سنجش از دور و GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال چهارم، شماره اول، بهار ۱۳۹۱
Vol.4, No.1, Spring 2012

۳۵-۵۲

ارزیابی تناسب اراضی شهری به روش Fuzzy AHP

محمد طالعی[۱]*، عباس علی‌محمدی[۲]، اسماعیل عدیلی[۳]

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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۶/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۲/۴

چکیده

ارزیابی تناسب اراضی شهری، مستلزم توجه ویژه به ارتباط و وابستگی کاربری‌ها و تأثیر عملکرد هر کاربری بر دیگر کاربری‌هاست. روش‌های مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی و تصمیم‌سازی چندمعیاره، ابزارهای سودمندی برای این منظور به شمار می‌آیند. از آنجا که پرداختن به موضوع مذکور نیازمند مشارکت افراد با دیدگاه‌ها و سلایق گوناگون است، ارزیابی تناسب اراضی شهری نیز دارای ماهیت تصمیم‌سازی گروهی است. در پژوهش حاضر با تلفیق قابلیت‌های GIS و تکنیک‌های تصمیم‌سازی گروهی چندمعیارهٔ فازی، روشی به منظور ارزیابی تناسب اراضی شهری برای کاربری‌های خدماتی مورد نیاز شهروندان ارائه شده است. در روش به کار گرفته شده، فرایند کلی ارزیابی تناسب کاربری زمین به روش Fuzzy AHP شامل انتخاب معیارهای مؤثر، تعیین میزان اهمیت و وزن هر معیار، تهیه و تولید نقشه‌های معیار در محیط GIS و در نهایت تلفیق نقشه‌های معیار و محاسبه مقدار تناسب هر قطعه زمین برای کاربری تعیین‌شده، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتایج مدل در محدوده مطالعه موردی در منطقه ۶ شهرداری اصفهان، مورد سنجش قرار گرفته است. نتایج این مدل‌سازی، توانایی کافی روش Fuzzy AHP و GIS را در ارزیابی تناسب زمین شهری با دیدگاه تصمیم‌سازی گروهی نشان می‌دهد. مقایسه نتایج حاصل از مدل Fuzzy AHP با نتایج روش مرسوم مبتنی بر جمع‌بندی نظرهای کارشناسی در ۱۵ قطعه زمین منتخب برای تخصیص چهار کاربری (کتابخانه، درمانگاه، ورزشگاه و مدرسه راهنمایی)، نشان می‌دهد که در قطعات به اولویت تخصیص اول تا سوم برای هر چهار کاربری مورد نظر تحقیق، تطابق کامل وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، تصمیم‌سازی چندمعیاری مکانی، تصمیم‌سازی گروهی، ارزیابی تناسب زمین شهری، GIS.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده نقشه‌برداری، گروه GIS و نقشه‌برداری
Email: Taleai@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

فضاهای خدمات شهری، ناهماهنگ با رشد شتابان جمعیت و توسعه فیزیکی شهرها شکل گرفته‌اند و رشد جمعیت از روند توسعه سطوح فضاهای خدماتی پیشی گرفته است. چنین وضعیت به گسیختگی ساختارهای فضایی و کالبدی اکثر شهرهای کشور و کمبود خدمات و تسهیلات مورد نیاز انجامیده است. به همین دلیل فراهم آوردن حداقل خدمات و تسهیلات در نواحی ساخته‌شدهٔ شهری، از مهم‌ترین مسائل پیشِ روی شهرداری‌ها قلمداد می‌شود. در این خصوص، انتخاب مناسب‌ترین کاربری برای تخصیص به موقعیت‌های مکانی موجود با توجه به معیارهای مختلف، از عمده‌ترین تصمیمات برنامه‌ریزان شهری به شمار می‌آید.

در نواحی ساخته‌شدهٔ شهری کاربری‌های متنوعی شکل گرفته‌اند که تأثیرات متفاوت و معمولاً پیچیده‌ای بر عملکرد دیگر خدمات و کاربری‌ها دارند. در این نواحی، کاربری‌های مورد نیاز باید به گونه‌ای به قطعه زمین‌های انتخاب‌شده تخصیص یابند که علاوه بر افزایش کارایی قطعه زمین، تأثیرات منفی کمتری نیز بر عملکرد خدمات و کاربری‌های موجود در ناحیه داشته باشند. در مجموع می‌توان بیان داشت که ارزیابی تناسب اراضی و انتخاب موقعیت مناسب برای یک کاربری در نواحی ساخته‌شدهٔ شهری، پیچیده‌تر از انجام این فعالیت در نواحی پیرامونی شهر خواهد بود.

ارزیابی تناسب کاربری زمین[1]، فرایند تعیین قابلیت یک قطعه زمین مشخص برای تخصیص به کاربری معینی است (Steiner, 1991) و می‌تواند به برنامه‌ریزان شهری در انتخاب موقعیت‌های مناسب برای کاربری‌های مختلف کمک کند. در بیست سال گذشته، تکنیک‌های تعیین تناسب زمین مبتنی بر استفاده از سامانه اطلاعات مکانی[2]، به طور فزاینده‌ای در برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری و منطقه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پیشرفت‌های دهه اخیر در فناوری اطلاعات مکانی، به ارائه روش‌های جدید برای ارزیابی تناسب کاربری برمبنای GIS منجر شده (Openshaw & Abrahart, 2000).

فرایند ارزیابی تناسب اراضی شهری، در واقع نوعی فرایند تصمیم‌سازی چندمعیاره[3] است (Ceballos-Silva & Lopez-Blanco, 2003). از آنجا که در فرایند مذکور، به کارگیری عقاید و نظریات گروه‌های ذی‌نفع مختلف که برحسب فعالیت و عملکردشان از جنبه‌های مختلفی به موضوع می‌پردازند، ضروری می‌نماید، لذا ارزیابی تناسب اراضی شهری، روش‌های تصمیم‌سازی گروهی را نیز در بر می‌گیرد.

دای و دیگران (۲۰۰۰) ارزیابی محیطی‌ای را برمبنای GIS برای برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری با تلفیق تحلیل چندمعیاری انجام داده و زاکا و دیگران (۲۰۰۸) نیز به تشریح فرایند مکان‌یابی پاک با استفاده از تکنیک ارزیابی چندمعیاره مکانی پرداخته‌اند. زنجیرانی فراهانی (۲۰۱۰) روش‌های مختلف مکان‌یابی را با تأکید بر روش‌های چندهدفه و چندمعیاره بررسی کرده‌اند. اونات و دیگران (۲۰۱۰) به مسئله مکان‌یابی مراکز خرید شهری در استانبول ترکیه با استفاده از تکنیک ارزیابی چندمعیاره و مدل‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و TOPSIS پرداخته‌اند. شاد (۲۰۰۴) نیز با به‌کارگیری نظریات کارشناسی و به‌کارگیری روش‌های مختلف تلفیق لایه‌ها ـ از جمله هم‌پوشانی شاخص، ضرب، جمع و گامای فازی ـ به مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی پرداخت. قاضی عسگر (۲۰۰۴) و کریمی (۲۰۰۷) با استفاده از روش‌های هم‌پوشانی شاخص و فازی در تلفیق لایه‌ها و روش وزن‌دهی AHP، به مکان‌یابی پارکینگ (به ترتیب) در شهرهای اصفهان و شیراز پرداخته‌اند.

در اکثر تحقیقات فوق، فرض اولیه وجود توافق میان کارشناسان در تعیین معیارها و ارزش معیارها در

1. Land Use Suitability Evaluation (LUSE)
2. Geospatial Information System (GIS)
3. Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

مسئله ارزیابی تناسب اراضی برای تخصیص کاربری بوده و در نهایت ارزیابی تناسب اراضی به صورت مسئله تصمیم‌گیری فردی، مدل‌سازی و حل شده است. در این تحقیقات کمتر به حل مسئله به صورت تصمیم‌سازی گروهی و موضوع عدم توافق میان نظر کارشناسان مختلفِ دخیل در فرایند تصمیم‌سازی، پرداخته شده است. اما تحقیق حاضر با به‌کارگیری هم‌زمان قابلیت‌های GIS و تکنیک‌های تصمیم‌سازی گروهی چندمعیاره، روشی برای ارزیابی تناسب اراضی شهری، ارائه شده است. به‌منظور تلفیق عقاید و نظریات کارشناسان در خصوص وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی تناسب کاربری‌ها، با فرض در نظر گرفتن تابع محدب بودن برای نظر کارشناسان، از روش Fuzzy AHP[1] استفاده شده است. در بخش‌های بعدی مقاله، به نحوه مدل‌سازی و چگونگی اجرا و نتایج حاصل از آن، پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تصمیم‌سازی چندمعیاره مکانی[2]

مسائل تصمیم‌سازی چندمعیاره، نوعاً شامل مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که برمبنای معیارهای مختلف و گاه متضاد ارزیابی می‌شوند. روش تصمیم‌سازی چندمعیاره، توانایی بالایی برای تلفیق اولویت‌ها و دانش چند گروه مختلف دارد (Laskar, 2003). تصمیم‌سازی چندمعیارهٔ مکانی به سبب در بر داشتن جزء مکان، متفاوت از تکنیک‌های MCDM مرسوم است، چرا که نتایج تحلیل افزون بر نظر تصمیم‌گیران، به پراکندگی جغرافیایی گزینه‌ها و معیارهای ارزیابی چندمعیاره نیز بستگی دارد (Parkash, 2003).

از آنجا که GIS سازوکار انعطاف‌پذیری برای دخالت دادن اولویت تصمیم‌گیران در فرایند تصمیم‌سازی ارائه نمی‌کند، نظر بر این است که ترکیب قابلیت‌های GIS با MCDM امکان پشتیبانی از تصمیم را در این فرایند فراهم می‌کند (Malczewski, 2004). تحقیقات زیادی برای اثبات این نظر انجام شده است که از جمله می‌توان به چاخار و مارتل (۲۰۰۳)، لاریبی (۲۰۰۱) و جوئرین و همکاران (۲۰۰۰) اشاره کرد.

۲-۲- تصمیم‌سازی گروهی[3]

حل بسیاری از مسائل پیچیده مکانی، مستلزم مشارکت افراد با دیدگاه‌ها و سلایق گوناگون است، از این رو تصمیم‌سازی مکانی ـ گروهی در کانون توجه قرار گرفته است. اگر چه تمرکز روش‌های تصمیم‌سازی چندمعیاره مکانی، تاکنون بر تکنیک‌های تصمیم‌گیری انفرادی بوده، اما اخیراً تلاش‌های فراوانی در خصوص شرح و بسط روش‌های تصمیم‌سازی گروهی صورت گرفته است (Kyem, 2004; Jankowski & Nyerges, 2001).

در شرایط تصمیم‌سازی گروهی معمولاً تعارض بین منافع گروه‌های ذی‌نفع، به وجود می‌آید. تصمیم‌سازی چندمعیاره مکانی ابزاری است که می‌تواند عقاید فردی را برای ایجاد اولویت گروهی به گونه‌ای که یک گزینه مورد اجماع در آن پدید آید، تلفیق کند. تصمیم‌سازی گروهی دربرگیرنده فعالیت‌هایی نظیر شناخت و ساختاربندی مسئله، تعیین معیارهای ارزیابی و / یا گزینه‌ها، پالایش اولویت‌های فردی و گروهی، تلفیق عقاید فردی و در نهایت مرتب‌سازی گزینه‌هاست. (Jankowski & Nyerges, 2001). بر این اساس، گزینهٔ مورد اتفاق مشارکت‌کنندگان در فرایند تصمیم‌سازی، انتخاب می‌شود.

۲-۳- تصمیم‌سازی فازی

در اکثر فرایندهای تصمیم‌سازی دنیای واقعی، اهداف، محدودیت‌ها و نتایج به‌طور دقیق مشخص نیستند. در چنین وضعیتی نظریه مجموعه فازی می‌تواند راه‌گشا باشد. نظریه مجموعه فازی، «بدنه مفاهیم و تکنیک‌هایی است که چارچوبی نظام‌مند را برای

1. Fuzzy Analytical Hierarchy Process
2. Spatial Multi-Criteria Decision Making (SMCDM)
3. Group Decision Making

مواجهه با ابهام و عدم دقت ذاتی در فرایند استفاده از افکار و دانش بشری فراهم می‌آورند (Gupta, 1977). پژوهشگران زیادی منطق فازی را برای نشان دادن عدم قطعیت داده‌ها به‌کار برده‌اند، اما عدم قطعیت مرتبط با دانش کارشناسان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برای جزئیات بیشتر در این خصوص و همچنین نظریه مجموعه فازی، مراجع متعددی در دسترس است که از جمله می‌توان به اینها اشاره کرد: چان و کومار (۲۰۰۷)، چن (۲۰۰۵)، و صفاری و همکاران (۲۰۱۱).

مسائلی از قبیل ارزیابی تناسب اراضی که عقاید و نظریات افراد یا گروه‌های مختلف نیز در آن مطرح است، از طریق تئوری مجموعه‌های فازی به طور مناسب‌تری مورد تحلیل قرار می‌گیرد. از جمله تحقیقات در این زمینه می‌توان به پژوهش هال و وانگ (۱۹۹۲) با نام «مقایسه روش‌های طبقه‌بندی بولین و فازی در ارزیابی تناسب کاربری زمین با استفاده از GIS»، مطالعهٔ بانتایان (۱۹۹۶) با نام «تلفیق سیستم‌های پشتیبان تصمیم مشارکتی با تکنیک‌های فازی» و پژوهش بانتایان و بیشاپ (۱۹۹۳) با نام «نقش GIS در تلفیق با تکنیک‌های فازی و مدل‌سازی در ارزیابی تناسب اراضی» اشاره کرد.

۲-۴- ارزیابی تناسب اراضی شهری به کمک GIS

تناسب کاربری زمین به معیارهای متعددی بستگی دارد. برخی از معیارهای ارزیابی برای یک مسئله تصمیم‌سازی مشخص را ممکن است بتوان از طریق بررسی پژوهش‌های مرتبط، مطالعات تحلیلی و پیمایش عقاید و آرای افراد به دست آورد. هر معیار به صورت یک لایه نقشه در پایگاه داده مبتنی بر GIS نشان داده می‌شود. لایه‌های معرف معیارهای ارزیابی، را نقشه‌های معیار[1] می‌نامند.

در ایران در سال‌های اخیر در زمینه کاربرد GIS و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در فرایند برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری ـ به‌ویژه در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی فعال در این زمینه ـ فعالیت‌هایی صورت گرفته است که در بخش مقدمه به برخی از آنها اشاره شد. در این تحقیقات، روش‌های مرسوم مدل‌سازی از طریق هم‌پوشانی لایه‌ها به صورت متداول در تجزیه و تحلیل ارزیابی تناسب کاربری زمین با استفاده از قابلیت‌های GIS به کار گرفته می‌شود. محدودیت اصلی روش‌های مذکور نداشتن سازوکار مناسب برای در نظر گرفتن اولویت‌ها و قضاوت‌های تصمیم‌سازان در شیوه‌های مبتنی بر GIS است. تلفیق GIS و MCDM ضمن رفع محدودیت گفته شده، می‌تواند به برنامه‌ریزان شهری برای اجتناب و یا کاهش تناقض (تضاد) میان افراد مشارکت‌کننده در فرایند تصمیم‌سازی و در نهایت افزایش عمومی برنامه‌ریزی زمین کمک کنند.

۲-۵- تلفیق نظرها در تصمیم‌سازی گروهی به روش Fuzzy-AHP

از مشکلات رایج تصمیم‌سازی گروهی چندمعیاره، تفاوت اهمیت معیارها نزد تصمیم‌سازان و لزوم تلفیق عقاید و نظر آنان در برآورد وزن معیارهاست. روش‌های وزن‌دهی مختلفی برای ارزیابی اهمیت معیارها وجود دارد، که از میان آنها فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که ساعتی آن را در اوایل دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد کرد، از رایج‌ترین و قدرتمندترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به شمار می‌آید ـ که استفاده‌ای فزاینده یافته است. در AHP اولویت (تقدم) به‌وسیله برداری از وزن‌ها که از مقیاس اهمیت نسبی متغیر از ۱ تا ۹ پیروی می‌کند، بیان می‌شود (Saaty, 1980). به‌کارگیری روش AHP در مطالعات ارزیابی تناسب زمین تداول و رواج یافته است (Dai, 2003; Chen, 2005; Nisar Ahamed, 2000; Wu, 2000). AHP ضمن اینکه فضای مناسبی را برای حل مسائل تصمیم‌سازی گروهی فراهم می‌آورد، می‌تواند به عنوان ابزاری برای رسیدن به اتفاق آرا[1] نیز مورد استفاده قرار گیرد (Dyer and Forman, 1991).

از آنجا که افراد مختلف درگیر در فرایند

1. Consensus building tool

تصمیم‌سازی ممکن است مقادیر وزن متفاوتی را برای معیارهای ارزیابی در نظر داشته باشند ـ که به آشفتگی در فرایند مذکور می‌انجامد (Hung, 2004). برخی تحقیقات بر به‌کارگیری مفهوم منطق فازی در AHP برای تطابق بیشتر با واقعیت تأکید دارند (Kahraman et al., 2003).

در روش AHP مرسوم، عدم قطعیت و ریسک در بررسی کارایی گزینه‌های تصمیم‌گیری مورد توجه قرار نمی‌گیرد، چرا که در فرض بر این است که اهمیت نسبی معیارهای مؤثر در کارایی گزینه‌ها قطعی است. این در حالی است که در فرایند تصمیم‌سازی، اولویت و انتخاب تصمیم‌سازان غیرعینی[1] است و روابط غیرقطعی و نادقیقی را میان معیارها و گزینه‌ها شکل می‌دهد و در نهایت بر نتایج ارزیابی تأثیر می‌گذارد (Cheng, 1996; Chen, 2005; Chan 2007). برای حل این مسئله، چانگ (۱۹۹۶) با فرض محدب بودن تابع نظرهای کارشناسی، روشی مبتنی بر اعداد فازی مثلثی را برای اجرای Fuzzy AHP ابداع کرد، که در آن تصمیم‌گیری گروهی برمبنای AHP با اعداد فازی مثلثی به منظور بهبود روش AHP با در نظر گرفتن عدم قطعیت و ریسک نظر کارشناسان صورت می‌گیرد. در روش مذکور، در این روش، هر کارشناس (تصمیم‌گیر) به صورت انفرادی اقدام به انجام مقایسه زوجی و تشکیل ماتریس AHP می‌کند (رابطه ۱).

رابطه (۱)

$$D_K = \begin{array}{c} \\ C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_m \end{array} \begin{bmatrix} b_{11k} & b_{12k} & . & . & . & b_{1mk} \\ b_{21k} & b_{22k} & . & . & . & b_{2mk} \\ \cdot & \cdot & . & . & . & \cdot \\ \cdot & \cdot & . & . & . & \cdot \\ \cdot & \cdot & . & . & . & \cdot \\ b_{m1k} & b_{m2k} & . & . & . & b_{mmk} \end{bmatrix}$$

$$b_{ijk} = \begin{cases} b_{ijk}^{-1} & \text{if } i \neq j \\ 1 & \text{if } i = j \end{cases} \quad \begin{array}{l} i = 1,2,.....,m \\ j = 1,2,.....,m \\ k = 1,2,.....,p \end{array}$$

که در آن امتیاز b_{ijk} بیانگر اهمیت نسبی بین هر معیار است که تصمیم‌ساز آن را براساس مقیاس‌های ۱ تا ۹ در نظر می‌گیرد؛ و i و j نیز معرف زوج معیار مورد مقایسه و k معرف تصمیم‌ساز است.

در مرحله بعد به‌منظور تلفیق عقاید چندین تصمیم‌ساز، ماتریس مقایسه زوجی جامع[2] (D) با تلفیق امتیازهای b_{ijk} همهٔ تصمیم‌سازان و با استفاده از رابطه (۲) ساخته می‌شود (Hung, 2004).

$$\begin{aligned} L_{ij} &= \min(b_{ijk}) \quad i = 1,2,....m \\ M_{ij} &= \frac{\sum_{k=1}^{p} b_{ijk}}{k} \quad j = 1,2,....., m \\ U_{ij} &= \max\left(b_{ijk}\right) \quad k = 1,2,.....p \\ \tilde{b}_{ij} &= (L_{ij}, M_{ij}, U_{ij}) \end{aligned}$$

رابطه (۲)

که در آن امتیاز نهایی b_{ij} اهمیت نسبی هر معیار را با استفاده از اعداد فازی مثلثی نشان می‌دهد.

رابطه (۳)

$$D = \begin{array}{c} \\ C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_m \end{array} \begin{bmatrix} \tilde{b}_{11} & \tilde{b}_{12} & . & . & . & \tilde{b}_{1m} \\ \tilde{b}_{21} & \tilde{b}_{22} & . & . & . & \tilde{b}_{2m} \\ \cdot & \cdot & . & . & . & \cdot \\ \cdot & \cdot & . & . & . & \cdot \\ \cdot & \cdot & . & . & . & \cdot \\ \tilde{b}_{m1} & \tilde{b}_{m2} & . & . & . & \tilde{b}_{mm} \end{bmatrix}$$

بردار وزن $(\tilde{w}_i)$ متناظر با هر معیار با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

رابطه (۴)

$$\tilde{w}_i = \frac{\sum_{i=1}^{m} \tilde{b}_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} \tilde{b}_{ij}} \quad \begin{array}{l} i = 1,2,....m \\ j = 1,2,....., m \end{array}$$

وزن هر معیار $(\tilde{w}_i)$ به طور متوالی و به کمک رابطه (۴) تعیین می‌شود و وزن معیارهای بردار وزن فازی (w) را تشکیل می‌دهند.

رابطه (۵)

$$\tilde{w}_i = \left(w_{iL}, w_{iM}, w_{iU}\right) \quad w = \left(\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, ... \tilde{w}_m\right)$$

پس از برآورد بردارهای وزن فازی، در گام بعد هدف رسیدن به نتایج نهایی به فرم Crisp است. لذا

1. Subjective
2. Comprehensive Pairwise Comparison Matrix

بردار وزن فازی با بـه‌کـارگیری مفهـوم $\alpha-cut$ طبـق رابطه ۶ به بازه‌ای وزنی تبدیل می‌شود.

$$w_{il}^{\alpha} = w_{iL} + \alpha\left(w_{iM} - w_{iL}\right)$$

$$w_{ir}^{\alpha} = w_{iU} - \alpha\left(w_{iU} - w_{iM}\right)$$ رابطه (۶)

که در آن w_{il}^{α} و w_{ir}^{α} به ترتیب نقاط چپ و راسـت بـازه را بعـد از بـه‌کـارگیری مفهـوم $\alpha-cut$ تعیـین می‌کنند و دامنه تغییر α بـین ۰ و ۱ اسـت. مقـدار α بزرگ‌تر بیان کننده میزان آگاهی کافی تـصمیم سـازان در مورد موضوع تصمیم سازی و یا به عبارت دیگر عدم قطعیت پایین‌تر است. فرایند تصمیم سـازی معمـولاً بـا ریسک همراه است. برای محاسبه وزن نهـایی، شـاخص ریـسک طبـق رابطـه (۷) در بـازه وزنـی حاصـل از تأثیر $\alpha-cut$ اعمال می‌شـود، کـه در واقـع بـه عنـوان غیرفازی‌ساز، عمل می‌کند.

$$w_{ij\beta}^{\alpha} = \beta w_{ijl}^{\alpha} + (1-\beta) w_{ijr}^{\alpha}$$ رابطه (۷)

در پژوهش حاضر برای تلفیق عقاید تـصمیم‌سـازان در تصمیم‌سازی گروهی با ملاحظه عدم قطعیت عقاید، از روش تلفیق Fuzzy AHP استفاده می‌شود.

۳- پیاده‌سازی و نتایج

فرایند کل ارزیابی تناسب کاربری زمین این موارد را در بر می‌گیـرد: انتخـاب معیارهـای مـؤثر، تعیـین میـزان اهمیت و وزن هر معیار، تهیه و تولید نقشه‌هـای معیـار در محیط GIS و در نهایـت تلفیـق نقـشه‌هـای و تهیـه نقشه تناسب. فرایند ارزیابی تناسب زمین می‌بایست بـه گونه‌ای انجام شود که در مرحله تخصیص کاربری‌هـای مورد نیاز به زمین‌های مستعد، کاربری منتخب علاوه بر کارایی بالا، تأثیرات منفی کمتری نیز بـر روی عملکـرد دیگر کاربری‌های موجود در منطقه داشته باشند.

در این بخـش بـا بررسـی طـرح تفـصیلی محـدوده تحقیق، گردآوری اطلاعات مکانی و توصیفی، انتخـاب و بررسی ویژگی‌هـای هـر یـک از کـاربری‌هـای منتخـب تحقیق و بررسی خصوصیات هر یک از قطعه زمین‌های منتخـب، معیارهـای ارزیـابی تناسـب هـر یـک از کـاربری‌هـای منتخـب تعیـین مـی‌گـردد. سـپس بـا به‌کارگیری تکنیک‌هـای مختلـف، مـدل‌سـازی اراضـی تناسب ارزیابی انجام می‌شود. لازم به ذکر اسـت کـه در انجام ایـن فعالیـت‌هـا، از نظـر تعـدادی از کارشناسـان استفاده شده است.

۳-۱- منطقه مورد مطالعه موردی و داده‌ها

پس از دریافت دیدگاه‌های کارشناسی و بررسی شـرایط منطقه، دسترسی به اطلاعات مکـانی و توصـیفی مـورد نیاز و همچنین مطالعـات طـرح تفـصیلی، سـرانجام دو ناحیه شهری (میر و شیخ صدوق) واقع در قسمت غربی منطقه ۶ شهری اصـفهان بـه عنـوان محـدوده مطالعـه موردی در پژوهش حاضر انتخاب شد. هر یک از نـواحی مذکور از چنـدین محلـه تـشکیل شـده‌انـد و مـساحت محدود تحقیق بـیش از ۲۳۷ هکتـار و جمعیـت آن در حدود ۳۴۰۰۰ نفر است.

جدول ۱. مقایسه سرانه موجود کاربری‌های خدماتی منطقه ۶ با سرانه مصوب در طرح‌های بالادست

کاربری	وضع موجود		طرح جامع				طرح تفصیلی مصوب				طرح بازنگری			
	محله‌ای و ناحیه‌ای	منطقه	محله	ناحیه	منطقه	جمع	محله	ناحیه	منطقه	جمع	محله	ناحیه	منطقه	جمع
فضای سبز	۰/۵۵	–	۲	۱/۵	۱/۵	۵	۱/۹۷	۰/۶۳	۳/۳۱	۵/۹۱	۲	۱	۱	۴
آموزشی	۱/۳۹	–	۱	۰/۱	۱/۵	۳/۵	۰/۹	۰/۸۵	۱/۹۶	۳/۷۱	۰/۸	۰/۸	۰/۹	۲/۵
ورزشی	۰/۲۶	–	۱/۲	۰/۷	۰/۶	۲/۵	۰/۷	۰/۵۵	۲/۲۲	۳/۴۷	۱	۰/۵	۰/۵	۲
درمانی	۰/۲۴	–	–	۰/۴	۰/۸	۱/۲	۰/۰۴	۰/۱۶	۱/۲۱	۱/۴۱	–	۰/۳	۰/۷	۱
فرهنگی	۰/۰۷	–	۰/۱۵	۰/۱	۰/۴	۰/۶۵	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۴۶	۰/۱۵	۰/۱	۰/۲	۰/۴۵
جمع	۲/۵۱	–	۴/۳۵	۳/۷	۴/۸	۱۲/۸۵	۳/۴۷	۲/۳۱	۸/۹۱	۱۴/۹۶	۳/۹۵	۲/۷	۳/۳	۹/۹۵
جمع کل	۲/۵۱		۱۲/۸۵				۱۴/۹۶				۹/۹۵			

به منظور تهیه اطلاعات مکانی مورد نیاز، نقشه پایه در مقیاس ۱:۲۰۰۰ از محدوده تحقیق تهیه و آماده‌سازی شد. همچنین نقشه کاربری زمین با استفاده از نقشه‌های وضع موجود کاربری زمین و همچنین به روزرسانی نقشه‌ها با بررسی میدانی آماده‌سازی گردید و مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات توصیفی جمعیت نیز جمع‌آوری و به پلاک‌های مسکونی منتسب شد. در طرح تفصیلی منطقه، وضعیت موجود، وضعیت مطلوب و میزان کمبود در مورد هر یک از کاربری‌های خدماتی، مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱).

۳-۲- انتخاب قطعات زمین (گزینه‌های تصمیم‌گیری)

برای احداث کاربری‌های مورد نیاز، قطعه زمین‌های خالی یا با قابلیت تغییر کاربری، از پتانسیل‌های توسعه در مجموعه‌های شهری قلمداد می‌شوند. در این تحقیق، با همکاری مشاوران و برنامه‌ریزان شهری آشنا به ویژگی‌ها و پتانسیل‌های محدود تحقیق، ۱۵ قطعه زمین برای تخصیص کاربری‌های خدماتی مورد نظر انتخاب گردید.

۳-۳- کاربری‌های منتخب

با وجود کمبود در زمینه اکثر کاربری‌های خدماتی (جدول ۱)، با مطالعه و بررسی دقیق طرح تفصیلی و بررسی میدانی، چهار کاربری (کتابخانه، درمانگاه، ورزشگاه و مدرسه راهنمایی) به عنوان کاربری‌های نمونه برای انجام فرایند ارزیابی تناسب زمین انتخاب شدند. هر کاربری در سطوح عملکردی مختلف (منطقه، ناحیه، محله) کارکردهای متفاوتی دارد که در تعیین معیارهای ارزیابی تناسب زمین مؤثر است. در تحقیق حاضر، سطح عملکرد تمامی کاربری‌های منتخب، ناحیه‌ای در نظر گرفته شده و مدل‌سازی پارامترهای تعیین‌کننده تناسب قطعات زمین براساس آن صورت گرفته است.

۳-۴- تعیین معیارهای ارزیابی تناسب

پس از انتخاب کاربری‌های خدماتی مورد نیاز، معیارهای ارزیابی تناسب هر یک از کاربری‌های منتخب، تعیین و مدل‌سازی شد. به عنوان نمونه، سلسله‌مراتب طراحی‌شده برای ارزیابی تناسب قطعات زمین برای کتابخانه در شکل ۱ ارائه شده است.

۳-۴-۱- سرانه

در استانداردهای حداقل سطح خدمات شهری، برای برقراری ارتباط میان جمعیت و میزان خدمات و تسهیلات مورد نیاز، از شاخص سرانه استفاده می‌گردد (Omere, 2006). سرانه به مقدار زمین اختصاص‌یافته به نوع مشخصی از تسهیلات شهری با سطح عملکردی مشخص به ازای هر فرد گفته می‌شود. میزان اختلاف سرانهٔ موجود با سرانه مورد نیاز (ارائه‌شده در طرح تفصیلی) شاخصی است که نشان می‌دهد برای رفع نیازهای شهروندان در مورد یک کاربری مشخص، چه مقدار زمین مورد نیاز است. در این تحقیق، مدل‌سازی معیار سرانه با الگوپذیری از مدل ارزیابی وابستگی کاربری‌ها[1] که طالعی و همکاران (۲۰۱۰) آن را ارائه کرده‌اند، انجام شده است. بدین منظور در مورد هر یک از کاربری‌های منتخب تحقیق، محدوده خدمات‌دهی شامل قطعه زمین‌هایی که فاصلهٔ تحت شبکهٔ آنها تا کاربری مورد نظر نسبت به کاربری‌های هم‌نوع موجود کمترین فاصله را دارد، مشخص می‌گردد. محدوده خدمات‌دهی کاربری‌های موجود برای هر یک از چهار کاربری منتخب مورد نظر تحقیق، در شکل ۲ نشان داده شده است.

به‌منظور تعیین سرانهٔ تأمین‌شده هر یک از کاربری‌های موجود، مساحت کل قطعات کاربری‌های موجود بر تعداد جمعیت ساکن در محدودهٔ تحت پوشش خدمات آنها تقسیم می‌شود.

1. Dependency evaluation model

شکل ۱. سلسله‌مراتب و معیارهای ارزیابی تناسب قطعات زمین برای کتابخانه

شکل ۲. محدوده خدمات‌دهی کاربری‌های موجود. الف) کتابخانه‌ها، ب) مدارس راهنمایی، ج) ورزشگاه‌ها، د) درمانگاه‌ها

پس از اینکه فرایند مذکور به ازای هر یک از چهار کاربری منتخب تحقیق انجام گرفت، فاصلهٔ تحت شبکه بین هر یک از کاربری‌های منتخب موجود و پلاک‌های مسکونی محاسبه و براساس رابطه (۸) استانداردسازی شد.

رابطه (۸)

$$ZOI_{ij}^{l}=\begin{cases}1 & ifd_{ij}^{l}<d_{\circ}^{l}\\ (1-p)*e^{p} & ifd_{\circ}^{l}\le d_{ij}^{l}\le d_{d}^{l}\\ \circ & ifd_{ij}^{l}>d_{d}^{l}\end{cases}$$

$$p=\frac{\left(d_{ij}^{l}-d_{\circ}^{l}\right)}{\left(d_{d}^{l}-d_{\circ}^{l}\right)}$$

که در آن

ZOI^l_{ij} = شعاع تأثیرگذاری استانداردشدهٔ کاربری منتخب موجود l؛ d^l_{ij} = فاصله شبکه‌ای میان قطعه زمین واقع در موقعیت i و کاربری منتخب موجود l واقع در موقعیت j؛ d^l_0 = فاصله بهینه برای دسترسی به کاربری منتخب l (جدول ۲) و d^l_d = فاصله بی‌اثرسازی برای دسترسی به کاربری‌های منتخب l (جدول ۲) است.

جدول ۲. فاصله بهینه و فاصله بی‌اثرسازی کاربری‌های منتخب تحقیق

کاربری منتخب	فاصله بهینه (متر)	فاصله بی‌اثرسازی (متر)
کتابخانه (ناحیه‌ای)	۱۰۰۰	۱۶۰۰
درمانگاه (ناحیه‌ای)	۶۵۰	۱۵۰۰
ورزشگاه (ناحیه‌ای)	۱۵۰۰	۲۵۰۰
مدرسه راهنمایی	۸۰۰	۱۵۰۰

منبع: Saadniya, 2004

هر یک از کاربری‌های منتخب موجود برحسب سرانهٔ تأمینی برای محدوده تحت پوشش خدمات‌شان و همچنین فاصله‌ای که از هر پلاک مسکونی دارند (که با شاخص فاصله استاندارد اعمال می‌شود)، سرانه‌ای را برای پلاک مسکونی تأمین می‌کنند. در محاسبه سرانه نهایی، از رابطه (۹) استفاده شده است. در این رابطه، با در نظر گرفتن شرایط جبرانی بین دو معیار سرانه و فاصله، میزان وزن به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۳۳ اعمال شد.

رابطه (۹)

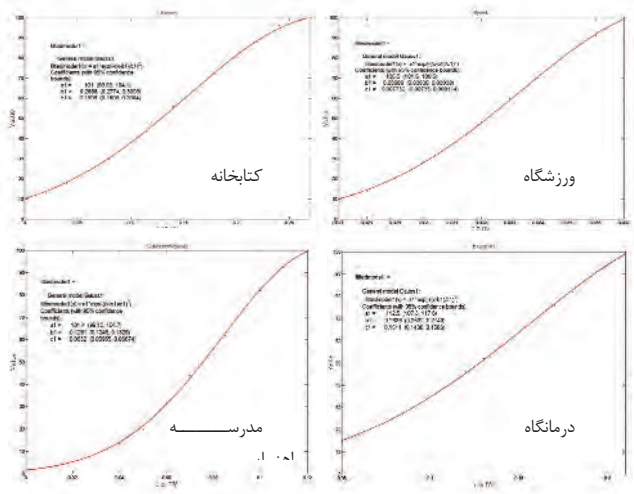
$$LPC^l_i = \frac{\sum_{j=1}^{N}\left(LPC_{ij}\right)*\left(ZOI^l_{ij}\right)^{\frac{0/33}{0/67}}}{\sum_{j=1}^{N}\left(ZOI_{lj}\right)^{\frac{0/33}{0/07}}}$$

که در آن LPC^l_i = سرانه تأمین‌شده به‌وسیله کاربری l برای واحدهای مسکونی مورد ارزیابی واقع در موقعیت i (میانگین وزنی سرانه عرضه‌شده به‌وسیله کاربری l)؛ N = تعداد واحدهای دارای کاربری l واقع در فاصله کمتر از فاصله بی‌اثرسازی؛ ZOI^l_{ij} = شعاع تأثیرگذاری استانداردشدهٔ کاربری l واقع در موقعیت j نسبت به قطعه زمین واقع در موقعیت i؛ و LPC_{lj} = سرانه نهایی محاسبه‌شده برای هر واحد دارای کاربری l است.

هدف نهایی از مدل‌سازی سرانه، ارزش‌گذاری قطعات زمین (گزینه‌های تصمیم‌گیری) منتخب براساس میزان موفقیت‌شان در برآورد کردن این معیار است. لذا پس از محاسبه سرانه تأمین‌شده، لازم است که میانگین مقدار سرانه تأمین‌شده در محدوده خدمات‌دهی هر یک از ۱۵ قطعه زمین، با فرض تخصیص کاربری جدید و همچنین حضور کاربری‌های موجود، تعیین گردد. روند انجام کار، مشابه روال شرح داده شده در قبل است. به‌منظور محاسبهٔ میزان برآورد کردن کمبود سرانه در مورد هر یک از کاربری‌های منتخب، لازم است که اختلاف سرانهٔ مورد نیاز از سرانه تأمین‌شده، محاسبه شود. برای این منظور، سرانه مورد نیاز هر یک از کاربری‌های منتخب تحقیق، مطابق جدول ۳ مشخص گردید و اختلاف میانگین سرانه تأمین‌شده در محدوده تحت پوشش خدمات هر قطعه زمین از سرانه مورد نیاز، محاسبه شد. در نهایت قطعات زمین منتخب با استفاده از تابع ارزش و بر مبنای اختلاف سرانه تأمین‌شده از سرانه مورد نیاز، ارزش‌گذاری می‌شود. نمودارهای به‌دست‌آمده مطابق با دیدگاه‌های کارشناسی و به کمک تکنیک برازش منحنی، در شکل ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳. سرانه مورد نیاز هر یک از کاربری‌های منتخب (ناحیه‌ای)

کاربری منتخب	سرانه بهینه (متر مربع)
کتابخانه	۰/۳۵
درمانگاه	۰/۳۵
ورزشگاه	۰/۷
مدرسه راهنمایی	۰/۲۵



شکل ۳. تابع ارزش برمبنای اختلاف سرانه تأمین‌شده از سرانه مورد نیاز، برای کاربری‌های چهارگانه تحقیق

۳-۴-۲- مساحت

از آنجا که کاربری‌های شهری برحسب نوع و سطح عملکرد کاربری‌شان (محله، ناحیه، منطقه)، می‌بایست حداقل مساحت مشخصی داشته باشند، مساحت به عنوان معیار ارزیابی تناسب زمین در نظر گرفته می‌شود. مساحت بهینهٔ هر کاربری در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. حداقل مساحت کاربری‌های مورد نظر تحقیق (ناحیه‌ای)

کاربری منتخب	سرانه بهینه (متر مربع)
کتابخانه	۱۵۰۰
درمانگاه	۳۰۰۰
ورزشگاه	۶۰۰۰
مدرسه راهنمایی	۵۰۰۰

منبع: Saadniya, 2004

در ادامه، مساحت هر قطعه زمین بر مساحت بهینه ارائه‌شده برای هر یک از ۴ کاربری مورد نظر، تقسیم می‌شود و به عنوان معیار ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. قطعات زمین با مساحتی برابر یا بزرگ‌تر از مساحت بهینه، حداکثر مقدار ارزش (یعنی ۱) را به خود اختصاص می‌دهند و دیگر قطعات برحسب مساحت‌شان ارزشی بین ۰ تا ۱ می‌گیرند.

۳-۴-۳- تأثیر مراکز خدماتی

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در فرایند ارزیابی تناسب زمین مورد توجه قرار می‌گیرد، تأثیری است که کاربری هر قطعه زمین بر دیگر کاربری‌ها و خدمات شهری مجاور خود دارد. برای مدل‌سازی این تأثیر، با به‌کارگیری منابع مختلف و تبادل نظر با کارشناسان، به بررسی سازگاری و وابستگی هر یک از کاربری‌های منتخب با سایر کاربری‌های شهری پرداخته شد. در نهایت با تعیین فاصله بهینه، فاصله بی‌اثر سازی و همچنین بررسی نوع و مقدار تأثیر بقیهٔ کاربری‌ها بر کاربری منتخب، تابع مناسبی که با توجه به تغییر فاصله میان دو کاربری مورد تحلیل به بهترین شکل بیانگر این تأثیر باشد، انتخاب گردید. سپس با اعمال این تابع بر لایه فاصله، نقشه معیار مناسب به‌منظور ارزیابی تناسب قطعات زمین برای کاربری منتخب، تولید گردید. در برازش و انتخاب تابع مناسب از ابزار Curve Fitting نرم‌افزار Matlab استفاده شده است. بدیهی است نوع تأثیر و همچنین نقاط کنترل که با مشورت با کارشناسان انتخاب می‌شوند، در تعیین تابع مناسب نقش محوری دارند.

مدل‌سازی تأثیر دیگر کاربری‌های خدماتی، مراکز نواحی و محله‌ها و همچنین راه‌ها و شبکه‌های ارتباطی

برای هر یک از کاربری‌های منتخب تحقیق، با توجه به تأثیرات مثبت و یا منفی آنها در فواصل مختلف از کاربری منتخب و با استفاده از روش مذکور انجام شده است و در ادامه تشریح می‌گردد.

از آنجا که مراکز محله‌ها کانون فعالیت‌های محله‌ای هستند، استقرار کاربری‌های خدماتی مختلف در فاصله‌ای مناسب از مراکز محله‌ها برحسب نوع عملکرد کاربری‌شان اهمیت بالایی می‌یابد. مراکز خدماتی که شامل مراکز مناطق، نواحی و محله‌ها می‌شوند، در ارزیابی تناسب زمین برای کاربری‌های خدماتی جدید دارای اهمیت‌اند. مراکز نواحی و محله‌ها، کانون فعالیت‌های ناحیه‌ای و محله‌ای به شمار می‌آیند و از آنجا که عملکردی متفاوت از موقعیت‌های دیگر ناحیه و محله دارند، نوع و میزان تأثیرشان بر کاربری‌های خدماتی، متفاوت از دیگر موقعیت‌های ناحیه و محله است.

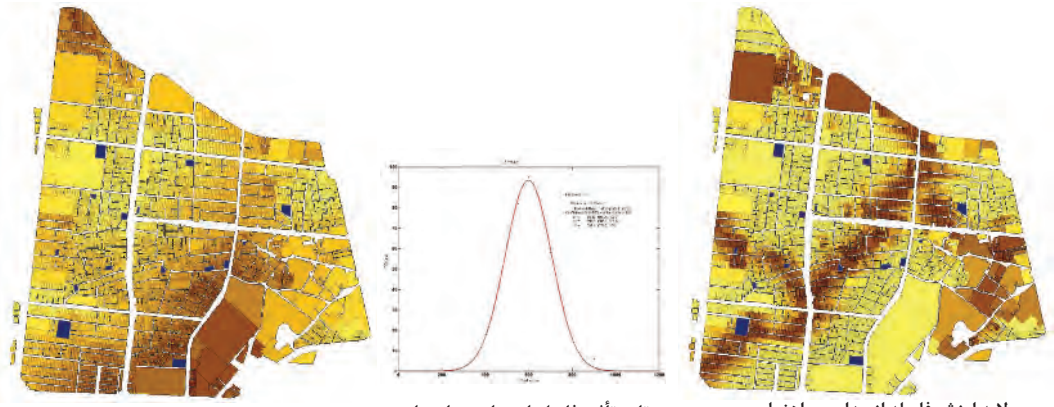
در محدوده مطالعه موردی، چهار مرکز خدماتی وجود دارد که دو مرکز خدمات محله‌ای و دو مرکز خدمات ناحیه‌ای را در بر می‌گیرد. لذا مدل‌سازی تأثیر مراکز خدماتی برای هر یک از کاربری‌های منتخب، با انتخاب و اعمال تابع مناسب انجام شد؛ به عنوان نمونه اعمال تابع تأثیر فاصله از مراکز خدماتی ناحیه‌ای به منظور ارزیابی تناسب قطعه زمین‌ها برای کتابخانه (ناحیه‌ای) در شکل ۴ ارائه شده است.

۳-۴-۴- مدل‌سازی تأثیر بقیهٔ کاربری‌ها

با اینکه فعالیت‌های شهری به یکدیگر وابسته‌اند، اما در ارزیابی تناسب زمین برای کاربری‌های خدماتی جدید، به تأثیر آن بر عملکرد کاربری‌ها و فعالیت‌های موجود شهری کمتر توجه می‌شود. این موضوع کاهش کارایی کاربری جدید و تداخل در عملکرد دیگر خدمات و کاربری‌های شهری را به همراه خواهد داشت.

فاصلهٔ یک کاربری جدید با کاربری‌های موجود، از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تعیین نوع (مثبت / منفی) و میزان تأثیر کاربری‌های موجود بر عملکرد کاربری مذکور به شمار می‌آید. بنابراین در هر یک از کاربری‌های منتخب، با بررسی دیدگاه‌های کارشناسی و تعیین پارامترهایی نظیر نوع و میزان تأثیر در فواصل مختلف، فاصله بهینه و فاصله بی‌اثر سازی تأثیرات متقابل دو کاربری، تابع مناسب انتخاب می‌شود و با اعمال آن به لایه فاصله، تأثیر کاربری مورد نظر در ارزیابی تناسب زمین مدل‌سازی می‌شود. به عنوان نمونه، اعمال تابع تأثیر فاصله از مدارس راهنمایی در ارزیابی تناسب قطعات زمین، در شکل ۵ ارائه شده است.

شکل ۴. مدل‌سازی اثر معیار فاصله از مرکز ناحیه در ارزیابی تناسب زمین برای کتابخانه



شکل ۵. مدل‌سازی اثر معیار فاصله از مدارس راهنمایی در ارزیابی تناسب زمین برای کتابخانه

۳-۴-۵- مدل‌سازی تأثیر شبکه راه‌ها

استقرار کاربری‌های خدماتی در فاصله مناسب از شبکه راه‌ها افزون بر بهبود وضعیت دسترسی به کاربری‌ها می‌تواند در افزایش عملکرد آنها نیز نقش مؤثری داشته باشد.

در مدل‌سازی تأثیر فاصله از شبکه راه‌ها به منظور ارزیابی تناسب زمین، باید به این نکته توجه داشت که اگرچه نزدیکی کاربری‌های خدماتی به شبکه راه‌ها می‌تواند باعث سهولت در دسترسی شود. اما عدم رعایت فاصله مناسب از شبکه راه‌ها نیز عملکرد کاربری مورد نظر را مختل می‌کند. لذا برای کاربری خدماتی مورد ارزیابی، شرایط تأمین دسترسی مناسب به شبکه‌های ارتباطی می‌بایست مدنظر قرار گیرد.

شبکه راه‌ها متناسب با نحوه عملکردشان تأثیرات متفاوتی بر کاربری‌های خدماتی دارند. از این رو شبکه راه‌های محدودهٔ تحقیق، به جمع و پخش‌کننده ناحیه‌ای درجه ۱، جمع و پخش‌کننده ناحیه‌ای درجه ۲ و خیابان‌های جمع و پخش‌کننده محله‌ای، طبقه‌بندی شد و عملکرد هر دسته بر روی کاربری‌های منتخب، جداگانه مدل‌سازی گردید. مدل‌سازی تأثیر شبکه راه‌ها بر کاربری‌های خدماتی، شبیه مدل‌سازی تأثیر کاربری‌های دیگر انجام می‌شود.

۳-۵- وزن‌دهی معیارها

در پژوهش حاضر، حل مسئله با به‌کارگیری و مشارکت عقاید و نظریات گروهی در فرایند تصمیم‌گیری، مورد نظر قرار دارد و در مراحل مختلف اجرای تحقیق، نظر گروهی از کارشناسان (چهار کارشناس) گردآوری شد و مورد استفاده قرار گرفت.

در مورد هر یک از کاربری‌های منتخب، پس از تعیین معیارها و سلسله‌مراتب آنها، ماتریس مقایسه زوجی به‌وسیله هر یک از تصمیم‌سازان به صورت مجزا و به روش AHP تشکیل شد. در نهایت وزن معیارها با به‌کارگیری نرم‌افزار ExpertChoice و به روش بردار ویژه محاسبه گردید. وزن‌های محاسبه‌شده به ازای نظر هر کارشناس، برای معیارهای ارزیابی تناسب زمین برای کتابخانه در ادامه ارائه شده است.

$$w = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5)^T = (0.283,0.283,0.142,0.125,0.166)^T$$
$$(0.287,0.25,0.189,0.109,0.165)^T$$
$$(0.309,0.251,0.142,0.132,0.166)^T$$
$$(0.322,0.25,0.134,0.11,0.185)^T$$

که در آن w_1 وزن سرانه، w_2 وزن فاصله از شبکه دسترسی، w_3 وزن فاصله از مراکز خدماتی، w_4 وزن فاصله از کاربری‌های خدماتی، و w_5 وزن مساحت است.

$$w = (w_1, w_2, w_3)^T = (0.4,0.4,0.2)^T$$

$$(0.493,0.311,0.196)^T\ (0.311,0.493,0.196)^T\ (0.443,0.387,0.169)^T$$

که در آن w_1 وزن فاصله از راه‌های جمع و پخش‌کننده ناحیه‌ای درجه ۱، w_2 وزن فاصله از راه‌های جمع و پخش‌کننده ناحیه‌ای درجه ۲، و w_3 وزن فاصله از راه‌های جمع و پخش‌کننده محلی و راسته محله‌هاست.

$$w = (w_1, w_2)^T = (0.5,0.5)^T\ (0.75,0.25)^T\ (0.667,0.333)^T$$

$$(0.667,0.333)^T$$

که در آن w_1 وزن فاصله از مراکز خدماتی ناحیه، و w_2 وزن فاصله از مراکز خدماتی محله است.

$$w = (w_1, w_2, w_3)^T = (0.733,0.199,0.068)^T$$
$$(0.761,0.166,0.073)^T\ (0.745,0.156,0.099)^T$$

$$(0.717,0.195,0.088)^T$$

که درآن w_1 وزن فاصله از مراکز فرهنگی-آموزشی، w_2 وزن فاصله از مراکز درمانی، و w_3 وزن فاصله از مراکز ورزشی است.

$$w = (w_1, w_2, w_3)^T = (0.333,0.333,0.333)^T$$

$$(0.297,0.163,0.54)^T\ (0.25,0.25,0.5)^T\ (0.333,0.333,0.333)^T$$

که در آن w_1 وزن فاصله از دبیرستان‌ها، w_2 وزن فاصله از مدارس راهنمایی، و w_3 وزن فاصله از مراکز فرهنگی است.

همان طور که قبلاً بیان شد، در تحقیق حاضر به منظور تلفیق نظرها و مدل‌سازی عدم قطعیت موجود در نظریات کارشناسی، روش Fuzzy AHP پیشنهاد شده است؛ لذا در مورد هر یک از کاربری‌های منتخب تحقیق و با داشتن ماتریس‌های مقایسه مربوط به هر یک از تصمیم سازان، وزن دهی معیارهای ارزیابی به روش Fuzzy AHP انجام شد. با توجه به شرایط تصمیم‌گیری، در رابطه (۷) مقادیر $\alpha = 0/85$ و $\beta = 0/20$ انتخاب و در محاسبه وزن‌های نهایی استفاده شد. در ادامه برای کاربری کتابخانه، مقادیر به‌دست‌آمده جایگزین شده است.

$$\begin{bmatrix} (1,1,1) & (1,1,1) & (2,2.25,3) & (2,2.5,3) & (2,2,2) \\ (1,1,1) & (1,1,1) & (1,1.5,2) & (2,2,2) & (1,1.75,2) \\ (0.333,0.4583,0.5) & (0.5,0.75,1) & (1,1,1) & (1,1.25,2) & (0.5,0.875,1) \\ (0.333,0.4167,.5) & (,0.5,0.5,0.5) & (0.5,0.875,1) & (1,11) & (0.5,0.625,1) \\ (.5,.5,.5) & (0.5,.0.625,1) & (1,1.25,2) & (1,1.75,2) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$w = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5)^T = (0.3025, 0.2474, 0.1519, 0.1183, 0.1798)^T$$

$$\begin{bmatrix} (1,1,1) & (0.5,1.125,2) & (2,2.25,3) \\ (0.5,1.125,2) & (1,1,1) & (2,2,2) \\ (0.333,0.4582,0.5) & (0.5,0.5,0.5) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$w = (w_1, w_2, w_3)^T = (0.4256, 0.3927, 0.1817)^T$$

$$\begin{bmatrix} (1,1,1) & (1,2,3) \\ (0.333,0.5833,1) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

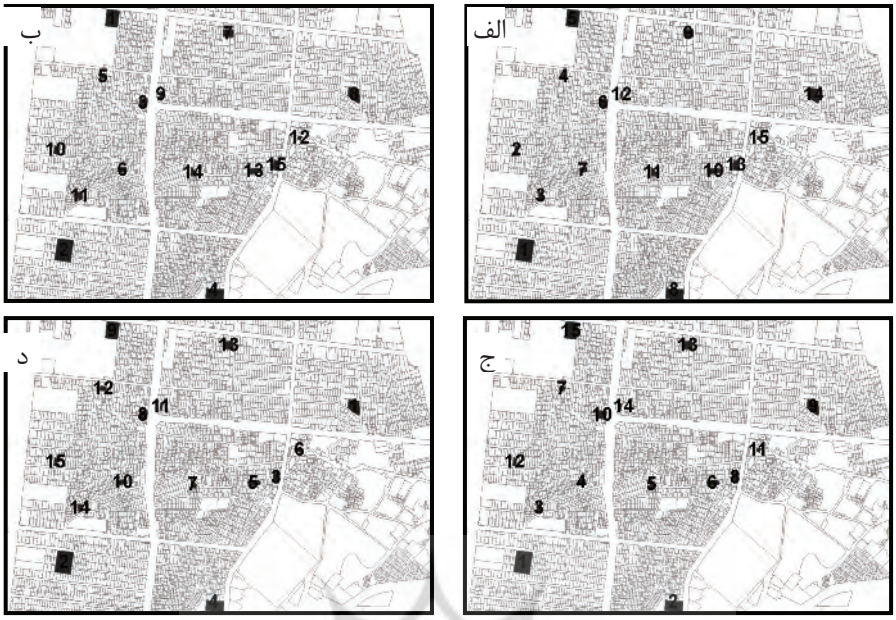
$$w = (w_1, w_2)^T = (0.0.6561, 0.3439)^T$$

$$\begin{bmatrix} (1,1,1) & (5,5.5,6) & (6,7,8) \\ (0.1667,0.1833,0.2) & (1,1,1) & (2,3,4) \\ (0.1250,0.1458,0.1667) & (0.25,0.3540,0.5) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$w = (w_1, w_2, w_3)^T = (0.7015, 0.2205, 0.078)^T$$

۳-۶- تلفیق نقشه‌های معیار

حاصل مدل‌سازی معیارهای ارزیابی تناسب کاربری‌ها، لایه‌هایی است که تحت عنوان نقشه‌های معیار شناخته می‌شوند. وزن معیارها نیز معرف میزان تأثیر نقشه‌های معیار در نتایج نهایی است. با تلفیق نقشه‌های معیار و اعمال تأثیر وزن‌های مربوط به آن می‌توان نتایج نهایی را به دست آورد. بدین منظور نقشه‌های معیار به روش ترکیب خطی وزن‌دار، تلفیق، و مقدار تناسب هر یک از قطعات زمین برای هر یک از کاربری‌های منتخب تحقیق، محاسبه شد (شکل ۶).



شکل ۶. اولویت‌بندی نهایی قطعات زمین برای کاربری‌های منتخب (الف:کتابخانه، ب:درمانگاه، ج: مدرسه راهنمایی، د: ورزشگاه)

۳-۷- نتایج

برای اعتبارسنجی نتایج پیاده‌سازی مدل در منطقه مطالعه موردی، از کارشناسان درخواست گردید تا به روش مرسوم و با همکاری یکدیگر، ۱۵ قطعه زمین منتخب را برای تخصیص چهار کاربری مورد نظر، اولویت‌بندی کنند. سپس نتایج این اولویت‌بندی با نتایج اولویت‌های خروجی از مدل Fuzzy AHP مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. بررسی نتایج برای تخصیص قطعات زمین به کتابخانه، نشان می‌دهد که قطعه زمین‌های ۵۴۵۳، ۵۳۱۳ و ۸ در اولویت‌بندی حاصل از اعمال نظر کارشناسان و همچنین در روش Fuzzy AHP به ترتیب دارای اولویت‌های اول تا سوم برای کتابخانه هستند. برای تخصیص درمانگاه نیز قطعه زمین‌های ۵، ۵۴۵۳ و ۴۱۸۶ در نتایج اولویت‌بندی حاصل از اعمال نظر کارشناسان و همچنین روش Fuzzy AHP به ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را دارند. نتایج اولویت‌بندی قطعات زمین برای تخصیص مدرسه راهنمایی نشان می‌دهد که قطعه زمین‌های ۵۴۵۳، ۴ و ۸ در نتایج اولویت‌بندی حاصل از اعمال نظر کارشناسان و همچنین در نتایج روش Fuzzy AHP به ترتیب دارای اولویت‌های اول تا سوم هستند. نتایج نشان می‌دهد که قطعه زمین‌های ۵۲۵، ۵۴۵۳ و ۱۱ به ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را برای ورزشگاه دارند.

نتایج به‌دست‌مده روش تصمیم‌گیری گروهی از طریق تلفیق عقاید تصمیم‌سازان به روش Fuzzy AHP، مناسب بودن روش مذکور را در ارزیابی تناسب زمین‌های شهری اثبات می‌کند. اگرچه تفاوت در نظر کارشناسان در خصوص اولویت‌بندی گزینه‌های تصمیم‌گیری (قطعات زمین) برای اختصاص به کاربری‌های مختلف به چشم می‌خورد، اما روش Fuzzy AHP به خوبی توانسته است فرایند تصمیم‌گیری گروهی مرسوم را به کسب نتایج مورد اجماع سوق دهد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

تلفیق قابلیت‌های GIS با روش‌های ارزیابی تناسب اراضی شهری در کنار استفاده از دانش کارشناسان می‌تواند نقش مؤثری در موفقیت فرایند ارزیابی تناسب اراضی شهری و افزایش قابلیت اعتماد نتایج داشته

باشد. تلفیق قابلیت‌های GIS با مدل‌های تصمیم‌سازی چندمعیاره، امکان غلبه بر مشکلات موجود ناشی از نبود مدل‌سازی مناسب تعاملات و تأثیرات متقابل بین کاربری‌ها را فراهم می‌کند. از آنجا که در این تحقیق سعی در حل مسئله با به‌کارگیری و در نظر گرفتن عقاید و نظریات گروهی چندین کارشناس در فرایند تصمیم‌سازی بوده است، در مراحل مختلف اجرای تحقیق (انتخاب کاربری‌ها، انتخاب قطعه زمین‌ها، شناسایی و وزن‌دهی پارامترهای تعیین‌کنندهٔ تناسب و همچنین در انتخاب توابع تعیین‌کنندهٔ نوع و میزان تأثیر کاربری‌های منتخب بر دیگر کاربری‌ها و خدمات شهری)، نظریات گروهی از کارشناسان گردآوری شد و مورد استفاده قرار گرفت.

در پژوهش حاضر، نتایج حاصل از تلفیق نقشه‌های معیار مربوط به مدل‌سازی معیارهای ارزیابی تناسب زمین برای چهار کاربری منتخب (کتابخانه، مدرسه راهنمایی، درمانگاه و ورزشگاه) ارائه شد. در مورد هر کاربری منتخب، با اعمال تلفیق نظریات تصمیم‌سازان به روش FuzzyAHP، اولویت‌بندی قطعه زمین‌ها برای تخصیص هر یک از کاربری‌های منتخب انجام گرفت. در صورتی که اطلاعات کاملی از بقیهٔ کاربری‌ها (اداری، تجاری، فرهنگی، تفریحی و مانند اینها) در محدوده مطالعه موردی وجود داشته باشد، مدل‌سازی تأثیر تک‌تک کاربری‌ها در ارزیابی تناسب کاربری‌های منتخب امکان‌پذیر خواهد بود. در صورت وارد کردن تأثیر تمامی کاربری‌های موجود بر عملکرد هر کاربری منتخب و در نتیجه تخصیص بهینهٔ کاربری‌ها، می‌توان تأثیر متقابل کاربری‌ها را به صورت دقیق‌تر مورد ارزیابی قرار داد.

۵- منابع

Bantayan, N.C., 1996, **Participatory Decision Support Systems: The Case of the Makiling Forest Reserve**, Ph.D. Thesis, The University of Melbourne, Australia.

Bantayan, N.C. and Bishop, I.D., 1993, **The Role of GIS in Integrating Fuzziness and Modelling in Landuse Planning**, In: Proceedings of the 21st Annual International Conference and Technical Exhibition, AURISA 93, Aurisa, Adelaide, South Australia.

Ceballos-Silva, A. and J. Lopez-Blanco, 2003, **Delineation of Suitable Areas for Crops using a Multi-Criteria Evaluation Approach and land use/cover Mapping :A Case Study in Central Mexico**, Agricultural Systems 77(2), PP. 117-136.

Chakhar, S. and Martel J.M., 2003, **Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Function,** Journal of Geographical Information and Decision Analysis (July 1, 2004 is changed to Applied GIS) 7(2), PP. 47-71.

Chan, F.T.S. and Kumar N., 2007, **Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach**, Omega, 35 (4) (2007), PP. 417–431.

Chang, D.Y., 1996, **Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP,** European Journal of Operational Research, 95(3), PP. 649-655.

Chen, H.H., 2005, **A Research Based on Fuzzy AHP for Multi-criteria Supplier Selection in Supply Chain**, Thesis of NTUST in Taiwan.

Dai, F.C. and Lee, C.F., 2000, **GIS-based Geo-Environmental Eveluatiton for Urban Land-use Planning: A Case Study**, Engineering Geology 61, PP. 257-271.

Dai, Quanhou, 2003, **Land Use Adaptability Evaluation Analysis of Hilly Region in Northeast China**, Bulletion of Soil and Water Conservation, 23, PP. 27-31.

Dyer, R.F. and Forman E.H., 1991, **An Analytic Approach to Making Decisions**, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Gazi Asghar, A., 2004, **Locating of Parking Using of GIS**, M.Sc. thesis, Shahid Baheshti University, Tehran.

Gupta, M.M., 1977, **`Fuzzy-ism', The First Decade**, In: Gupta, M., Saridis, G., Gaines, B. (Eds.), Fuzzy Automata and Decision Processes, Elsevier North-Holland, New York, PP. 5-10.

Hall, G.B. and Wang, F., 1992, **Comparison of Boolean and Fuzzy Classification Methods in Land Suitability Analysis by Using Geographical Information Systems**, Environment and Planning A 24, PP. 497-516.

Hung, C.C., 2004, **A Research Based on Fuzzy AHP for Multi-criteria Supplier Selection in Supply Chain**.

Jankowski, P., 1995, **Integrating Geographical Information Systems and Multiple Criteria Decision Making Methods**, International Journal of Geographical Information Systems, 9(3), PP. 251–273.

Jankowski, P., and Nyerges, T., 2001, **Geographic Information Systems for Group Decision Making: Towards a Participatory**, Geographic information science. New York: Taylor & Francis.

Joerin, F., Thériault M., and Musy, A., 2001, **Using GIS and Outranking Multicriteria Analysis for Landuse Suitability Assessment**, International Journal of Geographical Information Science, 15(2), PP. 153–174.

Kahraman, C., Cebeci, U. and Ulukan, Z., 2003, **Multi-criteria Supplier Selection Using Fuzzy AHP**, Logistics Information Management, 16, PP. 382-394.

Karimi, V., 2007, **Using of GIS at Transport Engineering: Locating of Public Parkings at Shiraz City**, M.Sc. thesis, K.N. Toosi University of technology, Tehran, Iran.

Kyem, P.A.K., 2004, **On Intractable Conflicts and Participatory GIS Applications: The Search for Consensus Amidst Competing Claims and Institutional Demands**, Annals of the Association of American Geographers, 94(1), PP. 37–57.

Laaribi, A., 2000, **SIG et analyse multicitère**, Paris: Hermès Sciences Publications.

Laskar A., 2003, **Integrating GIS and Multicriteria Decision Making Techniques for Land Resource Planning**, ITC.

Malczewski, J., 2004, **GIS-based Land-use Suitability Analysis: a Critical Overview**, Progress in Planning 62(1), PP. 3-65.

Nisar Ahmaed , T.R., K. Gopal Rao and J.S.R. Murthy, 2000, **GIS-based Fuzzy Membership Model for Crop - land Suitability Analysis**, Agricultural Systems 63(2), PP. 75-95.

Omer, I., 2006, **Evaluating Accessibility Using House-level Data: A Spatial Equity Perspective**, Computers, Environmet and Urban Systems 30, PP. 254-274.

Onut S., Efendigil T., and Kara, S.S., 2010, **A Combined Fuzzy MCDM Approach for Selecting Shopping Center Site: An Example from Istanbul**, **Turkey**, Expert Systems with Applications 37 (2010), PP. 1973–1980.

Openshaw, S., and Abrahart, R.J., 2000, **GeoComputation**, London: Taylor & Francis.

Prakash T.N., 2003, **Land Suitability Analysis for Agricultural Crops: A Fuzzy Multicriteria Decision Making Approach**, ITC.

Saadniya, A., 2004, **Green Book for Municipalities**, Vol. 1-12, Iran Municipalities and Rural managements Organization, Tehran, Iran.

Saaty, T.L., 1980, **The Analytical Hierarchy Process**, NewYork, McGraw-Hill.

Sauter, V., 1997, **Decision Support Systems**, New York, John Wiley and Sons.

Safari, H., Fathi, M., Reza and, Faghih, A., 2011, **Applying Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS to Machine Selection**, Journal of American Science, 7(9).

Shad, R., 2004, **Locating of Industris Sites Using of GIS**, M.Sc. thesis, K.N. Toosi University of technology, Tehran, Iran.

Steiner, F., 1991, **Landscape Planning: A Method Applied to a Case Study of Growth Management,** Environmental Management 15, PP. 519-529.

Taleai, M., Mesgari S., Sharifi A. and Barati N., 2010, **Developing a Spatial Micro-level Algorithm for Evaluating Accessibility to Urban Services**, Journal of Engineering (JFE), Vol. 43 (5), PP. 571-584, Tehran University.

Zanjirani Farahani, R., SteadieSeifi M., and Asgari N., 2010, **Multiple Criteria Facility Location Problems: A Survey**, Applied Mathematical Modelling 34 (2010), PP. 1689–1709.

Zucca Antonella, Sharifi, A. M. and Fabbri, A. G., 2008, **Application of Spatial Multi-criteria Analysis to Site Selection for a Local Park: A Case Study in the Bergamo Province**, **Italy**, Journal of Environmental Management 88(4), PP. 752-769.

Wu Shidai, 2000, **GIS Aided Land Suitability Appraisal for a Multi-objective Land-use in Fuqing Municipality**, Journal of Fujian Teachers University 16(3). PP. 87-90 (in Chinese).