

## تحلیل فضایی-زمانی فرم شهری در کلان‌شهرهای ایران

حسین منصوریان\* - استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
مریم نقدی‌زادگان جهرمی - دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
زینت گومه - دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تأیید مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۸

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵

### چکیده

رشد شتابان جمعیت شهری جهان در چند دهه اخیر، سبب گسترش فیزیکی و تغییرات اساسی در فرم شهرها شده است. فرم شهری به‌عنوان آرایش فضایی عناصر فیزیکی شهر، آثار معناداری بر فعالیت و سلامت جسمی و روانی، الگوهای حمل‌ونقل، تعاملات اجتماعی، کیفیت زیست‌محیطی، تغییرات اقلیمی و بهزیستی انسان دارد؛ بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، تحلیل فضایی-زمانی فرم شهری در کلان‌شهرهای ایران است. داده‌های جمعیتی و تصاویر ماهواره‌ای لندست برای استخراج تحولات جمعیت و اراضی شهری در هشت کلان‌شهر تهران، مشهد، اصفهان، شیراز، تبریز، کرج، قم و اهواز در سه مقطع زمانی ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۶ استفاده شد. متریک‌های سیمای سرزمین برای کمی‌سازی فرم شهری، تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی ابعاد فرم شهری و تحلیل خوشه برای دسته‌بندی کلان‌شهرها براساس ویژگی‌های فرم شهری به کار برده شد. یافته‌های پژوهش نشان داد در اغلب کلان‌شهرهای ایران، میان رشد جمعیت و رشد اراضی شهری، تناسبی وجود ندارد. در سه دهه اخیر، کلان‌شهرهای شیراز و تبریز بیشترین میزان پراکنده‌رویی شهری را تجربه کرده‌اند. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی، سه بعد شکل، چشم‌انداز و تراکم را برای فرم کلان‌شهرهای ایران شناسایی کرد. کلان‌شهرهای کرج و شیراز با ویژگی‌های پیچیدگی نسبتاً پایین در شکل پچ‌های شهری، پیچیدگی بالا در چشم‌انداز شهری، تعدد پچ‌های کوچک، ارزش پایین متریک میانگین فاصله میان پچ‌های مجاور، تراکم بالای پچ‌های شهری و سهم پایین تر بزرگ‌ترین پچ شهری، به رشد پراکنده و بی‌نظم متمایل هستند. کلان‌شهرهای تهران و قم با ویژگی‌های پیچیدگی پایین در شکل پچ‌های شهری، پیچیدگی نسبتاً بالا در چشم‌انداز شهری، تراکم پایین پچ‌های شهری و سهم بالای بزرگ‌ترین پچ از مساحت کلان‌شهر، متمایل به فرم شهری فشرده‌تر و منظم‌تر در مقایسه با سایر کلان‌شهرهای ایران هستند. سایر کلان‌شهرها به لحاظ فرم شهری، حد واسطه الگوی فشرده و منظم کلان‌شهر تهران و الگوی پراکنده و بی‌نظم کلان‌شهر کرج قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: ایران، رشد شهری، فرم شهر، کلان‌شهر، متریک‌های سیمای سرزمین.

## مقدمه

با افزایش تعداد ساکنان در نواحی شهری، اراضی ساخته‌شده در سراسر جهان رو به افزایش است (Liu et al., 2018). گسترش سریع و تحول فرم‌های شهری در چند دهه اخیر، به موضوعی مهم در برنامه‌ریزی فضایی و مدیریت شهری تبدیل شده است (Schneider and Woodcock, 2008: 660). سنجش و تحلیل فضایی-زمانی فرم‌های شهری می‌تواند مبنای مناسبی برای تصمیم‌گیری در مورد شهرها و مناطق با رشد فیزیکی سریع فراهم سازد.

فرم شهری به‌عنوان ساختار فضایی عناصر ثابت در محدوده شهر تعریف شده است (Anderson et al., 1996) که روابط میان هسته مرکزی شهر و نواحی پیرامون را توصیف می‌کند (Grimm et al., 2008: 572). فرم شهری پیامدهای زیادی در ارتقای پایداری زیست‌محیطی دارد (Anderson et al., 1996)؛ درحالی‌که فرم فیزیکی شهرها ممکن است تغییرناپذیر و سفت‌وسخت باشد، اما ویژگی‌های آن بر پویایی و بازخوردهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی شهری تأثیر می‌گذارد (Sharifi & Yamagata, 2018). فرم شهری اثرات معناداری بر فعالیت و سلامت جسمانی (Frank & Engelke, 2001)، سلامت روانی (Miles, Coutts, & Mohamadi, 2012)، الگوهای حمل‌ونقل (Dieleman & Wegener, 2004)، تعاملات اجتماعی (Dempsey et al., 2010, 22)، کیفیت زیست‌محیطی (Weng et al., 2007)، تغییر اقلیم (Yin et al., 2018) و بهزیستی انسان (Angel, 2012; Krüger & Costa, 2019) دارد.

با توجه به آثار زیاد زیست‌محیطی، شهرها نقش مهمی در توسعه پایدار دارند (Alberti et al., 2019). در دهه‌های اخیر، مطالعات بسیاری درباره تأثیرات فرم شهری بر توسعه پایدار انجام شده است (Anderson et al., 1996; Jabareen, 2006). فرم فشرده شهری به‌عنوان فرصتی کلیدی برای دستیابی به کارایی پایدار شهری از طریق محدودکردن دست‌اندازی به زمین‌های کشاورزی، کاهش وابستگی به خودرو و استفاده از انرژی برای حمل‌ونقل، مورد توجه واقع شد (Næss, 2014; Pili et al., 2017: 72). مطالعات دیگر نشان داد توسعه فشرده در هسته‌های شهری می‌تواند موجب تراکم شدید شبکه ترافیک و افزایش میزان قرارگرفتن در معرض سروصدا و آلودگی هوا شود (Weber et al., 2014). رشد پراکنده شهری از طریق تبدیل زمین و انتشار گازهای مضر سبب اثرات منفی بر اکوسیستم می‌شود (Ferrara et al., 2016). برای جلوگیری از رشد کنترل‌نشده با آثار منفی بر جامعه و محیط‌زیست، برنامه‌ریزی فضایی برای توسعه شهری ضروری است (Ferrara et al., 2016).

در فرایند شهرنشینی سریع، همبستگی میان فرم شهری و آلودگی هوا همواره بررسی شده است (Fan et al., 2018: 406). فرم شهری، تأثیرات معناداری بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (Creutzig et al., 2016: 96) و مصرف انرژی (Salat & Bourdic, 2012) دارد. علاوه‌براین، تحرک شهری و میزان مصرف منابع در شهرها به‌طور چشمگیری وابسته به تصمیماتی است که ساختار فیزیکی شهرها را در فرایند برنامه‌ریزی مشخص می‌کند؛ بنابراین الگوهای نامطلوب فرم شهری آثار اجتماعی-اقتصادی و محیطی معناداری ایجاد می‌کند و شهرها را در شرایط نامطلوبی قرار می‌دهد (Sharifi, 2019: 172). تحقیقات بسیاری نشان داده‌اند توسعه فرم شهری پایدار برای شهرهای فشرده می‌تواند به کاهش حمل‌ونقل شهری و کاهش انتشار گازهای ناشی از ترافیک منجر شود (Yuan et al., 2017; She et al., 2017).

زندگی و کار می‌کنند، تأثیر می‌گذارد (Grimm et al., 2016)؛ بنابراین فرم‌های مطلوب شهری نقش مهمی در تقویت اقتصاد شهرها و ارتقای سلامت و بهزیستی ساکنان آن‌ها دارند؛

تجزیه و تحلیل خصوصیات فضایی-زمانی فرم‌های شهری در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، به درک بهتر گسترش شهری منجر خواهد شد و این موضوع می‌تواند در پیشبرد سیاست‌های برنامه‌ریزی شهری آینده و توسعه پایدار شهری مفید باشد (Dong et al., 2019: 633). جمعیت شهری ایران از حدود ۶ میلیون نفر در سال ۱۳۳۵ به بیش از ۵۹ میلیون نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است. با این حال، ویژگی اصلی شهرنشینی و رشد شهری در ایران معاصر، تمرکز بخش عمده‌ای از جمعیت شهری، در چند شهر اصلی کشور است؛ به طوری که در سال ۱۳۹۵ حدود ۳۲/۴ درصد جمعیت شهری ایران در ۸ کلان‌شهر تهران، مشهد، اصفهان، کرج، شیراز، تبریز، قم و اهواز و حدود ۶۷/۶ درصد جمعیت شهری ایران در ۱۲۳۴ شهر دیگر ساکن بوده‌اند؛ بنابراین میانگین جمعیت کلان‌شهرها در سال ۱۳۹۵ حدود ۲/۱ میلیون نفر و میانگین جمعیت سایر شهرهای ایران حدود ۳۱ هزار نفر بوده است. رشد جمعیت کلان‌شهرها در ایران و گسترش فیزیکی سریع آن‌ها، پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی گوناگونی به همراه داشته است. به منظور دستیابی به توسعه پایدار در کلان‌شهرهای ایران و کنترل پیامدهای ناشی از گسترش فیزیکی شهرها، درک ویژگی‌ها و تحولات فرم شهری ضروری است. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر، تحلیل فضایی-زمانی فرم شهری در کلان‌شهرهای ایران است.

## مبانی نظری

فرم شهری به‌عنوان الگویی برای بازنمایی فضایی فعالیت‌های انسانی که در طول زمان و در بستر مکان رخ می‌دهند، تعریف شده است و می‌تواند در سه مقیاس فضایی متفاوت، اما دارای ارتباط درونی شامل کلان، میانی و خرد بررسی شود. مقیاس کلان فرم شهری، متمرکز بر ساختار کلی شهر و برخی عناصر و جنبه‌های عمده از قبیل اندازه شهر، نوع گسترش (فشرده، پراکنده و غیره)، الگوی توزیع جمعیت و فعالیت‌ها، درجه خوشه‌بندی و پیوستگی چشم‌انداز است. مقیاس میانی مرتبط با ساختار و چیدمان محله‌ها، بلوک‌ها، قطعات، فضاهای باز و خیابان‌ها است. در نهایت، مقیاس خرد عمدتاً با طراحی و ساختار دانه‌ای ساختمان‌ها و موقعیت آن‌ها در ارتباط با ساختمان‌های مجاور، فضاهای باز و مسیرهای عبور و مرور سروکار دارد (Sharifi and Yamagata, 2018).

یکی از ابعاد مهم فرم شهری در مقیاس کلان، اندازه شهر است که عمدتاً با استفاده از دو سنجه جمعیت و مساحت تحلیل می‌شود. نتایج مطالعات قبلی نشان می‌دهد رابطه‌ای خطی میان جمعیت و مساحت شهر وجود دارد (Louf & Barthelemy, 2014: 55). ترکیب دو سنجه جمعیت و مساحت، شاخص تراکم را شکل می‌دهد. تراکم مهم‌ترین مشخصه فرم شهری است که به‌عنوان شاخصی برای تحلیل پراکنده‌رویی/فشرده‌گی شهری استفاده شده است (Silva, Oliveira, & Leal, 2017: 346). تراکم به شیوه‌های مختلفی محاسبه شده است؛ برای مثال، نسبت جمعیت، خانوارها،

واحدهای مسکونی یا مجموع مساحت اراضی ساخته‌شده برای یک ناحیه مشخص را تراکم ناخالص تعریف کرده‌اند (Dempsey et al., 2010: 23; Lehmann, 2016: 2; Salat, Vialan, & Nowacki, 2010: 510). از سوی دیگر، اگر فقط مساحت اختصاص‌یافته به یک کلاس خاص کاربری زمین (مانند مسکونی) به‌عنوان نشانگر در محاسبات استفاده شود، برون‌داد آن تراکم خالص است (Dempsey et al., 2010: 23). دیگر سنج‌های معمول برای تراکم شامل نسبت مساحت زیربنا و نسبت پوشش هستند (Dempsey et al., 2010: 24). واضح است که در گسترش پراکنده، تراکم کمتر است. علاوه‌براین، پراکنده‌رویی با استفاده از شاخص‌های دیگری از قبیل ارزش‌های پایین‌تر برای شاخص نسبت تغییر در جمعیت به تغییر در مقدار زمین شهری (Schneider & Woodcock, 2008, 666)، گسترش لکه‌ای، بی‌نظمی شکل پیچ‌های شهری، نبود اختلاط کاربری زمین و ضعف پیوستگی خیابان‌ها (Fang et al., 2015: 538; Lee, 2016; Lee & Lee, 2014: 538) اندازه‌گیری شده است. بیش از این، درجه فشردگی یا پراکندگی می‌تواند با استفاده از سنج‌های مرکزیت از قبیل شیب تراکم جمعیت اندازه‌گیری شود که محدوده تمرکز جمعیت را در مرکز تجاری شهر شناسایی می‌کند و نرخ تغییرات آن را با افزایش فاصله از مرکز تجاری شهر نشان می‌دهد (Lee and Lee, 2014: 536). تغییر از الگوی تک‌هسته‌ای به الگوی چندهسته‌ای نیز سنج‌های برای پراکنده‌رویی شهری است (Schneider & Woodcock, 2008: 660).

اغلب شواهد نشان می‌دهد شهرهای نسبتاً فشرده‌ای که کاربری زمین ترکیبی و خیابان‌ها و فضاهای باز مناسب را تدارک می‌بینند، دسترسی کافی به حمل‌ونقل عمومی را آسان و شیوه‌های فعال جابه‌جایی نظیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری را تأیید می‌کنند و در مقابل حوادث مختلف مقاوم‌تر هستند (Harrison et al., 2014; Lehmann, 2016: 3; Sharifi, 2019: 174). به‌علاوه، شهرهای فشرده آثار منفی کمتری بر محیط‌زیست دارند (Lehmann, 2016: 3). الگوهای پراکنده شهری به بهره‌برداری بیش‌ازحد از اراضی و منابع، دست‌اندازی به مناطق حساس مانند تالاب‌ها، از بین بردن تنوع زیستی، ایجاد اختلال در تکامل طبیعی اکوسیستم‌ها و تجاوز از سطوح آستانه مربوط به تعادل طبیعی محیط منجر می‌شوند (Adachi et al., 2014; Ajibade & McBean, 2014: 78; Duy et al., 2018: 200; Gobattoni et al., 2011: 290; Olazabal, Chelleri, & Sharifi, 2018: 197; Stone, Hess, & Frumkin, 2010: 1426; Wilson & Chakraborty, 2013: 3303). درحقیقت، الگوهای پراکنده و بهره‌برداری بیش‌ازحد از زمین، در سقوط شهرهای باستانی بین‌النهرین، آسیای جنوبی و جنوب شرقی تأثیرگذار بوده است (Evans et al., 2013; Fletcher, 2011: 12596). بنابراین با افزایش جمعیت جهان، کاهش سرعت گسترش فیزیکی شهر برای محافظت از خدمات اکوسیستم ضروری است که برای حفظ وجود بشر بسیار اهمیت دارد (Mortberg et al., 2017: 182).

اهمیت فرم شهری برای دستیابی به اهداف تثبیت آب‌وهوا نیز به‌طور فزاینده‌ای بررسی شده است (Creutzig et al., 2016: 96). تثبیت آب‌وهوا به توانایی کاهش چشمگیر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به جو بستگی دارد. از این نظر، اعتقاد بر این است که توسعه فشرده برای کاهش تقاضای انرژی در بخش مسکونی و حمل‌ونقل و انرژی موردنیاز، در زیرساخت‌های شهری مؤثر است. نتایج تحلیل شاخص‌های مربوط به پیچیدگی و بی‌نظمی شکل پیچ‌های شهری برای اندازه‌گیری میزان پراکنده‌رویی شهری نشان داد طی یک دوره بیست‌ساله، پراکنده‌رویی شهری در سی شهر مرکز

استان‌های چین، به افزایش چشمگیری در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن منجر شده است (Fang et al., 2015: 522). تراکم بالاتر از طریق بهره‌مندی از صرفه‌های ناشی از مقیاس، بهره‌وری کلی سیستم انرژی شهری را افزایش می‌دهد (Hui, 2001: 628; Mörtberg et al., 2017: 340). بر این اساس، کاهش تقاضای انرژی و افزایش راندمان، سبب دستیابی به کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود (Baiocchi et al., 2015: 15; Chen, Matsuoka, & Liang, 2017: 935; Des Rosiers et al., 2017: 966; Holden & Norland, 2005: 2147; Lee & Lee, 2014: 536; Lohrey & Creutzig, 2016: 97; Mortberg et al., 2017: 183; Newman & Kenworthy, 2000: 3305; Silva et al., 2017: 347; Wilson & Chakraborty, 2013: 3305). برای مثال براساس نتایج مطالعه ۱۲۵ شهر بزرگ ایالات متحده آمریکا، دوبرابر شدن تراکم شهری به‌ترتیب به کاهش ۴۸ درصدی و ۳۵ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌وسیله خانوارها در دو بخش مسکونی و حمل‌ونقل منجر شده است (Lee and Lee, 2014). باید توجه داشت که برای به‌حداکثر رساندن مزایای کاهش تقاضای انرژی، گسترش شهری با تراکم بالا باید با کاربری مختلط، مجاورت شغلی، قابلیت پیاده‌روی و حمل‌ونقل عمومی کارآمد همراه باشد (Des Rosiers et al., 2017: 967; Hachem, 2016; Lohrey & Creutzig, 2016: 97; Neuman, 2005).

شواهد دوگانه‌ای در مورد ارتباط فشردگی و اثر جزیره حرارتی شهری گزارش شده است (Adachi et al., 2014; Long et al., 2016: 3; Schwarz & Manceur, 2015). نکته مهمی که باید به آن توجه شود این است که آثار سناریوهای شهر فشرده یا پراکنده براساس موقعیت مکانی شهر ممکن است متفاوت باشد؛ برای مثال مطابق یک مطالعه مدل‌سازی، شهر پراکنده برای تعدیل متوسط شدت جزیره حرارتی در پکن مؤثر است، اما آثار گرم‌شدن منطقه‌ای را افزایش می‌دهد (Long et al., 2016: 4). به‌طور کلی، افزایش استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع در نواحی فشرده به خروج بیش‌ازحد هوای گرم در محیط بیرون منجر می‌شود. علاوه‌براین، تراکم بالا می‌تواند الگوهای تهویه طبیعی را مختل کند و رطوبت را افزایش و سرمایش طبیعی حاصل از تبخیر و تعرق را کاهش دهد. در نتیجه گسترش شهری فشرده که با اقدامات خنک‌کننده مناسب همراه نیست (تلفیق بهینه فضاهای سبز و باز) می‌تواند خرد اقلیم شهری را تغییر و با تشدید اثر جزیره حرارتی، آسیب‌پذیری شهری را در برابر امواج گرما افزایش دهد (Adachi et al., 2014; Hubbart et al., 2014: 1772; Hui, 2001: 630; Lemonsu et al., 2015: 588; Lu & Stead, 2013: 202; Pearsall, 2017; Sadowy, 2016).

شواهد بحث‌برانگیزی را می‌توان در رابطه بین نوع گسترش فیزیکی و تاب‌آوری اجتماعی و اقتصادی یافت. باین‌حال، اغلب شواهد دال بر آثار مثبت است. به‌نظر می‌رسد فرم شهری فشرده سبب بهبود تنوع و تأمین نیازهای مسکن طیف گسترده‌ای از گروه‌های اقتصادی-اجتماعی می‌شود و از این طریق، پتانسیل جدایی‌گزینی و محرومیت‌های اجتماعی را کاهش می‌دهد (Harrison et al., 2014; Larco, 2015; Sadowy, 2016). در واقع توسعه فشرده موجب تقویت سرمایه اجتماعی و بهبود سلامت روان می‌شود و با تقویت شبکه‌های اجتماعی و افزایش احتمال تعامل اجتماعی به تاب‌آوری اجتماعی کمک می‌کند (Burton, 2000; Carpenter, 2015: 292). علاوه‌براین، احتمال تصادف عابر پیاده را کاهش می‌دهد و به ایجاد محیطی ایمن‌تر برای عابران پیاده کمک می‌کند (Pharr, Coughenhour, & Bungum, 2013). همچنین برخی مطالعات نشان داده‌اند توسعه فشرده می‌تواند با کاهش ارزش زمین پرداخت‌شده

به‌وسیله هر خانواده، قابلیت دسترسی‌پذیری (قابلیت استطاعت‌پذیری) زمین را افزایش دهد (Burton, 2000). از طرف دیگر، این نگرانی وجود دارد که تقاضای بیشتر برای زمین، کمبود زمین و هزینه‌های بالای بازسازی زمین‌های آلوده شهری ممکن است سبب کاهش مسکن قابل‌استطاعت (مالک و اجاره) در نواحی فشرده شود (Burton, 2000; Lehmann, 2016: 4)؛ درحالی‌که توسعه فشرده می‌تواند با افزایش امکان کنترل اجتماعی، احتمال وقوع جرم را کاهش دهد (Sadowy, 2016) که اثربخشی آن برای کاهش جرم در برخی زمینه‌ها مورد بحث است (Burton, 2000). استدلال‌های مختصری نیز در مورد چگونگی پیوند توسعه فشرده با تاب‌آوری اقتصادی گزارش شده است. بدین ترتیب این اجماع قوی وجود دارد که توسعه فشرده با کاهش هزینه‌های تهیه و نگهداری از زیرساخت‌های شهری و خدمات عمومی و همچنین با کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل خانوار، تاب‌آوری اقتصادی را تقویت کند (Ahmad & de Oliveira, 2016; Alawadi & Benkraouda, 2019; Larco, 2015; Lieske et al., 2012).

شواهد موجود در شهرهای مختلفی از جمله مونترال، شانگهای، رم و پکن نشان می‌دهد افزایش تراکم فراتر از یک آستانه خاص ممکن است مصرف انرژی سرانه را افزایش دهد و سبب بروز سایر عدم صرفه‌ها شود (Holden & Norland, 2005: 2148; Vega-Azamar, Glaus, Hausler, Oropeza-Garcia, & Romero-Lopez, 2013). بنابراین، در مواردی که از تکنیک‌های طراحی هوشمندانه و ابتکاری استفاده و به آستانه‌های مهم توجه می‌شود، از نظر بهزیستی، بهداشت، غنای گونه‌ها و تنوع زیستی، نشاط، ازدحام، زیست‌پذیری، پتانسیل تولید انرژی تجدیدپذیر، گردش هوا، سایه بیش‌ازحد، کاهش نور روز، حریم خصوصی (اشرافیت) و تخلیه اضطراری، تراکم شدید می‌تواند مشکل‌ساز باشد (Clark, 2013; Hachem, 2016; Hale et al., 2012; Ho et al., 2018; Hui, 2001: 630; Kim & Ryu, 2017: 348; Neuman, 2005; Pearsall, 2017; Silva, Oliveira, & Leal, 2015). درحالی‌که شناسایی آستانه‌های بهینه برای تراکم مهم است، باید اذعان داشت که چنین آستانه‌هایی ممکن است از یک مکان به مکان دیگر متفاوت و به فرضیات ارائه‌شده در مورد ورودی‌ها و شرایط مدل وابسته باشد (Harrison et al., 2014; Lohrey & Creutzig, 2016: 97). به‌طور کلی، از آنجا که هم فشرده‌گی و هم پراکنده‌گی حومه شهرها مزایای خاص خود را دارند، لازم است ترکیبی از بهترین کیفیت‌ها از هر دو نوع فرم شهری تهیه شود تا تأثیرات منفی را به حداقل برساند. درواقع مفاهیمی مانند دهکده شهری، شهرسازی نوین، توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل و رشد هوشمند برای تسهیل چنین ترکیبی پدید آمده‌اند (Holden & Norland, 2005: 2150; Irajifar, Sipe, Alizadeh, & Haigh, 2016).

درجه خاصی از پیوستگی بین یک شهر و چشم‌انداز اطراف آن برای محافظت از تنوع زیستی و حفظ جریان خدمات اکوسیستم مورد نیاز است. پیوستگی به معنای افزایش تنوع و افزونگی پیوندهایی است که مراکز اکوسیستم را درون و در بین مقیاس‌ها به هم متصل می‌کنند (Zetterberg, Mortberg, & Balfors, 2010). پیوستگی فیزیکی متناسب با محیط اطراف، مؤلفه‌های سیستم شهری را با ظرفیت جذب شوک و سازمان‌دهی مجدد پس از اختلال تجهیز می‌کند (Andersson, 2006). پیوستگی چشم‌انداز می‌تواند با به‌حداقل‌رساندن تغییر نامناسب مسیر طبیعی کریدورهای زیست‌محیطی (جویبارها و رودخانه‌ها) و با ساختن یک سیستم متخلخل شهری از طریق ادغام شبکه‌های آبی و سبز مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و پارک‌ها در اندازه‌های مختلف به‌دست آید (Abdulkareem & Elkadi, 2018; Jayawardena & ...).

(Van Roon, 2017). دستیابی به چنین ادغامی می‌تواند یک کار پیچیده باشد. یک رویکرد مفید می‌تواند به‌وجودآوردن توالی سلسله‌مراتبی از محیط به تبعیت از تئوری ترانسکت شهری باشد (DPZ, 2018). مطابق این تئوری، شدت توسعه از مرکز به پیرامون کاهش می‌یابد. اجزای مختلف محیط طبیعی و ساخته‌شده (زیرساخت‌های سبز و آبی) می‌توانند در این سیستم و در طول این شیب ایدئال توسعه تلفیق شوند (DPZ, 2018). طراحی و استفاده مناسب از سنج‌های پیوستگی چشم‌انداز موجب بهبود تاب‌آوری با جلوگیری از تفرق چشم‌انداز و ارائه انواع مزایا مانند کنترل سیلاب و مدیریت رواناب، دسترسی بهتر به خدمات اکوسیستم، حریم‌گذاری تأمین ظرفیت، کاهش جزایر حرارتی، بهبود کیفیت هوا، خنک‌کننده طبیعی، تولید مواد غذایی شهری، سرزندگی اقتصادی، آموزش محیط‌زیستی، کاهش استرس انسان، بهبود زیبایی‌شناختی، تقویت ارزش دارایی و ایمنی شهری می‌شود (Ahern, 2013; Jayawardena & Van Roon, 2017; Ling & Dale, 2012; Olazabal et al., 2018: 198; Schlee, Tamminga, & Tangari, 2012).

### روش پژوهش

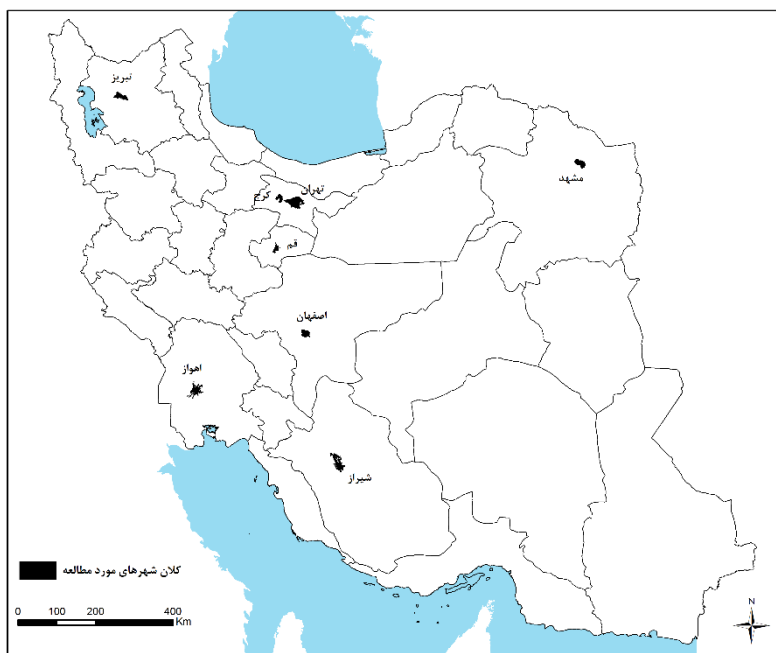
داده‌های استفاده‌شده در پژوهش حاضر شامل نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ و تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۶ است. نتایج سرشماری‌های عمومی نفوس و مسکن برای بررسی تحولات جمعیتی در محدوده مطالعه و از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای تولید نقشه اراضی شهری استفاده شد. ۲۴ تصویر لندست TM و OLI برای تولید نقشه اراضی شهری با استفاده از الگوریتم، حداکثر مجاورت در نرم‌افزار Envi بهره گرفته شد (جدول ۱). این تصاویر از وب‌سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا دانلود شد و پس از انجام تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری استفاده شد. به‌منظور جلوگیری از اثر تغییرات فصلی، سعی شد تصاویر مربوط به ماه‌های May، June و July به‌منظور تولید نقشه اراضی شهری استفاده شود. قدرت تفکیک مکانی تمام تصاویر استفاده‌شده در باندهای مری حدود ۳۰ مترمربع است. به‌منظور صحت‌سنجی نقشه‌های اراضی شهری در سال ۱۳۹۶ از گوگل ارث استفاده شد. نتایج نشان داد تمام نقشه‌های تولیدشده دقت بالاتر از ۸۳ درصد دارند. از نرم‌افزار ArcGIS برای تهیه و نمایش نقشه تغییرات اراضی شهری استفاده شد. سپس نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده به‌عنوان ورودی در نرم‌افزار Fragstats به کار گرفته شد تا ویژگی‌های فرم شهری و تغییرات آن کمی‌سازی شود. سپس از تکنیک آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی در نرم‌افزار SPSS برای کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی ابعاد فرم شهری استفاده شد. در پایان، تحلیل خوشه‌ای در نرم‌افزار SPSS برای دسته‌بندی کلان‌شهرها براساس ویژگی‌های فرم شهری به کار رفت.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

| ماهواره | سنجنده | سال تصویربرداری | قدرت تفکیک مکانی | باندهای مورد استفاده |
|---------|--------|-----------------|------------------|----------------------|
| لندست   | TM     | ۱۳۶۶، ۱۳۷۹      | ۳۰ * ۳۰ متر      | ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷     |
| لندست   | OLI    | ۱۳۹۶            | ۳۰ * ۳۰ متر      | ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷  |

### محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهرهای تهران، مشهد، اصفهان، شیراز، تبریز، کرج، قم و اهواز محدوده مطالعه شده پژوهش حاضر را تشکیل می‌دهند. براساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، شهرهای با جمعیت بیش از یک میلیون نفر در ایران شامل این هشت شهر مورد مطالعه هستند. موقعیت مکانی کلان‌شهرهای مورد مطالعه در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه پژوهش

### یافته‌های پژوهش

#### تغییرات جمعیت شهری در کلان‌شهرهای ایران

جمعیت شهری ایران در سال ۱۳۳۵ حدود ۶ میلیون نفر و تعداد شهرها، ۱۹۹ شهر بوده است. جمعیت شهری ایران با نرخ رشد سالانه ۳/۹۸ درصد، به بیش از ۵۹ میلیون نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است. علاوه بر این، تعداد شهرها نیز به ۱۲۴۲ رسیده است (سازمان آمار، ۱۳۹۹). با این حال، ویژگی اصلی شهرنشینی و رشد شهری در ایران معاصر، تمرکز بخش عمده‌ای از جمعیت شهری در چند شهر اصلی کشور است؛ به طوری که در سال ۱۳۹۵ حدود ۳۲/۴ درصد جمعیت شهری ایران در هشت کلان‌شهر تهران، مشهد، اصفهان، کرج، شیراز، تبریز، قم و اهواز متمرکز و در مقابل حدود ۶۷/۶ درصد جمعیت شهری ایران در ۱۲۳۴ شهر دیگر ساکن بوده‌اند. در حالی که میانگین جمعیت کلان‌شهرها در سال ۱۳۹۵ حدود ۲/۱ میلیون نفر بوده است، میانگین جمعیت سایر شهرهای ایران حدود ۳۱ هزار نفر است.

در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹، نرخ رشد سالانه جمعیت در کلان‌شهرهای ایران، حدود ۱/۸۵ درصد بوده است. در این بازه زمانی، کلان‌شهر کرج با نرخ رشد سالانه ۶/۲۵ درصد بالاترین نرخ رشد و کلان‌شهر تهران با نرخ رشد سالانه ۱/۱ درصد پایین‌ترین نرخ رشد جمعیت را داشته است. بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶، نرخ رشد سالانه جمعیت کلان‌شهرهای ایران با اندکی کاهش به ۱/۶۴ درصد رسیده است. در این فاصله زمانی، بالاترین نرخ رشد سالانه جمعیت



با ۲/۱۸ درصد در کلان‌شهر مشهد و پایین‌ترین نرخ رشد سالانه جمعیت با ۱/۲ درصد در کلان‌شهر تهران مشاهده می‌شود؛ بنابراین، در جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که در سه دهه اخیر، نرخ رشد جمعیت کلان‌شهرهای ایران حدود ۱/۷۳ درصد بوده است. علاوه‌براین، بالاترین نرخ رشد سالانه جمعیت با ارزش ۳/۸۷ درصد در کلان‌شهر کرج و پایین‌ترین نرخ رشد جمعیت با ۱/۱۶ درصد در کلان‌شهر تهران رخ داده است (جدول ۲).

جدول ۲. تغییرات جمعیتی کلان‌شهرهای ایران در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ (هزار نفر)

| سال       | تهران  | مشهد   | اصفهان    | کرج    | شیراز  | تبریز  | قم     | اهواز  | کل      |
|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| ۱۳۶۶      | ۶۲۵۷/۵ | ۱۵۰۵/۹ | ۱۰۱۴/۱۰۱۴ | ۵۰۸/۵  | ۹۳۰/۲  | ۹۹۳/۴  | ۶۳۶/۹  | ۴۷۶/۴  | ۱۲۴۹۴/۵ |
| ۱۳۷۹      | ۷۱۳۹/۸ | ۲۰۹۶/۸ | ۱۳۹۳/۱    | ۱۱۱۸/۹ | ۱۱۱۷/۸ | ۱۲۶۶/۲ | ۸۴۹/۶  | ۷۸۰/۹  | ۱۸۸۵۳/۱ |
| ۱۳۹۶      | ۸۷۴۷/۸ | ۳۰۲۴/۷ | ۱۹۸۱/۸    | ۱۵۹۲/۵ | ۱۵۷۶/۱ | ۱۵۶۵/۱ | ۱۲۱۳/۹ | ۱۱۹۲/۱ | ۲۰۸۹۳/۷ |
| ۱۳۶۶-۱۳۷۹ | ۱/۱    | ۲/۵۸   | ۲/۴۷      | ۶/۲۵   | ۱/۸۵   | ۱/۸۸   | ۲/۹۲   | ۲/۷۴   | ۱/۸۵    |
| ۱۳۷۹-۱۳۹۶ | ۱/۲    | ۲/۱۸   | ۲/۰۹      | ۲/۱    | ۲/۰۴   | ۱/۲۵   | ۲/۱۲   | ۱/۸۶   | ۱/۶۴    |
| ۱۳۶۶-۱۳۹۶ | ۱/۱۶   | ۲/۳۵   | ۲/۲۵      | ۳/۸۷   | ۱/۹۷   | ۱/۵۳   | ۲/۴۱   | ۲/۲    | ۱/۷۳    |

منبع: مرکز آمار ایران و محاسبات نگارنده

### تغییرات فضایی-زمانی رشد شهری در کلان‌شهرهای ایران

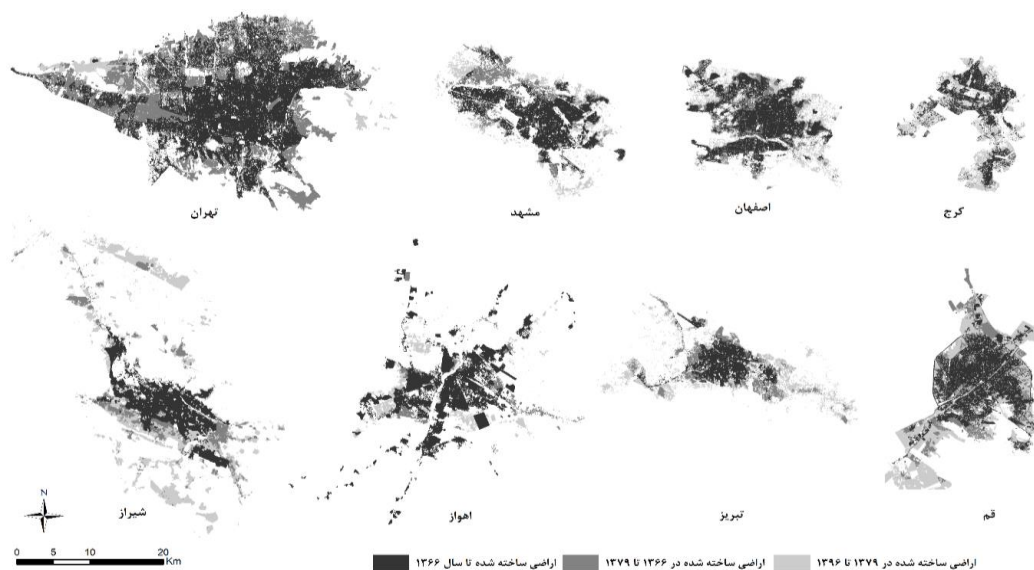
همگام با افزایش جمعیت شهری، کلان‌شهرهای ایران در سه دهه اخیر گسترش فیزیکی شتابانی را تجربه کرده‌اند. مساحت کل اراضی ساخته‌شده در کلان‌شهرهای ایران با نرخ رشد سالانه ۲/۳۲ درصد از ۸۱،۷۰۶ هکتار در سال ۱۳۶۶ به بیش از ۱۶۳،۹۱۷ هکتار در سال ۱۳۹۶ رسیده است (شکل ۲).

در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹، بیشترین نرخ رشد فیزیکی به‌ترتیب مربوط به کلان‌شهرهای تهران، تبریز و شیراز با نرخ رشد سالانه حدود ۴/۲۸، ۴/۱۹ و ۴/۱۷ درصد و کمترین نرخ رشد فیزیکی مربوط به کلان‌شهرهای اهواز و کرج با نرخ رشد سالانه ۱/۱۱ و ۱/۸۴ درصد است. بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۶، تغییرات چشمگیری را در رشد فیزیکی کلان‌شهرهای ایران نشان می‌دهد. کلان‌شهرهای شیراز و کرج با نرخ رشد سالانه ۴/۰۴ و ۳/۶۲ درصد دارای بالاترین نرخ رشد و کلان‌شهرهای تهران و اهواز با نرخ رشد ۰/۴۴ و ۰/۹۵ درصد پایین‌ترین نرخ رشد فیزیکی را دارند؛ بنابراین، می‌توان گفت در سه دهه اخیر، دو کلان‌شهر شیراز و تبریز دارای بالاترین نرخ رشد و دو کلان‌شهر اهواز و تهران دارای پایین‌ترین نرخ رشد اراضی ساخته‌شده هستند (جدول ۳).

جدول ۳. تغییرات فضایی-زمانی رشد شهری در کلان‌شهرهای ایران (هکتار)

| سال       | تهران  | مشهد    | اصفهان | کرج    | شیراز  | تبریز  | قم     | اهواز  | کل      |
|-----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| ۱۳۶۶      | ۲۹،۹۱۸ | ۸۳۵۱    | ۹۲۴۸   | ۴۵۷۷   | ۸۱۷۵   | ۴۱۶۴   | ۴۶۶۱   | ۱۲۶۱۰  | ۸۱،۷۰۶  |
| ۱۳۷۹      | ۴۹،۴۸۹ | ۱۲،۸۱۱۵ | ۱۳،۹۵۲ | ۵۸۰۵   | ۱۲،۲۹۷ | ۷۰۹۸   | ۶۳۴۹   | ۱۴،۲۴۱ | ۱۲۲،۰۴۷ |
| ۱۳۹۶      | ۵۳،۳۶۴ | ۱۶،۹۵۴  | ۱۸،۶۳۹ | ۱۰،۶۲۹ | ۲۴،۱۰۳ | ۱۲،۶۰۸ | ۱۰،۹۰۸ | ۱۶،۷۱۲ | ۱۶۳،۹۱۷ |
| ۱۳۶۶-۱۳۷۹ | ۴/۲۸   | ۳/۳۵    | ۳/۲۱   | ۱/۸۴   | ۴/۱۷   | ۴/۱۹   | ۳/۱۴   | ۱/۱۱   | ۳/۱۳    |
| ۱۳۷۹-۱۳۹۶ | ۰/۴۴   | ۱/۶۶    | ۱/۷۲   | ۳/۶۲   | ۴/۰۴   | ۳/۴۴   | ۳/۲۳   | ۰/۹۵   | ۱/۷۵    |
| ۱۳۶۶-۱۳۹۶ | ۲/۰۲   | ۲/۳۹    | ۲/۳۶   | ۲/۸۵   | ۴/۰۸   | ۳/۷۶   | ۳/۲    | ۱/۰۱   | ۲/۳۲    |

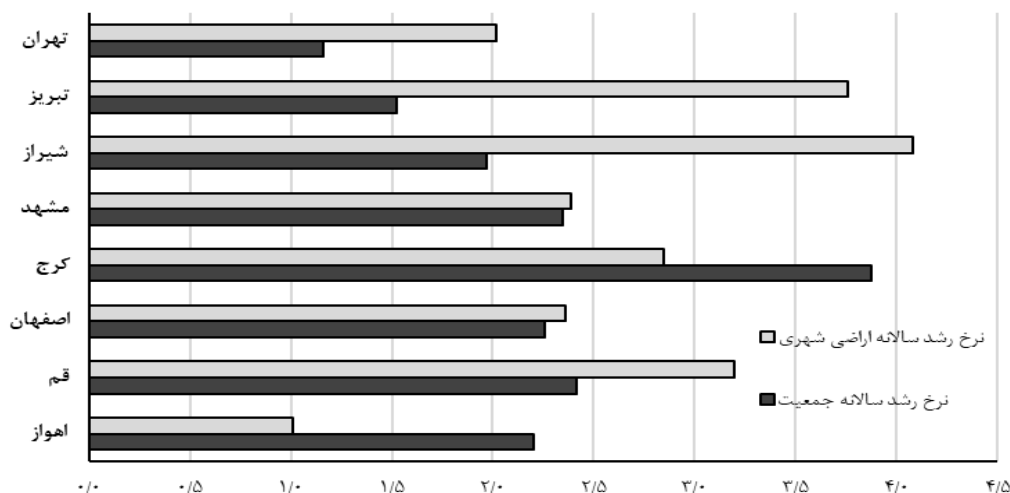
منبع: محاسبات نگارنده



شکل ۲. تغییرات فضایی-زمانی رشد شهری در کلان‌شهرهای ایران (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶)

### تغییرات هم‌زمان جمعیت و اراضی شهری در کلان‌شهرهای ایران

استفاده هم‌زمان از دو شاخص نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد اراضی شهری می‌تواند درک مناسبی از چگونگی رشد شهرها ارائه دهد. نتایج تحلیل نشان می‌دهد در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶، بالاترین نرخ رشد سالانه جمعیت مربوط به کلان‌شهرهای کرج و قم بوده است (شکل ۳). با این حال، براساس نرخ رشد سالانه اراضی شهری، کلان‌شهرهای شیراز و تبریز بالاترین نرخ رشد را به خود اختصاص داده‌اند؛ بنابراین، تناسب چندانی میان نرخ رشد سالانه جمعیت و اراضی ساخته‌شده شهری در کلان‌شهرهای ایران مشاهده نمی‌شود. تحلیل نسبت میان نرخ رشد سالانه جمعیت و اراضی شهری به‌عنوان شاخص پراکنده‌رویی نشان می‌دهد بالاترین میزان پراکنده‌رویی مربوط به کلان‌شهرهای تبریز و شیراز و پایین‌ترین میزان پراکنده‌رویی مربوط به کلان‌شهرهای اهواز و کرج است.



شکل ۳. تغییرات هم‌زمان جمعیت و اراضی شهری در کلان‌شهرهای ایران (۱۳۶۶-۱۳۹۶)

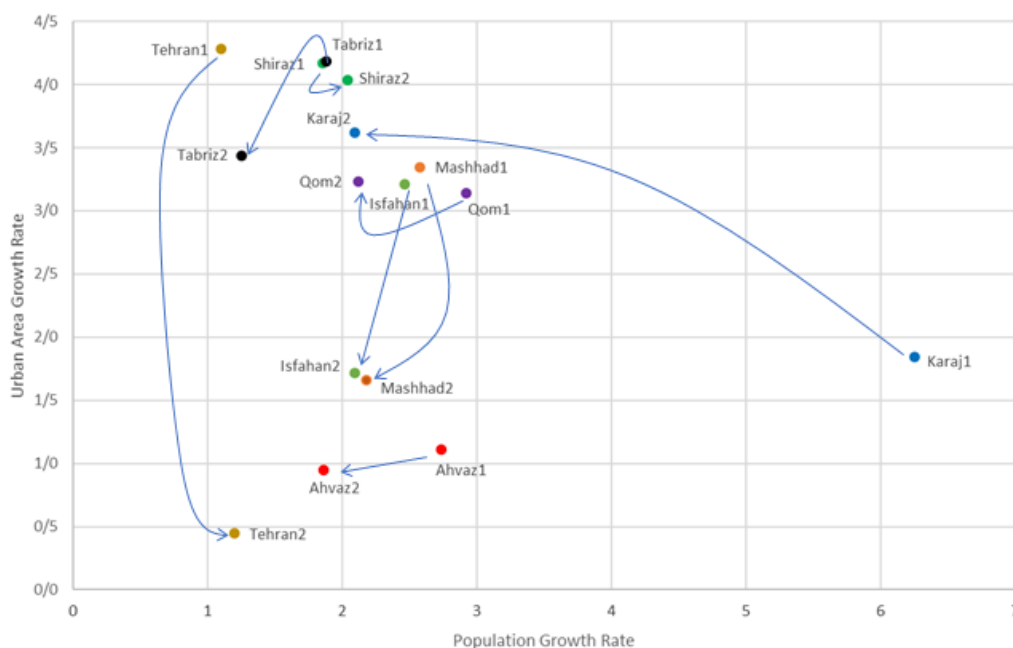
برای تحلیل بهتر ویژگی‌های رشد شهری در کلان‌شهرهای ایران، موقعیت شهرها براساس نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد اراضی شهری در دو دوره زمانی ۱۳۶۶-۱۳۷۹ و ۱۳۷۹-۱۳۹۶ در شکل ۴ نشان داده شده است. براساس نرخ رشد جمعیت و اراضی شهری کلان‌شهرهای ایران در چهار گروه دسته‌بندی می‌شوند:

۱. کلان‌شهرهای با رشد جمعیتی پایین و رشد اراضی شهری پایین: در این گروه کلان‌شهر تهران (۱۳۹۶)، اصفهان (۱۳۹۶)، اهواز (۱۳۹۶) و مشهد (۱۳۹۶) قرار می‌گیرند.

۲. کلان‌شهرهای با رشد جمعیتی پایین و رشد اراضی شهری بالا: کلان‌شهرهای تهران (۱۳۷۹)، شیراز (۱۳۷۹) و قم (۱۳۹۶ و ۱۳۷۹)، قم (۱۳۹۶) و کرج (۱۳۹۶) قرار گرفته‌اند.

۳. کلان‌شهرهای با رشد جمعیتی بالا و رشد اراضی شهری پایین: در این گروه، کلان‌شهرهای کرج (۱۳۷۹) و اهواز (۱۳۷۹) قرار دارند.

۴. کلان‌شهرهای با رشد جمعیتی بالا و رشد اراضی شهری بالا: کلان‌شهرهای مشهد (۱۳۷۹)، اصفهان (۱۳۷۹) و قم (۱۳۷۹) در این گروه قرار می‌گیرند.



شکل ۴. نرخ رشد جمعیت و اراضی ساخته‌شده در کلان‌شهرهای ایران  
منبع: محاسبات نگارنده

### تحلیل فضایی الگوهای فرم شهری

به‌منظور تحلیل فضایی الگوهای فرم شهری در کلان‌شهرهای ایران از متریک‌های سیمای سرزمین شامل تراکم بچ، شاخص بزرگ‌ترین بچ، میانگین مساحت بچ‌ها، شکل بچ، متریک بعد فراکتال محیط-مساحت، میانگین فاصله از نزدیک‌ترین بچ مجاور و غیره استفاده شد.

متریکی تراکم پچ، تعداد پچ‌های یک کلاس کاربری را در واحد سطح (۱۰۰ هکتار) نشان می‌دهد. بالاترین میزان تراکم پچ‌های شهری مربوط به کلان‌شهرهای کرج و تبریز است که به‌طور میانگین حدود ۱۰/۹ و ۱۰/۴ پچ شهری در هر ۱۰۰ هکتار را نشان می‌دهد. پایین‌ترین میزان متریکی تراکم پچ در کلان‌شهر قم با میانگین ۱/۵ پچ شهری در هر ۱۰۰ هکتار مشاهده می‌شود. روند تغییرات متریکی تراکم پچ نشان می‌دهد کلان‌شهرهای شیراز و تبریز دارای روند صعودی در متریکی تراکم پچ‌های شهری و کلان‌شهرهای کرج، قم و تهران دارای روند نزولی در متریکی تراکم پچ‌های شهری هستند (جدول ۴).

شاخص بزرگ‌ترین پچ، درصدی از مساحت یک کلاس کاربری خاص را نشان می‌دهد که به‌وسیله بزرگ‌ترین پچ آن کلاس کاربری اشغال شده است. بالاترین میزان در شاخص بزرگ‌ترین پچ به‌ترتیب مربوط به کلان‌های قم و تهران است که به‌طور متوسط حدود ۹۹/۲ و ۹۷ درصد از مساحت اراضی شهری در این کلان‌شهرها به بزرگ‌ترین پچ شهری اختصاص یافته است. پایین‌ترین میزان در این شاخص متعلق به کلان‌شهرهای شیراز و تبریز است که سهم بزرگ‌ترین پچ از کل مساحت اراضی شهری به‌ترتیب حدود ۶۲ و ۶۵ درصد است. شاخص بزرگ‌ترین پچ در همه کلان‌شهرها به‌استثنای دو کلان‌شهر شیراز و تبریز روندی صعودی داشته است.

تحلیل میانگین مساحت پچ‌های شهری نشان می‌دهد بالاترین ارزش میانگین در کلان‌شهر قم با ۶۵/۳ هکتار و پایین‌ترین ارزش میانگین در کلان‌شهرهای کرج و تبریز به‌ترتیب با ۹/۱ و ۹/۶ هکتار است. روند تغییرات میانگین مساحت پچ‌های شهری در کلان‌شهرهای اهواز، شیراز و تبریز نزولی و در سایر کلان‌شهرها به‌خصوص در تهران، کرج و قم صعودی است.

متریکی شکل پچ بیانگر میزان پیچیدگی شکل پچ است. بیشترین میزان پیچیدگی در شکل پچ‌های شهری، با ارزش میانگین ۱/۹۳ مربوط به کلان‌شهر تبریز و کمترین میزان پیچیدگی با ارزش میانگین ۱/۳۴ مربوط به کلان‌شهر تهران است. در اغلب کلان‌شهرها نظیر اهواز، اصفهان، کرج، مشهد و تبریز در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ بر پیچیدگی شکل پچ‌های شهری افزوده شده است. با این حال، در کلان‌شهر تهران از میزان پیچیدگی شکل پچ‌های شهری کاسته شده است.

متریکی بعد فراکتال محیط-مساحت مانند متریکی شکل پچ، میزان پیچیدگی شکل پچ‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. اندازه این متریکی بین اعداد ۱ و ۲ تعریف شده است. عدد ۱ نشان‌دهنده شکل‌های با محیط بسیار ساده از قبیل مربع و عدد ۲ نشان‌دهنده شکل‌های با محیط بسیار پیچیده است. در حالی که میانگین ارزش متریکی بعد فراکتال محیط-مساحت در کلان‌شهرهای ایران حدود ۱/۴۱ است، بالاترین مقدار این متریکی مربوط به کلان‌شهر اصفهان با مقدار میانگین ۱/۵۴ و پایین‌ترین مقدار مربوط به کلان‌شهر شیراز با میانگین ۱/۲۷ است. تحلیل روند تغییرات متریکی بعد فراکتال محیط-مساحت در کلان‌شهرهای ایران نشان می‌دهد کلان‌شهرهای اهواز، اصفهان، کرج، مشهد و تبریز روند صعودی و کلان‌شهر تهران روندی نزولی دارند.

متریکی فاصله از نزدیک‌ترین پچ مجاور، براساس فاصله مستقیم و لبه به لبه، فاصله میان پچ‌های مجاور از یک کلاس کاربری خاص را برحسب متر اندازه می‌گیرد. نتایج تحلیل بیانگر آن است که بیشترین میانگین فاصله مربوط به

کلان‌شهر شیراز با ارزش میانگین ۱۷۷ متر و کمترین فاصله مربوط به کلان‌شهر کرج با ۲۵ متر است. با این حال، روند تغییرات این متریک نشان می‌دهد که کلان‌شهرهای اهواز، قم، مشهد، شیراز و کرج دارای روندی صعودی و کلان‌شهر تهران دارای روندی نزولی بوده است.

جدول ۴. ارزش متریک‌های سیمای سرزمین برای کلان‌شهرهای کشور در سال ۱۳۹۶

| شهر    | MPAR | MCI   | MFDI  | MRCC  | LSI  | MENND | PAFD | MSI  | MPA  | LPI  | PD   |
|--------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|
| اهواز  | ۱۳۳۵ | ۰/۶۲۴ | ۱/۱۲۴ | ۰/۶۰۵ | ۶۰/۸ | ۷۹/۲  | ۱/۳۵ | ۱/۷۸ | ۱۳/۶ | ۷۵/۹ | ۷/۳  |
| قم     | ۲۸۹۲ | ۰/۲۵۶ | ۱/۰۶۵ | ۰/۴۱۴ | ۲۹/۴ | ۵۶/۵  | ۱/۳۳ | ۱/۴۱ | ۶۵/۳ | ۹۹/۲ | ۱/۵  |
| اصفهان | ۱۱۲۰ | ۰/۶۸۲ | ۱/۱۳۴ | ۰/۶۴۳ | ۴۳/۴ | ۴۵/۷  | ۱/۵۴ | ۱/۸۶ | ۲۱/۴ | ۹۵/۴ | ۴/۶  |
| کرج    | ۱۶۷۰ | ۰/۵۳۳ | ۱/۱۰۶ | ۰/۶۰۱ | ۶۲/۲ | ۲۵/۸  | ۱/۵۱ | ۱/۵۸ | ۹/۱  | ۹۲/۴ | ۱۰/۹ |
| مشهد   | ۹۴۷  | ۰/۷۲۹ | ۱/۱۲۰ | ۰/۶۲۳ | ۴۳/۶ | ۶۲/۶  | ۱/۳۹ | ۱/۷۹ | ۲۱/۸ | ۷۴/۲ | ۴/۶  |
| شیراز  | ۶۲۲  | ۰/۸۱۶ | ۱/۰۷۱ | ۰/۵۷۲ | ۲۳/۸ | ۱۷۷/۵ | ۱/۲۷ | ۱/۴۸ | ۴۳/۲ | ۶۲/۷ | ۲/۳  |
| تبریز  | ۱۰۲۷ | ۰/۷۰۶ | ۱/۱۳۹ | ۰/۶۴۹ | ۵۳/۳ | ۶۹/۶  | ۱/۵۳ | ۱/۹۳ | ۹/۶  | ۶۵/۱ | ۱۰/۴ |
| تهران  | ۲۷۲۸ | ۰/۲۸۴ | ۱/۰۷۴ | ۰/۴۶۰ | ۸۱   | ۳۲/۲  | ۱/۳۵ | ۱/۳۵ | ۲۶/۴ | ۹۷/۱ | ۳/۸  |

منبع: محاسبات نگارنده

متریک شکل چشم‌انداز، مجموع طول لبه‌ی پیچ‌های یک کلاس کاربری خاص را در ارتباط با مساحت کل پیچ‌ها را تحلیل می‌کند. ارزش این متریک زمانی برابر ۱ است که کل چشم‌انداز شامل یک پیچ مربع شکل از یک کلاس کاربری خاص باشد و افزایش مقدار این متریک نشان‌دهنده‌ی نظم‌تر شدن شکل پیچ‌ها و افزایش طول لبه‌ها در یک کلاس کاربری خاص خواهد بود. نتایج تحلیل نشان می‌دهد بیشترین مقدار برای این متریک مربوط به شهر تهران با ارزش ۸۱ و کمترین مقدار مربوط به شهر شیراز با ارزش ۲۳/۸ است. روند تغییرات این متریک نیز دال بر وجود روند افزایشی برای شهرهای اهواز، اصفهان، مشهد، شیراز، تبریز و تهران و روند کاهشی برای شهرهای قم و کرج است.

### شناسایی ابعاد فرم شهری

به‌منظور شناسایی ابعاد فرم شهری در کلان‌شهرهای ایران، از مدل تحلیل‌عاملی استفاده شد. ارزش KMO برابر ۰/۶۲۸ و سطح معناداری آزمون بارتلت برابر ۰/۰۰ است که نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل‌عاملی است. براساس نتایج تحلیل می‌توان ۱۱ متریک فضایی را در قالب سه مؤلفه خلاصه‌سازی کرد. این سه مؤلفه مستخرج از تحلیل‌عاملی حدود ۸۶ درصد واریانس موجود در داده‌ها را تبیین می‌کنند (جدول ۵).

مؤلفه ۱: این مؤلفه دارای همبستگی مثبت با متریک‌های MSI<sup>۱</sup>، MRCC<sup>۲</sup>، MFDI<sup>۳</sup> و MCI<sup>۴</sup> و همبستگی منفی با متریک MPAR<sup>۵</sup> است. ارزش بالاتر در این مؤلفه نشان‌دهنده‌ی شکل پیچیده‌تر پیچ‌های شهری و ارزش پایین‌تر در این مؤلفه نشان‌دهنده‌ی شکل ساده‌تر پیچ‌های شهری است. این مؤلفه به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه، حدود ۴۱/۸ درصد واریانس موجود در داده‌ها را تبیین می‌کند. می‌توان این مؤلفه را به‌عنوان شکل پیچ‌های شهری نام‌گذاری کرد.

1. Mean Shape Index
2. Mean Related Circumscribing Circle
3. Mean Fractal Dimension Index
4. Mean Contiguity Index
5. Mean Perimeter-Area Ratio

مؤلفه دوم: این مؤلفه دارای همبستگی منفی با دو متریک MENND<sup>۱</sup> و MPA<sup>۲</sup> و همبستگی مثبت با دو متریک LSI<sup>۳</sup> و PAFD<sup>۴</sup> است. ارزش بالاتر در این مؤلفه نشان‌دهنده فاصله کمتر میان پچ‌های شهری، میانگین مساحت پایین‌تر برای پچ‌های شهری و پیچیدگی چشم‌انداز شهری است. این مؤلفه بیش از ۲۸/۹ درصد از واریانس داده‌ها را شامل می‌شود و می‌توان آن را چشم‌انداز شهری نامید.

جدول ۵. تحلیل عاملی متریک‌های شکل شهر در کلان‌شهرهای ایران

| مؤلفه‌ها |        |        | متریک‌های سیمای سرزمین                       |
|----------|--------|--------|--|
| ۳        | ۲      | ۱      |  |
|          |        | ۰/۹۳۷  | شاخص میانگین شکل پچ‌ها                       |
|          |        | ۰/۹۳۰  | میانگین دایره‌وارگی پچ‌ها                    |
|          |        | ۰/۹۲۲  | شاخص میانگین بعد فراکتال پچ‌ها               |
|          |        | -۰/۸۳۹ | میانگین نسبت محیط به مساحت پچ‌ها             |
|          |        | ۰/۸۳۵  | شاخص میانگین پیوستگی پچ‌ها                   |
|          | -۰/۸۱۹ |        | میانگین فاصله اقلیدسی از نزدیک‌ترین پچ مجاور |
|          | ۰/۸۱۲  |        | بعد فراکتال محیط به مساحت پچ‌ها              |
|          | -۰/۷۵۸ |        | میانگین مساحت پچ‌ها                          |
|          | ۰/۷۴۳  |        | شاخص شکل سیمای سرزمین                        |
| ۰/۸۰۶    |        |        | تراکم پچ‌ها                                  |
| -۰/۷۳۰   |        |        | شاخص بزرگ‌ترین پچ                            |
| ۱۵/۱۵۷   | ۲۸/۹۶۷ | ۴۱/۸۸۴ | واریانس تبیین شده (درصد)                     |
|          | ۸۶/۰۰۹ |        | کل واریانس تبیین شده (درصد)                  |

Extraction Method: Principal Component Analysis  
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

مؤلفه سوم: متریک PD<sup>۵</sup> با همبستگی مثبت و متریک LPI<sup>۶</sup> با همبستگی منفی در این مؤلفه قرار گرفته‌اند. ارزش بالاتر در این مؤلفه نشان‌دهنده تراکم بالای پچ‌های شهری و سهم کمتر بزرگ‌ترین پچ شهری از کل محدوده شهری است. این مؤلفه حدود ۱۵/۱ درصد واریانس داده‌ها را تبیین می‌کند و می‌توان آن تراکم پچ‌های شهری نام‌گذاری کرد. به‌منظور دسته‌بندی کلان‌شهرها براساس ویژگی‌های فرم شهری، از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. داده‌های ورودی در تحلیل خوشه‌ای، سه مؤلفه مستخرج از تحلیل عاملی هستند که ابعاد و ویژگی‌های گوناگون فرم شهری را در کلان‌شهرهای ایران نشان می‌دهند (جدول ۶). مطابق نتایج تحلیل خوشه‌ای، کلان‌شهرهای ایران برحسب ویژگی‌های فرم شهری در چهار خوشه دسته‌بندی می‌شوند:

خوشه اول شامل کلان‌شهرهایی است که ویژگی غالب آن‌ها پیچیدگی نسبتاً پایین در شکل پچ‌های شهری، پیچیدگی بالا در چشم‌انداز شهری، تعدد پچ‌های کوچک، ارزش پایین متریک میانگین فاصله میان پچ‌های مجاور، تراکم بالای پچ‌های شهری و سهم پایین‌تر بزرگ‌ترین پچ شهری از محدوده کلان‌شهر است. در این خوشه، کلان‌شهر کرج قرار می‌گیرد.

1. Mean Euclidean Nearest-Neighbour Distance
2. Mean Patch Area
3. Landscape Shape Index
4. Perimeter-Area Fractal Dimension
5. Patch Density
6. Largest Patch Index

خوشه دوم شامل کلان‌شهرهایی با ویژگی پیچیدگی پایین در شکل پچ‌های شهری، پیچیدگی نسبتاً بالا در چشم‌انداز شهری، تراکم پایین پچ‌های شهری و سهم بالای بزرگ‌ترین پچ از مساحت کلان‌شهر است. در این خوشه، کلان‌شهرهای تهران و قم جای می‌گیرند.

خوشه سوم شامل کلان‌شهرهایی با ویژگی پیچیدگی نسبتاً بالا در شکل پچ‌های شهری، پیچیدگی کم در چشم‌انداز شهری، تراکم نسبتاً بالای پچ‌های شهری و سهم پایین بزرگ‌ترین پچ از مساحت کلان‌شهر است. در این خوشه، کلان‌شهر شیراز قرار گرفته است.

خوشه چهارم شامل کلان‌شهرهای با پیچیدگی بالا در شکل پچ‌های شهری، پیچیدگی چشم‌انداز نسبتاً پایین، تراکم نسبتاً پایین پچ‌های شهری و سهم نسبتاً بالای بزرگ‌ترین پچ شهری از مساحت کلان‌شهر است. در این خوشه، کلان‌شهرهای اهواز، اصفهان، مشهد و تبریز قرار گرفته‌اند.

جدول ۶. مراکز خوشه‌های نهایی براساس مؤلفه‌های مستخرج از تحلیل عاملی

| مؤلفه                       | خوشه    |         |         |         |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                             | ۱       | ۲       | ۳       | ۴       |
| مؤلفه ۱ (شکل پچ‌های شهری)   | -۰/۴۸۵۵ | -۱/۳۹۳  | ۰/۰۴۴۸  | ۰/۷۶۲۸  |
| مؤلفه ۲ (چشم‌انداز شهری)    | ۰/۸۱۳   | ۰/۴۱۴۵  | -۱/۸۰۵۱ | ۰/۲۴۷۵  |
| مؤلفه ۳ (تراکم پچ‌های شهری) | ۲/۵۸۴۶  | -۰/۶۲۰۳ | ۰/۰۷۶۳  | -۰/۱۴۶۰ |

منبع: محاسبات نگارنده

### بحث و نتیجه‌گیری

کلان‌شهرهای ایران در سه دهه اخیر رشد سریع جمعیتی را تجربه کرده‌اند. با این حال، نرخ رشد جمعیت در این کلان‌شهرها متفاوت است؛ به طوری که در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹ بالاترین نرخ رشد جمعیت در کلان‌شهر کرج و در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ بالاترین نرخ رشد جمعیت در کلان‌شهر مشهد رخ داده است. مهم‌ترین پیامد فضایی افزایش سریع جمعیت در کلان‌شهرهای ایران، گسترش فیزیکی شهر و ایجاد تغییرات اساسی در فرم شهری است؛ به طوری که مساحت اراضی شهری از ۸۱/۷ هزار هکتار در سال ۱۳۶۶ به بیش از ۱۶۳/۹ هزار هکتار در سال ۱۳۹۶ افزایش یافته است. در بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۹، بالاترین نرخ رشد اراضی شهری مربوط به کلان‌شهرهای تهران و تبریز و بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ بالاترین نرخ رشد اراضی شهری متعلق به کلان‌شهرهای شیراز و کرج است؛ بنابراین به طور واضح می‌توان عدم تناسب میان نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد اراضی ساخته شده را در کلان‌شهرهای ایران تشخیص داد. کلان‌شهرهای تبریز و شیراز بیشترین عدم تناسب میان نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد اراضی شهری را دارند؛ به طوری که، نرخ رشد اراضی شهری حدود دو برابر نرخ رشد جمعیت در این دو کلان‌شهر است. علاوه بر این، کلان‌شهر تهران از شهری با ویژگی رشد شهری پراکنده در دهه‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۷۰ به شهری با ویژگی رشد شهری فشرده در دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ تغییر رویه داده است.

تحلیل فرم شهری با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین در کلان‌شهرهای ایران نشان می‌دهد هر کدام از کلان‌شهرها دارای ویژگی‌های متفاوتی به لحاظ شکل، مساحت، تراکم و فاصله پچ‌ها هستند. با این حال، تحلیل

ویژگی‌های فرم شهری با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد می‌توان ویژگی‌های فرم شهری را با استفاده از ابعاد سه‌گان شکل پج‌های شهری، چشم‌انداز شهری و تراکم پج‌های شهری خلاصه‌سازی کرد. مهم‌ترین ویژگی‌های فرم شهری در کلان‌شهر کرج، پیچیدگی نسبتاً پایین در شکل پج‌های شهری، پیچیدگی بالا در چشم‌انداز شهری، تعدد پج‌های کوچک، ارزش پایین متریک میانگین فاصله میان پج‌های مجاور، تراکم بالای پج‌های شهری و سهم پایین‌تر بزرگ‌ترین پج شهری است؛ بنابراین، کلان‌شهر کرج در سال‌های اخیر به سمت فرم شهری پراکنده و بی‌نظم حرکت کرده است. کلان‌شهر شیراز نیز به لحاظ ویژگی‌های فرم شهری، بسیار نزدیک به کلان‌شهر کرج است. ویژگی‌های غالب در فرم شهری کلان‌شهرهای تهران و قم، پیچیدگی پایین در شکل پج‌های شهری، پیچیدگی نسبتاً بالا در چشم‌انداز شهری، تراکم پایین پج‌های شهری و سهم بالای بزرگ‌ترین پج از مساحت کلان‌شهر است؛ بنابراین، کلان‌شهرهای تهران و قم دارای فرم شهری فشرده‌تر و منظم‌تر در مقایسه با سایر کلان‌شهرهای ایران هستند. ویژگی‌های اساسی فرم کلان‌شهرهای اهواز، اصفهان، مشهد و تبریز، پیچیدگی بالا در شکل پج‌های شهری، پیچیدگی چشم‌انداز نسبتاً پایین، تراکم نسبتاً پایین پج‌های شهری و سهم نسبتاً بالای بزرگ‌ترین پج شهری از مساحت کلان‌شهر است؛ بنابراین، کلان‌شهرهای اهواز، اصفهان، مشهد و تبریز به لحاظ فرم شهری حد واسط بین الگوی فشرده و منظم کلان‌شهر تهران و الگوی فشرده و بی‌نظم کلان‌شهر کرج قرار هستند.



## منابع

- Abdulkareem, M., & Elkadi, H. (2018). From Engineering to Evolutionary, an Overarching Approach in Identifying the Resilience of Urban Design to Flood. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 176–190.
- Adachi, S. A., Kimura, F., Kusaka, H., Duda, M. G., Yamagata, Y., Seya, H., & Aoyagi, T. (2014). Moderation of Summertime Heat-Island Phenomena via Modification of the Urban Area form in the Tokyo Metropolitan Area. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 140422115013007.
- Ahern, J. (2013). Urban Landscape Sustainability and Resilience: The Promise and Challenges of Integrating Ecology with Urban Planning and Design. *Landscape Ecology*, 28(6), 1203–1212.
- Ahmad, S., & de Oliveira, J. A. P. (2016). Determinants of Urban Mobility in India: Lessons for Promoting Sustainable and Inclusive Urban Transportation in Developing Countries. *Transport Policy*, 50, 106–114.
- Ajibade, I., & McBean, G. (2014). Climate Extremes and Housing Rights: A Political Ecology of Impacts, Early Warning and Adaptation Constraints in Lagos Slum Communities. *Geoforum*, 55, 76–86.
- Alawadi, K., & Benkraouda, O. (2019). The Debate over Neighborhood Density in Dubai: Between Theory and Practicality. *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 18-34.
- Andersson, E. (2006). Urban Landscapes and Sustainable Cities. *Ecology and Society*, 11(1). Antoniucci, V., & Marella, G. (2016). Small Town Resilience: Housing Market Crisis and Urban Density in Italy. *Land Use Policy*, 59, 580–588.
- Baiocchi, G., Creutzig, F., Minx, J., & Pichler, P.-P. (2015). A Spatial Typology of Human Settlements and Their CO2 Emissions in England. *Global Environmental Change*, 34, 13–21.
- Burton, E. (2000). The Compact City: Just or Just Compact? A Preliminary Analysis. *Urban Studies*, 37(11), 1969–2006.
- Carpenter, A. (2015). Resilience in the Social and Physical Realms: Lessons from the Gulf Coast. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 290–301.
- Chen, Y.-J., Matsuoka, R. H., & Liang, T.-M. (2017). Urban form, Building Characteristics, and Residential Electricity Consumption: A Case Study in Tainan City. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(5), 933-952.
- Clark, T. A. (2013). Metropolitan Density, Energy Efficiency and Carbon Emissions: Multi Attribute Trade-Offs and Their Policy Implications. *Energy Policy*, 53, 413–428.
- Creutzig, F., Agoston, P., Minx, J. C., Canadell, J. G., Andrew, R. M., Quere, C. L., & Dhakal, S. (2016). Urban Infrastructure Choices Structure Climate Solutions. *Nature Climate Change*, 6(12), 1054-1056.
- Dempsey, N., Brown, C., Raman, S., Porta, S., Jenks, M., Jones, C., & Bramley, G. (2010). Elements of Urban Form. *Dimensions of the Sustainable City* (pp. 21–51). Springer.
- Des Rosiers, F., Thériault, M., Biba, G., & Vandersmissen, M.-H. (2017). Greenhouse Gas Emissions and Urban Form: Linking Households' Socio-Economic Status with Housing and Transportation Choices. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44(5), 964–985.
- Dong, T., Jiao, L., Xu, G., Yang, L., & Liu, J. (2019). Towards Sustainability? Analyzing Changing Urban Form Patterns in the United States, Europe, and China. *Science of the Total Environment*, 671, 632–643.

- DPZ (2018). The Urban Transect. <https://www.dpz.com/Initiatives/Transect>, Accessed date: 3 July 2018.
- Duy, P. N., Chapman, L., Tight, M., Linh, P. N., & Thuong, L. V. (2018). Increasing Vulnerability to Floods in New Development Areas: Evidence from Ho Chi Minh City. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 10(1), 197–212.
- Evans, D. H., Fletcher, R. J., Pottier, C., Chevance, J. B., Soutif, D., Tan, B. S., & Boornazian, G. (2013). Uncovering Archaeological Landscapes at Angkor Using Lidar. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(31), 12595–12600.
- Fan, C., Tian, L., Zhou, L., Hou, D., Song, Y., Qiao, X., & Li, J. (2018). Examining the Impacts of Urban Form on Air Pollutant Emissions: Evidence from China. *Journal of Environmental Management*, 212, 405–414.
- Fang, C., Wang, S., & Li, G. (2015). Changing Urban Forms and Carbon Dioxide Emissions in China: A Case Study of 30 Provincial Capital Cities. *Applied Energy*, 158, 519–531.
- Fletcher, R. (2011). Low-Density, Agrarian-Based Urbanism. *The Comparative Archaeology of Complex Societies*, 285.
- Gobattoni, F., Pelorosso, R., Lauro, G., Leone, A., & Monaco, R. (2011). A Procedure for Mathematical Analysis of Landscape Evolution and Equilibrium Scenarios Assessment. *Landscape and Urban Planning*, 103(3–4), 289–302.
- Grimm, N. B., Grove, J. M., Pickett, S. T. A., & Redman, C. L. (2000). Integrated Approaches to Long-Term Studies of Urban Ecological Systems. *Bioscience*, 50, 571–584.
- Hachem, C. (2016). Impact of Neighborhood Design on Energy Performance and GHG Emissions. *Applied Energy*, 177, 422–434.
- Hale, J. D., Fairbrass, A. J., Matthews, T. J., & Sadler, J. P. (2012). Habitat Composition and Connectivity Predicts Bat Presence and Activity at Foraging Sites in a Large UK Conurbation. *PLoS One*, 7(3).
- Harrison, P., Bobbins, K., Culwick, C., Humby, T.-L., La Mantia, C., Todes, A., & Weakley, D. (2014). Urban Resilience Thinking for Municipalities, University of the Witwatersrand, Gauteng City-Region Observator. <https://wiredspace.wits.ac.za/handle/10539/16490>.
- Ho, H. C., Wong, M. S., Yang, L., Shi, W. Z., Yang, J. X., Bilal, M., & Chan, T. C. (2018). Spatiotemporal Influence of Temperature, Air Quality, and Urban Environment on Cause-Specific Mortality during Hazy Days. *Environment International*, 112, 10–22.
- Holden, E., & Norland, I. (2005). Three Challenges for the Compact City as a Sustainable Urban Form: Household Consumption of Energy and Transport in Eight Residential Areas in the Greater Oslo Region. *Urban Studies*, 42(12), 2145–2166.
- Hubbart, J. A., Kellner, E., Hooper, L., Lupo, A. R., Market, P. S., Guinan, P. E., & Svoma, B. M. (2014). Localized Climate and Surface Energy Flux Alterations across an Urban Gradient in the Central US. *Energies*, 7(3), 1770–1791.
- Hui, S. C. (2001). Low Energy Building Design in High Density Urban Cities. *Renewable Energy*, 24(3), 627–640.
- Irajifar, L., Sipe, N., Alizadeh, T., & Haigh, R. (2016). The Impact of Urban Form on Disaster Resiliency: A Case Study of Brisbane and Ipswich, Australia. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 7(3), 259–275.
- Jayawardena, H., & Van Roon, M. (2017). Water Sensitive Planning and Design as an Ecologically Inspired Approach to Delivering Flood Resilient Urban Environment in Sri Lanka. *Water Practice Technology*, 12(4), 964–977.

- Kim, S., & Ryu, Y. (2015). Describing the Spatial Patterns of Heat Vulnerability from Urban Design Perspectives. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 22(3), 189–200.
- Larco, N. (2015). Sustainable Urban Design – A (Draft) Framework. *Journal of Urban Design*, 1–29.
- Lee, K. (2016). *The Relationship between Urban Sprawl and Disaster Resilience: An Exploratory Study*. Texas A&M University.
- Lee, S., & Lee, B. (2014). The Influence of Urban Form on GHG Emissions in the U.S. Household Sector. *Energy Policy*, 68, 534–549.
- Lehmann, S. (2016). Sustainable Urbanism: Towards a Framework for Quality and Optimal Density? *Future Cities and Environment*, 2(8), 1-13.
- Lemonsu, A., Viguie, V., Daniel, M., & Masson, V. (2015). Vulnerability to Heat Waves: Impact of Urban Expansion Scenarios on Urban Heat Island and Heat Stress in Paris (France). *Urban Climate*, 14, 586–605.
- Lieske, S. N., McLeod, D. M., Coupal, R. H., & Srivastava, S. K. (2012). Determining the Relationship between Urban Form and the Costs of Public Services. *Environment and Planning. B, Planning & Design*, 39(1), 155–173.
- Ling, C., & Dale, A. (2011). Nature, Place and the Creative Class: Three Canadian Case Studies. *Landscape and Urban Planning*, 99(3–4), 239–247.
- Lohrey, S., & Creutzig, F. (2016). A ‘Sustainability Window’ of Urban Form. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 45(Supplement C), 96–111.
- Long, Y., Dev, N., Mukul, T., Daniel, A., Fei, C., Fuqiang, T., & Guangheng, N. (2016). Contrasting Impacts of Urban Forms on the Future Thermal Environment: Example of Beijing Metropolitan Area. *Environmental Research Letters*, 11(3), 1-10.
- Louf, R., & Barthelemy, M. (2014). How Congestion Shapes Cities: From Mobility Patterns to Scaling. *Scientific Reports*, 4, 55-61.
- Lu, P., & Stead, D. (2013). Understanding the Notion of Resilience in Spatial Planning: A Case Study of Rotterdam, the Netherlands. *Cities*, 35, 200–212.
- 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.
- Neuman, M. (2005). The Compact City Fallacy. *Journal of Planning Education and Research*, 25(1), 11–26.
- Newman, P., & Kenworthy, J. (2000). Sustainable Urban Form: The Big Picture. In K. Williams, E. Burton, & M. Jenks (Eds.). *Achieving Sustainable Urban Form* (pp. 109– 120). London; New York: E & FN Spon.
- Olazabal, M., Chelleri, L., & Sharifi, A. (2018). Is Connectivity a Desirable Property in Urban Resilience Assessments? In Y. Yamagata, & A. Sharifi (Eds.). *Resilience-Oriented Urban Planning: Theoretical and Empirical Insights* (pp. 195–211). Cham: Springer International Publishing.
- Pearsall, H. (2017). Staying Cool in the Compact City: Vacant Land and Urban Heating in Philadelphia, Pennsylvania. *Applied Geography*, 79, 84–92.
- Pharr, J., Coughenhour, C., & Bungum, T. (2013). *Environmental, Human and Socioeconomic Characteristics of Pedestrian Injury and Death in Las Vegas, NV*.

- Pili, S., Grigoriadis, E., Carlucci, M., Clemente, M., & Salvati, L. (2017). Towards Sustainable Growth? A Multi-Criteria Assessment of (Changing) Urban Forms. *Ecological Indicators*, 76, 71-80.
- Sadowy, K. (2016). Sustainable City – Flexible or Durable? Socio-Economics Aspects of Urban Patterns. In book: *Economy Today: An Interdisciplinary Approach to Contemporary Economic Challenges*, edited by Pieter Urbanek. <http://dx.doi.org/10.18778/8088-012-2.0>.
- Salat, S., & Bourdic, L. (2012). Urban Complexity, Efficiency and Resilience. *Energy Efficiency-A Bridge to Low Carbon Economy*. InTech.
- Salat, S., Vialan, D., & Nowacki, C. (2010). A Common Metrics and Set of Indicators for Assessing Buildings and Urban Fabric Sustainability Performance. *Cesb 10: Central Europe towards Sustainable Building - From theory to practice* (pp. 509–512).
- Schlee, M. B., Tamminga, K. R., & Tangari, V. R. (2012). A Method for Gauging Landscape Change as a Prelude to Urban Watershed Regeneration: The Case of the Carioca River, Rio de Janeiro. *Sustainability*, 4(9), 2054–2098.
- Schneider, A., & Woodcock, C. E. (2008). Compact, Dispersed, Fragmented, Extensive? A Comparison of Urban Growth in Twenty-Five Global Cities Using Remotely Sensed Data, Pattern Metrics and Census Information. *Urban Studies*, 45(3), 659–692.
- Schwarz, N., & Manceur, A. M. (2015). Analyzing the Influence of Urban Forms on Surface Urban Heat Islands in Europe. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(3).
- Sharifi, A. (2019). Resilient Urban Forms: A Review of Literature on Streets and Street Networks. *Building and Environment*, 147, 171–187.
- Sharifi, A., & Yamagata, Y. (2018). Resilient Urban Form: A Conceptual Frame-Work. In Y. Yamagata, & A. Sharifi (Eds.). *Resilience-Oriented Urban Planning: Theoretical and empirical insights*. Springer.
- Silva, M., Oliveira, V., & Leal, V. (2017). Urban Form and Energy Demand: A Review of Energy-Relevant Urban Attributes. *Journal of Planning Literature*, 32(4), 346–365.
- Stone, B., Hess, J. J., & Frumkin, H. (2010). Urban Form and Extreme Heat Events: Are Sprawling Cities More Vulnerable to Climate Change than Compact Cities? *Environmental Health Perspectives*, 118(10), 1425–1428.
- Sun, Y., Zhao, S. (2018). Spatiotemporal Dynamics of Urban Expansion in 13 Cities across the Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration from 1978 to 2015. *Ecological Indicators*, 87, 302–313.
- Vega-Azamar, R. E., Glaus, M., Hausler, R., Oropeza-Garcia, N. A., & Romero-Lopez, R. (2013). An Energy Analysis for Urban Environmental Sustainability Assessment, the Island of Montreal, Canada. *Landscape and Urban Planning*, 118, 18–28.
- Wilson, B., & Chakraborty, A. (2013). The Environmental Impacts of Sprawl: Emergent Themes from the Past Decade of Planning Research. *Sustainability*, 5(8), 3302–3327.
- Zetterberg, A., Mortberg, U. M., & Balfors, B. (2010). Making Graph Theory Operational for Landscape Ecological Assessments, Planning, and Design. *Landscape and Urban Planning*, 95(4), 181–191.