

## مدل سازی روابط توپولوژیک سه بعدی فازی در محیط GIS

روزبه شاد<sup>۱</sup>، محمد سعدی مسگری<sup>۲\*</sup> و علی اکبر آبکار<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیر

<sup>۲</sup>استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیر

(تاریخ دریافت ۸۶/۴/۳۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۷/۹/۹، تاریخ تصویب ۸۸/۳/۳۰)

### چکیده

از بهترین مکانیسم‌های نمایش و مدل‌سازی ارتباط‌های مکانی بین اشیاء روابط توپولوژیک هستند که کمک می‌کنند تا تحلیل‌های آسانتر و انعطاف پذیرتری، بر روی اطلاعات مکانی اجرا شود. لذا بررسی نحوه تولید عبارات تصمیم‌ساز توپولوژیک بین مناطق سه بعدی فازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این موضوع با استفاده از ماتریس ۹ اشتراکی فازی که حالت کلی‌تری از ماتریس ۹ اشتراکی اگن هوفر در حالت کریسپ است، قابل اجراست. با توجه به این که استخراج عبارات تصمیم‌ساز وابسته به تعریف مرز فازی دو عارضه مرتبط است، لذا لازم است که روشی نیز برای محاسبه مرز فازی بین دو عارضه ارائه شود. در این مقاله روشی پیشنهادی، جهت استخراج عبارات تصمیم‌ساز از طریق مدل‌سازی روابط توپولوژی بین مناطق سه بعدی فازی ارائه می‌شود. این موضوع با استفاده از کاربرد عملی تعیین محدوده‌های ریسک حاصل از آتش‌سوزی چاه‌های نفت کویت بر روی مناطق جنگلی جنوب غربی ایران پیاده‌سازی شده است. بررسی نتایج نهایی حاصل از اجرا نشان می‌دهد که در سیستم طراحی شده، با افزودن اندیس شمول فازی به همراه روابط توپولوژیک سه بعدی، حدوداً ۲۰ درصد نتایج بهبود می‌یابند.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم اطلاعات مکانی، فازی، توپولوژی، سه بعدی، عبارت تصمیم‌ساز

### مقدمه

نوع کاربرد مرتبط با عدم قطعیت از مدل‌های مناسب برای تحلیل مرز عوارض استفاده کنند. از مناسب‌ترین تکنیک‌ها و روش‌های محاسباتی در این زمینه تئوری فازی است که با استفاده از آن می‌توان نامعین بودن مرز را در ورودی‌ها، مدل‌ها و تحلیل‌های سیستم به دست آورده و بر مبنای آنها تصمیم‌گیری نمود. البته لازم به ذکر است که تئوری‌های دیگری مانند: تئوری احتمالات، مجموعه‌های راف و جبر مجموعه‌ها نیز در این زمینه قابل استفاده‌اند. ولی با توجه به این که تئوری فازی تعمیم یافته مباحث مذکور است در این مقاله از آن استفاده شده است. برای حصول بدین مقصود لازم است که تعریف مشخصی از مرز محدوده‌های مکانی ارائه شود.

در دنیای واقعی مرز با خصوصیات از عوارض مانند: جنس، کاربرد و زمانمند بودن آنها ارتباط دارد [۷]. از دیدگاه دیگری می‌توان گفت مرز شامل خارجی‌ترین حد یک شیء است که با مدل‌سازی آن میتوان روابط توپولوژیک و غیرتوپولوژیک بین اشیاء را به دست آورد. مدل‌سازی صحیح چنین روابطی با در نظر گرفتن عدم قطعیت، باعث می‌شود که سیستم قادر گردد در فرایند تصمیم‌گیری و تحلیل خود صحیح‌تر عمل نماید.

برخی از عوارض مکانی که در سیستم‌های اطلاعات مکانی به منظور انجام اعمالی مانند، نمایش، تجزیه و تحلیل، پردازش، ذخیره‌سازی و بازیابی مورد استفاده قرار می‌گیرند، غیردقیق و نامعین هستند. غیردقیق بودن در اطلاعات مکانی به مفهوم این است که مرز دقیق و مشخصی برای تفکیک آنها وجود ندارد. سرچشمه این موضوع را می‌توان در مواردی مانند: کمبود دانش، عدم دقت در مشاهدات و ماهیت طبیعی خود عارضه دانست. به عبارتی دیگر می‌توان گفت که مدل‌سازی نامعین مکانی به مفهوم معادل سازی داده‌های مکانی واقعی با مرزهای نامشخص در سیستم است که نتیجه تحلیل آنها موجب تصمیم‌سازی صحیح و کارآمد می‌گردد [۱]. علی‌رغم این حقیقت، پدیده‌های غیردقیق در سیستم‌های اطلاعات مکانی معمولاً به صورت کریسپ نمایش داده می‌شوند و مدل‌های تحلیلی کریسپ بر روی آنها اعمال می‌گردد. این مدل‌ها با توجه به عدم تطابق خروجی آنها با واقعیت در کاربردهای متنوعی مانند: خاکشناسی [۲]، مهندسی [۳]، پایگاه داده‌های شئ گرا [۴-۶] و نظیر آن محدودیت ایجاد می‌کنند. لذا از نیازهای اصلی در سیستم‌های اطلاعات مکانی اینست که با در نظر گرفتن

ارائه کردند که در آن امکان مشخص نمودن نزدیکی یا دوری دو رابطه توپولوژیک از هم وجود داشت. با بررسی کارهای انجام شده توسط محققین مختلف مشخص می شود که در صورتی که لازم باشد روابط توپولوژیک فازی به صورت آنی و پویا استخراج گردند، هیچ یک از نتایج ارائه شده قادر نیستند که روشی کارآمد را پیشنهاد نمایند. لذا در این مقاله سعی بر آن است که با استفاده از مفهوم شبیه سازی روشی کارا برای محاسبه روابط توپولوژیک فازی و استخراج متغیرهای تصمیم سازی بیانی جهت تصمیم گیری و استنتاج ارائه گردد. برای این منظور دو جسم سه بعدی ساده در نظر گرفته شده اند که با توجه به نیاز و کاربرد مطلوب، برخی از روابط ساده سازی شده به عنوان ورودی آن معرفی می شوند.

به عنوان مثال یک هواپیمای در حال حرکت و یک محدوده چاله هوایی را میتوان به عنوان دو عارضه نامعین فرضی در نظر گرفت. هواپیمای در حال حرکت که اطراف آن را یک محدوده امنیتی سه بعدی فرا گرفته است را می توان به صورت محدوده فازی B نشان داد که مقادیر عضویت نقاط به آن از یک تا صفر کاهش می یابند. تابع عضویت را می توان با استفاده از معیارهای مختلفی مانند: سرعت، دقت موقعیتی و فاصله تعریف کرد. فرض کنید که محدوده فازی سه بعدی B به سمت فضای سه بعدی A در حال حرکت است. در ابتدا روابط بین محدوده های فازی A و B وضوحاً از هم جدا<sup>۱</sup> می باشد. هنگامی که عارضه B به سمت A حرکت می نماید، رابطه از هم جدا به تدریج به "داخل بودن" نزدیک می شود. حال بحث این است که چگونه می توان تغییر روابط مکانی سه بعدی A و B را نشان داد. در روشی که برای نمایش این ارتباطات مورد استفاده قرار می گیرد، از شش نوع متغیر زبانی شامل: خارج از محدوده<sup>۲</sup>، تماس<sup>۳</sup>، مساوی<sup>۴</sup>، داخل<sup>۵</sup>، پوشاندن<sup>۶</sup> و همپوشی<sup>۷</sup> استفاده می شود. این متغیرهای تصمیم ساز و لفظی معمولاً به همراه کمیت سازهای<sup>۸</sup> مانند: وضوحاً<sup>۹</sup>، بیشتر<sup>۱۰</sup>، قدری<sup>۱۱</sup> و اندکی<sup>۱۲</sup> مورد استفاده قرار می گیرند. به عنوان مثال می توان گفت که بین دو محدوده فازی رابطه "وضوحاً از هم جدا" و یا "قدری از هم جدا" اندکی تماس<sup>۱۳</sup> برقرار است. برای استخراج چنین متغیرهای زبانی می توان از محاسبه درجه نزدیکی بین ماتریس های ۹ اشتراکی اگن هوفر در حالت کریسپ و

برخی از محققین که تلاش هایی را برای تعریف چنین روابطی انجام داده اند، معتقدند، هنگامی تعریف روابط توپولوژیک فازی مشکل میگردد که لازم باشد سطوح جنرالیزاسیون جهان واقعی در آن در نظر گرفته شوند [۸-۱۱]. این موضوع بدین معنی است که در سیستم های مرتبط با این روابط، بایستی معین گردد که تا چه اندازه جنرالیزاسیون در مدل سازی اطلاعات و روابط موجود در جهان واقعی مورد نیاز است.

در این زمینه لیونگ تلاش هایی را برای فرمال کردن معانی هسته، مرز و روابط توپولوژیک فازی، با تلفیق مجموعه های راف و فازی انجام داد [۱۲] که حاصل این تلاش ها ارائه مدلی تلفیقی برای جنرالیزاسیون اطلاعات مکانی بود. چانگ [۱۳] برای اولین بار از مفهوم فضای توپولوژیک فازی و توابع بعدی در آنها استفاده نمود و تعریفی جامع را برای جنرالیزه کردن روابط و اطلاعات مکانی ارائه داد. این محقق تلاش کرد تا از مفهوم مجموعه داخلی برای تعریف مرز استفاده کند. در نتیجه محدوده داخلی مجموعه فازی A را بزرگترین مجموعه باز A تعریف نمود. آلتمن [۱۴] برای تعیین محدوده ها و روابط فازی بین آنها از محاسبات باینری بر دامنه  $N*N$  استفاده نمود. اشنایدر [۱۵] ثابت کرد که مجموعه ساده ای که توسط آلتمن پیشنهاد داده شده است در حالت تغییر شکل ژئومتری عوارض درست جواب نمی دهد. منظور از تغییرات ژئومتری حالاتی از داده مانند: نقطه، خط و پلیگون است. برای حل این مشکل کلمنتینی [۹، ۱۶]، دیفلیس، کوهن و گوتس [۱۰] روابط توپولوژیک بین محدوده های فازی را بر اساس نظریه ساده سازی ارائه کردند. در نتیجه ارائه چنین نظریه ای مشخص گردید که در حالت های پیچیده ژئومتری تعداد زیاد روابط را می توان تا حد ممکن و بر اساس نیاز در نرم افزار کاهش داد. در نتیجه فرایند پیشنهادی به نحوی کارآمدتر قادر بود که روابط را ذخیره نماید. اما سرعت استخراج این روابط در سیستم های آنی یک سرعت معقول و منطقی نبود. زان [۱۷-۱۸] برای حل مشکل سرعت استخراج روابط، با استفاده از تئوری مجموعه های فازی یک مدل تقریبی از روابط باینری بین مناطق فازی، پیشنهاد کرد. در این مدل مقدار عضویت در یک رابطه کریسپ با استفاده از سطوح آلفا کات فازی قابل تعیین بود. اگن هوفر و آل طاهها [۱۹] تئوری واحدی را برای تغییرات جزئی روابط توپولوژیک

تعریف ۴: اگر یک ناحیه فازی به نام  $A$  وجود داشته باشد، مجموعه داخلی این ناحیه فازی که به صورت  $A^\circ$  نشان داده می شود به فرم ذیل تعیین می شود.

$$\mu_A(x,y,z) = \begin{cases} \text{supp}(A)^\circ & (x,y,z) \in \text{supp}(A)^\circ \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

تعریف ۵: اگر یک ناحیه فازی با نام  $A$  وجود داشته باشد، مجموعه خارجی<sup>۱۵</sup> این ناحیه فازی که به صورت  $A_e$  نشان داده می شود، با معادله ذیل قابل تعریف است.

$$\mu_{A_e}(x,y,z) = \begin{cases} \text{supp}(A)_e & (x,y,z) \in \text{supp}(A)_e \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

برای تعیین مرز فازی یک عارضه، با توجه به کاربردهای متعدد در مقالات مختلف، تعاریف متفاوتی ارائه شده است. مرز یک محدوده فازی، شامل مجموعه نقاطی است که وقتی فاصله آنها از مجموعه داخلی و فضای خارجی مساوی باشد، درجه تعلق آنها به مرز بیشترین گردد [۹،۱۰،۲۲،۱۲].

$$\mu_{A_e}(x,y,z) = 1 - \mu_A(x,y,z) \quad (6)$$

تعریف ۶: اگر  $A$  یک مجموعه فازی باشد، تابع عضویت مرز  $A$  به صورت ذیل مشخص می گردد.

$$A_{\partial A}(x,y,z) = 2 \min[\mu_A(x,y,z), 1 - \mu_A(x,y,z)] \quad (7)$$

فاکتور ۲ مقادیر تعلق را نرمالیزه می کند. یعنی آنها را در فضای  $[0,1]$  تصویر می نماید. این تعریف دارای ویژگی های ذیل است:

الف- مرز فازی یک محدوده فازی برابر است با مرز فازی محدوده خارجی آن.

ب- اگر  $\mu_A(x,y,z) = 0$  or  $1$  باشد، آنگاه  $\mu_{\partial A}(x,y,z) = 0$  یعنی اگر  $(x,y,z)$  به صورت واضح قسمتی از داخل یا خارج محدوده  $A$  است آنگاه  $\mu_{\partial A}(x,y,z) = 0$  است.

ج- بیشینه مقدار تعلق وقتی رخ می دهد که  $\mu_A(x,y,z) = 1/2$  است.

البته باید توجه داشت که تعریف ۵ برای اطمینان از انتقال نرم از مرز کریسپ به مرز فازی نیازمند شرطی است. در روش پیشنهادی فرض شده است که انتقال مطلوب یک انتقال نرم است.

فازی استفاده نمود [۱۹]. در نتیجه کاربران قادر میشوند نتایج به دست آمده از روابط توپولوژیک را به صورت آنی تحلیل نمایند. مسئله دوم تعیین شدت روابط توپولوژیک بین پدیده های فازی است. شدت ارتباط بین اشیاء فازی از طریق اندیسی به نام اندیس شمول<sup>۱۳</sup> قابل تعریف است. اگر چه این اندیس قادر نیست همه اطلاعات مربوط به شدت روابط فازی بین دو شیء را ارائه دهد، ولی با استفاده از آن اطلاعات ارزشمندی را میتوان در مورد کمیت روابط به دست آورد [۲۰-۲۱].

برای رسیدن به مقاصد فوق و ارائه راه حل ریاضی برای حل این مسئله مقاله به شرح ذیل سازماندهی شده است. در بخش دوم ابتدا در مورد تعاریف و مفاهیم مورد نیاز مرتبط با مجموعه های فازی سه بعدی بحث خواهد شد. سپس در بخش سوم با توجه به اهمیت ارتباط های مکانی در استخراج عبارات تصمیم ساز، نحوه تعریف این عبارات به صورت باینری و فازی، با استفاده از ماتریس ۹ تقاطعی اگن هوفر توضیح داده می شود. در ادامه روش جدیدی برای تعیین انواع روابط در حالت فازی، از طریق محاسبه نزدیکی با ماتریس های کریسپ ارائه میگردد. بعد از آن در فصل چهارم و پنجم با یک آزمایش شبیه سازی، عبارات تصمیم ساز مکانی و مقادیر شاخص شمول استخراج شده و نتایج آنها مورد ارزیابی قرار می گیرند. سپس از الگوریتم پیشنهادی برای پیاده سازی یک کاربرد عملی استفاده شده و نتایج آن در بخش ششم مورد ارزیابی قرار داده می شود. و در نهایت در بخش هفتم نتایج کلی مقاله ارائه خواهد شد.

## تعاریف و مفاهیم

تعریف ۱: یک محدوده سه بعدی فازی  $A$  با استفاده از توابع تعلقش به صورت ذیل تعریف می شود.

$$A = \{(x,y,z), \mu_A(x,y,z)\} \quad \text{where } (x,y,z) \in R^3 \text{ and } \mu_A: R^3 \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

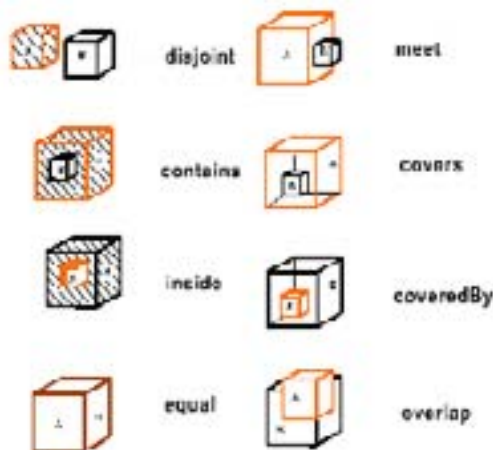
تعریف ۲: آلفا کات مجموعه فازی  $A$  که با  $A_\alpha$  نشان داده شده است، به صورت ذیل مشخص می شود.

$$A_\alpha = \{(x,y,z), \mu_A(x,y,z) \geq \alpha\}, \quad \alpha \in [0,1] \quad (2)$$

تعریف ۳: محمل<sup>۱۴</sup> یک ناحیه فازی  $A$  را که با  $\text{Supp}(A)$  نشان می دهند، به صورت ذیل قابل تعریف است.

$$\text{Supp}(A) = \{(x,y,z), \mu_A(x,y,z) \geq 0\} \quad (3)$$

مدل‌سازی آن سخت خواهد شد. با توجه به اینکه تعداد زیادی از وضعیت‌های ارتباطی در معرض نیاز واقعی قرار ندارند، برخی از حالات ذیل به عنوان نمونه بین دو حجم ساده در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۱: روابط توپولوژیک ساده در حالت کریسپ [۲۴].

### ماتریس ۹ اشتراکی فازی

ماتریس ۹ اشتراکی فازی، روابط کریسپ را به صورت فازی جنرالیزه می‌نماید [۲۵].  
تعریف ۷: فرض کنید که دو محدوده فازی A و B با مرزهای فازی  $\partial A$  و  $\partial B$  موجود باشند، در این صورت می‌توان نوشت.

$$V(A,B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B_e \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B_e \\ A_e \cap B^\circ & A_e \cap \partial B & A_e \cap B_e \end{bmatrix} \quad (11)$$

تعریف ۸: اگر A و B مناطق فازی باشند، ماتریس فازی ۹ اشتراکی بین A و B یک مجموعه فازی است که با  $F_9$  نشان داده می‌شود. بر اساس  $V_9$  تابع عضویت  $F_9$  را به صورت ذیل می‌توان معین کرد [۲۶].

$$\mu_{F_9}(v) = h(v) \quad \text{for all } v \in V \quad (12)$$

در رابطه ۱۲، h ارتفاع اشتراک (یعنی ماکزیمم مقدار تعلق مجموعه مشترک) می‌باشد. در نتیجه ماتریس فازی را به راحتی می‌توان با این تعریف تشکیل داد. وقتی که ماتریس ۹ اشتراکی طبق معادلات فوق تعریف می‌گردد، هر نقطه از محدوده A دارای مقدار عضویتی در  $A_e$ ،  $A^\circ$  و  $\partial A$  خواهد بود که این مفهوم با قوانین اساسی مجموعه‌های فازی مطابقت دارد.

### ارتباط توپولوژیک باینری بین مناطق سه بعدی فازی

با استفاده از ماتریس ۹ اشتراکی اگن هوفر [۲۳] می‌توان مدلی را برای نمایش ارتباطات توپولوژیک بین مناطق فازی توسعه داد.

### ماتریس ۹ اشتراکی کریسپ

ماتریس ۹ اشتراکی کریسپ بر اساس اشتراکات مرزها، محدوده‌های داخلی و محدوده‌های خارجی در دو مجموعه نقطه‌ای قادر است که فضای توپولوژیک شامل اشتراکات تهی و غیر تهی را به صورت ذیل تعریف کند [۲۳].

$$V(A,B) = \begin{bmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B_e \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B_e \\ A_e \cap B^\circ & A_e \cap \partial B & A_e \cap B_e \end{bmatrix} \quad (8)$$

این ماتریس به همراه یک تابع مشخصه (رابطه ۹) با المان‌های  $V_9$  مرتبط است.

$$\chi_r(v) = \begin{cases} 0 & v=0 \\ 1 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

$\chi_r(v)$  تابع عضویت مشخصه و  $r$  حالت خاصی از مجموعه فازی است. رابطه ۸ قادر است که شانزده رابطه توپولوژی را ( $R_{16}$ ) نشان دهد. اگن هوفر ثابت کرد که برای دو دیسک در فضای  $R^*$ ، تنها هشت حالت از این روابط واقعیت دارد [۱۹]. بنابراین  $R_8$  به صورت ذیل قابل تعریف است.

$$R_8 = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8\} \quad (10)$$

البته با استفاده از ماتریس ۹ اشتراکی روابط بیشتری را می‌توان نمایش داد (۵۱۲ رابطه) [۲۳]. در این مورد لازم است که نیازها و کاربرد مطلوب به منظور استخراج عبارات تصمیم‌سازی بیانی در نظر گرفته شوند.

روابط توپولوژیک وابسته به بعدش، بعد فضا و نوع مرز آن‌ش می‌باشند. در سه بعد، عوارض را به چهار گروه نقطه، خط، سطح و حجم می‌توان تقسیم نمود. اگر نقطه با P، خط با L، پلیگون با S و حجم با B نشان داده شوند، روابط بین این اشیاء به صورت  $R(P,S)$ ،  $R(P,L)$  و ... تعریف می‌گردد. در نتیجه تعداد روابط بسیار زیاد و

مجموعه‌های کوچکتر  $R_6$  می‌توان تقلیل داد.

$$R_6 = \{r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8\} \quad (14)$$

لذا روابط  $R_6$  بدین صورت قابل بیان هستند: "جدا از هم"، "تماس"، "مساوی"، "داخل بودن"، "پوشش دادن" و "همپوشی". کوهن و گوتس با ادغام دو رابطه  $r_0$  و  $r_1$  یکسری روابطی کوچکتر از  $R_6$  یعنی  $R_5$  را به دست آوردند [۹]. در این مقاله از مجموعه  $R_6$  استفاده شده است.

با محاسبه شباهت بین  $R_6$  و فازی ۹ اشتراکی دو رابطه مهم‌تر از دیگر روابط (از نظر نزدیکی) انتخاب میشوند. این روابط منتخب در یک متغیر تصمیم ساز به نام  $T$  ذخیره می‌شوند. متغیر  $T$  با استفاده از یک چهارتایی<sup>۱۶</sup> به صورت ذیل قابل تعریف است.

$$T = \{q(r_i), t(r_i), q(r_j), t(r_j)\} \quad (15)$$

$t(r_i)$  و  $t(r_j)$  روابط اولیه و ثانویه نامیده می‌شوند و  $q(r_i)$  و  $q(r_j)$  کمیت سنج‌های مربوط به هر یک از آنها هستند. اگر کمیت سنج رابطه اولیه، "No" باشد، فقط رابطه ثانویه اعمال می‌شود و  $T$  به صورت  $T = \{q(r_i), t(r_j)\}$  تعریف می‌شود. در مثال ذیل نمونه‌ای از کمیت سنج‌های طراحی شده آورده شده‌اند.

$$q(r) = \begin{cases} \text{'no'} & \text{if } \mu(F_9, r) \leq 0.02 \\ \text{'slightly'} & \text{if } 0.02 < \mu(F_9, r) \leq 0.4 \\ \text{'somewhat'} & \text{if } 0.4 < \mu(F_9, r) \leq 0.7 \\ \text{'mostly'} & \text{if } 0.7 < \mu(F_9, r) \leq 0.9 \\ \text{'clearly'} & \text{if } 0.9 < \mu(F_9, r) \end{cases} \quad (16)$$

در رابطه ۱۶ مرز کلاس‌ها تاثیر بسیار زیادی را بر روی متغیرهای تصمیم ساز دارند. این متغیرها اطلاعات کیفی مرتبط با روابط مکانی بین اشیاء را نشان می‌دهند، اما اطلاعاتی در مورد اندازه محدوده‌های همپوشانی ارائه نمی‌کنند. اندازه محدوده‌های همپوشانی به کاربر کمک می‌نماید که اطلاعات کمی مربوط به همپوشانی را نیز در تحلیل‌های خود مورد استفاده قرار دهد. لذا از یک محاسبه گر شمول برای اضافه نمودن اطلاعات کمی به روابط توپولوژیک می‌توان استفاده نمود. این اندیس برای محدوده‌های فازی رستری با نماد  $I^*$  به صورت ذیل در نظر گرفته شده است.

### تشابه بین ۹ اشتراکی فازی و ۹ اشتراکی کریسپ

در بخش قبل نشان داده شد که با توجه به نیاز، هشت حالت از روابط ساده ۹ اشتراکی سه بعدی در حالت کریسپ را می‌توان به عنوان واقعیت هندسی در نظر گرفت. این روابط کریسپ را می‌توان با یک تابع مشخصه نشان داد. اگر تابع مشخصه  $\chi_r(v)$  خصوصیات مجموعه‌های فازی را داشته باشد، مقایسه بین  $F_9$  و  $R_8$  را می‌توان برای همه  $r \in R_8$  با  $\Phi(F_9, r)$  ارائه نمود. تابع تعلق  $\mu_{\Phi}(F_9, r)$  نزدیکی بین  $F_9$  و  $r$  را نمایش می‌دهد.

تعریف ۹: نزدیکی بین ۹ اشتراکی کریسپ و فازی به صورت ذیل قابل تعیین است.

$$\mu_{\Phi}(F_9, r) = \gamma [(F_9 \wedge r) \vee (F_9^- \wedge r^-)] \quad (17)$$

که در آن  $\wedge$  و  $\vee$  به ترتیب اپراتورهای ماکزیمم و مینیمم فازی،  $F_9$  و  $r$  به ترتیب مکمل فازی  $F_9$  و  $r_0$  و  $\gamma$  مینیمم عضویت مجموعه‌های فازی مفروض را انتخاب می‌کند. با در نظر داشتن معادلات فوق دو حالت مختلف برای محاسبه شباهت اتفاق می‌افتند:

$$\chi_r(v) = 1 \rightarrow S_1 = \mu_{F_9}(v) = \wedge (1, \mu_{F_9}(v))$$

$$\chi_r(v) = 0 \rightarrow S_0 = 1 - \mu_{F_9}(v) = \wedge (1 - 0, 1 - \mu_{F_9}(v))$$

در فوق مقدار شباهت  $\chi_r(v)$  با  $\mu_{F_9}(v)$  از طریق محاسبه  $\vee (S_0, S_1)$  یا همان سوپریمم  $S_0$  و  $S_1$  مشخص می‌شود که در آن  $\vee$  و  $\wedge$  اپراتورهای اشتراک، اجتماع و مکمل هستند. در نتیجه می‌توان گفت که مجموعه فازی ۹ اشتراکی کریسپ، روابط توپولوژیک دو به دو ناسازگار ایجاد می‌کند، در صورتی که ۹ اشتراکی فازی یک رابطه یک به چند از  $F_9$  به  $R_8$  ایجاد می‌کند.

### شبیه‌سازی و استخراج متغیرهای تصمیم ساز

مشخصاً زبان طبیعی قادر نیست عبارات منفردی را برای جداسازی صریح روابط  $R_8$  ارائه دهد. به عنوان مثال دو رابطه "داخل و شامل" مربوط به  $r_{10}$  و  $r_{11}$  و دو رابطه "پوشاندن و پوشش داده شده" مرتبط با  $r_6$  و  $r_7$  دارای چنین مشکلی هستند. عبارات تصمیم ساز مورد استفاده در  $R_8$  می‌توانند مواردی مانند: "داخل بودن"، "پوشش داده شده با"، "شامل بودن" و "پوشش دادن" باشند. اما در بعضی از درجات خلاصه سازی، این عبارات قابل ادغام شدن هستند. بنابراین مجموعه روابط پایه را به

متحرک می باشد که روابط توپولوژیک آن با محدوده A برای هر وضعیتی قابل محاسبه است. پس لازم است که متغیرهای کلامی مرتبط به همراه اندیس های شمول جهت اخذ تصمیم مناسب استخراج گردند.

در جدول (۱) روابط توپولوژیک به ترتیب با تغییرات در متغیرهای  $t(r_i)$  و  $t(r_j)$  گروه بندی شده اند. این جدول نشان می دهد که چگونه مقدار اندیس شمول با تغییر روابط افزایش می یابد. برای مثال میانگین "تماس-همپوشی" و "همپوشی-تماس" به ترتیب 0.11 و 0.32 است. بنابراین تعجب برانگیز نیست که بازه مربوط به ارتباطات همپوشی وسیع تر شود (0.18-0.83). پس انتظار بر آن است که در حالت "همپوشی" بازه اندیس شمول بزرگ تر شود. اما در حالت های "داخل بودن" و "جدا از هم" بایستی بازه مربوط به اندیس شمول کوچک تر شود.

جدول ۱: تغییرات اندیس شمول.

Relation	Inclusion Index		
	Min	Mean	Max
Disjoint	0.00	0.00	0.00
Disjoint/ Touch	0.00	0.02	0.07
Touch/ Disjoint	0.01	0.04	0.16
Touch/ Overlap	0.06	0.11	0.28
Overlap/ Touch	0.09	0.32	0.68
Overlap	0.18	0.50	0.83
Overlap/ Inside	0.60	0.69	0.89
Inside/ Overlap	0.87	0.89	0.95
Inside	0.92	0.96	1
Overlap/ Covers	0.13	0.20	0.59

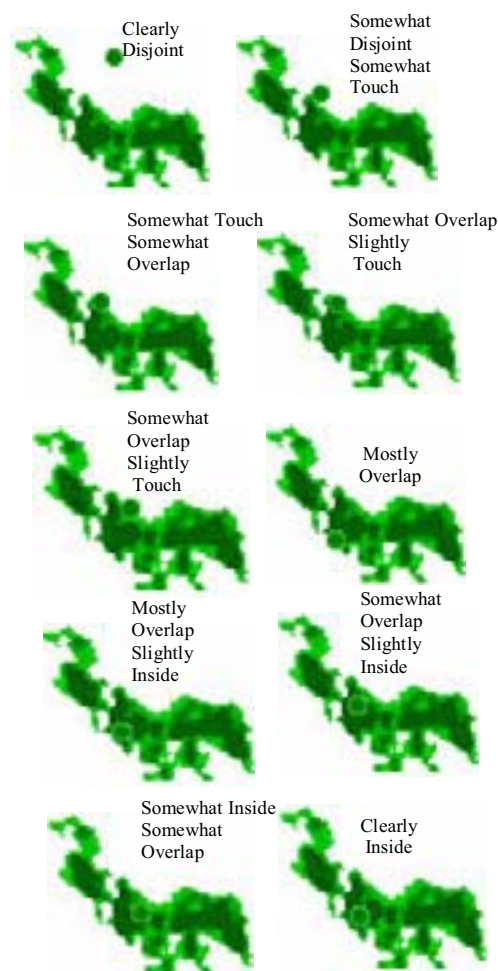
از دیدگاه مفهومی می توان گفت که چنین کمیت سنج هایی که با متغیرهای تصمیم ساز ارتباط دارند، اطلاعات مهمی را ارائه می کنند. مشکلی که در بکارگیری آنها وجود دارد این است که در هنگام پردازش، بایستی مؤلفه های مهم جهان واقعی در نظر گرفته شوند، تا از سرریز شدن گیرنده ها با اطلاعات زیاد جلوگیری شود. بنابراین ایجاد محدودیت در حوزه عملکرد این کمیت-سنج ها اجتناب ناپذیر است.

در جدول (۱) مقادیر اندیس شمول با تغییر روابط توپولوژیک از حالت "جدا از هم" به "داخل بودن" افزایش

$$I^*(A,B) = \frac{\text{Card}(I)}{\text{Card}(B^*)}$$

$$\mu_i(u) = \begin{cases} 1 & \mu_B(u) \geq \mu_A(u) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\mu_{B^*}(u) = \begin{cases} 1 & \mu_B(u) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

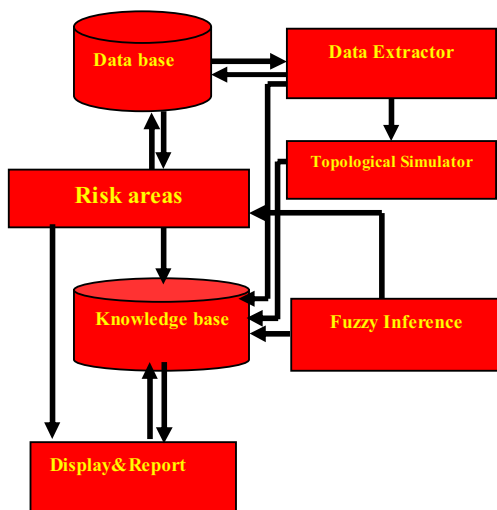


شکل ۲: متغیرهای تصمیم ساز استخراج شده.

### نتایج عملی آزمایش شبیه سازی

دو منطقه فازی سه بعدی آزمایشی در شکل (۲) نشان داده شده اند. محدوده سه بعدی B یک هواپیمای

سنجنده ماهواره اخذ و سپس عوارض مطلوب از طریق آن استخراج شده و رفتار مکانمند آنها در یک سیستم استنتاجگر مورد تحلیل قرار گیرند. چنین سیستم استنتاجگری با شبیه سازی رفتارهای مکان مند و نامعین سه بعدی این دو پدیده و استفاده از دانش تخصصی بشری قادر می‌گردد که محصولات اطلاعاتی لازم را در اختیار تصمیم گیرندگان قرار دهد. بدین منظور از طریق ردیابی و مانیتورینگ مؤلفه‌های توپولوژیک این دو عارضه متغیرهای تصمیم ساز مکانی را به صورت آنی تعیین کرده و قوانین مرتبط با آنها را در پایگاه دانش خود به روز مینماید. برای دستیابی و تحقق این هدف، سیستم استنتاجگر مکانی شامل اجزائی به نامهای: پایگاه داده، پایگاه دانش، استخراجگر داده، شبیه ساز روابط توپولوژیک، استنتاجگر و قسمت نمایش و گزارش گیری طراحی و پیاده سازی شده است (شکل ۴).



شکل ۴: معماری سیستم طراحی شده.

بدین منظور ابتدا داده هایی مانند: تصاویر ماهواره‌ای NOAA، مدل رقمی کل منطقه، ارتفاع متوسط درختان جنگل، ضخامت متوسط دود، پایداری دود، میزان دود منتشر شده و جهت باد غالب به صورت رستری و با یک فرمت فراخوانی به نام ASCII در یک پایگاه داده مکانمند ذخیره می‌شوند.

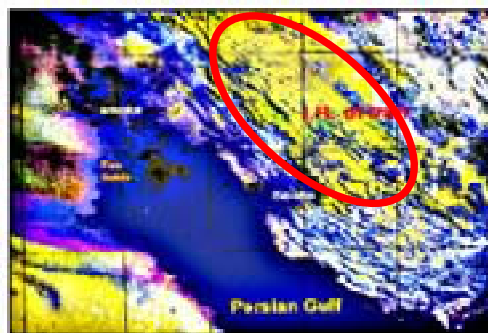
سپس بخش استخراجگر داده با استفاده از اشاره گرها به پایگاه داده مکانمند متصل شده و محدوده های سه بعدی آلودگی و جنگل را با اجرای معادلات ۴، ۵ و ۷ استخراج می‌نماید. استخراجگر داده با فرض اینکه U یک محدوده سه بعدی ناهمپوش رستری در فضای  $R^3$  است،

می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که ماتریس ۹ اشتراکی فازی سه بعدی و اندیس های شمول با یکدیگر ارتباط متقابل دارند. اما صرفاً استفاده از  $I^*(A,B)$  نمیتواند به صورت صریح ارتباطات کریسپ ۹ اشتراکی سه بعدی را از یکدیگر منفک سازد. به عنوان مثال همپوشی ممکن است در هر دو حالت مقادیر کم و زیاد اندیس شمول به وقوع بپیوندد.

### پیاده سازی یک کاربرد عملی

برای آشکارسازی نحوه استفاده از عبارات تصمیم ساز و شاخص شمول به دست آمده از بخش‌های قبل کاربرد بررسی تاثیر آلودگی منتشر شده از چاه های نفت کویت در سال ۱۹۹۱ بر روی محدوده جنگلی جنوب غربی کشور در نظر گرفته شده است.

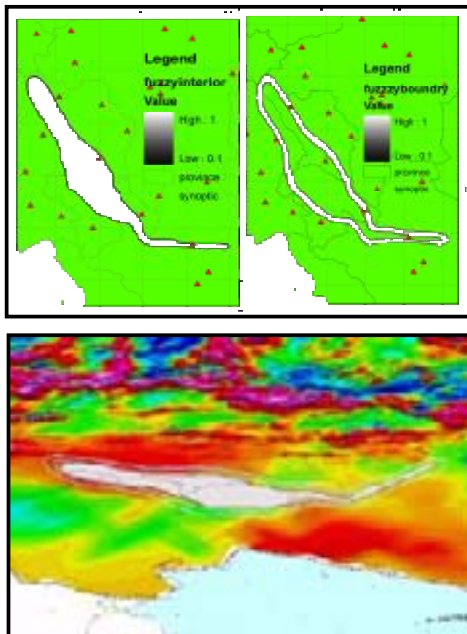
در ژانویه ۱۹۹۱ در مدتی کمتر از یک ماه نزدیک به ۷۰۰ چاه، تانکر و پالایشگاه کویتی آتش گرفته و ۹۰۰ میلیون بشکه نفت سوزانده شد. در نتیجه در طول ۹ ماه توده‌های دود چند صد مایل از محدوده‌های اطراف را فرا گرفت (شکل ۳).



شکل ۳: آتش سوزی چاه‌های نفت کویت در سال ۱۹۹۱.

یکی از محدوده های تحت تاثیر این حادثه، منطقه- ای جنگلی در جنوب شرق ایران است که در نتیجه انتشار آلودگی حاصل از چاه های نفت کویت، افت چشمگیری در رشد گیاهان، کیفیت خاک و گونه های گیاهی موجود در آن مشاهده شده است. در زمینه مدیریت این حادثه و تعیین میزان خسارت های ناشی از آن از مهم ترین دغدغه های سازمان حفاظت از محیط زیست کشور، تخمین میزان ریسک به صورت آنی و فوری در محدوده مذکور بوده است. برای دستیابی به این مقصود لازم است که ابتدا داده‌ها به صورت آنی از طریق یک سنسورگر مانند

چاه های نفت کویت رخ داده است، هفت دوره زمانی (Snapshot) به عنوان دوره های تغییر رفتاری در نظر گرفته شده اند.



شکل ۵: نمونه ای از خروجی استخراجگر داده در سیستم استنتاجگر.

در بخش شبیه ساز روابط توپولوژیک که مهم ترین وظیفه آن سنجش تغییر رفتارهای مکانی سه بعدی در محیط با توجه به اطلاعات ارسالی از استخراجگر داده می باشد، به طور کلی سه عمل اصلی اجرا می شود.

الف- شبیه سازی روابط توپولوژیک فازی بین محدوده های فازی آلودگی و محدوده فازی جنگل با استفاده از معادلات ۱۱، ۱۲ و ۱۳ در هر Snapshot و استخراج متغیرهای تصمیم ساز با اعمال معادلات ۱۴، ۱۵ و ۱۶ جهت ارسال به پایگاه دانش.

ب- محاسبه فاصله تقریبی توده های آلودگی تا محدوده فازی جنگل و فازی سازی آن در پایگاه دانش.

ج-توجیه امتداد حرکتی توده ها به سمت محدوده جنگلی جهت تشخیص تاثیر امتداد حرکتی توده.

در شکل (۶) نمونه ای از نحوه عملکرد بخش شبیه ساز روابط توپولوژیک در ماه فوریه نشان داده شده است. در این تصویر رابطه توده آلودگی مورد نظر با محدوده جنگلی " بیشتر از هم جدا-اندکی مماس" می باشد و اندیس شمول آن 0.02 محاسبه شده است.

با اجرای معادله ۱ محدوده های فازی مورد نظر را به صورت ذیل تعریف می کند.

$$A = \{u, \mu_A(u)\} \quad \text{where } \mu_A: R^3 \rightarrow [0,1] \text{ and } u \in U \quad (18)$$

در مرحله بعد برای تشخیص مرز فازی، مولفه های دو بعدی فازی و لبه های یک بعدی نامعین را در هر المان کریسپ سه بعدی تشخیص می دهد. برای اجرای این فرایند از ساختاری به نام هایپررستر استفاده میکند. در این ساختار مجموعه دوبعدی رستری، محمل فازی مجموعه سه بعدی است و المان های یک بعدی (مرز پیکسل ها)، محمل مجموعه دو بعدی پیکسل ها هستند. لذا المان های دو بعدی و لبه های یک بعدی A را به صورت ذیل تخمین می زند.

$$P_A(x, y) = \partial \text{Supp}(A(x, y, z)) \quad (19)$$

$$E_A = \partial \text{Supp}(P_A(x, y))$$

هر یک از قطعات پیکسلی و خطی در مثال فوق دارای میزان تعلق هستند. بنابراین مقادیر تعلق قطعات در  $\partial A$  بایستی تعریف شود. لذا استخراج لبه e که در مرز دو پیکسل قرار دارد به صورت ذیل است.

$$\mu_{\partial A}(e) = 2 \min[1/2(\mu_A(e_l) + \mu_A(e_r)), 1 - 1/2(\mu_A(e_l) + \mu_A(e_r))] \quad (20)$$

در رابطه ۲۰  $\mu_A(e_l)$  و  $\mu_A(e_r)$  مقادیر عضویت دو پیکسل همسایه در منطقه فازی A هستند که در یال e مشترکند. پس به طور خلاصه وظیفه اصلی بخش استنتاجگر داده این است که با کمک اشاره گرها به پایگاه داده متصل شده و در هر بازه زمانی مجموعه های فازی داخل، مرز و خارج هر یک از توده های آلودگی و محدوده جنگلی را به دست آورد. نمونه ای از مجموعه فازی سه بعدی و دو بعدی به دست آمده از معادله ۱۹ برای محدوده جنگلی مورد نظر در شکل (۵) نمایش داده شده است.

پس در هر بازه زمانی که توده هوای آلوده به سمت محدوده جنگلی جنوب غربی ایران حرکت میکند، استخراجگر داده محدوده های فازی دود و جنگل را به دست آورده و آنها را به شبیه ساز روابط توپولوژیک ارسال می کند. از آنجائی که در ماه های فوریه، مارس، می، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر سال ۱۹۹۱ تغییرات رفتاری زیادی در رشد گیاهان و انتشار دود حاصل از آتش سوزی



شده در پایگاه دانش بخش استنتاجگر مشاهده می شوند.



شکل ۷: متغیرهای فازی مربوط به پایداری دود و جهت باد.

در لایه سوم مجموعه قوانین مور نیاز سیستم با در نظر گرفتن پرسشنامه های فنی معرفی می گردند. به عنوان نمونه "اگر جهت باد به سمت محدوده جنگلی بوده، مقدار اندیس شمول زیاد باشد، نوع توپولوژی خیلی-همپوشی بوده، فاصله توده نسبت به آن کم باشد و آلودگی توده مورد نظر زیاد باشد، آنگاه مقدار ریسک زیاد است"، یک قانون اگر و آنگاه در سیستم مطلوب است. البته در این جا لازم است که مجموعه قوانین مورد نیاز از طریق ارتباط با لایه دوم معرفی شده و در پایگاه دانش ذخیره گردند. این قوانین با توجه به شرایط ورودی های مکانی و با استفاده از اپراتورهای فازی با یکدیگر تلفیق شده و منجر به نتیجه گیری نهایی می گردند. در این جا پایگاه دانش طراحی شده شامل ۲۲ قانون بر اساس متغیرهای فازی مانند: مقدار دود، فاصله، جهت باد، اندیس شمول و ... می باشد (شکل ۸). وظیفه لایه های چهارم و پنجم هم معرفی خروجی مورد نظر (همان مقدار ریسک) به صورت یک متغیر فازی است. مقدار ریسک به عنوان یک متغیر نتیجه، با پنج ترم "خیلی کم"، "کم"، "متوسط"، "زیاد" و "خیلی زیاد" در نظر گرفته شده است. در نتیجه با ارتباط یافتن لایه های چهارم و پنجم با لایه سوم امکان نمایش خروجی های استنتاج شده بر روی متغیر فازی خروجی به صورت آنی وجود دارد. پس از ورود اطلاعات در هفت دوره زمانی سال ۱۹۹۱ محدوده ریسک نهایی به صورت شکل (۹) تعیین شده و به قسمت های نمایش و گزارش دهی سیستم ارسال می گردد. در شکل (۹) محدوده های با رنگ سفیدتر دارای ریسک بیشتری



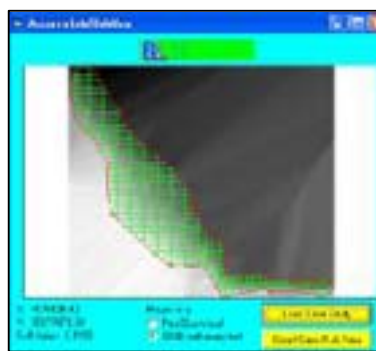
شکل ۶: واسط کاربر طراحی شده برای شبیه سازی روابط توپولوژیک سه بعدی.

پس از اجرای عملیات مطلوب در شبیه ساز روابط توپولوژیک، خروجی های فازی نظیر: نوع رابطه، اندیس شمول، جهت حرکت دود، میزان دود و نظیر آن به دست آمده و به پایگاه دانش بخش استنتاجگر سیستم ارسال میشوند. بخش استنتاجگر شامل پنج لایه عملیاتی با نام: نودهای لینگویستیک ورودی، نودهای ترم ورودی، نودهای قانون، نودهای ترم خروجی و نودهای لینگویستیک خروجی می باشد که لایه های اول و دوم آن را اصطلاحاً لایه های مقدم و دو لایه آخر را تالی می نامند. در لایه اول ابتدا متغیرهای مکانی لازم برای تعیین مقدار ریسک در محدوده جنگلی با تکمیل پرسشنامه های کارشناسی مشخص شده و سپس به صورت متغیرهای نامعین در پایگاه دانش سیستم ذخیره سازی می شوند. به عنوان مثال در کاربرد در نظر گرفته شده متغیرهایی مانند: فاصله، پایداری دود، مقدار آلودگی، جهت حرکت دود، رابطه توپولوژیک محدوده دودی و نظیر آن به عنوان نودهای لینگویستیک ورودی در نظر گرفته شده اند. پس از معرفی لایه اول نودهای آن به لایه دوم متصل شده و در لایه دوم با توجه به پرسشنامه های تخصصی مشخص می گردد که چه ترم هایی لازم است که در نظر گرفته شوند. به عنوان مثال یک متغیر فاصله به صورت نامعین را می توان با ترم هایی مانند: کم، متوسط و زیاد، نشان داد. برای این منظور می توان از توابع فازی مثلثی، ذوزنقه ای و نظیر آن استفاده نمود. در واقع این ترم ها قادر هستند مقادیر صفر و یک بودن یک متغیر را به مجموعه پیوسته ای بین صفر و یک انتقال دهند. در شکل (۷) متغیرهای فازی مربوط به پایداری دود و جهت باد معرفی

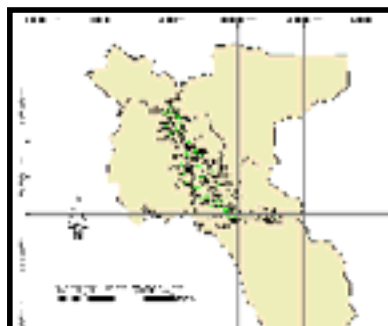
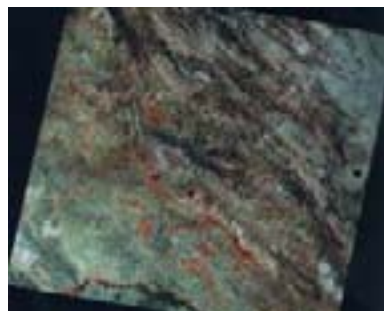
هستند. یعنی امکان تخریب زیست محیطی در اثر آلودگی حاصل از چاه‌های نفت در آن مناطق بیشتر است.



شکل ۸: نمایی از پایگاه دانش فازی طراحی شده.



شکل ۹: محدوده ریسک به دست آمده از طریق استنتاج قوانین توپولوژیک.



شکل ۱۰: نمونه ای از تصاویر Landsat و نقاط در نظر گرفته شده برای بررسی عملکرد سیستم استنتاجگر.

با مقایسه نقشه ریسک به دست آمده و نتایج تحلیلی داده های ماهواره ای Landsat TM مشخص گردید که محدوده ریسک استنتاج شده حدوداً ۸۰ درصد با نتایج حاصل از بررسی پروفیل های رشد گیاهی در نقاط نمونه مطابقت دارد. در صورتی که با حذف روابط توپولوژیک سه بعدی و اندیس شمول میزان تطابق محدوده ریسک با نتایج حاصل از تحلیل رشد گیاهی تا حدود ۶۰ درصد کاهش یافت (شکل ۱۰).

لذا با تحلیل این موضوع میتوان نتیجه گرفت که افزودن اطلاعات مربوط به تغییرات روابط مکانی سه بعدی در بخش های مختلف مدل سازی مسائلی نظیر کاربرد مذکور که دارای خصوصیاتى مانند پیچیده و دینامیک بودن هستند، نقش بسزایی را در صحت عملکردی مدل ها و تحلیل های آنها خواهد داشت. استفاده از این روش در مواردی مانند: پرتاب و کنترل موشک های نظامی، ناوبری هواپیماها، مانیتورینگ مسائل زیست محیطی و نظیر آنها، باعث می شود که توانمندی تحلیل رفتارهای مکانمند واقعی در تصمیم گیری های سیستم به وجود آید.

### نتیجه گیری

در این مقاله روشی نوین برای شبیه سازی روابط بین عوارض مکانی غیر دقیق سه بعدی در سیستم های آبی و دینامیک ارائه شده است. بدین منظور و با در نظر گرفتن متغیرهای تصمیم نمونه برای محدوده های ساده سه بعدی، سعی شد که از مفهوم میزان تعلق جزئی فازی به سه مجموعه داخل، خارج و مرز در مدل سازی عدم قطعیت استفاده شود.

بر این اساس عبارات تصمیم ساز در روابط توپولوژیک سه بعدی بین دو ناحیه فازی، بر اساس محاسبه نزدیکی بین روابط ۹ اشتراکی فازی و زیر مجموعه ای از پانصد و دوازده رابطه ۹ اشتراکی سه بعدی ساده کریسپ استخراج می گردند. چنین متغیرهایی قادر هستند که یک شرح مشخص جنرالیزه شده و قابل فهم از روابط مکانی بین مناطق فازی را در حالت دینامیک ایجاد کنند. در نتیجه سیستم های دینامیک که با مشکل سرریزی اطلاعات رو به رو هستند می توانند به نحو بهینه ای روابط توپولوژیک را در پایگاه دانش خود ذخیره و به روز نمایند. در این حالت مشکلی که ایجاد می گردد این است که ممکن است در وضعیت ها و شرایطی که

نظر گرفتن شاخص شمول به همراه متغیرهای تصمیم ساز حاصل از روابط توپولوژیک سه بعدی بیش از ۲۰ درصد بر صحت نتایج سیستم دینامیکی استنتاج‌گر و تصمیم گیر طراحی شده تأثیر داشته است. این موضوع نشان دهنده کارایی بالای روش ابداعی پیاده سازی شده در سیستم‌های آنی است. در نتیجه پیاده سازی آن در سیستم‌های هوشمند مربوط به کنترل موشک‌های نظامی، ناوبری هوایی، مانیتورینگ مسائل زیست محیطی و حوادث غیرمترقبه و همچنین پدافندهای غیرعامل پیشنهاد می‌شود.

اطلاعات در سیستم تغییر می‌کنند یک نوع رابطه توپولوژیک ثابت و بدون تغییر باقی بماند. در این حالت برای تحلیل و تصمیم‌گیری بهتر بر روی متغیرهای حاصل از شبیه سازی روابط توپولوژیک می‌توان از اندیسی به نام شاخص شمول استفاده نمود. این شاخص اطلاعات مربوط به تغییرات کمی "شمول" یک عارضه را نشان داده و باعث می‌شود که اطلاعات جزئی تری به روابط توپولوژیک استخراجی اضافه گردد. پیاده سازی کاربرد تاثیرات حاصل از توده دودی منتشر شده از چاه‌های نفت کویت بر جنگل‌های جنوب غربی ایران نشان داد که در

## مراجع

- 1 - Burrough, P. A. (1996). "Natural objects with indeterminate boundaries." in: P.A. Burrough, A.U. Frank (Eds.), *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*, GIS DATA II, Taylor & Francis, Great Britain, PP. 3–28.
- 2 - McBratney, A. B. and Odeh, I. O. A. (1997). "Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions." *Geoderma*, Vol. 77, PP. 85–113.
- 3 - Kosko, B. (1997). *Fuzzy Engineering*. 1<sup>st</sup> Ed., Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- 4 - Cross, V. V. (2001). "Fuzzy extensions for relationships in a generalized object model." *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 16, PP. 843–861.
- 5 - Jonathan, L., Jong-Yih, K. and Nien-Lin, X. (2001). "A note on current approaches to extending fuzzy logic to object-oriented modeling." *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 16, PP. 807–820.
- 6 - Ma, Z. M., Zhang, W. J., Ma, W. Y. and Chen, G. Q. (2001). "Conceptual design of fuzzy object-oriented databases using extended entity-relationship model." *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 16, PP. 697–711.
- 7 - Couclelis, H. (1996). "Towards an operational typology of geographic entities with ill-defined boundaries." In: P.A. Burrough, A.U. Frank (Eds.), *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*, GIS DATA II, Taylor & Francis, Great Britain, PP. 45–55.
- 8 - Bjroke, J. T. (1995). "Fuzzy set theoretic approach to the definition of topological spatial relations." In: *J.T. Bjroke (Ed.), ScanGIS'95*, 12–14 June, Department of Surveying and Mapping, Norwegian Institute of Technology, 7034 Trondheim, Norway, PP. 197–206.
- 9 - Clementini, E. and Di Felice, P. (1996). "An algebraic model for spatial objects with indeterminate boundaries." In: P. A. Burrough, A. U. Frank (Eds.), *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*, GIS DATA II, Taylor & Francis, Great Britain, PP. 155–169.
- 10 - Cohn, A. G. and Gotts, N. M. (1996). "The egg-yolk representation of regions with indeterminate boundaries." In: P. A. Burrough, A. U. Frank (Eds.), *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*, GISDATA II, Taylor & Francis, Great Britain, PP. 171–187.
- 11 - Roy, A. J. and Stell, J. G. (2001). "Spatial relations between indeterminate regions." *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 27, PP. 205–234.
- 12 - Leung, Y. (1987). "On the imprecision of boundaries." *Geographical Analysis*, Vol. 19, No.2, PP. 125–151.

- 13 - Chang, C. L. (1968). "Fuzzy topological spaces." *Journal of Mathematical Analysis and Application*, Vol. 24, PP. 182–190.
- 14 - Altman, D. (1994). "Fuzzy set theoretic approaches for handling imprecision in spatial analysis." *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 8, No. 3, PP. 271–289.
- 15 - Schneider, M. (1999). "Uncertainty management for spatial data in databases: fuzzy spatial data types." In: *Advances in Spatial Databases, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1651, Springer, Berlin, PP. 330–351.
- 16 - Clementini, E., Di Felice, P. and Koperski, K. (2000). "Mining multiple-level spatial association rules for objects with a broad boundary." *Data Knowledge Engineering*, Vol. 34, PP. 251–270.
- 17 - Zhan, F. B. (1998). "Approximate analysis of binary topological relations between geographic regions with indeterminate boundaries." *Soft Computation*, Vol. 2, PP. 28–34.
- 18 - Zhan, F. B. (2001). "Approximate characterization of topological relations between fuzzy regions and their corresponding linguistic descriptions." *Systems Analysis Modeling Simulation*, Vol. 41, No. 1, PP. 1–17.
- 19 - Egenhofer, M.J. and Al-Taha, K.K. (1992). "Reasoning about gradual changes of topological relationships." In: A.U. Frank, U.Formentini (Eds.), *Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 639, Springer, Berlin, Heidelberg, Proc. International Conference, Pisa, Italy, September 21–23, PP. 196–219.
- 20 - Bouchon-Meunier, B., Rifqi, M. and Bothorel, S. (1996). "Towards general measures of comparison of objects." *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 84, PP. 143–153.
- 21 - Wang, W. J. (1997). "New similarity measures on fuzzy sets and on elements." *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 85, PP. 305–309.
- 22 - Ibwa, E. C. and Tarrwes, J. (1997). "On the boundary of fuzzy sets." *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 89, PP. 113–119.
- 23 - Goodchild, M. F. (1992). "Geographical data modeling." *Computers and Geosciences*, Vol. 18, No. 4, PP. 401–408.
- 24 - Egenhofer, M. J. and Herring, J. R. (1990). "A mathematical framework for the definition of topological relationships." In: *Proceedings of Fourth International Symposium on Spatial Data Handling*, Zurich, Switzerland, PP. 803–813.
- 25 - Chrisman, N. (1997). *Exploring Geographic Information Systems*. 1<sup>st</sup> Ed. Wiley, New York.
- 26 - Yager, R. R. (1982). "Some procedures for selecting fuzzy set-theoretic operators." *International Journal of General Systems*, Vol. 8, PP. 115–124.

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- |                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 1 - Clearly Disjoint  | 2 - Outside or Disjoint |
| 3 - Touch or Meet     | 4 - Equal               |
| 5 - Inside or Contain | 6 - Cover or Covered by |
| 7 - Overlap           | 8 - Quantifier          |
| 9 - Clearly           | 10 - Mostly             |
| 11 - Somewhat         | 12 - Slightly           |
| 13 - Inclusion Index  | 14 - Support            |
| 15 - Exterior         | 16 - Quadtuple          |