مقایسه‌ی دو روش تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری زمین‌لرزه تحت شرایط عدم قطعیت مبتنی بر منطق فازی کلاسیک و منطق فازی شهودی

محمدرضا ملک*- دانشیار، گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
Email:mrmalek@kntu.ac.ir

پرستو پیله‌فروش‌ها- دانشجوی دکتری، گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

چکیده

ریسک هرگونه بحران طبیعی تابع حادثه و آسیب‌پذیری است. بنابراین نقشه‌ی آسیب‌پذیری برای هرگونه نظام مدیریت بحران بایسته است. داده‌ها و اطلاعات منبع در فعالیت‌های اجرایی همراه با انواع عدم قطعیت و عناصر نایقینی هستند. هر نوع ساده‌انگاری روی چنین نقشه‌هایی منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست خواهد شد. بنابراین برای کسب نتایج مناسب باید نقشه‌های آسیب‌پذیری با مؤلفه‌های نایقینی و عدم قطعیت محاسبه شوند. اگرچه منطق فازی کاربردهای فراوانی در گرایش‌های مختلف وابسته به اطلاعات مکانی یافته است، اما منطق فازی رایج دارای کاستی‌های مهمی است. منطق فازی سنتی دارای دو کاستی مهم است. نخست آنکه، برای استفاده از نظریه‌ی فازی معمول، برای هر مشخصه باید یک تابع عضویت قطعی تعیین کنیم. دیگر آنکه نظریه‌ی فازی بین گزاره‌ای که دانشی نسبت به آن وجود ندارد و گزاره‌هایی که دلایل موافق و مخالف علیه آن یکسان است، تفاوتی نمی‌گذارد. مشکل دیگر نظریه‌ی فازی متداول هنگامی رخ می‌دهد که کمبود اطلاعات مرتبط داشته باشیم. این در حالی است که تمامی مشکلات یاد شده برای تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری نیز وجود دارد. برای حل این‌گونه مسائل، می‌توان از منطق فازی شهودی[1] (IFL) استفاده کرد. در این پژوهش نشان خواهیم داد که چگونه می‌توان نقشه‌های آسیب‌پذیری را به کمک فازی شهودی به دست آورد. برای تأیید قابلیت مدل پیشنهادی به بررسی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لرزه پرداخته شده است. بدین‌منظور با استفاده از دو روش منطق فازی رایج و منطق فازی شهودی، نقشه‌ی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله تهیه می‌شود و در نهایت با مقایسه‌ی نتایج دو روش، برتری روش مبتنی بر منطق فازی شهودی در حل این‌گونه مسائل نشان داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *منطق فازی شهودی، منطق فازی، آسیب‌پذیری، GIS*

A Comparison between Traditional and Intuitionistic Fuzzy Logic for Vulnerability Mapping Under Uncertainty

Mohammad Reza Malek*[1] Parastoo Pileh Forooshha[2]

Abstract

The risk of each hazard consists of two components: hazard and vulnerability. Accordingly, for achieving any type of risk map or disaster management system, preparing a reliable vulnerability map is essential equipment. There is certain need to compute vulnerability map under uncertainties. Although fuzzy logic methods were used in many geospatial applications, the traditional fuzzy logic has two important deficiencies. First of all it is necessary to assign a crisp membership function for every property and every value. Secondly, it does not distinguish between the situations in which there is no knowledge about a certain statement with an equal advantages or disadvantages simultaneously. Thus the intuitionistic fuzzy logic terminology was employed in this research. The numerical illustrations of using 8 major criteria, such as population and age of construction were used. The aim of this study is to develop an earthquake vulnerability map which presented with two raster layers, where the degree of membership and the degree of non-membership are the values of each layer so the regions with high membership degree in first map and low membership degree in second map can be determined as high vulnerable regions with higher degree of reliability. Comparison with traditional fuzzy method proves the effectiveness of this suggested method.

Key words: *Intuitionistic fuzzy logic, Fuzzy logic terminology, Vulnerability, Geographic Information* System (GIS)

1 Associate Professor, Department of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. TOOSI University of Technology, Tehran, Iran; Email: mrmalek@kntu.ac.ir

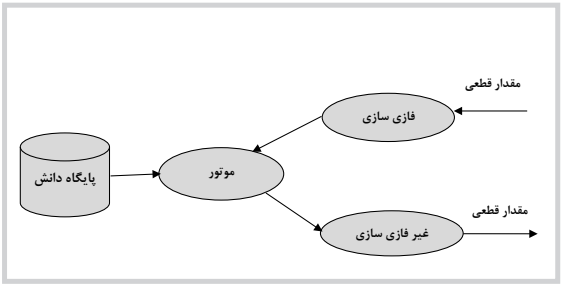
2 PhD Student of Geographic Information System, Department of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. TOOSI University of Technology, Tehran, Iran.

مقدمه

محیط‌های شهری که، به‌ویژه از نظر مخاطرات طبیعی، مستعد آسیب‌پذیری بالا هستند، لزوم به‌خدمت‌گیری انواع راهکارها برای بهبود مدیریت بحران را بیشتر نمایان می‌سازند. هر نوع سیاست‌گذاری، تعیین راهبرد، روش مدیریتی و فناوری که در این حوزه مطرح می‌گردد، با هدف ایجاد بستری برای تصمیم‌گیری مؤثرتر مدیران این بخش تعبیر می‌گردد. حساسیت بالای مخاطرات طبیعی، به‌ویژه زمین‌لرزه، سبب گردیده است تا طیف گسترده‌ای از این فعالیت‌ها و تجربیات متوجه بهبود تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت بحران زمین‌لرزه در شهرها شود. در این میان نقشه‌ی آسیب‌پذیری موقعیت و نسبت مناطقی را که مردم، محیط طبیعی و سایر کالاهای سرمایه‌ای نسبت به رخداد هرگونه حادثه‌ی طبیعی و غیرطبیعی در معرض خطر هستند، نشان می‌دهد. در واقع این نوع نقشه‌ها ارتباط بین ریسک و پتانسیل خطر را برقرار می‌کنند و امکان نمایش دیداری آن‌ها را فراهم می‌سازند و یکی از مهم‌ترین منابع تصمیم‌گیری برای مدیریت بحران هستند. برای هر تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی صحیح در مرتبه‌ی اول نیاز به اطلاعات است. از سوی دیگر چون بیشتر اطلاعات مورد نیاز در مقوله‌ی شهری ماهیت مکانی دارند، بنابراین علم و فناوری اطلاعات مکانی می‌تواند برای ساماندهی، تجزیه و تحلیل جامع و سریع اطلاعات و کمک به اخذ تصمیمات مناسب، مورد استفاده قرار گیرد [۱، ۲]. با یک ارزیابی منطقی از کاربرد داده‌های مکانی در بسیاری از حوزه‌ها، اهمیت عناصر نایقینی و عدم قطعیت را می‌توان به سادگی درک کرد. یک سامانه‌ی اطلاعاتی چون GIS، به علت‌های گوناگون، مطلق و عاری از خطا نیست. نه تنها خطا در اندازه‌گیری‌ها و نبود مشاهدات کافی و مرتبط منجر به نایقینی شده، بلکه نبود مفاهیم تعریف‌شده‌ی کامل نیز از علل رخداد نایقینی است. نایقینی برای محیط‌های ایستا و پویا به تفاوت در متن و زمینه‌های مختلف کاری نیز بازمی‌گردد. از آنجایی که آنالیزهای موجود در نظام اطلاعات مکانی اغلب مبنایی برای تصمیم‌گیری هستند، نادیده گرفتن عدم قطعیت در این‌گونه مسائل منجر به تصمیمات اشتباه در زمینه‌های مختلف می‌شود [۳]. نظریه‌ی مجموعه‌های فازی در مدل‌سازی برخی از عدم قطعیت‌ها موفق عمل کرده است [۴، ۵]. بنابراین بهره‌گیری از منطق فازی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۶]. با وجود گسترش منطق فازی، منطق فازی رایج دارای کاستی‌های مهمی نیز هست. منطق فازی سنتی دارای دو کاستی مهم است. نخست آنکه برای استفاده از نظریه‌ی فازی معمول، برای هر مشخصه باید یک تابع عضویت قطعی تعیین کنیم. دیگر آنکه نظریه‌ی فازی تفاوتی بین گزاره‌ای که دانشی نسبت به آن وجود ندارد و گزاره‌هایی که دلایل موافق و مخالف علیه آن یکسان است، نمی‌گذارد. مشکل دیگر نظریه‌ی فازی متداول هنگامی رخ می‌دهد که کمبود اطلاعات مرتبط داشته باشیم. به همین دلیل منطق فازی برای مسائلی که در آن‌ها داده‌ها نامرتبط‌اند و یا مواقعی که تعریف درجات عضویت پیچیده هستند، توصیه نمی‌شود [۷]. این در حالی است که تمامی مشکلات یاد شده برای تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری نیز وجود دارد. استفاده از داده‌های ناکافی و یا نامربوط مانند تصاویر قدیمی در سنجش از دور مثالی برای مشکل مزبور هستند. برای مثال برای طبقه‌بندی تصاویر در روش فازی، اگر درجه‌ی عضویت برابر با ۰/۵ باشد، دو حالت را می‌توان در نظر گرفت. در حالت اول، متغیر مورد نظر با درجه‌ی عضویت ۰/۵ در آن ناحیه قرار دارد و با درجه‌ی عدم عضویت ۰/۵ در آن ناحیه قرار ندارد. در حالت دوم، می‌توان این‌گونه برداشت کرد که شاید اطلاعات موجود از متغیر مورد مطالعه دقیق نیست و تنها به اندازه‌ی ۵۰٪ اطمینان در مورد آن وجود دارد. منطق فازی رایج قادر به ایجاد تمایز بین این دو حالت نیست.

در مقابل، منطق فازی شهودی این امکان را برای ما فراهم می‌کند که مفاهیم شک و تردید را توصیف و مدل‌سازی کنیم. این‌گونه مشکلات هنگامی رخ می‌دهند که داده‌های کافی مربوط به موضوع مورد مطالعه در دست نداریم، داده‌ها با خطا همراه هستند و همچنین هنگامی که دلایلی بر موضوعیت داشتن و دلایلی بر موضوعیت نداشتن مسئله داریم.

مروری بر فعالیت‌های مرتبط پیشین نشان می‌دهد که ژان[۲] و همکاران [۸] روشی برای طبقه‌بندی کاربری‌های شهری با استفاده از منطق فازی ارائه داده‌اند. وانگ[۳] نیز [۹] شیوه‌ای برای طبقه‌بندی آموزش‌دیده‌ی فازی برای طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور ارائه داده است. علاوه بر آن، در تعمیم مجموعه‌های فازی، مجموعه‌های فازی شهودی را آتاناسو[۴] ارائه کرد [۱۰، ۱۱، ۱۲]. در زمینه‌ی منطق فازی شهودی از جمله کارهایی که انجام شده است، پژوهش انجام شده برای طبقه‌بندی نواحی دارای عدم قطعیت به‌وسیله‌ی روش فازی شهودی است که ملک و همکاران [۳] ارائه کردند. در این پژوهش به آنالیز مبانی تئوری برای مدل‌سازی با عدم قطعیت روابط مکانی از نظر منطق فازی شهودی پرداخته شده است. در این تحقیق نشان داده شده است که چگونه نواحی دارای عدم قطعیت مدل‌سازی می‌شوند و برای اثبات این ادعا به بررسی فرایند ایجاد نقشه‌های موضوعی با استفاده از سنجنده‌های ماهواره‌ای سنجش از دور پرداخته شده است. همچنین می‌توان تحقیق انجام شده در زمینه‌ی معرفی مناطق فازی شهودی ملک و توئاروچ[۵] [۱۳] را نام برد که در آن ابتدا به معرفی روابط پایه‌ی مجموعه‌های فازی شهودی پرداخته شده است و سپس کاربرد آن در مسائل مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. ملک [۱۴] همچنین یک چارچوب نظری بر اساس IFS برای مدل‌سازی اشیای فازی تعریف کرد و سپس، رویکرد ۶×۶- اشتراکی را برای تعیین روابط توپولوژیکی شهودی ارائه داد. به علاوه، سعیدی و همکاران [۱۵]، برای مکان‌یابی پایانه‌ها، فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) را به صورت فازی شهودی به کار برده‌اند که در آن سعی کردند به روشی برای ایجاد ماتریس‌های مقایسه‌ای در روش ANP دست یابند که در آن بعضی از جنبه‌های عدم قطعیت و ابهام در فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره در نظر گرفته می‌شود. در تحقیق دیگری که سیلاوی[۶] و همکاران [۱۶] انجام داده‌اند، سعی شده است تا روشی جدید در ایجاد ماتریس‌های مقایسه در روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، برای در نظر گرفتن برخی از



تصویر۱: چهار قسمت یک نظام استنتاجگر فازی

جنبه‌های عدم قطعیت در فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره، توسعه داده شود. بدین‌منظور از منطق فازی شهودی استفاده شده است. در پژوهش حاضر سعی شده تا کارایی روش پیشنهادی مبتنی بر فازی شهودی نسبت به روش فازی معمولی، به‌ویژه زمانی که با کمبود و یا نقص در داده مواجه هستیم، نشان داده شود. برای تأیید این مدعا به تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با استفاده از دو روش فازی و فازی شهودی پرداخته می‌شود.

روش تحقیق و ابزارها

منطق فازی را برای اولین‌بار لطفعلی‌زاده معرفی کرد [۲، ۱۷]. مبنای نظریه‌ی فازی، مجموعه‌های فازی است. یک مجموعه‌ی فازی مجموعه‌ای بدون مرز دقیق و یا تعریف مشخص است که شامل عناصری با درجه‌ی جزئی از عضویت است [۱۸، ۱۹]. منطق فازی ویژگی‌های منحصر به فردی را ارائه می‌دهد که آن را به‌منزله‌ی روشی مناسب برای مواجهه با عدم قطعیت مشخص می‌سازد [۷].

مفهوم مجموعه‌های فازی شهودی (IFS)[۲] را آتاناسو به‌منزله‌ی تعمیم مجموعه‌های فازی معرفی کرد [۶، ۷، ۸].

اگر X یک مجموعه‌ی ثابت ناتهی باشد، مجموعه‌ی فازی شهودی A(IFS) در مجموعه‌ی مرجع X به صورت زیر تعریف می‌شود [۸]:

رابطه‌ی ۱:

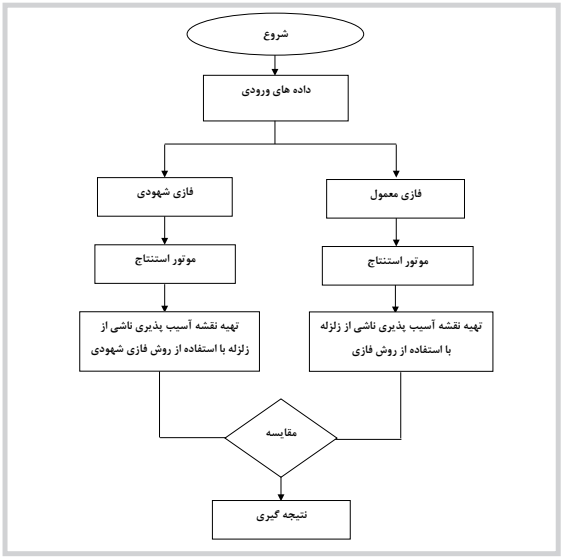
$$A := \{ <x , \mu_A(x) , \nu_A(x) > \mid x \in X \}$$

که در آن تابع $\nu_A : X \longrightarrow [0,1]$ و $\mu_A : X \longrightarrow [0,1]$ به ترتیب درجه‌ی عضویت و درجه‌ی عدم عضویت عنصر $x \in X$ را تعیین می‌کند. به ازای هر $x \in X$ برای ν_A و μ_A داریم:

رابطه‌ی ۲

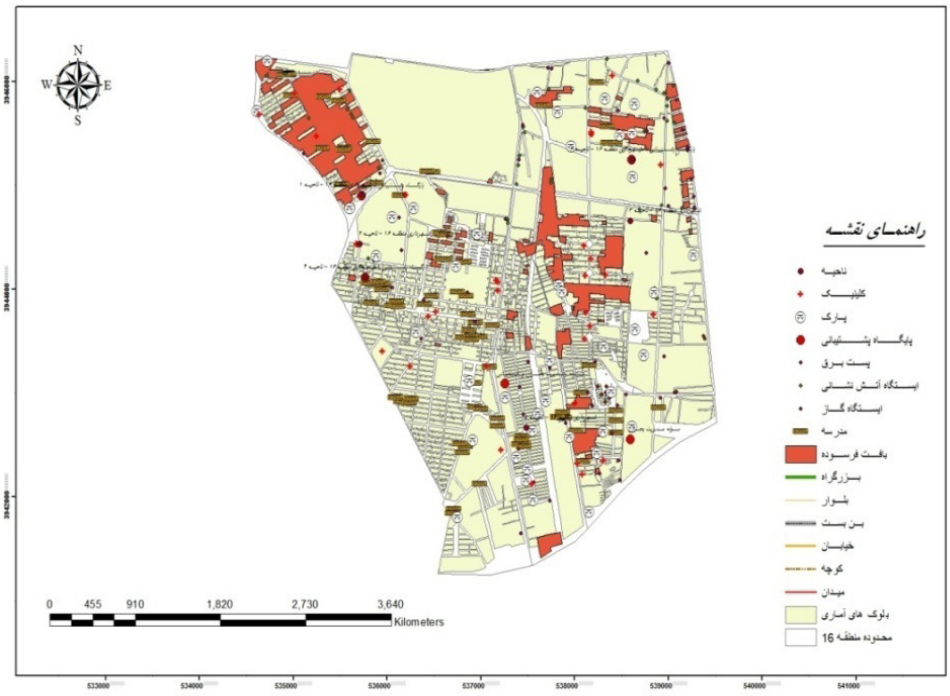
$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$$

در این میان، یک نظام استنتاج قاعده‌مبنای فازی روشی برای ساختن مدل‌های کیفی از دانش بشری با توانایی محاسبه بدون استفاده از محاسبات کمی است. این نظام از چهار جزء اصلی واسط فازی‌ساز، پایگاه دانش، نظام استنتاج و واسط غیرفازی‌ساز تشکیل شده است (تصویر ۱). نظام‌های استنتاج فازی مبتنی بر قواعد اگر ـ آنگاه فازی هستند که در یک پایگاه قواعد ذخیره شده‌اند. یک قاعده‌ی اگر ـ آنگاه یک عبارت شرطی است که بعضی کلمات آن به‌وسیله‌ی تابع تعلق پیوسته مشخص شده است [۲۰].

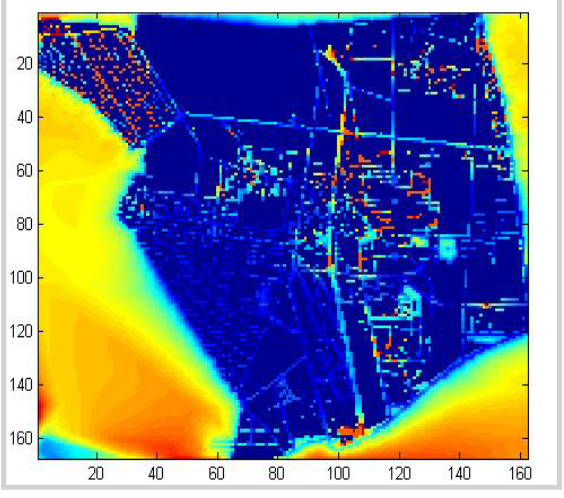


تصویر۲: روش اجرای پژوهش

پایگاه دانش (تصویر ۱) به مجموعه‌ی پایگاه داده و پایگاه قواعد گفته شده که شامل قواعد اگر ـ آنگاهی است که کارشناسان تهیه کرده‌اند. به‌علاوه، فازی‌سازی در واقع نگاشتی از یک نقطه به یک مجموعه‌ی فازی است. موتور استنتاج، منطق و اصول استدلال است. استدلال به معنی به دست آوردن گزاره‌ها و نتایج جدید از ترکیب گزاره‌ها و عبارات موجود است. موتور استنتاج مجموعه‌ای از قواعد استنتاج فازی است که به ترکیبی از شروط موجود در پایگاه قواعد فازی اعمال شده و به نتایج فازی می‌رسد. به عبارت دیگر، موتور استنتاج فرایند استدلال بشر را با ایجاد استنتاج فازی روی ورودی‌ها و قواعد اگر ـ آنگاه و سپس غیرفازی‌سازی خروجی‌ها شبیه‌سازی می‌کند. در آخرین مرحله نیز غیرفازی‌ساز به‌منزله‌ی نگاشتی از مجموعه‌ی فازی به دست آمده از موتور استنتاج به یک نقطه‌ی قطعی تعریف می‌گردد. در واقع، فرایند تبدیل خروجی فازی به مقدار بهینه‌ی غیرفازی است. روش‌های استنتاج فازی به دو دسته روش‌های مستقیم و روش‌های غیرمستقیم طبقه‌بندی می‌شوند. روش‌های غیرمستقیم در مقایسه با روش‌های مستقیم از پیچیدگی بیشتری برخوردارند [۱۹]. نکته‌ای که در مورد انتخاب روش استنتاج فازی حائز اهمیت است این است که با وجود تفاوت در نحوه‌ی عملکرد این روش‌ها، نتایجی که از این سه روش حاصل می‌شود، شباهت بسیار زیادی به یکدیگر دارند. در واقع هرکدام از این روش‌ها به‌منزله‌ی واسطه‌ای در نظر گرفته می‌شوند که نتیجه‌ی اعمال قوانین روی ورودی‌ها را ایجاد می‌کنند. در این پژوهش نیز از روش ساده شده، به‌منزله‌ی واسط برای اعمال قوانین روی ورودی‌ها، استفاده شده است. مفهوم مجموعه‌های فازی شهودی (IFS) را آتاناسو به‌منزله‌ی تعمیم مجموعه‌های فازی معرفی کرد [۷، ۸]. تئوری مجموعه‌های فازی شهودی، به‌منزله‌ی یکی از روش‌های مدل‌سازی عدم قطعیت، برای جبران برخی از ایراداتی که به تئوری مجموعه‌های فازی وارد است، نظیر اختصاص فقط یک تابع عضویت به هر مقدار یا شیء و یا مواجهه با شرایطی که شواهد موافق و مخالف برای اثبات یک پدیده وجود



تصویر ۳: منطقه‌ی مورد مطالعه (منطقه‌ی ۱۶ شهر تهران)



تصویر ۴: نقشه‌ی آسیب‌پذیری بلوک‌های آماری با استفاده از روش فازی معمول

دارند، ایجاد گردیده است. بنابراین بر طبق آنچه گفته شد، انتظار می‌رود که مجموعه‌های فازی شهودی بتوانند برای شبیه‌سازی تصمیم‌گیری انسان‌ها و هر فعالیت دیگری به کار روند که نیاز به دانش و تخصص دارد و در آن ابهام وجود دارد و یا کاملاً قابل اعتماد نیست.

با توجه به دسته روابط ۱ و ۲، در منطق فازی شهودی، عدم قطعیت با استفاده‌ی همزمان تابع تعلق و تابع عدم تعلق یک مجموعه (که دیگر لزوماً متمم یکدیگر نیستند) توصیف می‌شوند. برخلاف روش فازی، مجموع ν_A و μ_A الزاماً برابر با یک نمی‌شود. در صورتی که عبارت $\mu_A(x) + \nu_A(x)$ برابر با یک شود، مجموعه فازی شهودی به یک مجموعه‌ی فازی معمولی تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر منطق فازی سنتی یک حالت خاصی از منطق فازی شهودی است و آن هنگامی است که «درجه‌ی عدم عضویت» برابر با «درجه‌ی عضویت-۱» باشد، یعنی رابطه‌ی ۳ برقرار باشد [۸].

رابطه‌ی ۳:

$$\forall x \in X, \quad \mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

برای محاسبه‌ی درجه‌های فازی شهودی درجه‌ی عدم قطعیت π_x برای عنصر x با رابطه‌ی ۴ تعریف می‌شود [۸]:

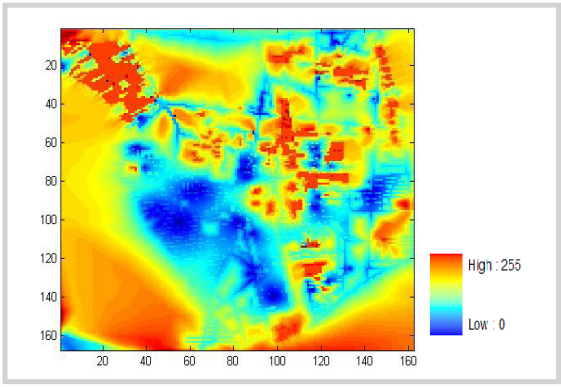
رابطه‌ی ۴:

$$\pi_x = 1 - (\mu_x + \nu_x) \quad ; \quad \pi_x: X \to [0\ 1]$$

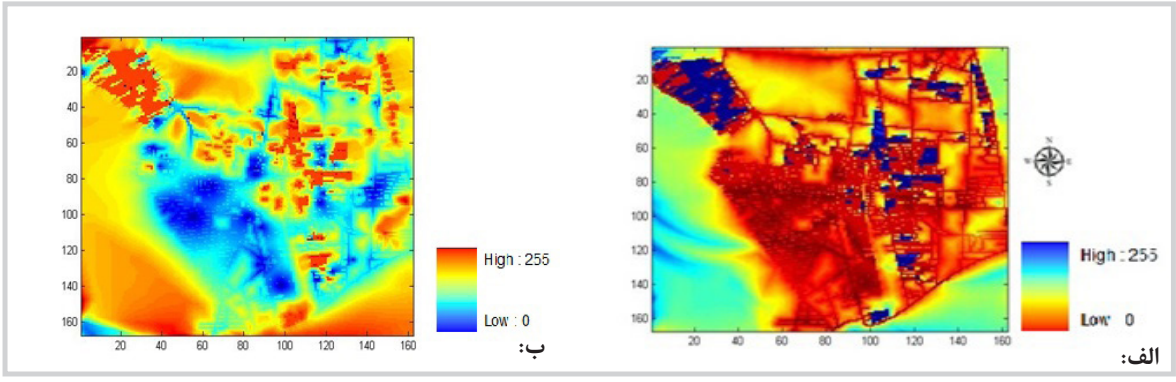
بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مجموعه‌های فازی، مجموعه‌های فازی شهودی هستند که در آن‌ها درجه‌ی عدم قطعیت برابر با صفر باشد (π_x=۰). همچنین برای هر دو مجموعه‌ی فازی شهودی A و B روابط زیرمجموعگی، تساوی، متمم، اشتراک، اجتماع، اجتماع تعمیم‌یافته و اشتراک تعمیم‌یافته به صورت زیر تعریف شده است [۸]:

رابطه‌ی ۵:

$A \subseteq B$ iff $(\forall x \in X)(\ \mu_A(x) \le \mu_B(x)$ and $\nu_A(x) \ge \nu_B(x))$;
$A = B$ iff $(\forall x \in X)(\ \mu_A(x) = \mu_B(x)$ and $\nu_A(x) = \nu_B(x))$;
$A^c := \{ < x, \nu_A(x), \mu_A(x) > \mid x \in X \}$;
$A \cap B := \{ < x, \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \max(\nu_A(x), \nu_B(x)) > \mid x \in X \}$;
$A \cup B := \{ < x, \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \min(\nu_A(x), \nu_B(x)) > \mid x \in X \}$;
$\cup A_i := \{ < x, \max(\mu_i), \min(\nu_i)) > \mid x \in X \}\ i \in I$;
$\cap A_i := \{ < x, \min(\mu_i), \max(\nu_i)) > \mid x \in X \}\ i \in I$;



تصویر ۵: نقشه‌ی آسیب‌پذیری بلوک‌های آماری با استفاده از روش فازی شهودی



تصویر ۶: الف. نقشه‌ی آسیب‌پذیری بلوک‌های آماری با استفاده از روش فازی شهودی برای درجات عضویت؛ ب. نقشه‌ی آسیب‌پذیری بلوک‌های آماری با استفاده از روش فازی شهودی برای درجات عدم عضویت

به‌علاوه عملگرهای لزوم و امکان با دسته روابط ۵ قابل تعریف هستند [۸].

رابطه‌ی ۶:

$$[]\,A := \{ <x , \mu_A(x) , 1- \mu_A(x) > \mid x \in X \}$$

(Necessity operator);

$$<>\,A := \{ <x , 1- \nu_A(x) , \nu_A(x)) > \mid x \in X \}$$

(Possibility operator)

تئوری و محاسبات

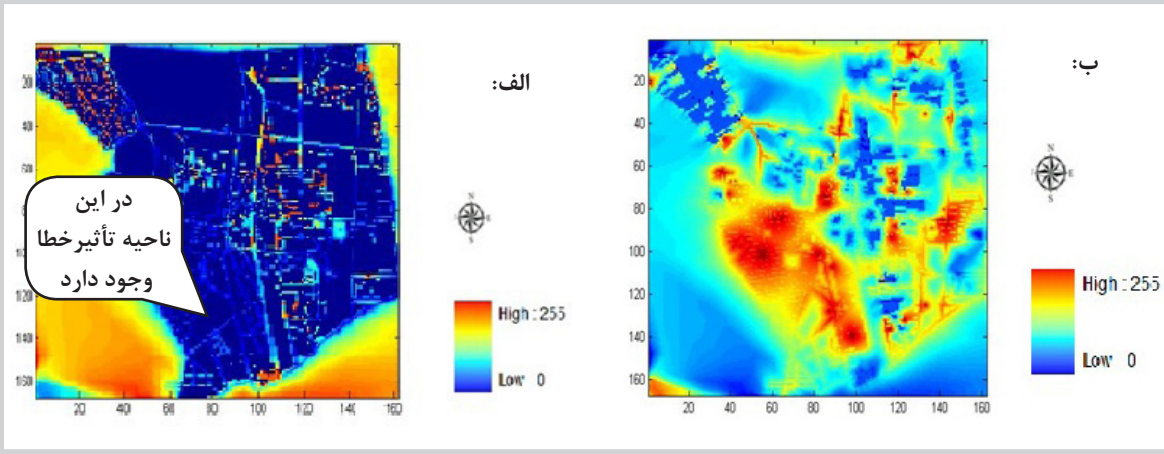
تهران، یکی از شهرهای مهم ایران، به‌واسطه‌ی قرار گرفتن چندین گسل فعال در اطراف و درون آن از خطر بالایی در مقابل زمین‌لرزه برخوردار است. ازاین‌رو بررسی‌های مربوط به آسیب‌پذیری لرزه‌ای یکی از ضرورت‌های مدیریت شهری در تهران است [۲۱]. از آنجا که هدف تحقیق حاضر مقایسه‌ی دو روش فازی معمول و روش پیشنهادی مبتنی بر فازی شهودی است، بنابراین نوع پارامترهای انتخابی اهمیت چندانی ندارد و فقط لازم است که برای هر دو روش یکسان باشد. با این وجود سعی شده است، با توجه به مقدورات موجود، از حداکثر داده‌های در دسترس استفاده شود. از جمله عوامل مؤثر در میزان خسارت زمین‌لرزه، خصوصیات زمین‌ساختی منطقه، جنس ساختمان‌ها، عمر ساختمان‌ها، جنس خاک، شیب زمین، خصوصیات زمین‌لرزه، جمعیت، فاصله از گسل، فاصله از ایستگاه‌های گاز و پمپ‌های بنزین، فاصله از راه‌های اصلی، فاصله از بیمارستان‌ها و مراکز امدادرسانی و بسیاری موارد دیگر است. در ادامه روش به کار رفته در پژوهش را به تفصیل شرح می‌دهیم.

روش پیشنهادی

در این پژوهش، برای مقایسه، هشت عامل زیر به صورت یکسان برای هر دو روش مبتنی بر فازی استاندارد و فازی شهودی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند:

- فاصله از گسل
- فاصله از ایستگاه‌های گاز و پمپ‌بنزین‌ها
- جمعیت هر بلوک آماری
- فاصله از راه‌های اصلی
- فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی
- فاصله از مراکز پشتیبانی
- فاصله از مراکز درمانی
- فاصله از بافت فرسوده

در تصویر ۲ الگوریتم اجرای پژوهش آورده شده است. در این پژوهش ابتدا لایه‌های مربوط به هشت عامل ورودی با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، برای ورود به بستر برنامه‌نویسی، آماده‌سازی شدند. در مرحله‌ی بعد، توابع عضویت مورد نیاز و روش استنتاج



تصویر ۷: الف. نقشه‌ی آسیب‌پذیری بلوک‌های آماری با استفاده از روش فازی شهودی برای درجات عضویت؛ ب. نقشه‌ی آسیب‌پذیری بلوک‌های آماری با استفاده از روش فازی معمول

فازی مربوط مدل‌سازی می‌شوند. توابع عضویت مورد استفاده در این پژوهش، توابع عضویت خطی هستند و روش استنتاج فازی انتخابی، روش ساده شده است. گفتنی است که با وجود تفاوت در نحوه‌ی عملکرد هرکدام از روش‌های استنتاج فازی معمول مانند روش ممدانی یا روش سوگینو، نتایجی که از آن‌ها حاصل می‌شود شباهت بسیار زیادی به یکدیگر دارند [۲۲]. در واقع هرکدام از این روش‌ها به‌منزله‌ی واسطه‌ای در نظر گرفته شده که نتیجه‌ی اعمال قوانین را روی ورودی‌ها ایجاد می‌کنند. در انجام این پژوهش از روش ساده شده، به‌منزله‌ی واسطی برای اعمال قوانین روی ورودی‌ها، استفاده شده است. در روش مبتنی بر نظریه‌ی فازی معمول، تعداد ده قانون در نظر گرفته شد و با استفاده از روش استنتاج فازی ساده شده، نقشه‌ی آسیب‌پذیری برای درجات عضویت و بعد تابع آن نقشه‌ی آسیب‌پذیری بر پایه‌ی درجات عدم عضویت به دست آمد. برای روش مبتنی بر نظریه‌ی فازی شهودی نیز همان قوانین در نظر گرفته شده است، با این تفاوت که، برخلاف روش فازی، در این روش توابع عضویت و عدم عضویت لزوماً مکمل یکدیگر نیستند. موتور استنتاج در فازی شهودی هم بر اساس توابع عضویت عمل می‌کند و هم روی توابع عدم عضویت اعمال می‌شود. در واقع استقلال توابع عضویت و توابع عدم عضویت منجر به تفاوت عملکرد موتور استنتاج روی نقشه‌های فازی و نقشه‌های فازی شهودی می‌شود. گفتنی است که برای مقایسه‌ی منطقی روال انتخاب توابع عضویت برای هر دو منطق مشابه بوده است. بعد از مدل‌سازی توابع عضویت و روش استنتاج فازی برای دو روش، با اجرای برنامه، نقشه‌های آسیب‌پذیری ناشی از زلزله برای بلوک‌های آماری بر اساس دو روش فازی و فازی شهودی به دست می‌آیند (تصویر ۲).

پیاده‌سازی

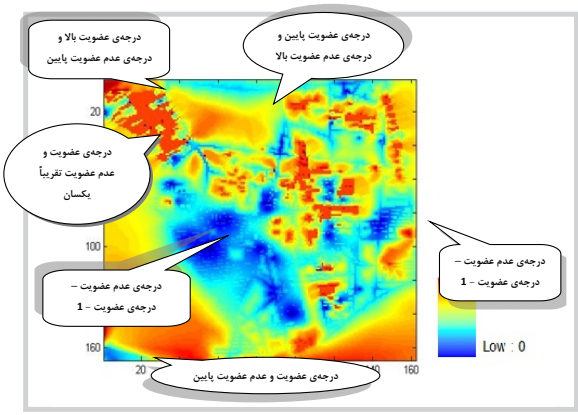
در این پژوهش منطقه‌ی ۱۶ شهر تهران، به‌منزله‌ی مکان مورد مطالعه، انتخاب شد (تصویر ۳). از ویژگی‌های خاص این منطقه وجود راه‌آهن و پایانه‌ی جنوب است که از مراکز مهم جابه‌جایی مردم به شمار می‌رود. همچنین یکی از گسل‌های مهم تهران، یعنی گسل ری، در قسمت جنوبی این منطقه واقع شده است. این منطقه، با جمعیتی حدود ۳۰۸۴۱۰ نفر و مساحتی در حدود ۱۶۶۷ کیلومتر مربع، شامل سازه‌هایی با استحکام متفاوت است.

بعد از پیاده‌سازی مدل ایجاد شده برای منطق فازی و فازی شهودی، نقشه‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای بلوک‌های آماری، با استفاده از دو روش فازی و فازی شهودی، به دست آمدند (تصویرهای ۴ و ۵).

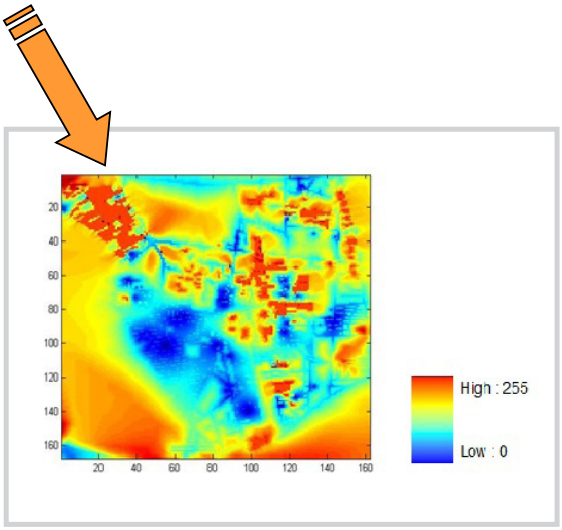
همان‌طور که در تصاویر ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، نقشه‌های حاصل از دو روش در قسمت‌هایی از منطقه با یکدیگر یکسان نیستند. همچنین، مطابق تصویر ۶، در روش فازی شهودی، برخلاف روش فازی معمول، دو نقشه‌ی آسیب‌پذیری ایجاد شده لزوماً مکمل یکدیگر نیستند و تفاوت معناداری بین نقشه‌ی خروجی منطق فازی معمول و نقشه‌ی خروجی منطق فازی شهودی وجود دارد. در واقع می‌توان دلیل تفاوت را در نحوه‌ی تأثیر عدم قطعیت ناشی از نقص موجود در داده‌ها و قدیمی بودن نقشه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه جستجو کرد که در فازی معمول پشتیبانی نشده است ولی با فازی شهودی تأثیر آن‌ها به گونه‌ای اعمال شده است.

بحث و نتایج

با مقایسه‌ی نقشه‌ی حاصل شده از روش شهودی و روش فازی معمول مشاهده می‌شود که بین نتایج دو روش تفاوت وجود دارد. برای مثال در ناحیه‌ای که در تصویر ۷ نشان داده شده است، علت اصلی یکسان نبودن جواب دو روش ناشی از اعمال تأثیرات عوامل مختلف خطا و عدم قطعیت داده است. در روش مبتنی بر فازی شهودی این عوامل به گونه‌ای اعمال شده است ولی در روش مبتنی بر فازی معمولی به آن‌ها توجهی نشده است. از آنجایی که فازی کلاسیک حالت خاصی از فازی شهودی است، بنابراین



تصویر ۸: حالت‌های متفاوت مجموع درجات عضویت و عدم عضویت رخ‌داده در منطقه‌ی مورد مطالعه



تصویر ۹: محل مربوط به حالت ۵ در نقشه‌ی آسیب‌پذیری با استفاده از روش فازی شهودی

اگر ریشه‌ی تفاوت به عناصر نایقینی باز نمی‌گشت، شاهد چنین تفاوتی نبودیم.

همچنین این واقعیت که درجات عضویت و عدم عضویت در فازی شهودی مکمل همدیگر نیستند، در حالت‌های مختلف ابزار قوی برای تفسیر و البته تصمیم‌گیری در اختیار می‌گذارد که نمونه‌ای از آن در تصویر ۸ نشان داده شده است.

- در حالت اول، درجه‌ی عضویت و درجه‌ی عدم عضویت حد نهایی خود هستند؛ بدین معنی که درجه‌ی عضویت برابر با یک و درجه‌ی عدم عضویت صفر یا مقدار یک باشد. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که عملکرد سیستم قطعی و تعینی باشد. به عبارتی دیگر در این صورت فازی شهودی به حالتی تبدیل می‌شود که در آن درجه‌ی عضویت صفر یا یک است. در این شرایط می‌توان از داده‌های موجود در آن ناحیه استفاده کرد و تصمیم‌گیرنده مبنا را بر قطعی بودن مقادیر خواهد گذاشت.

- حالت دوم به این صورت است که درجه‌ی عضویت و درجه‌ی عدم عضویت هر دو پایین باشند. این حالت در مکان‌هایی اتفاق می‌افتد که در مورد آن‌ها اطلاعات زیادی در دست نداریم. بنابراین برای تصمیم‌گیری در مورد این مناطق به مراجع اطلاعاتی بیشتر و دقیق‌تر نیاز است. به عبارت دیگر تصمیم‌گیرنده می‌داند که نتایج حاصل بر مبنای نبود علل موافق یا مخالف و البته نبود داده‌های کافی به دست آمده است.

- در حالت سوم، درجه‌ی عضویت و درجه‌ی عدم عضویت مساوی هستند. در چنین شرایطی دو حالت قابل تصور است. در نظر گرفتن حالت اول به این معنا است که متغیر مورد نظر با درجه‌ی عضویت ۰/۵ در آن ناحیه قرار دارد و با درجه‌ی عدم عضویت ۰/۵ در آن ناحیه قرار ندارد. در حالت دوم می‌توان این‌گونه برداشت کرد که شاید اطلاعات موجود از متغیر مورد مطالعه دقیق نیست و تنها به اندازه‌ی ۵۰ درصد اطلاعات راجع به آن موضوع موجود است. در هر حال علل موافق و مخالف ارزش یکسان دارد و برای هرگونه تصمیم‌گیری نیاز به جمع‌آوری اطلاعات تکمیلی است.

- در حالت چهارم، درجه‌ی عضویت بالا و درجه‌ی عدم عضویت پایین است. در چنین شرایطی می‌توان به جواب به دست آمده اعتماد بیشتری داشت و با استفاده از اطلاعات موجود در آن ناحیه تصمیم‌گیری‌های لازم را انجام داد. بنابراین در نقشه‌ی خروجی، نواحی با درجه‌ی عضویت بالا و درجه‌ی عدم عضویت پایین به‌منزله‌ی مناطق با آسیب‌پذیری و قابلیت اعتماد بالا طبقه‌بندی می‌شوند.

- در حالت پنجم، درجه‌ی عضویت پایین و درجه‌ی عدم عضویت بالا است. در مناطقی با چنین شرایطی می‌توان گفت که قبول نکردن نتایج و یا اطمینان نداشتن به طبقه‌بندی بسیار قوی است. بنابراین نتایج طبقه‌بندی مناسب نیست. برای مثال در ناحیه‌ای که در تصویر ۹ نشان داده شده، این موضوع به وضوح مشاهده می‌شود. از طرفی هنگامی که بازبینی مجدد بر داده‌های اولیه انجام گرفت، دیده شد که این اختلاف به دلیل نبود داده‌ی مناسب و کافی از این ناحیه بوده است و به همین علت در نقشه‌ی به دست آمده از روش فازی شهودی آن منطقه تقریباً آسیب‌پذیر نشان داده شده است. این در حالی است که روش فازی معمول آن را به‌منزله‌ی ناحیه‌ای کاملاً امن طبقه‌بندی کرده است که در اساس نمی‌توان به آن اطمینان داشت.

نتیجه‌گیری

منطق فازی شهودی، در مقایسه با منطق فازی معمول، قادر به توصیف و تعامل با مسائلی است که در آن‌ها مفاهیم شک و تردید وجود دارد. بنابراین این روش به‌ویژه برای توصیف، تفسیر و مدل‌سازی عدم قطعیت موجود در نقشه‌های آسیب‌پذیری که داده‌های آن قطعیت پایینی دارند، بسیار کارا و مناسب است. در این‌گونه موارد استفاده از روش فازی شهودی منطقی است، زیرا از یک‌سو متغیرهای زبانی مرتبط با شک و تردید را اعمال می‌کند و از سوی دیگر قادر به مدیریت داده‌ها است. در پژوهش انجام شده به بررسی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لرزه در بلوک‌های آماری منطقه‌ی ۱۶ شهرداری تهران پرداخته شد.

بدین منظور دو روش فازی و فازی شهودی استفاده شد و برای هر دو روش نقشه‌های آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لرزه به دست آمد. با مقایسه‌ی نقشه‌های به دست آمده، ملاحظه شد که تفاوت معناداری بین نقشه‌های خروجی منطق فازی و نقشه‌های خروجی منطق فازی شهودی وجود دارد. همچنین مشاهده شد که در روش فازی شهودی، برخلاف منطق فازی، تفاوت معناداری بین نقشه‌ی حاصل از عدم عضویت به روش فازی شهودی و نقشه‌ی مکمل آسیب‌پذیری برای درجات عضویت به روش فازی شهودی وجود دارد. این تفاوت می‌تواند ابزار مناسبی برای اخذ تصمیم‌های مختلف با توجه به عدم قطعیت موجود شود. بنابراین نشان داده شد که نواحی دارای درجه‌ی عضویت بالا و درجه‌ی عدم عضویت پایین می‌توانند به‌منزله‌ی مناطق آسیب‌پذیر با سازگاری بالا طبقه‌بندی شوند. همچنین برای تصمیم‌گیری در مورد آسیب‌پذیری قسمت‌هایی از منطقه که در آن‌ها درجه‌ی عدم عضویت بالا و درجه‌ی عضویت پایین دارند، به داده‌های مناسب و بیشتری نیاز است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای مدل‌سازی این‌چنین مسائل که در آن‌ها با کمبود و یا نقص در داده مواجه هستیم روش فازی شهودی روش مناسبی است، در صورتی که فازی معمول موجب اشتباه در تصمیم‌گیری‌ها در این گونه موارد می‌شود.

پی‌نوشت

1. Intuitionistic Fuzzy Logic
2. Zhan
3. Wang
4. Atanassov
5. Twaroch
6. Silavi
7. Intuitionistic Fuzzy Sets

منابع

۱. آقامحمدی، حسین (۱۳۷۹). طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم اطلاعات مکانی برای کاهش اثرات بحران زلزله. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

2. Zadeh, Lotfali Askar (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics,* Vol. 3, No. 1, 28-44.

3. Malek, Mohammad Reza, Karami, Javad, Aliabadi, Shamsolmolook (2006). *Classification with Intuitionistic Fuzzy Region in Geospatial Information System*. In Ruan, Da, D'hondt, Pieer, Fantoni, Paolo, De Cock, Martin, Nachtagael, Mike, Kerre, Etienne (eds.) Applied Artificial Intelligence, world Scientific.

4. Smith, Emily (Feb. 20,1993). *Why the Japanese are going in for this Fuzzy Logic*. Business Week.

5. Zadeh, Lotfali Akar, Yager, Ronald (1987). *Fuzzy Sets and Applications.* New York, John Wiley.

۶. جهان‌پیما، حسین (۱۳۸۴). بررسی تحلیلی انتشار عدم قطعیت در برآورد پتانسیل لرزه‌ای تهران با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران.

7. Roy, Anthony (1999). *A Comparison of Rough Sets, Fuzzy sets and Non-monotonic Logic.* Staffordshire, University of Keele.

8. Zhan, Qingming., Molenaar, Martin, Gorte, Ben (2000). *Urban land use classes with fuzzy membership and classification based on integration of remote sensing and GIS*. Proceeding of ISPRS.

9. Wang, Fangju (1990). Fuzzy supervised classification of remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* 28, 194-201.

10. Atanassov, Krassimir (1986). Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87-96.

11. Atanassov, Krassimir (1989). More on Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy sets and Systems*, 33, 37- 45.

12. Atanassov, Krassimir (1999). *Intuitionistic Fuzzy Logic: Theory and Application, Studies in Fuzziness and Soft Computing.* Heidelberg, Physica-Verlag.

13. Malek, Mohammad Reza, Twaroch, Florian (2004). *An Introduction to Intuitionistic Fuzzy spatial Region,* Frank, A.U., Grum, E. (compilers): ISSDQ '04, Vienna, Dept. for Geo information and Cartography, Vienna University of Technology.

۱۴. ملک، محمدرضا (۱۳۹۰). توصیف، مدلسازی و تعیین روابط توپولوژی مناطق غیرمعین با استفاده از نظریه‌ی فازی شهودی. سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات مکانی ایران، شماره‌ی سوم، سال دوم، ۱۴- ۲۴.

15. Sayeedi, Sara., Malek, Mohammad reza, Tayyebi, Ali, Delavar, Mahmoud Reza (2008). An Intuitionistic Fuzzy Analytical Network Process for Parking Site Selection. In D. Ruan and J. Montero and J. Lu and L. Martínez and P. D'hondt and E.E. Kerre (Eds.), *Computational Intelligence in decision and Control,* World Scientific Publisher, ISBN: 978-981-279-946-3.

16. Silavi, Tolou, Malek, Mohammad Reza, Delavar, Mahmoud Reza (2006). Multicriteria Map Overlay In Geospatial Information System Via Intuitionistic Fuzzy AHP Method. In Ruan, D. and D'hondt, P. and Fantoni, P. F. and De Cock, M. and Nachtagael, M. and Kerre, E. E. (Eds). *Applied Artificial Intelligence*, Word Scientific.

17. Zadeh, Lotfali Askar (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.

18. Bernardinis, Larry (1993). Clear Thinking on Fuzzy Logic. *Machine Design*, Vol. 64, No. 8, 46-52.

19. Cox, Earl (1992). Fuzzy Fundamentals. *IEEE Spectrum,* Vol. 29, No 10, 58-61.

۲۰. وانگ، لی (۱۳۸۷). سیستم‌های فازی و کنترل فازی. ترجمه‌ی محمد تشنه‌لب، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۲۱. هاشمی، مهدی (۱۳۸۹). ارزیابی پارامترهای مؤثر بر میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله بر پایه‌ی منطق فازی. مجموعه مقالات ژئوماتیک ۸۹، تهران.

22. Vahidnia, Mohammad, Alesheikh, Ali, Alimohammadi, Abbas (2009). Hospital Site Selection Using Fuzzy AHP and Its Derivatives. *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, No. 10, 3048-3056.