاع به عرض بهینه: ۰/۶۵

نتیجه

ریخت بافت شهری و پارامترهای آن بر مصرف انرژی که مسئلهٔ تغییرات آب‌وهوایی و بحران‌های زیست‌محیطی وابسته به آن است، تأثیر می‌گذارد. اغلب پژوهش‌هایی که در شهرسازی و انرژی کارایی انجام‌شده، مصرف انرژی در شهر را در دو مقیاس خرد (تک‌ساختمان) و کلان (حمل‌ونقل، مدیریت شبکه‌ها و زیرساخت‌ها) ارزیابی نموده و یا در مقیاس بافت شهری به مقایسهٔ تعدادی مدل جهت معرفی مدل برتر پرداخته‌اند و به فهمی کمّی از دلیل تفاوت در عملکرد فرم‌ها از منظر تقاضای انرژی نرسیده‌اند.

در این پژوهش که با هدف شناسایی گونه‌های ریختی شهر بیرجند و مقایسهٔ آنان از منظر تقاضای انرژی انجام گرفت، ابتدا به روش ریخت‌گونه‌شناسی موصوف در بخش‌های گذشته، چهار گونه‌ریختی در بافت شهر بیرجند شامل بافت کهن و تاریخی هسته شهر با ساختار ارگانیک و الگوی ساختمانی حیاط مرکزی، توسعهٔ دگرگون‌شدهٔ هستهٔ کهن و تاریخی با ساختار شطرنجی و الگوی ساختمانی حیاط مرکزی، گسترش‌های فرمی دگرگون‌شده با شبکهٔ شطرنجی و ساختمان‌های ردیفی و آخرین الگو با بلوک‌های آپارتمانی ردیفی در توسعه‌های جدید شناسایی شد. پس از انتخاب نمایانگر ریختی از هرکدام از بافت‌ها، میزان مصرف انرژی آنان توسط نرم‌افزار هانی‌بی شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد ریخت‌گونه‌های بافت جدید عملکرد بهتری را از منظر مصرف انرژی بر اساس مؤلفهٔ تابش داشته‌اند.

برای یافتن دلیل تفاوت میزان تقاضای انرژی بافت‌های شناسایی‌شده، نحوهٔ رفتار تقاضای انرژی با تغییر وضعیت

اصلی‌ترین و مؤثرترین شاخص‌های مؤثر معرفی‌شده در ادبیات پژوهش، در دو مقیاس تک‌ساختمان و تک‌بلوک که سلسله‌مراتب پایین‌تر بافت شهری را شکل می‌دهند، به‌صورت جداگانه مورد تحلیل قرار گرفتند. هدف این پژوهش، فقط بررسی عملکرد ریخت‌شناسانهٔ بافت شهری از منظر جریان انرژی بوده و سایر متغیرها مانند میزان تقاضای روشنایی، رفتار کاربر و سایر فاکتورها که در روش‌شناسی ذکر گردید، یکسان در نظر گرفته شد. در نهایت الگوی ساختمانی مستطیل‌شکل، جهت‌گیری تک ساختمان‌ها به‌صورت شرقی‌غربی، جهت‌گیری شرقی‌غربی بلوک‌ها (با ساختمان‌های مستطیل‌شکل شمالی جنوبی)، افزایش تراکم، افزایش سطح اشغال ساختمان و کاهش نسبت سطح به حجم را می‌توان به‌عنوان رهنمودهایی برای رسیدن به فرم ایدئال ریختی از منظر تقاضای انرژی معرفی کرد.

خلأ تحقیقاتی که در این حوزه وجود دارد این است که نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در حوزهٔ شهری بر اساس مؤلفهٔ تابش عمل می‌کنند. توسعهٔ پلاگینی که توان لحاظ نمودن تمامی فاکتورهای تأثیرگذار بر میزان تقاضای انرژی نظیر باد و رطوبت را در مقیاس شهری به‌صورت یکپارچه داشته باشد، کمک شایانی به توسعه‌های کالبدی همساز با پایداری انرژی و آسایش حرارتی ساکنین شهرها خواهد کرد.

پی‌نوشت‌ها

1. Top-Down Models
2. Bottom-Up
3. Philip Rode
4. Typology Group
5. Urban Canyon
6. Urban Grid + Typology
7. Real Form
8. Tunnel-Court
9. Michele Morgantia
10. Urban Morphology Indicators (Umis)
11. Solar Availability On Facades
12. Urban Textures
13. Gross Space Index
14. Floor Space Index
15. Façade-To-Site Ratio
16. Average Building Height
17. Volume-Area Ratio
18. Building Aspect Ratio
19. Sky Factor Of Building Façades
20. Lse (The London School Of Economics And Political Science)
21. Creutzig
22. Lynch, K
23. Stephen Marshal
24. Typo-Morphological
25. Configurational

26. Historico-Geographical
27. Spatial Analytical
28. Osmond
29. Urban Structural Types (Ust)
30. Urban Structural Units (Usu)
31. Quan And Lee
32. Batty
33. Kropf
34. Arbitrary Boundaries
35. Honeybee
36. Grasshopper
37. Energyplus Tm
38. Radiance
39. Daysim
40. Openstudio
41. Thermal Zoons

منابع

ـ احمدی ونهری، ارمغان، و علیرضا مهدیزاده حکاک. ۱۳۹۴. جایگاه شبیه‌سازی اقلیمی و مصرف انرژی در فرایند تهیهٔ اسناد طراحی شهری، *کنفرانس عمران، معماری و توسعهٔ شهری*. دانشگاه شهید بهشتی تهران.

ـ فاطمی، مهدی، و محمدرضا مهربانی گلزار. ۱۳۸۹. سیر تحول سیما و منظر شهری شهر بیرجند در دورهٔ معاصر با تأکید بر عناصر شاخص و سازمان فضایی. در *همایش ملی منظر شهری*، تهران، ۷ـ۸ آذر.

ـ فرخی، مریم، محمد سعید ایزدی، و مهرداد کریمی مشاور. ۱۳۹۷. تحلیل کارایی انرژی در مدل‌های بافت شهری اقلیم گرم و خشک؛ نمونهٔ موردی: شهر اصفهان. *مطالعات معماری ایران* ۲ (۱۳): ۱۲۷ـ۱۴۸.

ـ لینچ، کوین. ۱۹۸۷. *تئوری شکل خوب شهر*. ترجمهٔ حسین بحرینی. ۱۳۸۱. تهران: دانشگاه تهران.

ـ مرتضایی، گلناز، محمود محمدی، فرشاد نصراللهی، و محمود قلعه‌نوئی. ۱۳۹۶. بررسی ریخت‌گونه‌شناسانهٔ بافت‌های مسکونی جدید در راستای مصرف بهینهٔ انرژی اولیه. *فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات شهری* ۶ (۲۴): ۴۱ـ۵۴.

ـ وفائی‌فر، مهدی. ۱۳۸۴. *در جست‌وجوی هویت شهری بیرجند*. تهران: وزارت مسکن و شهرسازی.

- Abbasabadi, N, and Mehdi Ashayeri. 2019. Urban Energy Use Modeling Methods And Tools: A Review And An Outlook. *Building And Environment* 161*:* 106270.

- Ahmadian, Ehsan., Behazad Sodgar, Chris Bingham, Amira Elnokaly, Gelen Mills. 2021. Effect of urban built form and density on building energy performance in temperate climates. *Energy and Buildings* 36: 110762.

- Ali-Toudert, F, and Helmut Mayer. 2007. Thermal Comfort In An East–West Oriented Street Canyon In Freiburg (Germany) Under Hot Summer Conditions. *Theoretical And Applied Climatology* 87 (1): 223-237.

- Allen-Dumas, Melissa R., Amy N. Rose, Joshua R. New, Olufemi A. Omitaomu, Jiangye Yuan, Marcia L. Branstetter, Linda M. Sylvester, M Seals, T Carvalhaes, M Adams, M Bhandari, S Shrestha, J Sanyal, A Berres, C Kolosna, K Fu, and A Kahl. 2020. Impacts Of The Morphology Of New Neighborhoods On

Microclimate And Building Energy. *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 133: 110030.
- Andreou, E. 2014. The Effect Of Urban Layout, Street Geometry And Orientation On Shading Conditions In Urban Canyons In The Mediterranean. *Renewable Energy* 63: 587-596.
- Batty, M. 1999. Editorial: A Research Program For Urban Morphology, Environment And Planning B. *Planning And Design* 26: 1-2.
- Carmona, Matthew, Heath Tim, Oc Taner, and Tiesdell Steve. 2003. *Public Places-Urban Spaces.* Architectural Press.
- Cheng, Vicky, Koen Steemers, Marylene Montavon, and Raphaël Compagnon 2006. Urban Form, Density And Solar Potential. PLEA, *The 23rd Conference On Passive And Low Energy Architecture,* Gennva, Switzeland, 701-706.
- Cionco, Ronald M., and Richard Ellefsen. 1998. High Resolution Urban Morphology Data For Urban Wind Flow Modeling. *Atmospheric Environment* 32 (1): 7-17.
- Compagnon, R. 2004. Solar And Daylight Availability In The Urban Fabric. *Energy And Buildings* 36 (4): 321-328.
- Dekay, M, and G. Z. Brown. 2013. *Sun, Wind, And Light: Architectural Design Strategies*. John Wiley & Sons.
- Energyplus Development Team. 2018. Weather Data For Energyplus. Https://Energyplus.Net/Weather (accessed Desember 25, 2021).
- Franchi, R. John. 2004. *Technology And Direction For The Future*. Oxford: Elsevier.
- Frayssinet, Loïc, Lucie Merlier, Frédéric Kuznik, Jean-Luc Hubert, Maya Milliez, and Jean-Jacques Roux 2018. Modeling The Heating And Cooling Energy Demand Of Urban Buildings At City Scale. *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 81: 2318–2327.
- GEA. 2012. Global Energy Assessment-Toward A Sustainable Future.Cambrige University Press, Cambridge, UK And New York, NY, *USA And The International Institute For Applied System Analysis*, Laxenburg, Austria.
- Grubler, Arnulf, Xuemei Bai, Thomas Buettner, Shobhakar Dhakal, David J. Fisk, Toshiaki Ichinose, James E. Keirstead and N Shah. 2012. *Urban Energy Systems*.
- Gupta, Akansha, and Sangeeta Singh. 2017. Urge Of New Town: Energy Resilient Urban Morphology. *Proceedings Of IOE Graduate Conference* 5: 137-145.
-Hachem, Caroline, Paul Fazio, and Andreas Athienitis. 2013. Solar Optimized Residential Neighborhoods: Evaluation And Design Methodology. *Solar Energy* 95: 42-64.
- Hoseinzadeh, Pegah, Morteza Khalaji Assadi, Shahin Heidari, Mohammad Khalatbari, R. Saidur, and Hamed Sangin. 2021. Energy Performance Of Building Integrated Photovoltaic High-Rise Building: Case Study, Tehran, Iran. *Energy & Buildings* 235: 110707.
- International Energy Agency. (2013). World energy outlook Retrieved on 12 November 2013 from https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013.pdf.
- Kämpf, Jérôme Henri, and Darren Robinson. 2009. A Simplified Thermal Model To Support Analysis Of Urban Resource Flows. *Energy And Buildings* 39 (4): 445-453.

- Kavgic, Miroslava, Anna Mavrogianni, Dejan Mumovic, Alex Summerfield, Zarko Stevanovic, and Maja Djurovic-Petrovic. 2010. A Review Of Bottom-Up Building Stock Models For Energy Consumption In The Residential Sector. *Build Environ* 45: 1683–97.
- Kropf, K. 2013. Ambiguity In The Definition Of Built Form. *Urban Morphology* 18 (1): 41-57.
- Kropf, K. 2013. *The Handbook Of Urban Morphology.* Wiley.
- LSE Cities (The London School Of Economics And Political Science). 2011. *CITIES AND ENERGY: Urban Morphology And Heat Energy Demand*.
- Luederitz, Christopher, Daniel J. Lang, and Henrik Von Wehrden. 2013. A Systematic Review Of Guiding Principles For Sustainable Urban Neighborhood Development. *Landscape And Urban Planning* 118: 40-52.
- Lynch, K. 1981. *Good City Form. Cambridge*.
- Madanipour, A. 2001. *Design Of Urban Space: An Inquiry Into A Socio-Spatial Process* (Mortezaee, F. Trans). Tehran: Publication Of Pardazesh Va Barnamerizi Shahri.
- Martins, Tathiane, Luc Adolphe, and Marion Bonhomme. 2013. *Building Energy Demand Based On Urban Morphology Analysis*. In PLEA 2013 Munich.
- Mitchell, G. 2005. Urban Development, Form And Energy Use In Buildings: *A Review For The Solutions Project.* EPSRC SUE SOLUTIONS Consortium.
- Mohajeri, Nahid, Govinda Upadhyay, Agust Gudmundsson, Dan Assouline, Jérôme Kämpf, and Jean-Louis Scartezzini. 2016. Effects Of Urban Compactness On Solar Energy Potential. *Renewable Energy* 93: 469-482.
- Morganti, Michele, Agnese Salvati, Helena Coch, and Carlo Cecere. 2017. Urban Morphology Indicators For Solar Energy Analysis. *Energy Procedia* 134: 807-814.
- Nasrollahi, F. 2009. *Climate An Energy Responsive Housing In Continental Climates*, Berlin: Univerlagtuberli Press.
- Nasrollahi, F. 2013. Green Office Buildings: Low Energy Demand Through Architectural Energy Efficiency. *Universitätsverlag Der TU Berlin*.
- Oh, Minseok, and Youngchul Kim. 2019. Identifying Urban Geometric Types As Energy Performance Patterns. *Energy For Sustainable Development* 48: 115-129.
- Okeil, A. 2010. A Holistic Approach To Energy Efficient Building Forms. *Energy And Buildings* 42 (9): 1437-1444.
- Oliveira, V. 2016. Urban Morphology: *An Introduction To The Study Of The Physical Form Of Cities*. Springer.
- Osmond, P. 2010. The Urban Structural Unit: Towards A Descriptive Framework To Support Urban Analysis And Planning', *Urban Morphology* 14 (1): 5-20.
- Quan, Steven Jige, and Chaosu Li. 2021. Urban Form And Building Energy Use: A Systematic Review Of Measures, Mechanisms, And Methodologie, *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 139: 110662.
- Ratti, Carlo, Nick Baker, and Koen Steemers. 2005. Energy Consumption And Urban Texture. *Energy And Buildings* 37 (7): 762-776.
- Ratti, Carlo, Dana Raydan, and Koen Steemers. 2003. Building Form And Environmental Performance: Archetypes, Analysis And An Arid Climate. *Energy And Buildings* 35 (1): 49-59.

- Reinhart, Christoph F, and Davila Carlos Cerezo. 2016. Urban building energy modeling: A review of a nascent field. *Building and Environment* 97 (1): 196-202.
- Robinson, D. (Ed). 2012. Computer Modelling For Sustainable Urban Design*: Physical Principles, Methods And Applications. Routledge.*
- Rode, Philipp, Christian Keim, Guido Robazza, Pablo Viejo, and James Schofield. 2014. Cities And Energy: Urban Morphology And Residential Heat-Energy Demand. *Environment And Planning B: Planning And Design* 41 (1): 138-162.
- Roosa, S.A. 2004. Planning For Sustainable Urban Development Using Alternative Energy Solutions. *Strategic Planning For Energy And The Environment* 24 (3): 37-56.
- Roudsari, Mostapha Sadeghipour, Michelle Pak, and Adrian Smith. 2013. Ladybug: A Parametric En- Vironmental Plugin For Grasshopper To Help Designers Create An Environmen- Tally-Conscious Design, In: Proceedings Of The 13th International IBPSA Confer- Ence: 3128–3135
- Salat, S. 2009. Energy Loads, CO2 Emissions And Building Stocks: Morphologies*, Typologies Energy Systems And Behavior Building Research And Information*. 37 (5-6), 598-609.
- Salvati, Agnese, Massimo Palme, Giacomo Chiesa, and Maria Kolokotroni. 2020. Built Form, Urban Climate And Building Energy Modelling: Case-Studies In Rome And Antofagasta. *Building Performance Simulation*, 1940-1493
- Stewart, Ian D., and Tim R. Oke. 2012. Local Climate Zone For Urban Temperature Studies. *Bulletin Of The American Meteorological Society* 93 (12): 1879–1900.
- Strømann-Andersen, Jakob, and Peter Andreas Sattrup. 2011. The Urban Canyon And Building Energy Use: Urban Density Versus Daylight And Passive Solar Gains. *Energy And Buildings* 43 (8): 2011-2020.
- Swan, Lukas G., and V. Ismet Ugursal. 2009. Modeling Of End-Use Energy مب Consumption In The Residential Sector: A Review Of Modeling Techniques, *Renew. Sustain. Energy Rev* 13: 1819-1835.
- Taleghani, Mohammad, Martin Tenpierik, Andy Van Den Dobbelsteen, and Richard De Dear. 2013. Energy Use Impact Of And Thermal Comfort In Different Urban Block Types In The Netherlands*. Energy And Buildings* 67: 166-175.
- Theurer, W. 1999. Typical Building Arrangements For Urban Air Pollutant Modeling. *Atmospheric Environment*, 33: 4057-4069.
- Van Esch, M. M. E, R H J Looman, and G J De Bruin-Hordijk. 2012. The Effects Of Urban And Building Design Parameters On Solar Access To The Urban Canyon And The Potential For Direct Passive Solar Heating Strategies. *Energy And Buildings* 47: 189-200.
- Wang, Biao, L. D. Cot, Luc Adolphe, Sandrine Geoffroy, and S. Sun. 2017. Cross Indicator Analysis Between Wind Energy Potential And Urban Morphology. *Renewable Energy* 113: 989-1006.
- Youngsoo, You, and Saehoon Kim. 2018. Revealing The Mechanism Of Urban Morphology Affecting Residential Energy Efficiency In Seoul, Korea. *Sustainable Cities And Society* 43*:* 176-183
- Xu, Xin, Hessam AzariJafari, Jeremy Gregory, Leslie Norford, and Randolph Kirchain. 2020. An Integrated Model For Quantifying The Impacts Of Pavement Alb E Do And Urban Morphology On Building Energy Demand. Energy & Buildings 211: 109759.

Comparative Study of the Urban Texture Morphology of Birjand for Energy Efficiency

Mostafa Hosseini
M.A., Urban design, Art University of Isfahan

Mahmoud Shokoohi
Assistant Professor, Department of Urban Planning, Art University of Isfahan, Iran

Farshad Nasrollahi
Assistant Professor, Department of Architecture, Art University of Isfahan

Energy consumption of buildings and the resulting environmental pollution are affected by city morphology. Most studies conducted on urban planning and energy efficiency have investigated urban energy consumption in micro-(construction) and macro-scales (transportation, network, and infrastructure management). Focusing on the gap between these two scales, i.e., the mid-scale (urban texture), and considering it in the design process of residential complexes and urban textures can greatly help improve the energy efficiency of the construction sector. In this study, Birjand, which is located in a desert region with a high summer temperature intensity and low-temperature extremes in winter, was selected for the case study. Because this study investigates energy consumption and urban morphology, each with its special method of study, the mixed method was used for this research. In the urban morphology section, the typo-morphology approach was used wherein aerial images were examined to identify the times and places of transformation in the city texture. In the energy section, 100×100 m^2 study units were selected from the urban texture and their energy consumption was simulated by Honeybee software. Finally, the descriptive-analytical method was used to measure their relationship. According to the findings, the morphology of the newer textures demonstrates better energy efficiency compared to that of the older textures. In addition, the optimal form of buildings in terms of energy demand is that with the lowest surface-to-volume ratio and an optimal orientation and length-to-depth ratio.

Keywords: energy efficiency, typo-morphology, Birjand

JIAS

Journal of Iranian Architecture Studies

University of Kashan
School of Architecture and Art

20

Vol. 20, Autumn 2021 and Winter 2022
ISSN: 2252-0635
E-ISSN: 2676-5020

- **Cuerda Seca Tomb Tiles in the Shrines of Sultan ʻAta-bakhsh and Sultan Amir Ahmad in Kashan (16th-18th Centuries AH)**
  Mohamad-Reza Ghiasian, Mohammad Mashhadi Noosh-abadi
- **Investigating Brick Ornamentation of Historical Houses in the City of Behbahan during the Pahlavi Period**
  Zeinab Mashhoor
- **Kerman Jameʻ Mosques: Urban and Historical Status**
  Zatollah Nikzad
- **Thermal Performance of dorchah, kolak, and kharkhona during the Warm Period of the Year in the Vernacular Houses of the Sistan Region**
  Mohammad ʻAli Sargazi, Mansoureh Tahbaz, Akbar Haj Ebrahim Zargar
- **Climatic Performance of Traditional Houses in the Old Texture of Shiraz using the Thermal Comfort Approach, Case Study: the Iwan (Veranda)**
  Jamshid Karim-zadeh, Jamal ad-Din Mahdi-nejad Darzi, Baqer Karimi
- **Evaluating Creativity and Success among Architecture Students at the University of Tehran Based on the Four-Quadrant Brain Dominance Model of Ned Herrmann**
  Fo'ad Khorramy, Amir Saʻeid Mahmoodi, Mostafa Mokhtabad
- **Historical Kurit Dam in Tabas: Analysis of the Construction Technology**
  Amir-Hossein Sadegh-pour
- **Comparative Study of the Urban Texture Morphology of Birjand for Energy Efficiency**
  Mostafa Hosseini, Mahmoud Shokoohi, Farshad Nasrollahi
- **Comparative Study of Termite Nests and Nooshabad Underground Complex**
  Babak ʻAlemi
- **Cultural Heritage Potentials in Sustainable Local Economic Development**
  Sara Taymourtash, Pirooz Hanachi, Mohammad-Hasan Talebian
- **Key Criteria in the Classification of Architectural Heritage based on Approaches and Conservation Policies in European Countries**
  Sasha Riahi Moghadam, Mohammad-Hasan Talebian, Asghar Mohammad-Moradi
- **A Theoretical Model for Neighborhood Studies in Residential Environments**
  Reza Serr-e ʻAli, Shahram Pour-Deihimi