Research Article Volume 28, No. 4, Winter 2024

Comprehensive Exploration and Analysis of *CityEngine* as a Novel Tool for Smart Urban Planning and Design; Case Study: Narmak Neighborhood, Tehran

Abstract

The rapid growth of urbanization and the increasing complexities of urban management have highlighted the need for innovative and efficient tools in the field of urban planning and design. Today's urban planning and design community, in the information era, requires novel technology-driven systems to make better decisions and achieve improved results in the shortest possible time. *CityEngine*, as a city-scale data-driven smart system, offers significant potential for improving the quality of urban planning and design. This applied research aims to introduce and comprehensively analyze *CityEngine* in the context of urban planning and design, with the Narmak neighborhood of Tehran as a case study. Data were collected using various methods, including document review, field surveys, and spatial data analysis. The findings of the study show that *CityEngine* can be effectively applied in various aspects of urban planning and design, including: Dynamic 3D visualization of urban space (detailed and comprehensive urban plans, zoning and design control planning, 3D cadastral planning, environmental planning and design, strategic urban planning), real-time reporting of urban data for quantitative analysis, evaluation and management of the urban environment along with providing a communication platform for public participation, and integration with other relevant urban application software. The results of this research demonstrate that *CityEngine*, as a novel and efficient tool in the field of urban planning and design, can contribute to the creation of smart and sustainable cities. In *CityEngine* for urban planning and design modeling, the following four main steps are presented in the paper: (1) data preparation and processing (2) Classification of urban elements (3) Creating and defining rules (4) Generating a model and modifying it. It can be comprehensively acknowledged that *CityEngine* facilitates: the integration of scattered urban data and the creation of a smart two- and three-dimensional database, the reduction and intelligent monitoring of urban violations through the modeling of urban information (zoning regulations, density, etc.), increased speed and less waste of time in planning, designing and managing urban projects, enhanced citizen involvement in addressing urban issues through online sharing of plans, the ability to intelligently model all types of elements and objects in the city, including buildings, streets, vegetation, urban furniture, support for integrated management city through the creation of manageable dashboards and real-time control, access to information on smart 3D urban elements with the ability to view all features in 3D and update information, improved city maps with interactive 3D visualization to help understanding of the urban environment for managers and citizens, production of past, present and future models of cities to observe and compare urban changes, designing city redevelopment scenarios and examining the effects of each in real-time, analyzing the three-dimensional view of the city to accurately assess the effects of urban visual permeability, and conducting city simulation based on real geographic information system (GIS) data to improve 3D city perception making it effective and useful.

Received: 6 Sep 2022
Received in revised form: 12 June 2023
Accepted: 15 Oct 2023

Farshad Shariatpour[*1] iD (Corresponding Author)
PhD Candidate, Department of Urban Planning and Design, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran. E-mail: Farshad_shariatpour@alumni.iust.ac.ir

Mostafa Behzadfar[2] iD
Professor, Department of Urban Planning and Design, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. E-mail: behzadfar@iust.ac.ir

Doi: https://doi.org/10.22059/jfaup.2024.348341.672799

Keywords
CityEngine, Smart Tool, Smart City, Urban Planning, Urban Design

Citation: Shariatpour, Farshad; Behzadfar, Mostafa (2024). Comprehensive exploration and analysis of *cityengine* as a novel tool for smart urban planning and design; Case study: Narmak neighborhood, Tehran), *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 28(4), 7-19. (*in Persian*)

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press

نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی ● دوره ۲۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲

کاوش و تحلیل جامع *سیتی‌انجین* به‌عنوان ابزار نوین برنامه‌ریزی و طراحی شهری هوشمند؛ نمونه موردی: محله نارمک تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۷/۲۳

فرشاد شریعت‌پور[1*] (نویسنده مسئول): دانشجوی دکتری شهرسازی، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران.
E-mail: farshad_shariatpour@alumni.iust.ac.ir

مصطفی بهزادفر[2]: استاد گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
E-mail: behzadfar@iust.ac.ir

Doi: https://doi.org/10.22059/jfaup.2024.348341.672799

چکیده

رشد فزاینده شهرنشینی و پیچیدگی‌های روزافزون در مدیریت شهری، نیاز به ابزارهای نوین و کارآمد در حوزه برنامه‌ریزی و طراحی شهری را بیش از پیش آشکار ساخته است. جامعه شهرسازی امروز در عصر اطلاعاتی قرار دارد و نیازمند سیستم‌های نوینِ فناوری‌محور است تا بتواند تصمیم‌گیری بهتر و نتیجه مطلوب‌تری را در کمترین زمان ممکن رقم بزند. *سیتی‌انجین* به‌عنوان یک سیستم هوشمند مبتنی بر داده در مقیاس شهر، پتانسیل قابل‌توجهی برای ارتقای برنامه‌ریزی و طراحی شهری دارد. هدف از این پژوهش کاربردی، معرفی و تحلیل جامع *سیتی‌انجین* در زمینه برنامه‌ریزی و طراحی شهری با نمونه موردی محله نارمک تهران است. برای جمع‌آوری داده‌ها از روش‌های مختلفی از جمله برداشت میدانی و تحلیل داده‌های فضایی استفاده شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که *سیتی‌انجین* می‌تواند در زمینه‌هایی از جمله؛ تجسم سه‌بُعدی داینامیک از فضای شهری (طرح‌های تفصیلی و جامع، برنامه‌ریزی نظارتی و کنترل طراحی، کاداستر سه‌بُعدی، برنامه‌ریزی و طراحی محیطی، برنامه‌ریزی شهری استراتژیک)، گزارش‌دهی درلحظه‌ی کمّی از داده‌های شهری، ارزیابی و مدیریت محیط شهری، فراهم کردن بستر ارتباطی برای مشارکت عمومی و ترکیب با سایر نرم‌افزارهای مرتبط با حوزه‌ی شهری، کاربرد مؤثری داشته باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که *سیتی‌انجین* به‌عنوان یک ابزار نوین در حوزه برنامه‌ریزی و طراحی شهری می‌تواند به ایجاد شهرهای هوشمند و پایدار کمک کند.

واژه‌های کلیدی

سیتی‌انجین، ابزار هوشمند، شهر هوشمند، برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری

استناد: شریعت‌پور، فرشاد؛ بهزادفر، مصطفی (۱۴۰۲)، کاوش و تحلیل جامع *سیتی‌انجین* به‌عنوان ابزار نوین برنامه‌ریزی و طراحی شهری هوشمند (نمونه موردی: محله نارمک تهران)، *نشریه هنرهای زیبا: معماری و شهرسازی*، ۲۸(۴)، ۷-۱۹.

ناشر: مؤسسه دانشگاه تهران

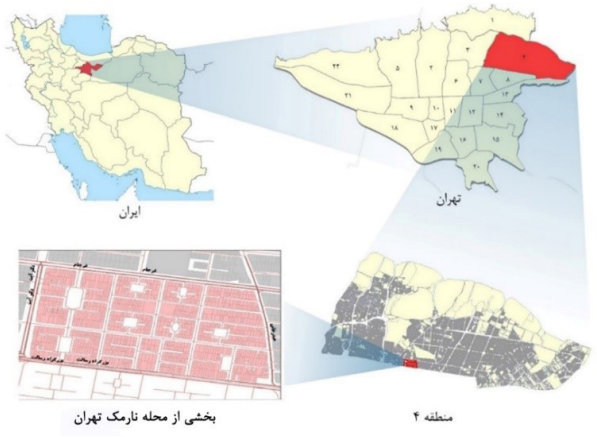
© نگارنده(گان)

مقدمه

رشد فزاینده شهرنشینی در دهه‌های اخیر، پیچیدگی‌های قابل توجهی را در ساختار و عملکرد شهرها به وجود آورده است. این پیچیدگی منجر به اتخاذ فناوری‌های نوین و قوی‌تر مانند استفاده از گرافیک سه‌بُعدی[۱] برای پیش‌بینی تأثیرات فعلی و آتی توسعه شهری شده است. در همین راستا، استفاده از فناوری‌هایی مانند مدل‌سازی و شبیه‌سازی سه‌بُعدی، به‌عنوان راهکاری کارآمد برای ارتقای کیفیت برنامه‌ریزی و طراحی شهری مطرح شده است (Agius et al., 2018). پروژه‌های شهری با توجه به وسعت و تنوعشان، غالباً فرآیندی طولانی‌مدت را طی می‌کنند. از این رو، برنامه‌ریزی و طراحی شهری باید به گونه‌ای انجام شود که با ایجاد چارچوب‌های انعطاف‌پذیر، قابلیت تطبیق با تغییرات مختلف در طول زمان را داشته باشد (Schirmer & Kawagishi, 2011). در مقابله و کنترل با این پیچیدگی‌ها، جامعه‌ی شهرسازی دنیا مفاهیمی مثل شهر دیجیتال[۲] و شهر هوشمند[۳] را پیشنهاد کرده‌اند که ارتباط نزدیکی با مدل‌سازی و شبیه‌سازی سه‌بُعدی شهری دارند. امروزه جامعه شهرسازی به دنبال استفاده و پردازش صحیح از داده‌های شهری است که اگر این داده‌ها به مدل‌های شهری وصل شوند و به‌عنوان حاملان اطلاعات نقش‌آفرین باشند می‌توانند یک مدل اطلاعات شهر[۴] را تولید کنند. این مدل درحال حاضر در رشته عمران با نام مدل اطلاعات ساختمان[۵] شناخته می‌شود. در عصر شهرهای هوشمند، این شهرها را با نام شهرهای داده‌محور[۶] نام‌گذاری می‌کنند. فناوری مدل‌سازی سه‌بُعدی شهر، با بهره‌گیری از ویژگی‌های هندسی خاص و اطلاعات مرتبط، می‌تواند نقش قابل توجهی در کنترل مؤثر منابع شهری، انتخاب منطقی جهت توسعه فضایی شهری و انجام صحیح مدیریت ایفا کند (Steino et al., 2013). کشورهای اروپایی و آمریکایی، روش مدل‌سازی مبتنی بر برنامه‌نویسی را برای ساخت سریع مدل‌های شهری اتخاذ کرده‌اند. این روش بر اساس قوانین و مقررات شهری و با استفاده از زبان‌های کامپیوتری برای توصیف و تولید مدل انجام می‌شود (Liu, 2014). معنای اصلی اصطلاح قانون[۷]، به قوانین یا مقرراتی گفته می‌شود که برای رعایت مشترک، تدوین شده است. برای مدل‌سازی سه‌بُعدی، یک سری از زبان‌های کامپیوتری برای توصیف مدل و تعیین چگونگی تولید مدل استفاده می‌شود (Kim & Wilson, 2015). *سیتی‌انجین*[۸] به‌عنوان یک سیستم نوین مدل‌سازی سه‌بُعدی شهری، قابلیت‌های قابل توجهی را برای برنامه‌ریزی و طراحی شهری در عصر شهرهای هوشمند ارائه می‌دهد. این سیستم، با استفاده از رویکرد مبتنی بر برنامه‌نویسی، امکان ایجاد مدل‌های پویا و انعطاف‌پذیر از فضای شهری را با سرعت بالا فراهم می‌کند. این مدل‌ها، قابلیت تطبیق با تغییرات مختلف در طول زمان را دارند و به همین دلیل، برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری بلندمدت شهری مناسب هستند (Zhou, 2013). هدف اصلی این پژوهش کاربردی، معرفی و تحلیل *سیتی‌انجین* به‌طور عمیق در زمینه‌های مرتبط با شهرسازی، چگونگی کارکرد، کارایی و نقش این سیستم برای برنامه‌ریزی و طراحی شهری می‌باشد. با نگاهی عمیق می‌توان اذعان داشت *سیتی‌انجین* یک سیستم تعاملی[۹] مبتنی بر داده است که می‌تواند با وصل‌شدن به داده‌های توصیفی شهری مثل داده‌های جی‌ای‌اس[۱۰]، داده‌های اوپن‌استریت‌مپ[۱۱] و غیره برای برنامه‌ریزی و طراحی شهری کاربرد مؤثری داشته باشد. با توجه به اینکه فرآیند مدل‌سازی در این سیستم بر اساس الگوریتم‌های برنامه‌نویسی[۱۲] می‌باشد، مدل‌های تولیدشده به‌صورت هوشمند و انعطاف‌پذیر خواهند بود. همچنین در فرآیند مدل‌سازی مبتنی بر برنامه‌نویسی، با نوشتن کُد برای عناصر شهری می‌توان نمای کلی شهر را منعکس کرد که در ایجاد تصویر ذهنی از شهر می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد. بر این اساس سؤال‌های پژوهش حاضر بدین شرح است: *سیتی‌انجین* چیست و چه مزایایی دارد؟ و *سیتی‌انجین* چه نقش کاربردی در برنامه‌ریزی و طراحی شهری به همراه دارد؟. انتظار می‌رود با انجام این پژوهش به درک عمیق‌تر و جامع‌تر از *سیتی‌انجین* و کاربردهای آن در برنامه‌ریزی و طراحی شهری دست پیدا کنیم. همچنین، نتایج این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان و طراحان شهری در ایران در استفاده مؤثر از این سیستم نوین کمک کند. در مجموع، پیش‌بینی می‌شود این پژوهش سهم قابل توجهی در ارتقای کیفیت برنامه‌ریزی و طراحی شهری در ایران و کمک به ایجاد شهرهای هوشمند و پایدار داشته باشد.

روش پژوهش

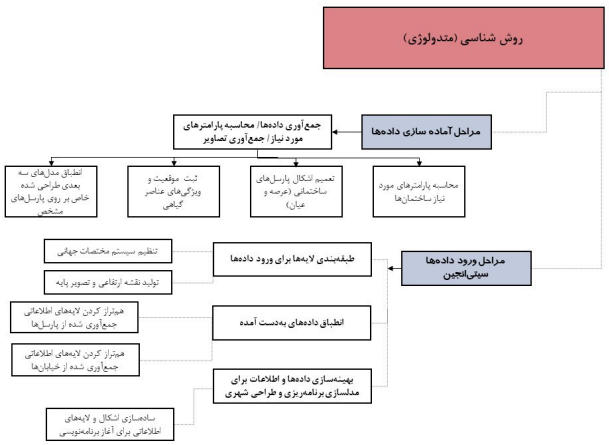
در پژوهش حاضر، با هدف بررسی دقیق قابلیت‌ها و کارایی *سیتی‌انجین*، از این سیستم برای مدل‌سازی بخشی از محله نارمک تهران استفاده شده است و رویکرد مطالعه، کاربردی-توسعه‌ای می‌باشد. محله مورد مطالعه (تصویر ۱) دارای ۱۱۳۶ قطعه زمین که مساحتی به وسعت تقریبا ۳۳۳۳۷۶ مترمربع از شهر تهران را به خود اختصاص داده است.



تصویر ۱. معرفی محدوده مورد مطالعه.

ابتدا از محدوده مطالعاتی یک پایگاه داده‌ی توصیفی در قالب جی‌ای‌اس آماده شد که مرحله آماده‌سازی داده‌ها شامل انتخاب سیستم مختصات برای داده‌ها، محاسبه پارامترهای ضروری، ایجاد بانک نمای ساختمان‌ها، ساده‌سازی پارسل‌ها و ایجاد نقطه‌ها برای لایه پوشش گیاهی و غیره می‌باشد. سپس این داده‌ها را طبقه‌بندی‌شده وارد *سیتی‌انجین* می‌کنیم (تصویر ۲) و برنامه‌نویسی طبق فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی شهری تدوین می‌شود و پس از آن، کُد را بر روی پارسل‌های خام اعمال می‌کنیم و مدل‌سازی انجام می‌شود.

سیتی‌انجین با استفاده از الگوریتم‌ها و قوانین برنامه‌نویسی، می‌تواند مدل‌های سه‌بُعدی را به سرعت و به‌طور خودکار تولید کند. این امر در مقایسه با روش‌های سنتی مدل‌سازی که فرآیندی زمان‌بر و پرزحمت است، یک مزیت قابل توجه محسوب می‌شود. تمام مدل‌ها به‌صورت



تصویر ۲. گام‌های روش‌شناسی پژوهش.

هوشمند هستند یعنی با ایجاد تغییرات روی داده‌ی شهری، مدل برنامه‌ریزی و طراحی شهری به‌صورت درلحظه تغییر می‌کند. برنامه‌نویسی *سیتی‌انجین* به‌صورت پارامتریک و منعطف تدوین شده‌اند. این امر به کاربران این امکان را می‌دهد تا مدل‌های خود را با توجه به نیازهای خاص خود تنظیم و شخصی‌سازی کنند (تصاویر ۳-۴). در بخش یافته‌های پژوهش به تفصیل نقش‌ها و کاربردهای *سیتی‌انجین* در برنامه‌ریزی و طراحی شهری تشریح شده است.

تصویر ۳. مدل برنامه‌ریزی شهری در *سیتی‌انجین* منطبق با مدل طراحی شهری.

تصویر ۴. مدل طراحی شهری در *سیتی‌انجین* منطبق با مدل برنامه‌ریزی شهری.

پیشینه پژوهش

در دهه‌های گذشته پژوهش‌های صورت گرفته در *سیتی‌انجین* عمدتاً به استفاده از این ابزار برای مدل‌سازی در حوزه‌های گوناگون پرداخته‌اند. این مقاله کاوش و تحلیلی از *سیتی‌انجین* را به‌صورت جامع در حوزۀ برنامه‌ریزی و طراحی شهری مورد مطالعه قرار داده است. این مرور کوتاه بر تحقیقات گذشته، بر این موضوع متمرکز است که هر تحقیق چه استفاده یا کاربردی از *سیتی‌انجین* را بررسی کرده‌اند.

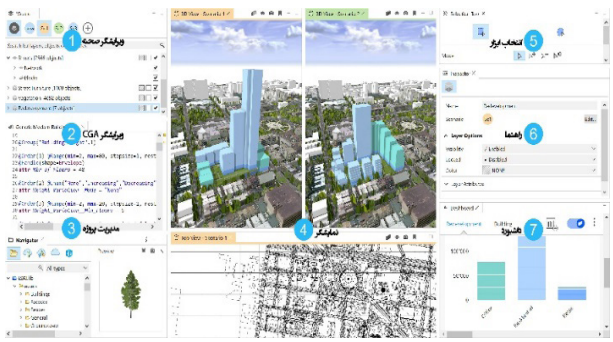
از دهه‌ی ۲۰۰۰ میلادی، پایۀ مطالعات در خصوص *سیتی‌انجین* شکل گرفته است که عمدتاً مربوط به بازی‌سازی[۱۳] و مدل‌سازی‌های مقیاس شهری بوده است. پریش و مولر در سال ۲۰۰۱ با توسعه مفهوم ال-سیستم[۱۴] در *سیتی‌انجین*، مدل‌سازی مقیاس شهری را مطرح کردند (Parish & Müller, 2001). در سال ۲۰۰۶، مولر و همکاران از *سیتی‌انجین* برای مدل‌سازی پویا تک‌ساختمان‌ها استفاده کردند (Müller et al., 2006). مقاله اولمر و همکاران در سال ۲۰۰۷، روشی نوین برای مدل‌سازی ساختار گرامری فضاهای باز شهری ارائه می‌دهد. این روش از قوانین فضای سبز برای تعریف نحوه تعامل پوشش گیاهی پراکنده در محیط‌های شهری استفاده می‌کند. با استفاده از این مدل در *سیتی‌انجین*، می‌توان سناریوهای مختلفی از پوشش گیاهی در شهر را به‌طور خودکار تولید کرد (Ulmer et al., 2007). واتسون و همکاران در سال ۲۰۰۸، کاربردهای *سیتی‌انجین* و چگونگی استفاده از مدل‌های تولیدشده در این ابزار را در صنعت بازی تشریح می‌کنند (Watson et al., 2008) و هالاتش و همکاران استفاده از این ابزار را برای طرح‌های جامع ارائه کردند (Halatsch et al., 2008). دیلا و همکاران در سال ۲۰۱۰ کاربرد *سیتی‌انجین* برای بازسازی مجازی از شهرهای باستانی را مطرح کردند (Dylla et al., 2010). کونزه و همکاران در سال ۲۰۱۲ با بررسی انواع ساختمان‌ها در منطقه خلیج سانفرانسیسکو، در *سیتی‌انجین* چارچوبی برای استفاده از کدهای طراحی دیجیتالی برای ساخت مدل‌های سه‌بُعدی از شهر ارائه دادند (Kunze et al., 2012). تحقیقات انجام‌شده توسط رادیس در سال ۲۰۱۳ از *سیتی‌انجین* برای طرح منطقه‌بندی سه‌بُعدی استفاده شده است (Radies, 2013). دوان در سال ۲۰۱۴ این ابزار را برای تولید فرم‌های مبتنی بر کد مطرح کرد (Duan, 2014). در سال ۲۰۱۶ از *سیتی‌انجین* در ترکیب با داده‌های جی‌ای‌اس برای مدل‌سازی یک سایت مسکونی استفاده شده است (Choei, 2016; Albracht, 2016). در سال ۲۰۱۷، اشنابل و همکاران استفاده از مدل‌سازی پارامتریک برای شهرهای با تراکم بالا را در *سیتی‌انجین* مطرح می‌کنند (Schnabel et al., 2017). در تحقیقات اخیر برای مثال (Kel-ly, 2021) درباره نحوه جریان کار *سیتی‌انجین* برای مدل‌سازی پرداخته شده است. بر اساس پیشینه می‌توان دریافت که تاکنون تحقیقی در رابطه با بررسی جامع *سیتی‌انجین* به‌طور ویژه در حوزۀ برنامه‌ریزی و طراحی شهری صورت نگرفته است.

مبانی نظری پژوهش

معرفی *سیتی‌انجین*

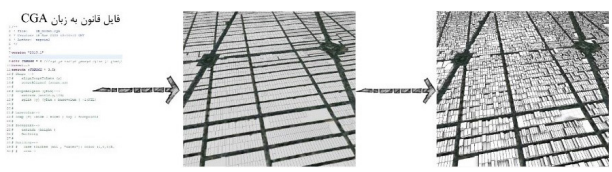
در سال ۲۰۰۱، مباحث علمی *سیتی‌انجین* در دانشگاه صنعتی‌زوریخ (ETH) توسط پاسکال مولر مطرح شد. این ایده نوآورانه در این دانشگاه شکل گرفت و مولر، مجموعه‌ای از تکنیک‌ها را برای تولید عناصر معماری سه‌بُعدی با استفاده از تکنیکی به نام مدل‌سازی رویه‌ای[۱۵] طراحی و برنامه‌ریزی کرد. در ادامه، اولین نسخه *سیتی‌انجین* توسط مؤسسه فناوری زوریخ در آگوست ۲۰۰۸ به ثمر نشست. در سال ۲۰۱۱ توسط شرکت ازری[۱۶] خریداری شد و در حال حاضر این سیستم به‌عنوان محصول این

شرکت عرضه می‌شود (تصویر ۵). شرکت ازری علاوه بر *سیتی‌انجین*، نرم‌افزار *آرک جی‌ای‌اس* را نیز ارائه می‌دهد که برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های جغرافیایی شهری کاربرد دارد. از آنجایی که هر دو محصول (*سیتی‌انجین* و *آرک جی‌ای‌اس*) تحت مالکیت یک شرکت هستند، امکان یکپارچه‌سازی و اتصال کامل آن‌ها به یکدیگر فراهم شده است (Barroso et al., 2013). پایه‌ی مدل‌سازی در *سیتی‌انجین* این است که برای توصیف عناصر مدل‌سازی از زبان برنامه‌نویسی *CGA*[۱۷] استفاده می‌کند (Tianyue, 2013). در این روش، به هر المان مدلی که توسط کاربر تعریف می‌شود، یک «قانون» اختصاص داده می‌شود. هر قانون شامل توابع[۱۸]، ویژگی‌ها[۱۹] و مقررات کنترلی (مانند مقررات منطقه‌بندی زمین، ارتفاع و غیره) است که نحوه نمایش و رفتار آن المان در مدل را مشخص می‌کند.



تصویر ۵. رابط کاربری نرم‌افزار *سیتی‌انجین*.

سیتی‌انجین با ارائه امکان اتصال اطلاعات موجود در جداول توصیفی جی‌ای‌اس (اعم از داده‌های متنی و داده‌های کمی) از طریق برنامه‌نویسی، دریچه‌ای نو به سوی مدل‌سازی سه‌بُعدی دقیق و پویای فضای شهری می‌گشاید. فرض کنید قصد داریم به پارسل‌های شهری حجم دهیم. در این راستا، می‌توان از ویژگی ارتفاعی (مانند تعداد طبقات) که به‌عنوان داده‌ی کمی برای هر پارسل ساختمانی در جدول جی‌ای‌اس تعریف شده است، استفاده کرد. با اعمال قواعد برنامه‌نویسی در *سیتی‌انجین*، ارتفاع هر پارسل به‌طور خودکار بر اساس اطلاعات موجود در جدول جی‌ای‌اس تعیین می‌شود و در نتیجه، مدل سه‌بُعدی دقیق و مطابق با واقعیت از پارسل‌های شهری ایجاد می‌گردد. استفاده از قوانین در *سیتی‌انجین* این امکان را فراهم می‌کند که مدل‌های سه‌بُعدی از طریق داده‌های کمّی و با استفاده از الگوریتم‌های کامپیوتری به سرعت مدل‌سازی شوند. نکته حائز اهمیت این است که احجام سه‌بُعدی ایجادشده بر پایه داده‌های واقعی بنا شده‌اند و از این رو، از دقت و اعتبار بالایی برخوردار هستند. تصویر ارائه شده در زیر، نحوه استفاده از قوانین برای تولید سریع یک مدل سه‌بُعدی در یک مقیاس شهری را نشان می‌دهد. در این تصویر، مدل‌های سه‌بُعدی از طریق داده‌های کمّی و توسط الگوریتم کامپیوتری به سرعت مدل‌سازی می‌شوند (تصویر ۶).



تصویر ۶. اعمال قانون روی پارسل‌های شهری و تولید سریع مدل سه‌بُعدی بر مبنای داده‌ی واقعی.

مراحل مدل‌سازی مبتنی بر برنامه‌نویسی در *سیتی‌انجین*

فرآیند مدل‌سازی در *سیتی‌انجین* دارای چهار مرحله اصلی؛ تهیه و پردازش داده‌ها، طبقه‌بندی نوع عناصر ساختاری شهر، نوشتن فایل قانون، تولید مدل و توسعه آن می‌باشد. استفاده از داده‌ها و پردازش آن‌ها در راستای نوشتن فایل قانون و توسعه آن، اصلی‌ترین مراحل در جهت تحقق یک مدل شهری سه‌بُعدی داینامیک و هوشمند است.

۱. تهیه و پردازش داده‌ها؛ این مرحله، شالوده ساخت یک مدل شهری دقیق و پویا را تشکیل می‌دهد. داده‌های اساسی متعددی (با توجه به جزئیات و دقت مدل موردنظر) از جمله؛ داده‌های توپوگرافی زمین[۲۰]، شبکه ترافیکی (خیابان‌ها و تقاطع‌ها و غیره)، مشخصات هندسی و قطعات ساختمان (ابعاد، موقعیت، کاربری و غیره)، تکسچرها[۲۱] و غیره باید جمع‌آوری، سازماندهی و پردازش شوند. داده‌های توپوگرافی، خیابان‌ها و ساختمان‌ها به‌عنوان هسته اصلی، اساساً وضعیت شهر را منعکس می‌کنند و تصویری کلی از شهر را ارائه می‌دهند و پایه خلق صحنه سه‌بُعدی از شهر را تشکیل می‌دهند (Dahal & Chow, 2014)؛

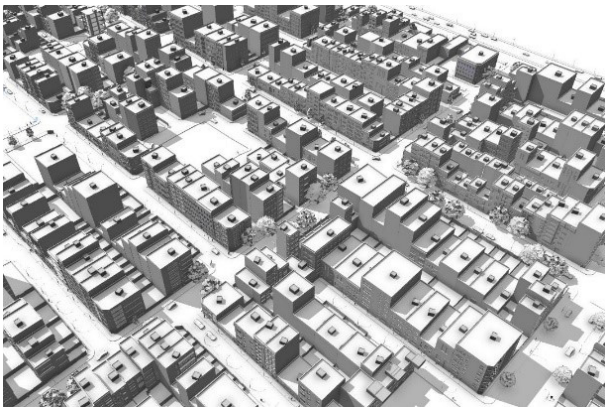
۲. طبقه‌بندی عناصر شهری؛ در این مرحله، عناصر مختلف شهر مانند ساختمان‌ها، خیابان‌ها، پل‌ها، فضاهای سبز و غیره بر اساس ویژگی‌های ظاهری و کاربری آن‌ها دسته‌بندی می‌شوند. این طبقه‌بندی، زمینه را برای اعمال قوانین مدل‌سازی به هر دسته از عناصر به‌طور مجزا فراهم می‌کند (Wang, 2013; Gao, 2014)؛

۳. نوشتن قانون و تقویت آن؛ طبق طبقه‌بندی انواع عناصر شهری، از زبان برنامه‌نویسی *CGA* برای توصیف و نوشتن مدل استفاده می‌شود. این روش با استفاده از ویژگی‌های مدل‌سازی رویه‌ای (Ghorbanian & Shariatpour, 2019; Kelly, 2021; Liu, 2024) انجام می‌شود که باعث کاهش چشمگیر وقت و هزینه نیروی مدل‌سازی شهری می‌شود. اگر نیاز به مدل‌سازی نقشه‌ی تفصیلی شهر باشد، قوانین با توجه به الزامات داده‌های هندسی و انواع خیابان‌ها باید به تفصیل به زبان ماشین تدوین شوند (Hui et al., 2014; Lv & Li, 2013; Jiang, 2014; Li et al., 2015)؛

۴. تولید مدل و توسعه آن؛ نقشه‌ی توپوگرافی زمین، خیابان‌ها، داده‌های هندسی و قطعات ساختمان برای تولید مدل کلی از ساختار شهر، وارد *سیتی‌انجین* می‌شود (Yanwen & He, 2017; Wang et al., 2020). در ابتدا قوانین کلی بر مبنای داده‌های واقعی زمین‌مرجع[۲۲] برای تولید مدل شهر نوشته می‌شود و در ادامه با برنامه‌نویسی قانون و تعریف بخش‌های گوناگون شهر به‌صورت منعطف و پارامتریک می‌توان به یک مدل شهری پویا دست یافت. با اعمال قوانین نوشته‌شده بر روی داده‌های آماده‌شده، مدل سه‌بُعدی اولیه شهر شکل می‌گیرد (تصویر ۷). در این مرحله می‌توان با افزودن جزئیات و تکسچرهای بیشتر به مدل، آن را به سطح مطلوب ارتقا داد.

مزایای مدل‌سازی مبتنی بر برنامه‌نویسی در *سیتی‌انجین*

مدل‌سازی سه‌بُعدی موجود در شهرها به‌طور کلی به سه روش اتخاذ می‌شود: روش اول، استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی سه‌بُعدی (*اسکچ‌آپ*[۲۳]، *تری‌دی‌مکس*[۲۴] و غیره) بر اساس داده‌های دوبُعدی؛ روش دوم استفاده از داده‌های جغرافیایی مکانی جی‌ای‌اس است و روش سوم استفاده از تکنیک‌های تصاویر دیجیتال برای مدل‌سازی سه‌بُعدی می‌باشد (Guan



تصویر ۷. مدل‌سازی بر مبنای برنامه‌نویسی در *سیتی‌انجین*، محله نارمک تهران.

(et al., 2007). در حال حاضر روش اول مدل‌سازی، رایج‌ترین می‌باشد. اگرچه این روش مدل‌سازی سه‌بُعدی می‌تواند نتایج بصری چشم‌نوازی داشته باشد اما، نتیجه‌ی این نوع مدل‌سازی یک مدل استاتیک و صلب[۲۵] است و امکان تحلیل‌های مکانی سه‌بُعدی را فراهم نمی‌کنند و به‌روزرسانی و ویرایش این مدل‌ها عملاً غیرممکن است (Kim & Wilson, 2015) و همچنین فرآیند مدل‌سازی با این روش، بسیار زمان‌بر (به‌ویژه در مقیاس شهر) می‌باشد. *سیتی‌انجین* با ارائه رویکردی نوین به مدل‌سازی سه‌بُعدی شهرها، بر معایب روش‌های سنتی غلبه می‌کند. *سیتی‌انجین* با استفاده از قوانین و الگوریتم‌ها می‌تواند تعداد زیادی مدل را در مدت زمان کوتاهی تولید کند. مدل‌های ایجادشده با *سیتی‌انجین* پویا و قابل تغییر هستند و می‌توان به‌روزرسانی‌ها را به سرعت اعمال کرد. این مدل‌ها می‌توانند اطلاعات مختلفی مانند کاربری زمین، ارتفاع ساختمان‌ها و غیره را ذخیره کنند (Shariatpour et al., 2024) و اشتراک‌گذاری این مدل‌ها در شبکه‌ی آنلاین وب[۲۶] امکان‌پذیر است (Barroso et al., 2013; Watson et al., 2008; Neuenschwander et al., 2014; Moura, 2015). برای مدل‌سازی شهری، در مقایسه با روش‌های مدل‌سازی رایج، مدل‌سازی *سیتی‌انجین* دارای چهار مزیت زیر می‌باشد؛

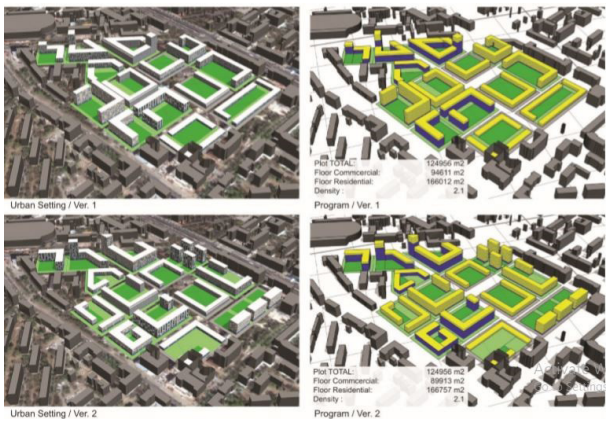
۱. سرعت مدل‌سازی؛ روش‌های سنتی مدل‌سازی شهری به‌طور کلی وقت‌گیر و پرزحمت هستند. در این روش‌ها، هر عنصر شهر باید به‌طور جداگانه مدل‌سازی شود که فرآیندی زمان‌بر است. *سیتی‌انجین* با استفاده از الگوریتم‌ها و قوانین برنامه‌نویسی، می‌تواند تعداد زیادی مدل را در مدت زمان کوتاهی تولید کند (Yanwen & He, 2017)؛

۲. قابلیت اصلاح و به‌روزرسانی؛ در روش‌های سنتی، اصلاح و به‌روزرسانی مدل‌های سه‌بُعدی شهری دشوار و زمان‌بر است. اما در *سیتی‌انجین*، قوانین مدل‌سازی به‌صورت کُد[۲۷] ذخیره می‌شوند و به راحتی قابل ویرایش و بهینه‌سازی هستند. این امر امکان اصلاح سریع مدل یا ایجاد جزئیات بیشتر را فراهم می‌کند؛

۳. تولید اطلاعات با توجه به نیاز کاربر؛ *سیتی‌انجین* می‌تواند داده‌های خاص مورد نیاز برنامه‌ریزی شهری مانند مساحت فضای سبز، تعداد و ارتفاع ساختمان‌ها را استخراج و به‌طور خودکار در قالب‌های مختلف مانند گزارش‌ها و نمودارها ارائه دهد. این قابلیت به برنامه‌ریزان شهری کمک می‌کند تا درک بهتری از فضای شهری داشته باشند و تصمیمات آگاهانه‌تری اتخاذ کنند (Yanwen & He, 2017)؛

۴. قابلیت ارتقا و اشتراک‌گذاری؛ قوانین مدل‌سازی *سیتی‌انجین* به‌صورت الگوریتم‌های متنی هستند که می‌توان آن‌ها را به اشتراک گذاشت، ارتقا داد و برای مدل‌سازی‌های مختلف از آن‌ها استفاده کرد (Brasebin et al., 2018). این امر امکان همکاری و تبادل دانش بین متخصصان مختلف را در بستر شهر فراهم می‌آورد.

یکی از ویژگی‌های برجسته *سیتی‌انجین* که مورد توجه بسیاری از محققان در حوزه معماری و شهرسازی قرار گرفته است، امکان ارزیابی گزینه‌های حجمی مختلف به‌صورت درلحظه در یک مکان خاص است (تصویر ۸). این قابلیت به معماران و شهرسازان این امکان را می‌دهد که به سرعت و به سادگی ایده‌های مختلف را در یک سایت امتحان کنند و بهترین گزینه را برای آن مکان انتخاب کنند (Schirmer & Kawagishi, 2011).



تصویر ۸. استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر قانون در *سیتی‌انجین* برای تعریف ترکیب‌های حجمی مختلف. مأخذ: (Schirmer & Kawagishi, 2011)

کارکرد *سیتی‌انجین* در مقیاس‌های مختلف

در سال ۲۰۰۱، محققان روشی برای استفاده از گرامرهای شکل[۲۸] برای مدل‌سازی رویه‌ای مناظر شهری ارائه دادند (Parish & Müller, 2001). این نوآوری، گامی اساسی در جهت استفاده از گرامرهای شکل در زمینه برنامه‌ریزی و طراحی شهری تلقی می‌شود (Halatsch et al., 2008). *سیتی‌انجین* نیز از این قابلیت قدرتمند برای مدل‌سازی شهری در مقیاس‌های مختلف بهره می‌برد.

تصویر ۹. مدل دوبُعدی تولیدشده در *سیتی‌انجین*، محله نارمک تهران.

ارزش و کاربرد مدل‌سازی سه‌بُعدی شهرها به‌طور مستقیم با مقیاس آن مرتبط است. در هر مقیاسی، جزئیات و اطلاعات متفاوتی قابل نمایش

و استخراج هستند (تصویر ۹). هنگامی که مدل‌های شهرهای سه‌بُعدی در مقیاس ۱:۱۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰ ارائه می‌شوند، بافت شهری، شبکه راه، مناطقی با کاربری اراضی مختلف، فضاهای سبز و غیره به وضوح قابل توصیف است (Qiang et al., 2013). هنگام نشان‌دادن مدل شهری در مقیاس ۱:۱۰۰ تا ۱:۱۰۰۰، جزئیات معماری و نمای ساختمانی نیازمند قوانین پیچیده‌تر برای مدل‌سازی در *سیتی‌انجین* هستند (تصویر ۱۰).

تصویر ۱۰. مدل سه‌بُعدی تولیدشده به همراه جزئیات در نرم‌افزار *سیتی‌انجین*.

به‌طور کلی، می‌توان گفت که مدل‌سازی در *سیتی‌انجین* را می‌توان در هر سطح از جزئیاتی[۲۹] برنامه‌نویسی کرد (Shariatpour & Behzadfar, 2022). انتخاب مقیاس مناسب برای مدل‌سازی (جدول ۱) به اهداف و نیازهای هر پروژه بستگی دارد.

جدول ۱. سطح جزئیات و مقیاس مدل‌سازی در *سیتی‌انجین*.

سطح جزئیات	مقیاس	توضیحات
۰	-	حجم‌دادن براساس محدودیت‌هایی برای ارتفاع یا تراکم (نمای کلی محدوده)
۱	۱:۲۰۰۰ <	حجم ساده ساختمان‌هایی که نمایانگر گونه‌شناسی شهری هستند.
۲	۱:۲۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰	حجم ساختمان‌ها به همراه تغییرات اساسی در ارتفاع و عمق (الحاقات و...)
۳	۱:۱۰۰۰ تا ۱:۵۰۰	شامل جزئیات سه‌بُعدی در ساختار ساختمان (به‌عنوان مثال ستون، عقب‌رفتگی‌ها، سقف، بالکن، پنجره)
۴	۱:۵۰۰ >	مدل نمای بسیار دقیق به همراه الحاقات (به‌عنوان مثال نرده، قاب پنجره، اتصالات)

بر اساس بررسی دقیق ادبیات پژوهش و همچنین مطالعات صورت گرفته، مدل مفهومی این نوشتار، در تصویر (۱۱) ارائه شده است.

یافته‌های پژوهش

همان‌طور که در متن اشاره شده، «داده» به‌عنوان پایه و اساس شهر هوشمند محسوب می‌شود. در شهرهای هوشمند سراسر دنیا، داده‌های شهری به‌صورت آزاد[۳۰] در اختیار عموم قرار می‌گیرد تا بستری برای همکاری و تعامل شهروندان فراهم شود. در همین راستا جهت بالا بردن دقت مدل‌های شهری در ایران، در بعضی مواقع نیاز به داده‌های برداشت‌شده‌ی میدانیِ دقیق است. در ادامه به یافته‌های پژوهش در خصوص نقش‌ها و کاربردهای *سیتی‌انجین* برای برنامه‌ریزی و طراحی شهری هوشمند می‌پردازیم.

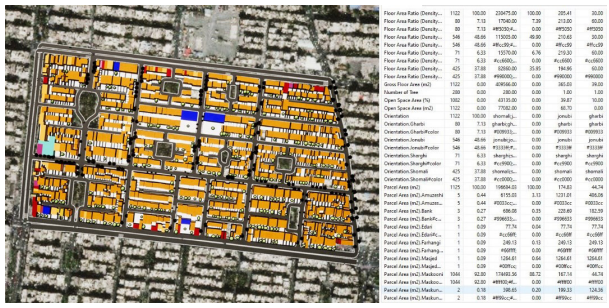
تصویر ۱۱. مدل مفهومی نقش *سیتی‌انجین* در برنامه‌ریزی و طراحی شهری.

نقش‌ها و کاربردهای *سیتی‌انجین* در برنامه‌ریزی و طراحی شهری

سیتی‌انجین به‌عنوان ابزاری قدرتمند در حوزه برنامه‌ریزی و طراحی شهری، مزایای متعددی را برای متخصصان این حوزه ارائه می‌دهد. از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد؛ بصری‌سازی سه‌بُعدی از فضای شهری، خروجی و تجزیه‌وتحلیل داده‌های کمّی، تسهیل در کنترل و مدیریت شهری و ارتقاء مشارکت عمومی، ترکیب با سایر نرم‌افزارها مرتبط با حوزه شهر. در ادامه هر نقش به تفصیل آورده شده است.

بصری‌سازی سه‌بُعدی از فضای شهری برای طرح تفصیلی و جامع

مدل‌های سه‌بُعدی شهر، با ارائه تصویری دقیق و جامع از فضای شهری، می‌توانند نقش مهمی در برنامه‌ریزی و طراحی شهری ایفا کنند. این مدل‌ها امکان تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مکانی و ساختاری شهر از زوایای مختلف را فراهم می‌کنند و می‌توان از آن‌ها به‌عنوان راهنمایی برای برنامه‌ریزی‌های بعدی و صدور مجوز ساخت و ساز استفاده کرد. با وجود مزایای فراوان، استفاده از مدل‌های سه‌بُعدی در مقیاس شهر به دلیل هزینه بالا، کمبود تکنولوژی و عدم تخصص کافی تاکنون به‌طور گسترده رایج نشده است. برای عنوان نمونه، در طرح جامع شهر هوشمند شهر ووهان نیاز به گزارش و نمایش مدل‌های شهری سه‌بُعدی وجود دارد (Weng et al., 2013). در مرحله برنامه‌ریزی جامع، مدل‌های سه‌بُعدی باید نمای کلی شهر و رابطه فضایی بین اجزای آن را به تصویر بکشند (Sugianto et al., 2023). *سیتی‌انجین* با امکان برنامه‌نویسی، ابزاری ایده‌آل برای تولید مدل‌های سه‌بُعدی هوشمند در این مرحله است. این ابزار می‌توانند طراحی پیچیده و زمان‌بر مدل‌سازی در برنامه‌ریزی طرح‌های شهری را به‌شدت کاهش دهد. به‌عنوان مثال، در تصویر زیر نمونه‌ای از تولید مدل کاربری زمین سه‌بُعدی با استفاده از برنامه‌نویسی در *سیتی‌انجین* آورده شده است (تصویر ۱۲). در ضمن زمان انجام این مدل‌سازی در چند دقیقه می‌باشد و می‌توان از مساحت کاربری‌ها، سطح اشغال، تراکم و دیگر اطلاعات مورد نیاز به‌صورت درلحظه، گزارش‌گیری انجام داد.



تصویر ۱۲. کاربری‌های شهری سه‌بُعدی همراه با گزارشات کمّی در *سیتی‌انجین*، محله نارمک تهران.

برای برنامه‌ریزی نظارتی و کنترل طراحی

طرح کنترل به‌عنوان پلی بین طرح جامع و طرح تفصیلی عمل می‌کند و با تعیین ضوابط و مقررات ساخت و ساز، چارچوب دقیقی برای اجرای طرح‌های شهری ارائه می‌دهد. در این میان، مدل سه‌بُعدی به‌عنوان ابزاری کارآمد، نقشی کلیدی در ارتقای کارایی و اثربخشی طرح کنترل ایفا می‌کند (ZhengWei & Chen, 2008; Badwi et al., 2022). وظیفه اصلی مدل سه‌بُعدی در طرح کنترل، ارائه یک مدل ساخت و ساز استاندارد برای کنترل مقررات و ایجاد راهنمایی انعطاف‌پذیر برای ساخت و ساز است. این مدل سه‌بُعدی می‌تواند با توسعه الگوریتم‌های مناسب، به پشتیبانی از برنامه‌ریزی و طراحی شهری هوشمند (مثلا ارزیابی سازگاری ساختمان‌ها با مقرراتی مانند عقب‌نشینی، نسبت ارتفاع ساختمان به عرض خیابان و نسبت مساحت پارسل‌های ساختمانی) بپردازد (تصویر ۱۳). با استفاده از این مدل و الگوریتم‌ها، می‌توان فرآیند صدور مجوز ساخت و ساز را تسهیل و تسریع کرد و از ساخت‌وسازهای غیرقانونی و مغایر با مقررات جلوگیری کرد.

تصویر ۱۳. کنترل محیط طراحی‌شده در *سیتی‌انجین*، محله نارمک تهران.

مدل‌سازی سنتی محیط شهری، با وجود دقت بالا، به دلیل زمان‌بر بودن، در مقیاس شهر عملاً غیرقابل اجرا است. این امر منجر به ایجاد مدل‌هایی جامد و صلب می‌شود که فاقد قابلیت انعطاف‌پذیری و اعمال تغییرات هستند. در نتیجه، چنین مدل‌هایی نمی‌توانند به‌عنوان طرحی هوشمند برای شهر در نظر گرفته شوند و در راستای اهداف شهر هوشمند کارایی لازم را نخواهند داشت.

طرح کاداستر سه‌بُعدی

کاداستر سه‌بُعدی (Stoter, 2004; Pouliot, 2011; Ribeiro et al., 2014) نسل جدیدی از سیستم‌های کاداستر است که به‌جای نمایش دو بعدی اطلاعات ملکی، وضعیت حقوقی و هندسی آن‌ها را به‌صورت سه‌بُعدی و با جزئیات کامل ارائه می‌دهد. این سیستم با در نظر گرفتن حقوق، محدودیت‌ها و ویژگی‌های منحصر به فرد هر ملک، تصویری دقیق و جامع از املاک شهری را به‌دست می‌دهد. *سیتی‌انجین* به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در زمینه بصری‌سازی سه‌بُعدی، می‌تواند برای نمایش اطلاعات کاداستر سه‌بُعدی به‌طور دقیق و جذاب مورد استفاده قرار گیرد. این ابزار با امکان ایجاد مدل‌های سه‌بُعدی دقیق از املاک، حقوق و محدودیت‌های مربوط به آن‌ها را به‌صورت بصری به نمایش می‌گذارد و به درک بهتر این اطلاعات توسط کاربران کمک می‌کند.

برنامه‌ریزی و طراحی محیطی

از دیدگاه برنامه‌ریزی و طراحی محیطی، مدل‌های سه‌بُعدی برای کاربردهای گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌های سه‌بُعدی کمک شایانی برای شبیه‌سازی محیط‌های شهری در جهت تحلیل‌های دقیق‌تر و واقعی‌تر می‌کنند (تصویر ۱۴) و همچنین از این مدل‌های شبیه‌سازی‌شده می‌توان در حوزه‌های مختلف، به‌عنوان مثال، برای ارزیابی و اندازه‌گیری جزایر حرارتی شهری (Lim et al., 2017)، شبیه‌سازی انرژی شهری و ساختمان (Benner et al., 2016)، تحلیل آسایش حرارتی (Berger & Cristie, 2015)، ارزیابی تأثیر بصری در طراحی منظر شهری (Pullar et al., 2001) و در تکنولوژی‌های جدید مثل واقعیت مجازی[۳۱] و واقعیت افزوده[۳۲] (Nichol & Wong, 2005; Re-vikasha et al., 2023) استفاده کرد.

تصویر ۱۴. طراحی محیطی با برنامه‌نویسی در محیط *سیتی‌انجین*، محله نارمک تهران.

برنامه‌ریزی شهری استراتژیک

برنامه‌ریزی شهری استراتژیک، فراتر از برنامه‌ریزی‌های روزمره بوده و به ترسیم چشم‌اندازی جامع از آینده مطلوب شهرها می‌پردازد. در این نوع برنامه‌ریزی، چالش‌های فعلی و نیازهای آتی شهرها به دقت بررسی و تحلیل می‌شوند. سپس سیاست‌ها و ابزارهای لازم برای دستیابی به ساختار اجتماعی-اقتصادی و فضایی ایده‌آل در شهر تدوین و اجرا می‌شوند (De Graaf & Dewulf, 2010). استفاده از فناوری اطلاعات و داده‌های مکانی سه‌بُعدی و بصری‌سازی، به‌طور بالقوه یک برنامه‌ریزی استراتژیک مبتنی‌برداده و مبتنی‌بر شواهد[۳۳] (Sabri et al., 2015)، ارزیابی سناریوهای توسعه تعاملی با مشارکت عمومی در فرآیند برنامه‌ریزی (Isikdag & Zlatanova, 2009)، شناسایی تغییرات شهری (Kaňuk et al., 2015)، توسعه استراتژی‌ها برای شهر فشرده[۳۴] و ارزیابی عمودی

شهری (Stevens et al., 2007) و مدل‌سازی گونه‌شناسی مسکن برای سناریوهای توسعه مجدد (Trubka & Glackin, 2016) را فراهم می‌کند.

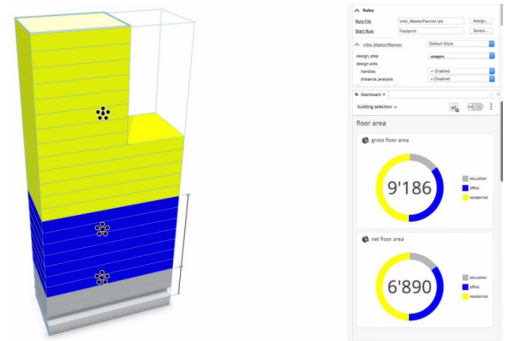
خروجی و تجزیه‌وتحلیل داده‌های کمّی

در زبان برنامه‌نویسی *سیتی‌انجین* برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، به‌عنوان نمونه، برای فضای سبز (Grêt-Regamey et al., 2013)، ساختمان‌ها، امکانات عمومی و ... می‌توان گزارش‌گیری[۳۵] انجام داد. جدول زیر به‌طور خلاصه بیان می‌کند که چه داده‌هایی گزارش داده می‌شود و همچنین نقش حمایتی آن‌ها در تحلیل مسائل شهری را ارائه می‌کند (جدول ۲). با استفاده از این داده‌ها و اطلاعات، اثرات برنامه‌ریزی و طراحی را می‌توان تحلیل و بررسی کرد.

جدول ۲. داده‌های خروجی *سیتی‌انجین* و نقش حمایتی آن در برنامه‌ریزی و طراحی شهری.
مأخذ: (Luo & He, 2016)

گروه	داده‌های خروجی	تحلیل	نقش حمایتی
فضای سبز	• تعداد فضای سبز • تعداد گونه‌های فضای سبز • تعداد مناطق گیاهی • مساحت مناطق گیاهی	• سایه‌اندازی • دید و منظر • اثرات زیست محیطی • رفاه عمومی	• مصالحه بین محیط زیست، توسعه شهری و منافع عمومی
ساختمان	• نقشه‌های رنگی • ارتفاع • گونه و تعداد سقف‌ها	• سازگاری کاربری • خط آسمان شهر • نشانه‌های شهری	• کنترل منظر شهری، حفاظت از مناطق تاریخی
امکانات عمومی	• تعداد چراغ‌های روشنایی • تعداد سطح‌های زباله	• روشنایی شب • بهداشت محیطی • امکانات استراحتی	• توزیع معقول و تنظیم امکانات عمومی

از مدل‌های *سیتی‌انجین* می‌توان داده‌های مختلف اطلاعاتی مانند داده‌های فضایی، ابعاد ساخت‌وساز، مساحت کاربری‌های شهری، سرانه، سطح اشغال و غیره را برای پشتیبانی از تحلیل کمّی در برنامه‌ریزی شهری تولید کرد (تصویر ۱۵). از داده‌های دوبُعدی برنامه‌ریزی، می‌توان برای تجسم سه‌بُعدی در طراحی شهری استفاده کارآمد کرد. به‌عنوان مثال، در حالی که فضای سبز (به‌صورت دوبُعدی) در مقیاس برنامه‌ریزی شهری مشخص می‌شود، ولی گونه درختان و پراکنش آن‌ها (به‌صورت سه‌بُعدی) در نظر گرفته نمی‌شود که با استفاده از *سیتی‌انجین* می‌توان به این امر دست پیدا کرد تا بتوان بررسی‌ها و اطلاعات دقیق‌تری از محیط اکولوژیک به‌دست آورد.



تصویر ۱۵. فرمول‌نویسی با برنامه‌نویسی در *سیتی‌انجین* برای محاسبه اطلاعات برنامه‌ریزی شهری.

ارتقاء مدیریت و کنترل شهری و افزایش مشارکت عمومی

در مطالعات مربوط به شهرسازی، مشارکت شهروندان در پروژه‌های توسعه شهری و توسعه مجدد (Evans-Cowley & Hollander, 2010) و برنامه‌ریزی استراتژیک (Kyttä et al., 2013) به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی موفقیت شناخته می‌شود. در طول دهه گذشته، گسترش فناوری دیجیتال مشارکت عمومی را از طریق پلتفرم‌های دیجیتال و فناوری‌های وب[۳۶] (Bugs et al., 2010; Wu et al., 2010) تسهیل کرده است که شهروندان را قادر می‌سازد تا تأثیر برنامه‌ریزی و طراحی شهری بر محیط ساخته‌شده‌ی خود را درک کنند. امروزه از طریق رابط‌های مبتنی بر وب[۳۷]، از مدل‌های شهری *سیتی‌انجین* می‌توان برای نمایش، مقایسه آلترناتیوها، به اشتراک‌گذاری مدل و غیره در اینترنت استفاده کرد و بستر کارآمدی را برای مدیران و عموم مردم فراهم کرد (تصویر ۱۶). مدل‌های سه‌بُعدی شهری صرفاً ابزارهایی برای تجسم بصری نیستند، بلکه می‌توان از آن‌ها به‌عنوان حاملان اطلاعات نیز استفاده کرد. *سیتی‌انجین* مدیران و عموم مردم را همزمان قادر می‌سازد تا به‌طور مستقیم طرح را از سطوح و دیدگاه‌های مختلف درک کنند، بنابراین می‌تواند به تسهیل بازخورد افکار عمومی و ایجاد آگاهی جمعی کمک کند و مشارکت عمومی را بهبود بخشد.

تصویر ۱۶. اشتراک‌گذاری مدل تولیدشده در *سیتی‌انجین* بر روی بستر وب برای دسترسی عمومی، محله نارمک تهران.

ترکیب با سایر نرم‌افزارهای کاربردی در زمینه‌ی برنامه‌ریزی و طراحی شهری

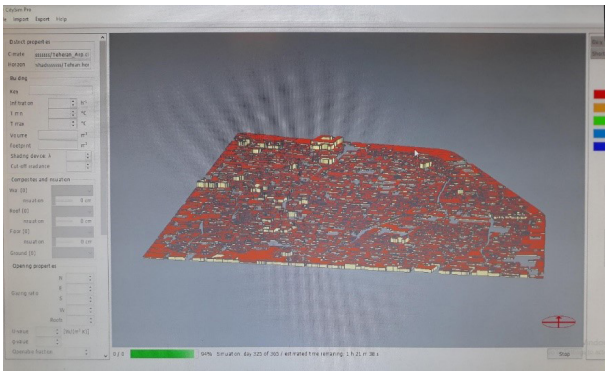
مدل‌های سه‌بُعدی شهر تولیدشده توسط *سیتی‌انجین*، کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف دارند. این مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان ورودی برای نرم‌افزارهای کاربردی دیگر مورد استفاده قرار گیرند و به تحلیل و توسعه در حوزه‌های مختلف کمک کنند. به‌عنوان مثال، مدل‌ها در ترکیب با آرک جی‌ای‌اس، نرم‌افزارهای بازی‌سازی، سیستم‌های واقعیت مجازی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی عددی می‌توانند برای موارد زیر استفاده شوند؛

- تحلیل محیط‌های جغرافیایی: مدل‌های سه‌بُعدی شهر را می‌توان با نرم‌افزار آرک‌جی‌ای‌اس ترکیب کرد و از آن‌ها برای تحلیل دقیق‌تر محیط‌های جغرافیایی مانند شیب زمین، تراکم ساختمانی و پوشش گیاهی استفاده کرد (ESRI, 2015).
- بازی‌سازی محیطی: مدل‌های سه‌بُعدی شهر را می‌توان در نرم‌افزارهای بازی‌سازی مثل یونیتی[۳۸] به کار برد و از آن‌ها برای ایجاد محیط‌های بازی واقع‌گرایانه‌تر استفاده کرد. این امر می‌تواند به افزایش جذابیت بازی‌ها و غوطه‌وری بیشتر بازیکنان در دنیای بازی کمک کند.

● تجربه محیط‌های شهری: مدل‌های سه‌بُعدی شهر را می‌توان در سیستم‌های واقعیت مجازی به کار برد و از آن‌ها برای ایجاد تجربیات مجازی واقع‌گرایانه از محیط‌های شهری استفاده کرد. این امر می‌تواند به افزایش آگاهی عمومی از طرح‌های شهری و جلب مشارکت شهروندان در فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی شهری کمک کند.

● شبیه‌سازی محیط‌های فیزیکی شهری: مدل‌های سه‌بُعدی شهر را می‌توان در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی عددی مثل نرم‌افزار اِکوتک[۳۹] و سیتی‌سیم پرو[۴۰] به کار برد و از آن‌ها برای شبیه‌سازی پدیده‌های فیزیکی مانند انتشار آلودگی، جریان هوا، میزان نور و شبیه‌سازی انرژی (تصویر ۱۷) استفاده کرد. این امر می‌تواند به برنامه‌ریزان و طراحان شهری در انتخاب بهترین راه‌حل‌ها برای چالش‌های شهری کمک کند.

● ترکیب با واقعیت مجازی: این امر می‌تواند تجربه واقعی از محیط‌های شهری را برای افراد فراهم کند. استفاده‌کنندگان از فضا از طریق ایجاد حس‌های مجازی (حس بینایی، شنوایی و لامسه) در مدل‌های سه‌بُعدی، حواس همه‌جانبه را تجربه خواهند کرد.



تصویر ۱۷. وارد کردن مدل شهری از *سیتی‌انجین* به نرم‌افزار سیتی‌سیم پرو برای شبیه‌سازی انرژی خورشیدی.

نتیجه

برنامه‌ریزان و طراحان شهری به دنبال راه‌هایی برای ایجاد محیط‌های شهری پایدارتر هستند. مدل‌های سه‌بُعدی می‌توانند ابزاری ارزشمند برای برنامه‌ریزی و طراحی کارآمدتر این محیط‌ها باشند. این پژوهش نشان می‌دهد که *سیتی‌انجین* یک سیستم مدل‌سازی هوشمندِ مبتنی بر داده است که می‌تواند برای مدل‌سازی در مقیاس شهر به‌طور کارآمد مورد استفاده قرار گیرد. این سیستم بر پایه برنامه‌نویسی و الگوریتم بنا شده و به همین دلیل برای مدل‌سازی در سطوح مختلف جزئیات مناسب است. *سیتی‌انجین* کاربردهای متنوعی در برنامه‌ریزی شهری (محاسبات کمّی) و طراحی شهری (بصری‌سازی برای تحلیل‌های کیفی) دارد. یک مزیت کلیدی این سیستم مدل‌سازی این است که محصولات نهایی ایستا تولید نمی‌کند. *سیتی‌انجین* می‌تواند به‌عنوان چارچوبی پویا در نظر گرفته شود که با تغییرات آینده سازگار می‌شود و می‌تواند اثرات برنامه‌ریزی و طراحی‌های جایگزین را به‌طور منعطف نشان دهد. به عبارت دیگر، *سیتی‌انجین* با استفاده از برنامه‌نویسی، فاصله بین مقیاس‌ها را از بین می‌برد و امکان ارائه راه‌حل‌های طراحی متناسب با هر سطح از جزئیات را فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان برنامه‌ریزی و طراحی شهری همزمان و منطبق باهم را تولید کرد. این ابزار نوین می‌تواند برای ارتباط با عموم مردم در راستای عملی‌کردن مبحث مردم هوشمند[۴۱] و برای تجسم اطلاعات مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان از این سیستم در فرآیندهای تصمیم‌گیری فضایی به‌عنوان پلتفرمی برای ایجاد اجماع و اتفاق‌نظر استفاده کرد و به ذینفعان مختلف کمک می‌کند تا به تفاهم مشترک در مورد مسائل شهری دست یابند.

به‌طور همه‌جانبه و عمیق می‌توان اذعان داشت که *سیتی‌انجین* برای؛ ایجاد یکپارچگی داده‌های پراکنده شهری و تولید پایگاه داده دو و سه‌بُعدی هوشمند، کنترل و نظارت هوشمند بر تخلفات شهری از طریق مدل‌سازی اطلاعات شهری (ضوابط منطقه‌بندی، تراکم و ...)، اتلاف کمتر زمان و افزایش سرعت در برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت پروژه‌های شهری، افزایش نقش شهروندان در حل و مشارکت مسائل شهری از طریق به اشتراک‌گذاری آنلاین طرح‌ها روی بستر وب، قابلیت مدل‌سازی هوشمند انواع المان‌های و عناصر شهری، اعم از ساختمان، خیابان، پوشش گیاهی، مبلمان شهری و غیره، کمک به مدیریت یکپارچه شهری از طریق ایجاد داشبوردهای مدیریتی و کنترل درلحظه، دسترسی به اطلاعات المانهای سه‌بُعدی هوشمند شهری با قابلیت مشاهده تمام ویژگی‌ها به‌صورت سه‌بُعدی و همچنین به‌روزرسانی اطلاعات، افزایش تصویر ذهنی از شهر با بصری‌سازی سه‌بُعدی هوشمندِ تعاملی در جهت کمک به درک محیط شهری برای مدیران و شهروندان، تولید مدل‌های گذشته، حال و آینده شهرها در جهت مشاهده و مقایسه تغییرات شهری، طراحی سناریوهای توسعه مجدد شهر و بررسی اثرات هر سناریو به‌صورت لحظه‌ای، تحلیل دیدومنظر سه‌بُعدی شهر جهت بررسی دقیق اثرات نفوذپذیری بصری شهری، شبیه‌سازی شهر بر مبنای داده‌های واقعی جی‌ای‌اس در جهت بهبود ادراک شهر سه‌بُعدی و تولید شهرهای خیالی در جهت افزایش تخیل شهرسازان کارآمد می‌باشد. هیچ تردیدی وجود ندارد که *سیتی‌انجین* به نحوی ادامه می‌دهد که آینده برنامه‌ریزی و طراحی شهری را متحول خواهد کرد.

پی‌نوشت‌ها

1. 3D Graphics.
2. Digital City.
3. Smart City.
4. City Information Modeling (CIM)
5. Building Information Modeling (BIM).
6. Data-Driven City.
7. Rule.
8. CityEngine.
9. Interactive.
10. GIS Data.
11. OpenStreetMap Data.
12. Programming Algorithms.
13. Game Development.
14. L-System.
15. Procedural Modeling.
16. Esri.
17. CGA (Computer Generated Architecture).
18. Functions.
19. Attributes.
20. Terrain.
21. Texture.
22. Georeference.
23. Sketch Up.
24. 3DMAX.
25. Static and Solid.
26. Online Web.
27. Code.
28. Shape Grammars.
29. Level of Detail (LOD).
30. Open Source.
31. Virtual Reality (VR).
32. Augmented Reality (AR).

33. Evidence-Based.
34. Compact City.
35. Report.
36. Digital Platforms and Web Technologies.
37. Web Based.
28. Unity.
39. Ecotect.
40. CitySim Pro.
41. Smart People.

فهرست منابع

Agius, T., Sabri, S., & Kalantari, M. (2018). Three -Dimensional Rule-Based City Modelling to Support Urban Redevelopment Process. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 413. https://doi.org/10.3390/ijgi7100413.

Albracht, R. (2016). *Visualizing urban development: Improved Planning & Communication with 3D Interactive Visualizations* (Master's thesis). Kansas State University. 1-82.

Badwi, I. M., Ellaithy, H. M., & Youssef, H. E. (2022). 3D-GIS parametric modelling for virtual urban simulation using CityEngine. *Annals of GIS*, 28(3), 325-341. https://doi.org/10.1080/19475683.2022.2037019.

Barroso, S., Besuievsky, G., & Patow, G. (2013). Visual copy & paste for procedurally modeled buildings by ruleset rewriting. *Computers & Graphics*, 37(4), 238-246. https://doi.org/10.1016/j.cag.2013.01.003.

Benner, J., Geiger, A., & Häfele, K. H. (2016, June). Virtual 3D city model support for energy demand simulations on city level–The CityGML energy extension. In *REAL CORP 2016–SMART ME UP! How to become and how to stay a Smart City, and does this improve quality of life? Proceedings of 21st International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society* (pp. 777-786). CORP–Competence Center of Urban and Regional Planning.

Berger, M., & Cristie, V. (2015). CFD post-processing in Unity3D. *Procedia Computer Science*, 51, 2913-2922. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.476.

Brasebin, M., Perret, J., Mustière, S., & Weber, C. (2018). 3D urban data to assess local urban regulation influence. *Computers, Environment and Urban Systems*, *68*, 37-52. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.10.002.

Bugs, G., Granell, C., Fonts, O., Huerta, J., & Painho, M. (2010). An assessment of Public Participation GIS and Web 2.0 technologies in urban planning practice in Canela, Brazil. *Cities*, 27(3), 172-181. https://doi.org/10.1016/j.cities.2009.11.008.

Choei, N. Y. (2016). The viability of the procedural modeling technique in scenario analyses of the residential site plans. *Arch Civ Eng.*, 136-144. https://doi.org/10.5176/2301-394X_ACE16.123.

Dahal, K. R., & Chow, T. E. (2014). A GIS toolset for automated partitioning of urban lands. *Environmental Modelling & Software*, 55, 222-234. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.01.024.

De Graaf, R. S., & Dewulf, G. P. (2010). Applying the lessons of strategic urban planning learned in the developing world to the Netherlands: A case study of three industrial area development projects. *Habitat international*, 34(4), 471-477. https://doi.org/10.116/j.habitatint.2010.02.005.

Duan, L. (2014). Exploring the Use of Three-Dimensional Urban Simulation to Model Form-Based Codes Regulations, *Doctoral Dissertation*, University of Florida.

Dylla, K., Frischer, B., Mueller, P., Ulmer, A., & Haegler, S. (2008). Rome Reborn 2.0: A Case Study of Virtual City Reconstruction Using Procedural Modeling Techniques. Computer Graphics World, 16, 25.

ESRI (2015). ESRI CityEngine website: http://www.esri.com, accessed on September 10, 2019.

Evans-Cowley, J., & Hollander, J. (2010). The new generation of public participation: Internet-based participation tools. *Planning Practice & Research*, 25(3), 397-408. https://doi.org/10.1080/02697459.2010.503432.

Gao, H. (2014). The revelation and application of American urban form design criteria to China. *Urban Planner S*, 5, 210-214.

Ghorbanian, M., & Shariatpour, F. (2019). Procedural modeling as a practical technique for 3D assessment in urban design via *CityEngine*. *Int. J. Architect. Eng. Urban Plan*, *29*(2), 255-267. https://doi.org/10.22068/ijaup.29.2.255.

Grêt-Regamey, A., Celio, E., Klein, T. M., & Hayek, U. W. (2013). Understanding ecosystem services trade-offs with interactive procedural modeling for sustainable urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 109(1), 107-116. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.10.011..

Guan, Y. L., Zhou, S. J., & Zhang, M. (2007). The Construction of Urban 3D Landscape Ba sed on Erdas Imagine. *Jiangxi Science*, *25*(4).

Halatsch, J., Kunze, A., & Schmitt, G. (2008). Using shape grammars for master planning. In *Design Computing and Cognition'08: Proceedings of the Third International Conference on Design Computing and Cognition* (655-673). Dordrecht: Springer Netherlands.

Hui, Z., Chao, L. I. U., Yan, L. I., & Youjie, W. A. N. G. (2014).Research on 3D building modeling technology based on *CityEngine*. *Bulletin of Surveying and Mapping*, (11), 108. https://doi.org/10.13474/j.cnki.11-2246.2014.0376.

Isikdag, U., & Zlatanova, S. (2009). Interactive modelling of buildings in Google Earth: A 3D tool for Urban Planning. In *Developments in 3D Geo-Information Sciences* (52-70). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Jiang, T. (2014). Research and implementation of virtual campus based on *CityEngine*. *Journal of Xi'an University of Arts and Sciences*: Natural Science Edition, 17(4), 71-74.

Kaňuk, J., Gallay, M., & Hofierka, J. (2015). Generating time series of virtual 3-D city models using a retrospective approach. *Landscape and Urban Planning*, 139, 40-53. https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2015.02.015.

Kelly, T. (2021). *CityEngine: An Introduction to Rule-Based Modeling*. In: Shi, W., Goodchild, M.F., Batty, M., Kwan, MP.,

anning, *73*(1), 49-58. https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2004.08.004.

Parish, Y. I., & Müller, P. (2001, August). Procedural modeling of cities. In *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (301-308). https://doi.org/10.1145/1185657.1185716.

Pouliot, J. (2011). Visualization, Distribution and Delivery of 3D Parcels. *Position paper for 2nd International Workshop on 3D Cadastres*, 16-18 November 2011, Delft, the Netherlands.

Pullar, D. V., & Tidey, M. E. (2001). Coupling 3D visualisation to qualitative assessment of built environment designs. *Landscape and Urban Planning*, 55(1), 29-40. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00148-1.

Qiang, N., Xiao-dong, S., & Jie, Z. (2013). Urban planning and design methods based on geographic information modeling: Taking urban comprehensive planning as an example. In *City Planning Forum*. Vol. 1, 90-96.

Radies, C. (2013). Procedural random generation of building models based Geobasis data and of the urban development with the software *CityEngine*. *Bernburg, Germany*, 175, 184.

Revikasha, M. F., Adiputra, T. W., Hudaya, M. I., Ngarianto, H., Irwansyah, E., & Fitrianah, D. (2023). Building 3D Object Model for Tourism in Monas using CityEngine. *Procedia Computer Science*, 227, 632-640. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.567.

Ribeiro, A., Almeida, J. P. D., & Ellul, C. (2014). Exploring *CityEngine* as a visualisation tool for 3D cadastre. In *3D Cadastres 2014-4th International FIG 3D Cadastre Workshop* (197-218).

Sabri, S., Pettit, C. J., Kalantari, M., Rajabifard, A., White, M., Lade, O., & Ngo, T. (2015, July). What are essential requirements in planning for future cities using open data infrastructures and 3D data models. In *Proceedings of the 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management,* Cambridge, MA, USA (Vol. 8).

Schirmer, P., & Kawagishi, N. (2011). Using shape grammars as a rule-based approach in urban planning: A report on practice. In *eCAADe 2011: Respecting Fragile Places: Proceedings of the 29th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe, Ljubljana, Slovenia, September 21-24, 2011* (Vol. 720, 116-124). eCAADe and University of Ljubljana, Faculty of Architecture.

Schnabel, M. A., Zhang, Y., & Aydin, S. (2017). Using parametric modelling in form-based code design for high-dense cities. *Procedia Engineering*, *180*, 1379-1387. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.301.

Shariatpour, F., & Behzadfar, M. (2022). Digital Twin: A Step Towards Smart Cities in Urban Planning, Design and Management. *Soffeh*, *32*(4), 93-106. https://doi.org/10.52547/SOFEH.32.4.93. (*in Persian*)

Shariatpour, F., Behzadfar, M., & Zareei, F. (2024). Urban 3D Modeling as a Precursor of City Information Modeling and Digital Twin for Smart City Era: A Case Study of the Narmak

Kim, K., & Wilson, J. P. (2015). Planning and visualising 3D routes for indoor and outdoor spaces using *CityEngine*. *Journal of Spatial Science*, 60(1), 179-193. https://doi.org/10.1080/14498596.2014.911126.

Kunze, A., Dyllong, J., Halatsch, J., Waddell, P., & Schmitt, G. (2012). Parametric Building Typologies for San Francisco Bay Area. *eCAADe 30*, *1*, 187-194. https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2012.1.187.

Kyttä, M., Broberg, A., Tzoulas, T., & Snabb, K. (2013). Towards contextually sensitive urban densification: Location-based softGIS knowledge revealing perceived residential environmental quality. *Landscape and Urban Planning*, *113*, 30-46. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.01.008.

Li, J. W., Jiang, J. W., Zhou, S., & Yin, S. Q. (2015, December). Research on urban rapid 3D modeling and application based on CGA rule. In *International Conference on Intelligent Earth Observing and Applications 2015* (Vol. 9808, 703-710). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.2207629.

Lim, T. K., Ignatius, M., Miguel, M., Wong, N. H., & Juang, H. M. H. (2017). Multi-scale urban system modeling for sustainable planning and design. *Energy and Buildings*, 157, 78-91. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.02.024.

Liu, X. (2024). Research on Rapid Parameterized Modeling of CityEngine in the Application of Smart Campus Platform. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 512, 01027). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451201027.

Liu, Y. J. (2014). Urban 3D models and its application in urban planning (*Doctoral Dissertation, Master Thesis*. Tianjin Normal University).

Luo, Y., & He, J. (2016, July). The role of rule-based procedural modeling in urban planning. In *Proceedings of the 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (1269-1276). https://doi.org/10.1016/j.scs. 2016.10.003.

Lv, Y. L., & Li, X. L. (2013). Exploration and realization of 3D modeling method based on CityEngine for high-speed railway. *Surveying and Mapping of Sichuan*, 1, 19-22.

Moura, A. C. M. (2015). Geodesign in Parametric Modeling of urban landscape. *Cartography and Geographic Information Science*, 42(4), 323-332. https://doi.org/10.1080/15230406.2015.1053527.

Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., & Van Gool, L. (2006). Procedural modeling of buildings. In *ACM SIGGRAPH 2006 Papers* (614-623). https://doi.org/10.1145/1179352.1141931.

Neuenschwander, N., Hayek, U. W., & Grêt-Regamey, A. (2014). Integrating an urban green space typology into procedural 3D visualization for collaborative planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 99-110. https://doi.org/10 .1016/j.compenvurbsys.2014.07.010.

Nichol, J., & Wong, M. S. (2005). Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and urban pl-*

form-based codes model under new urbanism. *Urban Plan Int*, *28*(6), 82-88.

Wang, X., Song, Y., & Tang, P. (2020). Generative urban design using shape grammar and block morphological analysis. *Frontiers of Architectural Research*, 9(4), 914-924. https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.09.001.

Watson, B., Müller, P., Veryovka, O., Fuller, A., Wonka, P., & Sexton, C. (2008). Procedural urban modeling in practice. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 28(3), 18-26. https://doi.org/10.1109/MCG.2008.58.

Weng, Z. Y., C. Jiang, & Y. B. Bai. (2013). Construction planning of smart city in Wuhan. *Smart Building, 6*, 59-96.

Wu, H., He, Z., & Gong, J. (2010). A virtual globe-based 3D visualization and interactive framework for public participation in urban planning processes. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(4), 291-298. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.12.001.

Yanwen, L., & He, J. (2017). Functions and Characteristics of CityEngine and Its Rule-based Modeling in Urban Planning. *Urban Planning International,* 3, 16.

Zhang, A. (eds). Urban Informatics. The Urban Book Series. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_35

ZhengWei, C., & Chen, X. (2008). Research on Application of Three-Dimensional City Model (3DCM) in Regulatory Detailed Urban Plan [J]. *Urban Geotechnical Investigation & Surveying 1*.

Zhou, L. (2013). Method of 3D modeling for digital city based on parametric technology. *PhD Dissertation*., Master thesis: Zhejiang University.

Neighborhood of Tehran City, Iran. *Journal of Urban Planning and Development*, 150(2), 04024005. https://doi.org/10.1061/JUPDDM.UPENG-4650.

Steino, N., Bas Yildirum, M., Özkar, M. (2013). Parametric Design Strategies for Collaborative and Participatory Urban Design. *eCAADe 2013: Computation and Performance. Proceedings of the 31st International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. 1, 195-203.

Stevens, D., Dragicevic, S., & Rothley, K. (2007). iCity: A GIS-CA modelling tool for urban planning and decision making. *Environmental Modelling & Software*, 22(6), 761-773. https: //doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.004.

Stoter, J. E. (2004). 3D cadaster. *PhD Thesis*, TU Delft, Delft, the Netherlands.

Sugianto, E., Hosea, J. F., Jabar, B. A., Irwansyah, E., & Fitrianah, D. (2023). 3D Modelling Building of District Johar Baru Using ArcGIS Pro and *CityEngine*. *Procedia Computer Science*, 227, 623-631. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.566.

Tianyue, S. (2013). The preliminary study of the application of Esri *CityEngine* in Urban Design. *Architecture & Culture,* 7, 98-99.

Trubka, R., & Glackin, S. (2016). Modelling housing typologies for urban redevelopment scenario planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, 199-211.

Ulmer, A., Halatsch, J., Kunze, A., Müller, P., & Van Gool, L. (2007, September). Procedural design of urban open spaces. In *Proceedings of eCAADe* (Vol. 25, 351-358).

Wang, X. C. (2013). Smart code: expatiation of American