



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Study and investigation of spatial databases for modeling and creating 3D cadastre of underground utilities

M. Noormohamadi, Gr. Fallahi*

Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 03 January 2025
 Reviewed: 05 February 2025
 Revised: 16 May 2025
 Accepted: 13 June 2025

KEYWORDS:

3D Cadastre
 Underground Objects Modeling
 CityJSON

* Corresponding author

✉ [g_fallahi\[at\]sbu.ac.ir](mailto:g_fallahi[at]sbu.ac.ir)

☎ (+98912) 2875986

Background and Objectives: The significant increase in the global population during the 20th century and the beginning of the 21st century has had profound impacts on land-use planning and development. With the rapid population growth, rising from approximately 1.6 billion people at the start of the 20th century to over 7.5 billion in the early years of the 21st century, cities and urban areas have faced immense pressures. The primary goal of LAS (Land Administration Systems) is to support land markets and facilitate land management in both developed and developing countries. These systems play a vital role in securing ownership, protecting property rights, and facilitating land transactions, which in turn have a significant impact on economic growth and sustainable development. Cadastre is one of the main tools in land administration systems. Given the rapid growth of cities and the complexities arising from land use in urban environments, land information management has become more critical than ever before. In this study, the focus is on modeling underground features. The primary objective of this research is to explore different methods for modeling underground features and the use of appropriate standards for visualizing these features in a 3D cadastre. This research examines various data models and storage formats and ultimately aims to compare and select the best method for visualizing and displaying underground data in urban environments.

Methods: For the modeling of underground features, a needs assessment and the development of a conceptual model were first undertaken, followed by an examination of data models and data storage formats. Two main data models for modeling underground features in a 3D cadastre were considered: the IFC model and the CityGML model. In the context of 3D urban environment modeling, two important standards were introduced: IFC and CityGML. In this study, CityGML was selected as the appropriate standard for visualizing underground features. Finally, three CityGML encoding methods, including XML/GML, 3DCityDB, and CityJSON, were reviewed and compared. Among them, CityJSON was chosen as the preferred encoding method for data visualization.

Findings: The results of this study show that the development of a 3D model of urban wastewater infrastructure has clarified the relationship between underground infrastructure and land ownership. This modeling, in addition to identifying and visualizing the infrastructure, helps prevent potential damage and identifies weaknesses and vulnerabilities before problems occur. Furthermore, using this model enables analysis and urban planning for the future. The use of CityJSON, due to its simpler structure compared to XML, not only facilitates working with data but also reduces data volume and increases processing speed, making it a suitable tool for web developers and WebGIS projects.

Conclusion: The implementation of this approach in developing cities, especially in cities with complex infrastructures like Tehran, could revolutionize urban management and planning. Using 3D modeling of underground features and displaying them in the CityJSON format, compared to traditional 2D cadastral methods, provides new capabilities for land and underground resource management, aiding in decision-making for urban management.



NUMBER OF REFERENCES

31



NUMBER OF FIGURES

8



NUMBER OF TABLES

3

مقاله پژوهشی

مطالعه و بررسی پایگاه‌های داده مکانی برای مدلسازی و ایجاد کاداستر سه‌بعدی تأسیسات زیرزمینی

مهران نورمحمدی، غلامرضا فلاحي*

گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: افزایش چشمگیر جمعیت جهان در طول قرن بیستم و آغاز قرن بیست‌ویکم تأثیرات عمیقی بر برنامه‌ریزی و توسعه کاربری زمین داشته است. هدف اصلی LAS، حمایت از بازارهای زمین و تسهیل مدیریت زمین در این کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است. کاداستر یکی از ابزارهای اصلی در سیستم‌های اداره زمین است. در این پژوهش، به مدلسازی مفهومی و بررسی پایگاه‌های داده مکانی برای مدلسازی کاداستر سه‌بعدی تأسیسات زیرزمینی پرداخته شده است. هدف اصلی این پژوهش، بررسی روش‌های مختلف برای مدلسازی عوارض زیرزمینی و استفاده از استانداردهای مناسب برای تجسم این عوارض در کاداستر سه‌بعدی است.

روش‌ها: برای مدلسازی عوارض زیرزمینی ابتدا به نیازسنجی و توسعه مدل مفهومی پرداخته شد و سپس پایگاه‌های داده برای اجرای مدلسازی کاداستر سه‌بعدی تأسیسات زیرزمینی و فرمت‌های ذخیره‌سازی داده بررسی گردید. در این پژوهش، CityJSON به عنوان استاندارد مناسب برای تجسم عوارض زیرزمینی انتخاب شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از CityJSON به دلیل ساختار ساده‌تر آن نسبت به XML، نه تنها کار با داده‌ها را تسهیل کرده، بلکه با کاهش حجم داده‌ها و افزایش سرعت پردازش، آن را به ابزاری مناسب برای توسعه‌دهندگان وب و پروژه‌های WebGIS تبدیل کرده است.

نتیجه‌گیری: به کارگیری این روش در شهرهای در حال توسعه، به خصوص در شهرهایی با زیرساخت‌های پیچیده مانند تهران، می‌تواند تحولی در نحوه مدیریت و برنامه‌ریزی شهری به وجود آورد. استفاده از مدلسازی سه‌بعدی عوارض زیرزمینی و نمایش آن‌ها در فرمت CityJSON، در مقایسه با روش‌های سنتی کاداستر دویبعدی، قابلیت‌های جدیدی را برای مدیریت زمین و منابع زیرزمینی فراهم کرده و به تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت شهری کمک می‌کند.

تاریخ دریافت: ۱۴ دی ۱۴۰۳
تاریخ داوری: ۱۷ بهمن ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۲۳ خرداد ۱۴۰۴

واژگان کلیدی:

کاداستر سه‌بعدی
مدلسازی عوارض زیرزمینی
CityJSON

*نویسنده مسئول

g_fallahi [at] sbu.ac.ir

۰۹۱۲-۲۸۷۵۹۸۶ ①

مقدمه

توسعه شهری تبدیل شده است. در این زمینه، سیستم‌های اداره زمین LAS به عنوان ابزاری برای مدیریت پایدار زمین و منابع معرفی شده‌اند. این سیستم‌ها که نخستین بار در سال ۱۹۹۳ توسط کمیسیون اقتصادی سازمان ملل متحد برای اروپا مطرح شدند [۳]. شامل مجموعه‌ای از فرایندها هستند که مالکیت، ارزش و استفاده از زمین را تعیین، ثبت و اطلاعات مرتبط را منتشر می‌کنند. هدف اصلی LAS، حمایت از بازارهای زمین و تسهیل مدیریت زمین در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است [۴]. این سیستم‌ها نقشی حیاتی در تثبیت مالکیت‌ها، حفاظت از حقوق مالکیت و تسهیل معاملات زمین دارند، که به نوبه خود تأثیر به سزایی در رشد اقتصادی و توسعه پایدار دارد. کاداستر یکی از ابزارهای اصلی در سیستم‌های اداره زمین است. با توجه به رشد سریع شهرها و

افزایش چشمگیر جمعیت جهان در طول قرن بیستم و آغاز قرن بیست‌ویکم تأثیرات عمیقی بر برنامه‌ریزی و توسعه کاربری زمین داشته است. با رشد سریع جمعیت، که از حدود ۱.۶ میلیارد نفر در ابتدای قرن بیستم به بیش از ۷.۵ میلیارد نفر در سال‌های آغازین قرن بیست‌ویکم رسیده است، فشارهای شدیدی بر شهرها و مناطق شهری به وجود آمده است [۱]. این رشد نه تنها نیاز به فضای بیشتر برای سکونت و فعالیت‌های صنعتی را افزایش داده، بلکه باعث گسترش سریع شهرنشینی و نیاز به توسعه زیرساخت‌های مرتبط با آن نیز شده است [۲]. در نتیجه، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع زمین و زیرساخت‌ها به یکی از چالش‌های کلیدی دولتها و نهادهای مرتبط با

دقت و صحت ثبت مرزهای ثبتی، از تکنیک‌های مدل‌سازی سه‌بعدی و ادغام اطلاعات جغرافیایی و ثبتی بهره برده‌است. همان‌طور که در پژوهش‌های قبل مشاهده می‌شود کاداستر سه‌بعدی در ایران تمرکز بیشتری بر روی مدل‌سازی عوارض روی سطح زمین و بالای زمین پرداخته‌اند از همین رو در این پژوهش به مدل‌سازی عوارض زیرزمینی با استفاده از مدل CityGML پرداخته خواهد شد. کزاز و حسین علی در سال ۱۳۹۷ به ارزیابی استفاده از داده‌های مکانی داوطلبانه برای تولید مدل سه‌بعدی شهر پرداختند. آنها، به کمک CityGML و داده‌های جمع‌آوری شده از طریق VGI، مدل‌های سه‌بعدی از ساختمان‌ها با جزئیات سطح ۴ ساخته شده‌اند که شامل ارتفاع ساختمان‌ها و سایر ویژگی‌های ساختاری است [۱۲].

در ادامه پژوهش به بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در ارتباط با مدل‌سازی عوارض زیرزمینی خارج از کشور پرداخته می‌شود. کیم و همکاران در سال ۲۰۱۷ به ارائه مدل داده در ارتباط با مدل‌سازی عوارض زیرزمینی در کاداستر سه‌بعدی پرداختند. به منظور ثبت و مدیریت کارآمد یک قطعه زیرزمینی سه‌بعدی، آنها چهار مرحله پردازش را پیشنهاد کردند: تهیه اطلاعات مکانی برای داده‌های قطعات زیرزمینی سه‌بعدی، پیشنهاد مفاهیم جدید قطعات زیرزمینی سه‌بعدی، پیشنهاد یک روش نقشه‌برداری جدید برای قطعات زیرزمینی سه‌بعدی و مدیریت اطلاعات حقوقی در قطعات زیرزمینی سه‌بعدی. مدل داده کاداستر زیرزمینی سه‌بعدی پیشنهادی می‌تواند انواع مختلفی از املاک سه‌بعدی زیرزمینی از جمله مرکز خرید، پارکینگ و زیرساخت‌های عمرانی مانند مترو، جاده، فاضلاب، تأسیسات مشترک را ثبت کند. نتایج آنها نشان می‌دهد که مدل داده‌های کاداستر سه‌بعدی پیشنهادی می‌تواند برای سایر سیستم‌های اطلاعاتی مانند سیستم ارزیابی زمین و مالیات، سیستم برنامه‌ریزی شهری، سیستم مدیریت ساخت و ساز و تأسیسات قابل استفاده باشد [۱۳]. بیدا و همکاران در سال ۲۰۲۰ به مدل‌سازی سازه‌های تاریخی زیرزمینی به‌عنوان عوارض کاداستر سه‌بعدی پرداختند. منطقه مطالعاتی آن‌ها شهر رززو در جنوب شرقی لهستان بوده است. سازه‌های زیرزمینی مربوط به پنج‌خانه به طول ۴۰۰ متر است که در قرن ۱۴ تا ۱۸ میلادی ساخته شده و در زیر بازار شهر ساخته شده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که معرفی عوارضی که سال‌ها پیش در زیر زمین ایجاد شده‌اند در کاداستر بسیار دشوار است [۱۴]. سعیدیان و همکاران در سال ۲۰۲۴ به ارائه طبقه‌بندی جدیدی از مرزهای قانونی زیرزمینی و مدل‌سازی آنها با استفاده از CityGML پرداختند. هدف سعیدیان و همکاران، توسعه یک طبقه‌بندی از مرزهای قانونی زیرزمینی بر اساس مطالعه موردی بود که در ایالت ویکتوریا، کشور استرالیا انجام شد [۱۵]. آنها یک مدل داده سه‌بعدی مبتنی بر CityGML را برای ایجاد و تجسم مرزهای قانونی زیرزمینی مختلف در مفهوم‌سازی، طراحی، توسعه و نمونه‌سازی ارائه کردند. این مدل زیرزمینی یکپارچه سه‌بعدی طیف وسیعی از مرزهای قانونی بررسی شده‌است. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده پیشرفت‌های مستمر

پیچیدگی‌های ناشی از استفاده از زمین در محیط‌های شهری، مدیریت اطلاعات زمین از اهمیت بیشتری نسبت به گذشته برخوردار شده‌است. یکی از چالش‌های عمده در این زمینه، نبود سیستم‌هایی برای نمایش و مدیریت سه‌بعدی عوارض زمین است. سیستم‌های کاداستر سنتی که به‌صورت دو بعدی طراحی شده‌اند، نمی‌توانند اطلاعات دقیق و جامع از عوارض زیرزمینی مانند شبکه‌های فاضلاب، مترو، تونل‌ها، یا حتی ساختمان‌هایی که در سطوح مختلف زمین قرار دارند، ارائه دهند [۱۵]. این نارسایی به مشکلاتی در مدیریت زمین، برنامه‌ریزی زیرساخت‌ها و حفظ حقوق مالکیت منجر می‌شود. کاداستر سه‌بعدی به‌عنوان یک راهکار نوین برای غلبه بر این چالش‌ها معرفی شده‌است. این نوع کاداستر، برخلاف سیستم‌های دو بعدی، توانایی نمایش و مدیریت کامل عوارض زیرزمینی، سطحی و بالای سطح زمین را داراست [۱۶]. با افزودن بعد سوم یا ارتفاع، کاداستر سه‌بعدی می‌تواند فضای شهری را به‌طور دقیق‌تر و جامع‌تری تحلیل کند و نمایش دهد. این ویژگی به‌ویژه در مناطق شهری که ساخت‌وسازهای بلند مرتبه و استفاده از زیرزمین برای زیرساخت‌ها رایج است، اهمیت بیشتری دارد. عوارضی مانند آپارتمان‌ها، سازه‌های بلند مرتبه، پارکینگ‌های زیرزمینی، و شبکه‌های حمل‌ونقل زیرزمینی با استفاده از این سیستم قابل مدیریت و ثبت هستند [۱۷]. پیشرفت این پژوهش در مقایسه روش‌های مختلف مدل‌سازی به‌منظور شناسایی و انتخاب فرمت بهینه برای مدل‌سازی عوارض زیرزمینی با استفاده از کاداستر سه‌بعدی قابل توجه است. در ادامه، به بررسی پیشینه تحقیق در زمینه کاداستر سه‌بعدی و تجارب کشورهای مختلف در پیاده‌سازی این سیستم پرداخته می‌شود. برای بررسی پیشینه تحقیق ابتدا پژوهش‌های انجام‌شده در داخل کشور بررسی می‌شود. کاداستر سه‌بعدی در ایران یک حوزه نوظهور و در حال توسعه است. در سال ۱۳۹۷ خوش برش ماسوله و صادقیان به پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی با استفاده از تصاویر هوایی پرداختند. هدف آنها تولید مدل سه‌بعدی کاداستر شهری جهت بهبود وضعیت مدیریت املاک در شهر تهران بوده است. نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل تولید شده با استفاده از تصاویر هوایی دارای دقت مورد قبولی برای مدل‌سازی عوارض کاداستر سه‌بعدی است [۱۸]. امام‌قلیان و طالعی در سال ۱۳۹۶ به مدل‌سازی روابط همسایگی در ساختمان‌ها با استفاده از GIS سه‌بعدی پرداختند [۱۹]. آنها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و SketchUp به مدل‌سازی سه‌بعدی روابط توپولوژیکی در ساختمان‌های بلند مرتبه پرداختند. در سال ۱۴۰۱ عمو شاهی و همکاران با استفاده از گوشی همراه هوشمند به مدل‌سازی کاداستر سه‌بعدی پرداختند [۱۰]. آنها با تولید ابر نقاط مدل سه‌بعدی خود را در نرم‌افزار Revit پیاده‌سازی کردند. تمرکز اصلی این پژوهش بر روی مدل‌سازی عوارض داخل ساختمان بوده است. در سال ۱۴۰۱ عینالی و همکاران به بررسی روش‌های نوین حد نگاری مرزهای ثبتی در ایران پرداختند و بر اهمیت استفاده از فناوری‌های پیشرفته، به‌ویژه مدل اطلاعات ساختمان BIM در کاداستر سه‌بعدی تأکید کردند [۱۱]. این تحقیق با هدف افزایش

تحلیل فضایی و تجسم سه بعدی دارند تا از تداخلات فضایی و مشکلات ساخت و نگهداری جلوگیری شود [۲۰]. عوارض زیرزمینی به دلیل پیچیدگی‌های فضایی و تداخل با سایر زیرساخت‌ها، نیازمند مدل‌سازی دقیق هستند تا بتوان برنامه‌های توسعه شهری را به درستی تنظیم کرد و از بروز مشکلات احتمالی جلوگیری نمود. مدل‌سازی سه بعدی عوارض زیرزمینی امکان مدیریت بهینه‌تری برای تأسیسات زیرسطحی فراهم می‌کند، از جمله امکان تحلیل دقیق اطلاعات مربوط به محل، عمق و وضعیت فعلی این تأسیسات. اطلاعات دقیق از محل قرارگیری تأسیسات زیرزمینی به تصمیم‌گیران و مهندسان کمک می‌کند تا در هنگام اجرای پروژه‌های جدید از خرابی‌های ناشی از حفاری جلوگیری کنند. مدل‌سازی عوارض زیرزمینی نه تنها در نگهداری و به‌روزرسانی زیرساخت‌ها مؤثر است، بلکه به مدیران شهری این امکان را می‌دهد که پیش‌بینی‌های لازم برای توسعه‌های آینده را انجام دهند.

○ مدل‌های فیزیکی کاداستر سه بعدی

کاداستر سه بعدی یکی از ابزارهای مهم در مدیریت و برنامه‌ریزی شهری است که امکان تجزیه و تحلیل فضایی عوارض مختلف شهری را فراهم می‌آورد. در این راستا، مدل‌های مختلفی همچون IFC و CityGML به‌طور گسترده استفاده می‌شوند. مدل IFC، که بیشتر در صنعت ساختمان و مدیریت اطلاعات ساخت‌وساز BIM کاربرد دارد، به‌طور خاص برای مدل‌سازی اجزای ساختمان‌ها و زیرساخت‌های داخلی طراحی شده است و می‌تواند ویژگی‌های مختلفی از جمله دیوارها، درها، پنجره‌ها و سیستم‌های تأسیسات را نمایش دهد. از سوی دیگر، CityGML یک استاندارد است که برای مدل‌سازی داده‌های جغرافیایی سه بعدی شهری طراحی شده و به تحلیل ویژگی‌های سطح شهر، شامل ساختمان‌ها، جاده‌ها، شبکه‌های زیرساختی و فضاهای عمومی می‌پردازد. این مدل علاوه بر پشتیبانی از لایه‌های مختلف (LOD)، توانایی ذخیره‌سازی اطلاعات در دقت‌های متفاوت را فراهم می‌کند و به تحلیل‌های شهری کمک می‌کند. در حالی که مدل IFC برای پروژه‌های مرتبط با ساختمان و زیرساخت‌های داخلی مناسب است، مدل CityGML به مدل‌سازی ویژگی‌های سطحی و زیرسطحی شهر می‌پردازد و به‌ویژه برای برنامه‌ریزی شهری و مدیریت زیرساخت‌های شهری کاربرد دارد. در این پژوهش، تنها به بررسی مدل‌های فیزیکی کاداستر سه بعدی IFC و CityGML پرداخته‌ایم و مدل‌های دیگر کاداستر سه بعدی در این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفته‌اند.

○ تجسم عوارض

تجسم داده‌ها به معنای نمایش و مشاهده مدل‌های سه بعدی به گونه‌ای است که اطلاعات پیچیده به شکلی قابل فهم برای کاربران تبدیل شوند. در کاداستر سه بعدی، تجسم اطلاعات از اهمیت بالایی برخوردار است چرا که مدیران شهری، مهندسان و تصمیم‌گیرندگان می‌توانند از طریق تجسم سه بعدی، تصمیمات بهتری در خصوص توسعه شهری، مدیریت زیرساخت‌ها و جلوگیری از مشکلات فضایی اتخاذ کنند. با استفاده از

در زمینه مدل‌سازی و تجسم عوارض زیرزمینی در کاداستر سه بعدی هستند. به همین دلیل، این پژوهش به‌طور ویژه بر مدل‌سازی و تجسم عوارض زیرزمینی در کشور ایران با استفاده از فرمت CityJSON تمرکز دارد. در ادامه، روش تحقیق به تفصیل بیان خواهد شد.

بیان مفاهیم نظری

○ مدل‌سازی

مدل‌سازی یکی از اصول اساسی در تحلیل و مدیریت داده‌های مکانی سه بعدی است که در کاداستر سه بعدی اهمیت دارد. مدل‌های مختلفی برای مدل‌سازی استفاده می‌شوند که بسته به نوع پروژه و ویژگی‌های مورد نظر می‌توانند متفاوت باشند. به‌طور خاص، مدل‌های IFC و CityGML در این تحقیق به عنوان مدل‌های فیزیکی کاداستر سه بعدی بررسی شده‌اند. مدل IFC به عنوان یک استاندارد برای صنعت ساخت‌وساز، به دقت می‌تواند اجزای ساختمان‌ها و زیرساخت‌های داخلی را مدل‌سازی کند [۱۶]. در حالی که CityGML برای مدل‌سازی داده‌های جغرافیایی سه بعدی شهری و تحلیل ویژگی‌های سطحی و زیرسطحی شهر طراحی شده است [۱۷]. این دو مدل به‌خصوص در پروژه‌های بزرگ شهری که نیاز به یکپارچگی بین لایه‌های مختلف اطلاعات دارند، کاربرد دارند.

○ کاداستر سه بعدی

کاداستر سه بعدی حقوق مالکیت، محدودیت‌ها و مسئولیت‌های (RRRs) املاک واقعی را به صورت سه بعدی مدیریت می‌کند و نمایش می‌دهد. این کاداسترها زمانی استفاده می‌شوند که حقوق تفکیک‌شده در سطح زمین، بالای زمین یا زیر سطح زمین وجود داشته باشد [۱۸]. این کاداسترها مجهز به ذخیره‌سازی داده‌های سه بعدی، تجسم سه بعدی و قابلیت‌های تحلیل فضایی سه بعدی هستند. کاداسترهای سه بعدی اطلاعات مهمی برای کاربردهای مختلف مانند مدیریت فضای شهری و مدیریت زمین و املاک در قالب سه بعدی فراهم می‌کنند [۱۹]. اولاً، این کاداسترها مرزهای مالکیت را در مناطقی که مالکیت‌های لایه‌ای وجود دارد به صورت سه بعدی نمایش می‌دهند. دوماً، ثبت توسعه‌های طبقه‌بندی شده را تسهیل می‌کنند. سوماً، از فرآیندهای توسعه زمین، از جمله صدور مجوزهای طرح‌ها در مناطق پر تراکم شهری، به‌ویژه برای پروژه‌های بزرگ مانند پل‌ها و تونل‌هایی که از بالای یا زیر دیگر قطعات زمین عبور می‌کنند، حمایت می‌کنند. چهارم، اطلاعات قابل اعتمادی برای مقامات و تصمیم‌گیران فراهم می‌کنند. و در نهایت، به عنوان یک لایه اساسی برای ادغام با دیگر لایه‌های اطلاعاتی مانند مدل‌های سه بعدی شهری CityGML، مدل اطلاعات ساختمان BIM، شبکه‌های حمل‌ونقل، شبکه‌های تأسیسات، کاربری زمین و خدمات مربوط به کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

○ مدل‌سازی عوارض زیرزمینی

مدل‌سازی عوارض زیرزمینی به عنوان یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت زیرساخت‌های شهری شناخته می‌شود، زیرا این عوارض نیاز به

و سپس مدل مفهومی بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده توسعه داده شد. در ادامه، پایگاه‌های داده برای ایجاد اسکیمای داده و سپس فرمت‌های ذخیره‌سازی داده‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. در نهایت، به ذخیره‌سازی و تجسم داده‌ها پرداخته شد. برای درک بهتر روند پژوهش، شکل ۱ فرآیند انجام تحقیق را نمایش می‌دهد (شکل ۱).

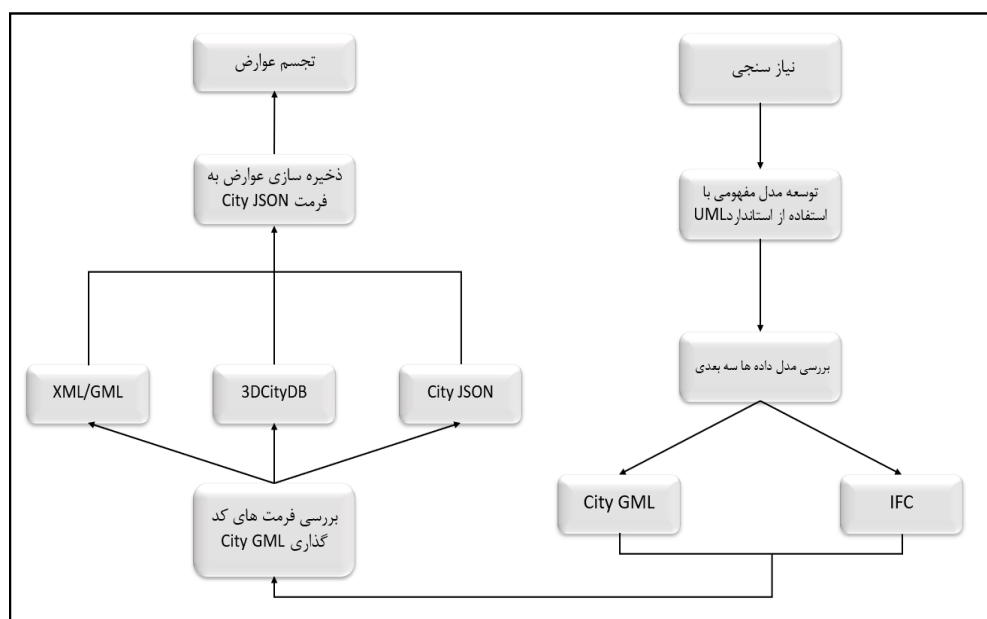
○ منطقه مورد مطالعه

مطالعاتی این پژوهش، شهر زنجان است که در شمال غربی ایران و به‌عنوان مرکز استان زنجان واقع شده‌است. این شهر در طول جغرافیایی ۴۸.۴۷۸۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶.۶۷۶۵ درجه شمالی قرار دارد و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا حدود ۱,۶۳۰ متر است.

تجسم، ویژگی‌هایی مانند موقعیت دقیق تأسیسات زیرزمینی، لایه‌های مختلف حقوق مالکیت و مرزهای تفکیک‌شده به‌صورت بصری قابل درک و تحلیل می‌شوند. به‌ویژه در مدل‌سازی عوارض زیرزمینی، تجسم سه‌بعدی به جلوگیری از تداخلات فضایی و حفاری‌های غیرضروری کمک می‌کند. این تجسم‌ها همچنین امکان ارزیابی بهتر پروژه‌های بزرگ شهری، از جمله تونل‌ها و پل‌ها، را فراهم می‌آورند [۲۱]. در این تحقیق، تجسم داده‌ها به‌کمک CityGML انجام‌شده است که با استفاده از این مدل، تجسمی از ویژگی‌های سطحی و زیرسطحی ایجاد می‌شود.

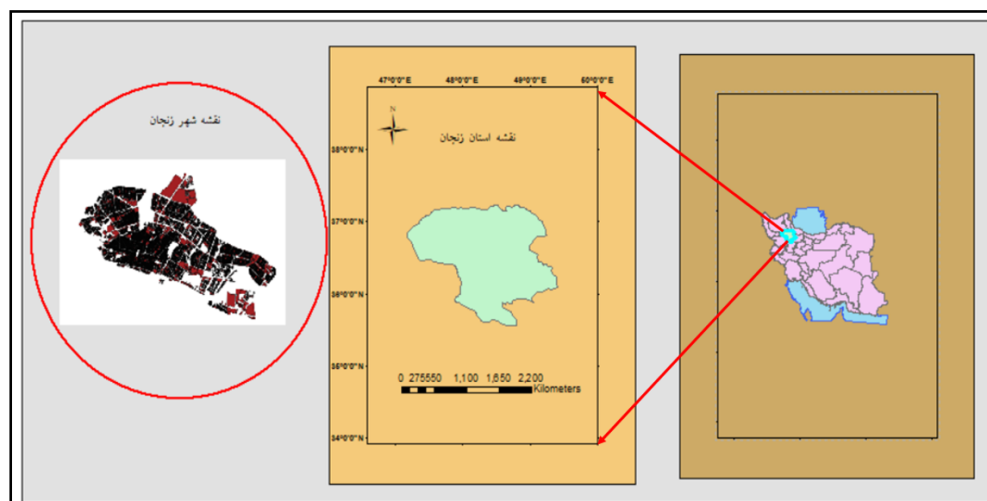
روش تحقیق

در این پژوهش، ابتدا از روش کتابخانه‌ای برای نیازسنجی استفاده شد



شکل ۱: مراحل پژوهش

Fig. 1: Flowchart of the methodology



شکل ۲: منطقه مطالعاتی

Fig. 2: Study area

عوارض فیزیکی مورد استفاده در کاداستر سه بعدی برای زیرساخت های شهری و تأسیسات زیرزمینی در این پژوهش مطرح شده است. این عوارض شامل قطعه زمین و لوله فاضلاب می باشند که هر کدام توصیفات خاص خود را دارند. عوارض فیزیکی روی سطح زمین، مانند قطعه زمین، شامل توصیفات هستند که به طور مستقیم به حقوق مالکیت و استفاده از زمین مرتبط می شوند. به عنوان مثال، قطعات زمین به عنوان واحدهای اصلی مالکیت زمین، توصیفات چگونگی نام ملک، کاربری، آدرس و مساحت را شامل می شوند که برای تعریف حدود قانونی قطعات است. از سوی دیگر، عوارض زیرسطحی مانند لوله های فاضلاب که به طور عمده در زیر زمین قرار دارند، نیازمند مدل سازی سه بعدی هستند. این تأسیسات زیرزمینی، علاوه بر موقعیت جغرافیایی، باید توصیفات مثل شناسه، تاریخ نصب و نوع کاربرد را در برداشته باشند. همچنین، مدل سازی سه بعدی لوله های زیرزمینی برای مدیریت حفاری ها، مرزهای حریم و عملیات تعمیرات و نگهداری در زیرساخت های شهری حیاتی است. در جدول ۱، توصیفات این دو نوع عارضه فیزیکی، شامل قطعه زمین و لوله، ارائه شده است (جدول ۱).

در ادامه، نیازهای مرتبط با عوارض قانونی در کاداستر سه بعدی بررسی شده است. کاداستر سه بعدی به عنوان یک سیستم جامع و پیشرفته طراحی شده است تا اطلاعات مربوط به املاک و دارایی ها را در تمامی ابعاد، از سطح زمین تا زیر و بالای آن، مدیریت و ثبت کند. این سیستم، به ویژه در حوزه زیرساخت های شهری مانند شبکه های فاضلاب، نقش به سزایی در مدیریت بهینه و شفاف سازی حقوق مالکیت ایفا می کند. نیازهای قانونی مرتبط با مالکیت در مناطق زیرزمینی شامل فضاهای مختلف قانونی تعریف شده برای دارایی های زیرسطحی است. این فضاها وابسته به مقررات و ضوابط حقوقی هر کشور هستند و به همین دلیل، برای شناسایی نیازهای عوارض قانونی، مطالعه قوانین محلی و رویه های قضائی ضروری است.

در سال های اخیر، شهر زنجان شاهد توسعه های سریع زیرساختی و گسترش مناطق مسکونی بوده است. افزایش جمعیت و توسعه مناطق جدید شهری به ویژه در حومه شهر، فشار زیادی بر زیرساخت های شهری، از جمله سیستم فاضلاب وارد کرده است. زیرساخت های فاضلاب زنجان به طور عمده زیرزمینی طراحی شده اند و مدیریت مؤثر آنها نیازمند دسترسی به اطلاعات دقیق جغرافیایی و مهندسی است.

○ داده های مورد استفاده

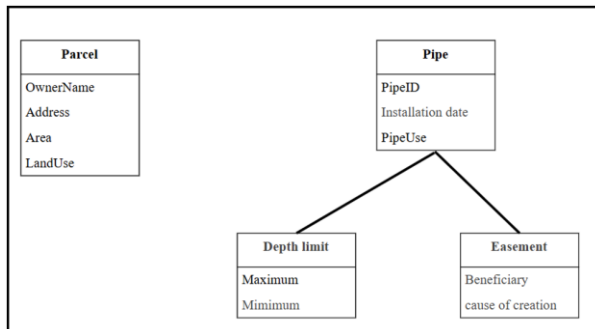
در این پژوهش، به منظور مدل سازی سه بعدی عوارض زیرزمینی با استفاده از کاداستر سه بعدی، از داده های سازمان آب و فاضلاب و نقشه های شهری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ استفاده شده است. نقشه های ۱:۲۰۰۰ که به فرمت shape فایل از سازمان برنامه و بودجه گردآوری شده اند، برای جانمایی دقیق قطعات زمین مورد استفاده قرار گرفته اند. در این پژوهش، قطعات زمین به عنوان داده اصلی برای تعیین حقوق، محدودیت ها و مسئولیت های مرتبط با زمین در نظر گرفته شده اند. به عنوان مثال، حقوق مالکیت، محدودیت های مربوط به تأسیسات زیرزمینی و مسئولیت های مربوط به نگهداری از تأسیسات از جمله این موارد هستند. با توجه به گستردگی و پیچیدگی زیرساخت های زیرزمینی، تمرکز این پژوهش بر روی خطوط انتقال فاضلاب قرار دارد که داده های مرتبط با آن از سازمان آب و فاضلاب نیز به فرمت shape فایل تهیه شده است.

○ نیازسنجی

اولین گام در مدل سازی نیازسنجی است. عوارض در مدل سازی کاداستر سه بعدی به دودسته عوارض قانونی و عوارض فیزیکی تقسیم بندی شده اند؛ بنابراین، نیازسنجی به دو بخش نیازسنجی عوارض قانونی و فیزیکی تفکیک شده است. در ادامه ابتدا به نیازسنجی عوارض فیزیکی پرداخته شد. در این بخش، نیاز به شناسایی و تعریف

جدول ۱: نیازسنجی عوارض فیزیکی
Table 1: Need assessment of physical Objects

نام عارضه Complication name	تعریف Definition	توصیفات Descriptions
		Name نام
		Data type نوع داده
زمینی با حدود اربعه مشخص را قطعه زمین نامند.	نام مالک Owner's name	char
A piece of land with defined boundaries is called a plot of land.	کاربری User	char
	آدرس Address	char
	مساحت Area	Float
لوله یک استوانه توخالی با مقطع دایره ای است که برای انتقال سیالات استفاده می شود و مشخصات مکانی آن شامل عمق نصب و مسیر آن است.	شناسه ID	int
A pipe is a hollow cylinder with a circular cross-section that is used to transport fluids, and its spatial specifications include its installation depth and route.	تاریخ نصب Installation date	Date
	کاربری User	char



شکل ۳: نتایج نیازسنجی
Fig. 3: Needs assessment results

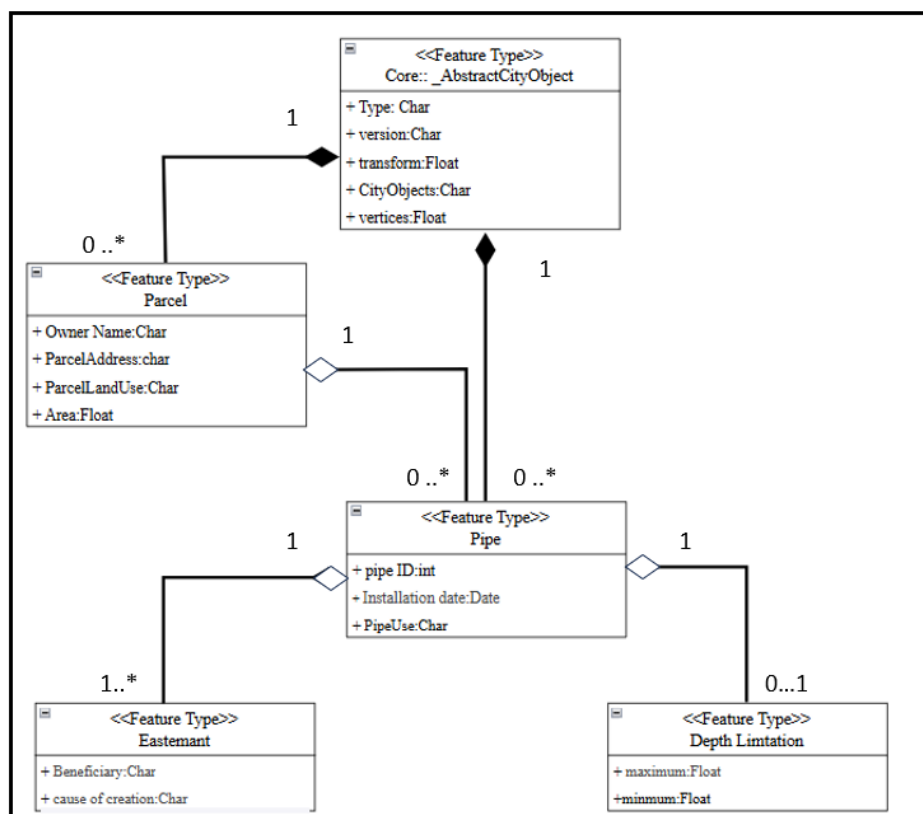
○ مدل مفهومی

مدل مفهومی این پژوهش بر اساس نیازسنجی‌های انجام‌شده در زمینه مدل‌سازی سه‌بعدی عوارض زیرزمینی و با تمرکز بر فضای زیرسطحی توسعه‌یافته است. بسیاری از مطالعات موجود تاکنون به بررسی مدل‌های مفهومی در ارتباط با فضای بالای زمین و سطح زمین پرداخته‌اند. با این حال، این پژوهش بر نیازهای مرتبط با فضای زیرزمینی و عوارض موجود در آن، تأکید دارد. برای مدیریت بهینه زمین در سه‌بعدی، لازم است عوارض قانونی در کنار عوارض فیزیکی در نظر گرفته شوند. مدل مفهومی طراحی‌شده در این پژوهش، این هدف را دنبال می‌کند که با استفاده از استاندارد CityJSON، هم عوارض فیزیکی و هم عوارض قانونی به صورت یکپارچه نمایش داده شوند. برای تجسم عوارض مرتبط با لوله‌های فاضلاب زیرزمینی و فضاهای قانونی آن‌ها، عارضه "Parcel" (قطعه زمین) به مدل CityJSON اضافه شده است. این عارضه به عنوان عنصر اصلی در نمایش دقیق مالکیت و حقوق مرتبط با فضاهای زیرسطحی عمل می‌کند. از این طریق، می‌توان عوارض قانونی مانند محدودیت‌های عمق و حقوق ارتفاقی را در کنار عوارض فیزیکی مدل‌سازی کرد (شکل ۴). با توجه به عدم پشتیبانی CityJSON از رابطه وراثت در این پژوهش از روابط ترکیب و تجمع استفاده شده است.

در این پژوهش، عوارض قانونی با توجه به قوانین جاری ایران توسعه‌یافته‌اند. بر اساس قوانین مدنی ایران، مالکیت زمین شامل مالکیت سطح زمین و زیرزمین تا هر عمقی است که استفاده از آن برای مالک مناسب باشد. این اصل قانونی به مالک حق تصرفات در سطح و زیرزمین را می‌دهد، مگر آنکه قوانین خاصی این حقوق را محدود کرده باشند. با این حال، سیستم‌های ثبت زمین در ایران به طور سنتی به صورت دوبعدی تدوین شده‌اند و تمرکز اصلی آن‌ها بر تعیین حدود اربعه و مرزهای املاک است. این رویکرد باعث شده است که فضاهای قانونی زیرزمینی و بالای سطح زمین به طور جامع و دقیق در قالب سه‌بعدی نمایش داده نشوند. این کاستی می‌تواند منجر به بروز ناهماهنگی‌ها و تداخلات حقوقی در مدیریت و بهره‌برداری از این فضاها شود. برای رفع این چالش‌ها و ارتقای دقت و شفافیت در مدیریت زیرساخت‌های زیرزمینی، در این پژوهش تلاش شده تا مدل CityJSON که یک فرمت کدگذاری برای CityGML است، برای مدل‌سازی زیرساخت‌های فاضلاب زیرزمینی غنی‌سازی شود. این غنی‌سازی به منظور بهبود مدیریت زیرساخت‌ها و شفاف‌سازی حقوق مالکیت در فضاهای زیرزمینی انجام شده است. عوارض جدیدی که در این مدل اضافه شده‌اند، به درک بهتر نیازهای قانونی کمک می‌کنند و در شرایط پیچیده شهری و زیرسطحی، امکان تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بهتر را فراهم می‌آورند. جزئیات مربوط به این عوارض و نقش آن‌ها در تبیین نیازهای قانونی در جدول ۲ ارائه شده است. این جدول به معرفی توصیفات هر یک از عوارض شناسایی‌شده، می‌پردازد (جدول ۲). با توجه به مشخص شدن نیازهای عوارض قانونی و فیزیکی، در بخش بعد به تحلیل و بررسی مدل مفهومی پرداخته‌ایم. این مدل، به ما امکان می‌دهد تا عوارض مختلف را شناسایی و دسته‌بندی کنیم و ارتباطات میان آن‌ها را بهتر درک نماییم. شکل ۳ نتایج نیازسنجی و عوارض جدید را نمایش می‌دهد (شکل ۳).

جدول ۲: نیازسنجی عوارض فیزیکی
Table 2: Needs assessment of legal Objects

توصیفات Descriptions	نام عارضه Complication name	تعریف Definition	نام نام Name	نوع داده Data type
محدودیت عمق Depth limit	عنصر ایجاد شده برای محدودیت حق استفاده از املاک است.	حداکثر عمق Maximum depth	Float	
	The element is created to limit the right to use real estate.	حداقل عمق Minimum depth	Float	
حقوق ارتفاقی Easement rights	حق قانونی است که به یک شخص یا مالک ملک اجازه می‌دهد از ملک یا زمین دیگری برای یک هدف خاص استفاده کند.	ذی‌نفع Beneficiary	Char	
	A legal right that allows a person or property owner to use another person's property or land for a specific purpose	علت ایجاد Cause of creation	Char	



شکل ۴: مدل مفهومی توسعه داده شده
Fig. 4: of the developed conceptual model

کاداستر سه‌بعدی طراحی نشده‌اند، اما می‌توان آن‌ها را برای استفاده در این زمینه توسعه داد [۲۲]. مدل‌های فیزیکی توصیه شده توسط کنسرسیوم مکانی باز (OGC) به‌عنوان چارچوب‌هایی برای مدل‌سازی داده‌های مکانی سه‌بعدی به کار می‌روند. این مدل‌ها به‌طور خاص برای مدیریت بهتر اطلاعات جغرافیایی و شهری طراحی شده‌اند و در زمینه‌های مختلف مانند کاداستر سه‌بعدی، مدل‌سازی ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها، ثبت حقوق، محدودیت‌ها و مسئولیت‌ها (RRRS) استفاده می‌شوند [۲۳]. یکی از مهم‌ترین مدل‌های فیزیکی توصیه شده توسط OGC، CityGML است که به‌عنوان یک استاندارد بین‌المللی برای نمایش و تبادل اطلاعات شهری سه‌بعدی شناخته می‌شود [۲۴]. این مدل، داده‌های فیزیکی مرتبط با ساختمان‌ها، فضاهای زیرزمینی، شبکه‌های زیرساختی و دیگر عناصر شهری را به‌صورت سه‌بعدی و دقیق ارائه می‌دهد. نسخه CityGML 3.0 برای کاربردهای کاداستر سه‌بعدی مفید است، زیرا می‌تواند هم مالکیت‌های سطحی و هم زیرسطحی را با جزئیات فیزیکی نمایش دهد. دو مدل داده برای تجسم و مدل‌سازی عوارض در کاداستر سه‌بعدی مورد توجه قرار گرفته‌اند که عبارت‌اند از مدل IFC و مدل CityGML. استاندارد کلاس‌های بنیادی صنعت به‌عنوان یک مدل داده متن‌باز برای تبادل داده در پلتفرم‌های مختلف مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، توسعه داده شده‌است. استاندارد IFC شیء‌گرا است و شامل مجموعه‌ای جامع از موجودیت‌ها برای مدیریت اطلاعات مکانی و معنایی در مورد عناصر ساختمان و

در شکل ۴، عوارض جدیدی که به مدل CityJSON اضافه شده‌اند نشان داده شده‌اند. این غنی‌سازی مدل کمک می‌کند تا فضاهای زیرزمینی مربوط به لوله‌های فاضلاب با استفاده از کاداستر سه‌بعدی مدیریت شوند. با ادغام عوارض فیزیکی و قانونی، می‌توان اطمینان حاصل کرد که تمامی جنبه‌های مالکیت، مسئولیت‌ها و محدودیت‌ها به‌طور همزمان و در یک مدل واحد نمایش داده شوند. این مدل مفهومی نه تنها امکان مدیریت بهتر تأسیسات زیرزمینی را فراهم می‌کند، بلکه به بهبود فرآیند تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی شهری نیز کمک می‌کند. از طریق این مدل، می‌توان حقوق و مالکیت‌های مرتبط با فضاهای زیرزمینی را مشخص کرد و از بروز تداخلات حقوقی و زیرساختی جلوگیری کرد. در ادامه این پژوهش، به بررسی مدل‌های داده در کاداستر سه‌بعدی می‌پردازیم.

○ مطالعه و بررسی پایگاه‌های داده برای مدل‌سازی کاداستر سه‌بعدی
کاداستر سه‌بعدی به‌عنوان یک رویکرد نوین در برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از فضاهای شهری، به دو بخش اصلی داده‌های حقوقی و داده‌های فیزیکی تقسیم می‌شود. [۱۸]. داده‌های فیزیکی به ابعاد مکانی و معناشناسی اشاره دارند که شامل ویژگی‌های هندسی، فضایی و توصیفی عوارض موجود در محیط می‌شود. این داده‌ها به‌عنوان پایه و اساس تحلیل‌های فضایی و تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت زمین، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. مدل‌های داده‌های فیزیکی ذاتاً برای

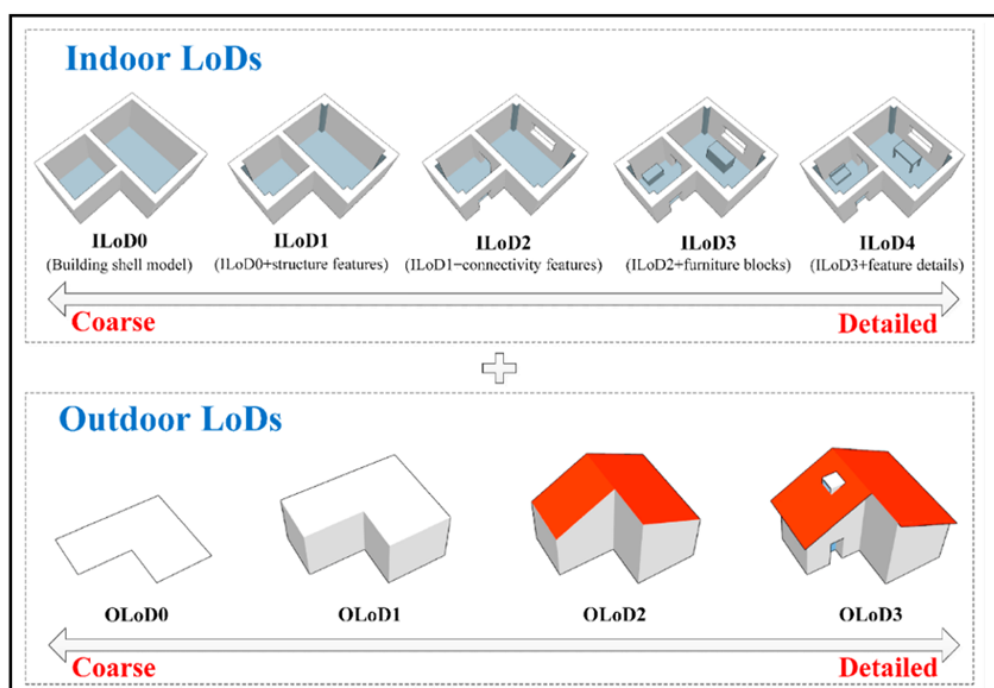
همین مسئله دلیل انتخاب نام این مدل داده‌ها را تا حدی روشن می‌کند. این امر باعث شده‌است تا به‌طور گسترده‌ای در میان کاربران و سازمان‌ها پذیرفته شود [۲۷]. یکی از بزرگ‌ترین معایب XML/GML حجم زیاد داده‌های آن است. این موضوع منجر به کاهش کارایی در تبادل داده‌ها، به‌ویژه از طریق وب، و زمان پردازش طولانی‌تر می‌شود [۲۸]. CityJSON یک فرمت کدگذاری است که برای نمایش داده‌های CityGML توسعه‌یافته و توسط OGC به‌عنوان یک استاندارد شناخته شده‌است. این فرمت باهدف ساده‌سازی، کاهش حجم داده‌ها، و بهبود تبادل داده‌های سه‌بعدی شهری (در مقایسه با XML/GML) طراحی شده‌است. یکی از بزرگ‌ترین مزیت‌های CityJSON نسبت به XML/GML، فشردگی داده‌ها است. فایل‌های CityJSON به‌طور متوسط ۶ برابر کوچک‌تر از فایل‌های XML/GML هستند [۲۹]. این کاهش حجم باعث می‌شود که تبادل داده‌ها در وب سریع‌تر انجام شود و فضای کمتری برای ذخیره‌سازی مورد نیاز باشد. 3DCityDB یک راه‌حل پایگاه‌داده مکانی برای مدیریت و ذخیره‌سازی داده‌های سه‌بعدی شهری است که از مدل داده CityGML پشتیبانی می‌کند [۳۰]. برخلاف CityJSON و XML/GML که استانداردهای رسمی توسط OGC دارند، 3DCityDB هنوز توسط OGC استاندارد نشده است. این ممکن است برای برخی کاربران که نیاز به تبعیت از استانداردهای رسمی دارند، محدودیت ایجاد کند. پیچیدگی نصب راه‌اندازی و استفاده از 3DCityDB به دانش فنی بیشتر نیاز دارد. کاربران باید با نصب مدیریت پایگاه‌داده رابطه‌ای آشنایی داشته‌باشند، درحالی‌که CityJSON ساختاری ساده دارد و نیاز به نصب ابزارهای پیچیده کمتر است. در جدول ۳ مقایسه‌ای بین سه روش کدگذاری CityGML بیان شده‌است.

همچنین مدل‌سازی روابط فضایی بین این عناصر است [۲۵]. استاندارد CityGML یک مدل مفهومی و فرمت تبادل برای نمایش، ذخیره‌سازی و تبادل مدل‌های مجازی سه‌بعدی شهری را تعریف می‌کند [۲۲]. این استاندارد به یکپارچه‌سازی داده‌های جغرافیایی شهری برای کاربردهای مختلف در شهرهای هوشمند و دوقلوهای دیجیتال شهری کمک می‌کند. در زمینه مدل‌سازی سه‌بعدی محیط شهری، IFC و CityGML دو استاندارد مهم با اهداف متفاوت هستند. IFC بیشتر بر طراحی و مدیریت اطلاعات ساختمان‌ها در پروژه‌های BIM تمرکز دارد [۲۶]، درحالی‌که CityGML برای مدل‌سازی شهرها و محیط‌های شهری به کار می‌رود [۲۲]. شکل ۵ تفاوت در سطح جزئیات را در دو مدل IFC و CityGML نمایش می‌دهد (شکل ۵).

همان‌طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است تمرکز IFC بر روی عوارض داخلی ساختمان‌ها است و CityGML بر روی عوارض بیرونی تمرکز دارد. هر سطح به‌تدریج جزئیات بیشتری را اضافه می‌کند، از جمله هندسه دقیق و ویژگی‌های ظاهری. مدل CityGML برای تحلیل‌های فضایی و شهری، مانند برنامه‌ریزی شهری و مدیریت منابع، مناسب است و در کاداستر سه‌بعدی می‌تواند به درک دقیق‌تری از تعاملات بین ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها کمک کند [۲۲].

○ روش‌های کدگذاری CityGML

مدل داده CityGML که در حال حاضر در نسخه ۳.۰ قرار دارد، دارای سه روش کدگذاری شناخته شده‌است [۲۶]. در ادامه به بررسی و مقایسه سه روش XML/GML، CityJSON، و 3DCityDB می‌پردازیم. XML/GML در ابتدا تنها روش استاندارد شده برای CityGML بود که



شکل ۵: تفاوت LOD در IFC و CityGML [۱۲]

Fig. 4: LOD difference in IFC and CityGML

جدول ۳: مقایسه روش‌های کدگذاری در CITYGML
Table 3: Comparison of coding methods in CityGML

CityJSON	XML/GML	3DCityDB	معیارهای مقایسه Comparison criteria
بر پایه Json Based on Json	بر پایه XML Based on XML	بر پایه پایگاه‌داده‌های رابطه‌ای Based on relational databases	ساختار داده Data structure
به دلیل ساختار JSON کم‌حجم و مناسب برای توسعه در وب Due to its lightweight JSON structure, it is suitable for web development.	به دلیل ساختار XML حجم بالایی دارد. Due to its XML structure, it is large in size.	به دلیل ساختار پایگاه‌داده‌های رابطه‌ای، حجم بالایی دارد. Due to the structure of relational databases, they are large in size.	حجم داده Data volume
سرعت بالاتر در بارگذاری و پردازش داده‌ها Higher speed in loading and processing data	کند در پردازش و بارگذاری داده‌ها Slow in processing and loading data	کارایی بالا در پردازش داده‌های بزرگ High performance in big data processing	سرعت پردازش Processing speed
قابلیت استفاده آسان و سازگاری با وب Ease of use and web compatibility	وابسته به نرم‌افزارهای خاص و پیچیدگی نصب Dependent on specific software and installation complexity	نیاز به دانش فنی بالا برای نصب و راه‌اندازی نرم‌افزارها Requires high technical knowledge to install and launch software	سازگاری Compatibility
استاندارد شده توسط OGC Standardized by OGC	استاندارد رسمی OGC Official OGC standard	هنوز استاندارد نشده است. It is not yet standardized.	استانداردسازی Standardization

MongoDB و PostgreSQL دارای محدودیت‌هایی است. اطلاعات توصیفی و مکانی با کدنویسی به فرمت CityJSON در محیط Visual Studio به مدل افزوده شدند. شکل ۶ بخشی از کد CityJSON را نشان می‌دهد که توصیفات عوارض را در بر می‌گیرد (شکل ۶).

```

1 {
2   "cityObjects": {
3     "Parcel-1": {
4       "attributes": {
5         "Ownername": "خصوصی",
6         "LandUse": "مسکونی",
7         "address": "220 پلاک 6، کوچه بهار6، زنجان، بهارستان، کوچه بهار6",
8         "Area": "220m^2"
9       }
10    },
11    "children": ["Pipe-1", "Building-1"],
12  }
13 }
```

شکل ۶: بخشی از کد CITYJSON برای عارضه Parcel-1
Fig. 6: Part of the CityJSON code for the object Parcel-1

در شکل ۶ مشاهده می‌شود که ابتدا، عارضه Parcel-1 در کد CityJSON ایجاد شده است. سپس، توصیفات مرتبط با این عارضه به تفصیل بیان شده‌اند. پس از ارائه این توصیفات، برای پیاده‌سازی، از مفهوم فرزند و والد جهت ارتباط میان عارضه‌ها استفاده شده است. در این مدل، Parcel-1 دارای دو فرزند است: یکی Pipe-1 که در زیرزمین قرار دارد، و دیگری Building-1 که به سازه‌ای بالای سطح زمین مربوط می‌شود. برای دیگر عوارض نیز روابط پیاده سازی شده است. در هر یک از عوارض که به عنوان فرزند عارضه دیگر قرار می‌گیرد یک توصیف جدید با عنوان Parent اضافه می‌شود. با تعریف توصیف Parent، هر فرزند به طور مستقیم به والد خود ارجاع داده می‌شود. در نهایت، نتایج این مدل‌سازی با استفاده از سرویس و Ninja Viewer تجسم می‌شود. این ابزار امکان نمایش بصری مدل‌های سه‌بعدی که در فرمت CityJSON ذخیره شده‌اند، را فراهم می‌کند. با بارگذاری داده‌ها در

با توجه به جدول می‌توان گفت که CityJSON به دلیل چندین مزیت نسبت به دیگر روش‌های کدگذاری مانند 3DCityDB و XML/GML گزینه بهتری برای ذخیره و مدیریت داده‌های شهری محسوب می‌شود. CityJSON با استفاده از ساختار ساده‌تر JSON، قابلیت درک و کار با داده‌ها را تسهیل می‌کند که این امر به خصوص برای توسعه‌دهندگان وب و کاربردهای سه‌بعدی مفید است. داده‌های CityJSON معمولاً حدود ۶ برابر فشرده‌تر از XML هستند [۳۱] این فشردگی نه تنها باعث کاهش نیاز به فضای ذخیره‌سازی می‌شود بلکه زمان بارگذاری و پردازش داده‌ها را نیز بهبود می‌بخشد. با توجه به اینکه CityJSON به راحتی با محیط‌های وب سازگار است، توسعه‌دهندگان می‌توانند به راحتی از آن در پروژه‌های وب GIS و دیگر برنامه‌های مبتنی بر وب استفاده کنند. قابلیت تقسیم داده‌ها به مجموعه‌های مختلف و مدیریت مستقل آنها، موجب می‌شود که CityJSON بتواند به راحتی با تغییرات و مقیاس‌های مختلف داده‌ها سازگار باشد، در حالی که 3DCityDB به دانش فنی بالاتری برای مدیریت نیاز دارد. با توجه به این عوامل، CityJSON به عنوان یک فرمت مدرن و کارآمد برای کدگذاری داده‌ها انتخاب شد. این فرمت، با قابلیت یکپارچه‌سازی و مدیریت داده‌های متنوع از جمله اطلاعات موجود در سیستم‌های اداره زمین، امکان استفاده از داده‌های موجود را به شکلی بهینه و ساختارمند فراهم می‌کند.

○ ذخیره سازی داده در پایگاه داده

وارد کردن داده به یک پایگاه داده فرایندی است که طی آن داده‌های جدید به پایگاه داده اضافه می‌شوند. در این پژوهش، از CityJSON به عنوان فرمت ذخیره‌سازی داده استفاده شده است. هرچند CityJSON یک فرمت مناسب برای ذخیره‌سازی و نمایش داده‌های شهری سه‌بعدی است، اما در مقایسه با نرم‌افزارهای پایگاه داده‌ای مانند

کرده و هرگونه نیاز به تعمیر یا به‌روزرسانی را شناسایی کنند. به‌علاوه، اطلاعات مربوط به نوع کاربری لوله‌ها می‌تواند به ما کمک کند تا ارتباط بین زیرساخت‌های فاضلاب و کاربری‌های مختلف زمین را بهتر درک کنیم. به‌عنوان مثال، در مناطقی که کاربری‌های مسکونی، تجاری یا صنعتی وجود دارد، نیاز به مدیریت بهینه و پیشگیرانه خطوط فاضلاب بیشتر حس می‌شود. شناسه‌ها نیز به شفافیت بیشتر و پیگیری بهتر اطلاعات کمک می‌کنند و در فرآیند تصمیم‌گیری برای بهبود زیرساخت‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند. به‌ویژه، زمانی که نیاز به توسعه زمین یا تغییر کاربری‌ها وجود دارد، داشتن اطلاعات دقیق و قابل‌اعتماد از خطوط فاضلاب می‌تواند از بروز مشکلات جدی جلوگیری کند و به برنامه‌ریزی مؤثر در مدیریت زمین کمک نماید. بنابراین، این داده‌ها نه تنها برای حفظ و نگهداری زیرساخت‌ها ضروری هستند، بلکه به ایجاد یک چارچوب پایدار و مناسب برای توسعه زمین نیز کمک می‌کنند. همان‌طور که در گام اول مدل‌سازی به نیاز سنجی پرداخته شد دو عارضه فیزیکی که شامل قطعات زمین و لوله‌ها بودند در این بخش نمایش داده شد. (شکل ۸).

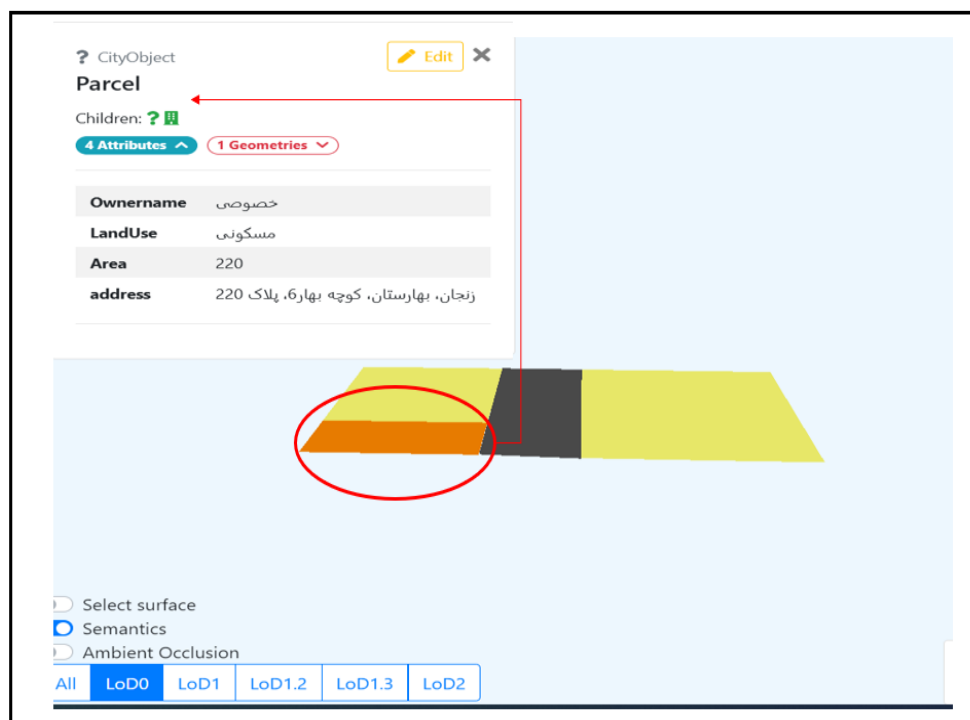
در بخش نتیجه‌گیری این پژوهش، تمرکز بر نمایش عوارض فیزیکی بوده است، زیرا این عناصر درک بهتری از محیط فیزیکی ارائه می‌دهند و تأثیر عملی بیشتری در تحلیل و تصمیم‌گیری‌ها دارند. از سوی دیگر، عوارض حقوقی موجب پیچیدگی و سردرگمی کاربران شود. به همین دلیل، در این مرحله از پژوهش، نمایش عوارض فیزیکی اولویت داشته است. این رویکرد کمک می‌کند که تمرکز روی عناصر ملموس‌تر حفظ شده و درک نهایی کاربران از نتایج بهبود یابد.

Ninja Viewer، تمامی اطلاعات مرتبط با عوارض، شامل هندسه، توصیفات و روابط بین آن‌ها، به‌صورت گرافیکی نمایش داده می‌شوند. این تجسم به کاربران امکان می‌دهد تا مدل‌های سه‌بعدی را به‌صورت تعاملی بررسی کنند. به این ترتیب، CityJSON به‌عنوان یک فرمت برای نمایش داده‌های شهری پیچیده در محیط‌های سه‌بعدی، امکان تحلیل و بررسی را فراهم می‌آورد.

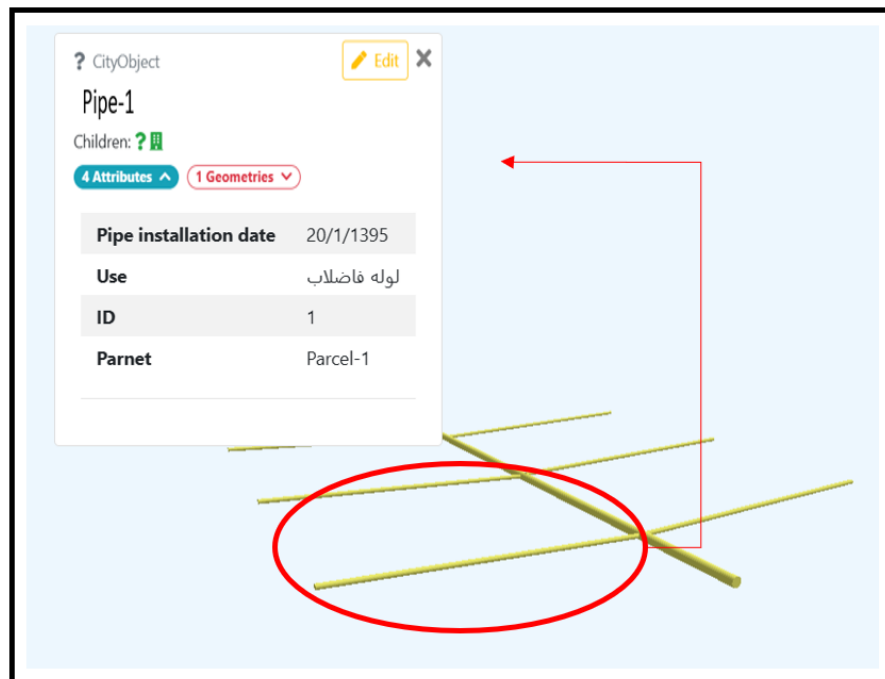
نتایج و بحث

پس از انجام فرآیندهای مختلف شامل تبدیل فایل‌های Shape به فرمت Collada و سپس تبدیل آن‌ها به فرمت CityJSON، به تجسم سه‌بعدی عوارض زیرزمینی پرداخته شد. برای این منظور، از Ninja Viewer، که ابزاری برای نمایش داده‌های CityJSON به‌صورت تحت وب است، استفاده شد. این ابزار قابلیت نمایش داده‌های شهری در سطوح مختلف جزئیات (LOD) را دارا بوده و به محققان این امکان را می‌دهد که عوارض مختلف را تجسم کنند. شکل ۷ نمونه‌ای از تجسم قطعات زمین در LOD 0 را نشان می‌دهد که توانسته است گستره و موقعیت کلی قطعات را نمایان سازد (شکل ۷).

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، لوله‌های فاضلاب به‌همراه اطلاعات توصیفی ذخیره و نمایش داده شده‌اند. این توصیفات شامل اطلاعاتی مانند نوع کاربری لوله، زمان نصب و شناسه منحصر به فرد هر لوله است. این اطلاعات برای تسهیل در مدیریت و نگهداری زیرساخت‌های شهری بسیار حیاتی هستند. زمان نصب به کارشناسان این امکان را می‌دهد تا تاریخچه و وضعیت فعلی این خطوط را بررسی



شکل ۷: نمایش قطعات زمین در LOD 0
Fig. 6: Representation of land plots at LOD 0



شکل ۸: تجسم لوله در NINJA VIEWER
Fig. 8: Pipe visualization in Ninja viewer

زیرساخت‌های زیرزمینی انجام داد. این نوآوری به شفاف‌سازی مالکیت و تسهیل فرآیندهای تصمیم‌گیری مدیریتی در زمینه مدیریت زیرساخت‌های شهری کمک می‌کند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، توصیه می‌شود که تحقیقات آینده به بررسی روش‌های ذخیره‌سازی عوارض زیرزمینی با استفاده از فرمت CityJSON در چارچوب زیرساخت‌های داده‌های مکانی بپردازند.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از همکاری که ما را در انجام این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

[1] Ivelja, T., & Roić, M. (2018). Usporedba normi za uvođenje 3D katastra.

[2] Shojaei D, Kalantari M, Bishop ID, Rajabifard A, Aien A. Visualization requirements for 3D cadastral systems. Comput Environ Urban Syst. 2013;41:39-54. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.04.002>

نتیجه‌گیری

مدل سه‌بعدی زیرساخت‌های فاضلاب شهری با موفقیت توسعه یافته‌است، نویدبخش ارتقا مدیریت و برنامه‌ریزی بهینه شهری است. در مرحله نخست این پژوهش، نیازسنجی به شیوه‌ای کتابخانه‌ای و با توجه به قوانین موجود در ایران انجام شد. در مرحله بعد، مدل مفهومی بر اساس نیازسنجی انجام‌شده، توسعه یافت. برای برقراری ارتباط مؤثر با کاربران، از مدل UML برای توسعه مدل مفهومی بهره‌گیری شد. علاوه بر این، استفاده از مدل UML به‌عنوان یک رویکرد توصیه‌شده توسط OGC نیز مورد تأکید قرار گرفته است. در ادامه، مدل‌های فیزیکی در کاداستر سه‌بعدی مورد بررسی قرار گرفتند و با توجه به اینکه این پژوهش در مقیاس شهری و نه صرفاً در سطح یک ساختمان، مدل CityGML به‌عنوان انتخاب مناسب در نظر گرفته شد. با استفاده از CityJSON که یک روش کدگذاری از استاندارد CityGML است داده‌ها ذخیره‌سازی شدند. CityJSON با استفاده از ساختار ساده‌تر JSON، قابلیت درک و کار با داده‌ها را تسهیل می‌کند که این امر به‌خصوص برای توسعه‌دهندگان وب و کاربردهای سه‌بعدی مفید است. داده‌های CityJSON معمولاً حدود ۶ برابر فشرده‌تر از XML هستند [۳۱]. این فشرده‌گی نه تنها باعث کاهش نیاز به فضای ذخیره‌سازی می‌شود بلکه زمان بارگذاری و پردازش داده‌ها را نیز بهبود می‌بخشد. با توجه به اینکه CityJSON به‌راحتی با محیط‌های وب سازگار است، توسعه‌دهندگان می‌توانند به‌راحتی از آن در پروژه‌های وب GIS و دیگر برنامه‌های مبتنی بر وب استفاده کنند. با استفاده از این مدل، می‌توان تحلیل‌های لازم را انجام داد و توسعه‌های آینده شهری را با اطمینان بیشتری در راستای حفظ حقوق مالکیت و بهره‌برداری بهینه از

- [17] Saeidian B, Rajabifard A, Atazadeh B, Kalantari M. Managing underground legal boundaries in 3D-extending the CityGML standard. *Undergr Space*. 2024; 14:239-262. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2023.10.002>
- [18] Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. 2nd ed. Wiley; 2011.
- [19] Gröger G, Kolbe TH, Nagel C, Häfele KH. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) encoding standard*. 2012.
- [20] Aien A. *3D cadastral data modelling [Doctoral dissertation]*. University of Melbourne; 2013.
- [21] Rajabifard A, Kalantari M, Williamson I. *Land and Property Information in 3D*. In: FIG Working Week 2012, Rome, Italy. 2012.
- [22] Biljecki F, Stoter J, Ledoux H, Zlatanova S, Çöltekin A. Applications of 3D city models: state of the art review. *ISPRS Int J Geo-Inf*. 2015;4(4):2842-2889. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
- [23] Liu X, Wang X, Wright G, Cheng JC, Li X, Liu R. A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS Int J Geo-Inf*. 2017;6(2):53. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>
- [24] Atazadeh B, Kalantari M, Rajabifard A, Ho S, Champion T. Extending a BIM-based data model to support 3D digital management of complex ownership spaces. *Int J Geogr Inf Sci*. 2017;31(3):499-522. Available from: <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1237366>
- [25] Gröger G, Kolbe TH, Nagel C, Häfele KH. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) encoding standard*. 2012.
- [26] Kutzner T, Chaturvedi K, Kolbe TH. *CityGML 3.0: New functions open up new applications*. PFG J Photogrammetry Remote Sens Geoinf Sci. 2020;88(1):43-61. Available from: <https://doi.org/10.1007/s41064-019-00085-6>
- [27] Daum S, Borrmann A. Processing of topological BIM queries using boundary representation-based methods. *Adv Eng Inf*. 2014;28(4):272-286. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2014.03.001>
- [28] Gilbert T, Rösndorf C, Plume J, Simmons S, Nisbet N, Gruler HC, et al. Built environment data standards and their integration: an analysis of IFC, CityGML and LandInfra. *Lehrstuhl für Geoinformatik*; 2020. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103019>
- [29] Cheng, J. C. P., Deng, Y., & Du, Q. (2013). Mapping between BIM models and 3d GIS city models of different levels of detail. Retrieved from
- [30] Powalka, L., Poon, C., Xia, Y., Meines, S., Yan, L., Cai, Y.,... & Ledoux, H. (2023, September). cjdb: a simple, fast, and lean
- [3] Olimid AP, Olimid DA. Societal challenges, population trends and human security: evidence from the public governance within the United Nations publications (2015-2019). *Revista de Stiinte Politice*. 2019;(64):53-64.
- [4] Dahiya B, Das A. *New urban agenda in Asia-Pacific: governance for sustainable and inclusive cities*. Singapore: Springer Singapore; 2020. p. 3-36.
- [5] United Nations Economic Commission for Europe. *Land administration guidelines: with special reference to countries in transition*. 1996.
- [6] Williamson I, Enemark S, Wallace J, Rajabifard A. *Land administration for sustainable development*. Redlands, CA, USA: ESRI Press Academic; 2010.
- [7] Stoter J. *3D Cadastre in an International Context (Legal, Organizational, and Technological Aspects)*. 2006.
- [8] Zlatanova S, Stoter J, Isikdag U. Standards for exchange and storage of 3D information: challenges and opportunities for emergency response. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Cartography & GIS*; 2012; Bern, Switzerland: International Cartographic Association. p. 17-28.
- [9] Aien A, Kalantari M, Rajabifard A, Williamson I, Wallace J. Towards integration of 3D legal and physical objects in cadastral data models. *Land Use Policy*. 2013; 35:140-154. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.05.013>
- [10] Khoshboresh Masouleh, Sadeghian S. Urban 3D cadastre implementation based on aerial images for property management in Tehran metropolis. *Sepehr Geographical Information Quarterly*. 2018;27(107):25-40.
- [11] Emamgholian S, Talee M. 3D modeling and visualization of apartment neighborhood relations using GIS. *National Geomatics Conference*. 2017.
- [12] Amoushahi M, Milan A, Jamour Y. Feasibility of using smartphones in internal architectural reconstruction without internal control points. 2022.
- [13] Einali M, Al Sheikh A, Atazadeh B. Cadastral surveying of various types of legal boundaries in Iran using BIM modeling. 2022.
- [14] Khosravi Kazazi A. Evaluation of the potential of volunteered geographic data in creating a three-dimensional urban landscape. *Spatial Planning and Development*. 2020;24(3):1-25.
- [15] Kim S, Heo J. Development of 3D underground cadastral data model in Korea: Based on land administration domain model. *Land Use Policy*. 2017; 60:123-138. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.024>
- [16] Bieda A, Bydłosz J, Warchoła A, Balawejder M. Historical underground structures as 3D cadastral objects. *Remote Sens*. 2020;12(10):1547.



Noormohamadi, M. Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ Mehrannormhd14@gmail.com



غلامرضا فلاحي استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری در دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید بهشتی می‌باشند.

Fallahi, A. Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

✉ [g_fallahi\[at\]sbu.ac.ir](mailto:g_fallahi[at]sbu.ac.ir)

database solution for the CityGML data model. In International 3D GeoInfo Conference (pp. 781-796). Cham: Springer Nature Switzerland.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-33771-7_52

[31] Ledoux, H., Arroyo Ohori, K., Kumar, K., Dukai, B., Labetski, A., & Vitalis, S. (2019). CityJSON: A compact and easy-to-use encoding of the CityGML data model. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 4(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40965-019-0064-0>

معرفی نویسندگان

AUTHOR (S) BIOSKETCHES

مهران نورمحمدی دارای مدرک کارشناسی ارشد سیستم‌های اداره زمین (LAS) از دانشگاه شهید بهشتی دانشکده عمران، آب و محیط‌زیست می‌باشد. زمینه تحقیقاتی کنونی ایشان نیز مرتبط با مدیریت زمین‌بر پایه مدل سازی کاداستر سه بعدی می باشد.

Citation (Vancouver): Noormohamadi M, Fallahi Gr. [Study and investigation of spatial databases for modeling and creating 3D cadastre of underground utilities]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2025; 3(1): 157-170

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2025.11601.1088>



COPYRIGHTS

© 2025 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)