

مدلسازی روابط توپولوژیک مکانی - زمانی

سعید نادى^{۱*}، محمدرضا دلاور^۲

^۱استادیار گروه مهندسی نقشه برداری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان
snadi@eng.ui.ac.ir

^۲دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
mdelavar@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۴، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۵)

چکیده

زمان و مکان جزء غیر قابل تفکیک هر پدیده در دنیای واقعی می‌باشد. از آنجائیکه در سیستم‌های اطلاعات مکانی، مدلسازی پدیده‌های مکانی اولین گام در پردازش و تحلیل آن پدیده‌ها می‌باشد، افزودن قابلیت‌های لازم به منظور شامل شدن بعد زمان در مدلسازی‌ها امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. یکی از نیازهای اصلی در مدلسازی مکانی-زمانی پدیده‌ها ایجاد قابلیت بررسی روابط توپولوژیک مکانی-زمانی بین پدیده‌ها برای تحلیل ارتباط مکانی و زمانی آنها می‌باشد. بر این اساس در این مقاله ضمن تبیین انواع ابعاد زمان، با استفاده از یک روش ابتکاری کلیه روابط بین ابعاد مختلف زمان استخراج شده است. این روابط بدست آمده شامل سه رابطه بین دو رویداد زمانی، شش رابطه بین یک رویداد و یک حالت زمانی و ۱۳ رابطه بین دو حالت زمانی می‌باشند. سپس با تلفیق این روابط با روابط توپولوژیک مکانی، ۱۰۴ رابطه توپولوژیک مکانی-زمانی بین دو عارضه سطحی با زمان حضور خطی بدست آورده شدند. مزیت این روش نسبت به روش‌های دیگر، استفاده از یک فرآیند قاعده‌مند در بررسی روابط توپولوژیک مکانی می‌باشد که تضمین می‌کند کلیه حالات ممکن بررسی شده و همه روابط ممکن استخراج شوند. در نهایت بکارگیری مؤثر از این روابط در مدیریت زمین و املاک با پیاده‌سازی یک سیستم نمونه تشریح شده است.

واژگان کلیدی: سیستم‌های اطلاعات مکانی، روابط توپولوژیک مکانی-زمانی، مدیریت زمین و املاک، پرسش‌های مکانی-زمانی

۱- مقدمه

در دنیای واقعی همه چیز در حال تغییر است، بنابراین اصطلاح ایستا تنها به اشیائی می‌تواند اطلاق شود که در یک دوره کوتاه زمانی ثابت می‌باشند. ولی بهر حال همین اشیاء نیز در دوره زمانی بلند می‌توانند دارای تغییر باشند. از آنجائیکه در سیستمهای اطلاعات مکانی^۱ (GIS) بدنبال مدلسازی دنیای واقعی می‌باشیم، بنابراین ناگزیر از توسعه شیوه‌هایی برای مواجهه با زمان و مدلسازی تغییرات اشیاء هستیم. یکی از شاخه‌های فعال تحقیقاتی در این زمینه، مدلسازی داده‌های مکانی تاریخی می‌باشد که مربوط به قابلیت حمایت از نسخه‌های مختلف یک پدیده از طریق طراحی یک مدل داده می‌باشد.

تحقیقات در زمینه مدلسازی داده‌های زمانمند در GIS از اواخر ۱۹۸۰ شروع شد و به موازات تحقیق در زمینه پایگاه داده توصیفی زمانمند توسعه یافت. تاکنون مدل‌های مختلفی برای این منظور ارائه شده اند که تمرکز اصلی آنها بر شیوه ذخیره سازی داده های مکانی-زمانی می باشد. یکی از اولین مدل‌های ارائه شده مدل Snapshot می باشد. در این مدل، کل اشیاء وقتی یک تغییر رخ می‌دهد بعنوان یک نسخه جدید ذخیره می شوند. یکی دیگر از مدل‌های ارائه شده مدل STC^۲ می باشد. در این روش پس از هر تغییر، فقط اشیاء تغییر یافته به همراه یک نسخه پایه ذخیره می شوند. علی‌رغم تلاشهای فراوانی که تاکنون برای مدلسازی داده‌های مکانی زمانمند صورت گرفته است، اغلب مدل‌هایی که تاکنون ارائه شده‌اند، یا بصورت مفهومی بوده و کمتر مورد پیاده سازی قرار گرفته‌اند یا بصورت ویژه برای یک کاربرد بخصوص طراحی شده اند[۱].

یکی از ویژگیهای اصلی سیستمهای اطلاعات مکانی زمانمند توانایی پاسخگویی به پرسشهای مربوط به روابط زمانی می باشد[۲]. الجرسی و جونر (۲۰۰۰) به بررسی انواع پرسشهای مکانی و زمانی پرداختند[۳]. نادی و دلاور (۲۰۰۵) نیز انواع پرسشهای قابل طرح در این زمینه شامل پرسشهای ساده زمانی، پرسشهای بازه زمانی، پرسشهای رویداد مبنای، پرسشهای توپولوژیک و پرسشهای رفتار زمانی را ارائه کردند[۴]. آلن (۱۹۸۳) بصورت تجربی ۱۳ رابطه

زمانی بین دو زمان خطی را معرفی کرد. روابط معرفی شده در مقاله مذکور تنها شامل روابط زمانی حالت^۳-حالت بود و از پرداخت به روابط بین ابعاد دیگر زمان مانند رویداد^۴-رویداد و نیز رویداد-حالت اجتناب شده بود. علاوه بر این عدم توجه به بعد مکان در تلفیق با بعد زمان برای بررسی روابط توپولوژیک مکانی-زمانی یکی دیگر از نواقص تحقیق مذکور بود[۵]. کلارامونت و جیانگ (۲۰۰۰) و (۲۰۰۱) نیز با بررسی روابط بین دو رویداد زمانی و در نظر گرفتن بعد مکان، به ارائه روابط توپولوژیک مکانی-زمانی پرداختند. در آن تحقیق ایشان بر اساس روابط زمانی ارائه شده توسط آلن (۱۹۸۳) و ترکیب آنها با روابط توپولوژیک مکانی سطحی ۵۶ رابطه مکانی-زمانی را پیشنهاد کردند. عدم پرداختن به روابط زمانی رویداد-رویداد و رویداد-حالت و نیز عدم استفاده از یک روش قاعده مند به منظور تضمین استخراج همه روابط ممکن از نقاط ضعف روش ارائه شده بوده است[۶-۸].

در این مقاله ما به ارائه روشی قاعده مند به منظور بررسی و استخراج کلیه روابط توپولوژیک بین بعدهای مختلف زمان شامل "رویداد" و "حالت" می پردازیم و سپس با ترکیب این روابط با روابط توپولوژیک مکانی، روابط توپولوژیک مکانی-زمانی را بدست می آوریم. از مزایای روش بکار گرفته شده در این مقاله این می باشد که تضمین می کند تمامی روابط ممکن استخراج شوند. روابط توپولوژیک مکانی زمانی که در این مقاله بدست می آیند در کاربردهای بسیاری مانند مدیریت املاک و بررسی تاریخچه تغییرات آنها، مدیریت خودروهای امداد و زمانبندی چراغهای راهنمایی و رانندگی، مدیریت تغییرات زیست محیطی و بررسی روابط مکانی زمانی پدیده های طبیعی با محیط و عوارض اطراف آنها و شبیه سازی پدیده های متحرک و تاثیرات آنها بر دیگر عوارض کاربرد فراوان دارد[۹-۱۱]. در این مقاله نمونه ای از کاربردهای این روابط در یک سیستم مدیریت املاک برای بررسی تاریخچه تغییرات یک ملک پیاده سازی شده است.

در ادامه این مقاله در بخش دوم به بررسی مکان و زمان به عنوان ابعاد مختلف یک پدیده پرداخته می شود سپس در بخش سوم روابط توپولوژیک مکانی بررسی

^۳ State
^۴ Event

^۱ Geo-Spatial Information Systems
^۲ Space Time Composite

می‌شود. در بخش چهارم روش ابداعی برای استخراج روابط بین ابعاد مختلف زمان تشریح می‌گردد و در بخش پنجم با ترکیب روابط توپولوژیک مکانی و زمانی با یک روش ابداعی طیف کاملی از روابط مکانی-زمانی ممکن بین دو پدیده بدست آورده شده است. در بخش ششم به ارائه سیستم نمونه پیاده سازی شده برای مدیریت زمین و املاک پرداخته شده است و در بخش هفتم نتیجه گیری و پیشنهادات آتی تشریح می‌گردند.

۲- مکان و زمان

در بررسی مفهوم مکان می‌توان از دو شیوه نسبی و مطلق استفاده کرد. در مفهوم نسبی، مکان یک خصوصیت از موجودیت‌ها می‌باشد بدین معنا که موجودیت‌ها، داده‌های توصیفی دارند که معرف مکان آنها می‌باشد. در مفهوم مطلق، مکان خود یک موجودیت واقعی و یک محیط^۱ می‌باشد. روش اول براساس بررسی فضا بصورت یک موجودیت خالی و همگن می‌باشد که برخی قسمتهای آن توسط اشیاء با ویژگیهای مکانی پوشیده شده است در حالیکه روش دوم بر اساس بررسی فضا بصورت مجموعه‌ای از موقعیت‌ها با خصوصیات مربوط به خود می‌باشد. این دو روش، در پیاده سازی دو استراتژی برداری (دید نسبی) و شبکه‌ای (دید مطلق) را ایجاد می‌کند [۱۲]. در GIS با اشیاء و روابط بین آنها در فضای اقلیدسی روبرو هستیم. اشیاء در این فضا بوسیله نقاط، خطوط، سطوح و احجام نمایش داده می‌شوند. انواع مختلف روابط، فضاهای مختلفی را ایجاد می‌کنند. مثلا روابط فاصله، فضای متریک و روابط توپولوژی، فضای توپولوژیک را ایجاد می‌کنند.

زمان یک مفهوم ذاتی است که تنها از طریق تاثیراتش می‌توان آن را درک کرد. در واقع گذر زمان تنها از طریق تاثیراتی که در مکان رخ می‌دهد قابل درک شدن می‌باشد [۱۳]. نیوتن زمان را به عنوان یک بعد مجزا و مشابه بعد مکان معرفی می‌کند [۱]. در اواخر قرن نوزدهم میلادی بین فلاسفه یک علاقه عمومی برای تعریف بعد چهارم ایجاد شده بود. تا اوائل قرن بیستم بعد چهارم بصورت یک بعد مکانی تصور می‌شد که عبارت از یک محور در فضای غیراقلیدسی بود. تا اینکه از حدود ۱۹۵۰

میلادی که انیشتین تئوری نسبیت خاص خود را ارائه کرد توجه‌ها به سمت زمان به عنوان بعد چهارم جلب شد و از ۱۹۷۰ تقریبا اکثر دانشمندان، فرضیه انیشتین در مورد زمان به عنوان بعد چهارم که در تعامل با مکان می‌باشد را پذیرفتند [۱]. ما معمولا زمان را از نظر ذهنی بصورت یک خط بدون پایان می‌بینیم که بصورت نامحدود از گذشته تا آینده کشیده شده است. با این وجود انواع غیر خطی زمان مانند زمان پریودیک یا چرخشی^۲ و زمان شاخه‌ای^۳ نیز قابل تصور می‌باشند [۱۴]. در نگرش خطی به زمان برای تغییرات یک پدیده می‌توان دو مفهوم رویداد و حالت را تعریف کرد. حالت در واقع به وضعیت ثابت شی بین هر دو تغییر متوالی گفته می‌شود [۱]. یک GIS غیر زمانمند تنها قادر به نمایش یک حالت از اشیاء مکانی می‌باشد. یک GIS زمانمند برای نمایش یک پدیده پویا نیازمند استفاده از مفاهیمی مانند رویداد می‌باشد. یک رویداد در حقیقت انتقال از یک حالت به حالت دیگر در یک پدیده زمانی می‌باشد [۱۵]. رویدادها نسبت به حالت‌ها دوره زمانی بسیار کوتاهتری دارند. به عبارت دیگر می‌توان رویدادها را حالت‌هایی دانست که زمان شروع و پایان آنها در یک Chronon قرار می‌گیرد. Chronon بعنوان کوچکترین جزء گذر زمان تعریف می‌شود که بیشتر قابل شکسته شدن به اجزاء کوچکتر نمی‌باشد [۱۳].

۳- روابط توپولوژیک مکانی

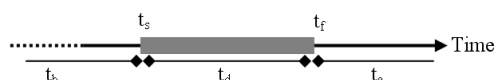
توپولوژی یک هندسه فارغ از مختصات می‌باشد و شامل بررسی روابط مکانی است که تحت تاثیر یکسری تبدیلات بخصوص تغییر نمی‌کنند. چنین تبدیلاتی، تبدیلات توپولوژیک نامیده می‌شوند و روابط مکانی که تحت تاثیر این تبدیلات بدون تغییر باقی می‌مانند را روابط مکانی توپولوژیک می‌نامند [۱۳]. تغییر مقیاس، چرخش و انتقال، نمونه‌هایی از تبدیلات توپولوژیک و همسایگی و اتصال نمونه‌هایی از روابط توپولوژیک می‌باشند. روابط توپولوژیک در فضای توپولوژیک تعریف می‌شوند. روشهای مختلفی برای بررسی روابط توپولوژیک بین عوارض ارائه شده است. یکی از روشهای مطرح در این زمینه استفاده از حساب نواحی متصل (RCC)^۴ می‌باشد که بر مبنای

^۱ Cyclic

^۲ Branching

^۳ Region Connected Caclulus

^۱ Container



شکل ۲- انواع المانهای زمانی یک شی مکانی

به منظور تشخیص همه روابط زمانی ممکن بین هر دو جفت از اشیاء مکانی-زمانی حداقل تعداد مقایسه‌های مورد نیاز عبارتند از:

۱. مقایسه بین زمان‌های شروع هر دو شی
 ۲. مقایسه بین زمانهای پایان هر دو شی
 ۳. مقایسه بین زمان شروع شی اول و زمان پایان شی دوم
 ۴. مقایسه بین زمان شروع شی دوم و زمان پایان شی اول
- هر کدام از این مقایسه‌ها یکی از سه جواب زیر را در بر خواهد داشت:

۱. عبارت اول بزرگتر از عبارت دوم
 ۲. عبارت دوم بزرگتر از عبارت اول
 ۳. هر دو عبارت برابر
- برای دو شی A و B مقایسه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- روابط مقایسه‌ای مورد نیاز برای بررسی وضعیت زمانی دو

شی $A = \{(t_s^A, t_f^A)\}$, $B = \{(t_s^B, t_f^B)\}$

	Start-Start	Finish-Finish	Start-Finish	Finish-Start
>	$t_s^A > t_s^B$	$t_f^A > t_f^B$	$t_s^A > t_f^B$	$t_f^A > t_s^B$
<	$t_s^A < t_s^B$	$t_f^A < t_f^B$	$t_s^A < t_f^B$	$t_f^A < t_s^B$
=	$t_s^A = t_s^B$	$t_f^A = t_f^B$	$t_s^A = t_f^B$	$t_f^A = t_s^B$

همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود در کل ۱۲ حالت زمانی بین زمانهای شروع و پایان هر دو شی وجود دارند. از این ۱۲ حالت، برخی از آنها وابسته به عناصر دیگر مجموعه می‌باشند. به عنوان مثال چنانچه $t_s^A < t_s^B$ صحیح نباشد و $t_s^A > t_s^B$ نیز صحیح نباشد مسلماً $t_s^A = t_s^B$ صحیح است و دیگر نیازی به بررسی صحت آن از طریق مقایسه نخواهد بود. بنابراین تمام حالات مربوط به مقایسه برابری (=) وابسته به حالات دیگر می‌باشند. با حذف این عناصر، یک مجموعه ۸ عضوی بدست می‌آید.

این مجموعه ۸ عضوی مانند آنچه در مورد بررسی روابط مکانی در مدل ۹-تقاطعی اگنهورفر^۲ ارائه شده است در قالب یک ماتریس ۴×۲ بصورت رابطه ۱ نمایش

بررسی گزاره‌های جبری ممکن برای نواحی مورد بررسی عمل می‌کند. در روش دیگر که روش ۹-تقاطعی^۱ نام دارد، از بررسی اشتراکات دو گانه داخل، خارج و مرز ($A^-, \partial A, A^+$) دو عارضه استفاده می‌شود. شکل ۱ روابط ممکن بین دو عارضه سطحی را بر مبنای روش ۹-تقاطعی، نشان می‌دهد [۱۶].

Disjoint	Contains	Inside	Equal
$\begin{matrix} \partial A & \partial A & A^+ & A^- \\ \partial A & 0 & 0 & -0 \\ A^+ & 0 & 0 & -0 \\ A^- & -0 & -0 & -0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \partial A & \partial A & A^+ & A^- \\ \partial A & 0 & 0 & -0 \\ A^+ & 0 & 0 & -0 \\ A^- & -0 & -0 & -0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \partial A & \partial A & A^+ & A^- \\ \partial A & 0 & 0 & -0 \\ A^+ & 0 & 0 & -0 \\ A^- & -0 & -0 & -0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \partial A & \partial A & A^+ & A^- \\ \partial A & 0 & 0 & -0 \\ A^+ & 0 & 0 & -0 \\ A^- & -0 & -0 & -0 \end{matrix}$
Meet	Covers	CoveredBy	Overlap
$\begin{matrix} \partial A & \partial A & A^+ & A^- \\ \partial A & 0 & 0 & -0 \\ A^+ & 0 & 0 & -0 \\ A^- & -0 & -0 & -0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \partial A & \partial A & A^+ & A^- \\ \partial A & 0 & 0 & -0 \\ A^+ & 0 & 0 & -0 \\ A^- & -0 & -0 & -0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \partial A & \partial A & A^+ & A^- \\ \partial A & 0 & 0 & -0 \\ A^+ & 0 & 0 & -0 \\ A^- & -0 & -0 & -0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \partial A & \partial A & A^+ & A^- \\ \partial A & 0 & 0 & -0 \\ A^+ & 0 & 0 & -0 \\ A^- & -0 & -0 & -0 \end{matrix}$

شکل ۱- روابط توپولوژیک بین دو عارضه سطحی [۱۶]

۴- روابط توپولوژیک زمانی

با فرض زمان به عنوان یک بعد مستقل، یکسری روابط زمانی برای اشیاء مختلف قابل بررسی خواهند بود. با در نظر گرفتن زمان بصورت خطی که عمده کاربردها در GIS را شامل می‌شود در دنیای واقعی هر شی حضورش را در یک نقطه از زمان شروع می‌کند و برای یک بازه مشخص از زمان حضور دارد و در یک نقطه مشخص دیگر از زمان حضورش به پایان می‌رسد. بنابراین برای هر شی می‌توان یک زمان شروع (t_s)، یک زمان پایان (t_f) و یک دوره زمانی ($t_d = t_f - t_s$)، در نظر گرفت، با این قیود که اولاً زمان پایان باید حتماً بزرگتر از زمان شروع باشد و ثانیاً دو نسخه از یک شی نمی‌توانند از نظر زمانی همپوشی داشته باشند. با توجه به این مطالب و همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود می‌توان المانهای زمانی زیر را برای هر شی تعریف کرد.

- زمان قبل از شروع حضور یک شی (t_b)
- زمان شروع حضور یک شی (t_s)
- مدت زمان حضور یک شی (t_d)
- زمان اتمام حضور یک شی (t_f)
- زمان پس از حضور یک شی (t_a)

^۲ Egenhofer

^۱ 9-Intersection

$a_1 : \{(a_1=\text{true and } b_1=\text{true}) \text{ or } (a_1=\text{true and } a_4=\text{false}) \text{ or } (a_1=\text{true and } b_4=\text{true})\}$

به همین ترتیب چنانچه همین بررسی سازگاری را برای مابقی المانها نیز انجام دهیم قیود زیر را می‌توانیم بدست آوریم.

$a_2 : \{(a_2=\text{true and } a_4=\text{false}) \text{ or } (a_2=\text{true and } b_2=\text{true}) \text{ or } (a_2=\text{true and } b_4=\text{true})\}$

$a_3 : \{(a_3=\text{true and } a_1=\text{false}) \text{ or } (a_3=\text{true and } a_2=\text{false}) \text{ or } (a_3=\text{true and } a_4=\text{false}) \text{ or } (a_3=\text{true and } b_1=\text{true}) \text{ or } (a_3=\text{true and } b_2=\text{true}) \text{ or } (a_3=\text{true and } b_3=\text{true}) \text{ or } (a_3=\text{true and } b_4=\text{true})\}$

$a_4 : \{(a_4=\text{true and } b_4=\text{true})\}$

$b_1 : \{(b_1=\text{true and } a_1=\text{true}) \text{ or } (b_1=\text{true and } a_3=\text{true}) \text{ or } (b_1=\text{true and } b_3=\text{false})\}$

$b_2 : \{(b_2=\text{true and } a_2=\text{true}) \text{ or } (b_2=\text{true and } a_3=\text{true}) \text{ or } (b_2=\text{true and } b_3=\text{false})\}$

$b_3 : \{(b_3=\text{true and } a_3=\text{true})\}$

$b_4 : \{(b_4=\text{true and } a_1=\text{true}) \text{ or } (b_4=\text{true and } a_2=\text{true}) \text{ or } (b_4=\text{true and } a_3=\text{true}) \text{ or } (b_4=\text{true and } a_4=\text{true}) \text{ or } (b_4=\text{true and } b_1=\text{false}) \text{ or } (b_4=\text{true and } b_2=\text{false}) \text{ or } (b_4=\text{true and } b_3=\text{false})\}$

با حذف قیود تکراری موجود در این مجموعه، نوزده

قید نا سازگاری بدست می‌آیند که عبارتند از:

$a_1=\text{true and } a_4=\text{false}$ $a_2=\text{true and } b_4=\text{true}$
 $a_3=\text{true and } b_2=\text{true}$ $b_2=\text{true and } b_3=\text{false}$
 $a_1=\text{true and } b_1=\text{true}$ $a_3=\text{true and } b_4=\text{false}$
 $a_3=\text{true and } b_4=\text{true}$ $b_4=\text{true and } b_1=\text{false}$
 $a_1=\text{true and } b_4=\text{true}$ $a_3=\text{true and } b_4=\text{false}$
 $a_3=\text{true and } b_4=\text{true}$ $b_4=\text{true and } b_2=\text{false}$
 $a_2=\text{true and } a_4=\text{false}$ $a_3=\text{true and } b_4=\text{false}$
 $a_3=\text{true and } b_4=\text{true}$ $b_4=\text{true and } b_3=\text{false}$
 $a_2=\text{true and } b_2=\text{true}$ $a_3=\text{true and } b_4=\text{true}$
 $b_1=\text{true and } b_4=\text{false}$

علاوه بر این قیود، چهار قید دیگر نیز بصورت ترکیبی

وجود دارند که عبارتند از:

1. $\{a_1=\text{false and } a_2=\text{false and } a_3=\text{false and } a_4=\text{true and } b_1=\text{false and } b_2=\text{false and } b_3=\text{false and } b_4=\text{false}\}$
2. $\{a_1=\text{false and } a_2=\text{false and } a_3=\text{false and } a_4=\text{false and } b_1=\text{false and } b_2=\text{false and } b_3=\text{false and } b_4=\text{true}\}$
3. $\{a_1=\text{false and } a_2=\text{false and } a_3=\text{true and } a_4=\text{false and } b_1=\text{false and } b_2=\text{false and } b_3=\text{false and } b_4=\text{false}\}$
4. $\{a_1=\text{false and } a_2=\text{false and } a_3=\text{false and } a_4=\text{false and } b_1=\text{false and } b_2=\text{false and } b_3=\text{true and } b_4=\text{false}\}$

با اعمال این قیود، تعداد ۲۵۶ رابطه که با استفاده از

قانون ترکیب بدست آمده بود به ۱۸ رابطه منطقی و

سازگار برای دو المان زمانی کاهش می‌یابند که در شکل

۴ دیده می‌شوند.

می‌دهیم (برای سادگی از نمادگذاری با a و b استفاده کرده ایم):

$$\begin{pmatrix} t_s^A > t_s^B & t_f^A > t_f^B & t_s^A > t_f^B & t_f^A > t_s^B \\ t_s^A > t_s^B & t_f^A > t_f^B & t_s^A > t_f^B & t_f^A > t_s^B \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$= \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ b_1 & b_2 & b_3 & b_4 \end{pmatrix}$$

با توجه به این مجموعه، حالات ممکن برای روابط بین

دو شیء، مجموعه‌ای از تمام زیر مجموعه‌های هشت عضوی

می‌باشد که $2^8=256$ حالت ترکیبی را بین زمانهای شروع

و پایان شیء اول و زمانهای شروع و پایان شیء دوم ایجاد

می‌کند که بین هر دو شیء فقط یکی از این روابط می‌تواند

برقرار باشد.

با توجه به اینکه این ۲۵۶ حالت ترکیبی با استفاده از

قانون ترکیب بدست آمده، کل حالات از نظر منطقی نمی

توانند قابل قبول باشند. به عنوان مثال وقتی $t_s^A > t_s^B$

درست باشد آنگاه $t_f^A < t_s^B$ نمی‌تواند درست باشد زیرا در

اینصورت طبق روابط ترتیبی $t_f^A > t_s^B$ نتیجه می‌شود که

غیر منطقی می‌باشد. یا به عنوان مثالی دیگر چنانچه a_1

درست باشد دیگر b_1 نمی‌تواند درست باشد بنابراین کل

حالاتی که در آنها هم a_1 و هم b_1 همزمان درست باشند

باید از مجموع حالات ممکن حذف شوند. برای بررسی و

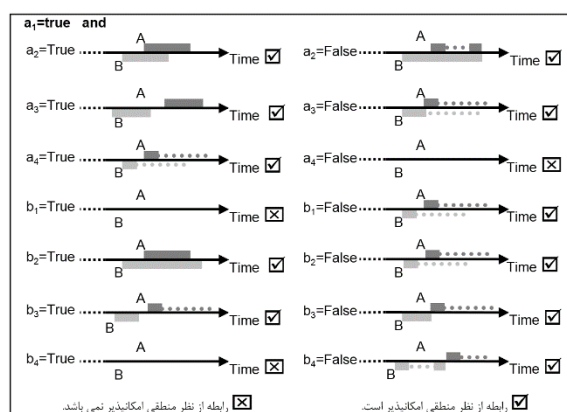
بدست آوردن کل حالات غیر ممکن بترتیب هریک از

المانهای ماتریس فوق را با بقیه المانهای آن مقایسه کرده

و در مورد سازگاری یا عدم سازگاری آنها نتیجه گیری

می‌کنیم. به عنوان مثال بررسی سازگاری یا عدم سازگاری

a_1 با بقیه درایه‌ها در شکل ۳ آمده است.



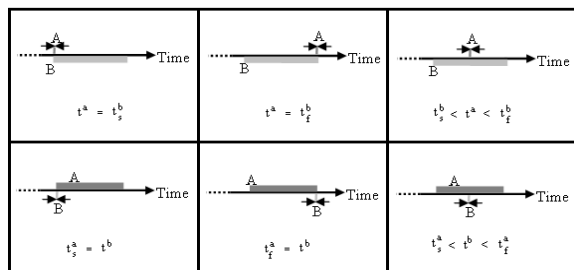
شکل ۳- بررسی امکانپذیری ترکیب روابط زمانی بین a_1 و بقیه المانها

بنابراین کل حالات غیر ممکن مربوط به ترکیب a_1 با

سایر المانها عبارتست از:

۲-۴- روابط رویداد-حالت

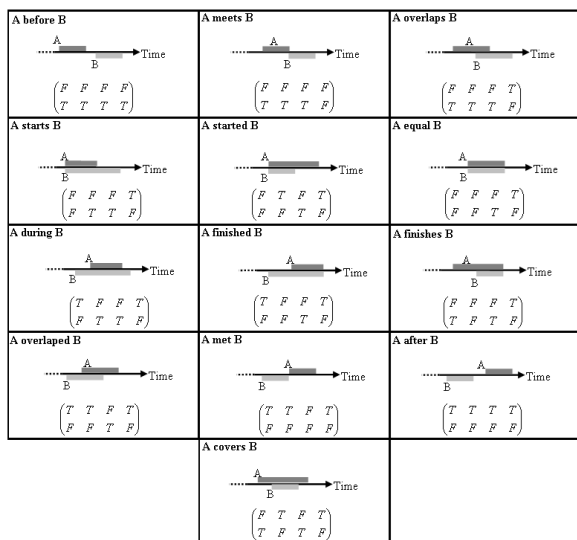
با در نظر گرفتن یکی از المانها بصورت رویداد، شش رابطه زمانی بدست می آیند. شکل ۶ این روابط را نشان می دهد.



شکل ۶- روابط زمانی بین یک رویداد و یک حالت

۳-۴- روابط حالت-حالت

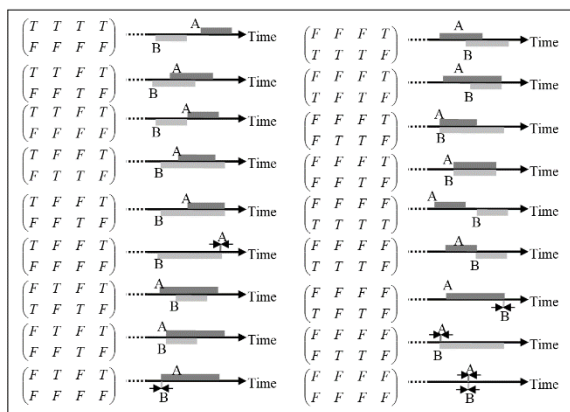
با در نظر گرفتن هر دو زمان بصورت بازه‌ای و پدیده مربوطه بصورت حالت، سیزده رابطه زمانی را بین هر دو حالت می‌توان یافت. این روابط که در شکل ۷ آورده شده‌اند همان روابط معروف به عملگرهای Allen می باشند که وی برای دو زمان خطی ارائه کرده بود [۵].



شکل ۷- روابط زمانی بین دو حالت

۵- روابط توپولوژیکی مکانی-زمانی

در این بخش قصد داریم با ترکیب دو مفهوم توپولوژی مکانی و زمانی به توپولوژی ترکیبی مکانی-زمانی دست یابیم. در این قسمت ما خود را به زمان خطی بصورت بازه ای (حالت‌های زمانی) در مورد اشیاء مکانی برداری سطحی محدود می کنیم با این توضیح که روال ارائه شده می تواند برای بررسی این روابط در مورد انواع دیگر زمانها و اشیاء



شکل ۴- روابط زمانی منطقی و سازگار بین دو شیء زمانی

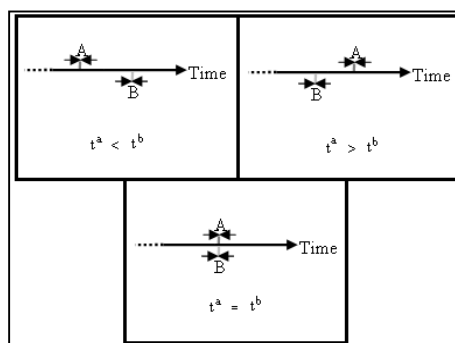
همانطور که در بخش ۲ دیدیم، از دید طول زمان خطی می‌توان دو نوع زمان لحظه‌ای و زمان بازه‌ای را متصور شد و بر مبنای این دو زمان دو وضعیت رویداد و حالت را برای پدیده‌های زمانی در نظر گرفت. بنابراین سه نوع رابطه زمانی را می‌توان برای اشیاء در نظر گرفت که عبارتند از:

- رویداد-رویداد
- رویداد-حالت
- حالت-حالت

با توجه به ویژگی نقطه‌ای یا بازه‌ای بودن زمان، در هر یک از این موارد، تعدادی از این ۱۸ رابطه کاهش می‌یابند.

۱-۴- روابط رویداد-رویداد

رویدادها به صورت لحظه‌ای می‌باشند و در واقع می‌توان آنها را بصورت حالاتی در نظر گرفت که زمان شروع و پایان آنها در یک Chronon قرار می‌گیرند. با توجه به این تعریف تنها سه رابطه بین هر دو رویداد می‌توان در نظر گرفت که در شکل ۵ آورده شده‌اند.



شکل ۵- روابط زمانی بین دو رویداد

به کاربری اراضی بعنوان داده‌های پایه برای طراحی و برنامه ریزی مطرح می‌باشند. به عنوان مثال مشکلات ترافیکی در مناطقی از یک شهر با تغییر برخی از کاربری‌ها یا ایجاد یکسری کاربری جدید در مناطق دیگر می‌تواند بصورت موثری برطرف شوند [۶]. واضح است که این مسئله نیازمند بررسی داده‌های کاربری اراضی در زمانهای متفاوت و بررسی تاثیر تغییرات آنها بر روی الگوهای ترافیک شهری می‌باشد [۹]. با عنایت به این موضوع، استفاده از داده‌های مربوط به کاربری اراضی در قالب سیستمی که بر پایه الگوریتمها و روشهای علمی مدلسازی و مدیریت تغییرات برای پهنه بندی و ارزیابی موثر تغییرات آنها ایجاد شده است می‌تواند در مدیریت بهینه و کارآی فرآیند پیچیده طراحی و برنامه‌ریزی شهری بسیار موثر باشد [۱۲، ۱۷، ۱۸]. در این راستا بحث مربوط به بررسی تاثیرات مکانی-زمانی املاک همجوار بر هم از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. بعنوان مثال پاسخ به پرسشی مانند "آیا در زمانی که پارسل شماره ۱۰۵ دارای کاربری تجاری بوده است هیچ ملکی با کاربری پارکینگ در همسایگی آن بوده است یا نه؟" می‌تواند در بررسی تاثیرات وجود یا عدم وجود پارکینگ بر مشکلات ترافیکی یک منطقه مورد استفاده قرار گیرد. واضح است که چنین پرسشی می‌تواند با استفاده از روابط توپولوژیکی مکانی-زمانی پاسخ داده شود. پاسخ، شامل املاکی با کاربری پارکینگ خواهد بود که از نظر زمانی دارای رابطه ای غیر از رابطه Before یا After بوده و از نظر مکانی دارای رابطه ای غیر از رابطه Disjoint با ملک مورد پرسش باشند. بر این اساس و برای پاسخگویی به چنین پرسشهایی در این تحقیق سیستمی طراحی و پیاده سازی شد که با استفاده از آن می‌توان بر اساس روابط ارائه شده در بخشهای ۳، ۴ و ۵ روابط مکانی و زمانی اشیاء مختلف را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. سیستم مذکور بر روی یک پایگاه داده زمانمند و با استفاده از ابزارهای توسعه موجود در نرم افزار ArcGIS10.2 پیاده سازی شد.

با عنایت به مطالبی که در بخشهای ۳، ۴ و ۵ ذکر شد، در مورد روابط توپولوژیکی سه دسته پرسش را می‌توان مطرح کرد که عبارتند از:

- پرسشهای توپولوژیکی مکانی
 - پرسشهای توپولوژیکی زمانی
 - پرسشهای توپولوژیکی ترکیبی (مکانی-زمانی)
- در ادامه به بررسی ابزارهای مختلف سیستم پیاده سازی شده می‌پردازیم.

مکانی نیز به سادگی بکار گرفته شود. همانطور که در شکل ۱ نمایش داده شد تعداد روابط مکانی ممکن در فضای دو بعدی بین دو ناحیه هشت عدد می‌باشد که عبارتند از:

Disjoint, Contains, Inside, Equal, Meet, Covers, Covered by, Overlap.

و همانطور که در شکل ۷ نمایش داده شد تعداد روابط زمانی بین دو حالت سیزده عدد می‌باشد که عبارتند از:

Before, Meets, Overlaps, Starts, Started, Equal, During, Finished, Finishes, Overlapped, Met, After, Covers.

برای ترکیب این دو دسته روابط، دو استراتژی را می‌توان برگزید:

در استراتژی اول با استفاده از عملگرهای منطقی And و Or روی مجموعه جواب هرکدام، بصورت مستقل عمل می‌شود. روش عملکرد در این استراتژی به اینصورت است که ابتدا هر کدام از این روابط مکانی و زمانی بصورت مجزا روی مجموعه داده‌ها اعمال می‌شوند و سپس مجموعه جوابها با استفاده از عملگرهای And یا Or ترکیب می‌شوند. این شیوه کل روابط مکانی-زمانی ممکن بین دو ناحیه را شامل می‌شود که برابر با یکصد و چهار عدد می‌باشد. در شکل ۸ کل این روابط نمایش داده شده‌اند.

در استراتژی دوم با افزودن زمان به عنوان یک بعد قائم بر دو بعد مکانی مسطحاتی عملاً یک شیء مکانی-زمانی با نمایش سه بعدی خواهیم داشت. با بررسی روی روابط ممکن بین دو شیء مکانی-زمانی، تعداد هشت رابطه توپولوژیکی مکانی-زمانی بدست می‌آیند که عبارتند از:

ST-Disjoint, ST-Contains, ST-Inside, ST-Equal, ST-Meet, ST-Covers, ST-Covered by, ST-Overlap.

کلارامونت و جیانگ (۲۰۰۰ و ۲۰۰۱) با استفاده از یک نمایش مفهومی با ایجاد یک فضای مکانی براساس ترکیب دو بعد مسطحاتی مکانی در یک بعد و ترکیب آن با زمان به بررسی روابط توپولوژیکی مکانی-زمانی پرداختند که نتایج مشابهی را بدست آوردند [۷، ۸، ۱۰]. این روابط در شکل ۸ نمایش داده شده‌اند.

۶- مدیریت زمین و املاک بر مبنای پرسش‌های توپولوژیکی

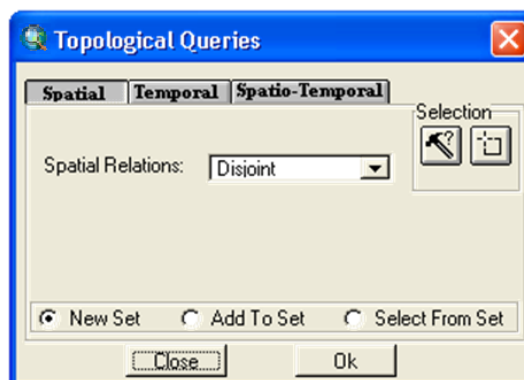
مدیریت و برنامه ریزی شهری یک فرآیند دوره‌ای می‌باشد بدین معنا که یک طرح با توجه به بررسی و تحلیل نتایج و اثرات آن در طول زمان بصورت پیوسته بررسی و اصلاح می‌شود. در فرآیند برنامه‌ریزی شهری داده‌های مربوط

Spatial Relations	Disjoint	Inside	Contains	Equal	Meet	CoveredBy	Covers	Overlaps
Temporal Relations								
A before B								
A meets B	ST-Disjoint	ST-Disjoint	ST-Disjoint	ST-Disjoint	ST-Disjoint	ST-Disjoint	ST-Disjoint	ST-Disjoint
A overlaps B	ST-Disjoint	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet
A starts B	ST-Disjoint	ST-Overlaps	ST-Overlaps	ST-Overlaps	ST-Meet	ST-Overlaps	ST-Overlaps	ST-Overlaps
A started B	ST-Disjoint	ST-CoveredBy	ST-Overlaps	ST-CoveredBy	ST-Meet	ST-Overlaps	ST-Overlaps	ST-Overlaps
A equal B	ST-Disjoint	ST-Overlaps	ST-Covers	ST-Overlaps	ST-Meet	ST-Overlaps	ST-Covers	ST-Overlaps
A during B	ST-Disjoint	ST-CoveredBy	ST-Covers	ST-Equal	ST-Meet	ST-CoveredBy	ST-Covers	ST-Overlaps
A finished B	ST-Disjoint	ST-Inside	ST-Overlaps	ST-CoveredBy	ST-Meet	ST-CoveredBy	ST-Overlaps	ST-Overlaps
A finishes B	ST-Disjoint	ST-CoveredBy	ST-Overlaps	ST-CoveredBy	ST-Meet	ST-CoveredBy	ST-Overlaps	ST-Overlaps
A overlapped B	ST-Disjoint	ST-Overlaps	ST-Overlaps	ST-Overlaps	ST-Meet	ST-Overlaps	ST-Covers	ST-Overlaps
A met B	ST-Disjoint	ST-Overlaps	ST-Overlaps	ST-Overlaps	ST-Meet	ST-Overlaps	ST-Overlaps	ST-Overlaps
A after B	ST-Disjoint	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet	ST-Meet
A covers B	ST-Disjoint	ST-Overlaps	ST-Contains	ST-Overlaps	ST-Meet	ST-Overlaps	ST-Covers	ST-Overlaps

شکل ۸- روابط توپولوژیک مکانی-زمانی

۱-۶- پرسش‌های توپولوژیک مکانی

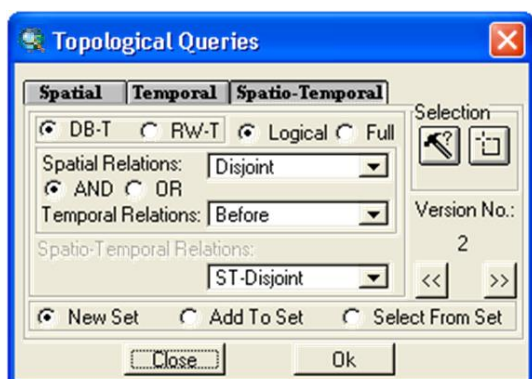
این پرسشها برای یافتن اشیاء با یک وضعیت همسایگی خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای این منظور پرسش در یک حالت زمانی خاص انجام می‌شود. شکل ۹ ابزار طراحی و پیاده‌سازی شده در این تحقیق برای انجام پرسشهای توپولوژیک مکانی را نشان می‌دهد.



شکل ۹- ابزار پیاده سازی شده برای پرسشهای توپولوژیک مکانی

۳-۶- پرسش‌های توپولوژیک ترکیبی (مکانی-زمانی)

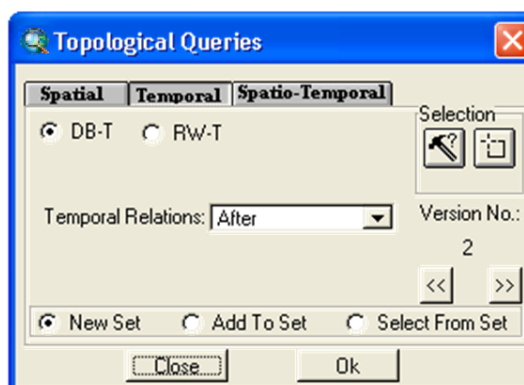
همانطور که در بخش ۵ به تفصیل بحث شد، این پرسشها در واقع ترکیبی از دو نوع پرسش توپولوژیک قبلی می‌باشند که به سه صورت ترکیب بوسیله عملگر منطقی Or، ترکیب با عملگر منطقی And و ترکیب کامل قابل انجام می‌باشد. شکل ۱۱ ابزار طراحی و پیاده‌سازی شده در این مقاله برای انجام این نوع پرسشها را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۱- ابزار پیاده‌سازی شده برای پرسشهای توپولوژیک مکانی-زمانی

۲-۶- پرسش‌های توپولوژیک زمانی

این پرسشها برای یافتن اشیائی که از نظر زمانی دارای یک رابطه خاص با هم می‌باشند مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای این منظور ابتدا یک نسخه از یک شیء انتخاب می‌شود و سپس کلیه اشیاء پایگاه داده با این شیء از نظر برآورده کردن رابطه زمانی مورد نظر کاربر مورد بررسی قرار می‌گیرند. نتیجه این پرسشها می‌تواند منجر به بازایی نسخه های مختلفی از اشیاء شود که نیازمند روشهای نمایشی انیمیشن یا Snapshot مرحله‌ای می‌باشد. شکل ۱۰ ابزار طراحی و پیاده‌سازی شده در این تحقیق برای انجام این نوع پرسشها را نمایش می‌دهد.

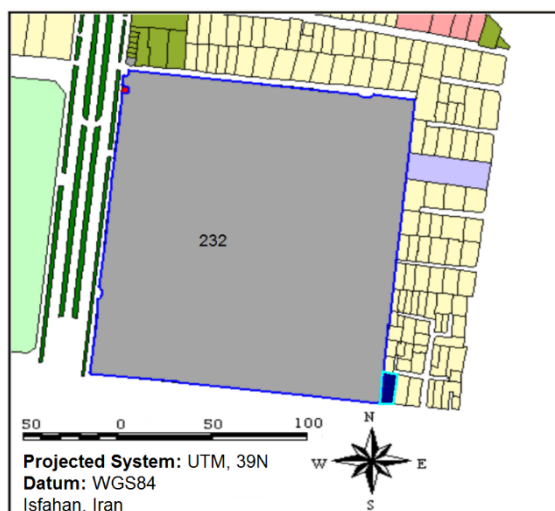


شکل ۱۰- ابزار پیاده‌سازی شده برای پرسشهای توپولوژیک زمانی

۴-۶- نمونه موردی

در این بخش به ارائه یک نمونه کاربردی از بکارگیری ابزارهای پیاده سازی شده می پردازیم. داده‌های مورد استفاده در این نمونه کاربردی مربوط به بخشهایی از منطقه یک شهر اصفهان می‌باشد که در مقیاس ۱:۲۰۰۰ در سیستم مختصات UTM زون ۳۹ شمالی و با بیضوی مبنای WGS84 تهیه شده‌اند.

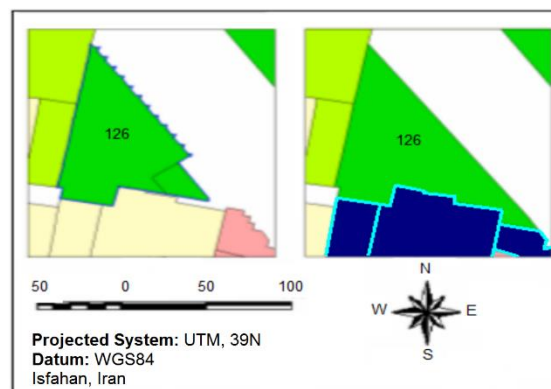
در این بخش به ارائه نمونه های کاربردی از بکار گیری ابزارهای توسعه یافته بر روی این داده ها تشریح می شود. همانطور که در بخش ۶ توضیح داده شد، سه دسته پرسشهای توپولوژیک مکانی، زمانی و ترکیبی (مکانی-زمانی) را می توان در رابطه با ارتباط عوارض مختلف بررسی کرد. پرسشهای توپولوژیک مکانی که با استفاده از روش ۹- تقاطعی بدست آمده‌اند در مورد لایه سطحی املاک، شامل پرسش در مورد هشت نوع رابطه ذکر شده در بخش ۳ می باشند. نمونه‌ای از این پرسشها عبارت است از: "کدامیک از قطعات زمین با طرح جدید فضای در ملک شماره ۱۲۶ رابطه Overlap دارند؟". شکل ۱۲ نحوه پاسخ به این پرسش توسط ابزار پیاده سازی شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۴- نمونه پرسشهای توپولوژیک ترکیبی

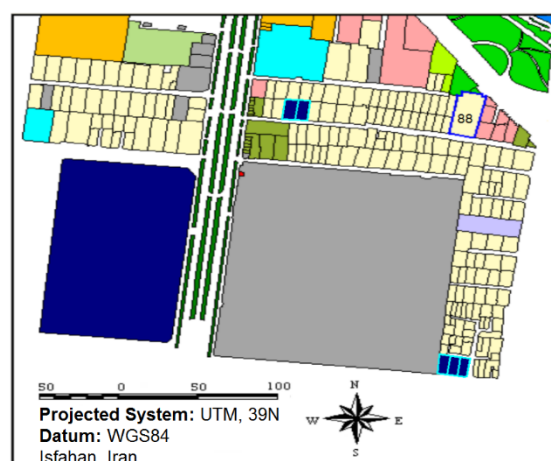
۷- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مقاله به بررسی انواع روابط زمانی پرداخته شد و با یک روش ابتکاری کلیه روابط بین "رویدادها" و "حالت‌های" پدیده‌های مختلف استخراج شد. این روابط برای رویداد-رویداد سه عدد، برای حالت-حالت ۱۳ عدد و برای رویداد-حالت شش عدد بدست آمدند. سپس با ترکیب این روابط با روابط توپولوژیک مکانی با استفاده از عملگرهای منطقی یا بصورت بصری کلیه روابط توپولوژیک بین پدیده‌های مکانی-زمانی بدست آورده شد. این روابط می‌تواند مبنای تحلیل بسیاری از پدیده‌ها باشند. از مزایای روش ارائه شده در این تحقیق نسبت به روشهای دیگر، قاعده مند بودن آن می‌باشد که تضمین می‌کند تمامی رابطه‌های ممکن استخراج شوند. استخراج ۱۰۴ رابطه توپولوژی مکانی-زمانی و نیز روابط رویداد-رویداد و رویداد-حالت در این مقاله از نتایج روش ارائه شده می‌باشد. نمونه‌ای از کاربرد این روابط در مدیریت زمین و املاک با پیاده سازی یک سیستم کاربردی نشان دهنده موثر بودن روابط استخراج شده در کاربردهای عملی می‌باشد. با توجه به وجود عدم قطعیت در زمان وقوع پدیده‌ها شامل زمان شروع و پایان آنها، تعمیم روش ارائه شده در این مقاله برای در برگیری این عدم قطعیت بر اساس تعریف بازه‌های زمانی فازی می‌تواند یکی از جنبه‌های آتی این تحقیق باشد.



شکل ۱۲- نمونه پرسشهای توپولوژیک مکانی

نمونه‌ای از پرسشهای توپولوژیک زمانی قابل پاسخگویی با ابزار توسعه یافته نیز عبارتست از: "دوره حضور در پایگاه داده مربوط به کدامیک از قطعات زمین با دوره قطعه زمین شماره ۸۸ رابطه دارد؟". شکل ۱۳ پاسخ این پرسش را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۳- نمونه پرسشهای توپولوژیک زمانی

همانطور که در بخش ۵ ارائه شد، پرسشهای توپولوژیک مکانی-زمانی به دو شیوه ترکیب با عملگرهای منطقی (Or یا And) یا ترکیب کامل طبق شکل ۸ می‌توانند انجام شوند. نمونه‌ای از این پرسشها عبارتند از: "کدامیک از قطعات زمین همسایه قطعه زمین شماره ۲۳۲ از نظر زمانی با آن رابطه دارند (زودتر ایجاد شده‌اند)؟". شکل ۱۴ پاسخ به این پرسش را نمایش می‌دهد.

- [1] Langran, G. (1992), "Time in Geographic Information Systems." Taylor and Francis. London, UK.
- [2] Song, M., Li, W., Zhou, B. and Lei, T. (2016), "Spatiotemporal data representation and its effect on the performance of spatial analysis in a cyber infrastructure environment – A casestudy with rasterzonal analysis." *Computers & Geosciences*. vol. 87, pp. 11-21.
- [3] El-Geresy, B. and Jones, C. (2000), "Models and queries in a spatio-temporal GIS," in *GIS and Geocomputation*, P. Atkinson and D. Martin (Eds.), New York, USA: Taylor and Francis, pp. 27-39.
- [4] Nadi, S. and Delavar, M.R. (2005), "Different Spatio-Temporal Query Types Within GIS Applications," *Proc. of the 4th ISPRS Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS*, University of Glamorgan, Wales, UK.
- [5] Allen, J. (1983), "Maintaining knowledge about temporal intervals." *Communications of the ACM*. vol. 26, pp. 832-843.
- [6] Claramunt, C., Jiang, B. and Bargiela, A. (2000), "A new framework for the integration, analysis and visualization of urban traffic data within geographic information systems." *Transport Research Part C*. vol. 8, pp. 167-184.
- [7] Claramunt, C. and Jiang, B. (2000), "A Representation of relationships in temporal Spaces," in *GIS and Geocomputation*, P. Atkinson and D. Martin (Eds.), New York, USA: Taylor and Francis, pp. 41-53.
- [8] Claramunt, C. and Jiang, B. (2001), "An integrated representation of spatial and temporal relationships between evolving regions." *Journal of Geographical Systems*. vol. 3, pp. 411-428.
- [9] Samany, N.N., Delavar, M.R., Chrisman, N. and Malek, M.R. (2013), "Modelling spatio-temporal relevancy in urban context-aware pervasive systems using voronoi continuous range query and multi-interval algebra." *Mobile Information Systems*. vol. 9, pp. 189-208.
- [10] Ma, L., Deng, M., Wu, J. and Liu, Q. (2015), "Modeling spatiotemporal topological relationships between moving object trajectories along road networks based on region connection calculus." *Cartography and Geographic Information Science*. vol. 42, pp. 1-15.
- [11] Chen, B.Y., Yuan, H., Li, Q., Shaw, S.-L., Lam, W.H. and Chen, X. (2015), "Spatiotemporal data model for network time geographic analysis in the era of big data." *International Journal of Geographical Information Science*. pp. 1-31.
- [12] Raza, A. (2001) "Object-Oriented Temporal GIS for Urban Applications," Ph.D. Thesis, ITC, Twente, Enschede, the Netherlands.
- [13] Roshannejad, A.A. (1996) "The Management of Spatio-Temporal Data in National Geographic Information System," Ph.D. Thesis, ITC, Twente, Enschede, the Netherlands.
- [14] Worboys, M.F. (1995), "GIS A Computing Perspective." Taylor and Francis. London.
- [15] Worboys, M.F. (2003), "Event oriented approaches to spatiotemporal information," *Proc. of the International Workshop on Next Generation Geospatial Information*, Cambridg, Boston, USA.
- [16] Egenhofer, M. and Herring, J.R. (1991) "Categorizing binary topological relations between regions, lines and points in geographic databases." *Technical Report: Department of Surveying Engineering, University of Maine, Orono*1991.
- [17] Burrough, P.A. (1998), "Dynamic modeling and geocomputation," in *Geocomputation: A Primer*, P. A. Longley, S. M. Brookes, B. McDonnell, and B. MacMillan (Eds.), Chichester, UK: John Wiley, pp. 165-191.
- [18] Li, J. and Wong, D.W. (2014), "STModelViz: A 3D spatiotemporal GIS using a constraint-based approach." *Computers, Environment and Urban Systems*. vol. 45, pp. 34-49.