سنجش از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۸
Vol.1, No.2, Summer 2009

۷۷-۹۶

ارائه مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی مبتنی بر GIS به‌منظور ارزیابی سازگاری کاربری‌های شهری

محمد طالعی*[۱]، محمدسعدی مسگری[۲]، شهرام محمدحسینیان[۳]

۱. استادیار گروه GIS دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. استادیار گروه GIS دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. کارشناس ارشد GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۷/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱/۱۶

چکیده

در کشورهای در حال توسعه، به دلیل رشد سریع و بدون برنامه‌ریزی شهر در گذشته، در برخی موارد کاربری‌های ناسازگار در مجاورت همدیگر قرار گرفته‌اند، که این خود منجر به پایین ماندن سطح کیفیت زندگی و کاهش کارایی کاربری‌های مختلف شده است. هدف این مقاله، تکوین و توسعهٔ نوعی سامانهٔ مکانی پشتیبان تصمیم‌گیری در مسائل مربوط به ارزیابی سازگاری بین کاربری‌های شهری است. در این مقاله سازگاری بین کاربری‌های شهری در سطح ریزدانه و در شعاع کاربری‌های همسایه بررسی شده است. پنج عامل آلودگی صوتی، آلودگی هوا، راحتی و آسایش، امنیت و زیبایی‌شناسی به عنوان عوامل مؤثر در ارزیابی سازگاری در نظر گرفته شده‌اند و ماتریس سازگاری به‌عنوان ابزاری به‌منظور ارزیابی سطح سازگاری بین دو کاربری شهری مورد استفاده قرار گرفته است. از تکنیک دلفی نیز برای دستیابی به توافق گروهی بین کارشناسان برنامه‌ریزی شهری استفاده شده است. به‌منظور توسعهٔ مدل مورد نظر، از مفاهیم و ابزارها و روش‌های تصمیم‌گیری گروهی، تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ فازی و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، برای ایجاد سامانهٔ مورد نیاز در محیط GIS استفاده شده است. در این مدل، تکنیک تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی با ابزار تحلیلی GIS تلفیق شده است، تا بتوان کاربری‌های ناسازگار در سطح شهر را با توجه به عوامل مختلف، استخراج کرد. مدل پیشنهادی این تحقیق به همراه محیط نرم‌افزاری توسعه‌یافتهٔ مربوط، برای بخشی از منطقه هفت شهر تهران، پیاده‌سازی و آزمایش شد. نتایج مدل می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای کمک به مدیران شهری به‌منظور مطالعهٔ بهتر وضعیت شهری و جلوگیری از توسعهٔ مناطق با بافت نامناسب، با هدف تضمین توسعه پایدار، به کار گرفته شود. توسعهٔ مدل ارزیابی سازگاری کاربری‌های تفصیلی شهری در مقیاس همسایگی، ارائه روشی به‌منظور تعیین کاربری‌های ناسازگار با توجه به تأثیر همزمان عوامل مؤثر در سازگاری، به کارگیری تئوری فازی در محاسبهٔ ناسازگاری بین کاربری‌ها و یکپارچه‌سازی GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاری در حل مسئله ناسازگاری، از نتایج مهم این تحقیق به‌شمار می‌آید. شاخص سازگاری می‌تواند به عنوان معیاری به‌منظور پیشنهاد و اولویت‌بندیِ چندین کاربری مناسب برای هر زمین شهری، مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: سازگاری کاربری‌های شهری، تصمیم‌گیریِ چندشاخصه فازی، سامانه اطلاعات مکانی (GIS)، برنامه‌ریزی شهری.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر (عج)، بالاتر از میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
تلفن: ۸۸۷۸۶۲۱۲-۰۹۱۲۳۳۴۲۶۹۳ فاکس: ۸۸۷۶۶۲۱۳

Email: Taleai@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

مشخص ساختن جهات مطلوب توسعه و مکان‌های بهینهٔ زمین و اعمال کنترل هم‌سو با اهداف اجتماعی ـ اقتصادی نیاز به برنامه‌ریزی توسعهٔ زمین‌های شهری دارد (Pour Mohammadi, 2003). یکی از وظایف اساسی و مهم برنامه‌ریزان شهری، تخصیص زمین به کاربری‌های گوناگون شهری با توجه به نقش و کارکرد شهر و همچنین تأثیر و تأثر متقابل کاربری‌ها با همدیگر است (Parhizkar and Shokohi, 1997). نحوهٔ چیدمان نامناسب کاربری‌های شهری و اختلاط کاربری‌هایی که همخوانی چندانی با یکدیگر ندارند و بر روی فعالیت و عملکرد یکدیگر نیز اثر منفی می‌گذارند، در نهایت باعث پایین آمدن سطح کیفیت زندگی و کارایی خدمات مربوط به کاربری‌های مختلف می‌گردد.

در ارزیابی کیفی نحوهٔ چیدمان کاربری‌های شهری، چهار معیار مورد توجه قرار می‌گیرد: سازگاری، مطلوبیت، وابستگی و ظرفیت (Bahraini, 1998; Pour Mohammadi, 2003). اما نکته مهم در ارزیابی کاربری اراضی شهری رابطهٔ بین آنهاست؛ زیرا وجود تأثیرات منفی باعث اختلال در فعالیت کاربری‌ها و وجود تأثیرات مثبت باعث افزایش کارایی فعالیت‌های شهری خواهد شد. تأثیرات متقابل بین کاربری‌ها را می‌توان در قالب سازگاری و ناسازگاری کاربری‌های شهری ارزیابی کرد، به‌طوری که وجود تأثیرات منفی بیانگر وجود سطحی از ناسازگاری، و وجود اثر مثبت بیانگر وجود سطحی از سازگاری است. در این تحقیق، سازگاری به عنوان همخوانی میان کاربری‌های مجاور در یک محدوده براساس ویژگی‌ها و مشخصات آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این تحقیق، معیارهای مطلوبیت (سازگاری بین هر کاربری و محل استقرار مکانی آن)، ظرفیت (سطوح کالبدی / مقیاس عملکرد هر کاربری) و وابستگی (وابستگی میان فعالیت‌های مختلف) به صورت غیرمستقیم مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه، وابستگی کاربری‌ها به یکدیگر، لزوم همجواری آنها را می‌طلبد.

بررسی سازگاری بین کاربری‌های شهری، از طرفی نیازمند استفاده از GIS برای مدل‌سازی مکانی روابط بین کاربری‌ها و از طرف دیگر مدل‌های تصمیم‌گیری / تحلیل چندمعیاری (MCDM)[1] است. لذا نیاز به تلفیق دو سامانهٔ GIS و MCDM و در نتیجه، تکوین و توسعهٔ یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاری مکانی (SMCDM)[2] محسوس است. فرایند تصمیم‌گیری می‌تواند تحت سه مرحله ساختاردهی گردد: شناخت[3]، طراحی[4] و انتخاب[5] (Taleai, 2007; Parhizkar and Gilandeh, 2006). با توجه به اینکه GIS دارای محدودیت‌هایی برای حمایت از دو مرحله طراحی و انتخاب از فرایند تصمیم‌گیری است، بنابراین تلفیق GIS با روش‌های MCDM موجب افزایش قابلیت‌های مکانی آن برای حل مسائل مکانی، به‌عنوان سامانهٔ پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی می‌گردد.

هدف این مقاله، تکوین و توسعهٔ مدلی برای ارزیابی سازگاری کاربری‌های شهری با کمک سامانه‌های اطلاعات مکانی[6] (GIS) است. مدل‌سازی مورد نیاز برای ارزیابی تأثیرات متقابل کاربری‌های مختلف شهری در مناطق ساخته شده و در سطح ریزدانه و واحد همسایگی صورت گرفته است. در این مقیاس، سازگاری / ناسازگاری کاربری‌ها در شعاع کاربری‌های همسایه و مجتمع‌های همسایه اتفاق می‌افتد و با افزایش فاصله تأثیر آن کاهش می‌یابد.

بخش دوم مقاله به بیان پیش‌زمینه تحقیق می‌پردازد. در بخش سوم، ضمن بیان روش‌شناسی و مواد تحقیق و شرح لزوم بررسی سازگاری بین کاربری‌های شهری، مفاهیم پایه مورد نیاز برای توسعه مدل ارزیابی سازگاری آورده شده است. در این بخش،

1. Multi Criteria Decision Making/Analysis
2. Spatial Multi Criteria Decision Making (SMCDM)
3. Intelligence
4. Design
5. Choice/Decision
6. Geographical Information Systems (GIS)

به بیان مفهوم تصمیم‌گیری چندمعیاری فازی و نحوهٔ دستیابی به توافق گروهی، پرداخته شده است. در بخش چهارم، مدل توسعه داده شده برای ارزیابی سازگاری بین کاربری‌ها، همراه با مراحل آن توضیح داده شده است. در بخش پنجم، نحوه پیاده‌سازی مدل و اجرای آن در محیط GIS شرح داده شده است. بخش آخر نیز در بردارندهٔ نتیجه‌گیری دربارهٔ دستاوردهای تحقیق و ارائه پیشنهادهایی برای تحقیقات بیشتر است.

۲- پیش‌زمینهٔ تحقیق

کاپیو و دیگران، سازگاری کاربری‌ها از جنبهٔ عامل آلودگی صوتی را با استفاده از ابزار تحلیلی GIS مورد بررسی قرار داده است (Cappio et al., 2005). در این تحقیق با توجه به موقعیت منابع تولید آلودگی صوتی و شدت صدای هر منبع، منحنی‌های هم‌صدا[1] ترسیم شده است. از آنجا که هر کاربری شهری نیز با توجه به آیین‌نامه شهرسازی، شدت معینی از صوت را تحمل می‌کند، بنابراین با انجام پرسش و پاسخ و با توجه به منحنی‌های شدت صوت، هر کاربری که در معرض صدای بیشتر از حد تحمل (برطبق آیین‌نامه) قرار دارد، استخراج گردیده است. بدین ترتیب کاربری‌های ناسازگار با توجه به عامل آلودگی صوتی مشخص شده است. در تحقیقی که برای فرودگاه Grand Forks انجام شده است، مسئلهٔ سازگاری بین فرودگاه با سایر کاربری‌ها براساس چهار عامل آلودگی صوتی، پرواز بر روی منطقه، امنیت و فضای هوایی به عنوان فاکتورهای مؤثر در سازگاری بین فرودگاه‌ها و محیط اطراف مورد بررسی قرار گرفته است (Grand Forks International Airport, 2006). در تحقیق دیگری که طالعی و دیگران انجام داده‌اند (Taleai, et al., 2007; Taleai, 2007)، با استفاده از GIS، مدلی برای ارزیابی سازگاری کاربری‌های شهری شکل گرفته و توسعه داده شده است. این مدل سازگاری، کاربری‌های شهری را در دو بعد افقی و عمودی در نظر می‌گیرد و با توجه به سطح سازگاری مشخص‌شده برای هر واحد، کاربری‌های ناسازگار در سطح ناحیهٔ شهری را مشخص می‌سازد. کوهن و دیگران، نیز مطالعاتی را با هدف بررسی سازگاری بین شبکهٔ حمل‌ونقل و کاربری‌ها از جنبهٔ آلودگی صوتی و آلودگی هوا انجام داده‌اند (Cohn, et al., 2005). تحقیقات دیگری نیز در زمینهٔ سازگاری بین کاربری‌ها انجام شده است که در این مقاله مجالی برای پرداختن به همهٔ آنها نیست.

لازم به ذکر است که اغلب تحقیقات در مورد سازگاری بین کاربری‌ها، در سطح برنامه‌ریزی طرح‌های جامع انجام پذیرفته و کاربری‌های شهری به صورت یکجا و کامل و در سطح برنامه‌ریزی تفصیلی شهری، در نظر گرفته نشده است. در اغلب آنها سازگاری به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفته و عموماً ارزیابی سازگاری تنها با در نظر گرفتن یک جنبه (مثل آلودگی صوتی) صورت گرفته است. در موارد دیگر، که چند عامل در نظر گرفته شده، تنها سازگاری بین یک کاربری خاص (مثل فرودگاه) با سایر کاربری‌ها مورد توجه قرار گرفته است. همچنین در اغلب این پژوهش‌ها از GIS تنها برای نمایش نتایج استفاده شده و انجام آنالیزها برای تعیین کاربری‌های ناسازگار، در محیط GIS صورت نگرفته است. در پژوهش طالعی و دیگران نیز به‌رغم آنکه در سطح ریزدانه انجام شده است، عوامل مؤثر در سازگاری به صورت جزئی و مشخص در نظر گرفته نشده و در توسعه مدل نیز مبانی تصمیم‌گیری قطعی مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- روش‌شناسی و مواد تحقیق

در بررسی مسئله سازگاری، مسائلی چون تعیین معیارها و عوامل دخیل در سازگاری بین کاربری‌ها، مشخص ساختن رابطهٔ بین کاربری‌های مجاور براساس نظر کارشناسی و نظایر آن مطرح است که نیاز به استفاده از نظریه‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری

1. Iso Noise

چندمعیاری و تصمیم‌گیری گروهی[1] را محرز می‌سازند. در این بخش به اختصار به مبانی و مفاهیم این موضوعات پرداخته شده است.

۳-۱- کاربری همسایه

در این تحقیق، کاربری‌هایی که فضای اطراف کاربری دیگری را در بر می‌گیرند، درواقع کاربری‌های همسایهٔ آن کاربری تلقی می‌شوند (Taleai et al., 2007; Mohammad Hosseinian, et al., 2008). در این تعریف، بیشتر مفهوم نزدیکی مدنظر قرار گرفته و لذا خیابان‌های اطراف هر کاربری و همچنین کاربری‌های واقع در سمت دیگر خیابان ـ که لزوماً وجه مشترکی با کاربری مورد ارزیابی ندارند ـ نیز به مثابهٔ کاربری همسایه تلقی می‌گردد.

۳-۲- سازگاری کاربری‌ها

معیار مکانی در کاربری زمین، استانداردی است که با آن مکان بهینه هر کاربری مورد سنجش قرار می‌گیرد (Saedniya, 2003). در این بین، عمده‌ترین تلاش برنامه‌ریزان شهری، مکان‌یابی برای کاربری‌های گوناگون و جداسازی کاربری‌های ناسازگار از یکدیگر است. کاربری‌هایی که تأثیرات منفی (آلودگی‌هایی از قبیل دود، بو، صدا و جز اینها) بر روی سایر کاربری‌های مجاور دارند، می‌بایست از کاربری‌های دیگر ـ به‌ویژه کاربری‌های مسکونی ـ جدا شوند. در مقابل، کاربری‌هایی که مکمل همدیگرند و تأثیرات مطلوب بر روی هم دارند، می‌بایست در کنار هم قرار گیرند تا فضای مطلوب شهری ایجاد شود.

نکتهٔ درخور اهمیت آن است که دلیل اینکه دو کاربری می‌بایست ـ و یا نمی‌بایست ـ در کنار همدیگر قرار بگیرند، چه عامل یا عواملی است. در این تحقیق با مطالعه ویژگی کاربری‌های شهری و همچنین تأثیراتی که کاربری‌ها بر روی همدیگر دارند، پنج عامل زیر به‌عنوان عوامل مؤثر بر سازگاری / ناسازگاری کاربری‌ها، استخراج گردید:

- آلودگی صوتی[2]: برخی از کاربری‌های شهری به دلیل نوع فعالیت‌شان، به میزانی از شدت صوت حساسیت دارند و اگر در آستانه شدت صوت بیش از حد تحمل قرار گیرند، فعالیت آنها مختل خواهد شد ـ مانند ساختمان‌های مسکونی.
- آلودگی هوا[3]: تولید گرد و خاک، بوی نامطبوع، هوای مضر و دود می‌تواند به عنوان عامل ناسازگاری تلقی شود.
- امنیت عمومی[4]: برخی از کاربری‌ها در طول فعالیت روزمره می‌توانند امنیت عمومی مناطق را تحت تأثیر قرار دهند، که به عنوان مثال می‌توان به عبور هواپیما از روی مناطق پرجمعیت اشاره کرد.
- راحتی و آسایش[5]: قابلیت دسترسی به خطوط حمل‌ونقل و تأسیسات شهری و دسترسی آسان به خدمات و امکانات موجود، مفهوم راحتی و آسایش را در بر می‌گیرد.
- زیبایی‌شناسی[6]: نحوه قرارگیری کاربری‌ها در سطح شهر می‌بایست به نحوی باشد که بافتی زیبا و منظم را به‌وجود آورد.

به‌منظور اطمینان یافتن از سازگاری میان کاربری‌ها، عموماً دو روند استفاده از روش‌های مهندسی و یا برنامه‌ریزی کاربری‌های شهری وجود دارند. از دیدگاه توسعه پایدار، روش مبتنی بر برنامه‌ریزی شهری دارای هزینه کمتر و قابلیت اجرایی بهتر است و از آنجا که توانایی پیش‌بینی و جلوگیری از به‌وجود آمدن مشکلات شهری را دارد، در مدیریت شهری به‌عنوان بهترین روش برای کاهش ناسازگاری میان کاربری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش برنامه‌ریزی کاربری‌های شهری، کدها و قواعد زون‌بندی، به عنوان

1. Group Decision Making
2. Noise
3. Air pollution
4. Safety
5. Health and Welfare
6. Aesthetics

مرسوم‌ترین روش، توسعهٔ زمین برای کاربری‌های مختلف ـ از قبیل مسکونی، تجاری، صنعتی و جز اینها ـ را در مناطق مختلف شهر، دسته‌بندی و پیش‌بینی و تنظیم می‌کند (Taleai, 2007).

در این روش برای تعریف روابط بین کاربری‌ها، از ماتریس سازگاری[1] برای تعیین کاربری‌های مجاز و غیرمجاز در هر زون استفاده می‌شود؛ به این صورت که کاربری‌های شهری به صورت دو به دو با هم مقایسه می‌گردند و براساس سطح سازگاری / ناسازگاری دو کاربری، یک شاخص (از کاملاً سازگار تا کاملاً ناسازگار) به آن دو کاربری اختصاص داده می‌شود. با قرار دادن تمامی کاربری‌ها به عنوان سطر و ستون ماتریس، شاخص‌های مربوط به سطح سازگاری بین هر دو کاربری وارد ماتریس خواهد شد و در نهایت سطح سازگاری / ناسازگاری میان تمامی کاربری‌های شهری مشخص می‌گردد.

۳-۳- تصمیم‌گیری گروهی

لزوم ایجاد ماتریس‌های سازگاری مورد نیاز مدل، استفاده از نظر کارشناسان برنامه‌ریزی شهری را محرز می‌کند، بنابراین نیاز به طرح مبنای تصمیم‌گیری گروهی و روش‌های دستیابی به توافق گروهی برای ورود نظر کارشناسان به محیط تصمیم‌گیری است. از طرف دیگر، با توجه به تأثیر عوامل مختلف در ارزیابی سازگاری، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه اجتناب‌ناپذیر است (Ghodsipour, 2007). مسائل مبتنی بر تصمیم‌گیری / تحلیل چندمعیاره معمولاً به شکلی مرتبط با مجموعه‌ای از گزینه‌ها[2]، که بر پایهٔ معیارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته باشند، به کار گرفته می‌شوند. مدل‌های تصمیم‌گیری براساس تعداد افراد تصمیم‌گیرنده به دو دستهٔ فردی و گروهی تقسیم می‌شوند. این دو دسته نیز به نوبهٔ خود در قالب تصمیمات قطعی[3] و تصمیم‌گیری با عدم قطعیت تقسیم می‌شوند. تصمیم‌گیری با عدم قطعیت نیز براساس دو نظریه احتمالات و منطقِ فازی[4] تفکیک‌شدنی است (Chen, 2005; Parhizkar and Gilandeh, 2006).

لزوم بحث و مجادله بین کارشناسان مختلف، وجود عقاید گوناگون و گاه متناقض آنان و چگونگی تعیین میزان ارزش دیدگاه‌های آنان در روند تصمیم‌گیری، از موضوعاتی است که توسعه و گسترش روش‌های تصمیم‌گیری گروهی را پیچیده می‌سازد (Chen, 2005). تصمیم‌گیری گروهی براساس قضاوت کارشناسان[5] از روش‌های عمده و متداول در تصمیم‌گیری گروهی است ـ که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است (Atiqur, 2008). در این روش که تعامل مناسب و مطلوبی با MCDM دارد، اولویت‌های چندین کارشناس، جمع‌آوری و تلفیق می‌شود و تا مرحله دستیابی به نظری واحد و منسجم، به‌طوری که در نهایت گزینه‌های انتخاب شده و وزن معیارها مورد قبول همه کارشناسان باشد، ادامه پیدا می‌کند.

مدل دلفی[6] به عنوان یکی از روش‌های متداول و مناسب برای دستیابی به توافق گروهی مطرح است (Okoli and Pawlowski, 2004).

در مدل دلفی که در این تحقیق از آن استفاده شده است، بدون اینکه نیازی به حضور فیزیکی همه کارشناسان در یک جلسه داشته باشد، دانش لازم از یک گروه از متخصصان کسب می‌گردد. ساختار روش یاد شده بر این اساس استوار است که با ارسال پرسش‌نامه‌هایی برای تعدادی کارشناس، عصارهٔ دانش آنها جمع‌آوری می‌شود. مراحل روش دلفی را می‌توان در طی ۱۰ مرحلهٔ زیر، بیان کرد (Linstone and Turoff, 2002; Shiftan, et al., 2003):

1. Compatibility matrix
2. Alternative
3. Deterministic
4. Fuzzy
5. Group decision using expert judgment
6. Delphi Method

۱. تشکیل گروه یا تیمی تحلیل‌گر برای انجام روش دلفی براساس موضوع مشخص شده؛
۲. انتخاب تیم یا گروه کارشناسانی که می‌بایست مورد مصاحبه قرار گیرند و هماهنگی با آنها به‌منظور همکاری؛
۳. تهیه پرسش‌نامهٔ اولیهٔ دلفی؛
۴. آزمایش یا تست پرسش‌نامه با هدف رفع ابهامات و نقاط گنگ و مبهم؛
۵. ارسال پرسش‌نامهٔ اول برای کارشناسان انتخاب شده؛
۶. تجزیه و تحلیل پاسخ‌های کارشناسی ارائه شده در قالب پرسش‌نامه؛
۷. آماده‌سازی پرسش‌نامهٔ دوم، به‌منظور رفع نقاط مبهم و یا ایجاد پرسش‌های جدید، در صورت نیاز؛
۸. ارسال پرسش‌نامهٔ دوم برای کارشناسان؛
۹. تجزیه و تحلیل دومین پاسخ‌های داده شده (مرحله ۷ الی ۹ تا زمان دستیابی به نتایج منسجم و مورد توافق همه ادامه می‌یابد)؛ و
۱۰. آماده‌سازی گزارش به‌وسیله گروه یا تیم تحلیل‌گر، به‌منظور ارائه نتایج.

در روند انجام تصمیم‌گیری گروهی، در اغلب اوقات کارشناسان نظرشان را به صورت واژه‌های زبانی و با عبارت‌های غیردقیق بیان می‌کنند. لطفی‌زاده (Zadeh, 1965) در متون و تحقیقات زیادی، از ریاضیات فازی و تئوری پایه مجموعه‌های فازی سخن به میان آورده است. براین اساس، در این مقاله از ذکر مجدد آن پرهیز شده است و خواننده می‌تواند در صورت نیاز، به این منابع رجوع کند. سطوح سازگاری عنوان شده در ماتریس‌های سازگاری، می‌توانند به‌عنوان متغیرهای زبانی محسوب شوند. برای استفاده از این سطوح در مدل ارزیابی سازگاری، می‌بایست آنها را به طریقی به کمیت‌های ریاضی تبدیل کرد. همان‌گونه که پیش‌تر نیز ذکر شد، اعضای گروه می‌توانند نظرهای خود را در قالب متغیرهای زبانی بیان کنند ـ به‌ویژه در مواقعی که نمی‌توان مسئله را با مقادیر دقیق عددی ارزیابی کرد.

در این روش کارشناس E_k می‌تواند S_j را از متغیرهای زبانی مجموعهٔ S با امتیاز x_{ij} برای گزینهٔ A_i انتخاب کند. استفاده از متغیرهای زبانی ارزیابی تصمیم‌گیرندگان را انعطاف‌پذیرتر می‌کند، ولی تلفیق متغیرهای زبانی کاری پیچیده خواهد بود. برای دستیابی به ارزیابی نهایی برای هر گزینه می‌بایست دیدگاه‌های همهٔ کارشناسان ترکیب شود. صرف‌نظر از اینکه وزن‌ها و امتیازها به صورت زبانی یا عددی‌اند، شکل کلی تابع تلفیق[1] به صورت رابطه (۱) است، به‌گونه‌ای که f_i امتیاز نهایی برای گزینه i، u_k وزن نظر کارشناس، q تعداد کل کارشناسان، x_{ik} امتیاز ارائه شده به‌وسیله کارشناس k برای گزینهٔ i، و $\otimes$ معرف عملگر ضرب فازی است.

$$f_i = \sum_{k=1}^{q} u_k \otimes x_{ik} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

از روش‌های تلفیق متغیرهای زبانی، استفاده از مقیاس تبدیل است. چن و هوانگ، با استفاده از یک مقیاس تبدیل، عبارت‌های زبانی را به اعداد فازی تبدیل کردند (Chen and Hwang, 1989; Chen and Ben-Arieh, 2006). آنها هفت مقیاس تبدیل را برای بدل کردن همه واژه‌های زبانی به اعداد فازی ارائه داده‌اند. جدول ۱ صورت تعدیل‌شده‌ای از یک مقیاس تبدیل[2] را نشان می‌دهد. از آنجا که هیچ یک از کارشناسان انتخاب‌شده برای تعیین سطوح سازگاری، با روش‌های فازی آشنایی نداشتند، این روش با توجه به عدم نیاز به فرضیات اولیه، در این تحقیق مدنظر قرار گرفت.

۳-۴- تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ فازی[3] (FMADM)

همان‌گونه که پیش‌تر توضیح داده شد، روند ارزیابی سازگاری بین کاربری‌ها نیازمند استفاده از تصمیم‌گیری

1. Aggregation Function
2. Conversion scale
3. Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (FMADM)

چندمعیاری فازی است. از طرفی به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری برمبنای فازی نیازمند استفاده از روش‌های فازی، برای تلفیق مقادیر مختلف و اختصاص امتیاز به هر گزینه، و در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌هاست. تاکنون روش‌های زیادی برای تصمیم‌گیری چندمعیاری در دنیای فازی ارائه شده است و مطالعهٔ بیشتر در این زمینه را می‌توان به رجوع به منابع مختلف واگذار کرد، که در این بخش روش مورد استفاده در این مقاله به اختصار توضیح داده خواهد شد (Smolikova & Wachowiak, 2002; Xu & Yager, 2006; Xu & Chen, 2007; Boroushaki & Malczewsk, in press).

یک مدل تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ فازی با مقادیر فازی برای تعیین وزن مشخصه‌ها و درجهٔ اهمیت هر گزینه، به صورت کلی در جدول ۲ نمایش داده شده است.

در این جدول، $\tilde{W}_j$ وزن هر مشخصه و $\tilde{r}_{ij}$ درجهٔ اهمیت هر گزینهٔ i، با توجه به مشخصهٔ j است، به‌طوری که $(j=1,2,...,n \text{ و } i=1,2,...,m)$ باشد. $\tilde{W}_j$ و $\tilde{r}_{ij}$ نیز اعداد فازی محدبی هستند که به صورت روابط (۲ و ۳)، تعریف می‌شوند.

$$\tilde{w}_j = \{(y_j, \mu_{\tilde{w}_j}(y_j))\} \qquad \text{رابطه (۲)}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \{(x_{ij}, \mu_{\tilde{r}_{ij}}(x_{ij}))\} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

جدول ۱. تبدیل مقداردهنده‌های زبانی به اعداد فازی

مقداردهنده	تعداد مقدار دهنده زبانی			
زبان	۲	۳	۵	۷
خیلی کم			(۰،۰،۰/۱،۰/۲)	(۰،۰،۰/۱)
کم		(۰،۰،۰/۲،۰/۴)	(۰،۰/۱،۰/۲۵،۰/۴)	(۰،۰/۱،۰/۲،۰/۳)
کم ـ متوسط				(۰/۲،۰/۳،۰/۴،۰/۵)
متوسط	(۰/۴،۰/۵،۰/۵،۰/۸)	(۰/۲،۰/۵،۰/۵،۰/۷)	(۰/۳،۰/۵،۰/۵،۰/۷)	(۰/۴،۰/۵،۰/۵،۰/۶)
متوسط ـ زیاد				(۰/۵،۰/۶،۰/۷،۰/۸)
زیاد	(۰/۵،۰/۸،۰/۸،۱)	(۰/۶،۰/۸،۱،۱)	(۰/۶،۰/۷۵،۰/۹،۱)	(۰/۷،۰/۸،۰/۸،۰/۹)
خیلی زیاد			(۰/۸،۰/۹،۱،۱)	(۰/۸،۰/۹،۱،۱)

منبع: Chen and Hwang, 1989

جدول ۲. مدل تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ فازی

		$\tilde{W}_1$	$\tilde{W}_2$	...	$\tilde{W}n$
		مشخصات			
	j / i	۱	۲	...	n
گزینه‌ها	۱	$\tilde{r}_{1,1}$	$\tilde{r}_{1,2}$	...	$\tilde{r}_{1,n}$
	۲	$\tilde{r}_{2,1}$	$\tilde{r}_{2,2}$	...	$\tilde{r}_{2,n}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	m	$\tilde{r}_{m,1}$	$\tilde{r}_{m,2}$	...	$\tilde{r}_{m,n}$

منبع: Nasiri, 2007

در تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ فازی، یک تابع عمومی برای تلفیق ویژگی‌های به‌دست آمده از گزینه‌ها

تولید می‌شود. این تابع عمومی با میانگین وزن‌دار به شرح رابطه (۴) به‌دست می‌آید، به‌طوری که $\tilde{U}_i$ نیز یک عدد فازی محدب است.

رابطه (۴)

$$\tilde{U}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} \tilde{w}_j \tilde{r}_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} \tilde{w}_j}$$

بر پایهٔ بحث پیش‌گفته، تاکنون روش‌های FMADM زیادی ارائه شده است. در تعیین کاربری‌های ناسازگار در سطح شهر، به دلیل آنکه تعداد کاربری‌ها (تعداد گزینه‌ها) زیاد است و پنج معیار نیز در مسئله مؤثرند، تقریباً با یک مسئلهٔ بزرگ‌مقیاس روبه‌رو هستیم. نکته دیگر آنکه نتایج حاصل هر روش می‌بایست در محیط GIS نمایش داده شود. بنابراین باید روشی انتخاب شود که هم دارای کمترین حجم محاسباتی باشد و هم به خوبی با مسئلهٔ مورد بررسی هم‌خوانی داشته باشد. با توجه به ویژگی‌های الگوریتم‌های مختلف، در نهایت روش Bonisson به عنوان روش مطلوب انتخاب گردید (Bonissone, 1982)؛ چرا که این روش فرضیات آسان‌تری در قیاس با روش‌های دیگر دارد و حجم محاسبات آن نیز کمتر است. نقطهٔ ضعف این روش محدودیت آن در استفاده از تنها اعداد مثلثی یا ذوزنقه‌ای است که تأثیری در روند کار نخواهند گذاشت، چرا که تمامی اعداد فازی مورد استفاده در مدل، مثلثی یا ذوزنقه‌ای‌اند. Bonissone فرض کرد که هر عدد فازی را می‌توان با یک تابع عضویت ذوزنقه‌ای محدب تخمین زد. Bonissone هر عدد فازی ذوزنقه‌ای $\tilde{M}$ را با چهار پارامتر به صورت شکل ۱ نمایش داد. بنابراین می‌توان تخمینی از اعداد فازی مربوط به $\tilde{w}_i$ و $\tilde{r}_{ij}$ را با عدد ذوزنقه‌ای به دست آورد. مقدار عمومی در رابطه (۴) را می‌توان با تعریف‌های رابطه (۵، ۶ و ۷) به‌دست آورد. $\tilde{M} = (a, b, \alpha, \beta)$ و چنانچه $a = b$، در این صورت $\tilde{M}$ عدد فازی مثلثی خواهد بود.

وی نشان داد اگر $\tilde{M} = (a, b, \alpha, \beta)$ و $\tilde{N} = (a', b', \alpha', \beta')$ دو عدد فازی ذوزنقه‌ای باشند:

رابطه (۵)

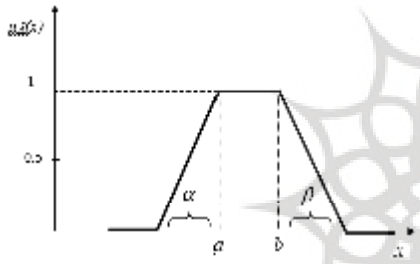
$$\tilde{M} + \tilde{N} = (a + a', b + b', \alpha + \alpha', \beta + \beta')$$

رابطه (۶)

$$\tilde{M} - \tilde{N} = (a - a', b - b', \alpha - \alpha', \beta - \beta')$$

رابطه (۷)

$$\tilde{M}.\tilde{N} = (a.a', b.b', \alpha.\alpha', \beta.\beta')$$



شکل ۱. بیان عدد فازی $\tilde{M}$ با چهار پارامتر

از سوی دیگر، هدف از تصمیم‌گیری یافتن یک یا چند گزینهٔ بهینه است که این کار می‌بایست با رتبه‌بندی همهٔ گزینه‌ها براساس تلفیق نتایج صورت گیرد (Chen, 2006). در مدل ارائه شده برای بررسی سازگاری کاربری‌های شهری، همهٔ اعداد فازیِ مورد استفاده مثلثی یا ذوزنقه‌ای‌اند و شکل آنها نیز همواره منظم است. گسترش آنها حتی با اعمال وزن و ضرب در آنها، تغییر یکسانی خواهد داشت. این نکته خود باعث شد تا انتخاب روش رتبه‌بندی مناسب، آسان‌تر صورت گیرد. بنابراین می‌بایست روشی انتخاب می‌گردید که نیازی به فرضیات اولیه (به‌عنوان مثال، انتخاب سطح $\alpha_\circ$ اولیه) نداشته باشد (چرا که تعیین فرض اولیه روش کار آسانی نخواهد بود) و همچنین امکان پیاده‌سازی و برنامه‌نویسی آن در محیط GIS

راحت‌تر صورت گیرد و نیاز به انجام پردازش طولانی نباشد. با توجه به روش‌های مختلف رتبه‌بندی، روش میانگین گسترش[1] برای رتبه‌بندی کاربری‌های براساس سطح ناسازگاری، انتخاب گردید (Lee and Li, 1988; Zhu and Lee, 1992). در این روش هم میانگین و هم واریانس مد نظر قرار می‌گیرد و پیاده‌سازی آن در محیط برنامه‌نویسی پیچیدگی چندانی ندارد. این الگوریتم بر این اساس است که درک انسان،یک عدد فازی را با مقدار میانگین بیشتر و گسترش کمتر ترجیح می‌دهد. بنابراین میانگین و واریانس یک عدد فازی، می‌تواند شاخص مناسبی برای رتبه‌بندی این اعداد باشد.

۴- مدل پیشنهادی ارزیابی سازگاری کاربری‌های شهری

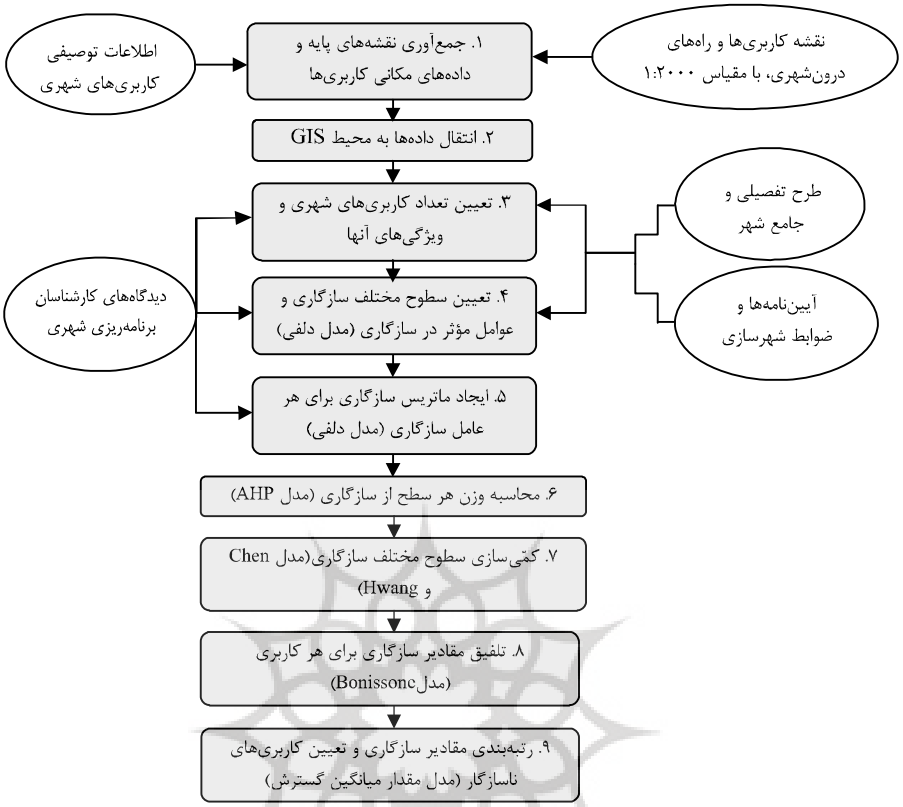
مدل توسعه داده‌شده برای ارزیابی سازگاری کاربری‌های شهری، به‌طور خلاصه در شکل ۲ نمایش داده شده است. این مدل شامل ۹ مرحله کلی است که در ادامه تشریح شده‌اند. نقشه‌های شهری مربوط به نواحی یک و دو مربوط به منطقه هفت شهر تهران با مقیاس ۱:۲۰۰۰ به عنوان داده‌های مکانی نمونه، برای استفاده در مدل در نظر گرفته شدند (شکل ۳). این نقشه‌ها شامل نقشهٔ موقعیت پلاک‌های ساختمانی کاربری‌ها و نقشهٔ راه‌های منطقه هستند. از شاخص‌های این منطقه، اختلاط فزایندهٔ کاربری‌های مختلف شهری با سطوح عملکردی مختلف در یک پلاک ساختمانی و یا در پلاک‌های مجاور است. در این منطقه، به‌ویژه در قسمت جنوبی آن، کاربری‌های صنعتی و تجاری در بلوک‌های ساختمانی اختلاط کرده‌اند.

داده‌های جمع‌آوری‌شده پس از رفع خطاهای هندسی و منطقی آمادهٔ ورود به محیط GIS گردید. با مطالعهٔ آیین‌نامه‌های شهرسازی و ضوابط مربوط به طرح‌های تفصیلی و جامع شهری، همچنین مصاحبه با کارشناسان برنامه‌ریزی شهری، در نهایت ۴۷ کاربری به عنوان کاربری‌های تفصیلی شهری در منطقهٔ مورد نظر شناخته شدند.

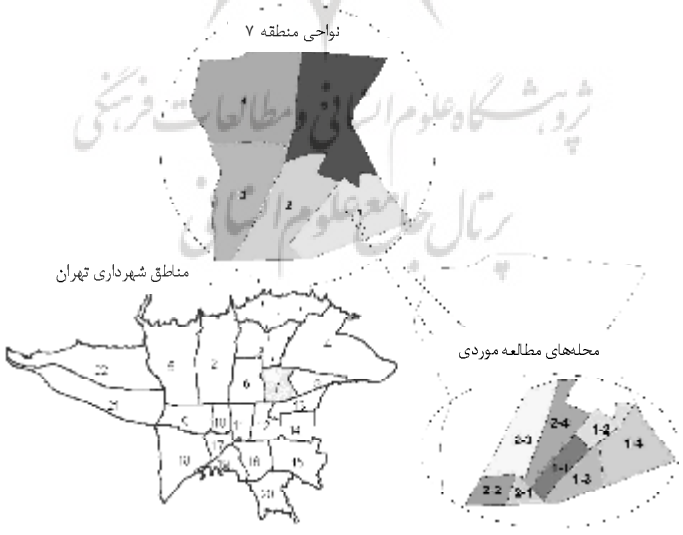
با مطالعهٔ مشخصات مکانی و تأثیراتی که کاربری‌ها بر یکدیگر دارند، پنج عامل به عنوان عوامل مؤثر بر سازگاری و ناسازگاری کاربری‌ها استخراج گردید. این عوامل عبارت‌اند از: آلودگی صوتی، آلودگی هوا، امنیت عمومی، راحتی و آسایش، و زیبایی‌شناسی. همچنین پنج سطح برای ارزیابی میزان سازگاری / ناسازگاری در نظر گرفته شد: کاملاً سازگار[2] (HC)، نسبتاً سازگار[3] (MC)، بی‌تفاوت[4] (NC)، نسبتاً ناسازگار[5] (MI) و کاملاً ناسازگار[6] (HI). به ازای هر یک از پنج عامل مؤثر بر سازگاری، یک ماتریس سازگاری در نظر گرفته شد. برای تکمیل این پنج ماتریس و تعیین سطح سازگاری یا ناسازگاری بین هر جفت کاربری، با توجه به عامل تعیین شده، از دانش کارشناسان برنامه‌ریزی شهری استفاده شد.

روش دلفی برای دستیابی به توافق در روند تصمیم‌گیری گروهی در مورد همهٔ درایه‌های ماتریس‌ها به کار گرفته شد. دیدگاه‌های کارشناسان در مورد سطوح مختلف سازگاری نیز جمع‌آوری و طبقه‌بندی گردید تا در نحوهٔ تصمیم‌گیری راجع به روابط بین کاربری‌ها و ارزیابی سطوح سازگاری، از آنها استفاده شود. پس از جمع‌بندی نتایج مدل دلفی، در نهایت پنج ماتریس سازگاری (برای هر عامل یک ماتریس) تشکیل شد. این ماتریس‌ها به عنوان ماتریس‌های سازگاری کاربری‌های شهری با توجه به هر عامل، وارد مدل ارزیابی سازگاری شدند.

1. Mean-Spread Values
2. High compatibility
3. Medium compatibility
4. Neutral/low compatibility
5. Medium incompatibility/very low compatibility
6. Hight incompatibility



شکل ۲. مدل ارزیابی سازگاری کاربری‌های شهری



شکل ۳. نمای کلی از منطقهٔ مطالعه موردی

برای محاسبهٔ وزن هـر سـطح از سـازگاری، از روش مقایسهٔ زوجی[1] و نظرخواهی از کارشناسان برنامه‌ریـزی شهری استفاده شد. برطبق قاعدهٔ تصمیم‌گیری بدبینانه که برای کاهش ریسک‌پذیری در تـصمیم اسـت، وزن و اهمیت تأثیرات منفـی (سـطح کـاملاً ناسـازگار) خیلـی بیشتر از تأثیرات مثبت (سطح کـاملاً سـازگار) در نظـر گرفته شد. وزن نسبی سطوح سازگاری مطابق جدول ۳ تعیین گردید.

جدول ۳. وزن محاسبه‌شده برای هر سطح از سازگاری

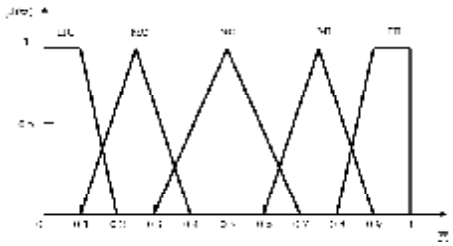
سطح سازگاری	وزن نسبی
HI (کاملاً ناسازگار)	۰/۴۲۳
MI (نسبتاً ناسازگار)	۰/۲۸۳
N (بی‌تفاوت)	۰/۱۷۷
MC (نسبتاً سازگار)	۰/۰۸۴
HC (کاملاً سازگار)	۰/۰۴۲

برای بیـان درجـه‌هـای مختلـف سـازگاری، از پـنج مقداردهندهٔ زبانی ـ یعنی کاملاً سازگار، تقریباً سـازگار، بی‌تفاوت، تقریباً ناسـازگار و کـاملاً ناسـازگار ـ اسـتفاده شد. بـرای کمّـی‌سـازی ایـن سـطوح، از روش Chen و Hwang استفاده شـد. طبـق جـدول ۱ از اعـداد فـازی مربوط به ستون با پنج مقداردهنده زبانی استفاده شـد. جدول ۴ و شکل ۴ اعداد فازی مربوط به این متغیرها را نمایش می‌دهد.

جدول ۴. تبدیل سطوح سازگاری به اعداد فازی مطابق روش Chen و Hwang

سطح سازگاری	اعداد فازی
HC (کاملاً سازگار)	(۰/۲، ۰/۱، ۰، ۰)
MC (نسبتاً سازگار)	(۰/۴، ۰/۲۵، ۰/۲۵، ۰/۱)
N (بی‌تفاوت)	(۰/۷، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۳)
MI (نسبتاً ناسازگار)	(۰/۹، ۰/۷۵، ۰/۷۵، ۰/۶)
HI (کاملاً ناسازگار)	(۱، ۱، ۰/۹، ۰/۸)

بدین ترتیب، ابتدا سطح سازگاری بـین هـر جفـت کاربری برای هر پنج عامل مطرح شده برطبق مـاتریس سازگاری به‌عنوان مقداردهنده زبانی مشخص مـی‌شـود. سپس با در نظر گرفتن شکل ۴، رابطـهٔ دو کـاربری بـه صورت عددی فازی تبدیل خواهـد شـد. در پایـان ایـن مرحله، برای رابطهٔ هر جفت کاربری با توجه بـه سـطح سازگاری بین آنها، یـک عـدد فـازی برطبـق جـدول ۴ اختصاص می‌یابد.



شکل ۴. اعداد فازی متناظر هر سطح از ناسازگاری

سپس اعداد فازی مربوط به سـطوح سـازگاری هـر کاربری با توجـه بـه کـاربری‌هـای همـسایه‌اش تلفیـق می‌شـود تـا مقـداری کلـی بـه عنـوان شاخـصی بـرای رتبه‌بندی به دست آید. به‌منظور ارائه این شاخص برای هر کاربری، دو مرحله از جمـع‌بنـدی و تلفیـق صـورت گرفت: الف) جمع‌بندی مقـادیر مختلـف سـازگاری هـر کاربری (با توجه به کاربری‌های همسایه آن و برای یک عامل خاص)؛ و ب) جمع‌بندی مقادیر مربـوط بـه پـنج عامل مؤثر در سازگاری.

از روش Bonissone به عنـوان روش تلفیـق اعـداد فازی مربوط به هر کـاربری اسـتفاده شـد. بـرای انجـام محاسبات این روش می‌بایست اعداد فازی ذوزنقـه‌ای را با چهار پارامتر به صورت $\tilde{M} = (a,b,\alpha,\beta)$ نمایش داد (شکل ۱)، در حـالی کـه در اینجـا اعـدادی ذوزنقـه‌ای وجود دارند کـه بـه صـورت چهـار پـارامتر (a,b,c,d) نمایش داده شده‌اند. برای تبدیل این نمایش به نمـایش مورد نیاز روش Bonissone، می‌توان براساس رابطه (۸) عمل کرد.

$$\tilde{M} = (b, c, b-a, d-c) \qquad \text{رابطه (۸)}$$

1. Pairwise comparison

با استفاده از رابطـه (۸) اعـداد فـازی جـدول ۴ بـه اعداد جدول ۵ تبدیل می‌شوند.

جدول ۵. تبدیل اعداد فازی سطوح سازگاری به نمایش مورد نیاز روش Bonissone

سطح سازگاری	اعداد فازی
HC (کاملاً سازگار)	(۰، ۰، ۰/۱، ۱)
MC (نسبتاً سازگار)	(۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۲۵)
N (بی‌تفاوت)	(۰/۲، ۰/۲، ۰/۵، ۰/۵)
MI (نسبتاً ناسازگار)	(۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۷۵، ۰/۷۵)
HI (کاملاً ناسازگار)	(۰/۱، ۰/۱، ۱، ۰/۹)

برای انجام بخش «الف» تلفیق، اول وزن هر سـطح سازگاری در عدد فازی مربوط به سطح براسـاس رابطـه (۹) ضرب گردید.

رابطه (۹) $$F_i = \sum_{i=1}^{n} w_j x_i$$

دراین فرمول x_i بیانگر اعداد فازی مربوط به رابطهٔ هر کاربری با همسایگانش، و w_j وزن سطح متناظر بـا عدد فازی است. در اینجا، وزن یک عـدد فـازی نیـست. اگـر $\tilde{M} = (a,b,\alpha,\beta)$ و $\tilde{N} = (a',b',\alpha',\beta')$ دو عـدد فازی ذوزنقه‌ای باشند، بر طبق روش Bonissone داریم:

$$\tilde{M} + \tilde{N} = (a+a', b+b', \alpha+\alpha', \beta+\beta')$$

به عنوان مثال، اگـر کـاربری شـکل (۵) را در نظـر بگیریم، ایـن کـاربری بـا همـسایه‌هـای خـود براسـاس ماتریس سازگاری عامل آلودگی صوتی، دارای سـطوحی از سازگاری خواهد بود. طبق جدول (۵) برای هر رابطـه یک عدد فازی تعلق می‌گیرد.

HC	HC	MC
N	کاربری موردنظر	MC
MI	HI	HI

شکل ۵. تلفیق سطوح مختلف سازگاری برای یک کاربری نمونه

طبق رابطه (۹) داریم:

$$F_i = \sum_{i=1}^{n} w_j x_i = (۰,۰/۱,۰,۰/۱) \times ۰/۰۴۲ +$$
$$(۰,۰/۱,۰,۰/۱) \times ۰/۰۴۲ + (۰/۲۵,۰/۲۵,۰/۱۵,۰/۱۵) \times$$
$$۰/۰۸۴ + (۰/۲۵,۰/۲۵,۰/۱۵,۰/۱۵) \times ۰/۰۸۴ +$$
$$(۰/۹,۱,۰/۱,۰/۱) \times ۰/۴۲۳ + (۰/۹,۱,۰/۱,۰/۱) \times$$
$$۰/۴۲۳ + (۰/۷۵,۰/۷۵,۰/۱۵,۰/۱۵) \times ۰/۲۸۳ +$$
$$(۰/۵,۰/۵,۰/۲,۰/۲) \times ۰/۱۷۷ =$$
$$(۱/۱۰,۱/۲۷,۰/۱۹,۰/۲۷)$$

عدد فازی به دست آمده، بیانگر میزان سازگاری هر کاربری با توجه به تنها یـک عامـل مـؤثر در سـازگاری است. از آنجا که در ارزیابی سازگاری پـنج عامـل تـأثیر دارند، بنابراین می‌بایست بـرای هـر کـاربری پـنج عـدد فازی برای هر عامل به صورت جداگانه محاسبه گردد.

در بخش «ب» تلفیق، برای هر کـاربری پـنج عـدد فازی مربوط به پـنج عامـل مـؤثر در سـازگاری بـا هـم تلفیق می‌شوند، تـا یـک عـدد فـازی نهـایی بـرای هـر کاربری به دست آید. این عدد بیانگر یک شاخص کلـی برای تعیین میزان سازگاری هر کاربری با توجه به همهٔ عوامل است. برای انجام این تلفیق، طبق رابطـه (۱۰) از میـانگین وزن‌دار اعـداد فـازی حاصـل از نتـایج تلفیـق «الف» استفاده شد.

رابطه (۱۰) $$F_{fin} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} w_i F_i$$

در این فرمول F_{fin} بیـانگر عـدد فـازی نهـایی هـر کاربری است. n=۵ تعداد عوامـل مـؤثر در سـازگاری، و w_i وزن هر عامل است. برای تعیین وزن هر عامل مؤثر در سازگاری (w_i) با توجه به شرایط منطقه می‌بایست از نظرهای کارشناسان برنامه‌ریزی شهری کمک گرفت. در این تحقیق همهٔ عوامـل مـؤثر در سـازگاری بـا وزن یکسان در نظر گرفته شده‌اند.

در نهایت خروجی مدل، شش مجموعهٔ عـدد فـازی است که پنج مجموعه مربـوط بـه پـنج عامـل مـؤثر در سـازگاری (حاصـل از بخـش «الـف» تلفیـق) و یـک

مجموعه نیز مربوط به تلفیق پنج عامل (حاصل از بخش «ب» تلفیق) است.

در مرحله آخر، شش مجموعهٔ اعداد فازی به‌دست آمده از مرحلهٔ قبل، رتبه‌بندی می‌شوند. برای رتبه‌بندی این اعداد از روش مقدار میانگین گسترش استفاده شد. اگر M میانگین و V واریانس باشند، مقایسه دو عدد فازی $\tilde{U}_i$ و $\tilde{U}_j$ به صورت رابطه (۱۱) خواهد بود.

رابطه (۱۱)

$$\begin{cases} Mi > Mj \Rightarrow \tilde{U}_i > \tilde{U}_j \\ Mi = Mj, Vi < Vj \Rightarrow \tilde{U}_i > \tilde{U}_j \\ Mi = Mj, Vi = Vj \Rightarrow \tilde{U}_i = \tilde{U}_j \\ \Rightarrow \tilde{U}_i < \tilde{U}_j \quad \text{در غیر این حالات} \end{cases}$$

فرمول‌های به کار رفته در این مرحله برای اعداد فازی ذوزنقه‌ای با نمایش (a,b,c,d) به کار می‌روند. بنابراین در این مرحله یک بار دیگر اعداد فازی به‌دست آمده در قبل، به این نوع از نمایش تبدیل می‌شوند (رابطه ۱۲). برای اعداد فازی ذوزنقه‌ای داریم:

رابطه (۱۲)

$$M_i = \frac{a_i + b_i + c_i + d_i}{۴}$$

$$V_i = \frac{۱}{n-۱}\sum_{i=۱}^{n}(u_i - M_i)^۲$$

به‌عنوان مثال، برای سه عدد فازی $\tilde{U}_i = (۰/۴, ۰/۵, ۰/۵, ۰/۸)$ و $\tilde{U}_j = (۰/۳, ۰/۵, ۰/۵, ۰/۷)$ و $\tilde{U}_k = (۰/۲, ۰/۵, ۰/۵, ۰/۸)$ داریم:

$M_i = ۰/۵۵$ $\quad V_i = ۰/۰۳$

$M_j = ۰/۵$ $\quad V_j = ۰/۰۲۶$

$M_k = ۰/۵$ $\quad V_k = ۰/۰۶$

بنابراین برطبق قاعدهٔ روش مقدار میانگین گسترش، برای این سه عدد فازی داریم:

$$\tilde{U}_i > \tilde{U}_j > \tilde{U}_k$$

یعنی در واقع کاربری مربوط به عدد $\tilde{U}_i$، دارای سطح ناسازگاری بالاتری از کاربری مربوط به دو عدد دیگر است.

با به‌کارگیری این روش تمامی اعداد فازی مربوط به هر شش مجموعهٔ به‌دست آمده از مرحله قبل، براساس میزان سطح ناسازگاری، رتبه‌بندی می‌شوند. همان‌گونه که پیش‌تر هم اشاره شد، پنج مجموعه از شش مجموعهٔ مذکور بیانگر میزان سطح ناسازگاری با توجه به عوامل مؤثر در سازگاری است و مجموعهٔ آخر نیز بیانگر سطح ناسازگاری حاصل از تلفیق پنج عامل است. بنابراین می‌توان هم کاربری‌های ناسازگار را با توجه به یکی از عوامل، و هم با توجه به ترکیب همهٔ عوامل، مشخص ساخت.

انجام این کار نیاز به تعیین حد آستانه[1] دارد، تا براساس آن در هر مجموعه، اعداد به سطوح مختلف ناسازگاری طبقه‌بندی شوند. انجام طبقه‌بندی بر روی مقدار میانگین اعداد فازی صورت می‌گیرد. بنابراین:

- ناسازگاری زیاد (HI) $\quad ۱ \geq Cs \geq ۰/۸۲$
- نسبتاً ناسازگار (MI) $\quad ۰/۸۲ \geq Cs \geq ۰/۵۴$
- بی‌تفاوت (N) $\quad ۰/۵۴ \geq Cs \geq ۰/۲۶$
- سازگاری متوسط (MC) $\quad ۰/۲۶ \geq Cs \geq ۰/۱۳$
- کاملاً سازگار (HC) $\quad ۰/۱۳ \geq Cs \geq ۰/۰$

در این کلاسه‌بندی، کمیت Cs بیانگر امتیاز ناسازگاری[2] هر کاربری خواهد بود. بدیهی است این کلاسه‌بندی می‌تواند برای نتیجهٔ تلفیق تمام عوامل ـ و یا هر عامل به صورت جداگانه ـ صورت پذیرد.

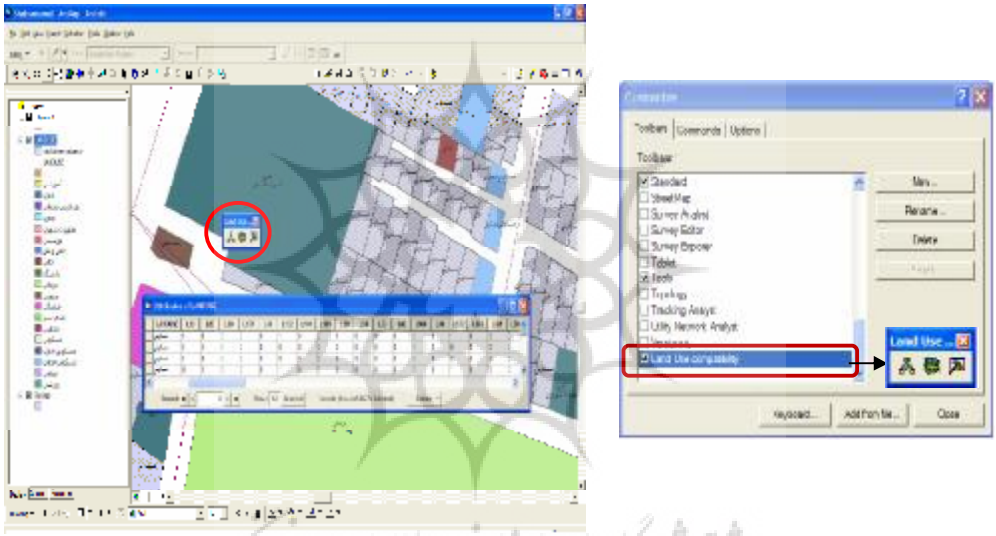
۵- پیاده‌سازی مدل در محیط GIS و ارائه نتایج

در محیط نرم‌افزار ArcGIS ابزاری با نام Land Use Compatibility طراحی شد، به‌طوری که با اجرای آن، روند مورد نیاز مدل پیشنهادی این مقاله، به صورت

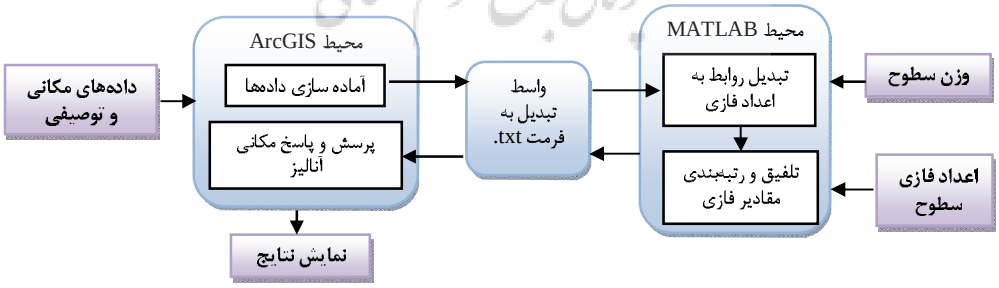
1. Threshold
2. Incompatibility Score

خودکار انجام می‌گیرد. این ابزار در شکل ۶ نشان داده شده است. برنامه MATLAB ver 7.x برنامه‌نویسی برای تلفیق مقادیر فازی را حمایت می‌کند. لذا انجام تلفیق مورد نظر و همچنین رتبه‌بندی مورد نیاز مدل، در محیط این برنامه انجام گرفت. شکل ۷ روند پیاده‌سازی ابزار مورد نیاز مدل را نمایش می‌دهد.

داده‌های مکانی و توصیفی مورد نیاز وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS می‌شوند و آنالیزهای مکانی برای تعیین کاربری‌های ناسازگار در محیط این نرم‌افزار صورت می‌گیرد. محیط برنامه MATLAB نیز نقش تبدیل داده‌های مسئله به مقادیر فازی، و همچنین تلفیق و رتبه‌بندی آنها را برعهده دارد. یعنی می‌توان مدل مذکور را تلفیقی از توابع تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ فازی که در محیط برنامهٔ MATLAB برنامه‌نویسی شده‌اند، با محیط نرم‌افزار ArcGIS نامید، به‌طوری‌که برای انتقال داده‌ها از محیط GIS به محیط تصمیم‌گیری چندشاخصه ـ و برعکس ـ از واسطه‌ای برای تغییر فرمت داده‌ها استفاده شده است.



شکل ۶. ابزار Land Use Compatibility در محیط نرم‌افزار ArcGIS

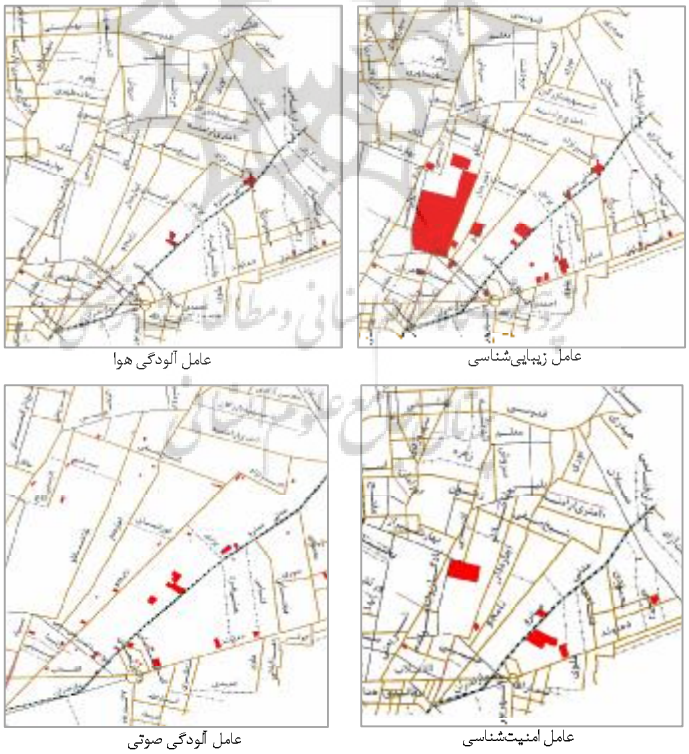


شکل ۷. امتزاج محیط‌های نرم‌افزاری ArcGIS و MATLAB برای ارزیابی سازگاری کاربری‌ها

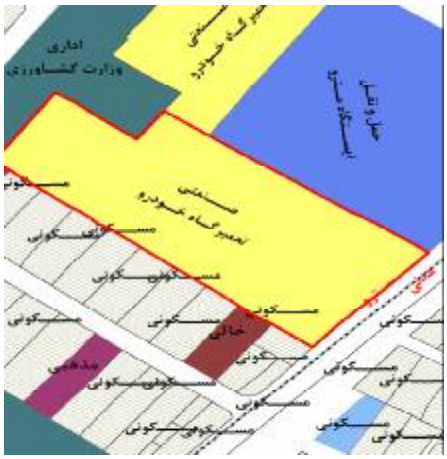
نتـایج نهـایی مـدل، تعیـین سـطح سـازگاری، ناسازگاری هر کاربری در سطح منطقه مطالعه موردی با توجه به یک عامل خاص و یا ترکیب همـهٔ پـنج عامـل مؤثر در ارزیابی سازگاری است. شکل ۸ کاربری‌های بـا ناسازگاری زیـاد (HI) را براسـاس معیارهـای سـازگاری موردنظر ایـن تحقیـق در سـطح نـواحی مـورد مطالعـه نمایش می‌دهد.

به‌منظور بررسی صحت نتایج مدل، استفاده از دانش کارشناسان برنامه‌ریزی شهری مـدنظر قـرار گرفـت. بـا توجه به نتایج مدل، بخش‌هایی از منطقهٔ مورد مطالعـه، که در آن کاربری‌ها از لحاظ سازگاری وضعیت مناسبی نداشتند، انتخاب گردید. به عنوان نمونه، در یک بخـش نحوهٔ چیدمان کاربری‌ها به صورت شکل ۹ است. مطابق شکل در محدودهٔ مورد نظر، کاربری تعمیرگاه خودرو با هشت پلاک کاربری مسکونی، یک پلاک کـاربری اداری و یک پـلاک کـاربری صـنعتی سـبک همـسایه اسـت. براساس ماتریس‌های سازگاری، رابطـهٔ ایـن کـاربری بـا کاربری‌های همسایهٔ آن به صـورت جـدول ۶ اسـت. بـا توجه به سطوح سـازگاری یـاد شـده، امتیـاز سـازگاری اختصاص داده شده به کاربری تعمیرگاه خودرو به‌وسیله مدل ارزیابی سازگاری، برای هر پنج عامل در حد فاصل $۱ \geq Cs \geq ۰/۸۲$ قرار می‌گیرد؛ یعنی آنکه ایـن کـاربری براساس هر پنج عامل، یک کاربری کاملاً ناسازگاری در محدودهٔ مورد نظر محسوب می‌گردد.

به‌منظور بررسی صحت نتایج به‌دست آمده از مـدل ارزیابی سازگاری، همراه با یک کارشـناس برنامـه‌ریـزی شهری، از موقعیت این کاربری بازدیـد میـدانی صـورت گرفت. بعد از بررسی وضعیت محدودهٔ کاربری تعمیرگاه خودرو، نظر کارشناس برنامه‌ریزی شهری بـدین‌صـورت عنوان شد:



شکل ۸. کاربری‌های با ناسازگاری زیاد در سطح منطقهٔ مطالعه موردی، به تفکیک عوامل ناسازگاری



شکل ۹. انتخاب یک کاربری صنعتی سبک با درجهٔ ناسازگاری بالا برای بررسی صحت نتایج مدل

جدول ۶. سطوح سازگاری کاربری تعمیرگاه خودرو با همسایگان آن براساس ماتریس‌های سازگاری

	امنیت	راحتی و آسایش	آلودگی هوا	آلودگی صوتی	زیبایی‌شناسی
مسکونی	کاملاً ناسازگار	کاملاً ناسازگار	کاملاً ناسازگار	کاملاً ناسازگار	کاملاً ناسازگار
اداری	بی‌تفاوت	کاملاً ناسازگار	نسبتاً ناسازگار	نسبتاً ناسازگار	نسبتاً ناسازگار

- این کاربری به دلیل فعالیّت روزانهٔ آن، باعث تولید سروصدای زیادی در محدوده می‌شود و با توجه به همسایگی با تعداد زیادی کاربری مسکونی، کاربری‌ای کاملاً ناسازگار از جنبهٔ آلودگی صوتی به‌شمار می‌آید.
- به دلیل مصرف مواد شیمیایی در این تعمیرگاه و وسعت زیاد ساختمان آن، این کاربری کاملاً با همسایگان آن ناسازگار است.
- مراجعات زیادی که در طول روز به این کاربری صورت می‌گیرد، باعث افزایش ترافیک محدوده می‌شود، و همین خود آسایش و راحتی کاربری‌های همسایه را مختل می‌کند.
- براساس جنبهٔ زیبایی‌شناسی، این کاربری نمی‌تواند همسایهٔ خوبی برای سایر کاربری‌های مجاور محسوب گردد. با مقایسهٔ نتایج حاصل از مدل ارزیابی سازگاری و نظر کارشناسی برنامه‌ریزی شهری در بخش‌های مختلف محدوده مورد مطالعه، مشخص گردید که نتایج مدل با نظر کارشناسی در اغلب موارد مطابقت دارد.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

کسب اطلاعات مفید در خصوص وضعیت جاری کاربری‌ها و نحوهٔ چیدمان مکانی آنها، مبنای برنامه‌ریزی و در نهایت تهیه طرح‌های برنامه‌ریزی توسعهٔ کاربری اراضی شهری است. در این مقاله ارزیابی مکانی کاربری‌ها با تکیه بر عامل سازگاری بین کاربری‌ها صورت گرفت. با مطالعه مشخصات مکانی کاربری‌های شهری، در نهایت پنج عامل ـ یعنی آلودگی صوتی، آلودگی هوا، آسایش و راحتی، امنیت و زیبایی‌شناسی ـ به عنوان عوامل ارزیابی سازگاری مورد توجه قرار گرفتند. ارزیابی سازگاری در سطح ریزدانه و سطح واحد همسایگی صورت پذیرفت. برای ارزیابی سازگاری بین کاربری‌های شهری، تکنیک ماتریس سازگاری انتخاب شد و برای هر عامل مؤثر در سازگاری

یک ماتریس جداگانه براساس دانش کارشناسان برنامه‌ریزی شهری، تدوین گردید. برای دستیابی به توافق گروهی در به‌کارگیری نظرهای کارشناسان مختلف برنامه‌ریزی شهری، تکنیک دلفی استفاده شد. پنج سطح سازگاری بیان شده برای تعیین میزان سازگاری میان هر جفت کاربری، به عنوان مقداردهندهٔ زبانی در نظر گرفته شدند. به‌منظور کمّی‌سازیِ سطوح سازگاری از مفاهیم پایهٔ تئوری مجموعه‌های فازی و روش تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ فازی کمک گرفته شد. از میان روش‌های مختلف نیز روش وزن‌دهی جمعی سادهٔ فازی انتخاب شد. برای رتبه‌بندی مقادیر فازی، روش مبتنی بر میانگین گسترش به کار گرفته شد. بدین ترتیب با استفاده از مفاهیم و ابزارهای پیش‌گفته، یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر GIS تکوین گردید و توسعه داده شد تا بتوان براساس عوامل مختلف، کاربری‌های ناسازگار در سطح شهر را استخراج کرد.

ابزارهای مورد نیاز مدل پیشنهادی به کمک برنامه‌نویسی در محیط MATLAB و ArcGIS ایجاد گردیدند. درواقع در این مدل، سامانهٔ اطلاعات مکانی (GIS) به عنوان مولد سامانهٔ پشتیبان برنامه‌ریزی مکانی، نقش ویرایش و ذخیره‌سازی داده‌ها، اجرای مدل تصمیم‌گیری چندشاخصهٔ فازی و نمایش نتایج را برعهده دارد. مدل توسعه داده شده، برای مجموعه‌ای واقعی از کاربری‌های مستقر در بخشی از منطقه هفت شهرداری تهران آزمایش گردید. نتایج به‌دست آمده نشان از توانایی آن در شناسایی سطوح مختلف سازگاری فیزیکی با توجه به عوامل مختلف دارد. تفسیر نتایج مدل می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب برای مطالعهٔ وضع موجود و تصمیم‌گیری در مورد توسعهٔ آتی شهر در اختیار مدیران شهری قرار گیرد. مدل ارزیابی سازگاریِ شکل‌گرفته و توسعه داده‌شده، دارای مزایا و نقاط قوتی بدین صورت است:

- امکان شاخص‌گذاری میزان سازگاری انواع کاربری‌های تفصیلی در وضع موجود در مناطق ساخته‌شدهٔ شهری؛
- قابلیت کلاسه‌بندی کاربری‌های ناسازگار براساس عوامل مختلفی چون آلودگی صوتی، آلودگی هوا، امنیت، راحتی و آسایش و زیبایی‌شناسی و تفکیک این عوامل؛
- یکپارچه‌سازی قابلیت‌های GIS و روش تصمیم‌گیری چندمعیاری؛ و
- استفاده از مقادیر و تکنیک‌های مبتنی بر تئوری فازی، به‌منظور مدل‌سازی و توسعهٔ مدل.

در خاتمه لازم به ذکر است که برنامه‌ریزی، فرایندی است پیوسته، که فعالیت‌ها، دیدگاه‌ها و توقعات برنامه‌ریزان، مدیران، سرمایه‌گذاران ـ و البته شهروندان ـ را دربر می‌گیرد. درک انتظارات و فعالیت هر یک از آنها و استفادهٔ قدرتمند از ابزارها و قابلیت‌های سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی و GIS، نیازمند ارائه مدل‌هایی است که نقش هر یک از این عوامل را مورد توجه قرار دهد. بررسی روش‌های تصمیم‌گیری گروهی و نحوهٔ مشارکت شهروندان در حل مسائل شهری می‌تواند گامی مهم در جهت تسهیل امر پیش‌گفته محسوب گردد. مدل ارزیابی سازگاری کاربری‌های شهری می‌تواند برای استخراج کاربری‌های ناسازگار در سطح شهر و تعیین میزان مقبولیت آنها مورد استفاده قرار گیرد. لیکن این مدل، در خصوص کاربری بهینه برای زمینی که دارای کاربری نامناسب است، پیشنهاد مشخصی را مطرح نمی‌سازد. توسعهٔ مدلی که کاربری‌های مختلف مناسب برای یک مکان را مشخص سازد و در قالب نوعی اولویت‌بندی ارائه دهد، از موضوعاتی است که مورد توجه نویسندگان این مقاله به‌شمار می‌آید.

۷- منابع

Atiqur, R., 2008, **A GIS based DRASTIC Model for Assessing Groundwater Vulnerability in Shallow Aquifer in Aligarh**, India, Applied Geography, Vol. 28(1), January 2008, pp: 32-53.

Bahraini, H., 1998, **Urban Planning Procedure**, Tehran University Press, Iran (in Persian language).

Bergmann Associates, 2006, **Proactive Noise Avoidance and Mitigation Measures**, Department of Transportation, Office of Research, South Dakota, Report No. SD2005-06-X

Bonissone P.P., 1982, **A Fuzzy Sets Based Linguistic Approach: Theory and Applications**, Approximate Reasoning in Decision Analysis, pp: 329–339.

Boroushaki, S. and Malczewsk, J., (in press), **Using the Fuzzy Majority Approach for GIS-based Multicriteria Group Decision-making**, Computers & Geosciences, doi:10.1016/j.cageo.2009.05.011

Cappio C., Stanzione, M. and Letunic, N., 2005, **Noise Element City of Oakland General Plan**, Community and Economic Development Agency, Planning and Zoning Division, June 2005. http://www.oaklandnet.com/government//NE/Noise%20Element.pdf

Chen S.J. and Hwang C.L., 1989, **Fuzzy Multiple Attribute Decision Making**, Springer.

Chen, S.M and Chen, J.H., 2006, **Fuzzy Risk Analysis based on Ranking Generalized Fuzzy Numbers with Different Heights and Different Spreads**, Expert Systems with Applications, Vol. 36(3), Part 2, pp: 6833-6842.

Chen, Z., 2005, **Consensus in Group Decision Making under Linguistic Assessment**, PhD thesis, College of Engineering, Kansas State University, Manhattan, Kansas.

Chen, Z. and Ben-Arieh, D., 2006, **On the Fusion of Multi-granularity Linguistic label Sets in Group Decision Making**, Computers & Industrial Engineering, Vol. 51(3), pp: 526-541

Coffman Associates, 2003, **Revision to Noise Compatibility Program for Burbank-Glendale-Pasadena Airport**, Burbank-Glendale-Pasadena airport authority, October 2003. http://www.burbankairport.com/pdf/Burbank-Glendale-Pasadena%20Airport%20NCPRevision.pdf

Cohn, L.F., Harris, R.A. and Shu, N., 2005, **Highway Noise and Land Use Compatibility**, Journal of Urban Planning and Development, Vol. 131(3), pp: 125-129.

Ghodsipour, H., 2007, **Multicriteria Decision Making: Multi-objective Planning (weighting methods)**, Amirkabir University press, Tehran.

Grand Forks Regional Airport Authority, 2006, **Land Use Compatibility Plan for Grand Forks International Airport**, July 2006.

Lee E.S. and Li R.L., 1988, **Comparison of Fuzzy Numbers Based on the Probability Measure of Fuzzy Events**, Computer & Mathematics with Applications, Vol. 15(10), pp: 887–896.

Linstone, H.A. and Turoff, M. (Eds.), 2002, **The Delphi Method: Techniques and Applications**, New Jersey's Science & Technology University.

Mohammad Hosseinian, Sh., Taleai, M. and Mesgari, M.S., 2008, **Developing a Spatial Decision-making Model to Evaluate**

Compatibility of Urban Land Uses, 4th GIS Conference along with ISPRS Workshop on Geoinformation and Decision Support Systems, Iran.

Nasiri, F., 2007, **Development of Fuzzy Multiple-Attribute Decision Aid Methodologhy for Energy-Environmental Policy Analysis and Assessment**, PhD thesis, University of Regina.

Okoli, C. and Pawlowski, S.D., 2004, **The Delphi Method as a Research Tool: An Example, Design Considerations and Applications, Information Management**, Vol.42(1), pp: 15–29.

Parhizkar, A. and Gilandeh, A.G. (Translators), 2006, **GIS and Multicriteria Decision Analysis**, SAMT Press, Tehran (in Persian language).

Parhizkar, A. and Shokohi, H., 1997, **Land Suitability Analysis for Urban Land Use Services**, Modares Journal, Vol. 4, Tarbiat Modares University, Tehran (in Persian language).

Pour Mohammadi, M.R. (2003). Urban land use planning, SAMT press, Iran (in Persian language).

Saedniya, A., 2003, **Municipalities' Green Book: Urban Land Use**, Iranian Municipalities Organization (IMO) (in Persian language).

Shiftan, Y., Kaplan, S., et al., 2003, **Scenario Building as a Tool for Planning a Sustainable Transportation System**, Transp. Res. Part D:Transport Environ. Vol. 8(5), pp: 323–342.

Smolíková R. and Wachowiak M.P., 2002, **Aggregation Operators for Selection Problems**, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 131 (1), pp: 23-34.

Taleai, M., 2007, **GIS-based Planning Support System for Urban Land Use Externalities Evaluation**, PhD. thesis, K.N. Toosi University of Technology (in Persian language).

Taleai, M., Sharifi, A., Sliuzas R. and Mesgari, M., 2007, **Evaluating the Compatibility of multi-Functional and Intensive Urban Land Uses**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 9 (4), pp: 375-391.

Xu, Z.S. and Chen, J., 2007, **An Approach to Group Decision Making based on Interval-valued Intuitionistic Judgment Matrices**, System Engineer-Theory & Practice, Vol. 27(4), pp: 126-133.

Xu, Z.S. and Yager, R.R., 2006, **Some Geometric Aggregation Operators Based on Intuitionistic Fuzzy Sets**, International Journal of General System, Vol. 35(4), pp: 417-433.

Zadeh, L.A., 1965, **Fuzzy Sets**, Information and Control, Vol. 8 (1965).

Zhu Q. and Lee, E.S., 1992, **Comparison and Ranking of Fuzzy Numbers**, In: Kacprzyk J.and Fedrizi M. (Editors), Fuzzy Regression, Omnitech Press and Physica-Verlag, pp: 21-44.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی