شاپا: ۲۶٤۵- ٥٤۱۲
دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸
صفحه ۱۰۷-۸۵

فراتحلیل رابطه فرم شهر و انرژی: مروری برررویکردها، روش‌ها، مقیاس‌ها و متغیرها

سعیده شجاع* - دانشجوی دوره دکتری شهرسازی، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
محمدرضا پورجعفر- استاد گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
منوچهر طبیبیان– استاد گروه شهرسازی، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۱

چکیده

در ســـال‌های اخیر، با توجه به بحران‌های موجود در زمینه تغییر اقلیم، مصـــرف انرژی و آلودگی‌های زیســـت محیطی از طریق انتشارات کربن، موضوع رابطه فرم شهری و انرژی در شهرها توجه پژوهشگران زیادی را در رشته‌های مختلف به خود جلب کرده است.گستردگی این حوزه ناگزیر منجر به تعدد تفاسیر و انجام پژوهش‌های متنوع در خصوص دامنه مشکل و نیز سنجش رابطه بین فرم شهری و انرژی با استفاده از انواع متغیرها و روش‌ها در مقیاس‌ها و رویکردهای مختلف شده است. این مقاله در پی آن است با مرور مطالعات انجام شده درخصوص رابطه فرم شهری و انرژی (۱۱۹ مقاله)، به مقایسه و تحلیل متغیرها و روش‌ها در مقیاس‌ها و رویکردهای به کار گرفته شده بپردازد. تحلیل مقالاتی که بین سال‌های ۱۹۷٤ تا ۲۰۱۹ در این حوزه انتشار یافته‌اند، نشان داد مطالعات صورت گرفته عمدتاً در قالب ۷ دسته کلی به موضوع "رابطه فرم شهری و انرژی" پرداخته‌اند: ۱- فرم شهری (با تأکید بر بخش ساختمان و یا یکی از شاخص‌های مربوطه به ویژه تراکم) و انرژی ۲- فرم شهری (با تأکید بر کاربری زمین) و انرژی ۳-فرم شهری (با تأکید بر بخش حمل و نقل) و انرژی ٤- فرم شهری (ترکیبی از بخش ساختمان و حمل‌ونقل) و انرژی ٥- فرم شهری و رابطه آن با تغییر اقلیم، جزایر حرارتی، آسایش اقلیمی و پایداری ٦- فرم شهری و بارهای حرارتی ۷- فرم شهری و مدیریت انرژی، یا برنامه ریزی و ســیاســت‌های انرژی. در نهایت علیرغم متنوع بودن رویکردها، روش‌ها، مقیاس‌ها و متغیرهای استفاده شده، چالش‌ها و فرصت‌های مشترک و قابل استنتاج ارائه شده است. نتایج این مقاله حاکی از آن است که موضوع رابطه فرم شهری و انرژی امکان آن را دارد که فراتر از رویکردها، مقیاس‌ها و روش‌های تک رشته‌ای به دیدگاهی یکپارچه و پویا دست یابد.

کلیدواژه‌ها: فرم شهری، انرژی، متغیرها، روش‌ها، مقیاس‌ها

* نویسنده مسئول
Email: shoja5200@gmail.com

ارجاع به این مقاله:
شجاع، سعیده، پورجعفر، محمد رضا، طبیبیان، منوچهر. (۱۳۹۸). فراتحلیل رابطه فرم شهر و انرژی: مروری برررویکردها، روش‌ها، مقیاس‌ها و متغیرها. *دانش شهرسازی*، ۳(۱)، ۸۵-۱۰۷. doi: 10.22124/upk.2019.13602.1220

بیان مسأله

شهرها حدود ۸۰-۶۰ درصد کل انرژی مصرفی در جهان را به خود اختصاص داده‌اند(Pardo ;Cajot, et al.,2015:3366 (Martinez,2015:1; Tereci et al.,2013; Pasimeni et al., 2014)، ۷۵-۶۰ درصد دی‌اکسید کربن (Tereci et al.,2013; Liu et al., 2015) و ۸۰-۶۰ درصد گازهای گلخانه‌ای (Pardo Martinez, 2015:1; Pasimeni et al., 2014) را در دنیا منتشر می‌کنند. بنابر این نقش مهمی در تلاش ها برای کاهش اثرات تغییر اقلیم جهانی دارند (Ishii et al.,2010:4888; Wilson, 2013). چرا که کاهش مصرف انرژی‌های تجدید ناپذیر، افزایش کارایی انرژی و همچنین کاهش انتشارات کربن در شهرها به سیاست‌ها و اقدامات انجام شده در بخش ساختمان (تقریباً با ۴۰٪ از کل مصرف انرژی در شهرها) و بخش حمل‌ونقل (تقریباً با ۳۰ ٪ از کل مصرف انرژی در شهرها) (Kim,2012:5) بستگی دارد و در نتیجه برنامه‌ریزان و طراحان شهری در ایجاد شهرهایی با مصرف انرژی کمتر نقش مهم و تأثیرگذاری دارند چنانکه به اعتقاد استیمرز[1] (۲۰۰۳) دو بخش مذکور مستقیماً تحت تأثیر برنامه‌ریزی و طراحی شهری می‌باشد.

فرم شهری از جمله عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی در شهرهاست که تأثیر آن بر مصرف انرژی در بخش ساختمان و حمل‌ونقل به طور گسترده‌ای در مطالعات انجام شده در این حوزه پذیرفته شده است. به طوریکه درک جامع از رابطه فرم شهری و مصرف انرژی نقشی کلیدی در ایجاد سیاست‌های کاهش اثرات تغییر اقلیم در مقیاس های مختلف به ویژه مقیاس شهر و در نتیجه در دستیابی به پایداری شهری (Lo, 2016:213) ایفا می‌کند. بنابراین شناسایی و سنجش چگونگی این رابطه از اهمیت بالایی برخوردار است.

هدف مقاله پیش رو فراتحلیل ادبیات شناسایی رابطه بین فرم شهری و انرژی از طریق مقایسه تطبیقی رویکردها، روش‌ها، مقیاس‌ها و متغیرهای موجود در پژوهش‌های صورت گرفته و پاسخگویی به سه پرسش اصلی می‌باشد؛ اول، کدام رویکردها برای شناسایی این رابطه وجود دارد؟ دستیابی به پاسخ این پرسش الزاماً منوط به تبیین مفهوم‌سازی فرم شهری و مصرف انرژی شهری و شناسایی متغیرهای مربوطه است، چرا که مقیاس و دامنه انتخاب متغیرها و روش‌ها را مشخص می‌سازد. دوم، پژوهشگران در این مطالعات با کدام چالش‌ها روبرو هستند؟ و در نهایت، چه فرصت‌هایی برای ارتقاء تجارب حاضر وجود دارد؟ این پرسش برآمده از آینده‌نگری بوده و در پی شناسایی روندهای جدید و ارتباط دادن آن‌ها با تجارب فعلی است. شناسایی این موانع و فرصت‌ها، امکان برجسته ساختن زمینه‌هایی برای همکاری کارآمد پژوهشگران را فراهم می‌سازد.

در پژوهش پیش‌رو، تلاش بر این است که خلأ موجود در زمینه نبود انسجام و امکان مقایسه مطالعات انجام شده در حوزه ادبیات گسترده مربوط به شناسایی و سنجش رابطه فرم شهری و انرژی برطرف گردد. در این راستا کلید واژگان "فرم شهری و انرژی" و "رابطه میان فرم شهری و مصرف انرژی"در پایگاه داده‌های علمی (Elsevier /Science Direct)، در قسمت موضوع یا عنوان مورد جستجو قرار گرفت که به یافتن ۱۳۶۱مقاله انجامید. به منظور شناسایی یک زیرمجموعه قابل مدیریت از این مقالات، از بین نتایج به دست آمده مرتبط‌ترین مقالات که هر دو واژه "فرم شهری" و یا "انرژی" و مشتقات آن‌ها را در بردارند، عمدتاً بر بخش ساختمان متمرکزند و همچنین مربوط به کشورهای حوزه خاورمیانه و به ویژه ایران هستند (یعنی ۱۴۳ مقاله) انتخاب شدند. از این تعداد، ۲۴ مقاله علیرغم اینکه عناوین آنها دربرگیرنده واژگان مورد نظر این تحقیق هست به دلیل عدم همخوانی از نظر محتوا با دیگر مقالات مدنظر این پژوهش و تعلق داشتن به حوزه‌های علوم دیگر مانند کیفیت زندگی، سلامت، بهداشت و غیره از لیست منابع این مقاله حذف شدند. این فرآیند سبب شد که در نهایت ۱۱۹ مقاله در زمینه رابطه میان فرم شهری و انرژی به عنوان نمونه‌های موردی این مطالعه با روش فراتحلیل واکاوی شوند. نتایج فراتحلیل صورت گرفته از مجموع مقالات منتخب در ادامه ارائه می‌شود.

[1] . Steemers (2003)

مبانی نظری

فرم شهری

فرم‌های شهری که تنها از طریق بررسی تحولات و جابه‌جایی‌هایی که در طی تاریخ برای اجزاء آن‌ها اتفاق می‌افتد قابل بررسی هستند، به کمک سه جزء فضاهای ساخته شده، فضاهای باز و فعالیت‌های مستقر در آن‌ها تعریف می‌شوند. مطالعه فرم‌های شهری دارای "سطوح وضوح[1]" مختلفی نظیر ساختمان، قطعه، بلوک خیابان، شهر و منطقه است (محملی ابیانه، ۱۳۹۰: ۱۶۴).

به طور کلی فرم شهری که به اعتقاد جمالی (۱۳۹۴) تنها با توجه به شکل‌گیری آن در طول زمان قابل فهم است (جمالی، ۱۳۹۴: ۸۶)، به طرح فیزیکی و طراحی یک شهر اشاره دارد و شامل تراکم، طرح خیابان، حمل‌ونقل، اشتغال و دیگر مناطق فعالیت شهری و ویژگی‌های طراحی شهری است. فرم شهری موجود محصولی از عوامل متعدد مانند عوامل اقتصادی منطقه‌ای، مسیر توسعه اقتصادی، ترکیبی از عوامل سیاستی و قوانین (Safirova et al.,2007:2) و بازتاب‌دهنده ساختار اجتماعی و اقتصادی مسلط بر جامعه شهری است (یوسفی فر، ۱۳۸۴: ۲۲۰). از دید دانشمندان مختلف از جمله چن[2] و همکارانش (۲۰۱۱) فرم شهری که اشاره به چیدمان فضایی کاربری‌های شهری در یک منطقه شهری دارد، تأثیرات عمیقی بر مصرف انرژی شهری دارد.

فرم شهری و انرژی

فرم شهر دارای دو نوع تأثیر مستقیم (Ewing and Rong,2008) و غیر مستقیم(Liu & Shen, 2011) بر مصرف انرژی (و دستیابی به توسعه پایدار) می‌باشد(Li et al.,2016:181). بنابراین درک رابطه بین فرم شهر و مصرف انرژی و چگونگی آن می‌تواند دانشی از فرآیند مصرف انرژی در نواحی شهری و در نتیجه امکان ارائه استراتژی‌های مناسب‌تر در این زمینه را فراهم سازد.

مروری بر منابع مطالعه با تأکید بر مبحث فرم شهری

در چند دهه اخیر محققین بسیاری تلاش کرده اند رابطه بین فرم شهری و انرژی را از جوانب مختلف تئوری و عملی شناسایی کرده و به چگونگی آن بپردازند هر چند که از نظر راندولف فرم شهری همچنان ابزاری بی‌نظیر اما بدون شواهد تجربی مناسب در زمینه انرژی است(Li et al.,2016:182 به نقل از Randolph). به عنوان مثال AsfourوAlshawaf (۲۰۱۵)، Robinson وهمکارانش(۲۰۱۷)، Robinson وهمکارانش(۲۰۰۷)، Arboit و همکارانش(۲۰۰۸) به همراه بسیاری دیگر از محققین از طریق گونه‌شناسی بنا (Quan et al.,2016:127)، بررسی فرم شبکه شهری و بخش حمل و نقل (Sosa et al.,2017; Modarres,2013; Cooper et al.,2001; Asfour & Alshawaf,2015; Hsieh et al.,2017)، تراکم فاکتورهای اجتماعی–اقتصادی (Ye et al.,2017)، پتانسیل تولید انرژی خورشیدی(Arboit et al.,2010; Arboit et al.,2008)، کاربری زمین (Hsieh et al.,2017; Pardo Martínez,2015) و دیگر عوامل به بررسی نحوه اثرگذاری فرم شهری بر عملکرد ساختمان[3](Asfour & Alshawaf,2015; Robinson et al.,2017)، خیابان یا کانیون‌های شهری[4](Strømann-Andersen & Sattrup,2011; Futcher & Mills,2013; Alobaydi et al.,2016)، بلوک‌های شهری[5](Bhiwapurkar,2013;Bres et al.,2015; Arboit et al.,2010)، واحدهای همسایگی[6](Fonseca & Schlueter,2015; Robinson et al.,2007; Drouilles et al.,2017)، بخش‌های شهری[7](Hsieh et al.,2017; Liu & Sweeney,2012) و شهر[8] (Rodríguez-Álvarez,2016;Pardo Martínez,2015) به لحاظ تولید ویا مصرف انرژی پرداخته‌اند. گروه دیگری شامل Cajot و همکارانش(۲۰۱۵) و Yang و Yan (۲۰۱۶) شروع به آزمودن این ایده کردند که فرم شهری به عنوان یک سیستم پیچیده شامل اجزاء و ویژگی‌های متعددی می شود. با این حال، اغلب مطالعات صورت گرفته توسط

---

1. Resolution
2. Chen
3. Building
4. Urban Canyon
5. Urban Block
6. Neighborhood
7. Urban Districts
8. City or Town

این افراد تنها یک یا چند عامل مشخص را مورد بررسی قرار داده‌اند و با مروری بر آنها می توان دریافت که فرم شهری یک مفهوم چند بعدی ا ست و رابطه علیّت پیچیده موجود در آن با ا ستفاده از روش‌های میان‌ر شته‌ای قابل برر سی ا ست، درحالیکه تنها تعداد معدودی از مطالعات صورت گرفته به این مسئله پرداخته‌اند.

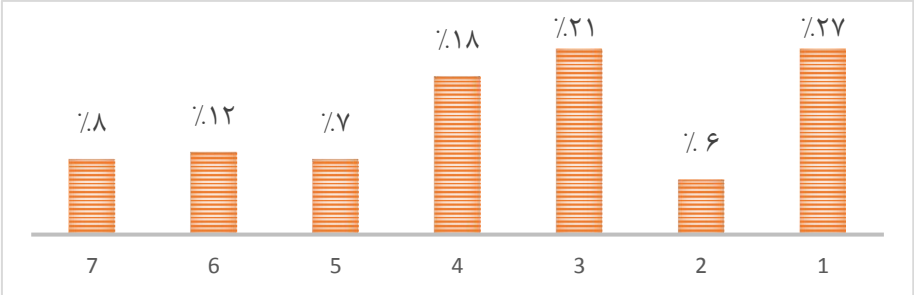
به طور کلی مطالعات مرور شده در این مقاله را می‌توان در قالب ۷ دسته کلی به شرح ذیل طبقه‌بندی کرد:

جدول ۱. دسته بندی کلی مقالات مرور شده

	موضوع	منابع	تعداد	درصد
۱	فرم شهری (با تأکید بر بخش ساختمان و یا یکی از شاخص‌های مربوطه به ویژ ه تراکم) و انرژی	Asfour & Alshawaf, 2015; Clark, 2013; Dawodu & Cheshmehzangi, 2017; Hsieh et al., 2017; Larivière & Lafrance,1999; Rylatt et al., 2003; Steemers,2003; Yongling, 2011; Zamani et al.,2018	۲۷	٪۲۳
۲	فرم شهری (با تأکید برکاربری زمین) و انرژی	Inturri et al.,2017; Liu & Shen, 2011; Pardo Martínez,2015; Hsieh et al., 2017; Larson et al., 2012; Owens, 1992; ; Stevens & Senbel, 2017	۸	٪۷
۳	فرم شهری (با تأکید بر بخش حمل‌ونقل) و انرژی	Frost et al., 1997;Keirstead & Shah, 2011; Liu et al.,2015 ;Marique et al.,2013; Modarres,2013;2017	۲۷	٪۲۳
۴	فرم شهری (ترکیبی از بخش ساختمان و حمل‌ونقل) و انرژی	Gu et al., 2013; Mörtberg et al., 2017; Muñiz et al., 2013; Stephan et al., 2013; Yezer et al.,2012	۲۳	٪۱۹
۵	فرم شهری و رابطه آن با تغییر اقلیم، جزایر حرارتی، آسایش اقلیمی و پایداری	Alobaydi et al.,2016; Banister et al.,1997; Bhiwapurkar,2013; Emekci & Kayasü,2017; Lo, 2016; Robinson et al., 2007; Stevens & Senbel, 2017; Yin et al.,2018	۱۱	٪۹
۶	فرم شهری و بارهای حرارتی	Javanroodi et al.,2018; Hemsath, 2016 Abdallah,2015;	۱۲	٪۱۰
۷	فرم شهری و مدیریت انرژی، یا برنامه ریزی انرژی یا سیاست‌های انرژی	Cajot et al., 2015; Clair ,2009;Sampaio et al., 2013; Sadownik & Jaccard, 2001	۱۱	٪۹

اغلب مطالعات شهری در حوزه انرژی، به یک یا چند جنبه از جوانب متعدد مربوط به انرژی در شهرها پرداخته‌اند. به عنوان مثال برخی از این مطالعات صرفاً به مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل (Anderson et al., 1996; Da Silva et al., 2007; Li et al.,2016; Gilbert & Dajani, 1974;) اشاره دارند، برخی صرفاً به مصرف یا تولید انرژی در بخش ساختمان (Javanroodi et al., 2019; Li et al., 2018a; Cerezo et al.,2017; Sosa et al.,2018) می‌پردازند و برخی دیگر هم هر دو بخش ساختمان و حمل‌ونقل را به صورت همزمان (Byrd et al., 2013; Makido et al., 2012; Silva et al., 2018) ویا حتی به طور کامل‌تر مصرف انرژی مستقیم و غیر مستقیم در بخش ساختمان، حمل‌ونقل و مواد غذایی را مورد بررسی قرار داده‌اند (Wiedenhofer et al.,2013).

زوایای مختلف ارتباط بین فرم شهر و انرژی در شهر توسط محققین حوزه‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است هرچند غالب آنها بر روی بخش حمل‌ونقل تمرکز دارند(Li et al.,2016:181) و تاثیر فرم شهری بر تولید یا مصرف انرژی در بخش ساختمان به ویژه ساختمان‌های مسکونی جستاری جدید در تحقیقات است(Kim,2012:11). تعداد و درصد کلیه مقالات مرورشده در این مطالعه را می توان در جدول و شکل شماره ۱ به تفصیل ملاحظه نمود.



شکل ۱. درصد مقالات چاپ شده در زمینه رابطه فرم شهر و انرژی بر اساس دسته بندی کلی هفت گانه

متغیرهای فرم شهری در واکاوی رابطه فرم شهر و انرژی

با بازخوانی مطالعات انجام شده می توان دریافت که محققین مختلف در شناسایی و سنجش رابطه فرم شهری و انرژی با توجه به مقیاس مطالعه، اهداف پژوهش و همچنین اطلاعات در د سترس و برخی ملاحظات دیگر هر یک به برر سی یک یا چند مورد از متغیرهای فرم فیزیکی شهر پرداخته‌اند. مهمترین متغیرهای به کار گرفته شده در این مطالعات عبارتند از :

جدول ۲. مهمترین متغیرهای فرم فیزیکی شهر در سطوح فضایی مختلف

سطح فضایی	مهمترین متغیرهای فرم فیزیکی شهر		تأثیر بر عرضه یا تقاضای انرژی *	منابع
ساختمان / بلوک ساختمانی	توده	تراکم، ارتفاع، FAR[1]، نوع (الگوی) ساختمان، تعداد طبقات، تعداد واحد در هر طبقه، جهت ساختمان، عمق ساختمان و پلان، اندازه ساختمان و حجم آن، مساحت همکف، مساحت پلان، قدمت ساختمان، کاربری، موقعیت[2]، نسبت پوشش[3]، زاویه انسداد[4]	–ساختمان‌های ردیفی نسبت به ساختمان‌های ویلایی، آپارتمانی و بلندمرتبه به ترتیب ۱۲٪، ۱۹/۵٪ و ۲۸٪ به طور متوسط انرژی کمتری مصرف می‌کنند. زیرا فشردگی به صورت افقی نسبت به فشردگی عمودی تأثیر بیشتری در افزایش کارآیی انرژی دارد. –ساختمان های شمالی–جنوبی نسبت به ساختمان‌های شرقی–غربی بیشتری مصرف می‌کنند. –هر یک متر افزایش عمق پلان (از۱۴ متر به بالا) منجر به افزایش ۴۸۳۲ کیلو وات ساعت مصرف انرژی برق در سال می شود. – ۱۰ درصد افزایش در زاویه انسداد، باعث می شود مصرف انرژی نیز ۱۰٪ افزایش یابد. –با افزایش نسبت پوشش ساختمان از ۰/۱۲ تا ۰/۴۸، کل مصرف انرژی در یک سال تا ۳۶٪ کاهش می‌یابد.	Asfour & Alshawaf, 2015; Brandoni & Polonara, 2012; Ewing & Rong,2008; Futcher & Mills, 2013; Hargreaves et al., 2017; Robinson et al., 2017; Rodríguez-Álvarez, 2016; Rylatt et al., 2003; Steadman et al., 2014; Silva et al., 2017b; Steemers, 2003; Zhou et al., 2016a
	مصالح	مصالح (سقف)، نوع و میزان عایق بندی، نوع قاب پنجره، نسبت صیقلی بودن نما[5]، دیوارهای خارجی		
	بازشوها وسطوح	مساحت بازشوها، مساحت سطوح خارجی و سقف		
کامیونیتی / واحد همسایگی / محله	توده	تراکم، FAR، ارتفاع ساختمان‌ها، تعداد طبقات، نوع (الگوی) ساختمان یا واحدهای مسکونی، جهت ساختمان، اندازه ساختمان، قدمت ساختمان، مساحت، شکل و چیدمان ساختمان ها، کاربری، تعداد طبقات ساختمان، ابعاد و شکل قطعه، نوع واحد همسایگی، جهت واحد همسایگی، موقعیت (siting)	–با طراحی مناسب چیدمان ساختمان‌ها، درختان و مصالح ساختمانی در واحدهای همسایگی از نظر انعکاس نور و ضرایب تبادل حرارتی، برای د ستیابی به دمای آ سایش در داخل ساختمان حداقل تا ۲۱٪ انرژی کمتری در طول تابستان مصرف می‌شود. –جهت گیری خیابان ها در واحدهای همسایگی باید بر اساس عرض جغرافیایی نواحی شهری باشد. –در اقلیم های خشک، ایجاد سایه در خیابان‌های شرقی– غربی بسیار د شوار ا ست. در مقابل خیابان های شمالی جنوبی به راحتی سایه مورد نیاز را جهت ایجاد خرداقلیم مطلوب تر فراهم می کنند.	Alobaydi et al.,2016; Ko,2012; Yang et al., 2016; Li et al., 2018a; Marique & Reiter,2014; Grosso, 1998; Sosa et al., 2018; Dawodu & Cheshmehzangi, 2017; Futcher & Mills, 2013; Guhathakurta & Williams, 2015; Li et al., 2016; Quan et al., 2016; Fonseca & Schlueter, 2015; Robinson et al., 2007; Drouilles et al., 2017; Stephan et al., 2013; Hemsath, 2016; Rode et al.,2014
	سطوح	ویژگی کالبدی سطح (مصالح، رنگ و جنس یا بافت)، مصالح نما، ضریب تبادل حرارتی پنجره (u-values)، نسبت سطح پنجره به سطح دیوار، نسبت صیقلی بودن		
	معابر	جهت خیابان‌ها، چیدمان یا طرح خیابان (ابعاد و شکل خیابان)، عرض خیابان، نوع شبکه		

[1]. Floor Area Ratio
[2]. Site
[3]. Coverage Ratio
[4]. Obstruction angle: Average Obstruction angle in the two main axes
[5]. Glazing ratio

		ارتباطی، نسبت ارتفاع ساختمان ها به عرض خیابان	-افزایش ۲۵ درصدی سطح فضای سبز در واحدهای همسایگی می تواند به طور متوسط تا ۲درجه سانتیگراد دمای روزانه را کاهش دهد.	
	فضای باز	اندازه، جهت و شکل فضاهای باز شهری، نسبت ارتفاع ساختمان به فاصله بین آنها، ضریب دید به آسمان[1]، میزان فضای سبز		
بلوک شهری / بخش / زون	توده	تراکم ، FAR، ارتفاع ، کاربری زمین، جهت ساختمان، جهت نمای ساختمان، نوع ساختمان ، اندازه ساختمان، تعداد اتاق در ساختمان، کل مساحت همکف، عمر ساختمان، نسبت سطح به حجم ساختمان، کاربری (ساختمان)، نسبت منطقه غیرفعال[2]، covered surface	-نصب پنل های خورشیدی بر روی سقف ساختمان‌ها در بلوک‌های مورد مطالعه در شهر ماکائو (چین)، تقریباً تا ۱۰ ٪ انتشارات کربن را کاهش می‌دهد و دو گروه از ساختمان‌ها شامل ساختمان‌های دارای حیاط باز و ساختمان‌های بلندمرتبه بیشترین پتانسیل برای تولید انرژی خورشیدی را دادند. - ایجاد شهرهای کارآ از نظر حرارتی در مناطق خشک، به بهترین ترکیب از فرم های شبکه شهری و طراحی کانیون[3]های شهری نیاز دارد. دمای هوا در خیابان‌های شهری فشرده و بدون درخت در مقایسه با خیابان هایی که درختکاری شده هستند، بعدازظهرها تا ۱۰/۲ °c و شب ها تا ۱/۷ °c گرمتر هستند و ساختمان‌های واقع در آنها تا ۶۵٪ انرژی برق بیشتری مصرف می‌کنند.	Bhiwapurkar,2013; Ko,2012; Li et al., 2016; Wilson, 2013; Sosa et al., 2017; Eicker et al., 2015; Silva et al., 2018; Tsirigoti & Bikas, 2017; Yang & Yan, 2016; Zhou et al., 2016a; Ishii et al., 2010; Hemsath, 2016; Osório et al., 2017; Keirstead & Shah, 2011; Ratti et al., 2005; Vartholomaios, 2017; Arboit et al., 2010; Rode et al.,2014; Stephan et al., 2013; Rodríguez-Álvarez, 2016
	بلوک	چیدمان و طراحی بلوک/اندازه، شکل و هندسه بلوک، فشردگی بلوک، جهت بلوک، طول بلوک، نسبت سطح به حجم بلوک، کاربری (بلوک)		
	معابر	نسبت ارتفاع به عرض خیابان، جهت و عرض خیابان، اندازه شبکه معابر، دسترسی		
	فضای باز	ضریب دید به آسمان، پوشش گیاهی،		
شهر / منطقه	توده	تراکم، FAR، تراکم جمعیتی، پوشش خارجی ساختمان[4]، مساحت پوشش، جهت، شکل، اندازه شهر، اندازه قطعات، مساحت ساختمان، فشردگی، کاربری، نوع (الگوی) ساختمان، مصالح، شکل و طرح[5] ساختمان‌ها، شیب بام	-نواحی مسکونی فشرده نسبت به نواحی پراکنده ۲۰٪ انرژی کمتری مصرف می‌کنند. - فاصله بین ساختمانها و عرض معابر در چیدمان (طرح) واحدهای همسایگی با ساختمانهای ردیفی، بیشترین تأثیر بر سایه‌اندازی‌ها و در نتیجه مصرف انرژی دارد. - ساختمان‌های متصل نسبت به ساختمان‌های منفصل بین ۲۰٪ تا ۳۵ ٪ انرژی گرمایشی کمتری مصرف می کنند.	Alobaydi et al.,2016; Banister et al.,1997; Da Silva et al., 2007; Wiedenhofer et al., 2013; Yin et al., 2013; Larson et al., 2012; Larson & Yezer, 2015; Mörtberg et al., 2017; Liu et al., 2015; Byrd et al., 2013; Muñiz et al., 2013; Lo, 2016
	معابر	شبکه معابر، دسترسی، طراحی خیابان، هندسه خیابان		
	فضای باز	شاخص فضای باز، ضریب دید به آسمان، انسداد دید به آسمان[6]، زاویه افق شهری[7]		

*جهت دستیابی به اطلاعات تفصیلی در مورد هریک از متغیرهای فرم فیزیکی شهر و چگونگی تأثیر آنها بر تولید یا مصرف انرژی به متن رساله نویسنده مسئول رجوع شود.

محققان مختلف متغیرهای متنوعی را با توجه به هدف پژوهش، حوزه حرفه‌ای و رشته تحصیلی، امکانات موجود مانند نرم‌افزارها، مدل‌ها و تکنیک‌های مختلف (که در بخش های بعد اشاره خواهد شد) و همچنین داده‌ها و اطلاعات در دسترس در سطوح فضایی سلسله مراتبی به کار گرفته‌اند. به طور کلی این متغیرها در مقیاس تک بنا در قالب سه دسته :۱- توده ساختمانی ۲-مصالح و۳- باز شوها و سطوح ساختمان قابل تفکیک هستند و در مقیاس‌های دیگر این متغیرها در قالب سه دسته: ۱- توده ساختمانی ۲- فضاهای باز و ۳- معابر شناسایی می‌گردند.

با توجه به اینکه از یک سو هریک از مقالات مرور شده مجموعه‌ای متفاوت از متغیرهای استخراج شده در جدول فوق را در شبیه‌سازی‌ها، مدلسازی‌ها و تحلیل‌های مرتبط به کار گرفته‌اند و از سوی دیگر برخی از آنها حوزه‌های مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی و یا انواع مدل سازی‌ها، عملکرد انرژی و غیره را مدنظر دارند بنابراین اظهار نظر قطعی یا مقایسه‌ای در مورد چگونگی تأثیر آنها در تولید یا مصرف انرژی ممکن نیست و در جدول فوق حتی الامکان اثرات برخی از متغیرهای احصاء شده بر تولید یا مصرف انرژی ارائه شده است.

به طور کلی بخش عمده‌ای از تحقیقات، از این ایده که فرم شهری بر مصرف انرژی تاثیر می گذارد و فرم های پراکنده‌تر منجر به افزایش مصرف انرژی می شوند، حمایت می کنند. اما تحلیل‌های انجام شده در رابطه با متغیر تراکم هیچگونه اظهار نظر قطعی و قابل تعمیمی ارائه نمی‌کنند. بدین ترتیب که برخی محقیق تأثیر افزایش تراکم بر کاهش مصرف انرژی را تأیید و برخی دیگر رد کرده‌اند و در نتیجه تاکنون استنتاج قطعی و جامعی از تأثیر این متغیر کلیدی بر تولید یا مصرف انرژی ارائه نشده است.

1. Sky View Factor
2. Passive Zone Ratio
3. Urban Canyon
4. Building Envelope
5. Layout
6. Obstruction Sky View (OSV)
7. Urban Horizon Angle (UHA)

مروری بر منابع منتخب با تأکید بر حوزه انرژی

در دهه اخیر، مطالعات شهری به طور روزافزون به موضوع انرژی در سطوح مختلف تمرکز دارند تا درآینده بستری مناسب جهت ایجاد شهرهای پایدار از لحاظ انرژی فراهم آورند. در رابطه با این حوزه مطالعات برر سی شده در این مقاله را می توان در۳ د سته کلی طبقه بندی کرد: ۱- مدیریت، سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی ۲- عملکرد، کارآیی، تقاضا و عرضه انرژی ۳- روش‌ها، مدل‌ها و ابزارهای شبیه سازی و برآورد انرژی (جدول شماره ۳).

جدول ۳. دسته بندی مقالات مرور شده در حوزه انرژی

ردیف	موضوع کلی	منبع (سال)	تعداد	درصد
۱	مدیریت، سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی	Brandoni & Polonara, 2012; Cajot et al., 2015; Cajot et al., 2017; Clair,2009; Futcher & Mills, 2013; Sadownik & Jaccard, 2001; Jaccard et al., 1997; Pardo Martínez, 2015; Sadownik &; Prasad et al., 2014; Sampaio et al., 2013; Torabi Moghadam et al., 2017	۱۳	٪۱۱
۲	عملکرد انرژی(۹ مورد)، تقاضا و عرضه انرژی(۶۴ مورد)، کارآیی انرژی (۸ مورد)	Ahmadi Venhari et al.,2019; Li, 2011; Owens, 1992; Resch et al., 2016; Silva et al., 2017a; Soares et al., 2017; Wang & Li, 2017; Javanroodi et al.,2019; Khalil,2009; Dar-Mousa & Makhamreh,2019; Yüksek & Esin,2013, Zamani et al.,2018	۹۴	۷۹٪
۳	روش‌ها، مدل‌ها و ابزارهای شبیه سازی و برآورد انرژی	Anderson et al., 2015; Huang et al., 2015; Keirstead et al., 2012; Koutra et al., 2018; Larivière & Lafrance, 1999; Liu & Sweeney, 2012; Pasimeni et al., 2014; Robinson et al., 2007; Shi et al., 2017; Yang & Yan, 2016; Zucchetto, 1983; Cerezo et al.,2017	۱۲	٪۱۰

بر اساس جدول فوق، اغلب مقالات مورد تحلیل در زمینه رابطه فرم شهری و انرژی (تقریباً ۷۹٪)، موضوع عرضه و تقاضای انرژی و یا عملکرد و کارآیی انرژی را مد نظر قرار داده و دو حوزه دیگر شامل: ۱- مدیریت، سیا ستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی و ۲- روش‌ها، مدل‌ها و ابزارهای شبیه سازی و برآورد انرژی هر یک تقریباً ۱۰ ٪ از مطالعات را به خود اختصاص داده‌اند. این ارقام به خوبی خلأ موجود در ادبیات مربوط به دو حوزه اخیر را نشان می‌دهند.

بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در شهرها

محققین در مطالعات مربوط به شناسایی و سنجش رابطه فرم شهری و انرژی، دسته‌بندی‌های متفاوتی از انواع بخش‌های مصرف کننده انرژی در شهرها ارائه می‌کنند (جدول شماره ۴) که به نظر می‌رسد برخی از این د سته‌بندی‌ها (مانند د سته‌بندی ارائه شده توسط اندرسون و همکارانش در سال ۲۰۱۵) صحیح نمی‌باشد:

جدول ٤. بخش‌های مصرف کننده انرژی در شهرها

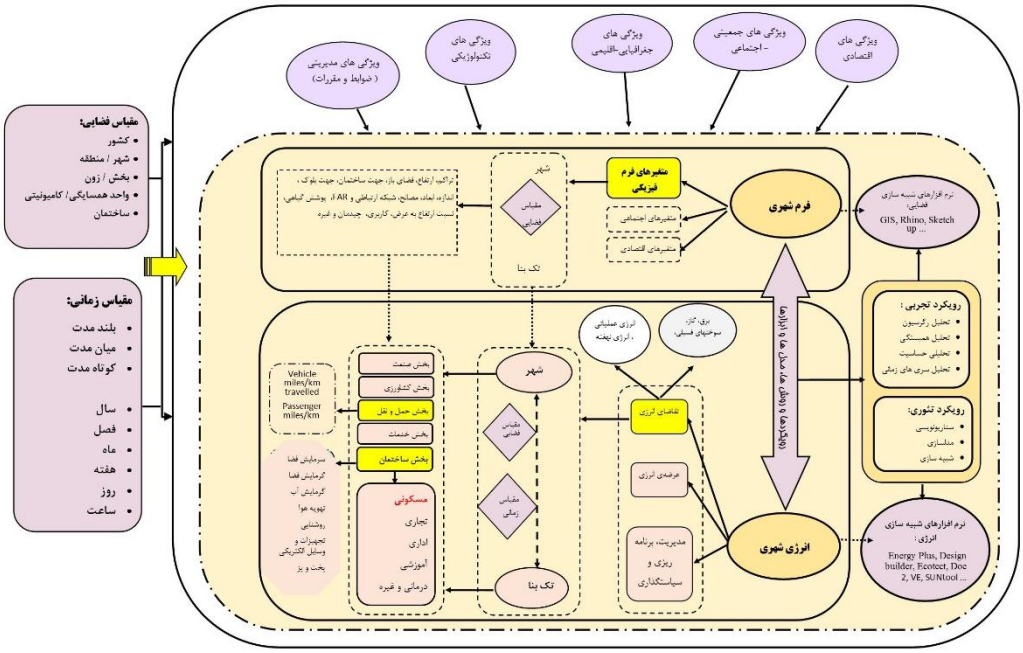
محقق / نویسنده	سال	انواع مصرف انرژی در شهر	منبع
اندرسون و همکاران	۲۰۱۵	انرژی نهفته[1]، عملکردی[2]، حمل‌ونقل[3]، و مصرف[4]	Anderson et al., 2015:153
ماکیدو و همکاران ؛ درموسی و مخمره	۲۰۱۲	۱-صنعت ۲- خدمات / تجاری ۳-مسکونی ۴- حمل و نقل	Makido et al., 2012:60; Dar-Mousa & Makhamreh, (2019)
برندونی و پولونارا	۲۰۱۲	صنعت، حمل‌ونقل، سکونت، خدمات عمومی/ تجاری و کشاورزی	Brandoni & Polonara,2012:326
پاردو مارتینز	۲۰۱۵	۱- بخش م سکونی ۲- بخش صنعت ۳- بخش حمل‌ونقل ۴- بخش خدمات ۵- سایر (مانند ساختمان‌های دولتی، روشنایی معابر و غیره)	Pardo Martinez,2015:3
استیمرز	۲۰۰۳	۱- صنعت ۲- ساختمان‌های تجاری ۳- ساختمان‌های مسکونی ۴- اتومبیل‌ها ۵- وسایل حمل‌ونقل ریلی و هوایی و اتوبوس‌ها ۶- وسایل حمل‌ونقل کالاها	Steemers,2003:4

[1]. Embodied Energy
[2]. Operational Energy
[3]. Transportation
[4]. Consumption

بر اســاس مطالعات تحلیل شــده در این تحقیق، مصــرف انرژی شــهرها عمدتاً مربوط به ۴ بخش اصــلی شــامل: ۱- بخش ساختمان(اعم از ساختمان‌های مسکونی، تجاری، اداری، آموز شی و غیره)؛ ۲- بخش حمل‌ونقل(اعم از مسافر و یا کالا به صورت هوایی، زمینی وآبی)؛ ۳- بخش صنعت و ۴- بخش کشاورزی می‌با شد که از دید پژوهشگران دو بخش ساختمان و حمل‌ونقل در غالب شهرهای مورد مطالعه بیشترین مصرف انرژی در شهرها را به خود اختصاص می‌دهند.

همچنین، مهمترین انواع مصارف انرژی در ساختمان‌های یک شهر نیز عبارتند از انرژی مورد نیاز جهت: گرمایش(Hemsath, 2016;Silva et al., 2018; Vartholomaios,2017)، سـرمایش (Tsirigoti & Bikas, 2017; Wiedenhofer et al., 2013) و روشنایی فضا (Fonseca & Schlueter, 2015; Ratti et al.,2005)،گرمایش آب (Hsieh et al.,2017; Stephan et al., 2013)، و سایل الکتریکی (Stephan et al., 2013; Hsieh et al., 2017)، تهویه هوا (Stephan et al., 2013) و پخت‌وپز(Stephan et al., 2013; Ye et al., 2017).

نتایج حا صل از فراتحلیل مطالعات انجام شده در زمینه رابطه فرم شهری و انرژی در شکل شماره ۲ به طور خلا صه به ت صویر کشیده شده است:



شکل ۲. مدل مفهومی حاصل از فراتحلیل منابع

بر اساس منابع منتخب در این مقاله، به نظر می‌رسد فرم شهری و انرژی در یک رابطه دوسویه تحت تأثیر ویژگی‌های اجتماعی، اقت صادی، جغرافیایی، تکنولوژیکی و سیا سی-مدیریتی شهرها هستند و شنا سایی، اندازه‌گیری و تحلیل این رابطه در مقیاس‌های ف ضایی و زمانی مختلف از طریق مجموعه‌ای از متغیرها مانند تراکم، نسبت ارتفاع به عرض خیابان‌ها(H/W)، ارتفاع ساختمان‌ها و ... صورت می‌پذیرد.

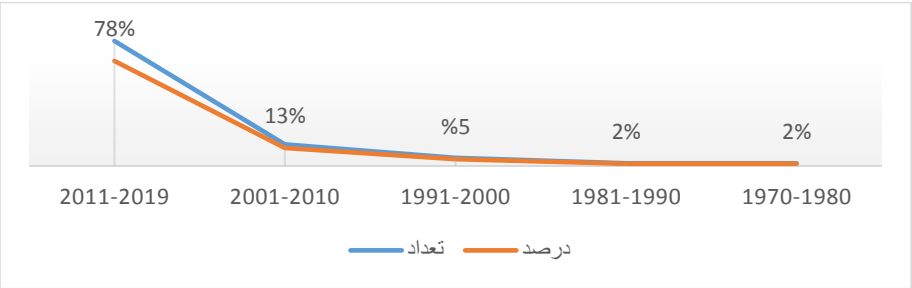
بنابراین هر محقق با توجه به: الف) حوزه مورد نظرخود در زمینه انرژی (جدول شماره ۳)؛ ب- مقیاس فضایی و زمانی مورد نظر؛ ج- بخش تولید یا مصرف کننده انرژی در شهر (شامل بخش‌های مسکونی، حمل‌ونقل، صنعتی و ...) و یا انواع مصرف انرژی در ساختمان (گرمایش، سرمایش، رو شنایی و ...)؛ و د-متغیرهای متنا سب با مقیاس ف ضایی موردنظر، می‌تواند رویکرد، روش، ابزار و نرم‌افزار مرتبط را انتخاب نموده و نهایتاً به تحلیل رابطه فرم شهری و انرژی در محدوده مورد مطالعه بپردازد.

روش پژوهش

مقاله حاضر ادبیات اخیر در حوزه رابطه میان "فرم شهری و انرژی" را از طریق فراتحلیل مقالاتی که از مرتبط‌ترین شبکه ادبیات علمی (Elsevier /Science Direct) گردآوری شده، مرور می‌کند. در این راستا در پایگاه داده‌های علمی نامبرده، کلیدواژگان "فرم شهری و انرژی" و نیز "رابطه میان فرم شهری و مصرف انرژی"در قسمت موضوع یا عنوان مورد جستجو قرار گرفت که به یافتن ۱۳۶۱مقاله انجامید. به منظور شناسایی یک زیرمجموعه قابل مدیریت از این مقالات، از بین نتایج به دست آمده مرتبط‌ترین مقالات که هر دو واژه "فرم شهری" و یا "انرژی" و مشتقات آن‌ها را در بردارند، عمدتاً بر بخش ساختمان متمرکزند و همچنین مربوط به کشورهای حوزه خاورمیانه و به ویژه ایران هستند (یعنی ۱۴۳ مقاله) انتخاب شدند. از این تعداد، ۲۴ مقاله علیرغم اینکه عناوین آنها دربرگیرنده واژگان مورد نظر این تحقیق هست به دلیل عدم همخوانی از نظر محتوا با دیگر مقالات مدنظر این پژوهش و تعلق داشتن به حوزه‌های علوم دیگر مانند کیفیت زندگی، سلامت، بهداشت و غیره از لیست منابع این مقاله حذف شدند. این فرآیند سبب شد که در نهایت ۱۱۹ مقاله در زمینه رابطه میان فرم شهری و انرژی به عنوان نمونه‌های موردی این مطالعه با روش فراتحلیل واکاوی شوند. شکل شماره ۳ این فرآیند سیستماتیک از انتخاب مقالات مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

شکل ۳. فرآیند مرور سیستماتیک مقالات منتخب

بنابراین در مجموع ۱۱۹ مقاله که بین سال‌های ۱۹۷۴ و ۲۰۱۹ م. منتشر شده‌اند، در خلال مطالعه تحلیلی حاضر بر اساس معیارهای تعیین شده در بخش بعد، با یکدیگر مقایسه می‌شوند(شکل شماره ۴). به طور کلی اهداف این مطالعه مروری عبارتند از: ۱- شناسایی موضوعات پژوهشی مختلف که تا به امروز در زمینه رابطه فرم شهری و مصرف انرژی صورت گرفته است؛ به طور مشخص‌تر (با تأکید برکشورهای حوزه خاومیانه و به ویژه ایران)، ۲- تحلیل مطالعات انجام شده در این رابطه در مقیاس‌های فضایی و زمانی مناسب ؛ ۳- شناسایی رویکردها، روش‌ها و تکنیک‌های به کار گرفته شده درآنها و۴ – شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های موجود جهت شناسایی رابطه بین فرم شهری و انرژی.



شکل ٤. تعداد مقالات مرور شده پژوهش حاضر بر اساس سال انتشار

نمودار فوق، گویای این است که موضوع رابطه فرم شهری و انرژی در طول زمان به ویژه در دهه اخیر، توجه پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است.

رویکردها و روش‌ها

رویکردهای متفاوتی در مقالات مرور شده در این تحقیق برای شناسایی ویا سنجش رابطه فرم شهر و انرژی به کار گرفته شده‌اند. این رویکردها را به طور کلی می توان در دو دسته به شرح ذیل بیان کرد:

- **رویکرد عرضه و تقاضای انرژی**

مقالات مورد بررسی در مطالعه حاضر به طور کلی دو نوع رویکرد (عرضه و تقاضای انرژی) را در شناسایی رابطه بین فرم شهری و انرژی در بر می‌گیرند. تعداد بسیار اندکی از آنها (۱ ٪) صرفاً به "عرضه انرژی[1]" آن هم با تأکید بر پتانسیل انرژی خورشیدی توجه داشته (Arboit et al., 2008; Grosso, 1998) و بخش عمده‌ای از آنها (۸۱ ٪) صرفاً به "تقاضای انرژی[2]" توجه دارند(Bhiwapurkar,2013; Felimban et al.,2019; Ozturk,2005;Silva et al., 2017a; Yin et al., 2018; Yongling,2011). در میان مقالات مرور شده تعداد اندکی (۱۸ ٪) هم هر دو حوزه عرضه و تقاضای انرژی را به طور همزمان مورد برر سی قرار داده‌اند(Robinson et al., 2007; Zhou et al., 2016a) (شکل شماره ۵) نکته جالب توجه در خصوص دسته اخیر اینکه این مقالات عمدتاً بر برنامه‌ریزی انرژی تمرکز دارند.

شکل ۵. درصد مقالات مرور شده بر اساس رویکرد عرضه و تقاضای انرژی

- **رویکرد تجربی و تئوری**

منابع مرور شده در مقاله حا ضر به طور کلی در قالب دود سته رویکرد : ۱- تجربی[3] و ۲-تئوری قابل تفکیک ه ستند. این منابع عمدتاً از تحلیل‌های آماری مانند رگر سیون و ضریب همب ستگی و یا از انواع مدل‌ها برای مدل سازی و نرم‌افزارهای مختلف مانند Energy plus, Design Builder, Doe2, Ecotect برای شبیه‌سازی و همچنین سناریو نویسی استفاده کرده‌اند. با توجه به بررسی‌های انجام شده از مقالات انتخابی تحلیل‌های آماری در دسته رویکرد تجربی و دیگر روش‌ها (شامل مدل‌سازی، سناریونویسی و شبیه‌سازی) در دسته رویکرد تئوری قرار می‌گیرند (جدول شماره ۶).

1. Energy supply
2. Energy demand, energy consumption, energy use
3. Empirical

جدول ٦. رویکردها در منابع منتخب بر اساس روش‌ها، مدل‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در آنها

رویکرد	روش	مدل، تکنیک یا نرم افزار	منابع
تجربی	تخمین[1] رابطه از طریق تحلیل‌های آماری	انواع رگرسیون	Ewing & Rong, 2008; Roshan et al.,2017; Steemers, 2003
		انواع همبستگی	Guhathakurta & Williams, 2015; Roshan et al.,2017 ;Yang & Yan, 2016
		سری‌های زمانی[2]	Sampaio et al.,2013
		تحلیل حساسیت	Sosa et al., 2017;Tsirigoti & Bikas, 2017
		SEM (Structural Equation Model)	Yang et al., 2016;Larson & Yezer,2015; Hemsath, 2016
		سایر آزمون‌های آماری	Tereci et al.,2013
تئوری	مدل‌سازی[3] (تخمین با مدل)	مدل شبکه عصبی	Larson & Yezer, 2015;Sharpe, 1978; Yezer et al., 2012
		مدل LT	Guhathakurta & Williams, 2015;Sadownik & Jaccard, 2001
		سایر	Cerezo et al.,2017
	تحلیل سناریو[4]	سناریو سازی	Silva et al., 2018; Drouilles et al., 2017 ،Sharpe, 1978
	شبیه‌سازی[5] فضایی	GIS /Rhino/ Sketch up	Alobaydi et al.,2016; Marique & Reiter, 2014
	شبیه‌سازی[5] انرژی	VE[6]، Daysimt, Energy plus وغیره	Rode et al.,2014;Yang & Yan, 2016; Zhou et al., 2016b

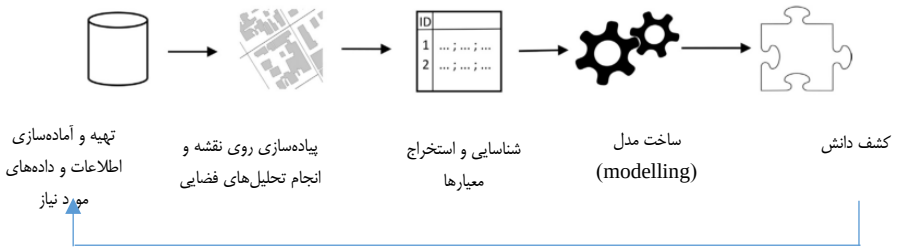
در رابطه با روش‌های آماری در رویکرد تجربی و انواع مدل‌هایی که مقالات مختلف ازآن‌ها برای مدل سازی رابطه بین فرم شهر و م صرف یا عر ضه انرژی در رویکرد تئوری ا ستفاده کرده‌اند، باید به این نکته توجه دا شت که هرچند برخی محققین در مطالعات خود به اشتباه یا به شکل غلط مصطلح از واژه مدل(model) یا مدلسازی(modelling) برای استفاده از انواع تکنیک‌های آماری از قبیل رگرسیون (Yin et al., 2018) یا تحلیل سری‌های زمانی (Sampaio et al.,2013) بهره جسته‌اند اما در حقیقت ماهیت آنچه به کار گرفته شده است دردسته تکنیک[7]های آماری با رویکرد تجربی قرار می‌گیرد و با مفهوم اصلی واژه مدل که دراین مقاله مد نظر است فاصله دارد.

هر یک از مقالات با توجه به داده‌های در دسترس، مقیاس و رویکردی که دارند از تکنیک‌ها و ابزارهای متفاوتی برای دستیابی به اهداف تعیین شده بهره برده‌اند. همانگونه که در جدول شماره ۶ مشاهده می‌شود تکنیک‌هایی که در رویکرد تجربی و به عبارتی عمدتاً در تحلیل‌های آماری استفاده شده‌اند عبارتند از : انواع رگرسیون (مانند چند متغیره و خطی)، ضرایب همبستگی (مانند پیرسون و کندال) و تحلیل سری‌های زمانی. در این میان تکنیک رگرسیون پرکاربردترین روشی است که ۵۶٪ درصد مقالات مرور شده در این پژوهش از آن بهره جسته‌اند.

مدل‌ها که عمدتاً در مقالات با رویکرد تئوری ا ستفاده می شوند و از لحاظ نظری امکان انجام برآوردهای تفصیلی را فراهم می‌سازند، معمولاً بسیار پیچیده بوده و نیاز به حجم زیادی از داده‌های ورودی دارند که عموماً برای اغلب شهرها در دسترس نبوده، و به این لحاظ، بکارگیری فرآیند مدل‌سازی در مقیاس‌های کلان و سایر حوزه‌های جغرافیایی با محدودیت مواجه می‌باشد (Osório et al.,2017:669).

1. Estimation
2. time series
3. Modelling
4. Scenario Analysis
5. Simulation
6. Virtual Environment
7. technique

تمام منابع مرور شده در پژوهش حاضر از یک چارچوب روش‌شناسی در فرآیند مدل‌سازی مورد نظرشان بهره برده‌اند: ۱- تهیه و آماده‌سازی اطلاعات و داده‌های مورد نیاز ۲- پیاده‌سازی روی نقشه و انجام تحلیل‌های فضایی ۳- شناسایی و استخراج معیارها ۴- ساخت مدل ۵- کشف دانش(شکل شماره ۶).



شکل ٦. چارچوب روش‌شناسی فرآیند مدل‌سازی

(Silva et al., 2017b:388)

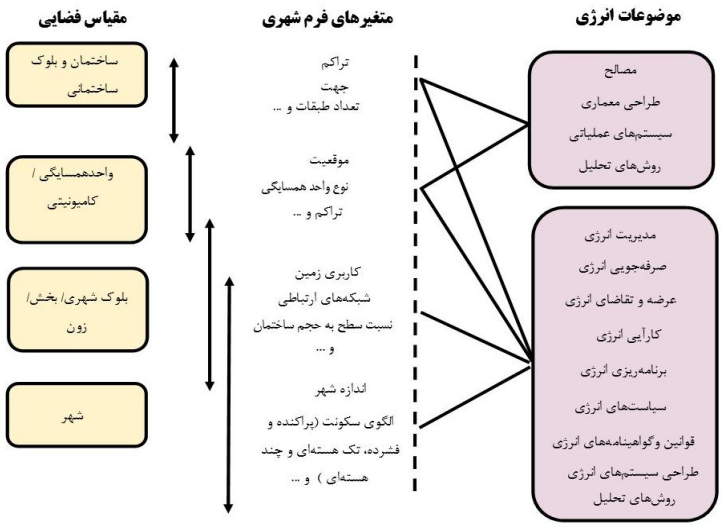
مقیاس ها

منابع مرور شده در این مقاله از نظر مقیاس به طور کلی در دو دسته قابل بررسی هستند:

- **مقیاس فضایی[1]**

تحلیل عملکرد انرژی فرم شهری متمایز از مطالعات سنتی در حوزه شبیه سازی انرژی ابنیه در وهله اول مستلزم تعریف حدود و مرز سیستم است، چرا که فرم شهری با چندین سطح فضایی در ارتباط است. بنابراین در مقالات مرور شده سطوح مختلف فضایی شامل ساختمان ، خیابان، بلوک ساختمانی، بلوک شهری، واحد همسایگی / کامیونیتی، بخش/ زون ، شهر، کشور (Lo, 2016) و منطقه (Hargreaves et al., 2017) را می‌توان مشاهده کرد (شکل شماره ۷).

مطالعات انجام شده در مقیاس‌های فضایی مختلف با توجه به موضوعات مطرح حوزه انرژی (که به طور کلی در شکل شماره ۷ دسته بندی شده اند)، یک یا چند متغیر از متغیرهای فرم شهری را مورد بررسی قرار داده‌اند.



شکل ۷. چارچوب تحلیل رابطه فرم شهری و انرژی در مقیاس‌های فضایی مختلف

[1]. Spatial scale

با توجه به اینکه از یک سو به اعتقاد بانیستر[1] و همکارانش (۱۹۹۷) و پسیمنی[2] و همکارانش (۲۰۱۴) ، شهر و محدوده ای که تحت تسلط حکومت محلی (شهرداری) است، مقیاس مناسب برای انجام تحلیل‌ها در حوزه انرژی است(Banister et al.,1997:141; Pasimeni et al.,2014:168) و از سویی دیگر به اعتقاد کوان[3] و همکارانش(۲۰۱۶) در اغلب مطالعات حوزه انرژی، واحدهای همسایگی به دلیل استقلال نسبی و خودمختاری در توسعه فرم شهری به عنوان مرز سیستم در فرم شهری انتخاب می‌شوند، می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی مهمترین و پرکاربردترین مقیاس‌های فضایی در انجام تحلیل‌های انرژی مرتبط با فرم شهری مقیاس شهر و واحدهمسایگی است و در مطالعات جاری به رابطه بین واحدهمسایگی یا شهر، به عنوان یک سیستم پیچیده، و عملکرد انرژی بنا کمتر توجه شده است.

- **مقیاس زمانی[4]**

زمان در منابعی که به رابطه فرم شهری و انرژی اشاره دارند بر اساس مقیاس فضایی، اهداف پژوهش، مدل یا روش مورد استفاده و نیز داده‌های قابل دسترس ، در طیف متنوعی از ساعت، روز ، هفته ، ماه ، فصل و سال به صور متفاوت در نظر گرفته شده است. به طور خاص، زمانی که این مقالات بر مقیاس‌های محلی (نظیر حوزه عمل یک شهرداری یا شهرستان یا منطقه) تمرکز کرده‌اند، چارچوب زمانی از ده تا بیست سال متغیر است. در مقابل، آن‌هایی که در مقیاس‌های فضایی بزرگ‌تر (نظیر مقیاس کشور و جهان) یا دینامیک‌هایی با مقیاس‌های فضایی مختلف تمرکز داشتند، تحلیل براساس چارچوب زمانی حداقل سی ساله صورت گرفته است.

زمان در رابطه با قوانین و مقررات، توافقنامه‌ها، پروتکل‌ها، برنامه‌ها، اقدامات و سیاست‌ها در منابعی که به حوزه مدیریت و سیاستگذاری انرژی معطوف هستند، به صورت کلی در قالب سه دسته : بلند مدت، کوتاه‌مدت و میان مدت قابل درک می‌باشد(Li et al.,2018b:824).

به طور مشخص، در ادبیاتی که مورد بررسی قرار گرفته است، به منظور شناخت و درک موضوعات مربوط به رابطه فرم شهری و انرژی می‌توان شاهد اهمیت یافتن روزافزون مسئله مقیاس محلی (به عنوان مثال، مقیاس حوزه تحت عمل شهرداری) و دینامیک‌های میان‌مقیاس نظیر مقیاس فضایی بخش(District) بود. بنابراین مطلوب‌ترین مقیاس فضایی برای برنامه‌ریزی فضایی سطح شهرداری‌ها و جوامع محلی است که نیازمند افق‌های زمانی کوتاه‌مدت می‌باشد.

توزیع جغرافیایی مطالعات انجام شده

فرم شهری و تولید یا مصرف انرژی در شهرها در یک رابطه دوسویه تحت تأثیر شرایط اقلیمی، اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و جغرافیایی آنها قرار دارد. بنابراین بررسی توزیع جغرافیایی مقالات بازخوانی شده می‌تواند در درک بهتر ادبیات مربوط به این حوزه کمک‌کننده باشد. در این راستا شکل شماره ۸ توزیع جغرافیایی مطالعات منتخب را به تصویر می‌کشند.

---

1. Banister
2. Pasimeni
3. Quan
4. Temporal Scale

شکل ۸ . توزیع جغرافیایی مقالات منتخب به تفکیک کشورهای آمریکایی، اروپایی و آسیایی

بررسی توزیع جغرافیایی مقالات منتشر شده در حوزه موضوع این پژوهش، به وضوح نشان‌دهنده خلأ موجود در ادبیات مربوط به رابطه فرم شـهری و انرژی در حوزه کشـورهای خاورمیانه و به ویژه ایران اسـت. به طوریکه بیش از ۳۴٪ منابع منتخب مربوط به کشورهای توسعه یافته اروپایی، ۱۹٪ آنها مربوط به کشورهای آمریکایی، ۱۹٪ مربوط به کشورهای جنوب شرق آسیا به ویژه چین و تنها ۱۴٪ به شهرهای جنوب‌غرب آ سیا (خاورمیانه) پرداخته‌اند. دلایل متعددی را در خ صوص تعداد اندک پژوهش‌های مرتبط با رابطه فرم شهری و انرژی در این منطقه می‌توان برشمرد : مانند وضعیت اجتماعی، اقتصادی، سیاسی این کشورها، وقوع جنگ‌های منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای در این حوزه، وجود منابع غنی انرژی و در نتیجه غفلت ک شورهای این حوزه از لزوم کاهش م صرف انرژی و غیره.

چالش‌ها و محدودیت‌ها در مقالات مرور شده

به رغم تنوع تجاربی که در مطالعه مروری حاضر بررسی شدند، می‌توان شماری از چالش‌ها و محدودیت‌های مشترک را بین آن‌ها شناسایی کرد که مهمترین آنها عبارتند از:

- کمبود مطالعه توأمان هر دو بخش ساختمان و حمل‌ونقل و نیز کلیه بخش‌های مصرف کننده انرژی در شهر
- دسـتیابی دشـوار، محدود، زمان‌بر و حتی در بعضـی موارد پرهزینه به داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در مقیاس‌های فضـایی و زمانی مورد نظر، نبود پایگاه داده واحد(Ewing & Rong,2008) و همچنین کمبود اطلاعات مربوط به بخش‌های مختلف مصـرف کننده انرژی مانند بخش سـاختمان، حمل‌ونقل، صـنعت، کشـاورزی و غیره (مثلاً اطلاعات جامع از کلیه سـفرها در زمان‌های مختلف). در نتیجه د شوار بودن د ستیابی به داده‌های سازگار و نامتناقض چه در داخل شهرها و چه بین شهرها(مثلاً در بـسیاری موارد دسـتیابی به اطلاعاتی در ابعاد مختلف کالبدی، اجتماعی و اقتصـادی (Li et al.,2018b: 830) که منطبق بر نواحی جغرافیایی مرتبط باشد، بسیار سخت و ناممکن است).

بنابراین در خصوص داده‌ها به طور کلی دو نوع چالش عمده وجود دارد: ۱- دسترسی به داده‌ها ۲- عدم قطعیت داده‌ها. اولین چالش در خصوص داده‌ها به علت دشوار بودن کسب داده‌های آماری در خصوص انرژی شهری در کشورهای مختلف است. بنابراین ارتقاء دسترس‌پذیری داده در کشورهای مختلف از اهمیت بسزایی برخوردار است. دومین چالش اساسی در این بخش عدم‌قطعیت داده‌ها است. ممکن است، داده‌های مشاهده شده به دلیل خطاهای اندازه‌گیری، نیاز به استفاده از منابع داده‌های متناقض، یا اشتباهات محاسباتی ناشی از تغییر داده‌ها (نظیر کاهش مقیاس داده‌های ملی به مقیاس شهر براساس سرانه‌ها) از قطعیت برخوردار نباشند. اما اغلب مقالاتی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند، روش‌های برخورد با عدم قطعیت پارامترها را به روشنی تبیین نکرده‌اند.

- نبود مدل‌های یکپارچه وکلی جهت تحلیل‌های حوزه انرژی در شهرها و ساختمان‌ها (Osório et al., 2017: 668)؛ با توجه به اینکه علاوه بر فرم شهرعوامل مختلف دیگر مانند رفتار مصرف کنندگان هم بر عرضه و تقاضای انرژی در شهر تأثیر گذاراند.
- پیچیدگی اکثر مدل های موجود جهت برآورد مصـــرف انرژی(Osório et al.,2017:669) و به طور کلی پیچیدگی دامنه مدل‌ســازی؛ زیرا بســیاری از مقالاتی که از تکنیک‌های مدل‌ســازی اســتفاده می‌کنند به حجم قابل توجهی از داده‌ها نیاز دارند (Zhang et al.,2018:18; Osório et al.,2017:669).
- غیرقابل تعمیم بودن نتایج مطالعات انجام شده به شهرهای مشخص و یا گونه‌های مختلف ابنیه و یا سایل نقلیه به دلیل عدم قطعیت در برخی مدل‌ها یا داده‌ها
- نبود امکان مقایسه مصرف انرژی در شهرهای مورد بررسی در منابع به دلیل نداشتن مبنایی واحد و درنتیجه مفید واقع نشدن آنها در برنامه‌ریزی‌های انرژی
- نبود تحلیل‌های مناسب درزمینه مقایسه مصرف انرژی در کشورهای مختلف
- نبود تعاریفی مشخص و مورد اجماع از متغیرهای حوزه فرم شهری به ویژه متغیرهای فرم فیزیکی شهر در سطوح فضایی مختلف و همچنین نبود شاخص‌های مناسب و مورد توافق متخصصان در حوزه انرژی
- نیاز به اولویت داشتن بهره‌مندی از پتانسیل انرژی خورشیدی و طراحی‌های غیرفعال در قوانین محلی و مقیاس شهر
- فقدان یک مدل مفهومی که تمامی روابط مستقیم و غیر مستقیم را از طریق ترکیب متغیرهای فرم شهری در نظر بگیرد.

فرصت‌ها در مقالات مرور شده

هرچند توجه به چالش‌های فوق امری اضـطراب‌آور اسـت اما در مقالات مرور شـده فرصـت‌هایی نیز مطرح شـده‌اند (به ویژه فرصت‌هایی که روش‌ها و فناوری‌های جدید در اختیار قرار می‌دهند) که می‌تواند در از میان برداشتن این چالش‌ها مفید باشد:

- امکان ایجاد شهرهایی با حداقل مصرف انرژی و حداکثر تولید انرژی از طریق وضع و اجرای قوانین محلی در ساخت‌و سازها با استفاده از تجارب، قوانین و ادبیات موجود در شهرها و کشورهای مختلف به ویژه شهرهای دارای اقلیم مشابه با شهرهای ایران
- امکان تأثیرگذاری وسیع حکومت‌های محلی(شهرداری‌ها) هم در ساخت توسعه‌های جدید و هم در بازسازی و نوسازی محلات موجود جهت ایجاد جوامعی کارآ در حوزه انرژی
- امکان ایجاد حسـاسـیت در جوامع نسـبت به نگرانی‌های زیسـت محیطی موجود و مرتبط با حوزه انرژی و نیز امکان درگیر کردن همه بخش‌ها و عوامل موثر بر مصرف انرژی (مانند شهروندان و ذینفعان) برای توسعه سیاست‌ها و قوانین موفق‌تر در زمینه انرژی از طریق استفاده از رویکردهای پایین به بالا در اولین گام‌های فرآیند برنامه‌ریزی انرژی
- داده‌های شهری اغلب در زمان‌های مختلف و توسط افراد یا منابع مختلف گردآوری می‌شوند. علاوه بر این، در کشورهای در حال توسعه با فقدان داده‌ها نیز مواجه هستیم. این موضوعات نشان می‌دهد که ارتقاء استانداردهای گردآوری داده‌ها و به اشتراک‌گذاری داده‌ها بین پژوهشگران از اهمیت بسزایی برخوردار است. سه فرصت عمده که در این زمینه می‌توان برشمرد شامل الف) تعریف واژگان استاندارد برای حوزه انرژی شهری ب) بسط یک زمینه مشترک علمی برای حوزه انرژی شهری و ج) پایگاه مشترک برای داده‌های شهری به ویژه شهرهای تاریخی می‌شود.

یافته‌های پژوهش

فرم شـهری که به طرح فیزیکی و چیدمان فضـایی کاربری‌ها در یک منطقه شـهری اشـاره دارد و از دید پژوهشـگران تأثیرات عمیقی بر مصرف انرژی دارد، یک مفهوم چند بعدی است و رابطه علیّت پیچیده موجود در آن با استفاده از روش‌های میان‌رشته‌ای قابل بررسی است. موضوع انرژی در رابطه با فرم شهری در سال‌های اخیر (به‌ویژه در سال‌های ۲۰۱۹ – ۲۰۰۰) توجه پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است و به دلیل اهمیتی که این موضوع در سال‌های اخیر پیدا کرده است هرسال به تعداد پژوهش‌های این حوزه افزوده می شود. منابع مطالعه شده در این پژوهش بر تأثیرگذاری فرم شهری و متغیرهای وابسته به آن (جدول تفصیلی شماره ۲) بر تولید یا مصرف انرژی در: الف) سطوح مختلف فضایی (بنا، بلوک ساختمانی، واحد هم سایگی یا کامیونیتی، بلوک شهری، بخش یا زون، شهر و منطقه، کشور) و ب) بخش‌های مختلف شهری به ویژه دو بخش ساختمان و حمل‌ونقل اذعان دارند. این تأثیر گذاری در منابع مرور شده به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم مورد توجه قرار گرفته است و تنها Liu و Shen در سال ۲۰۱۱ درمقاله خود این دو تأثیر را به صورت همزمان بررسی کرده است.

محققان مختلف متغیرهای متنوعی را در مطالعات خود به کار گرفته‌اند. تراکم[1] به عنوان کلیدی‌ترین متغیر فرم شهری در سطوح فضایی مختلف شناخته شده(Banister et al.,1997; Wiedenhofer et al., 2013) و تقریباً در ۵۸٪ از مقالات مروری این پژوهش مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و یا درشبیه سازی‌ها (Silva et al., 2017b:387; Tsirigoti & Bikas, 2017; Quan et al., 2016) استفاده شده است. در این میان تعداد زیادی از منابع رابطه منفی تراکم با مصرف انرژی را تأکید و تأیید نموده‌اند(Makido et al., 2012; Osório et al., 2017; Pardo Martínez, 2015; Strømann-Andersen & Sattrup, 2011; Tereci et al.,2013; Yongling, 2011; Zhou et al., 2016a) و برخی هم بدون تأیید و یا رد این رابطه به اثرات مثبت و منفی تراکم بر مصـرف و یا کارایی انرژی اشـاره کرده‌اند (Dawodu & Cheshmehzangi, 2017; Li et al., 2018a).

در رابطه با موضـــوع تراکم این نکته قابل ذکر اســـت که غالباً منظور از این متغیر کلیدی در مطالعاتی که به بخش حمل‌ونقل معطوف هستند، تراکم جمعیتی(Liu & Shen, 2011;Sharpe,1978; Shim et al.,2006) و در مطالعات مرتبط با بخش ساختمان، تراکم ساختمانی[2] (Asfour & Alshawaf, 2015; Hemsath, 2016; Liu & Sweeney, 2012; Yin et al., 2018) و یا FAR (Byrd et al., 2013; Hsieh et al., 2017) می‌باشد.

به طور کلی بخش عمده‌ای از تحقیقات، از این ایده که فرم شهری بر مصرف انرژی تاثیر می گذارد و فرم های پراکنده تر منجر به افزایش مصـــرف انرژی می شـــوند، حمایت می کنند. اما در رابطه با متغیر تراکم بر اســـاس تحلیل‌های صـــورت گرفته در منابع پژوهش هیچگونه اظهار نظر قطعی و قابل تعمیمی نمی‌توان ارائه کرد. چرا که برخی محقیق تأثیر افزایش تراکم بر کاهش مصرف انرژی را تأیید و برخی دیگر رد کرده‌اند و تاکنون هیچ نتیجه گیری و اظهار نظر قطعی و جامعی از تأثیر این متغیر کلیدی بر تولید یا مصرف انرژی ارائه نشده است.

اغلب مقالات مورد تحلیل در زمینه رابطه فرم شـهری و انرژی (تقریباً ۷۹٪)، موضـوع عرضـه و تقاضـای انرژی و یا عملکرد و کارآیی انرژی را مد نظر قرار داده و دو حوزه دیگر شامل: ۱- مدیریت، سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی و ۲- روش‌ها، مدل‌ها و ابزارهای شبیه سازی و برآورد انرژی هر یک تقریباً ۱۰ ٪ از مطالعات را به خود اختصاص داده‌اند. این ارقام به خوبی خلأ موجود در ادبیات مربوط به دو حوزه اخیر را نشان می‌دهند.

بر اساس مطالعات تحلیل شده در این تحقیق، دسته‌بندی‌های متفاوتی از انواع بخش‌های مصرف کننده انرژی در شهرها وجود دارد که به نظر می‌رسد برخی از آنها صحیح نمی‌باشد. از دید محققین مصرف انرژی شهرها عمدتاً مربوط به ۴ بخش اصلی شامل: ۱- بخش ساختمان(اعم از ساختمان‌های مسکونی، تجاری، اداری، آموزشی و غیره)؛ ۲- بخش حمل‌ونقل(اعم از مسافر و یا کالا به صـــورت هوایی، زمینی وآبی)؛ ۳- بخش صـــنعت و ۴- بخش کشـــاورزی می‌باشـــد که دو بخش ســـاختمان و حمل‌ونقل در غالب شهرهای مورد مطالعه بیشترین مصرف انرژی در شهرها را به خود اختصاص می‌دهند.

---

[1]. Density
[2]. Housing density

مهمترین بخش‌هایی از شـــهر که رابطه فرم شـــهری و تولید یا مصـــرف انرژی در آنها مورد بررســـی قرار گرفته اســـت بخش ساختمان(۴۷ ٪)، بخش حمل‌ونقل(۱۷ ٪) و بخش ساختمان و حمل‌ونقل به طورهمزمان(۲۴ ٪) ا ست[۱] و دیگر بخش‌های م صرف کننده انرژی در شـهر مانند بخش کشـاورزی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. به رغم آنکه همواره این مسـئله بیان شـده اسـت که بخش سـاختمان و حمل‌ونقل باید در کنارهم دیده شـوند (Silva et al.,2017b:387)، اما مرور ادبیات پژوهش حاضـر نشـان می‌دهد که این دو بخش غالباً به صـــورت مجزّا در نظر گرفته شـــده اند به طوریکه تنها ۲۴درصـــد از منابع این مقاله به بخش حمل‌ونقل و ساختمان به طور توأمان اشاره دارند.

به طور کلی دو نوع رویکرد (عر ضه و تقا ضای انرژی) در شنا سایی رابطه بین فرم شهری و انرژی در منابع مورد ا ستفاده قرار گرفته اسـت. به طوریکه صـرفاً (۱ ٪) به "عرضـه انرژی[۲]" آن هم با تأکید بر پتانسـیل انرژی خورشـیدی توجه داشـته و بخش عمده‌ای از آنها (۸۱ ٪) صـرفاً به "تقاضـای انرژی[۳]" توجه دارند. در میان مقالات مرور شـده تعداد اندکی (۱۸ ٪) هم هر دو حوزه عر ضه و تقا ضای انرژی را به طور همزمان مورد برر سی قرار داده‌اند. نکته جالب توجه در خ صوص د سته اخیر اینکه این مقالات عمدتاً بر برنامه‌ریزی انرژی تمرکز دارند.

مهمترین و پرکاربردترین مقیاس‌های فضـایی در انجام تحلیل‌های انرژی مرتبط با فرم شـهری مقیاس شـهر و واحدهمسـایگی ا ست و در مطالعات جاری به رابطه بین واحدهمسایگی یا شهر، به عنوان یک سیستم پیچیده، و عملکرد انرژی بنا کمتر توجه شده ا ست. بنابراین مطلوب‌ترین مقیاس ف ضایی برای برنامه‌ریزی ف ضایی سطح شهرداری‌ها و جوامع محلی ا ست که نیازمند افق‌های زمانی کوتاه‌مدت می‌باشد.

فرم شهری و تولید یا م صرف انرژی در شهرها در یک رابطه دو سویه تحت تأثیر شرایط اقلیمی، اجتماعی، فرهنگی، اقت صادی و جغرافیایی آنها قرار دارد. برر سی توزیع جغرافیایی مقالات منت شر شده در حوزه مو ضوع این پژوهش، به و ضوح ن شان‌دهنده خلأ موجود در ادبیات مربوط به فرم شهری و انرژی در حوزه ک شورهای خاورمیانه و به ویژه ایران ا ست. در حالیکه بیش از ۳۴٪ منابع منتخب مربوط به کشورهای توسعه یافته اروپایی، ۱۹٪ آنها مربوط به کشورهای آمریکایی، ۱۹٪ مربوط به کشورهای جنوب شرق آسیا به ویژه چین و تنها ۱۴٪ به شهرهای جنوب‌غرب آسیا پرداخته‌اند.

با برر سی اولیه ادبیات و منابع این پژوهش رو شن شد که هر یک از مطالعات انجام شده به نوعی با چالش‌ها و محدودیت‌هایی مواجه بوده و یا به فرصت‌هایی قابل توجه برای مطالعات آینده اشاره دارند، مهمترین چالش‌های مشترک بیان شده در این مطالعات عبارتند از : نبود تعاریفی م شخص، یک سان و مورد اجماع از مفاهیم ا صلی حوزه فرم شهری و انرژی، کمبود داده‌های مورد نیاز و عدم قطعیت آنها، نبود مدل‌ها و نرم‌افزارهای یکپارچه، جامع و پویا جهت تحلیل‌های حوزه انرژی درمقیاس‌های بزرگتر از سـاختمان به ویژه مقیاس واحد همسـایگی و شـهر و کمبود مطالعه همزمان بخش‌های مختلف موجود در شـهر به ویژه بخش سـاختمان و حمل‌ونقل. مهمترین فرصـت‌های ارتقاء تجارب حاضـر نیز شـامل الف) امکان ایجاد زمینه مشـترک علمی برای حوزه انرژی و فرم شـهری ج) امکان ایجاد پایگاه مشـترک برای داده‌های شـهری و د) امکان اسـتفاده از پیشـرفت‌های اخیر در حوزه تکنولوژی، برنامه‌نویسی و سخت‌افزارهای محاسباتی جهت ایجاد مدل‌ها و نرم‌افزارهای یکپارچه شهری می‌شود.

نتیجه گیری و پیشنهادات

در سال‌های اخیر مصرف انرژی در محیط‌های شهری در سطح جهانی به عنوان موضوعی کلیدی برای دستیابی به توسعه پایدار شهری شناخته شده است و به همین دلیل موضوع رابطه بین فرم شهری و انرژی توجه پژوهشگران زیادی را به ویژه در کشورهای اروپایی و آمریکایی به خود جلب کرده است درحالیکه دراین خصوص در حوزه کشورهای خاورمیانه به ویژه ایران کمبود وجود دارد. بر اساس مطالعات مرور شده مصرف انرژی در شهر به ویژه در بخش ساختمان علاوه بر فاکتورهای فرم فیزیکی شهر نظیر تراکم، ساختار داخلی شهر در مقیاس خرد، طرح و چیدمان واحدهای هم‌سایگی، فضاهای شهری و شبکه‌های ارتباطی، به عواملی نظیر شرایط اقلیمی، ویژگی‌های اجتماعی–اقتصادی و شرایط تکنولوژیکی شهر نیز بستگی دارد.

---

۱. به طور کلی مطالعات انجام شده در زمینه رابطه بین فرم شهر و انرژی عمدتاً به بخش حمل‌ونقل تمرکز دارند، در پژوهش حاضر به علت تأکید بر بخش ساختمان در مرحله انتخاب مقالات، این بخش درصد بالاتری را نسبت به بخش حمل‌ونقل به خود اختصاص داده است.

2. Energy supply

3. Energy demand, energy consumption, energy use

از ادبیات گسترده و متنوع مرور شده در زمینه رابطه فرم شهری و انرژی، چنین بر می‌آید که :

- در خلال چند دهه گذشته متغیرها، مدل‌ها، رویکردها، روش‌ها، تکنیک‌ها و نرم‌افزارهای متنوع بر اساس مقیاس‌های فضایی (شامل: تک بنا(ساختمان)، بلوک ساختمانی، واحد همسایگی یا کامیونیتی، بلوک شهری، بخش یا زون، شهر و منطقه) و مقیاس‌های زمانی مختلف در مطالعات گوناگون به کار گرفته شده‌اند.
- انواع متنوعی از متغیرهای فرم فیزیکی در سطوح فضایی مختلف وجود دارند که مهمترین وکلیدی‌ترین آنها، متغیر تراکم است. این متغیر در ۵۸٪ از مطالعات مرور شده مورد بررسی قرار گرفته اما دیگر متغیرهای فرم فیزیکی شهر عمدتاً به صورت پراکنده، بدون تعریفی واحد و بدون آنکه مربوط به سطح فضایی معین و مورد اجماع متخصصین باشد، به کار گرفته شده‌اند.
- عمده‌ترین بخش‌ها مصرف کننده انرژی در شهرها دو بخش ساختمان و حمل‌ونقل هستند که کمتر به صورت همزمان مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند. در بخش ساختمان به طور کلی دو نوع رویکرد عرضه و یا تقاضای انرژی وجود دارد که عمدتاً در منابع به رویکرد تقاضا توجه شده است. مهمترین و پرکاربردترین مقیاس‌های فضایی در انجام تحلیل‌های انرژی مرتبط با فرم شهری در هر دو بخش ساختمان و حمل‌ونقل مقیاس شهر و واحدهمسایگی است که از نظر زمانی بیشتر با افق‌های زمانی کوتاه‌مدت در ارتباط می‌باشد.
- روش‌های تحلیلی آماری به ویژه انواع رگرسیون پرکاربردترین روش جهت شناسایی رابطه فرم شهری وانرژی در منابع است.
- مهمترین و پرکاربردترین مقیاس‌های فضایی در انجام تحلیل‌های انرژی مرتبط با فرم شهری مقیاس شهر و واحدهمسایگی است

بنابراین برای شناسایی، اندازه‌گیری و تحلیل رابطه فرم شهری و انرژی در مقیاس‌های فضایی و زمانی مختلف هر محقق با توجه به: الف) حوزه مورد نظرخود در زمینه انرژی (جدول شماره ۳)؛ ب- مقیاس فضایی و زمانی مورد نظر؛ ج- بخش تولید یا مصرف کننده انرژی در شهر (شامل بخش‌های مسکونی، حمل‌ونقل، صنعتی و ...) و یا انواع مصرف انرژی در ساختمان (گرمایش، سرمایش، روشنایی و ...)؛ و د- متغیرهای متناسب با مقیاس فضایی موردنظر، می‌تواند رویکرد، روش، ابزار و نرم‌افزار مرتبط را انتخاب نموده و نهایتاً به تحلیل مدنظر در محدوده مورد مطالعه بپردازد.

جمع‌بندی نتایج تعداد زیادی از مطالعات تئوری و تجربی متنوع در مورد رابطه فرم شهری و انرژی دشوار است و منبعی که به طور یکپارچه و منسجم به درک ادبیات موجود در زمینه رابطه فرم شهری و انرژی کمک کرده، یا کاری که بر دامنه فعالیت‌های صورت گرفته در این حوزه پرتو افکند، وجود ندارد. در این خصوص پژوهش حاضر با انجام فراتحلیل مطالعات منتخب از طریق معیارهای تعیین شده جهت شناسایی وجوه اشتراک و افتراق آنها، تلاش کرده است مجموعه متنوعی از تجارب را در زمینه‌ای قابل درک مطرح سازد تا پژوهشگران و حرفه‌مندان در ادامه به تکمیل و بسط آن کمک نمایند. زیرا درک رابطه میان فرم شهری و انرژی، نحوه تأثیرگذاری آنها بر یکدیگر و توصیف و تحلیل سیستماتیک این رابطه، ما را در دستیابی به دانش مرتبط با فرآیند عرضه و تقاضای انرژی در حوزه‌های شهری هدایت کرده و در تدوین راهبردهای طراحی و برنامه‌ریزی شهری و همچنین در تدوین راهبردهای میان‌رشته‌ای یاری می‌رساند.

پیشنهاد می شود در مطالعات آینده در زمینه رابطه فرم شهری و انرژی نکات ذیل مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد:

الف) خلأ در زمینه های مربوط به موضوعات مدیریت، سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی و همچنین روش‌ها، مدل‌ها و ابزارهای شبیه سازی و برآورد انرژی.

ب) نیاز به مطالعه همزمان بخش‌های ساختمان و حمل‌ونقل در مطالعات مربوط به رابطه فرم شهری و انرژی

ج) کمبود مطالعات مربوط به دیگر بخش های مصرف کننده انرژی در شهر به طور توأمان (علاوه بر بخش ساختمان و حمل‌ونقل)

د) کمبود مطالعه در زمینه رابطه فرم شهری و انرژی با در نظر گفتن هر دو رویکرد عرضه و تقاضای انرژی به صورت همزمان

ه) کمبود پژوهش‌های مرتبط به موضوع این پژوهش در بخش ساختمان با مقیاس شهر و واحدهای همسایگی

و) کمبود مطالعه در خصوص رابطه فرم شهری و انرژی در حوزه کشورهای خاورمیانه و به ویژه ایران

ز) نیاز به تعاریفی مشخص، یکسان و مورد اجماع از مفاهیم اصلی حوزه فرم شهری و انرژی و همچنین نیاز به ایجاد پایگاه‌های داده شهری مشترک

منابع و مآخذ

محملی ابیانه، حمیدرضا (۱۳۹۰)، مقایسه تطبیقی مکاتب مورفولوژی شهری به منظور تکمیل آن بر اساس دستگاه تحلیلی مکتب اقتصاد سیاسی فضا. *آرمان‌شهر*، ۷، ۱۵۹-۱۷۲.

جمالی، سیروس (۱۳۹۴)، *ریخت شناسی شهری؛ بازنمایی معماری در مقیاس شهر*. تبریز: انتشارات فروزش.

یوسفی‌فر، شهرام (۱۳۸۴)، تأملاتی در مقوله شکل شهر و مناسبات شهرنشینی در سده های میانه تاریخ ایران، *فرهنگ*، ۵۶، ۲۱۷-۲۵۶.

Abdallah, A. S. H. (2015). The Influence of Urban Geometry on Thermal Comfort and Energy Consumption in Residential Building of Hot Arid Climate, Assiut, Egypt. *Procedia Engineering*, *121*, 158-166

Ahmadi Venhari, A., Tenpierik, M., & Taleghani, M. (2019). The role of sky view factor and urban street greenery in human thermal comfort and heat stress in a desert climate. Journal of Arid Environments, 166, 68-76.

Anderson, J. E., Wulfhorst, G., & Lang, W. (2015). Energy analysis of the built environment—A review and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *44*, 149-158.

Anderson, W. P., Kanaroglou, P. S., & Miller, E. J. (1996). Urban Form, Energy and the Environment: A Review of Issues, Evidence and Policy. *Urban Studies*, *33*(1), 7-35.

Alobaydi, D., Bakarman, M. A., & Obeidat, B. (2016). The Impact of Urban Form Configuration on the Urban Heat Island: The Case Study of Baghdad, Iraq. Procedia Engineering, 145, 820-827.

Arboit, M., Diblasi, A., Fernández Llano, J. C., & de Rosa, C. (2008). Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates: The case of the city of Mendoza, in Argentina. *Renewable Energy*, *33*(8), 1733-1748.

Arboit, M., Mesa, A., Diblasi, A., Fernández Llano, J. C., & de Rosa, C. (2010). Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates: The case of the city of Mendoza, in Argentina. 2nd. Part. *Renewable Energy*, *35*(7), 1551-1558.

Asfour, O. S., & Alshawaf, E. S. (2015). Effect of housing density on energy efficiency of buildings located in hot climates. *Energy and Buildings*, *91*, 131-138.

Banister, D., Watson, S., & Wood, C. (1997). Sustainable Cities: Transport, Energy, and Urban Form. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *24*(1), 125-143.

Bhiwapurkar, P. (2013). Determinants of Urban Energy Use: Density and Urban Form.

Brandoni, C., & Polonara, F. (2012). The role of municipal energy planning in the regional energy-planning process. *Energy*, *48*(1), 323-338.

Bres, A., Eder, K., Hauer, S., & Judex, F. (2015). Case Study of Energy Performance Analyses on Different Scales. *Energy Procedia*, *78*, 1847-1852.

Byrd, H., Ho, A., Sharp, B., & Kumar-Nair, N. (2013). Measuring the solar potential of a city and its implications for energy policy. *Energy Policy*, *61*, 944-952.

Cajot, S., Peter, M., Bahu, J. M., Guignet, F., Koch, A., & Maréchal, F. (2017). Obstacles in energy planning at the urban scale. *Sustainable Cities and Society*, *30*, 223-236.

Cajot, S., Peter, M., Bahu, J. M., Koch, A., & Maréchal, F. (2015). Energy Planning in the Urban Context: Challenges and Perspectives. *Energy Procedia*, *78*, 3366-3371.

Cerezo, C., Sokol, J., AlKhaled, S., Reinhart, C., Al-Mumin, A., & Hajiah, A. (2017). Comparison of four building archetype characterization methods in urban building energy modeling (UBEM): A residential case study in Kuwait City. Energy and Buildings, 154, 321-334.

Chen, Y., Li, X., Guan, Y., and Liu, X. (2011). Estimating the Relationship Between Urban Forms and Energy Consumption: A case study in the Pearl River Delta, 2005–2008. Landscape and Urban Planning, 102, 33-42.

Clair, ST. P. (2009). Low-energy design in the United Arab Emirates. BEDP ENVIRONMENT DESIGN GUIDE.30.

Clark, T. A. (2013). Metropolitan density, energy efficiency and carbon emissions: Multi-attribute tradeoffs and their policy implications. *Energy Policy*, *53*, 413-428.

Cooper, J., Ryley, T., Smyth, A., & Granzow, E. (2001). Energy use and transport correlation linking personal and travel related energy uses to the urban structure. *Environmental Science & Policy*, *4*(6), 307-318.

Dar-Mousa, R. N., & Makhamreh, Z. (2019). Analysis of the pattern of energy consumptions and its impact on urban environmental sustainability in Jordan: Amman City as a case study. Energy, Sustainability and Society, 9(1), 15.

Da Silva, A. N. R., Costa, G. C. F., & Brondino, N. C. M. (2007). Urban sprawl and energy use for transportation in the largest Brazilian cities. *Energy for Sustainable Development*, *11*(3), 44-50.

Dawodu, A., & Cheshmehzangi, A. (2017). Impact of Floor Area Ratio (FAR) on Energy Consumption at Meso Scale in China: Case Study of Ningbo. *Energy Procedia*, *105*, 3449-3455.

Drouilles, J., Lufkin, S., & Rey, E. (2017). Energy transition potential in peri-urban dwellings: Assessment of theoretical scenarios in the Swiss context. *Energy and Buildings*, *148*, 379-390.

Eicker, U., Monien, D., Duminil, É., & Nouvel, R. (2015). Energy performance assessment in urban planning competitions. *Applied Energy*, *155*, 323-333.

Emekci, S., & Kayasü, S. (2017). Urban Form and Sustainability: The Case Study of Gaziantep in Turkey.

Ewing, R., & Rong, F. (2008). The impact of urban form on U.S. residential energy use. *Housing Policy Debate*, *19*(1), 1-30.

Felimban, A., Prieto, A., Knaack, U., Klein, T., & Qaffas, Y. (2019). Assessment of Current Energy Consumption in Residential Buildings in Jeddah, Saudi Arabia. Buildings, 9(7).

Fonseca, J. A., & Schlueter, A. (2015). Integrated model for characterization of spatiotemporal building energy consumption patterns in neighborhoods and city districts. *Applied Energy*, *142*, 247-265.

Frost, M., Linneker, B., & Spence, N. (1997). The energy consumption implications of changing worktravel in London, Birmingham and Manchester: 1981 and 1991. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *31*(1), 1-19.

Futcher, J. A., & Mills, G. (2013). The role of urban form as an energy management parameter. *Energy Policy*, *53*, 218-228.

Gilbert, G., & Dajani, J. S. (1974). Energy, urban form and transportation policy. *Transportation Research*, *8*(4), 267-276.

Grosso, M. (1998). Urban form and renewable energy potential. *Renewable Energy*, *15*(1), 331-336.

Gu, Z. H., Sun, Q., & Wennersten, R. (2013). Impact of urban residences on energy consumption and carbon emissions: An investigation in Nanjing, China. *Sustainable Cities and Society*, *7*, 52-61.

Guhathakurta, S., & Williams, E. (2015). Impact of Urban Form on Energy Use in Central City and Suburban Neighborhoods: Lessons from the Phoenix Metropolitan Region. *Energy Procedia*, *75*, 2928-2933.

Hargreaves, A., Cheng, V., Deshmukh, S., Leach, M., & Steemers, K. (2017). Forecasting how residential urban form affects the regional carbon savings and costs of retrofitting and decentralized energy supply. *Applied Energy*, *186*, 549-561.

Hemsath, T. L. (2016). Housing orientation's effect on energy use in suburban developments. *Energy and Buildings*, *122*, 98-106.

Hsieh, S., Schüler, N., Shi, Z., Fonseca, J. A., Maréchal, F., & Schlueter, A. (2017). Defining density and land uses under energy performance targets at the early stage of urban planning processes. *Energy Procedia*, *122*, 301-306.

Huang, Z., Yu, H., Peng, Z., & Zhao, M. (2015). Methods and tools for community energy planning: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 1335-1348.

Inturri, G., Ignaccolo, M., Le Pira, M., Caprì, S., & Giuffrida, N. (2017). Influence of Accessibility, Land Use and Transport Policies on the Transport Energy Dependence of a City. *Transportation Research Procedia*, *25*, 3273-3285.

Ishii, S., Tabushi, S., Aramaki, T., & Hanaki, K. (2010). Impact of future urban form on the potential to reduce greenhouse gas emissions from residential, commercial and public buildings in Utsunomiya, Japan. *Energy Policy*, *38*(9), 4888-4896.

Jaccard, M., Failing, L., & Berry, T. (1997). From equipment to infrastructure: community energy management and greenhouse gas emission reduction. *Energy Policy*, *25*(13), 1065-1074.

Javanroodi, K., Nik, V. M., & Mahdavinejad, M. (2019). A novel design-based optimization framework for enhancing the energy efficiency of high-rise office buildings in urban areas. Sustainable Cities and Society, 49, 101597.

Javanroodi, K., Mahdavinejad, M., & Nik, V. M. (2018). Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate. Applied Energy, 231, 714-746.

Keirstead, J., Jennings, M., & Sivakumar, A. (2012). A review of urban energy system models: Approaches, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(6), 3847-3866.

Keirstead, J., & Shah, N. (2011). Calculating minimum energy urban layouts with mathematical programming and Monte Carlo analysis techniques. *Computers, Environment and Urban Systems*, *35*(5), 368-377.

Khalil, H. A. E. E. (2009). Energy Efficiency Strategies in Urban Planning of Cities. Paper presented at the 7th Annual International Energy Conversion Engineering Conference, 45th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, Denver, Co, USA.

Kim, J., Y. (2012). The Impact of Urban Form and Housing Characteristics on Residential Energy Use, Ph.D. thesis Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University.

Ko,Y., K. (2012). The Energy Impact of Urban Form: An Approach to Morphologically Evaluating the Energy Performance of Neighborhoods, Ph.D. thesis in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Landscape Architecture and Environmental Planning in University of California, Berkeley.

Koutra, S., Becue, V., Gallas, M.-A., & Ioakimidis, C. S. (2018). Towards the development of a net-zero energy district evaluation approach: A review of sustainable approaches and assessment tools. *Sustainable Cities and Society, 39*, 784-800.

Larivière, I., & Lafrance, G. (1999). Modelling the electricity consumption of cities: effect of urban density. *Energy Economics, 21*(1), 53-66.

Larson, W., Liu, F., & Yezer, A. (2012). Energy footprint of the city: Effects of urban land use and transportation policies. *Journal of Urban Economics, 72*(2), 147-159.

Larson, W., & Yezer, A. (2015). The energy implications of city size and density. *Journal of Urban Economics, 90*, 35-49.

Li, C., Song, Y., & Kaza, N. (2018a). Urban form and household electricity consumption: A multilevel study. *Energy and Buildings, 158*, 181-193.

Li, J. (2011). Decoupling urban transport from GHG emissions in Indian cities—A critical review and perspectives. *Energy Policy, 39*(6), 3503-3514.

Li, P., Zhao, P., & Brand, C. (2018b). Future energy use and CO2 emissions of urban passenger transport in China: A travel behavior and urban form based approach. *Applied Energy, 211*, 820-842.

Li, Z., Quan, S. J., & Yang, P. P.-J. (2016). Energy performance simulation for planning a low carbon neighborhood urban district: A case study in the city of Macau. *Habitat International, 53*, 206-214.

Liu, C., & Shen, Q. (2011). An empirical analysis of the influence of urban form on household travel and energy consumption. *Computers, Environment and Urban Systems, 35*(5), 347-357.

Liu, X., & Sweeney, J. (2012). Modelling the impact of urban form on household energy demand and related CO2 emissions in the Greater Dublin Region. *Energy Policy, 46*, 359-369.

Liu, Y.-Y., Wang, Y.-Q., An, R., & Li, C. (2015). The spatial distribution of commuting CO2 emissions and the influential factors: A case study in Xi'an, China. *Advances in Climate Change Research, 6*(1), 46-55.

Lo, A. Y. (2016). Small is green? Urban form and sustainable consumption in selected OECD metropolitan areas. *Land Use Policy, 54*, 212-220.

Makido, Y., Dhakal, S., & Yamagata, Y. (2012). Relationship between urban form and CO^2 emissions: Evidence from fifty Japanese cities. *Urban Climate, 2*, 55-67.

Marique, A.-F., Dujardin, S., Teller, J., & Reiter, S. (2013). School commuting: the relationship between energy consumption and urban form. *Journal of Transport Geography, 26*, 1-11.

Marique, A.-F., & Reiter, S. (2014). A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighbourhood/community scale. *Energy and Buildings, 82*, 114-122.

Modarres, A. (2013). Commuting and energy consumption: toward an equitable transportation policy. *Journal of Transport Geography, 33*, 240-249.

Modarres, A. (2017). Commuting, energy consumption, and the challenge of sustainable urban development. *Current Opinion in Environmental Sustainability, 25*, 1-7.

Mörtberg, U., Goldenberg, R., Kalantari, Z., Kordas, O., Deal, B., Balfors, B., & Cvetkovic, V. (2017). Integrating ecosystem services in the assessment of urban energy trajectories – A study of the Stockholm Region. *Energy Policy, 100*, 338-349.

Muñiz, I., Calatayud, D., & Dobaño, R. (2013). The compensation hypothesis in Barcelona measured through the ecological footprint of mobility and housing. *Landscape and Urban Planning, 113*, 113-119.

Osório, B., McCullen, N., Walker, I., & Coley, D. (2017). Integrating the energy costs of urban transport and buildings. *Sustainable Cities and Society, 32*, 669-681.

Owens, S. E. (1992). Land-use planning for energy efficiency. *Applied Energy, 43*(1), 81-114.

Ozturk, H. K. (2005). Energy usage and cost in textile industry: A case study for Turkey. Energy, 30(13), 2424-2446.

Pardo Martínez, C. I. (2015). Energy and sustainable development in cities: A case study of Bogotá. *Energy, 92*, 612-621.

Pasimeni, M. R., Petrosillo, I., Aretano, R., Semeraro, T., De Marco, A., Zaccarelli, N., & Zurlini, G. (2014). Scales, strategies and actions for effective energy planning: A review. *Energy Policy, 65*, 165-174.

Prasad, R. D., Bansal, R. C., & Raturi, A. (2014). Multi-faceted energy planning: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38*, 686-699.

Quan, S. J., Wu, J., Wang, Y., Shi, Z., Yang, T., & Yang, P. P.-J. (2016). Urban Form and Building Energy Performance in Shanghai Neighborhoods. *Energy Procedia, 88*, 126-132.

Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings, 37*(7), 762-776.

Resch, E., Bohne, R. A., Kvamsdal, T., & Lohne, J. (2016). Impact of Urban Density and Building Height on Energy Use in Cities. *Energy Procedia, 96*, 800-814.

Robinson, C., Dilkina, B., Hubbs, J., Zhang, W., Guhathakurta, S., Brown, M. A., & Pendyala, R. M. (2017). Machine learning approaches for estimating commercial building energy consumption. *Applied Energy, 208*, 889-904.

Robinson, D., Campbell, N., Gaiser, W., Kabel, K., Le-Mouel, A., Morel, N., Stone, A. (2007). SUNtool – A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability. *Solar Energy, 81*(9), 1196-1211..

Rode, P., Keim, C., Robazza, G., Viejo, P., & Schofield, J. (2014). Cities and Energy: Urban Morphology and Residential Heat-Energy Demand. Environment and Planning B: Planning and Design, 41(1), 138-162.

Rodríguez-Álvarez, J. (2016). Urban Energy Index for Buildings (UEIB): A new method to evaluate the effect of urban form on buildings' energy demand. *Landscape and Urban Planning, 148*, 170-187.

Roshan, G. R., Farrokhzad, M., & Attia, S. (2017). Defining thermal comfort boundaries for heating and cooling demand estimation in Iran's urban settlements. Building and Environment, 121, 168-189.

Rylatt, R.M., Gadsden, S.J., & Lomas, K.J. (2003). Methods of predicting urban domestic energy demand with reduced datasets: a review and a new GIS-based approach. Building Services Engineering Research and Technology, 24 ,93-102.

Sadownik, B., & Jaccard, M. (2001). Sustainable energy and urban form in China: the relevance of community energy management. *Energy Policy, 29*(1), 55-65.

Safirova, Elena. Houde, Sébastien and Harrington, Winston (2007), Spatial Development and Energy Consumption, RFF Discussion Paper No. 07-51.

Sampaio, H. C., Dias, R. A., & Balestieri, J. A. P. (2013). Sustainable urban energy planning: The case study of a tropical city. *Applied Energy*, *104*, 924-935.

Shang, C. Lin, Ko-Yang & Hou, Guoying. (2013). Simulating the Impact of Urban Morphology on Energy Demand: A Case Study of Yuehai, China. 49 th ISOCARP Congress 2013.

Sharpe, R. (1978). The effect of urban form on transport energy patterns. *Urban Ecology, 3*(2), 125-135.

Shi, Z., Fonseca, J. A., & Schlueter, A. (2017). A review of simulation-based urban form generation and optimization for energy-driven urban design. *Building and Environment, 121*, 119-129.

Shim, G.-E., Rhee, S.-M., Ahn, K.-H., & Chung, S.-B. (2006). The relationship between the characteristics of transportation energy consumption and urban form. *The Annals of Regional Science, 40*(2), 351-367.

Silva, M., Leal, V., Oliveira, V., & Horta, I. M. (2018). A scenario-based approach for assessing the energy performance of urban development pathways. *Sustainable Cities and Society, 40*, 372-382.

Silva, M., Oliveira, V., & Leal, V. (2017a). Urban Form and Energy Demand: A Review of Energy-relevant Urban Attributes. *Journal of Planning Literature, 32*(4), 346-365.

Silva, M. C., Horta, I. M., Leal, V., & Oliveira, V. (2017b). A spatially-explicit methodological framework based on neural networks to assess the effect of urban form on energy demand. *Applied Energy, 202*, 386-398.

Soares, N., Bastos, J., Pereira, L. D., Soares, A., Amaral, A. R., Asadi, E., Gaspar, A. R. (2017). A review on current advances in the energy and environmental performance of buildings towards a more sustainable built environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77*, 845-860.

Sosa, M. B., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2017). Urban grid forms as a strategy for reducing heat island effects in arid cities. *Sustainable Cities and Society, 32*, 547-556.

Sosa, M. B., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2018). Neighborhood designs for low-density social housing energy efficiency: Case study of an arid city in Argentina. *Energy and Buildings, 168*, 137-146.

Steadman, P., Hamilton, I., & Evans, S. (2014). Energy and urban built form: an empirical and statistical approach. *Building Research & Information, 42*(1), 17-31.

Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings, 35*(1), 3-14.

Stephan, A., Crawford, R. H., & de Myttenaere, K. (2013). Multi-scale life cycle energy analysis of a low-density suburban neighbourhood in Melbourne, Australia. *Building and Environment, 68*, 35-49.

Stevens, M. R., & Senbel, M. (2017). Are municipal land use plans keeping pace with global climate change? *Land Use Policy, 68*, 1-14.

Strømann-Andersen, J., & Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings, 43*(8), 2011-2020.

Tereci, A., Ozkan, S. T. E., & Eicker, U. (2013). Energy benchmarking for residential buildings. *Energy and Buildings, 60*, 92-99.

Torabi Moghadam, S., Delmastro, C., Corgnati, S. P., & Lombardi, P. (2017). Urban energy planning procedure for sustainable development in the built environment: A review of available spatial approaches. *Journal of Cleaner Production, 165*, 811-827.

Tsirigoti, D., & Bikas, D. (2017). A Cross Scale Analysis of the Relationship between Energy Efficiency and Urban Morphology in the Greek City Context. *Procedia Environmental Sciences, 38*, 682-687.

Vartholomaios, A. (2017). A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city. *Sustainable Cities and Society, 28*, 135-145.

Wang, X., & Li, Z. (2017). A Systematic Approach to Evaluate the Impact of Urban form on Urban Energy Efficiency: A Case Study in Shanghai. *Energy Procedia, 105*, 3225-3231.

Wiedenhofer, D., Lenzen, M., & Steinberger, J. K. (2013). Energy requirements of consumption: Urban form, climatic and socio-economic factors, rebounds and their policy implications. *Energy Policy, 63*, 696-707.

Wilson, B. (2013). Urban form and residential electricity consumption: Evidence from Illinois, USA. *Landscape and Urban Planning, 115*, 62-71.

Yang, P. P.-J., & Yan, J. (2016). Modeling Urban Design with Energy Performance. *Energy Procedia, 88*, 3-8.

Yang, T., Chen, H., Zhang, Y., Zhang, S., & Feng, F. (2016). Towards Low-Carbon Urban Forms: A Comparative Study on Energy Efficiencies of Residential Neighborhoods in Chongming Eco-Island. *Energy Procedia, 88*, 321-324.

Ye, H., Ren, Q., Hu, X., Lin, T., Xu, L., Li, X., Pan, B. (2017). Low-carbon behavior approaches for reducing direct carbon emissions: Household energy use in a coastal city. *Journal of Cleaner Production, 141*, 128-136.

Yüksek, İ., & Esin, T. (2013). Analysis of traditional rural houses in Turkey in terms of energy efficiency. International Journal of Sustainable Energy, 32:6, 643-658.

Yezer, A. M., Liu, F., & Larson, W. (2012). Energy Consumption, Housing, and Urban Development Policy. In S. J. Smith (Ed.), *International Encyclopedia of Housing and Home* (pp. 80-86). San Diego: Elsevier.

Yin, C., Yuan, M., Lu, Y., Huang, Y., & Liu, Y. (2018). Effects of urban form on the urban heat island effect based on spatial regression model. *Science of The Total Environment, 634*, 696-704.

Yin, Y., Mizokami, S., & Maruyama, T. (2013). An analysis of the influence of urban form on energy consumption by individual consumption behaviors from a microeconomic viewpoint. *Energy Policy, 61*, 909-919.

Yongling, Y. (2011). Energy Consumption and Space Density in Urban Area. *Energy Procedia, 5*, 895-899.

Zamani, Z., Heidari, S., & Hanachi, P. (2018). Reviewing the thermal and microclimatic function of courtyards. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 93, 580-595.

Zhang, W., Robinson, C., Guhathakurta, S., Garikapati, V. M., Dilkina, B., Brown, M. A., & Pendyala, R. M. (2018). Estimating residential energy consumption in metropolitan areas: A microsimulation approach. *Energy, 155*, 162-173.

Zhou, Y., Li, Z., & Tao, X. (2016a). Urban Mixed Use and its Impact on Energy Performance of Micro Gird System. *Energy Procedia, 103*, 339-344.

Zhou, Y., Tao, X., & Yang, P. P.-J. (2016b). A Simulation-based Research on Passive District. *Energy Procedia, 104*, 257-262.

Zucchetto, J. (1983). Energy and the future of human settlement patterns: Theory, models and empirical considerations. *Ecological Modelling, 20*(2), 85-111.