

صریح سازی معانی ضمنی داده های مکانی در پایگاههای داده غیر رابطه ای، مطالعه موردی: بافت فرسوده شهری

طلوع سیلاوی^{۱*}، فرشاد حکیم پور^۲، فرشاد نوریان^۳

^۱ دانشجوی دکتری سیستم های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - دانشگاه تهران
tsilavi@ut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - دانشگاه تهران
fhakimpour@ut.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده شهرسازی پردیس هنرهای زیبا - دانشگاه تهران
fnoorian@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۴، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۵)

چکیده

مسئله معناها در جنبه های مختلفی از مدیریت و تحلیل داده های مکانی اهمیت پیدا می کنند. در این تحقیق معانی مرتبط با بعد مکانی را به دو سطح مرتبط با هندسه و مکان عوارض به صورت منفرد و مرتبط با ترکیب و چینش عوارض در کنار هم تفکیک می نماییم. سطح دوم معانی مکانی-هندسی به دلیل وابستگی به روابط مکانی بین عوارض از پیچیدگیهای خاصی برخوردارند. بر این اساس و با هدف صریح سازی اینگونه معانی در داده های مکانی، قابلیت ها و محدودیتهای پایگاههای داده رابطه ای مکانی بررسی گردیده و در مقابل قابلیت هایی از پایگاههای داده غیر رابطه ای تکنولوژیهای وب معنایی به عنوان راهکار ارائه می گردند. مهمترین محدودیتهای بحث شده در این مقاله عبارت از عدم انعطاف طرح پایگاه داده، عدم انعطاف داده ها، عدم امکان تعریف زیر موجودیت، عدم صریح بودن معانی روابط و عدم امکان بینهایت بودن اتصالات بین جدولی می باشند. پایگاههای داده وب معنایی با ساختاری مبتنی بر گراف قادر به ارائه همزمان بخشی از محاسن پایگاههای داده منطقی، پایگاههای داده شیء گرا و پایگاههای داده شبکه ای می باشند که این موضوع مهمترین کارایی آنها می باشد. در نهایت قابلیت های مورد نظر برای صریح سازی مفهوم «بافت فرسوده شهری» استفاده گردید. این مفهوم که ماهیتی کاملاً غیر هندسی-مکانی دارد بر اساس نشانه هایی که در فرمهای شهری داشته است دارای دو تفسیر کاملاً مکانی-هندسی ریزدانی و نفوذپذیری می باشد که می توانند منجر به صریح سازی نسبی آن در پایگاههای داده مکانی گردند.

واژگان کلیدی: تکنولوژیهای وب معنایی، معانی مکانی، پایگاه داده مکانی، بافت فرسوده

۱- مقدمه

کنسرسیوم وب گسترده جهانی^۱ (W3C) وب معنایی را به عنوان چارچوبی تعریف می‌کند که قابلیت به اشتراک‌گذاری و بازیافت داده‌ها را بین گروه‌ها، کاربردها و برنامه‌های مختلف فراهم می‌کند. این ایده اولین بار توسط تیم برنرز-لی به صورت «یک وب از داده‌ها که بتواند توسط ماشین‌ها پردازش شود» مطرح شد [۱]. برای دستیابی به اهداف وب معنایی به زبانهای بیان داده، پایگاه‌های دانش و پایگاه‌های قانون نیاز می‌باشد که به فناوریهای وب معنایی موسوم هستند و W3C مواردی را در این ارتباط استاندارد کرده است. هدف اصلی فناوریهای وب معنایی فراهم نمودن بستری برای برقراری ارتباطات تحت وب بر اساس ماهیت معناها بین پایگاه‌های داده و منابع اطلاعاتی می‌باشد. خصوصیات منحصر به فردی که این فناوریها در ذخیره‌سازی، ساماندهی و بازیابی داده و دانش در زمینه‌های گوناگون دارند منجر به استفاده از محاسن آنها برای کاربردهای مستقل از وب نیز شده [۲]. هرچند بدیهی است که در تمامی این کاربردها امکان توسعه به محیطهای تحت وب و بکارگیری در وب سرویسها به عنوان یکی از مهمترین محاسن و قابلیت‌هایشان برشمرده شده است. از مهمترین فناوریهای وب معنایی می‌توان به RDF، RDFS، OWL، SPARQL و SWRL اشاره نمود که به ترتیب مربوط به لایه‌های تبادل داده، واژه‌شناسی، هستی‌شناسی، پرسش و قوانین از چارچوب وب معنایی می‌باشند [۴].

در سیستمهای اطلاعات مکانی نیز توانایی نمایش معناهای مرتبط با مکان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این قابلیت منجر به انجام بهتر جستجو، بازیابی و تبدیل اطلاعات مکانی و بازیافت آنها در کاربردهای گوناگون می‌گردد. «معنی» عبارت از تفسیری از داده می‌باشد. به عبارت دیگر منظور ارتباط بین داده با آنچه که نماینده آنست، بر اساس فهمی از موجودیت آن می‌باشد [۵].

تحلیل اطلاعات مکانی که مهمترین وظیفه سیستمهای اطلاعات مکانی است، نیز در بسیاری از جنبه‌ها کاملاً مبتنی بر معناها است که در صورت صریح بودن آنها اینگونه تحلیلها با کیفیت بهتر انجام می‌شوند. از اولین موضوعاتی که در

سیستمهای اطلاعات مکانی تحت تأثیر معانی بوده‌اند، جنرالیزاسیون در کارتوگرافی می‌باشد. معانی که در روابط و داده‌های مکانی موجود هستند می‌توانند مبنای تصمیم‌گیری برای ساده‌سازی بر اساس برخی الگوهای مکانی باشند [۶]. لاشر و همکاران از هستی‌شناسیها بدین منظور استفاده کرده و آنها را پایه تعریف الگوی خلاصه‌سازی در کارتوگرافی قرار دادند. بدین طریق از استنتاج هستی‌شناسی روی پایگاه داده مکانی به منظور کددهی معنایی خودکار داده‌ها استفاده کرده‌اند [۳]. اختصاص خودکار معانی وابسته به روابط مکانی به داده‌های مکانی توسط کلین و همکاران نیز انجام شده است که در روش پیشنهادی آنها معانی بر پایه آنالیزهای مکانی روی داده‌ها استخراج می‌شوند [۲].

کاربردهای دیگری که داده‌های مکانی با استفاده از معانی داشته‌اند در خدمات همراه نظیر ناوبری با تمرکز بر بافت مکانی بوده است [۸]. از دیگر چالشهای مرتبط با معناها در سیستمهای اطلاعات مکانی، تعامل آنها با کاربران و بهبود مشکلات تلفیق داده‌ها از منابع متعدد می‌باشد که هستی‌شناسیها در GIS بیشتر به این منظور به کار گرفته شده‌اند [۹]. مسئله بعد معنایی همچنان از چالشهای فعال در مسائل مرتبط با مکان می‌باشد و امروزه عمدتاً به سمت موضوع سرویسهای مکانی کشیده شده است. گویی و همکاران چارچوب یک موتور جستجو را ارائه نمودند که در آن با استفاده از قوانین جستجوی معنایی و توابع سنجش شباهت هزینه‌های تلفیق داده در جستجوی منابع مکانی کم شده است [۱۰].

در سیستمهای اطلاعات مکانی وظایف اصلی مرتبط با داده‌های مکانی بر عهده پایگاههای داده مکانی است که عمدتاً از نظر بعد هندسی غنی هستند یعنی توانایی ذخیره صریح انواع روابط مکانی-هندسی متریک، توپولوژی، جزئیت^۲ و ترتیبی [۱۱] را دارند. پایگاههای داده مکانی در رابطه با نمایش و تحلیل معانی مکانی بخصوص اگر وابسته به ترکیبی از عوارض باشند و همچنین مسائلی مرتبط با طرح پایگاههای داده^۳ با چالشهایی مواجه هستند که در این مقاله ابتدا به بررسی این چالشها پرداخته و در ادامه به ارائه راه حل‌های موجود در فناوریهای وب معنایی نظیر پایگاههای داده RDF، OWL و پایگاه قوانین معنایی می‌پردازیم. شیبانی و

^۲ Mereology

^۳ Database schema

^۱ World Wide Web Consortium

همکاران در این زمینه برخی از تواناییهای پایگاههای داده وب معنایی نظیر تعامل پذیری، پراکندگی منابع اطلاعاتی و همچنین خلوت بودن اطلاعات در یک ناحیه خاص را در مقابل پایگاههای داده رابطه‌ای بررسی نمودند [۱۲].

در ادامه این مقاله در فصل دوم مسئله معنایی مکانی و منظور اصلی این پژوهش از این مفهوم را بیان می‌کنیم. در فصل سوم چالشهای متعددی که پایگاههای داده از نوع رابطه‌ای مکانی با آنها مواجه هستند به تفصیل بیان گردیده و در فصل چهارم به بررسی قابلیت‌های نوع مدل داده و همچنین پایگاه داده موجود در وب معنایی می‌پردازیم. در فصل پنجم پیاده‌سازی بخشی از قابلیت‌های ذکر شده برای صریح‌سازی مفهوم «بافتهای فرسوده» به عنوان نمونه‌ای از معنایی کاملاً غیر هندسی-مکانی با استفاده از داده‌های مکانی می‌پردازیم. در نهایت در فصل ششم به جمع‌بندی مقاله و پیشنهاد چندین زمینه تحقیقاتی برای آینده پرداخته‌ایم.

۲- معنایی مکانی

مسئله معنایی مرتبط با مکان در دو نوع معنایی توصیفی و معنایی مکانی-هندسی قابل بررسی می‌باشند. منظور از معنایی توصیفی آن مفاهیمی است که مستقل از شرایط مکانی-هندسی هستند نظیر ساختمان "پزشکان"، راه "خاکی"، ایستگاه "سنجش آلودگی" و غیره که با مشاهدات میدانی و یا از طریق پایگاههای داده غیر مکانی قابل سنجش بوده و در سیستمهای اطلاعات مکانی موسوم به اطلاعات توصیفی^۱ هستند.

در مقابل، معنایی مکانی-هندسی آنهایی هستند که بر اساس موقعیت مکانی و شکل هندسی عوارض قابل درک و اندازه گیری می‌باشند. مفاهیمی نظیر راه باریک، کوچه بن بست، بافت ریزدانه، خیابانبندی متعامد، خیابانبندی درختی و غیره که از این نوع می‌باشند. این نوع از معنایی مرتبط با مکان در دوسطح قابل بررسی می‌باشند که عبارتند از معنایی برای عوارض به صورت مفرد و سطح بالاتری که مرتبط با چینش عوارض در کنار هم باشد.

در سطح دوم روابط مکانی بین عوارض بر ایجاد معنایی جدید تأثیرگذار می‌باشند. این سطح از معنایی مکانی را معنایی ضمنی داده‌های مکانی نامیده‌ایم.

به دلیل در اختیار داشتن امکان مشاهده داده‌های مکانی که از تفاوت‌های اساسی این نوع داده با انواع ساده‌تر می‌باشد، بسیاری از معنایی ضمنی مورد نظر با مشاهده نیز قابل درک می‌باشند. این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که نمایش داده مکانی مدلی از دنیای واقعی عوارض است و از آنجا که دنیای واقعی همواره از طریق تجربیات دیداری انسانها درک می‌شود این مدل نمایشی نیز می‌تواند یادآور بسیاری از مفاهیم جاری در فضای واقعی برای مشاهده کننده آن باشد. البته این موضوع به پارامترهای تجربی، ادراکی و استنتاجگری افراد بستگی دارد. به عنوان مثال در شکل ۱.الف تکه‌ای از پلان شهر تهران نمایش داده شده است. اگر از فردی که با بافتهای شهر تهران آشنایی دارد پرسیده شود که کدام بخش این پلان به بافتهای فرسوده تهران اختصاص دارد، پاسخ چه خواهد بود؟ پاسخ احتمالی در شکل ۱.ب با دایره‌های سیاه رنگ نمایش داده شده است. چراکه بافتهای فرسوده تهران عمدتاً مربوط به دوره‌های زمانی هستند که از نظر ساختاری دارای نوع خاصی از چینش ساختمانها، خیابان بندی، شریانهای ارتباطی و امکان دسترسی می‌باشند. در شکل ۱.ج پلان استاندارد شده بافتهای فرسوده تهران برای منطقه مورد نظر دیده می‌شود که لکه‌های سبزرنگ، محدوده مصوب شهرداری تهران برای بافت فرسوده را نشان می‌دهد. این لکه‌ها تا حد زیادی منطبق بر ناهمگونیهای ریخت شهری هستند که یادآور بافتهای فرسوده می‌باشند و در شکل ۱.ب نیز مشخص شده‌اند.

بر این اساس در مورد شرایط فیزیکی بافتهای فرسوده می‌توان گفت بافتهای فرسوده تا حدودی از طریق اطلاعات هندسی-مکانی نقشه‌های پلان قابل درک هستند و چنین به نظر می‌آید که مفهوم «بافتهای فرسوده» به صورت ضمنی و نه به صراحت در پایگاههای داده مکانی موجود می‌باشند.

در این تحقیق به دنبال ارائه قابلیت‌های مدلهای داده موجود در فناوریهای وب معنایی و سایر قابلیت‌های آن به منظور صریح سازی مفاهیمی نظیر «بافت فرسوده» که در داده‌های مکانی به صورت ضمنی موجود هستند، می‌باشیم.

^۱ Attribute



شکل ۱- (الف) بخشی از پلان شهر تهران، (ب) دو محدوده با بافت ریز دانه و درهم، یادآور بافت‌های فرسوده شهر تهران و (ج) دو لکه مشخص شده که محدوده مصوب شهرداری تهران به عنوان بافت فرسوده می‌باشند [۱۲]

۳- چالش‌های معنایی مکانی در پایگاه‌های داده

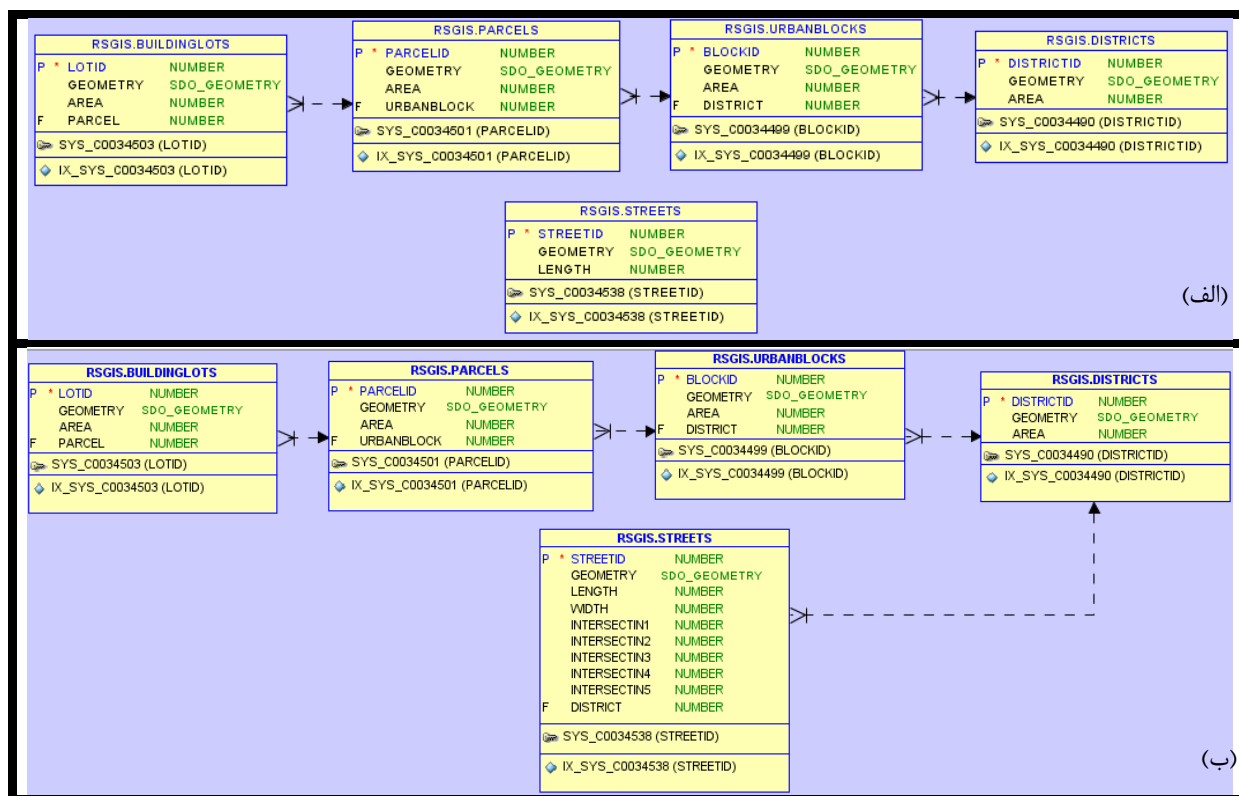
پایگاه‌های داده رابطه‌ای که مرسوم‌ترین روش ذخیره‌سازی داده هستند مبتنی بر یک طرح^۱ مشخص هستند که نوع و مشخصات انواع داده و همچنین روابط بین داده‌ها در آن تعریف می‌شوند. پایگاه داده مکانی نوعی از پایگاه داده است که دربردارنده نوع داده مکانی، زبان پرسش و پاسخ تقویت شده برای داده‌های مکانی بوده و همچنین قابلیت ساخت نمایه^۲ مکانی برای داده‌ها و اتصالات از نوع مکانی بین داده‌ها را دارد [۱۴]. چنین قابلیت‌هایی امکان انجام محاسبات متعددی از نوع اندازه‌گیری مکانی نظیر فاصله بین دو نقطه، توابع مکانی نظیر بافر و اشتراک‌گیری بین پلیگونها، گزاره‌های مکانی نظیر «آیا در ۱۰ کیلومتری نقطه p ساختمان مسکونی وجود دارد؟»، توابع سازنده که مثلاً با گرفتن مختصات رئوس یک پلیگون ساخته شود و توابع بیننده که مشخصات خاصی از عوارض نظیر مختصات مرکز هندسی یک عارضه پلیگونی را فراهم می‌کنند [۱۵]. امکانات برشمرده شده که بخش اصلی وظایف سیستم‌های اطلاعات مکانی را برعهده دارند، همگی بر اساس ساختار جداول اطلاعاتی و روابط تعریف شده بین آنها در پایگاه‌های داده مکانی شکل گرفته‌اند. عملکرد این پایگاه‌های داده در مواجهه با معنایی وابسته به عوارض بر مبنای ذخیره‌سازی آنها در قالب ستون‌هایی از جدول اطلاعاتی عوارض می‌باشد.

مثلاً کاربری پارسل، سال ساخت بنا، نوع راه و غیره که در پایگاه‌های داده مکانی به اطلاعات توصیفی موسوم هستند. در کنار این معنایی نتایج اندازه‌گیریهای مکانی-هندسی نیز می‌توانند در قالب همین ستون‌های اطلاعاتی برای هر عارضه ذخیره شوند که محیط و مساحت پارسل و عرض راه مثالهایی از این نوع می‌باشند. ستون‌های اطلاعاتی ذکر شده در طرح پایگاه‌های داده^۳ معمولاً پیش‌بینی می‌گردند و داده‌های سطرها هنگام ساخت پایگاه داده و یا در مراحل بعدی وارد می‌گردند. مکانیزم تشریح شده دارای چالش‌هایی است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌کنیم:

عدم انعطاف طرح پایگاه داده: بعد از تهیه طرح پایگاه داده با یک مدل داده همگن مواجه هستیم که برای اهداف مشخص تهیه شده است. بر این اساس اگر معنایی داده یا موضوع تغییر نمایند آنگاه ساختار پایگاه داده و در نتیجه نرم-افزارهای توسعه داده شده بر اساس آن نیز می‌بایست دچار تغییر شوند. به عنوان مثال می‌توان به طرح پایگاه داده مکانی پلان شهری اشاره نمود که در شکل ۲.الف نمایی از آن نشان داده شده است. در پایگاه داده وابسته به این طرح امکان ذخیره عرض خیابانها، خیابانهای متقاطع با هر خیابان و همچنین امکان پرسش در مورد مساحت منطقه‌ای که هر خیابان از آن عبور می‌کند، وجود ندارد و برای حل این مسائل لازم است طرح به شکل ۲.ب تبدیل شود.

^۳ Database schema

^۱ Database Schema
^۲ Index



شکل ۲- (الف) طرح پایگاه داده‌ای برای پلان شهری که بر اساس آن امکان ذخیره عرض خیابانها، خیابانهای متقاطع با هر خیابان و پرسش در مورد مساحت منطقه‌ای که هر خیابان از آن عبور می‌کند، وجود ندارد، (ب) طرح اصلاح شده پایگاه داده برای رفع محدودیتهای ذکر شده.

مجازی برای AA در نظر گرفته شود و با برقراری یک رابطه با جدول A برخی اطلاعات عمومی پارسل در آنجا ذخیره می‌شود. این وابستگی دائمی جدول AA به جدول A در پرسش و پاسخ از جدول AA و هرگونه ویرایش در آن که وابسته به ویرایش جدول A نیز ممکن است باشد، یکی از محدودیتهای پایگاههای داده رابطه‌ای است.

عدم صریح بودن معانی روابط: بر خلاف آنچه که از عنوان پایگاههای داده رابطه‌ای به نظر می‌آید، امکان تعریف صریح روابط بین انواع داده به سادگی میسر نیست که این موضوع باعث از بین رفتن بخشی از معانی حاکم بر موضوع می‌گردد. به عنوان مثال می‌توان به روابط جزئیت^۲ و توپولوژی^۳ که جزء خواص داده‌های مکانی هستند اشاره نمود. برای ذخیره سازی رابطه توپولوژیکی نظیر «تقاطع خیابانها» بین خیابانهای ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب آمده در جدول ۱ عمل می‌کنیم. رابطه تقاطع داشتن یک رابطه دو طرفه است یعنی اگر خیابان ۱ با خیابان ۲ تقاطع داشته باشد بالعکس آن نیز برقرار است. ذخیره‌سازی این رابطه در

عدم انعطاف داده‌ها: داده‌های ذخیره شده در پایگاه داده کاملاً مبتنی بر طرح پایگاه داده جمع‌آوری و ساماندهی می‌شوند. به عبارت دیگر طرح، قیود متعددی از قبیل نوع داده، اجازه خالی بودن یک خانه از جدول، تعداد اقلام اطلاعاتی و مواردی دیگر را بر روند برداشت داده اعمال کرده و از این رو ممکن است زمان اضافی برای پردازش و آماده‌سازی داده‌ها نیاز باشد. به عنوان مثال اگر یک پارسل به دلایل مختلف کد ثبت شده از نوع عدد نداشته باشد امکان آن وجود ندارد که از پلاک شهرداری یا شناسه دیگری که شامل حروف است برای آن استفاده شود. به دلیل آنکه ستون مربوطه از نوع کلید اولیه^۱ می‌باشد امکان خالی بودن نیز وجود ندارد.

عدم امکان تعریف زیر موجودیت: اگر موجودیت AA نوعی از موجودیت A باشد (مثلاً پارسلهای فرسوده نوعی پارسل هستند) و برخی اقلام اطلاعاتی منحصرأً برای AA نیاز باشند (عمر بنا، جنس بنا، درجه فرسودگی، درجه ریسک زمین‌لرزه) آنگاه بر اساس قوانین نرمالیزاسیون پایگاههای داده رابطه‌ای لازم است تا جدول

^۲ Mereology
^۳ Topology

^۱ Primary key

قالب یک ستون اطلاعاتی مانع از بیان صریح مفهوم «دو طرفه بودن رابطه تقاطع» می گردد و پایگاه داده ملزم به ذخیره رابطه بالعکس (تقاطع خیابان ۲ با خیابان ۱) در یک ردیف جدید می گردد. این روش با وجود اعمال افزونگی بر پایگاه داده همچنان از بیان صریح مفهوم تقاطع ناتوان است.

چراکه در اختصاص عنوان به فیلدها دچار محدودیت تعداد حروف هستیم و مجبوریم بخشی از معنی را بیان نکنیم. مثلاً INT1 به جای HasIntersectionWith و همچنین شماره گذاری روابط برای تکثیر آن (Int1, Int2 و غیره) که منجر به حذف بخشی از صراحت معنی تقاطع می گردد.

جدول ۱- جدول ذخیره سازی داده های مربوط به خیابانها با در نظر گرفتن حداکثر ۵ تقاطع برای هر خیابان

Streetid	Geometry	Length	Width	Int...1	Int...2	Int...3	Int...4	Int...5	District
1	Sdo_geometry	1253.26	45	2	3	4			12
2	Sdo_geometry	895.65	35	1	4	5	6		12
3	Sdo_geometry	952.34	35	1	5				12
4	Sdo_geometry	1101.4	45	1	2	6			12

مثال دگر در مورد بخش دیگری از روابط بین داده های مکانی است که آنها را تحت عنوان روابط جزئیت می شناسیم. به عنوان مثال «هر بلوک شهری شامل مجموعه ای از پارسل های به هم متصل می باشد». برای ذخیره سازی داده های مربوط به شمول پارسل در بلوک، ستونی تحت عنوان بلوک به جدول پارسلها اضافه شده است و جدول بلوکها از طریق یک رابطه کلید خارجی^۱ یک به چند به جدول پارسلها متصل شده است. همین نوع رابطه بین بلوک و منطقه شهرداری نیز برقرار است. حال برای پاسخ به پرسشی در مورد کلیه پارسل های قرار گرفته درون یک منطقه می بایست از دستوری از نوع اتصال^۲ استفاده کرد که در زیر آورده شده است (این پرسش بر اساس پایگاه داده شکل ۲.ب نوشته شده است).

بر دانش باید در نرم افزار کدنویسی شوند یا توسط عامل انسانی انجام شوند. امکان استفاده از پایگاه های قانون برای پایگاه های داده وجود ندارد که این موضوع تفاوت عمده سیستم های پایگاه داده با سیستم های خبره است. به عنوان مثال می خواهیم بیان کنیم اگر خیابانی عرض بیش از ۴۰ متر و طول بیش از ۱۰۰۰ متر داشت یک «خیابان اصلی» است و در غیر این صورت «خیابان فرعی» است. راهکاری که برای انتساب چنین مفاهیمی وجود دارد اینست که از طریق یک پرسش SQL اجزایی که چنین شرطی را دارند پیدا کرده و در یک ستون جدید مفهوم را اختصاص دهیم. نمونه این پرسش در زیر قرار داده شده است (این پرسش بر اساس پایگاه داده شکل ۲.ب نوشته شده است).

```
ALTER TABLE streets
ADD mainstreet int;
UPDATE streets SET mainstreet=0;
UPDATE streets SET mainstreet=1
WHERE length>1000 AND width>40;
```

```
SELECT p.parcelid, d.districti
FROM parcels p JOIN urbanblocks b
ON p.urbanblock=b.blockid
JOIN district d ON
d.districtid=b.district;
```

اگر رابطه جزئیت همچنان به اجزاء بیشتری نظیر ساختمانهای درون پارسلها و یا در طرف مقابل به شهرها و استانها ادامه یابد در پرسشها نیز باید از اتصالاتی متوالی بیشتری استفاده کرد که بر پیچیدگی پرسش افزوده می شود. این موضوع در حالیکه رابطه بین دو به دوی این جداول مرتبط با مفهوم یکتای «شامل بودن (جزئیت) مکانی» است. **عدم امکان بینهایت بودن اتصالات بین جدولی:** پایگاه های داده امکان محدودی برای ذخیره سازی و استفاده از «دانش زمینه» دارند و قوانین ارزیاب و استنتاجگر مبتنی

به عنوان مثال اگر مفهوم مورد نظر «خیابانهای فرعی متصل به هم» باشد، به دنبال آن هستیم که کلیه خیابانهای از نوع فرعی را که در یک زنجیره واحد در پی هم هستند به طریقی تشخیص داده و در پایگاه داده وارد کنیم (شکل ۳). برای یافتن آنها بر اساس ساختار متداول پایگاه های داده که نمونه ای از آن در شکل ۲ نشان داده شده است، چندین محدودیت مشخص داریم که اولین آنها نیازمندی به در اختیار داشتن کلیه تقاطعهای یک خیابان با سایر خیابانها است.

^۱ Foreign key
^۲ Join

۴- راهکار مبتنی بر استفاده از فناوریهای وب معنایی

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش دو در مورد معانی مکانی و سطح پیچیدگی آنها و همچنین محدودیتهایی که پایگاههای داده مکانی در نمایش و صریح سازی آنها دارند، در این بخش به بررسی قابلیت های نوع دیگری از مدل داده و همچنین پایگاه داده می پردازیم که در مجموعه فناوریهای وب معنایی قرار می گیرند.

۴-۱- مدل داده RDF

یک جمله داده در مدل RDF^۱ که به آن سه گانه RDF نیز می گویند به صورت (s, p, o) تعریف می شود. در این سه گانه s فاعل یا موضوع، p رابطه یا خاصیت و o مفعول، شیء یا مقدار می باشند. سه گانه ها می توانند یک یال برای یک گراف جهت دار که گره های دو سر آن موضوع و شیء هستند، باشند و بر این اساس گراف RDF تشکیل می شود [۱۷]. زبانهای پرسش و پاسخ متعددی برای استفاده در RDF ایجاد شده اند که می توان به SPARQL [۱۷] اشاره نمود که توسط W3C نیز به عنوان استاندارد معرفی شده است [۱۸]. نمونه ای از تشریح داده با مدل داده RDF و یک پرسش به زبان SPARQL در سطرهای اول و دوم جدول ۲ آورده شده است.

۴-۲- زبان هستی شناسی OWL

در وب معنایی سطح بالاتری از بیان داده نیز وجود دارد که به هستی شناسیها^۲ موسوم هستند. در این سطح تلفیقی از بیان داده و دانش در کنار هم وجود دارد و زبان استاندارد آن OWL^۳ نام دارد [۲۰]. استنتاجهای منطقی بیشتری نسبت به RDF در OWL بکار گرفته شده است و اتکای آن بر منطق توصیفی (DL)^۴ است. توسعه قابلیت توصیفگری کلاسها، اجازه تعریف کلاسها بر اساس روابط منطقی نظیر اشتراک، اجتماع و متمم و همچنین خواص جدیدی برای رابطه ها نظیر دوطرفه بودن^۵، متعددی بودن^۶، تابعی بودن^۷ و معکوس بودن^۸ و غیره از مهمترین تفاوت های OWL با RDF است [۲۱].



شکل ۳- خطوط ضخیم نمونه ای از خیابانهای فرعی که در یک زنجیره واحد به یکدیگر متصل هستند را نشان می دهند.

اگر بخواهیم مطابق طرح پایگاه داده آمده در شکل ۲.ب عمل کنیم با محدودیت تعداد ستون برای خیابانهای که با بیش از پنج خیابان دیگر تقاطع دارند، مواجه هستیم و اگر بخواهیم طرح را تغییر داده و به تعداد ستونها اضافه کنیم، این کار تا کجا باید ادامه پیدا کند؟ افزودن تعداد ستونها پایگاه داده را با حجم زیادی از داده های خالی برای خیابانهای که تا این حد تقاطع ندارند مواجه می کند. حتی با فرض اینکه تعداد ستونها در حدی باشند که کلیه تقاطعها را ذخیره کنند آنگاه در نحوه تعریف اتصال در پرسش SQL با مشکل مواجه هستیم که این مشکل در مثال زیر نشان داده شده است (این پرسش بر اساس پایگاه داده شکل ۲.ب و با توجه به نتیجه پرسش قبل نوشته شده است):

```
SELECT a.streetid, b.streetid
FROM streets a JOIN streets b ON
a.intersection1=b.streetid
OR a.intersection2=b.streetid
OR a.intersection3=b.streetid
OR a.intersection4=b.streetid
OR a.intersection5=b.streetid
WHERE a.mainstreet=0 AND
b.mainstreet=0;
```

بر اساس کد آمده در بالا هر دو خیابان فرعی که متقاطع باشند فهرست می شوند. حال اگر بخواهیم سایر خیابانهای را که در ادامه این توالی هستند پیدا کنیم باید جملات SELECT و FROM را ادامه داده که علاوه بر افزایش پیچیدگی پرسش، از آنجا که از تعداد اجزای این زنجیره ها مطلع نیستیم، نهایی برای توسعه این پرسش متصور نیست. این مسئله بی نهایت بودن اتصالات بین جدولی یکی از نقاط ضعف اصلی پایگاههای داده رابطه ای است [۱۶] و در روابط مکانی نیز کاربردهای زیادی دارد.

^۱ Resource Description Framework

^۲ Ontology

^۳ Web Ontology Language

^۴ Description Logic

^۵ Symmetric

^۶ Transitive

^۷ Functional

^۸ Inverse

۳-۴- پایگاه قانون

در معماری وب معنایی لایه دیگری وجود دارد که پایگاه قانون نام دارد. هدف این لایه بکارگیری قابلیت استفاده از دانش موجود به صورت کاملاً توصیفگر برای استنتاج دانش جدید می‌باشد [۱]. قوانین در وب معنایی بیان کننده آن بخشی از دانسته‌های موجود هستند که با وجود آنکه نوعی رابطه بین دو پدیده را بیان می‌کنند، قابلیت بیان آنها با زبانهای RDF و OWL وجود ندارد. یک قانون با یک نام و سه جزء اساسی هویت می‌یابد که عبارتند از:

بخش مقدم: بخش پیشفرض یک قانون است که به واسطه آن یک قانون شروع به جریان می‌کند.
فیلتر اختیاری: شرطی که بر اساس آن جریان قانون محدودتر عمل می‌کند.
بخش تالی: نتیجه‌ای که بر اساس قانون صحیح می‌باشد.
برای بکارگیری قانونها در فناوری وب معنایی به زبانهایی نظیر SWRL^۱ برای پیاده‌سازی نیاز هست که توسط W3C استاندارد شده است [۲۲].

جدول ۲- سطر اول: داده‌های مساحت و جمعیت مربوط به ۳ پارسل به زبان RDF، سطر دوم: نمونه‌ای از یک پرسش SPARQL که به دنبال یافتن شناسه و مساحت پارسلهایی است که جمعیت ساکن بیش از ۲۰ نفر دارند

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:prop="http://dbpedia.org/property#"
  <rdf:Description rdf:about="#parcel1">
    <rdfs:label>parcel1</rdfs:label>
    <prop:hasarea>1000</prop:hasarea>
    <prop:population>30</prop:population>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="#parcel2">
    <rdfs:label>parcel2</rdfs:label>
    <prop:hasarea>1200</prop:hasarea>
    <prop:population>18</prop:population>
  </rdf:Description>
</rdf:RDF>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX prop: <http://dbpedia.org/property/>
SELECT ?parcelid ?area
WHERE {
  ?parcel rdfs:label ?parcelid ;
          prop:hasarea ?area .
  FILTER (?population > 20) .}
```

۴-۴- قابلیت‌های فناوریهای وب معنایی در حل چالشهای پایگاههای داده

در این بخش با مروری بر محدودیتهایی که در بخش ۳ برای پایگاههای داده بیان گردید و با توجه به قابلیت‌هایی که از فناوریهای وب معنایی در این بخش ارائه گردید به بررسی نقش این فناوریها در رفع محدودیتهای مورد نظر می‌پردازیم. در اینجا ضمن اشاره مختصری به چالشهای مطرح شده در بخش ۳ در ادامه به تشریح نحوه رفع محدودیت می‌پردازیم:

عدم انعطاف طرح پایگاه داده: در پایگاه داده RDF امکان افزودن هر جمله جدید که علت آن می‌تواند مواردی

نظیر توسعه نیازها، تلفیق با منابع داده جدید، تغییر دیدگاه کاربران، بهبود مدل مفهومی و غیره باشد، وجود دارد. این کار در اینجا برخلاف پایگاههای داده رابطه‌ای که در آنها نگران وجود جدول یا ستون اطلاعاتی مربوطه هستیم به راحتی یک افزودن^۲ ساده است. مثال زیر این کار را در یک پایگاه داده معنایی اوراکل نشان داده است. در این دستور بدون نگرانی از وجود جدولی برای خیابانها و یا ستونی برای عرض آنها، عرض خیابان شماره "۱" برابر ۴۵ وارد شده است.

^۱ Semantic web Rule Language

^۲ Insert

«خاصیت مسیر»^۱ در زبان SPARQL 1.1 گنجانده شده است [۲۲].

عدم امکان بینهایت بودن اتصالات بین جدولی:

این مشکل تحت عنوان بازگشتی بودن^۲ رابطه در پایگاههای داده RDF و OWL با بکارگیری قوانین مرتفع می‌گردد. پایگاههای قانون منجر به بکارگیری واضح و صریح دانش در پایگاههای داده RDF شده و منجر به نزدیکی بیشتر بین محتوای داده و مدل دنیای واقعی می‌گردند. برای مثالی مشابه آنچه که در بخش ۳ در رابطه با مفهوم «خیابانهای فرعی متصل به هم» بیان گردید می‌توان قوانینی به شکل آمده در زیر تعریف نمود:

```
Rule1:(?x :type :AuxiliaryRoad)
^ (?y :type :AuxiliaryRoad) ^
  (?x :HasIntersectionWith ?y)
⇒ (?x :FollowOn ?y)

Rule2:(?x :type :AuxiliaryRoad)
^ (?y :type :AuxiliaryRoad) ^
  (?z :type :AuxiliaryRoad) ^
  (?x :FollowOn ?y) ^
  (?y :FollowOn ?z)
⇒ (?x :FollowOn ?z)
```

با برقراری این دو قانون می‌توان کلیه خیابانهای فرعی را که در یک زنجیره دنبال هم قرار گرفته‌اند پیدا نمود. همچنین با روندی مشابه می‌توان مفهوم «پارسلهای هم-بلوک» را در شرایطی که شناسه بلوک برای پارسلها ثبت نشده باشد و به جای آن کلیه همسایگان هر پارسل موجود باشند، پیاده‌سازی نمود.

۴-۵- قابلیت‌های فناوریهای وب معنایی در مدلسازی انواع روابط مکانی

در اینجا به ذکر قابلیت‌های وب معنایی در بکارگیری انواع روابط مکانی می‌پردازیم. انواع روابط مکانی عمدتاً به سه گروه توپولوژیک، متریک و ترتیبی (نظیر مقابل بودن، زیر بودن، پس از هم بودن و غیره) تفکیک می‌شوند. روابط توپولوژیک و ترتیبی با توجه به اینکه عنوان و نام مشخص دارند به صراحت می‌توانند از طریق مدل داده RDF بین هر دو عارضه بیان گردند. در مورد رابطه متریک که منظور آن بیان داده‌های از نوع فاصله و جهت است می‌بایست از

```
INSERT INTO streets_rdf_data
VALUES (1,SDO_RDF_TRIPLE_S
('city','<1>',
'<hasWidth>','45^^http://www.w3.or
g/2001/XMLSchema#int'));
```

با این قابلیت می‌توان داده‌های مرتبط با منابع و زمینه‌های متعدد را وارد پایگاه داده نمود.

عدم انعطاف داده‌ها: همانطور که در بخش قبل نیز گفته شد ورود داده‌ها با هر نوع و یا حتی عدم ورودشان کاملاً اختیاری است. در این نوع پایگاههای داده طرحی مبتنی بر قیود برای چک داده‌های ورودی وجود ندارد. بر این اساس می‌توان برای برخی عوارض جدید شناسه دلخواه اختصاص داد و برخی از داده‌ها را در صورتیکه اطلاعی از آنها در دسترس نباشد، اصلاً وارد نکرد.

عدم امکان تعریف زیر موجودیت: این مشکل پایگاههای داده رابطه‌ای در پایگاههای داده شیء‌گرا از طریق خاصیت وراثت رفع شده است. یعنی در آنها AA زیرکلاسی برای A می‌باشد و هر خصوصیتی که در A تعریف شده باشد به کلاس AA نیز ارث می‌رسد. علاوه بر پایگاههای داده شیء‌گرا پایگاههای داده OWL نیز از چنین خصوصیتی برخوردارند که این موضوع مبتنی بر قابلیت تعریف موجودیتها به عنوان کلاس و زیر کلاس است. تعریف هر خصوصیتی برای کلاس حتماً برای زیر کلاس نیز تعریف می‌شود.

عدم صریح بودن معانی روابط: پایگاههای داده RDF و OWL بر خلاف پایگاههای داده رابطه‌ای روابط بین موجودیتها را با صراحت بیشتر و شباهت بیشتر به مدل مفهومی زمینه بیان می‌کنند. مثلاً رابطه‌ای نظیر «تقاطع داشتن» یک بار به عنوان رابطه یک به چند و با خاصیت متقارن بودن بین موجودیت خیابان با خودش تعریف شده و بعد بین هر دو نمونه دلخواه از خیابانها به صورت نامحدود برقرار می‌گردد. همین موضوع برای بیان روابطی نظیر «همسایه بودن» بین پارسلها که رابطه‌ای متقارن و «شامل بودن» پارسل به بلوک و بلوک به منطقه که رابطه‌ای متعدی است نیز قابل بیان می‌باشد. یعنی می‌توان بر اساس دو گزاره «بلوک شامل پارسل است» و «منطقه شامل بلوک است» به پرسش در مورد پارسلهای درون یک منطقه پرداخت. این خاصیت تحت عنوان

^۱ Property Path

^۲ Recursive

توسعه مکانی مدل داده RDF نظیر GeoSPARQL استفاده نمود که در بخش بعد نمونه‌ای از نحوه تشریح متریک یک پلیگون آورده شده است. برای محاسبه سایر خواص متریک نظیر فاصله می‌توان از توابع مکانی در GeoSPARQL که بدین منظور تهیه شده‌اند نظیر geof:distance استفاده نمود.

۵- پیاده‌سازی

در این بخش به پیاده‌سازی بخشی از قابلیت‌های ذکر شده برای صریح‌سازی نمونه‌ای از معنایی مستخرج از داده‌های مکانی می‌پردازیم. مفهوم مورد نظر ما «بافتهای فرسوده» در محیط شهری می‌باشد که مفهومی کاملاً غیر هندسی-مکانی بوده و بر اساس ساختار فیزیکی و نمودهایی که این بافتها در پلان شهری داشته‌اند سه شاخص اصلی برای تشخیص یک بلوک به عنوان بافت فرسوده مدون شده است [۲۳: ۱] دست کم ۵۰ درصد املاک آن دارای مساحت کمتر از ۲۰۰ متر مربع باشند (ریزدانگی)، ۲ دست کم ۵۰ درصد معابر آن کمتر از ۶ متر مربع باشند (نفوذناپذیری) و ۳ دست کم ۵۰ درصد ساختمان‌ها فاقد سیستم سازه مناسب باشند (ناپایداری). از سه معیار ذکر شده معیارهای ریزدانگی و نفوذناپذیری در واقع تفسیری هندسی-مکانی از مفهوم غیر هندسی-مکانی «بافتهای فرسوده» می‌باشند و به دلیل وابستگی به داده‌های مکانی عوارض شهری و رابطه‌های مکانی بین آنها از جمله معنایی مکانی می‌باشد که متضمن در داده‌های مکانی پلان شهری است.

در ادامه برای ذخیره‌سازی داده‌های مکانی و پیاده‌سازی این مفهوم از روشی مبتنی بر فناوریهای وب معنایی در محیط پایگاه داده اوراکل استفاده نموده‌ایم که در نسخه 12c از هر دو نوع داده مکانی و معنایی حمایت می‌کند. تلفیق دو نوع داده مکانی و معنایی باهم تحت عنوان استاندارد ژئوسپارکل^۱ از محصولات OGC می‌باشد که پایگاه داده اوراکل از این استاندارد استفاده کرده است. داده‌های مکانی برای محدوده‌ای بسیار کوچک در منطقه ۱۲ تهران که در شکل ۱ الف نشان داده شده است وارد پایگاه داده گردید. داده‌های اولیه وارد شده برای پارسلهای و خیابانهای محدوده شامل شناسه آنها، مشخصه مکانی آنها، مساحت پارسلهای، عرض خیابانها، رابطه متقابل بین دو به دوی پارسلهای متصل

^۱ GeoSPARQL

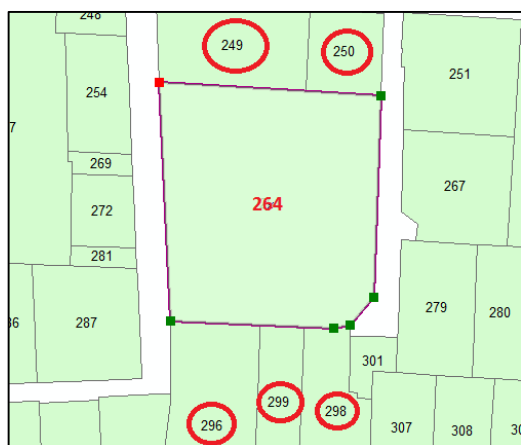
بههم، رابطه متقابل بین دو به دوی خیابانهای متقاطع، و غیره می‌باشند. کلیه داده‌های مورد نظر با ساختار RDF وارد پایگاه داده گردیدند. نمونه داده RDF مربوط به مشخصه مکانی پارسل با شناسه p1 در زیر نشان داده شده است.

```
<extent:p1> <extent:hasGeometry>
"Polygon((7680.8 50175.5, 7694.8
50175.1, 7693.8 50159.2, 7679.8
50160.7))"^^<http://xmlns.oracle.c
om/rdf/geo/WKTLiteral>
```

نمونه داده RDF مربوط به رابطه اتصال بین پارسل در زیر نمایش داده شده است:

```
<extent:p1> <extent:touches>
<extent:p2>
```

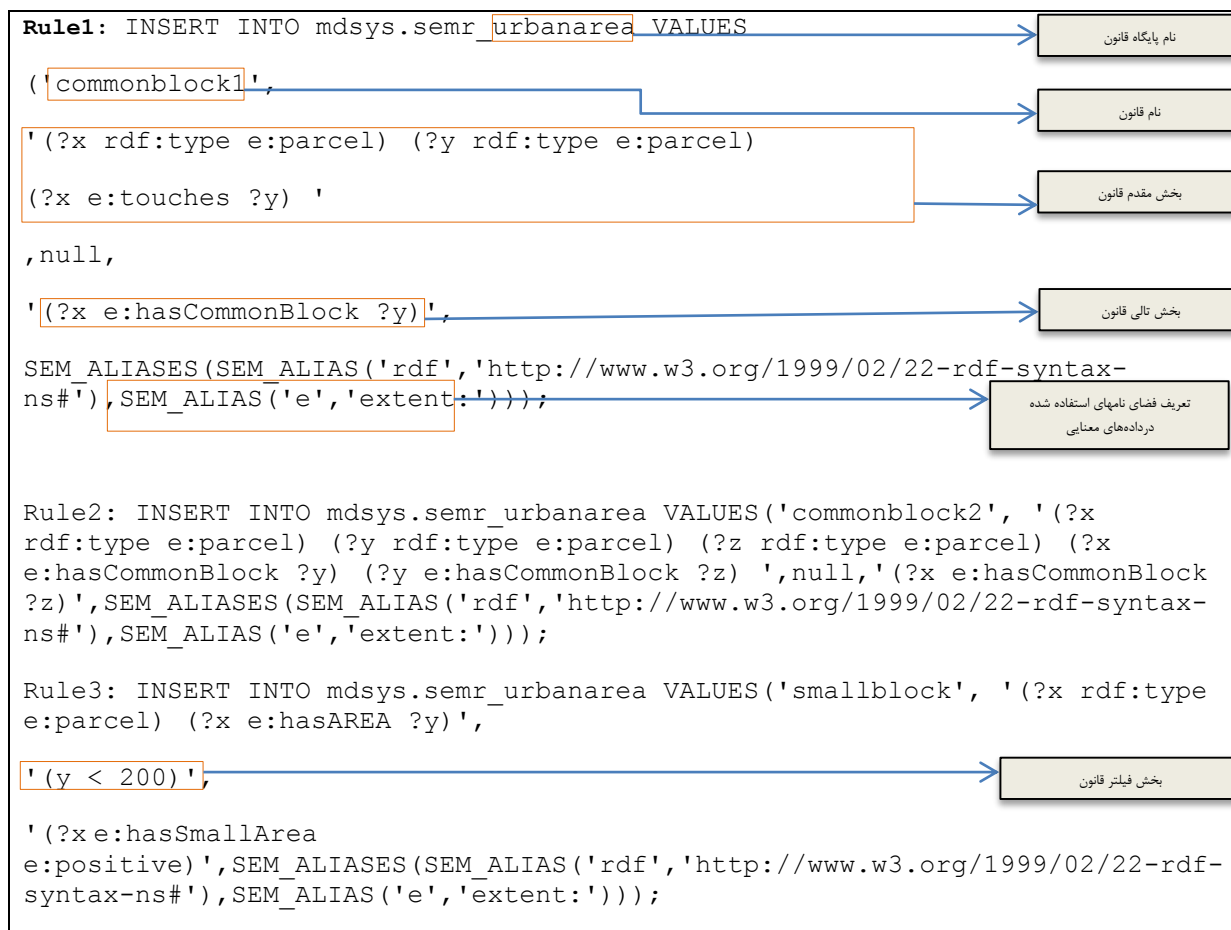
در شکل ۴ یک پارسل با رئوس تعیین کننده مشخصه مکانی آن و همسایگان متصل به آن نمایش داده شده است.



شکل ۴- پارسل p264، رئوس تعیین کننده مشخصه هندسی آن و پارسلهای p249، p250، p298، p299 و p296 که رابطه touches با p264 دارند

لازم به توضیح است که داده‌های مرتبط با رابطه متقابل پارسلهای و خیابانها از نوع داده‌هایی هستند که مطابق با مشکلات عدم صریح بودن معنایی روابط و عدم امکان بینهایت بودن اتصالات بین جدولی تشریح شده در فصل سوم، امکان پیاده‌سازی صریح آنها در پایگاههای داده رابطه‌ای موجود نیست.

در ادامه علاوه بر داده‌های RDF یک پایگاه قانون نیز برای اعمال مفاهیم «زنجیره‌ای از خیابانهای فرعی متقاطع» و «پارسلهای متصل بههم (هم بلوک بودن)» مورد نیاز می‌باشند. قوانین مورد نیاز برای «پارسلهای هم بلوک» در Rule1 و Rule2 و همچنین قانون مربوط به تعریف بلوکهای با مساحت کمتر از ۲۰۰ مترمربع در Rule3 به شکل آمده در زیر می‌باشند:



`pCount` ذخیره می‌کند. همچنین پرسش `Query2` با یک تفاوت نسبت به `Query1` تعداد پارسلهایی را که در بلوک مورد نظر مساحت کمتر از ۲۰۰ متر مربع دارند محاسبه کرده و در `smallpCount` ذخیره می‌کند. با محاسبه میزان درصد `smallpCount` نسبت به `pCount` می‌توان برقراری شرط ریزدانی برای بلوکی که نقطه مورد پرسش در آن واقع شده است را بررسی کرد. مشابه این دو می‌توان تعداد کل خیابانهای همسطح (فرعی) اطراف نقطه مورد پرسش و درصد خیابانهای با عرض کمتر از ۶ را نیز برای بررسی نفوذپذیری محدوده به دست آورد.

مشابه چنین قوانینی برای خیابانهای فرعی (همسطح) متصل به هم و همچنین خیابانهای با عرض کمتر از ۶ نیز وارد می‌شوند. با توجه به تشریحی که از خاصیت بازگشتی بودن روابط و عدم امکان در نظر گرفتن چنین خاصیتی در پایگاههای داده رابطه‌ای در فصل چهارم داشتیم و نیز عدم امکان تعریف قوانین توصیف کننده بازگشتی بودن و تکراری بودن روابط در ساختار پایگاههای داده رابطه‌ای، این دو مسئله مهمترین مزیت استفاده از مدلهای داده و پایگاههای داده وب معنایی برای صریح‌سازی مفهوم «بافتهای فرسوده» محسوب می‌شوند.

در مرحله بعد می‌توان با چند پرسش با زبان SPARQL به محاسبه درصد پارسلهای با مساحت کمتر از ۲۰۰ مترمربع و خیابانهای فرعی با عرض کمتر از ۶ متر پرداخت که در اینجا دو پرسش `Query1` و `Query2` به عنوان مثال آورده شده‌اند. این دو پرسش به دنبال بررسی وضعیت ریزدانی اطراف نقطه‌ای با مختصات `x=7651.6` و `y=50105.8` می‌باشند. بدین منظور پرسش `Query1` پارسل‌هایی که نزدیکترین فاصله تا نقطه مورد نظر دارد را پیدا کرده و بعد تعداد کلیه پارسلهای هم بلوک آن را در

Query 1:

```
SELECT *
FROM table(sem_match)
'SELECT count (?x) as ?pCount
WHERE
{
?x :hasCommonBlock ?p.
?p orageo:hasGeometry ?cgeom
FILTER (orageo:nearestNeighbor(?cgeom,"POINT(7651.6 50107.8)
"^^orageo:WKTLiteral,"sdo_num_res=1"))},
SEM_MODELS('city'),
SEM_Rulebases('RDFS','urbanarea'),
SEM_ALIASES(
SEM_ALIASES(SEM_ALIAS('e','extent:'),null));
```

Query 2:

```
SELECT *
FROM table(sem_match(
'SELECT count (?x) as ?smallpCount
WHERE
{
?x e:hasCommonBlock ?p.
?x e:hasSmallArea e:positive.
?p orageo:hasGeometry ?cgeom
```

...مشابه Query1...

pCount	smallpCount
53	
	8

رابطه پایگاه داده اوراکل با دستورات SPARQL

۶- جمع‌بندی و ادامه پژوهش

در این مقاله به منظور صریح‌سازی معنایی متضمن در داده‌های مکانی به تشریح محدودیتهای پایگاههای داده مکانی رابطه‌ای که در ذخیره‌سازی داده‌های مکانی مرسوم هستند، پرداختیم. منظور ما از معنایی متضمن یعنی آنچه که از داده‌های مکانی قابل استنباط است اما به صراحت در پایگاه داده بیان نشده است. مفاهیم و تعبیر زیادی وجود دارند که می‌توان آنها را به نوعی مفاهیمی پیچیده دانست که در یک پایگاه داده مکانی به صراحت قابل تشخیص نمی‌باشند اما به صورت ضمنی در آنها موجود هستند که علت آن وابستگی این مفاهیم به ساختار مکانی- هندسی و روابط مکانی بین عوارض می‌باشد.

در مرحله بعد به تشریح تکنیکهای جبران محدودیتهای پایگاه‌های داده رابطه‌ای بر اساس قابلیت‌های

موجود در فناوریهای وب معنایی پرداختیم. پایگاههای داده وب معنایی با ساختاری مبتنی بر گراف قادر به ارائه همزمان محاسن پایگاههای داده منطقی نظیر حمایت از پایگاههای قانون برای استنتاج، پایگاههای داده شیء‌گرا نظیر حمایت از کلاسها و زیرکلاسها و پایگاههای داده شبکه نظیر مدلسازی ارتباطات برای عوارضی نظیر راهها می‌باشند که این موضوع مهمترین مزیت آنها می‌باشد.

در این ارتباط مفهوم «بافت فرسوده شهری» را به عنوان مفهومی غیر هندسی- مکانی که تفاسیری هندسی- مکانی از آن ارائه شده است انتخاب کرده و روشی برای صریح‌سازی این مفهوم در اطراف یک نقطه با مختصات معلوم ارائه نمودیم. پیاده‌سازی این روش با استفاده از قابلیت‌های پایگاه داده مکانی- معنایی سیستم اوراکل که از فناوریهای وب معنایی مورد نظر ما در کنار نوع داده مکانی و تحلیلهای مکانی حمایت می‌کند، انجام شد. چالشهای متعددی در

که مدل داده پیوسته در وب معنایی ارائه می‌دهد تمرکز بیشتری نمود. همچنین قابلیت‌های تحلیلی متعددی در فضای پایگاه‌های داده گراف وجود دارند که بررسی توان بکارگیری آنها برای داده‌های مکانی بیان شده در ساختار گراف در ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌شود.

زمینه این تحقیق وجود دارند که می‌توانند در ادامه مورد بررسی قرار بگیرند. از جمله می‌توان به بررسی جامع کلیه معانی قابل استنباط از داده‌ها و روابط مکانی پرداخت و چارچوبی اجرایی برای صریح‌سازی این معانی در پایگاه‌های داده مکانی ارائه نمود. در اینجا می‌توان بر قابلیت‌های متعددی

مراجع

- [1] T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila, "The semantic web," Scientific American, vol. 284, pp. 34-43, 2001.
- [2] E. Klien and M. Lutz, "The role of spatial relations in automating the semantic annotation of geodata," presented at the atial Information Theory (COSIT), Ellicottville, NY, 2005.
- [3] P. Lüscher, R. Weibel, and D. Burghardt, "Integrating ontological modelling and Bayesian inference for pattern classification in topographic vector data," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 33, pp. 363-374, 2009.
- [4] M. R. Koivunen and E. Miller, "W3C Semantic Web Activity," in Semantic Web Kick-off in Finland, Vision, Technologies, Research and Applications, Finland, 2001, pp. 27-41.
- [5] F. Hakimpour and A. Gepperd, "Resolving Semantic Heterogeneity in Schema Integration: an Ontology Based Approach," presented at the Formal Ontology in Information Systems, Ogunquit, Maine, USA, 2001.
- [6] K. E. Brassel and R. Weibel, "A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization," International Journal of Geographical Information Systems, vol. 2, pp. 229-244, 1988.
- [7] W. A. Mackaness and A. Ruas, "Evaluation in the Map Generalisation Process," in Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications, 2007, pp. 89-111.
- [8] L. Meng, A. Zipf, and S. Winter, "Map-based Mobile Services: Design, Interaction and Usability," in Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, ed Berlin: Springer, 2008.
- [9] P. Agarwal, "Ontological considerations in GIScience," International Journal of Geographical Information Science, vol. 19, pp. 501-536, 2005.
- [10] Z. Gui, C. Yang, J. Xia, K. Liu, C. Xu, J. Li and P. Lostritto. "A performance, semantic and service quality-enhanced distributed search engine for improving geospatial resource discovery". International Journal of Geographical Information Science. vol. 27, pp.1109-1132, 2013.
- [11] M. J. a. F. Egenhofer, R.D., "Point-set topological relations," International journal of geographical Information Systems, vol. 5, pp. 161-174, 1991.
- [12] R. Arabsheibani, F. Hakimpour. Spatial Semantic Web, a Framework for affordance-based POI's Information Storage and Retrieval. JGST. Vol. 3 (4), pp. 29-40, 2014
- [13] Tehran State Roads and Urban Development Administration, Available: <http://www.trudo.ir/fa/omran/maps/map>
- [14] R. H. Güting, "An Introduction to Spatial Database Systems," VLDB Journal, vol. 3, pp. 357-399, 1994.
- [15] P. K. Singh, Database management system concepts. New Delhi: V. K. (India) Enterprises, 2009.
- [16] S. Greco and C. Molinaro, Datalog and Logic Databases: Morgan & Clatpool Publishers, 2016.
- [17] M. S. Perry, "A Framework to Support Spatial, Temporal and Thematic Analytics over Semantic Web Data," A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Wright State University, 2008.
- [18] E. Prud'hommeaux and A. Seaborne, "SPARQL query language for RDF, W3C recommendation," 2008.
- [19] M. Dean and G. Schreiber. (2004). OWL Web Ontology Language Reference W3C Recommendation. Available: <http://www.w3.org/tr/owl-ref/>
- [20] I. Horrocks, P. F. Patel-Schneider, and F. V. Harmelen, "From SHIQ and RDF to OWL: The making of a web ontology language," Journal of Web Semantics, vol. 1, pp. 7-26, 2003.
- [21] I. Horrocks, P. F. Patel-Schneider, H. Boley, S. Tabet, B. Groszof, and M. Dean, "SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML," 21 May 2004 ed: W3C, 2004.
- [22] S. Harris and A. Seaborne. (2013, 21 March 2013). SPARQL 1.1 Query Language. Available: <https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>
- [23] What are urban deteriorated environments? Roads and Urban Development official portal,. Available: <http://news.mrud.ir/>, 2014.