

توسعه یک هستی‌شناسی مکانی مبتنی بر BIM به منظور پرس‌وجوی معنایی اطلاعات مالکیت سه‌بعدی

سیده ساره دبیری اژدری^{۱*}، علی اصغر آل شیخ^۲، بهنام عطا‌زاده^۳، احید نعیمی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی

خواج‌نصیرالدین طوسی

ssdabiri@mail.kntu.ac.ir

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواج‌نصیرالدین طوسی

alesheikh@kntu.ac.ir

^۳ پژوهشگر فوق دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - مرکز تحقیقات زیرساخت اطلاعات مکانی و مدیریت زمین -

دانشگاه ملیبورن

behnam.atazadeh@unimelb.edu.au

^۴ کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواج‌نصیرالدین طوسی

naeimi.ahid@gmail.com

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۷، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۷)

چکیده

در دنیای امروزی که سازه‌های پیچیده و چند سطحی محیط اطراف را فراگرفته است، سیستم‌های کاداستر فعلی که اغلب بر اساس نقشه‌های دوبعدی توسعه یافته‌اند، قادر به ارائه اطلاعات معنایی کافی در راستای مدیریت املاک نیستند. دهه‌های گذشته شاهد افزایش مناطق مسکونی و همچنین پیچیدگی سازه‌های ساختمانی و زیرساخت‌ها بوده است. به منظور حمایت از این توسعه و تضمین مالکیت و حقوق مرتبط با آن‌ها مفهوم کاداستر سه‌بعدی مطرح می‌شود. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یا به اختصار BIM، مدلی جهت تبادل داده سه‌بعدی یکپارچه در صنعت ساخت‌وساز ارائه می‌کند. بیان کاداستر سه‌بعدی در محیط BIM موجب ثبت و تعیین مالکیت و وضعیت حقوقی املاک توسعه یافته در شهرهای مدرن و ایجاد اطلاعات در دسترس و کارآمد می‌شود. با این وجود استفاده از مدل داده باز BIM دارای محدودیت‌هایی است که تا حدودی ریشه در بیان معنایی مدل‌ها دارد. از این رو چالش مربوط به توصیف و پرس‌وجوی معنایی اطلاعات کاداستر هنوز باقی مانده است. با وجود مطالعاتی که روی به کارگیری وب معنایی جهت توسعه بهتر مفاهیم در BIM انجام شده است، اما با توجه به گستردگی این حوزه، هنوز نتایج این تلاش‌ها تمامی ابعاد مدل و اطلاعات ساختمانی را پوشش نمی‌دهد. به خصوص در حوزه کاداستر تلاشی جهت توسعه مدل معنایی به منظور بازیابی اطلاعات معنایی مالکیت‌ها انجام نشده است. هدف این مطالعه استفاده از امکانات داده‌های پیوندی جهت توسعه یک هستی‌شناسی مکانی برای اطلاعات کاداستر و همچنین استفاده از زبان پرس‌وجوی SPARQL به منظور بازیابی اطلاعات از هستی‌شناسی توسعه داده شده است. در این مطالعه ابتدا به بررسی لزوم به کارگیری کاداستر سه‌بعدی و همچنین اضافه کردن اطلاعات معنایی پرداخته شده است. ادبیات مربوطه بررسی شده و سپس جهت نیل به هدف مقاله، هستنده‌های نمایش‌دهنده اطلاعات مالکیت در مدل داده باز BIM استخراج شده و هستی‌شناسی مکانی مطابق با ساختار مدل داده باز BIM توسعه داده شده است. جهت بررسی و ارزیابی هستی‌شناسی ارائه شده، چند مدل نمونه مدل داده باز BIM با پیچیدگی و سطح جزئیات مختلف در نظر گرفته و بررسی شده‌اند. نمونه‌های موردی به ساختار RDF تبدیل شدند و در ادامه پرس‌وجوهای مکانی مربوط به اطلاعات کاداستر بر روی مدل‌های معنایی انجام گرفته است. این پرس‌وجوها مرزها و مالکیت‌ها را مشخص می‌کنند. پس از پیاده‌سازی مدل معنایی و اجرای پرس‌وجوهای مکانی نتایج نمایش داده شده و نیز زمان بازیابی و اطلاعات بازیابی شده ثبت شدند. به کمک پرس‌وجوی معنایی مدل‌ها این امکان فراهم شده است که ارتباطات مکانی المان‌های ساختمانی مورد پرس‌وجو قرار بگیرند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که پرس‌وجوی معنایی در مقایسه با روش‌های فعلی پرس‌وجو از داده‌های BIM نتایج بهتری ارائه می‌کنند. این نتایج عبارتند از انواع مرزها و قسمت‌های مختلف مالکیت که توسط پرس و جوی معنایی در مدت زمان کمی بازیابی شده‌اند. مفاهیم پیاده‌سازی شده در این مطالعه را می‌توان به منظور بهبود بازیابی اطلاعات کاداستر سه‌بعدی در محیط سه‌بعدی BIM به کار گرفت. از اطلاعات مالکیت و نیز اطلاعات معنایی به دست آمده در پرس‌وجوی مرزها می‌توان به منظور مدیریت بهتر ساختمان‌های پیچیده بهره برد.

واژگان کلیدی: BIM، هستی‌شناسی، داده‌های پیوندی، SPARQL، کاداستر

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

دهه‌های گذشته شاهد افزایش مناطق مسکونی و هم‌چنین پیچیدگی سازه‌های ساختمانی و زیرساخت‌ها مانند شبکه‌های مخابراتی، پارکینگ‌های زیرزمینی و ساختارهای شهری مشابه بوده است. به‌منظور حمایت از این توسعه و تضمین مالکیت و حقوق مرتبط با آن‌ها کاداستر سه‌بعدی بعدی مطرح‌شد. کاداستر، یک سیستم اطلاعات زمینی به‌روز است که شامل سوابق مهم زمینی مانند حقوق، مالکیت‌ها و محدودیت‌ها است [۱]. سیستم‌های کاداستر امروزی اغلب بر اساس نقشه‌های دوبعدی رقومی یا ثبت سه‌بعدی املاک بر اساس طرح‌های دوبعدی آنالوگ و ارجاع اطلاعات به آن‌ها می‌باشند. اخیراً با توسعه مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی^۱ و سیستم‌های اطلاعات مکانی^۲ سه‌بعدی ثبت کاداستر در محیط‌های سه‌بعدی رقومی امکان‌پذیر شده است.

مدل‌های اطلاعات ساختمانی و شهری، مدل داده‌های سه‌بعدی ارائه می‌دهند که حاوی اطلاعات سه‌بعدی رقمی درباره ساختمان و محیط‌های شهری هستند. کلاس‌های بنیادین صنعت^۳ یا به‌اختصار IFC یک مدل داده باز برای BIM است که امکان تبادل داده یکپارچه در صنعت ساخت‌وساز را فراهم می‌کند [۲]. IFC یک استاندارد بین‌المللی است که به‌منظور تعامل بین برنامه‌های کاربردی مدل‌سازی اطلاعات در صنعت معماری، مهندسی و ساخت‌وساز و مدیریت تأسیسات^۴ ارائه شده است [۳]. درواقع، IFC یک مدل داده مبتنی بر BIM است که تبادل داده‌ها در صنعت ساخت‌وساز را تسهیل می‌کند. IFC یک فرمت تبادل اطلاعات مستقل از نرم‌افزار است. ازاین‌رو، این مدل داده در تحقیقات کاداستر سه‌بعدی موردتوجه بیشتری قرارگرفته است [۴، ۵].

کاربر نرم‌افزار BIM با شمای^۵ مختص آن نرم‌افزار محدود می‌شود و قادر به تبادل اطلاعاتی که خارج از آن نرم‌افزار هستند، نیست [۶]. IFC تبادل اطلاعات ساختمانی را به‌عنوان یک مدل داده پارامتری کامل تسهیل می‌کند. این استاندارد نسبت به تبادل اطلاعات

سنتی که در قالب نقشه‌های دوبعدی تهیه و برای دستگاه هیچ مفهومی ندارند، پیشرفت قابل‌توجهی داشته است. این در حالی است که پرس‌وجو از مدل داده‌های IFC ساده است، اما هیچ زبان کامل و گسترده برای پرس‌وجوی مدل‌های اطلاعات ساختمانی وجود ندارد. بااینکه گزینه‌های قابل‌توجهی برای پرس‌وجوی مدل داده IFC وجود دارد اما اغلب ناقص هستند و هم‌چنین معنای^۶ آن‌ها دقیقاً مشخص نیست [۷].

استاندارد IFC یک روش تعامل‌پذیر برای ایجاد و تبادل داده‌های BIM است، اما این استاندارد دارای قابلیت پرس‌وجو معنایی و خدمات تجزیه‌وتحلیلی نیست. بسیاری از روابط و ویژگی‌های مفید که در مدل‌های اطلاعات ساختمانی به‌صراحت تعریف یا پیاده‌سازی شده‌اند، به‌سختی در پردازش‌های عادی بازیابی می‌شوند. علاوه بر این، مدل IFC توسط شما محدود شده است، بنابراین هنگامی که داده‌ها از منابع مختلف جمع‌آوری شده‌اند، به‌اندازه کافی انعطاف‌پذیر نیستند [۸]. این در حالی است که IFC یک استاندارد منفرد نیست؛ یعنی اگر بهبود تبادل اطلاعات مدنظر باشد، IFC باید در ترکیب با استانداردهای دیگر مانند MVD^۷ و IDM^۸ استفاده شود [۹]. برای استفاده از این رویکرد یک IDM و MVD باید فراهم شود تا داده‌هایی که بین دو نرم‌افزار تبادل می‌شوند را مشخص کنند. IDM و MVD یک تعریف ایستا از داده‌ای که قرار است بین دو نرم‌افزار جابه‌جا شود را ارائه می‌کند و از استخراج خودکار اطلاعات از منابع مختلف پشتیبانی نمی‌کند [۱۰]. برای حمایت از قابلیت همکاری، تبادل اطلاعات انعطاف‌پذیر، مدیریت داده‌های توزیع‌شده و توسعه ابزارهای مورداستفاده در صنعت ساخت‌وساز، فن‌آوری‌های وب معنایی یا داده‌های پیوندی پیشنهاد شده است. اصطلاح داده‌های پیوندی به مجموعه‌ای از بهترین شیوه‌ها برای انتشار و پیوند داده‌های ساختاریافته تحت وب اشاره می‌کند [۱۱، ۱۲].

در سال ۲۰۱۳ نسخه ۴ شمای IFC بر اساس استاندارد سازمان بین‌المللی استانداردسازی^۹ به‌عنوان شمای EXPRESS^{۱۰} و شمای XSD^{۱۱} منتشر شد. هدف

^۶ Semantic

^۷ Model View Definition

^۸ Information Delivery Manuals

^۹ International Organization for Standardization (ISO)

^{۱۰} زبان مدل‌سازی داده استاندارد برای تبادل مدل‌های سه‌بعدی

^{۱۱} XML Schema Definition (XSD)

^۱ Building Information Modeling (BIM)

^۲ Geospatial Information System (GIS)

^۳ Industry Foundation Classes (IFC)

^۴ Architecture, Engineering & Construction/ facilities management (AEC/FM)

^۵ Schema

آوری‌های تبادل تحت IFC دارای محدودیت‌هایی است که تا حدودی ریشه در طبیعت فرضیه جهان بسته^۵ و محدودیت معنایی مدل‌های IFC دارد. به عبارت دیگر حتی با استفاده از مدل‌های ساختمانی مبتنی بر IFC بازایی اطلاعات برای حوزه‌ای خاص - در این مقاله کاداستر - هم چنان چالش برانگیز است.

مطالعات بسیاری در حوزه BIM جهت نگاشت و توسعه مدل داده IFC با استفاده از فن‌آوری‌های وب معنایی انجام شده است اما با توجه به گستردگی مدل داده IFC و اطلاعات حوزه BIM هیچ‌یک از این تلاش‌ها به‌طور کامل مدل معنایی این حوزه را پوشش نمی‌دهد. به‌طور خاص، تاکنون، پروژه‌ای روی بیان اطلاعات کاداستر سه‌بعدی در محیط وب معنایی و نیز به‌کارگیری فن-آوری‌های داده‌های پیوندی و پرس‌وجوهای معنایی به کمک SPARQL انجام نشده است. هدف این مطالعه استفاده از امکانات داده‌های پیوندی جهت توسعه یک هستی‌شناسی مکانی برای اطلاعات کاداستر و هم‌چنین استفاده از زبان پرس‌وجوی SPARQL به‌منظور بازایی اطلاعات از هستی‌شناسی توسعه داده شده است.

در بخش بعد مبانی مطالعه و هم‌چنین متون مرتبط با موضوع بررسی شده‌اند. مطالعات مرتبط که توسط محققین انجام شده بررسی و وجه تمایز آن‌ها با این مطالعه بیان شده است. بخش سوم به مدل‌سازی مفهومی هستی‌شناسی موردنظر می‌پردازد. هستنده‌های مدل‌سازی شده و نحوه نگاشت از مدل IFC به هستی‌شناسی توضیح داده می‌شود. در ادامه در بخش چهارم، نحوه پیاده‌سازی هستی‌شناسی، نگاشت مدل‌های IFC به ساختار RDF و پرس‌وجوی پیاده‌سازی شده توضیح داده می‌شود. نهایتاً نتایج به‌دست‌آمده نشان داده شده و بحث و پیشنهادات ارائه شده است.

۲- مروری بر ادبیات

۲-۱- BIM و IFC در حوزه کاداستر

در دهه‌های گذشته، نه تنها گسترش املاک بلکه تونل و پارکینگ‌های زیرزمینی، مراکز خرید، ساختمان‌های پیچیده، تأسیسات ساختمانی داخلی و خارجی، و ساخت‌وسازهای چند سطحی با محدودیت‌های سیستم

اصلی این بود که این مدل داده برای کار در محیط مبتنی بر زبان نشانه‌گذاری قابل توسعه^۱ به راحتی در دسترس باشد. به علت حجیم بودن^۲ فایل‌ها با فرمت XML و محدودیت‌های عملکرد ابزار پردازش کتابخانه‌های برنامه‌نویسی XML موجود، این نسخه برای بیشتر موارد عملی، نامناسب بوده و به‌طور کامل توسط صنعت پذیرفته نشد [۱۳]. ویژگی‌های جذاب وب معنایی انگیزه کار بر روی تبدیل شمای IFC EXPRESS به هستی‌شناسی OWL^۳ را ایجاد کرده است [۱۴].

ifcOWL هم‌تایی برای استاندارد IFC است که توسط هستی‌شناسی OWL بیان شده است. ifcOWL امکان استفاده از استاندارد IFC برای نمایش داده‌های ساختمانی را فراهم می‌کند. هم‌چنین مزایای فن‌آوری‌های وب معنایی را در مواردی مانند توزیع داده، توسعه مدل داده، پرس‌وجو و استدلال، و نیز استفاده مجدد از پیاده‌سازی‌های نرم‌افزارهای عمومی برای ذخیره داده، بررسی انطباق و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های موردنیاز را به ارمغان می‌آورد. در ساخت این آنالیزها، پیاده‌سازی مدل EXPRESS به OWL و ویژگی‌های کلیدی هستی‌شناسی ifcOWL نهایی بیان شده است [۹].

استفاده از فن‌آوری‌های داده‌های پیوندی و چارچوب توصیف منابع^۴ یک محیط باز برای به اشتراک‌گذاری، ادغام و اتصال داده‌ها در بین دامنه‌ها و منابع فراهم می‌کند. SPARQL یک زبان پرس‌وجو عمومی است که امکان پرس‌وجوی متقابل از داده‌های پیوندی ناهمگن را فراهم می‌سازد [۱۵].

همان‌طور که بیان شد، BIM محیطی برای مدیریت و تبادل اطلاعات مکانی سه‌بعدی ساختمان و فضای اطراف آن را در اختیار قرار می‌دهد. بیان کاداستر سه‌بعدی در محیط BIM موجب ثبت و تعیین مالکیت و وضعیت حقوقی املاک توسعه‌یافته در شهرهای مدرن و ایجاد اطلاعات در دسترس و کارآمد می‌شود. با این وجود چالش مربوط به پرس‌وجوی معنایی اطلاعات کاداستر سه‌بعدی هنوز باقی مانده است. اگر چه تلاش‌هایی جهت توصیف و نمایش اطلاعات کاداستر به کمک IFC در محیط BIM انجام شده است؛ اما استفاده از مدل‌سازی داده و فن-

^۱ eXtensible Markup Language (XML)

^۲ verbosity

^۳ Web Ontology Language (OWL)

^۴ RDF

◦ Closed World Assumption (CWA)

۲-۲- کاربرد هستی‌شناسی در حوزه کاداستر

کاداستر سه‌بعدی یک سیستم اطلاعات مکانی است که مدیریت، تحلیل و نمایش اطلاعات ملکی سه‌بعدی را پشتیبانی می‌کند. همچنین BIM یک مدل داده ارائه می‌کند که افراد را قادر به تبادل داده یکپارچه در برنامه‌ریزی، ساخت و مدیریت می‌سازد. از این رو مدل داده مورد استفاده در BIM یعنی IFC به‌طور مؤثری می‌تواند در جمع‌آوری و ساخت مدل کاداستر سه‌بعدی به کار گرفته شود.

اتصال ضعیف یا ناموجود مدل‌های کاداستر و افزونگی داده نتایج اجتناب‌ناپذیری در مدیریت زمین به‌جا می‌گذارد. سیستم‌های کاداستر موجود با فقدان اطلاعات معنایی روبرو هستند. عدم وجود تعریف صریح معناشناختی برای مدل‌های موجود ادغام آن‌ها را با چالش روبه‌رو می‌کند. باوجود مدل داده، تبادل IFC در BIM جهت سهولت تبادل داده، تعریف مدل داده در سطح نحوی و عدم تعریف معنا در آن موجب بازیابی ناکافی و غیردقیق می‌شود. ناکافی به این معنا که برخی اطلاعات مورد نیاز کشف نمی‌شوند و نادقیق از این رو که اطلاعات بازیابی شده صحیح یا دقیقاً مطابق با درخواست نمی‌باشند.

همان‌طور که بیان شد سیستم‌های کاداستر سه‌بعدی نیاز به تعریف معنا جهت تبادل داده و بازیابی اطلاعات مؤثر دارند. در این راستا روش داده‌های پیوندی^۱ برای انتشار داده‌های ساختاریافته به‌عنوان روشی قابل فهم برای ماشین و به‌هم‌پیوسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این رو هستی‌شناسی‌های حوزه‌ای برای تعاریف مفاهیم و به‌کارگیری فناوری داده‌های پیوندی توسعه داده شده‌اند. تاکنون مطالعه ویژه‌ای بر روی توسعه هستی‌شناسی مکانی سه‌بعدی در حوزه BIM و کاداستر انجام نشده است اما تلاش‌هایی در جهت توسعه هستی‌شناسی و نیز ادغام هستی‌شناسی‌های موجود انجام شده است. از جمله مهم‌ترین این تلاش‌ها توسط Çağdaş صورت گرفته است. Çağdaş با توسعه یک واژگان مشترک با نام واژگان مرکزی اموال غیرمنقول^۲ به‌عنوان یک افزونه برای واژگان مرکزی دولت الکترونیک^۳ سعی در ادغام واحدهای ثبتی، دفاتر و ویژگی‌های ثبتی و نیز روابط بین آن‌ها را داشته است. این مطالعه روی بهبود جنبه مدیریت اطلاعات در

کاداستر دوبعدی مواجه شده است. توسعه شهری، با ساختمان‌های چندطبقه با انواع کاربری‌ها و مالکیت‌های مختلف همراه است. باین حال باید در نظر گرفت که بصری سازی سه‌بعدی در اغلب سیستم‌های اطلاعاتی کاداستر فعلی پیاده‌سازی نشده است. توسعه فن‌آوری در BIM و GIS سه‌بعدی ثبت سه‌بعدی رقومی اطلاعات کاداستر در سازه‌های پیچیده را امکان‌پذیر کرده است. صنعت ساخت‌وساز در حال طراحی و استفاده از مدل‌های اطلاعات ساختمان سه‌بعدی است. نتیجه این فن‌آوری گذر از نمایش گسیخته (ترسیمات دوبعدی) به نمایش یکپارچه است که امکان نمونه‌سازی مجازی، اندازه‌گیری عملکرد و همکاری چرخه حیات را فراهم می‌کند. از همین رو مطالعات متعددی جهت توسعه کاداستر سه‌بعدی به کمک BIM انجام گرفته است.

Clemen طی تلاشی ضمن معرفی و بیان مزایای BIM در حوزه کاداستر، IFC را به‌عنوان مدل داده مناسبی جهت ثبت نتایج کاداستر معرفی می‌کند. همچنین این مطالعه نشان می‌دهد که نقشه‌برداری مهندسی چگونه می‌تواند به ثبت املاک توسط IFC کمک کند [۲]. Atazadeh و همکاران به بررسی توانایی BIM در مدل‌سازی مرزهای فضای مالکیت داخلی ساختمان‌ها پرداخته‌اند. طی مطالعات آن‌ها هستنده‌های مناسب برای مدل‌سازی مرزهای ساختمانی شناسایی و پیشنهاد شده‌اند. نهایتاً یک مدل نمونه اولیه جهت پیاده‌سازی عملی در محیط BIM اجرا شده است [۱۶]. El-Mekawy مطالعه‌ای را در سوئد جهت توصیف کاربرد و ثبت اطلاعات املاک سه‌بعدی و نحوه دستیابی به ثبت یکپارچه و استاندارد مرزهای قانونی و ساختمان‌های فیزیکی انجام داده است. وی این تلاش را با هدف بررسی مشکلات و راه‌حل‌های مربوط به تعامل BIM و ثبت و بصری سازی اطلاعات حقوقی املاک سه‌بعدی انجام داده است. درنهایت نتیجه کار Sobaih و همکاران نشان می‌دهد که BIM و حوزه املاک سه‌بعدی، تعامل مثبتی در مدیریت مؤثر اطلاعات دارند که به‌شدت توصیه می‌شود [۱۷]. همچنین Oldfield و همکاران نیز در مطالعه خود نشان می‌دهند که مدل‌سازی MVD یا زیرمجموعه‌ای از مدل داده IFC امکان ایجاد و تبادل نمایش مرز اشیا توپولوژیکی را فراهم می‌کند که می‌تواند با یک نقشه کلی فضای حقوقی سه‌بعدی ترکیب شود [۱۸].

^۱ Linked data

^۲ a Core Immovable Property Vocabulary (CIPV)

^۳ eGovernment Core Vocabulary

استانداردهای مکانی برای نمایش مفاهیم و ویژگی‌های مکانی مرتبط با اموال، مدل حوزه مدیریت زمین و پیاده‌سازی آن، و هستی‌شناسی مربوط به معاملات املاک و مستغلات را برای ادغام داده‌های املاک تحلیل می‌کند. این بررسی با هدف درک مشترکات و تفاوت‌های مدل‌های موجود و ایجاد یک نقطه مرجع برای هستی‌شناسی‌ها و مدل‌های مفهومی در حوزه املاک است [۲۴].

Soon یک هستی‌شناسی کاداستر سه‌بعدی برای توصیف مفاهیم مورد استفاده در کاداستر سه‌بعدی در سنگاپور طراحی کرده است. در این تحقیق یک چارچوب دومرحله‌ای که شامل رده داده و رده دانش است شکل گرفته است. هدف این مقاله، ارائه چارچوبی برای پشتیبانی معنایی از LandXML با پیوند به هستی‌شناسی OWL و برداشتن قدم اول برای ساخت هستی‌شناسی کاداستر سه‌بعدی برای سنگاپور است. این کار برای رسیدن به مفهوم کاداستر هوشمند انجام شده است [۲۵].

تلاش‌هایی جهت توصیف و نمایش اطلاعات کاداستر در BIM و GIS انجام شده است. اما استفاده از مدل‌سازی داده و فناوری‌های تبادل در سطح نحوی بوده و محدودیت معنایی مدل‌های موجود دارد. علاوه بر این در حوزه وب معنایی، مطالعات بسیاری جهت نگاشت و بهبود مدل داده‌ها با استفاده از این فناوری انجام شده است اما هیچ‌یک از این تلاش‌ها به‌طور کامل مدل معنایی این حوزه را پوشش نمی‌دهد. تاکنون، پروژه‌ای روی بیان اطلاعات کاداستر سه‌بعدی با استفاده از مدل‌های BIM در محیط وب معنایی و نیز به‌کارگیری فناوری‌های داده‌های پیوندی و پرس‌وجوهای معنایی به کمک SPARQL انجام نشده است. آنچه مطالعه حاضر را از تحقیقات مشابه متمایز می‌سازد، ایجاد یک مدل اطلاعات معنایی است که مزایای BIM در حوزه کاداستر سه‌بعدی بهره گرفته و امکان پرس‌وجوی معنایی این اطلاعات را فراهم می‌کند.

۳- مدل‌سازی مفهومی مرزهای املاک در هستی‌شناسی مکانی مبتنی بر BIM

BIM یک فرایند شیء‌گرا است که می‌تواند ساختمان‌ها را با توجه به خواص هندسی و معنایی آن‌ها توصیف کند. بنابراین، تولید و همچنین مدیریت توصیف رقومی ویژگی‌های فیزیکی و کاربردی فضاهای ساختمان و

مدیریت زمین^۱ که منجر به اطلاعاتی راجع به مالکیت^۲، ارزش^۳، کاربری^۴ و منابع مربوط به آن می‌شود، کارکرده است. نهایتاً Çağdaş مفهوم مدیریت زمین پیوندی^۵ را معرفی کرده است [۱۹]. Çağdaş همچنین در مطالعه دیگری توسعه یک سیستم سازمان‌دهی دانش^۶ از نظر اصطلاحات حوزه کاداستر و مدیریت زمین را توضیح می‌دهد. هدف وی همکاری در جهت توسعه مدیریت زمین پیوندی به‌منظور مدیریت معنایی مجموعه داده‌ها و منابع علمی و قانونی در کتابخانه‌ها است [۲۰]. نکته مهم در این مقالات این است که اصطلاحات مورد استفاده عمدتاً از اصطلاحات استاندارد مدل حوزه‌ای مدیریت زمین^۷ که جنبه ایستای حوزه را بیان می‌کند به‌دست آمده است. اصطلاحات به‌کاربرده شده در توسعه هستی‌شناسی صرفاً مربوط به واژگان مرکزی دولت الکترونیک است و به این واژگان و اطلاعات مدیریت زمین محدود می‌شود. علاوه بر این در مورد اطلاعات کاداستر ۳ بعدی بحثی انجام نگرفته است. Kara و همکاران روی هماهنگ‌سازی انواع استانداردهای بین‌المللی تمرکز کرده اند. این استاندارد ها که برای اندازه‌گیری زمین، ملک و ساختمان تدوین گردیده‌اند با استفاده از روابط معنایی اصطلاحات در یک هستی‌شناسی مدل سازی شده اند [۲۱].

Mader در مطالعه خود، نتایج آنالیز وضعیت افزونگی داده مربوط به مدیریت زمین در کشور کرواسی را ارائه کرده و پس از تجزیه و تحلیل، پیشنهاد پیوند^۸ مدل حوزه‌ای مدیریت زمین را بیان کرده است. این ارتباط پیشنهادی با توسعه کلاس‌های اشیا با استفاده از زبان مدل‌سازی یکپارچه^۹ از LADM ایجاد شده و تجزیه و تحلیل سازگاری بین دفاتر و LADM با استفاده از تطبیق الگو را انجام داده است [۲۲].

در مطالعه‌ی Sladić و همکاران یک مدل هستی‌شناسی در سیستم‌های کاداستر مبتنی بر LADM پیاده‌سازی شده است. کاربرد اصلی این هستی‌شناسی ادغام داده‌ها و خدمات مکانی موجود با استفاده از یک فرآیند خودکار کشف و ادغام از منابع کاداستر است [۲۳]. Shi

^۱ Land Administration

^۲ Ownership

^۳ Value

^۴ Use of land

^۵ Linked Land Administration

^۶ Simple Knowledge Organization System (KOS)

^۷ Land Administration Domain Model (LADM)

^۸ Link

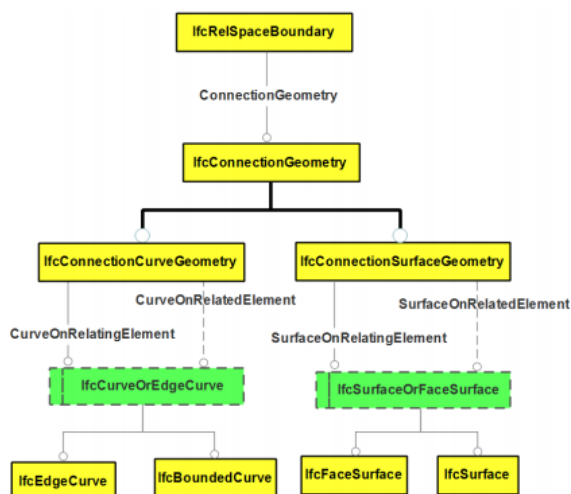
^۹ Unified Modeling Language (UML)

محیط اطراف آن را شامل می‌شود. از این رو، می‌توان بیان کرد که BIM با یک ساختار واضح و منطقی، اشیاء مکانی ساختمان را تعریف می‌کند که قادر به تحلیل‌های مکانی و بصری سازی عناصر مکانی یک ساختمان است.

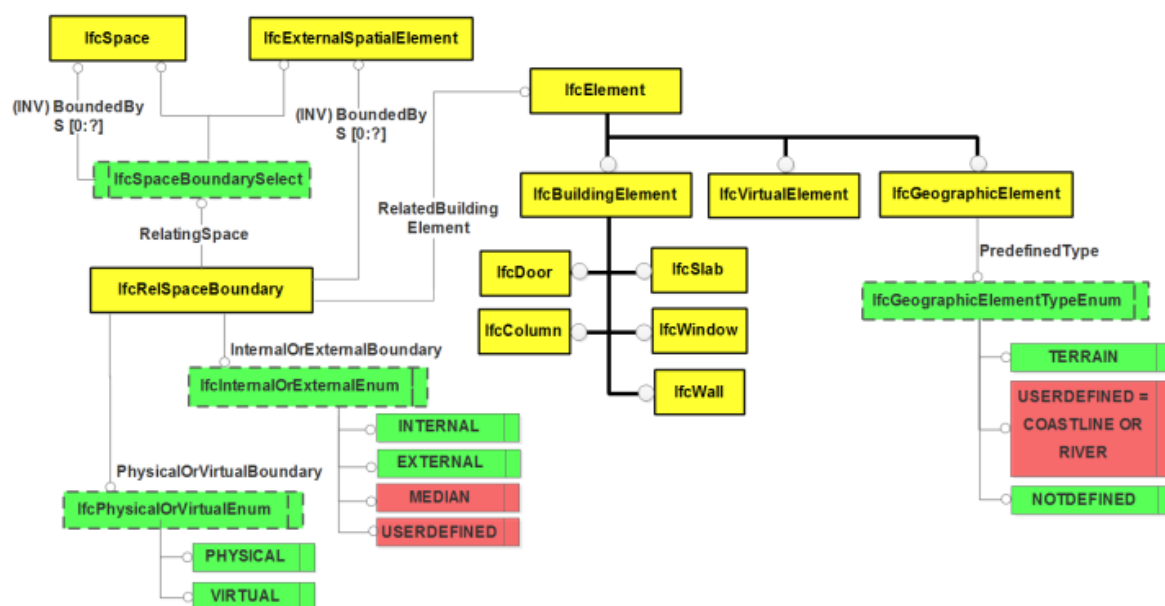
در شمای IFC، هستنده IfcRelSpaceBoundary نقش کلیدی در مدل‌سازی هندسی و مفهومی مرزهای مربوط به منافع حقوقی دارد. شکل ۱ هستنده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی هندسی مرزهای حقوقی را نشان می‌دهد. انتزاعی‌ترین هستنده برای بیان هندسه IfcConnectionGeometry است که با ویژگی

ConnectionGeometry با IfcRelSpaceBoundary در ارتباط است. برای منافع قانونی با ابعاد سه‌بعدی، مرزهای قانونی به شکل سطوح یا وجه‌ها نمایش داده می‌شوند. بنابراین، زیر کلاس IfcConnectionSurfaceGeometry برای تعریف اتصال هندسی بین دو فضای قانونی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مرزها در IFC با استفاده از هستنده IfcRelSpaceBoundary توصیف می‌شوند.



شکل ۱- هستنده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی هندسی مرزهای حقوقی [۲۶]



شکل ۲- المان‌های به کار گرفته‌شده جهت نمایش اطلاعات کاداستر [۲۶]

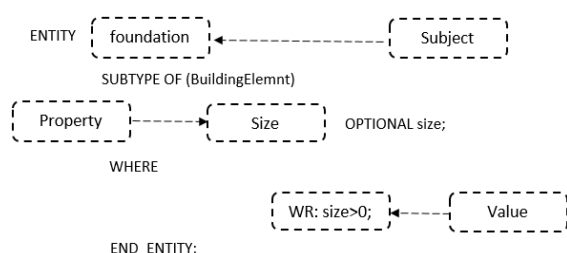
برگردانده می‌شوند. با این کار مدل OWL اطلاعات کاداستر توسعه داده می‌شود. هستنده‌ها، ویژگی‌ها و روابط آن‌ها برای توصیف سه‌تایی‌های^۱ RDF مورد استفاده قرار می‌گیرند. مسند^۲ برای مدل‌سازی المان‌های فیزیکی،

۳-۱- نگاشت هستنده‌ها و روابط IFC به کلاس‌ها و ویژگی‌های OWL

در ادامه برای مدل‌سازی هستنده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی معنایی مرزها، عناصر ساختمانی و داده‌های IFC به زبان‌های هستی‌شناسی رسمی RDF/OWL

^۱ triple
^۲ Subject

توصیف این شرایط، ویژگی‌های نوع مفهوم^۸ تعریف می‌شود. بنابراین برد^۹ مقادیر برای ویژگی موردنظر به لیست زیر توصیف‌ها محدود می‌شود. علاوه بر این، زیر توصیف‌ها به‌عنوان هستنده‌های IFC یا نمونه‌ها^{۱۰} تعریف می‌شوند. این روند تا جایی که تمامی ویژگی‌ها تبدیل شوند ادامه می‌یابد. شکل ۳، یکی از این تبدیلات را نشان می‌دهد. در این شکل، مسند برای مدل‌سازی المان فیزیکی مانند ساختمان، ویژگی برای نسبت دادن ویژگی به مسند (مانند نام) و مقدار یا نمونه^{۱۱} برای تعیین مقدار property استفاده می‌شود.



شکل ۳- نحوه نگاشت هستنده‌های IFC به کلاس‌های OWL

۴- پیاده‌سازی مدل

پیاده‌سازی این پروژه شامل چندین فاز مختلف است. در فاز اول هستی‌شناسی کاداستر با توجه به مفاهیم ارائه‌شده بخش قبلی به کمک نرم‌افزار protégé پیاده‌سازی شده است. فاز دوم مربوط به نگاشت فایل IFC به فایل RDF است. در ادامه مجموعه‌ای از توابع برای پیاده‌سازی نمونه اولیه به کار گرفته می‌شوند. سپس در فاز سوم پرس‌وجوی مکانی از داده‌های RDF انجام می‌شود.

۴-۱- فاز اول: پیاده‌سازی هستی‌شناسی مکانی کاداستر

برای ایجاد هستی‌شناسی‌ها استفاده از ویرایشگرهای متن و رعایت قواعد ساختاری زبان‌های مرتبط مانند RDF-S و OWL کفایت نمی‌کند. زیرا مدیریت و رفع خطا در این‌گونه اسناد مشکل است. یکی از قدرتمندترین ابزار ایجاد و مدیریت هستی‌شناسی‌ها، نرم‌افزار protégé-OWL است. از این‌رو در مطالعه پیش رو از این نرم‌افزار جهت ایجاد و توسعه هستی‌شناسی کمک گرفته‌شده است.

property برای نسبت دادن ویژگی^۱ به مسند و مقدار^۲ برای توصیف بیشتر ویژگی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از آنجایی که تمام اطلاعات ساختمانی به‌عنوان هستنده‌های IFC تعریف می‌شوند، در OWL نیز کلاس ENTITY را ایجاد کرده و زیر نوع‌های^۳ موردنظر از هستنده‌های IFC را به‌عنوان زیر کلاس این هستنده تعریف می‌شود. تعریف برای هر کلاس تا جایی که تمام هستنده‌های IFC به هستی‌شناسی بپیوندند ادامه پیدا می‌کند. برای مدل‌سازی IFC به RDF/OWL ویژگی‌های IFC در سه گروه طبقه‌بندی شده‌اند: ویژگی‌های گره برگ^۴، نوع ساده و نوع پیچیده. صرف‌نظر از نوع ویژگی، هر هستنده IFC به‌عنوان یک subject در دستورات RDF بیان می‌شود. همچنین از رابطه زیر کلاس (rdfs:subClassOf) برای بیان اینکه یک هستنده IFC زیر نوع یک هستنده یا مرجع دیگر است استفاده می‌شود. در نتیجه هر کلاس OWL زیر کلاس owl:Thing خواهد بود.

در مدل‌سازی ویژگی‌های IFC، در صورتی که ویژگی یک گره برگ باشد، به‌عنوان یک ویژگی نوع داده^۵ OWL برای هستنده IFC تعریف می‌شود زیرا یک داده لفظی^۶ (مانند رشته، اعداد، نوع داده و...) را بازگو می‌کند. نوع لفظی با استفاده از rdfs:domain و rdfs:range مشخص می‌شود.

ویژگی نوع ساده به‌عنوان یک هستنده IFC تعریف می‌شود. در این راستا، هستنده IFC نقش ارزش ویژگی را بازی می‌کند (برای مثال، ApplicationDeveloper یک ویژگی نوع ساده است و دارای سه ویژگی گره برگ یعنی، Version، ApplicationFullName و ApplicationIdentifier است). در فایل OWL، از rdfs:isDefinedBy برای بیان ویژگی نوع ساده استفاده می‌شود. همچنین rdfs:domain برای نشان دادن اینکه ویژگی نوع ساده نمونه‌ای از کدام هستنده IFC است، استفاده می‌شود.

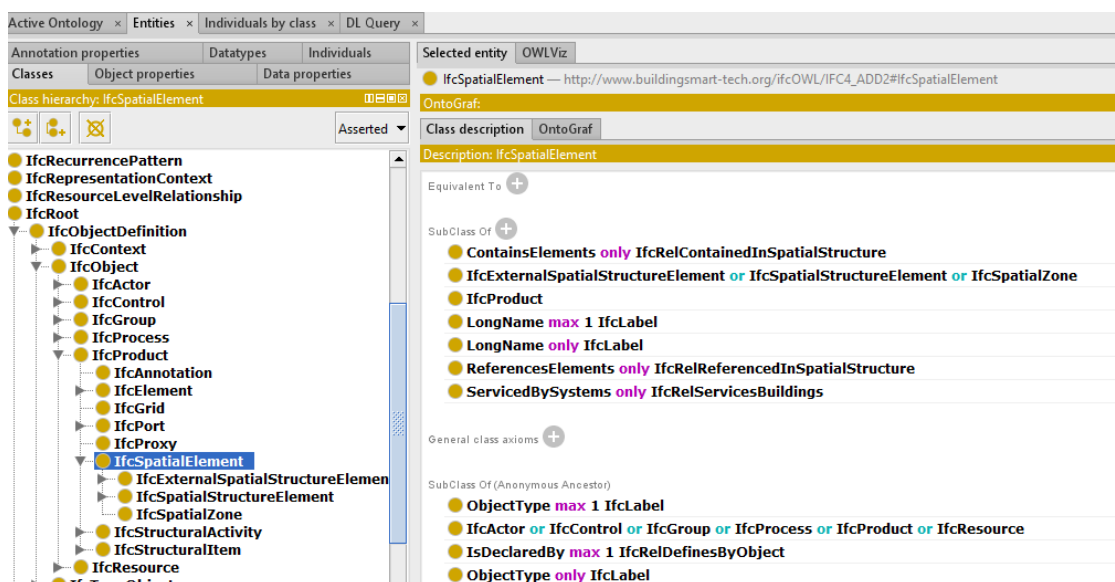
ویژگی‌های نوع پیچیده دارای یک یا چند زیر توصیف^۷ هستند. برای مثال IfcCartesianPoint دارای ویژگی نوع پیچیده Coordinates است که با فهرستی از سه زیر توصیف (یعنی IfcLengthMeasure) تعریف می‌شود. برای

^۱ Property
^۲ value
^۳ subtypes
^۴ leaf node
^۵ data type property
^۶ literal
^۷ sub-attributes

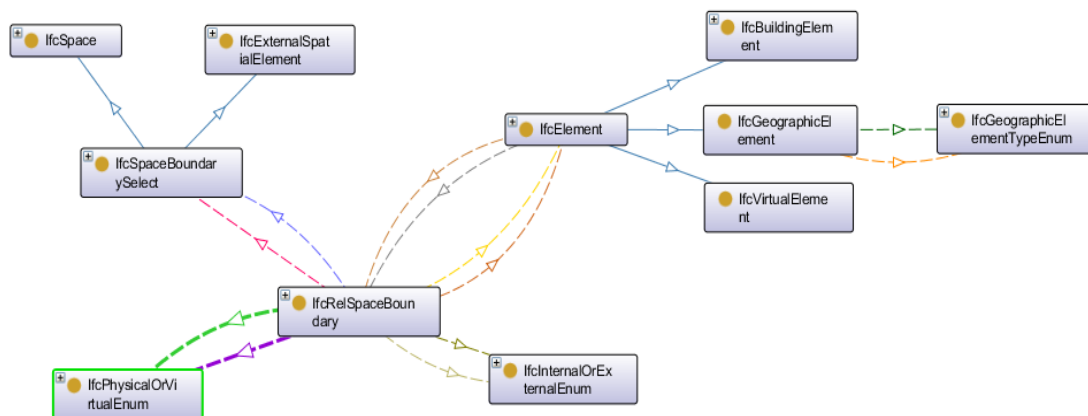
^۸ concept type properties
^۹ range
^{۱۰} individuals
^{۱۱} individual

تعریف می‌شود. برای تعریف روابط دامنه و برد، محدودیت‌ها و سایر شرایط باید به‌دقت تعریف شوند. تعریف روابط بسیار دقیق و مهم است. شکل ۴ نمایی از تعریف کلاس‌ها و روابط در نرم‌افزار را نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز هستی‌شناسی طراحی‌شده بر مبنای اطلاعات کاداستر IFC را نشان می‌دهد.

نحوه نگاشت مفاهیم از IFC به OWL در بخش مدل‌سازی تشریح شد. با توجه به مفاهیم ارائه‌شده، هستنده‌ها و روابط مربوطه از IFC استخراج‌شده‌اند. این هستنده‌ها به‌عنوان زیر کلاس thing در سربرگ classes نرم‌افزار تعریف می‌شوند. این کار تا جایی که تمامی هستنده‌ها و ویژگی‌های IFC تعریف شوند ادامه می‌یابد. سپس روابط بین کلاس‌ها در سربرگ object property



شکل ۴- نمایی از نرم‌افزار protégé و کلاس‌های تعریف‌شده



شکل ۵- نمایش نموداری هستی‌شناسی اطلاعات مرزها و املاک

فایل IFC در خروجی RDF منعکس می‌شود. برای تبدیل از IFC به RDF از مبدل هندسی IfcOpenShell استفاده‌شده است. فایل حاصل شامل سه‌تایی‌های RDF است که اجزای فایل نمونه IFC را توصیف می‌کنند. تبدیل فایل IFC به ساختار RDF و همچنین نمایش فایل نمونه به کمک زبان برنامه‌نویسی جاوا پیاده‌سازی

۴-۲- فاز دوم: نگاشت فایل نمونه IFC به RDF و نمایش اطلاعات

در فاز بعدی ابتدا نمونه فایل IFC^۱ به ساختار داده RDF تبدیل می‌شود. طی این فرآیند ساختار داده نمونه

^۱ IFC instance

۳-۴ - فاز سوم: پرس و جوی مکانی از مدل‌های معنایی

پروتکل SPARQL و زبان پرسش و پاسخ RDF یکی از استانداردهای W3C است که برای پرسش و پاسخ داده‌های RDF معرفی شده است. این زبان دستورات مشابه SQL ارائه می‌کند که برای پرسش و پاسخ سه‌تایی‌های RDF می‌تواند استفاده شود. در این مطالعه از SPARQL برای پرس و جوی مکانی داده‌های RDF در حوزه کاداستر استفاده شد. توابع به کمک مجموعه کتابخانه‌های Apache Jena که شامل توابع زبان SPARQL است، پیاده‌سازی شده‌اند.

به این منظور سه گروه پرس و جوی در نظر گرفته شده است. هر سه پرس و جوی روی مدل‌های نمونه پیاده‌سازی شده‌اند. جدول ۱ پرس و جوها و هدف از هر یک را نشان می‌دهد. به منظور آشنایی با زبان SPARQL و شباهت ذکر شده با ساختار SQL نمونه‌ای از پرس و جوی SPARQL در شکل ۷ آورده شده است. نتایج پرس و جوها شامل زمان و تعداد آن‌ها برای مدل‌ها نمایش داده شده‌اند. شکل ۷ نتایج پیاده‌سازی پرس و جوها روی مدل اول و نتایج بازیابی شده را نشان می‌دهد.

شده است. طی این روند، فایل IFC خوانده شده و ساختار آن با توجه به هستی‌شناسی ifcOWL منعکس می‌شود. نمونه‌ها (instance) طبق سه‌تایی‌های RDF تبدیل می‌شوند. سه‌تایی‌ها در فایل RDF نهایی در سه فایل ذخیره می‌شوند: هستنده‌ها و روابط، روابط مکانی و مواد فایل روابط مکانی برای پرس و جوی اطلاعات مکانی به کار گرفته می‌شود. توابعی که روی این گروه از سه‌تایی‌ها اعمال می‌شوند برای یافتن روابط بین محصولات استفاده می‌شوند. روابط توپولوژیکی مانند touches, disjointed, intersect, contains برای جست و جوی بررسی روابط بین اشیا ساختمانی استفاده می‌شوند.

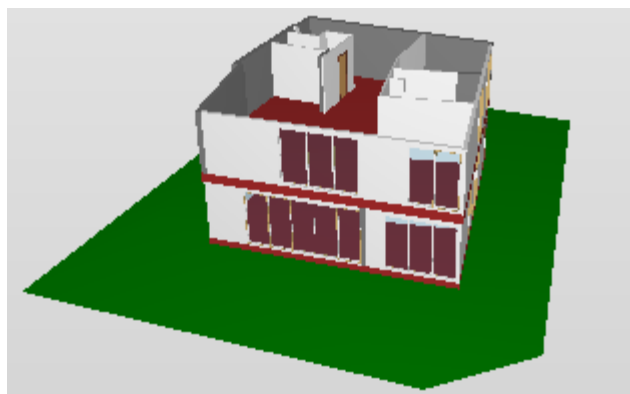
داده‌های مورد استفاده، اطلاعات مدل داده IFC هستند. فایل نمونه IFC چند ساختمان در نظر گرفته شده است. این نمونه‌ها میزان پیچیدگی و حجم فایلی متفاوتی دارند. شکل ۶ مدل‌های IFC در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد. شکل ۶- الف یک مدل ساختمانی ۴ طبقه‌ای و ۲ طبقه زیرزمین را نشان می‌دهد. در این مدل انواع مالکیت‌های خصوصی و مشاعات تعریف شده است. شکل ۶- ب مدل ساختمانی ۴ طبقه ایست و هر طبقه شامل ۲۰ واحد است. شکل ۶- پ یک مدل ساختمانی ساده ۲ طبقه‌ای را نشان می‌دهد. این مدل‌ها به عنوان ورودی مورد استفاده قرار گرفتند و طبق روند پروژه به ساختار سه‌تایی RDF تبدیل شده‌اند.



شکل ۶- الف - مدل داده نمونه IFC اول - حجم فایل ۱۹،۵۲۲ کیلوبایت



شکل ۶- ب - مدل داده نمونه IFC دوم - حجم فایل ۱۱،۷۹۶ کیلوبایت



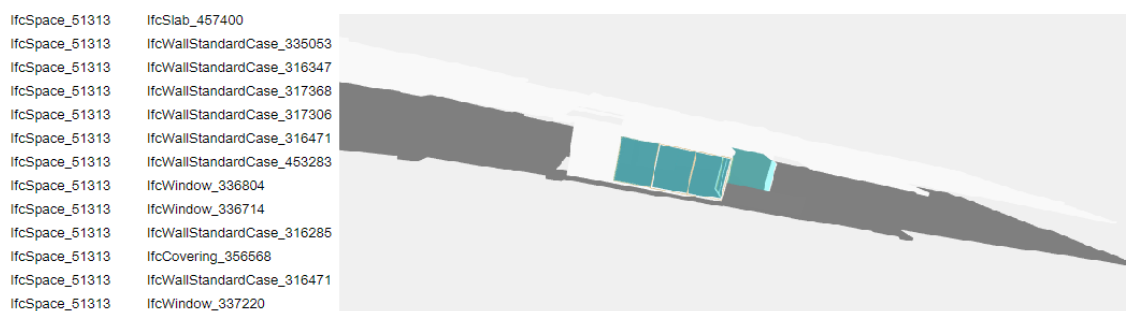
شکل ۶- پ- مدل داده نمونه IFC سوم- حجم فایل ۵۴۴ کیلوبایت

```
SELECT ?space ?label ?stair
WHERE{
  ?space a ifcowl:IfcSpace.
  ?space
  ifcowl:longName_IfcSpatialStructureElement
  ?label.
  ?label a ifcowl:IfcLabel;
    express:hasString "Common Property."
  ?stair a ifcowl:IfcStair.
}
```

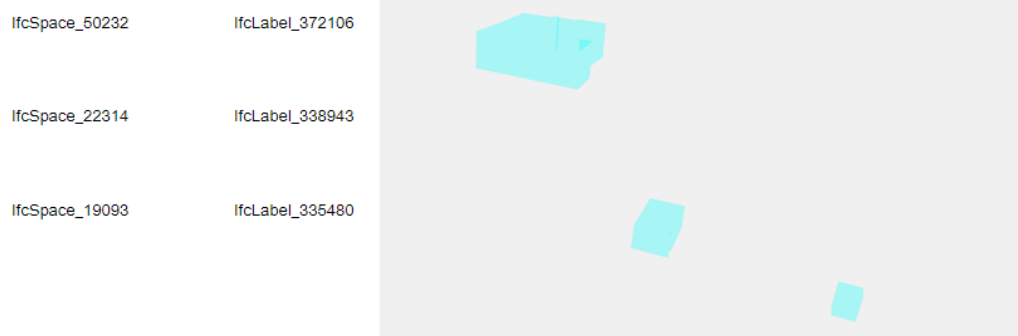
شکل ۷- نمونه‌ای از پرس‌وجوی SPARQL- بازیابی مشاعات

جدول ۱- انواع پرس‌وجوی مکانی پیاده‌سازی شده روی مدل‌های معنایی

مرزهای حقوقی	این پرس‌وجو انواع مرزهای حقوقی از جمله دیوار، در، پنجره، سقف و ... را بازیابی می‌کند.
ناحیه ^۱ مالکیت‌های خصوصی	قسمت‌های مختلف مالکیت‌های خصوصی را بازیابی می‌کند، مانند آپارتمان، انباری و پارکینگ مربوط به یک مالکیت.
مشاعات	زون مشاعات ساختمان را بازیابی می‌کند.

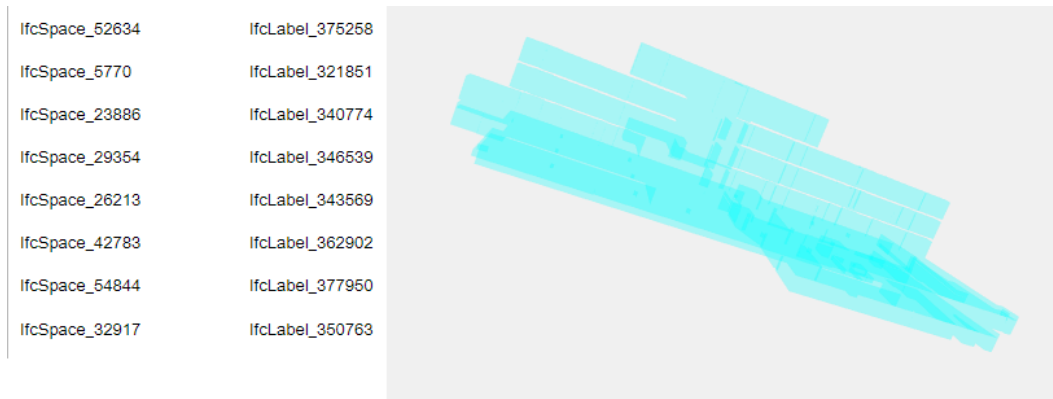


شکل ۸- الف- نمایش انواع مرزهای یک فضای خاص و اطلاعات بازیابی شده



شکل ۸- ب- نمایش قسمت‌های مختلف مالیت خصوصی شماره ۲۱۱ و اطلاعات بازیابی شده

^۱ Zone



شکل ۸- پ- نمایش زون مشاعات ساختمان و اطلاعات بازیابی شده

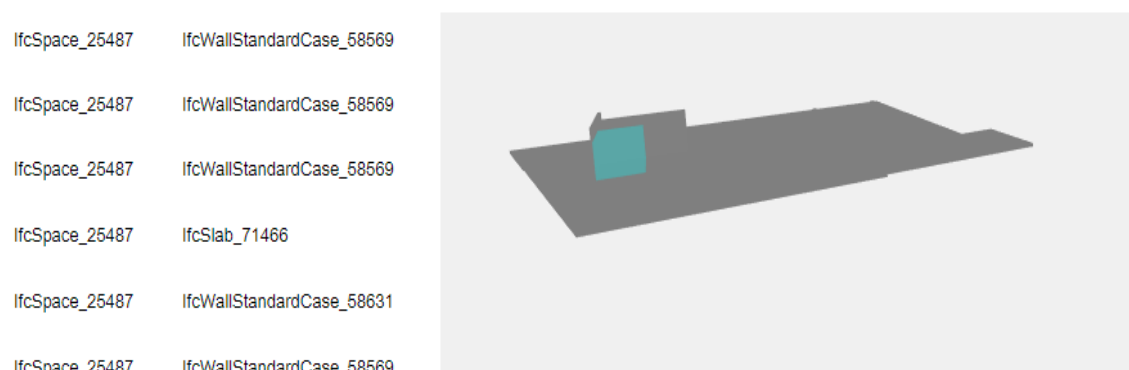
۵- بحث و نتیجه‌گیری

نشان می‌دهد. همچنین پس از اجرای پرس‌وجو نتایج و زمان به دست آمدن نتایج نیز ثبت‌شده و نشان داده‌شده است. شکل ۸، ۹ و ۱۰ بخشی از اطلاعات بازیابی شده برای سه مدل را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها المان‌های ساختمانی در هر مدل که به عنوان مرز شناخته شده‌اند، بازیابی شده‌اند. نمایش کلاس‌های معنایی نیز همراه اطلاعات نشان داده شده است.

در این مطالعه یک هستی‌شناسی مکانی مطابق با ساختار مدل داده IFC توسعه داده شد. چند فایل نمونه IFC با پیچیدگی و حجم متفاوت به منظور ارزیابی نتایج انتخاب‌شدند. داده‌های IFC با توجه به هستی‌شناسی به ساختار RDF تبدیل شد. جدول ۲ حجم هر فایل و سایر اطلاعات مربوط به آن پس از تبدیل به ساختار RDF را

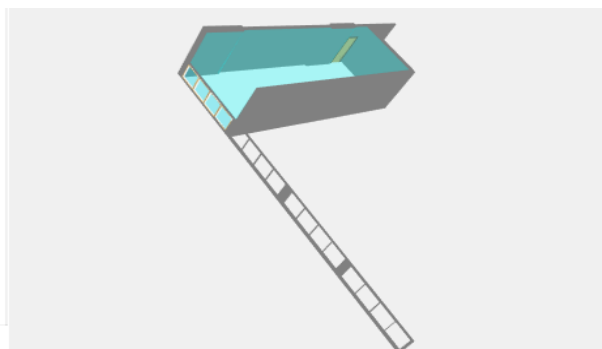


شکل ۹- الف- پرس‌وجوی مرزها برای یک فضا در مدل اول- بازیابی ۲۱ المان



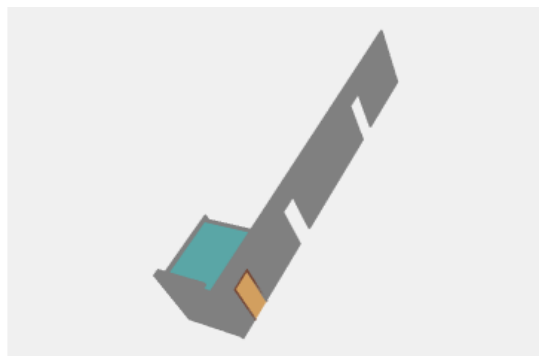
شکل ۹- ب- پرس‌وجوی مرزها برای یک فضا در مدل اول- بازیابی ۶ المان

IfcSpace_31483	IfcDoor_167132
IfcSpace_31483	IfcWindow_186710
IfcSpace_31483	IfcWallStandardCase_169231
IfcSpace_31483	IfcWallStandardCase_150946
IfcSpace_31483	IfcWindow_186669
IfcSpace_31483	IfcWallStandardCase_168939
IfcSpace_31483	IfcWallStandardCase_170904
IfcSpace_31483	IfcWallStandardCase_151299
IfcSpace_31483	IfcWallStandardCase_169279
IfcSpace_31483	IfcWallStandardCase_167010
IfcSpace_31483	IfcWindow_186751
IfcSpace_31483	IfcWallStandardCase_151299



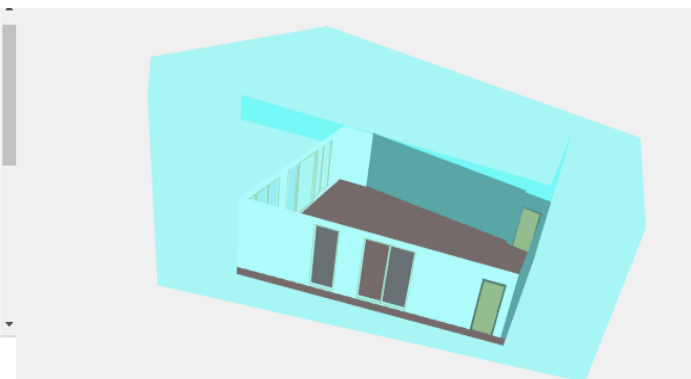
شکل ۱۰- الف- پرس‌وجوی مرزها برای یک فضا در مدل دوم- بازیابی ۱۴ المان

IfcSpace_10812	IfcWallStandardCase_75572
IfcSpace_10812	IfcDoor_67399
IfcSpace_10812	IfcWallStandardCase_75432
IfcSpace_10812	IfcWallStandardCase_75478
IfcSpace_10812	IfcWallStandardCase_67216
IfcSpace_10812	IfcWallStandardCase_75525
IfcSpace_10812	IfcWallStandardCase_75432



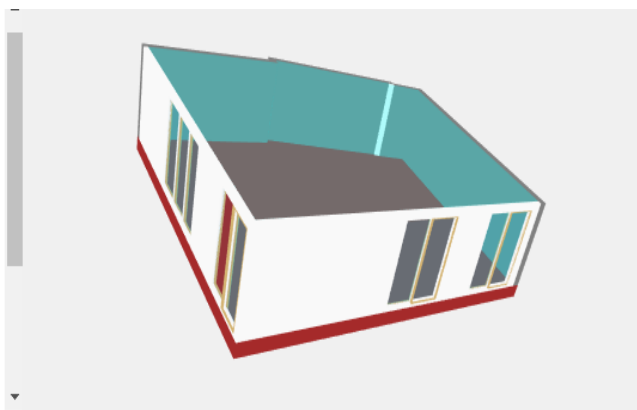
شکل ۱۰- ب- پرس‌وجوی مرزها برای یک فضا در مدل دوم- بازیابی ۷ المان

IfcSpace_645	IfcWallStandardCase_12862
IfcSpace_645	IfcWallStandardCase_6414
IfcSpace_645	IfcWallStandardCase_12728
IfcSpace_645	IfcDoor_3693
IfcSpace_645	IfcWallStandardCase_12460
IfcSpace_645	IfcWindow_12356
IfcSpace_645	IfcWindow_6329
IfcSpace_645	IfcWindow_6655
IfcSpace_645	IfcWindow_12089
IfcSpace_645	IfcWindow_12148
IfcSpace_645	IfcWindow_6539
IfcSpace_645	IfcWallStandardCase_3401
IfcSpace_645	IfcWallStandardCase_3402



شکل ۱۱- الف- پرس‌وجوی مرزها برای یک فضا در مدل سوم- بازیابی ۲۶ المان

IfcSpace_235	IfcWindow_10611
IfcSpace_235	IfcWindow_8347
IfcSpace_235	IfcWindow_9298
IfcSpace_235	IfcWindow_10163
IfcSpace_235	IfcWindow_11059
IfcSpace_235	IfcWindow_8882
IfcSpace_235	IfcWallStandardCase_7938
IfcSpace_235	IfcWallStandardCase_11234
IfcSpace_235	IfcWindow_8765
IfcSpace_235	IfcWallStandardCase_11307
IfcSpace_235	IfcWallStandardCase_11161
IfcSpace_235	IfcWindow_9715
IfcSpace_235	IfcWallStandardCase_7609



شکل ۱۱- ب- پرس‌وجوی مرزها برای یک فضا در مدل سوم- بازیابی ۱۹ المان

فایل RDF و به کار گرفتن سه‌تایی‌ها جهت بیان هر یک از نمونه‌های جز، حجم این فایل بسیار بیشتر از فایل IFC

پس از تبدیل مدل نمونه IFC به ساختار RDF، مدل معنایی ساختمان‌ها به دست می‌آید. با توجه به ساختار

همتای آن هست. هرچه فایل IFC پیچیده‌تر باشد، حجم فایل RDF و نیز مدل معنایی متناظر با آن بیشتر خواهد بود. این تفاوت به دلیل نحوه تعریف هستی‌شناسی و سه‌تایی‌ها در فایل RDF است.

جدول ۲- مقایسه حجم مدل‌ها و مدت‌زمان پاسخ پرس‌وجوی مرز فضاها در سه مدل

مدل‌ها	IFC	مدل	RDF(ttl)	Geometry	پرس‌وجوی اول (زمان)	پرس‌وجوی اول (تعداد نتایج)	پرس‌وجوی دوم (زمان)	پرس‌وجوی دوم (تعداد نتایج)
مدل ۱	۱۹۵۲۲ KB	۲۵۵۰۰۲۴ KB	۱۹۵۵۹۸ KB	۴۴۰۰۹ KB	۰,۰۹۴	۲۱	۰,۰۷۳	۶
مدل ۲	۱۱۷۹۶ KB	۱۴۰۸۲۹۷ KB	۱۰۸۶۴۶ KB	۲۸۵۱۱ KB	۰,۰۸۰	۱۴	۰,۰۶۱	۷
مدل ۳	۵۴۴ KB	۶۹۱۷۱ KB	۵۲۳۵ KB	۹۱۹ KB	۰,۰۷۷	۲۶	۰,۰۵۸	۱۹

سه پرس‌وجوی مکانی مربوط به اطلاعات کاداستری بر روی مدل‌های معنایی انجام‌گرفته است. این پرس‌وجوها مرزها و مالکیت‌ها را مشخص می‌کنند. درواقع به کمک پرس‌وجوی معنایی مدل‌ها این امکان فراهم می‌شود که ارتباطات مکانی المان‌های ساختمانی مورد پرس‌وجو قرار بگیرند. زمان دریافت نتایج در مدل‌ها و پرس‌وجوهای مختلف نشان می‌دهند که سرعت پرس‌وجوی معنایی بیشتر بوده و همچنین پیچیدگی مدل‌ها در به دست آمدن این نتایج تأثیری نداشته‌اند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که پرس‌وجوها در مقایسه با مدل‌های IFC نتایج بهتری ارائه می‌کنند. این نتایج عبارتند از انواع مرزها

دیوار، پنجره، در، سقف) که همزمان در مدت زمان کمی بازیابی می‌شوند. مفاهیم پیاده‌سازی شده در این مطالعه را می‌توان به‌منظور غنی‌سازی اطلاعات کاداستر سه‌بعدی به کار گرفت. از اطلاعات معنایی و نیز اطلاعات به‌دست‌آمده در پرس‌وجوها می‌توان به‌منظور مدیریت بهتر ساختمان‌های پیچیده بهره برد. مدل‌های مورداستفاده در این مطالعه مربوط به یک ساختمان بوده‌اند. پیشنهاد می‌شود در کارهای آینده از مدل‌های ساختمانی به همراه محیط اطراف آن‌ها استفاده کرده و نتایج بررسی شوند. همچنین استفاده از مدل‌های شهری سه‌بعدی نیز توصیه می‌شود.

مراجع

- [1] El-Mekawy, M. and A. Östman, A unified building model for a real 3D cadastral system, in Emerging Issues, Challenges, and Opportunities in Urban E-Planning. 2015, IGI Global. p. 252-279.
- [2] Clemen, C. and L. Gründig. The Industry Foundation Classes (IFC)-ready for indoor cadastre? in XXIII FIG Congress. 2006.
- [3] Laakso, M. and A.J.I. Kiviniemi, The IFC standard: A review of history, development, and standardization, information technology. 2012. 17(9): p. 134-161.
- [4] Atazadeh, B., et al., Modelling building ownership boundaries within BIM environment: A case study in Victoria, Australia. Computers, Environment and Urban Systems, 2017. 61: p. 24-38.
- [5] Atazadeh, B., et al., Building Information Modelling for High-rise Land Administration. Transactions in GIS, 2017. 21(1): p. 91-113.
- [6] Pauwels, P., R. De Meyer, and J. Van Campenhout. Interoperability for the design and construction industry through semantic web technology. in International Conference on Semantic and Digital Media Technologies. 2010. Springer.
- [7] Krijnen, T. and J.J.A.i.C. Beetz, A SPARQL query engine for binary-formatted IFC building models. 2018. 95: p. 46-63.
- [8] Zhang, C., J. Beetz, and B.J.S.W. de Vries, BimSPARQL: Domain-specific functional SPARQL extensions for querying RDF building data. 2018(Preprint): p. 1-27.
- [9] Pauwels, P. and W.J.A.i.C. Terkaj, EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology. 2016. 63: p. 100-133.
- [10] Niknam, M. and S.J.A.i.C. Karshenas, A shared ontology approach to semantic representation of BIM data. 2017. 80: p. 22-36.
- [11] Heath, T., C.J.S.I.o.t.s.w.t. Bizer, and technology, Linked data: Evolving the web into a global data space. 2011. 1(1): p. 1-136.

- [12] Berners-Lee, T., J. Hendler, and O.J.S.a. Lassila, The semantic web. 2001. 284(5): p. 34-43.
- [13] Pauwels, P., et al., Enhancing the ifcOWL ontology with an alternative representation for geometric data. 2017. 80: p. 77-94.
- [14] Terkaj, W. and A.J.A.i.C. Šojić, Ontology-based representation of IFC EXPRESS rules: An enhancement of the ifcOWL ontology. 2015. 57: p. 188-201.
- [15] Zhang, C., et al., Querying linked building data using SPARQL with functional extensions. 2016: p. 27.
- [16] Atazadeh, B., et al., Extending a BIM-based data model to support 3D digital management of complex ownership spaces. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017. 31(3): p. 499-522.
- [17] El-Mekawy, M.S.A., J.M. Paasch, and J.J.I.J.o.E.-P.R. Paulsson, Integration of legal aspects in 3D cadastral systems. 2015. 4(3): p. 47-71.
- [18] Oldfield, J., et al., Working with open BIM standards to source legal spaces for a 3D cadastre. 2017. 6(11): p. 351.
- [19] Çağdaş, V. and E. Stubkjær, Core immovable property vocabulary for European linked land administration. *Survey Review*, 2015. 47(340) :p. 49-60.
- [20] Çağdaş, V. and E. Stubkjær, A SKOS vocabulary for linked land administration: cadastre and land administration thesaurus. *Land Use Policy*, 2015. 49: p. 668-679.
- [21] Kara, A., et al., Towards harmonizing property measurement standards.
- [22] Mader, M., H. Matijević, and M. Roić, Analysis of possibilities for linking land registers and other official registers in the Republic of Croatia based on LADM. *Land use policy*, 2015. 49: p. 606-616.
- [23] Sladić, D., et al., The use of ontologies in Cadastral Systems. *Computer Science and Information Systems*, 2015. 12(3): p. 1033-1053.
- [24] Shi, L. and D. Roman. Ontologies for the Real Property Domain. in *Proceedings of the 8th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics*. 2018 .ACM.
- [25] Soon, K.H. A conceptual framework of representing semantics for 3D cadastre in Singapore. in *Proceedings of the 3rd International Workshop on 3D Cadastres*, Shenzhen, China. 2012.
- [26] Atazadeh, B., Building information modelling for urban land administration. 2017.