پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴
ص. ۴۶-۳۳

مکان‌یابی فضایی سبز شهری در شهرداری منطقهٔ ۱۵ کلان‌شهر تهران در محیط GIS

احمد پوراحمد*- استاد دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
مجید شادمان رودپشتی- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تهران
سیروس حسن‌پور- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تهران
امیر شهرابی فراهانی- کارشناس ارشد مدیریت اجرایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران‌مرکز
خدر فرجی راد- دکتری جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۷/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۸/۲۶

چکیده

امروزه در کنار سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] به‌طور گسترده‌ای برای حل مسائل فضایی به‌کار گرفته می‌شوند. در این مقاله با ترکیب دو روش FAHP و TOPSIS، روش جدیدی برای انتخاب مکان بهینه با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به‌کار گرفته شده است. در این زمینه، معیارهای انتخاب مکان بهینه، برای ایجاد فضای سبز شهری در مدل FAHP وارد و مقایسه شدند و سپس خروجی مدل FAHP به‌عنوان وزن معیارها در مدل TOPSIS به‌کار گرفته شد. طبقه‌بندی فضاهای مکانی در سطح منطقهٔ ۱۵ کلان‌شهر تهران به‌منظور احداث یا پهنه‌بندی فضاهای سبز با استفاده از تکنیک ترکیبی مدل‌های FAHP و TOPSIS به‌صورت خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف انجام گرفت. زمین‌هایی که درجهٔ تناسب خیلی خوب و خوب دارند، برای ایجاد فضای سبز شهری انتخاب می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مجموعه‌های فازی در ترکیب با مدل سلسله‌مراتبی، نه تنها سبب رفع ابهام از مدل ATP می‌شود، بلکه میزان خطای تورش ناشی از مقایسهٔ دوبه‌دو لایه‌ها را نیز کاهش می‌دهد. درنهایت، ترکیب مدل FAHP با مدل TOPSIS، قابلیت استفادهٔ همزمان از نظرهای مقیاسی کارشناسی را در کنار ایده‌آل‌های موجود همچون افزایش دقت و صحت طبقه‌بندی در لایه‌های اطلاعاتی، ممکن می‌سازد.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فضای سبز شهری، FAHP، GIS، TOPSIS.

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۲۲۱۲۳۹۲۰
Email: apoura@ut.ac.ir

1. Multi Criteria Decision Making

مقدمه

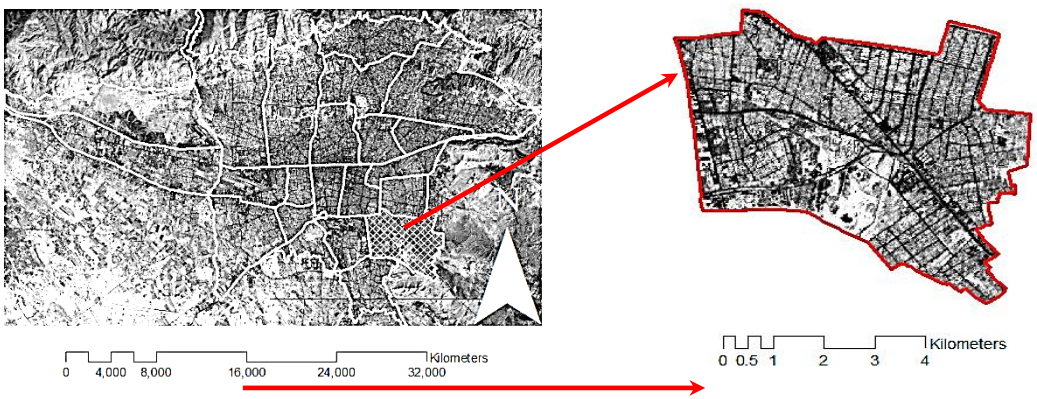
گسترش و توسعهٔ روزافزون شهرها در تمامی کشورهای جهان از جمله ایران، از پیامدهای اجتناب‌ناپذیر عصر دانش و فناوری به‌شمار می‌رود. با رشد و توسعهٔ شهرها، اطلاعات لازم برای مدیریت و برنامه‌ریزی شهری به‌شدت افزایش می‌یابند و پیچیده می‌شوند. به‌همین‌سبب، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، برای گردآوری و پردازش این اطلاعات در قالب تئوری‌های جدید مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، راهکار مناسبی به‌نظر می‌رسد (ثنایی‌نژاد، ۱۳۷۶: ۷۳). امروزه گسترش شهرها و به‌ویژه شهرهای بزرگ در جهان سوم، موجب تشدید عوارض منفی توسعهٔ شهری شده است که تشدید آلودگی‌های محیط، از مهم‌ترین آن‌ها به‌شمار می‌رود. رشد و توسعهٔ روزافزون شهرنشینی، با گسترش کالبدی شهرها رابطهٔ مستقیم دارد. فضای سبز که بخشی از سیمای شهر را تشکیل می‌دهد، به‌عنوان یکی از پدیده‌های واقعی، از نخستین مسائلی است که انسان همواره با آن در تماس است. این مقوله، ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و کالبدی دارد. فضای سبز، از جمله کاربری‌هایی است که چگونگی توزیع و پراکنش آن در سطح شهر، اهمیت بسیار دارد و به‌عنوان ریهٔ تنفسی شهرها، یکی از شاخص‌های مهم شناخت کیفیت محیط‌های انسان‌ساخت به‌شمار می‌آید. اهمیت فضاهای سبز شهری تا بدان حد است که امروزه وجود این کاربری به‌عنوان یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی جوامع و جزء پنج کاربری مهم شهری به‌حساب می‌آید؛ بنابراین، در شهرسازی نوین، برنامه‌ریزی فضاهای سبز شهری، به‌صورت فعالیتی تخصصی درآمده است که برنامه‌ریزی و طراحی انواع فضاهای سبز با اهداف و عملکردهای مختلف را دربرمی‌گیرد و انتظارهای شهروندان را برآورده می‌سازد که کم‌توجهی به آن‌ها به کاهش کارایی فضاهای مذکور و افت کیفیت محیط‌های شهری منجر می‌شود. در این زمینه، تهران از جمله شهرهایی است که با توجه به نحوهٔ توزیع جمعیت، از توزیع مناسب فضای سبز شهری برخوردار نیست. به‌گونه‌ای‌که در بعضی مناطق شهر، فضای سبز کمتر به‌ازای تراکم جمعیتی بیشتر و در بعضی مناطق نیز فضای سبز بیشتر به‌ازای تراکم جمعیتی کمتر وجود دارد (قدوسی، ۱۳۸۱: ۷۳– ۷۴). انتخاب مکان‌های بهینه برای ایجاد فضای سبز شهری با توجه به معیارهای معمول و همچنین معیارهایی چون آلودگی، تراکم جمعیت و واحدهای فرسوده، گام مؤثری در جهت ایجاد توازن جمعیتی و کاهش آلودگی‌های شهری به‌شمار می‌رود (بهمن‌پور و محرم‌نژاد، ۱۳۸۶: ۳۱– ۳۲). سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تا حد زیادی فضایی‌اند و امروزه در کنار سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، به‌طور گسترده‌ای برای حل مسائل فضایی به‌کار می‌روند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌ها (از جمله جمع وزن‌ها یا تحلیل‌های همگرایی) هستند که اجازه می‌دهند طیفی از معیارهای وابسته به یک مبحث، امتیازدهی و وزن‌دهی شوند و سپس از سوی کارشناسان و گروه‌های ذی‌نفع رتبه‌بندی شوند (هیگس، ۲۰۰۶: ۱۰۵– ۱۱۷). تصمیم‌گیری چندمعیاره بر فرایند ارزش‌دهی به گزینه‌هایی که به‌وسیلهٔ چند معیار ارزیابی شده‌اند، دلالت دارد (مین و کریستین، ۱۹۹۹: ۴۰). سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به دو نوع سیستم‌های چندهدفه و سیستم‌های چندشاخصه تقسیم می‌شوند (اصغرپور، ۱۳۸۸: ۳۵۸– ۳۶۰) که هریک نیز انواعی دارند و با توجه به نوع کاربرد در مقایسه با یکدیگر، ضعف‌ها و قوت‌های مختص به خود را دارند. انتخاب یکی از این سیستم‌ها با توجه به ضعف‌ها و قوت‌های مذکور تا حدودی دشوار است. به‌طور دقیق‌تر، در مطالعهٔ حاضر، اگر به جای روش FAHP از روش AHP استفاده می‌شد، دو شاخص از میان شاخص‌ها یک نسبت داشتند، اما همواره چنین نیست. یک شاخص، بسته به شرایط زمانی و مکانی، اهمیت کمتر یا بیشتری نسبت به شاخص دیگر دارد. ضعف دیگر روش AHP– که در روش FAHP هم وجود دارد– نبود امکان استفاده از ایده‌آل‌های لایه‌های اطلاعاتی است؛ همان‌طورکه در روش TOPSIS، امکان استفاده از نظرهای کارشناسی به‌طور سیستماتیک وجود ندارد (مالزسکی، ۱۹۹۹: ۱۷۶). مقالهٔ حاضر نیز با استفاده از یک تکنیک ترکیبی سه‌گانه از اعداد فازی، روش سلسله‌مراتبی AHP و تکنیک رتبه‌بندی TOPSIS، سعی در ارائهٔ الگوی مناسبی از توزیع فضای سبز شهری در منطقهٔ ۱۵ شهرداری تهران دارد.

مبانی نظری

در بعضی مناطق، از جمله مناطق ۱۱، ۱۰، ۱۵ و ۷ شهر تهران، به‌دلیل تراکم مسکونی، فضای سبز کمتری وجود دارد که در اجرای طرح‌های بازسازی و ترمیم بافت فرسوده می‌توان این معضل را حل کرد. ضمن آنکه شهر تهران در معرض مشکل‌های مهمی چون آلودگی هوا و آلودگی‌های صوتی تراکم جمعیت در محل واحدهای فرسودهٔ مسکونی، تجاری و... قرار دارد. امروزه محققان بسیاری، از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در کنار سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل مسائل فضایی چون مکان‌یابی یا رتبه‌بندی فضاها استفاده می‌کنند. سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در ترکیب با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، پتانسیل زیادی برای کاهش هزینه و زمان و افزایش دقت در تصمیم‌گیری‌های فضایی دارد (جانوسکی، ۱۹۹۵: ۲۵۱) و چارچوب مناسبی برای حل مسائل فضایی فراهم می‌آورد؛ به‌طوری‌که در تجزیه و تحلیل مسائل فضایی باید به‌طور همزمان، حجم انبوهی از متغیرها درنظر گرفته شوند و تصمیم‌گیری‌ها براساس ارزش و وزن هریک از این متغیرها اتخاذ شود. نداشتن توجه کافی به متغیرهای تأثیرگذار در مسائل فضایی، تصمیم‌گیری‌ها را با شکست مواجه می‌کند و خسارت‌های سنگینی را برجای می‌گذارد. همچنین سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با توجه به نوع کاربرد، در مقایسه با یکدیگر ضعف‌ها و قوت‌های خاص خود را دارند. در این مقاله، با ترکیب دو روش FAHP و TOPSIS، با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، روش جدیدی برای انتخاب مکان بهینه به‌کار گرفته شده است. روش ترکیبی پیشنهادی در مقالهٔ حاضر به دنبال ترمیم ضعف‌های هریک از دو روش AHP یا TOPSIS است؛ به‌طوری‌که استفاده از مجموعه‌های فازی در ترکیب با مدل سلسله‌مراتبی (AHP)، نه تنها سبب رفع ابهام از نظرهای قیاسی کارشناسان در روش AHP می‌شود، بلکه میزان خطای تورش ناشی از مقایسهٔ دوبه‌دو لایه‌ها را نیز کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، دستاوردهای خروجی مدل ترکیبی FAHP به‌عنوان وزن معیارها در مدل TOPSIS به‌کار می‌رود و سبب افزایش دقت طبقه‌بندی در لایه‌های اطلاعاتی می‌شود (مالزسکی، ۱۹۹۹: ۱۷۶).

منطقهٔ مورد مطالعه

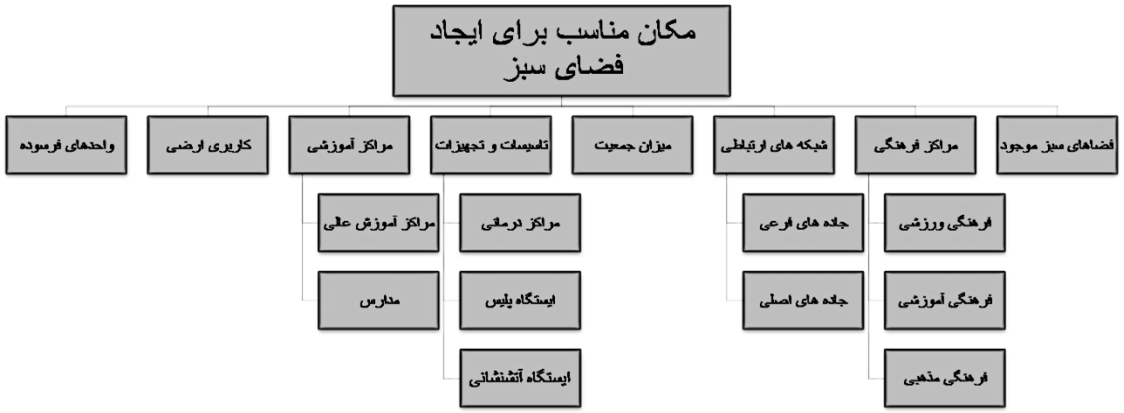
منطقهٔ ۱۵ شهرداری شهر تهران در جنوب شرقی شهر قرار گرفته و با وسعتی حدود ۱۶،۵۰۰ هکتار، حدود ۸۰۰ هزار نفر از جمعیت شهر تهران را در خود جای داده است. این منطقه، از جنوب با منطقهٔ ۲۱، از شمال با منطقهٔ ۱۴ و از شمال غربی و غرب، به‌ترتیب با مناطق ۱۲ و ۱۶ همسایه است. نکتهٔ شایان توجه درمورد این منطقه، وجود گسترهٔ وسیع بافت فرسوده است. البته در زمینهٔ ایمن‌سازی این بافت‌ها نیز فعالیت چشمگیری صورت گرفته، اما کافی نبوده است. در این زمینه، تهران از جمله شهرهایی است که با توجه به نحوهٔ توزیع جمعیت، توزیع مناسب فضای سبز شهری ندارد. در نقشهٔ تهیه‌شده از طریق تصاویر ماهواره‌ای، این منطقه کاملاً مشخص شده است (سازمان آمار کشور، ۱۳۸۵: ۳۲۷).



شکل ۱. محدودهٔ مورد مطالعه

داده‌ها

به‌منظور مکان‌یابی مناسب باید ارزش زمین‌های منطقه، از طریق لایه‌های اطلاعاتی ارزیابی شود. معمولاً هرچه عوامل بیشتری در ارائهٔ یک مدل دخیل باشند، دقت مدل بالاتر است و بر پیچیدگی آن نیز افزوده می‌شود. بهترین مدل، آن است که با کمترین تعداد عامل، بهترین نتیجه را ارائه کند (آل شیخ، ۱۳۸۰: ۵۱). برای ارزیابی زمین‌های شهری با استفاده از تکنیک ترکیبی FAHP و TOPSIS، از مجموعه‌ای از لایه‌های اطلاعاتی[1] استفاده شد. عناوین این لایه‌ها در شکل ۲ مشاهده می‌شود:



شکل ۲. عناوین لایه‌های اطلاعاتی به‌کاررفته در مکان‌یابی فضای سبز شهری، با استفاده از مدل FAHP و TOPSIS

روش پژوهش

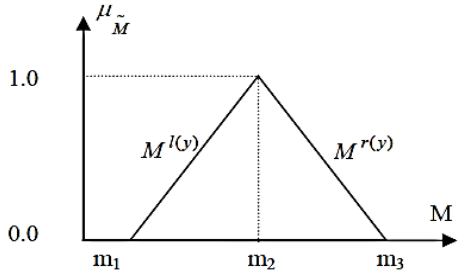
روش ترکیبی در مقالهٔ حاضر، به دنبال ترمیم ضعف‌های روش AHP یا TOPSIS به‌طور انفرادی و شامل دو مرحلهٔ اساسی است. مرحلهٔ اول، شامل ترکیب روش AHP با تئوری مجموعه‌های فازی است و از این طریق سعی می‌شود تا از طریق کاهش میزان خطای تورش در مقایسهٔ دوبه‌دو لایه‌ها، مقایسه‌های کمی دقیق‌تری بین لایه‌های مورد نظر انجام شود. در مرحلهٔ دوم، خروجی مقایسه‌های کمی در مرحلهٔ قبل به‌عنوان وزن‌های روش TOPSIS به‌کار گرفته می‌شوند. به‌این‌طریق، نه تنها از نظر کارشناسان در قالب مدل FAHP استفاده می‌شود، بلکه نزدیکی به نقطهٔ ایده‌آل هم به‌عنوان معیاری دیگر، در آنالیز لایه‌های اطلاعاتی مد نظر قرار می‌گیرد (چانگ و دیگران، ۱۹۹۹: ۴۳۳).

روش FAHP

در شکل سنتی مدل AHP، اعتبار مقایسه‌های دوبه‌دو از طریق اعداد قطعی بیان می‌شد (دانگ و دیگران، ۱۹۹۹: ۲۱۵–۲۳۱). حال آنکه بسته به شرایط، نظرهای کارشناسان، قطعی و دقیق نیست. این نبود قطعیت را می‌توان با منطق فازی نشان داد (بلمان و زاده، ۱۹۷۰: ۱۴۱–۱۶۴). درحقیقت، آنچه منطق فازی انجام می‌دهد، تبدیل دانش بشری در قالب فرمول ریاضی است (تشنه‌لب، ۱۳۷۸: ۴۱). در مدل AHP که از سوی ساعتی ارائه شده است، دو نوع فازی‌بودن تعریف می‌شود: یکی فازی‌بودن در درک پدیده‌ها و دیگری فازی‌بودن در معنا که وابسته به عملکرد پدیده‌هاست (جین و فام، ۲۰۰۱: ۱۷۳– ۱۸۴). شایان ذکر است که در روش FAHP به‌طور مستقیم از اعداد فازی استفاده نمی‌شود؛ بلکه فازی‌بودن به‌طور غیر مستقیم از نسبت‌های a_{ij} توأم با یک ساختار رده‌ای استفاده می‌کند (اصغرپور، ۱۳۸۸: ۳۵۸– ۳۶۰؛ لارهون و پدریکز، ۱۹۸۳: ۲۲۹– ۲۴۱).

۱. لایهٔ اطلاعاتی آلودگی هوا به‌دلیل نداشتن تغییر از میان لایه‌های مورد نظر حذف شد.

روش AHP در سال ۱۹۸۳ به این صورت توسعه یافت که به‌طور مثال، اگر گزینهٔ A_1 بر گزینهٔ A_2 ارجحیت داشته باشد، آن‌گاه $A_{12} = w_1/ w_2$ ممکن است به‌طور تقریبی ۳ بر ۱، ۵ بر ۱ یا بین ۶ بر ۱ تا ۸ بر ۱ بیان شود. این نوع تقریب می‌تواند بر مبنای اعداد فازی مثلثی یا ذوزنقه‌ای بیان شود. بیان نسبت فازی مثلثی به‌طور کلی به‌صورت زیر است (بوندیر و همکاران، ۱۹۸۶: ۱۳۳– ۱۳۴):



شکل ۳. اعداد فازی مثلثی

اعداد فازی مثلثی با سه عدد قطعی (m_1, m_2, m_3) بیان می‌شوند. مقادیر به‌ترتیب کمترین مقدار ممکن، محتمل‌ترین مقدار ممکن و بیشترین مقدار ممکن هستند که تابع عضویت آن‌ها به‌صورت زیر است:

$$\mu(x/\widetilde{M}) = \begin{cases} ۰ \text{ و } & x < m_۱ \\ (x - m_۱)/(m_۲ - m_۱), & m_۱ \le x \le m_۲ \\ (m_۳ - x)/(m_۳ - m_۲), & m_۲ \le x \le m_۳ \\ ۰ \text{ و } & x > m_۳ \end{cases} \quad (۱)$$

به‌طور کلی، اگر دو عدد فازی مثلثی به قرار زیر داشته باشیم، عملیات ضروری جمع و ضرب و معکوس آن‌ها به‌گونهٔ زیر است:

$$(m_۱, m_۲, m_۳) + (\acute{m}_۱, \acute{m}_۲, \acute{m}_۳) = (m_۱ + \acute{m}_۱ , m_۲ + \acute{m}_۲ , m_۳ + \acute{m}_۳) \quad (۲)$$

$$(m_۱, m_۲, m_۳) * \left(\acute{m}_۱, \acute{m}_۲, \acute{m}_۳\right) = (m_۱ * \acute{m}_۱ , m_۲ * \acute{m}_۲ , m_۳ * \acute{m}_۳) \quad (۳)$$

$$(m_۱, m_۲, m_۳)^{-۱} = (۱/m_۳, ۱/m_۲, ۱/m_۱) \quad (۴)$$

اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. مفاهیم و تعاریف FAHP براساس روش تحلیل توسعه‌ای تشریح می‌شود. در روش تحلیل توسعه‌ای، برای هریک از سطرهای ماتریس تصمیم‌گیری، مقدار S_K که خود یک عدد فازی مثلثی است، از طریق رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$S_k = \sum_{j=۱}^{n} M_{kj} * \left[\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=۱}^{n} M_{ij}\right]^{-۱} \quad (۵)$$

در رابطهٔ بالا k بیانگر شمارهٔ سطر و i و j به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ گزینه‌ها و شاخص‌ها هستند. در روش تحلیل توسعه-ای، پس از محاسبهٔ S_Kها، باید درجهٔ بزرگی آن‌ها نسبت به هم را به‌دست آورد. به‌طور کلی، اگر m_1 و m_2 دو عدد فازی مثلثی باشند، درجهٔ بزرگی m_1 بر m_2، که با $V(M_۱ \ge M_۲)$ نشان داده می‌شود، به‌صورت رابطهٔ زیر تعریف می‌شود (پرهیزکار و غفاری، ۱۳۸۵: ۶۷):

$$\begin{cases} V\left(M_{۱} \geq M_{۲}\right) = ۱ & \overset{\text{اگر}}{\rightarrow} m_{۱} \geq m_{۲} \\ V\left(M_{۱} \geq M_{۲}\right) = hgt\left(M_{۱} \cap M_{۲}\right) & \text{درغیراینصورت} \end{cases} \quad (۶)$$

همچنین داریم:

$$hgt\left(M_{۱} \cap M_{۲}\right) = \frac{m_{۳} - \acute{m}_{۱}}{(m_{۳} - \acute{m}_{۱}) + (\acute{m}_{۲} - m_{۲})} \quad (۷)$$

احتمال بزرگی یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر، از رابطهٔ ۸ به‌دست می‌آید (Buckley، ۱۹۸۵: ۲۳۳):

$$V\left(M_{۱} \geq M_{۲}, \ldots, M_{k}\right) = V\left(M_{۱} \geq M_{۲}\right), \ldots, V\left(M_{۱} \geq M_{k}\right) = \min V\left(M_{۱} \geq M_{i}\right), \quad (۸)$$
$$i = ۱, ۲, ۳, \ldots, k$$

برای محاسبهٔ وزن شاخص‌ها در ماتریس تصمیم‌گیری، به‌شکل رابطهٔ ۹ عمل می‌شود:

$$\acute{W}(x_i) = Min\left\{V\left(S_i \geq S_k\right)\right\}, \qquad k = ۱, ۲, ۳, \ldots, n. \qquad k \neq i \quad (۹)$$

بنابراین، بردار وزنی شاخص‌ها[1] به‌صورت رابطهٔ ۱۰ است:

$$\acute{W}(x_i) = \left[\acute{W}\left(c_{۱}\right), \acute{W}\left(c_{۲}\right), \acute{W}\left(c_{۳}\right), \ldots, \acute{W}\left(c_{n}\right)\right]^{T} \quad (۱۰)$$

در مرحلهٔ آخر به کمک رابطهٔ ۱۱ از طریق نرمال‌سازی، بردار وزنی نرمال شاخص‌ها را محاسبه می‌کنیم:

$$W(x_i) = \left[W\left(c_{۱}\right), W\left(c_{۲}\right), W\left(c_{۳}\right), \ldots, W\left(c_{n}\right)\right]^{T} \quad (۱۱)$$

نتایج نرمال‌شدهٔ حاصل از رابطهٔ ۱۱، W نامیده می‌شود که شامل اعداد غیر فازی است.

روش TOPSIS

در این روش که اولین بار، هوانگ و یونگ (۱۹۸۱: ۲۴۱) از آن استفاده کردند، فاصلهٔ یک گزینهٔ A_{i} از نقطهٔ ایده‌آل مثبت (بهترین وضعیت) و نقطهٔ ایده‌آل منفی (بدترین وضعیت) محاسبه می‌شود. به‌صورتی‌که هریک از گزینه‌ها که فاصلهٔ کمتری از نقطهٔ ایده‌آل مثبت و درعین حال، فاصلهٔ بیشتری از نقطهٔ ایده‌آل منفی دارد، بر سایر گزینه‌ها ارجحیت می‌یابد. روش TOPSIS شامل شش مرحلهٔ زیر است (ولسون، ۲۰۰۴: ۲۵):

مرحلهٔ اول: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری برای انجام رتبه‌بندی؛ ماتریس تصمیم‌گیری ساختاری مشابه ماتریس زیر دارد:

$$\begin{matrix} & F۱ & F۲ \ldots\ldots & F_{n} \end{matrix} \quad (۱۲)$$
$$D = \begin{matrix} A_{۱} \\ A_{۲} \\ \vdots \\ A_{m} \end{matrix} \begin{bmatrix} f_{۱۱} & f_{۱۲} & \ldots f_{۱n} \\ f_{۲۱} & f_{۲۲} & \ldots f_{۲n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{m۱} & f_{m۲} & \ldots f_{mn} \end{bmatrix}$$

1. Weight vector

در ماتریس فوق، A_i نمایهٔ گزینهٔ i، F_J ویژگی شاخص jام و f_{ij} نمایهٔ ویژگی شاخص jام گزینهٔ iام است.

مرحلهٔ دوم: تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری به «ماتریس بی‌مقیاس‌شده»[1] با استفاده از رابطهٔ زیر:

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n} f_{ij}^{2}}} ; j = 1, 2, 3, \dots, n; i = 1, 2, 3, \dots, m \qquad (۱۳)$$

مرحلهٔ سوم: ایجاد «ماتریس بی‌مقیاس وزین» که از ضرب ماتریس بی‌مقیاس در وزن‌های متناظرش به‌وجود می‌آید. مقادیر ماتریس بی‌مقیاس وزین V_{ij} با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شوند:

$$v_{ij} = w_{ij}\, r_{ij} \qquad (۱۴)$$

مرحلهٔ چهارم: این مرحله شامل مشخص‌کردن گزینهٔ ایده‌آل مثبت V^+ و گزینهٔ ایده‌آل منفی V^- در میان هریک از شاخص‌هاست:

$$V^+ = \left\{V_1^+, V_2^+, \cdots, V_n^+\right\} = \left\{\left(Max\ v_{ij} \mid j \in J\right), \left(Min\ v_{ij} \mid j \in J'\right)\right\} \qquad (۱۵)$$

$$V^- = \left\{V_1^-, V_2^-, \cdots, V_n^-\right\} = \left\{\left(Min\ v_{ij} \mid j \in J\right), \left(Max\ v_{ij} \mid j \in J'\right)\right\} \qquad (۱۶)$$

در رابطه‌های بالا J پارامتر مربوط به شاخص مثبت و J' پارامتر مربوط به شاخص منفی است.

مرحلهٔ پنجم: محاسبهٔ فاصلهٔ جدایی، بر مبنای فاصلهٔ اقلیدسی از گزینهٔ ایده‌آل مثبت D_i^+ و گزینهٔ ایده‌آل منفی D_i^- به قرار زیر:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - V_j^+\right)^2}, i = 1, 2, 3, \dots, m \qquad (۱۷)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - V_j^-\right)^2}, i = 1, 2, 3, \dots, m \qquad (۱۸)$$

مرحلهٔ ششم: محاسبهٔ میزان نزدیکی نسبی A_i به گزینهٔ ایده‌آل که به‌شکل زیر تعریف می‌شود (اولسن، ۲۰۰۴: ۷۲۱–۷۲۷):

$$\bar{C}_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} ; 0 \le \bar{C}_i \le 1 ; i = 1, 2, 3, \dots, m \qquad (۱۹)$$

پس از مراحل مذکور، گزینه‌ها بر مبنای مقادیر $\bar{C}_i$ به‌طریق نزولی یا صعودی رتبه‌بندی می‌شوند.

بحث و یافته‌ها

در ابتدا پس از واردکردن لایه‌های اطلاعاتی (شکل ۲) در نرم‌افزار ArcGIS، این لایه‌ها به لایه‌های رستری تبدیل شدند. سپس امتیاز هریک از طبقه‌های داخلی در هر لایهٔ اطلاعاتی، به‌عبارتی ارزشگذاری پیکسل‌ها با توجه به میزان فاصله از عوامل تأثیرگذار با توجه به دو مؤلفهٔ زمان و مکان برحسب صد متر به صد متر درنظر گرفته شد (جدول‌های ۱ و جدول ۲). هر لایهٔ اطلاعاتی با توجه به اهداف پژوهش در ده گروه، طبقه‌بندی شد (به‌جز لایه‌های اطلاعاتی کاربری ارضی، تراکم جمعیتی و بلوک‌های فرسوده که برمبنای فاصله به‌کار نمی‌روند).

1. Normalized Matrix

جدول ۱. ماتریس ارزشگذاری لایه‌های رستری برحسب فاصله (متر)

فاصله (متر)	پارک‌ها	شبکهٔ راه	م. فرهنگی	م. آموزشی	تأسیسات
۰–۱۰۰	۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
۱۰۰–۲۰۰	۲	۹	۹	۹	۹
۲۰۰–۳۰۰	۳	۸	۸	۸	۸
۳۰۰–۴۰۰	۴	۷	۷	۷	۷
۴۰۰–۵۰۰	۵	۶	۶	۶	۶
۵۰۰–۶۰۰	۶	۵	۵	۵	۵
۶۰۰–۷۰۰	۷	۴	۴	۴	۴
۷۰۰–۸۰۰	۸	۳	۳	۳	۳
۸۰۰–۹۰۰	۹	۲	۲	۲	۲
۹۰۰ به بالا	۱۰	۱	۱	۱	۱

منبع: سازمان عمران و شهرسازی، شهرداری تهران بزرگ، ۱۳۸۵

جدول ۲. ماتریس ارزشگذاری لایه‌های رستری لایه‌های کاربری، تراکم جمعیت و بلوک‌های فرسوده

تراکم جمعیت	امتیاز
۳–۱۵	۱
۱۵–۲۷	۲
۲۷–۳۹	۳
۳۹–۵۱	۴
۵۱–۶۳	۵
۶۳–۷۵	۶
۷۵–۸۷	۷
۸۷–۹۹	۸
۹۹–۱۱۱	۹
۱۱۱–۱۲۳	۱۰

بلوک فرسوده	امتیاز
خیلی فرسوده	۱۰
قدیمی	۸
بینابین	۶
جدید	۴
نوساز	۲
دردست ساخت	۰

کاربری	امتیاز
بایر، باغ	۱۰
ورزشی	۸
اداری، تجاری	۶
فرهنگی	۴
مذهبی، مسکونی	۲
فضای سبز	۰
شبکهٔ راه‌ها	بدون داده

منبع: سازمان عمران و شهرسازی، شهرداری تهران بزرگ، ۱۳۸۵

در مرحلهٔ بعد، وزن هریک از لایه‌های اطلاعاتی، با استناد به منابع مختلف در مکان‌یابی فضای سبز و اعمال نظر کارشناسی (جدول ۳) در هریک از شاخه‌های اصلی یا زیرشاخه‌های فرعی با استفاده از تکنیک FAHP– به‌صورتی‌که در قسمت بعد بیان می‌شود– محاسبه شد:

جدول ۳. ماتریس وزن‌های فازی

پارامترها	کاربری	تراکم جمعیت	بلوک فرسوده	تأسیسات	م. آموزشی	م. فرهنگی	شبکهٔ راه	پارک‌ها
کاربری	(۱،۱،۱)	(۱/۰،۱،۱/۵)	(۱،۱/۵،۱/۶)	(۱،۴/۵،۲)	(۱/۱،۴/۹۷،۱/۱)	(۱/۱،۴/۵،۱/۲)	(۱/۱،۵/۱،۸/۵۲)	(۱/۱،۶۶،۲/۳)
تراکم جمعیت	(۵/۷۰،۱،۱/۱)	(۱،۱،۱)	(۷/۵۰،۱/۶۳،۱/۱)	(۱/۰،۲/۵،۱،۷/۵)	(۱/۱،۴/۹،۱/۱)	(۱/۱،۴/۱،۹/۵)	(۱/۱،۴/۱،۱/۲)	(۲/۵۱،۸/۵۱،۳)
بلوک فرسوده	(۱/۰،۸/۷۴،۱/۱)	(۱/۰،۱/۰،۳/۵)	(۱،۱،۱)	(۷/۵۰،۱/۱،۶/۴)	(۱،۲/۵،۱،۵)	(۱/۴۳،۱/۱،۵)	(۱/۰،۳/۷۷،۱/۱)	(۱/۵۵،۱/۱،۲)
تأسیسات	(۵/۰،۶/۰،۱)	(۵/۴۰،۱/۰،۱/۱)	(۱/۰،۱/۰،۳/۵)	(۱،۱،۱)	(۱/۰،۱/۱،۴/۱)	(۸/۵/۲۵،۱/۱،۴/۱)	(۱/۳،۱/۱،۵/۱)	(۹/۲۰،۴/۱،۶/۵/۱)
م. آموزشی	(۵/۰،۱/۰،۱/۰)	(۵/۲۰،۱/۰،۱/۰)	(۶/۷۰،۱/۰،۱)	(۷/۱/۰،۸/۲/۵،۱/۱)	(۱،۱،۱)	(۷/۰،۱،۴/۱)	(۸/۲۰،۲/۱،۵/۶/۱)	(۱/۰،۳/۵/۷،۱/۱)
م. فرهنگی	(۴/۷۰،۶/۰،۱/۰)	(۵/۲۰،۱/۰،۱/۰)	(۶/۷۰،۱/۰،۱/۰)	(۶/۷۰،۱/۰،۱/۱)	(۷/۱/۰،۱،۴/۱)	(۱،۱،۱)	(۷/۵۰،۱/۱،۴/۵/۱)	(۱/۳۵،۱/۱،۶/۵/۱)
شبکهٔ راه	(۳/۵۰،۶/۷۰،۷/۷۰)	(۴/۷۰،۱/۰،۸/۴۰)	(۵/۱/۰،۷/۵/۱،۱/۱)	(۶/۷۰،۷/۷/۲۵،۱/۱)	(۶/۴/۰،۸/۴/۲،۱/۱)	(۶/۱/۰،۱/۰،۳/۴/۱)	(۱،۱،۱)	(۷/۲۵،۱/۱،۴/۵/۱)
پارک‌ها	(۲/۷۵،۱/۰،۷/۷۰)	(۳/۴/۵۴،۱/۰،۱/۰)	(۵/۶۴،۱/۰،۱/۱)	(۶/۰،۷/۰،۰،۱/۱)	(۵/۱/۷۴،۱/۰،۱/۱)	(۶/۰،۷/۰،۱/۱)	(۶/۱/۰،۱/۴،۱/۱)	(۱،۱،۱)

منبع: نگارندگان

در این مرحله، با استفاده از تعاریف فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، ضرایب هریک از ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی، از طریق رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود:

$$\left[\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}\right]^{-1} = (539 \quad 66/88 \quad 91/21)^{-1} = (0/01 \quad 0/014 \quad 0/017)$$

$$S_{\text{کابری}} = (1/8 \quad 10/59 \quad 16/98) \times (0/01 \quad 0/015 \quad 0/017) = (0/08 \quad 0/16 \quad 0/30)$$

$$S_{\text{تراکم جمعیت}} = (87/7 \quad 4/10 \quad 1/15) \times (0/01 \quad 0/015 \quad 0/017) = (0/018 \quad 0/15 \quad 26/0)$$

$$S_{\text{بلوک افسرده}} = (6/87 \quad 43/9 \quad 12/1) \times (0/01 \quad 0/015 \quad 0/017) = (0/07 \quad 0/14 \quad 0/21)$$

$$S_{\text{تأسیسات}} = (6/02 \quad 54/8 \quad 5/10) \times (0/01 \quad 0/015 \quad 0/017) = (0/06 \quad 0/12 \quad 0/18)$$

$$S_{\text{م.آموزشی}} = (5/83 \quad 61/7 \quad 72/9) \times (0/01 \quad 0/015 \quad 0/017) = (0/06 \quad 0/11 \quad 0/17)$$

$$S_{\text{م.فرهنگی}} = (5/68 \quad 35/7 \quad 43/9) \times (0/01 \quad 0/015 \quad 0/017) = (0/05 \quad 0/10 \quad 0/16)$$

$$S_{\text{شبکه راه}} = (5/1 \quad 6/89 \quad 8/96) \times (0/01 \quad 0/015 \quad 0/017) = (0/05 \quad 0/10 \quad 0/15)$$

$$S_{\text{پارک‌ها}} = (4/59 \quad 5/68 \quad 41/8) \times (0/01 \quad 0/015 \quad 0/017) = (0/05 \quad 0/08 \quad 0/15)$$

حال باید احتمال بزرگی هریک از لایه‌های اطلاعاتی را بر دیگر لایه‌ها محاسبه کنیم محاسبه‌ها با استفاده از رابطهٔ ۶ انجام می‌شود. جدول ۴ محاسبه‌های مربوط را نشان می‌دهد.

جدول ۴. احتمال بزرگی هریک از لایه‌های اطلاعاتی بر دیگر لایه‌ها

$V(S_{\text{کاربری}} \geq S_{\text{شبکه‌راه}})$=۰/۵۳۸	$V(S_{\text{کاربری}} \geq S_{\text{م‌آموزشی}})$=۰/۶۴۲	$V(S_{\text{کاربری}} \geq S_{\text{بلوک‌فرسوده}})$=۰/۸۶۷	$V(S_{\text{کاربری}} \geq S_{\text{تراکم‌جمعیت}})$=۱
$V(S_{\text{تراکم‌جمعیت}} \geq S_{\text{شبکه‌راه}})$=۰/۵۸۳	$V(S_{\text{تراکم‌جمعیت}} \geq S_{\text{م‌آموزشی}})$=۰/۶۹۲	$V(S_{\text{تراکم‌جمعیت}} \geq S_{\text{بلوک‌فرسوده}})$=۰/۹۲۸	$V(S_{\text{بلوک‌فرسوده}} \geq S_{\text{کاربری}})$=۱
$V(S_{\text{بلوک‌فرسوده}} \geq S_{\text{شبکه‌راه}})$=۰/۶۶۷	$V(S_{\text{بلوک‌فرسوده}} \geq S_{\text{م‌آموزشی}})$=۰/۷۶۹	$V(S_{\text{تاسیسات}} \geq S_{\text{بلوک‌فرسوده}})$=۱	$V(S_{\text{تاسیسات}} \geq S_{\text{کاربری}})$=۱
$V(S_{\text{تاسیسات}} \geq S_{\text{شبکه‌راه}})$=۰/۸۱۸	$V(S_{\text{تاسیسات}} \geq S_{\text{م‌آموزشی}})$=۰/۹۱۶	$V(S_{\text{م‌آموزشی}} \geq S_{\text{بلوک‌فرسوده}})$=۱	$V(S_{\text{م‌آموزشی}} \geq S_{\text{کاربری}})$=۱
$V(S_{\text{م‌آموزشی}} \geq S_{\text{شبکه‌راه}})$=۹/	$V(S_{\text{م‌فرهنگی}} \geq S_{\text{م‌آموزشی}})$=۱	$V(S_{\text{م‌فرهنگی}} \geq S_{\text{بلوک‌فرسوده}})$=۱	$V(S_{\text{م‌فرهنگی}} \geq S_{\text{کاربری}})$=۱
$V(S_{\text{م‌فرهنگی}} \geq S_{\text{شبکه‌راه}})$=۱	$V(S_{\text{شبکه‌راه}} \geq S_{\text{م‌آموزشی}})$=۱	$V(S_{\text{شبکه‌راه}} \geq S_{\text{بلوک‌فرسوده}})$=۱	$V(S_{\text{شبکه‌راه}} \geq S_{\text{کاربری}})$=۱
$V(S_{\text{پارک‌ها}} \geq S_{\text{شبکه‌راه}})$=۱	$V(S_{\text{پارک‌ها}} \geq S_{\text{م‌آموزشی}})$=۱	$V(S_{\text{پارک‌ها}} \geq S_{\text{بلوک‌فرسوده}})$=۱	$V(S_{\text{پارک‌ها}} \geq S_{\text{کاربری}})$=۱
$V(S_{\text{کاربری}} \geq S_{\text{پارک‌ها}})$=۰/۴۶۷	$V(S_{\text{کاربری}} \geq S_{\text{م‌فرهنگی}})$=۰/۵۷۱	$V(S_{\text{کاربری}} \geq S_{\text{تاسیسات}})$=۰/۷۱۴	$V(S_{\text{کاربری}} \geq S_{\text{تراکم‌جمعیت}})$=۰/۹۴۷
$V(S_{\text{تراکم‌جمعیت}} \geq S_{\text{پارک‌ها}})$=۰/۵	$V(S_{\text{تراکم‌جمعیت}} \geq S_{\text{م‌فرهنگی}})$=۰/۶۱۵	$V(S_{\text{تراکم‌جمعیت}} \geq S_{\text{تاسیسات}})$=۰/۷۶۹	$V(S_{\text{بلوک‌فرسوده}} \geq S_{\text{تراکم‌جمعیت}})$=۱
$V(S_{\text{بلوک‌فرسوده}} \geq S_{\text{پارک‌ها}})$=۰/۵۷۱	$V(S_{\text{بلوک‌فرسوده}} \geq S_{\text{م‌فرهنگی}})$=۰/۶۹۲	$V(S_{\text{بلوک‌فرسوده}} \geq S_{\text{تاسیسات}})$=۰/۸۴۶	$V(S_{\text{تاسیسات}} \geq S_{\text{تراکم‌جمعیت}})$=۱
$V(S_{\text{تاسیسات}} \geq S_{\text{پارک‌ها}})$=۰/۶۹۲	$V(S_{\text{تاسیسات}} \geq S_{\text{م‌فرهنگی}})$=۰/۸۳۳	$V(S_{\text{م‌آموزشی}} \geq S_{\text{تاسیسات}})$=۱	$V(S_{\text{م‌آموزشی}} \geq S_{\text{تراکم‌جمعیت}})$=۱
$V(S_{\text{م‌آموزشی}} \geq S_{\text{پارک‌ها}})$=۰/۷۵	$V(S_{\text{م‌آموزشی}} \geq S_{\text{م‌فرهنگی}})$=۰/۹۰۹	$V(S_{\text{م‌فرهنگی}} \geq S_{\text{تاسیسات}})$=۱	$V(S_{\text{م‌فرهنگی}} \geq S_{\text{تراکم‌جمعیت}})$=۱
$V(S_{\text{م‌فرهنگی}} \geq S_{\text{پارک‌ها}})$=۰/۸۳۳	$V(S_{\text{شبکه‌راه}} \geq S_{\text{م‌فرهنگی}})$=۱	$V(S_{\text{شبکه‌راه}} \geq S_{\text{تاسیسات}})$=۱	$V(S_{\text{شبکه‌راه}} \geq S_{\text{تراکم‌جمعیت}})$=۱
$V(S_{\text{شبکه‌راه}} \geq S_{\text{پارک‌ها}})$=۰/۸۳۳	$V(S_{\text{پارک‌ها}} \geq S_{\text{م‌فرهنگی}})$=۱	$V(S_{\text{پارک‌ها}} \geq S_{\text{تاسیسات}})$=۱	$V(S_{\text{پارک‌ها}} \geq S_{\text{تراکم‌جمعیت}})$=۱

منبع: نگارندگان

پس از تعیین درجهٔ بزرگی هریک از عناصر بر عناصر دیگر، نوبت به محاسبهٔ بزرگی یک S_i نسبت به سایر S_iها می‌رسد. محاسبه‌های مربوط، با استفاده از رابطهٔ ۹ انجام می‌پذیرد.

Min V (S کاربری ≥ S تراکم‌جمعیت S بلوک‌فرسوده S تأسیسات S م.آموزشی S م.فرهنگی S شبکه‌راه S پارک‌ها)

min V (۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۱ و و ۱) = ۱۰۰

Min V (S تراکم جمعیت ≥ S کاربری S بلوک‌فرسوده S تأسیسات S م.آموزشی S م.فرهنگی S شبکه‌راه S پارک‌ها)

min V (۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۰/۹۴۷) = ۰/۹۴۷

Min V (S بلوک افسرده ≥ S کاربری S تراکم جمعیت S تأسیسات S م.آموزشی S م.فرهنگی S شبکه‌راه S پارک‌ها)

min V (۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۰/۹۲۸ و ۰/۸۶۷) = ۰/۸۶۷

Min V (S تأسیسات ≥ S کاربری S تراکم جمعیت S بلوک‌افسرده S م.آموزشی S م.فرهنگی S شبکه‌راه S پارک‌ها)

min V (۱ و ۱ و ۱ و ۱ و ۰/۸۴۶ و ۰/۷۶۹ و ۰/۷۱۴) = ۰/۷۱۴

Min V (S م.آموزشی ≥ S کاربری S تراکم جمعیت S بلوک‌افسرده S تأسیسات S م.فرهنگی S شبکه‌راه S پارک‌ها)

min V (۱ و ۱ و ۱ و ۰/۹۱۶ و ۰/۷۶۹ و ۰/۶۹۲ و ۰/۶۴۲) = ۰/۶۴۲

Min V (S م.فرهنگی ≥ S کاربری S تراکم جمعیت S بلوک‌افسرده S تأسیسات S م.آموزشی S شبکه‌راه S پارک‌ها)

min V (۱ و ۱ و ۰/۹۰۹ و ۰/۸۳۳ و ۰/۶۹۲ و ۰/۶۱۵ و ۰/۵۷۱) = ۰/۵۷۱

Min V (S شبکه‌راه ≥ S کاربری S تراکم جمعیت S بلوک‌افسرده S تأسیسات S م.آموزشی S م.فرهنگی S شبکه‌راه S پارک‌ها)

min V (۱ و ۱ و ۰/۹ و ۰/۸۱۸ و ۰/۶۶۷ و ۰/۵۸۳ و ۰/۵۳۸) = ۰/۵۳۸

Min V (S پارک‌ها ≥ S کاربری S تراکم‌جمعیت S بلوک‌افسرده S تأسیسات S آموزشی S م.فرهنگی S شبکه‌راه S)

min V (۰/۸۳۳ و ۰/۸۳۳ و ۰/۷۵ و ۰/۵۷۱ و ۰/۵ و ۰/۴۶۷) = ۰/۴۶۷

سپس می‌توان با استفاده از رابطهٔ ۱۰ بردار وزنی شاخص‌ها را محاسبه کرد:

$$W'(x_i)=[۱۰۰ \quad ۰/۹۴۷۰ \quad ۰/۸۶۷ \quad ۰/۷۱۴۰ \quad ۰/۶۴۲۰ \quad ۰/۵۷۱ \quad ۰/۵۳۸۰ \quad ۰/۴۶۷]^T$$

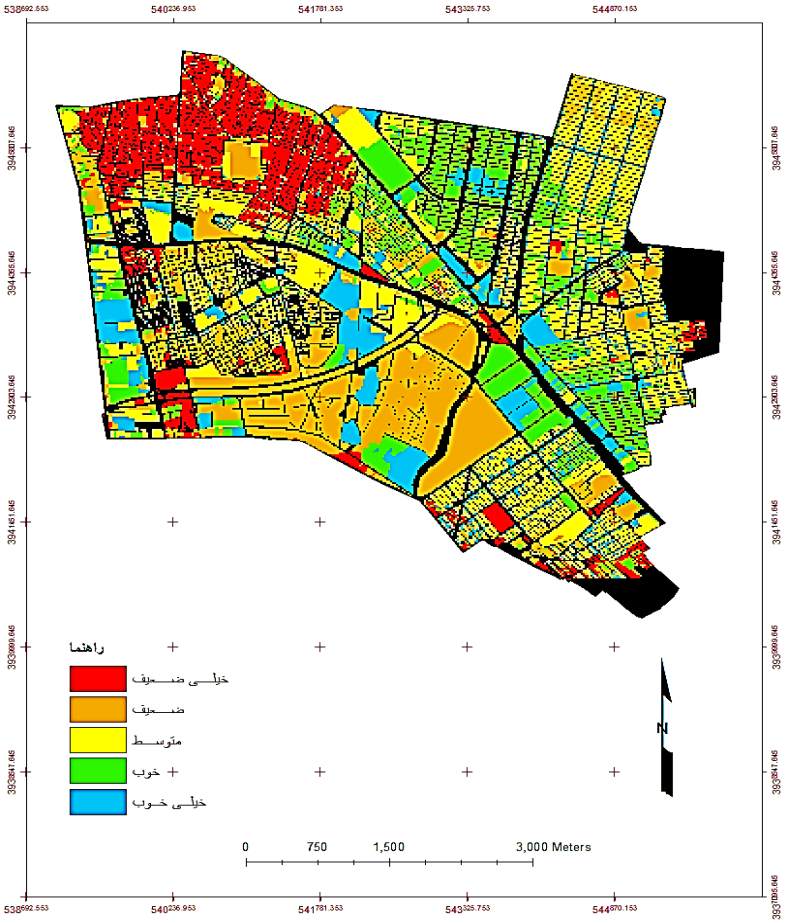
درنهایت، بردار وزنی شاخص‌ها- که در قسمت قبل محاسبه شد- با استفاده از رابطهٔ ۱۰ نرمالیزه می‌شود. اوزان نرمال‌شده در جدول ۵ نمایش داده شده‌اند:

جدول ۵. ماتریس وزن‌های محاسبه‌شده از جدول فازی به‌شکل قطعی

پارک‌ها	شبکهٔ راه	م. فرهنگی	م. آموزشی	تأسیسات	بلوک فرسوده	تراکم جمعیت	کاربری
۰/۰۸۹۷	۰/۱۰۱۰	۰/۱۰۷۸	۰/۱۱۱۲	۰/۱۲۰۹	۰/۱۳۷۹	۰/۱۶۰۰	۰/۱۷۱

منبع: نگارندگان

درادامه، اوزان مذکور- که درحقیقت خروجی مدل FAHP هستند- به‌عنوان وزن‌های مدل TOPSIS به‌کار گرفته شدند. خروجی مدل TOPSIS، یعنی نقشهٔ مکان بهینهٔ فضای سبز شهری در منطقهٔ ۱۵ شهرداری تهران، در شکل ۴ مشاهده می‌شود:



شکل ۴. نقشهٔ مکان بهینهٔ فضای سبز شهری در منطقهٔ ۱۵ شهرداری تهران با استفاده از مدل ترکیبی FAHP و TOPSIS

نتیجه‌گیری

پس از تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز اهداف پژوهش، این لایه‌ها در سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) به فرمت رستری با پیکسل سایز ۳۰ ×۳۰ تبدیل شد. سپس با به‌دست‌آوردن ارزش فازی لایه‌های اطلاعاتی (جدول ۵) و

طبقه‌های پارامترها از طریق محاسبه‌های ریاضی و تعیین حدود فازی‌بودن لایه‌ها، اوزان نهایی به‌صورت عددی که ارزشی بین صفر تا یک دارند، در محیط نرم‌افزار GIS روی تک‌تک پارامترها اعمال شدند و خروجی نهایی پارامترها به‌صورت نقشهٔ GIS براساس ارزش لایه‌ها به‌دست آمد. در این فرایند، داده‌های اطلاعاتی مورد استفاده برای مکان‌یابی که قبل از فازی‌کردن گسسته بودند و قطعیت نداشتند، با استفاده از منطق مدل فازی، به داده‌های پیوسته تبدیل شدند. درواقع، منطق فازی، راه حلی برای تبدیل داده‌های گسسته به داده‌های پیوسته است.

در نقشهٔ پارامترهای مورد استفاده در پژوهش که از منطق فازی استفاده شده است، هر پیکسل، ارزشی بین ۰ تا به‌صورت اعداد فازی دارد که به‌صورت پیوسته است. در این روش، هرقدر یک لایهٔ اطلاعاتی وزن نهایی بیشتری داشته باشد، ارزش بیشتری دارد. به‌عبارت دیگر، هرچه ارزش لایه یا زیرلایهٔ اطلاعاتی به یک نزدیک‌تر باشد، ارزش بیشتری دارد و برای مکان‌گزینی مناسب‌تر است. نقشهٔ نهایی، براساس مدل ترکیبی FAHP و TOPSIS در محیط GIS تهیه شد.

براساس شکل ۱، تأثیرگذاری مهم‌ترین زیرلایه‌ها و کلاس‌های طبقه‌های پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی، با استفاده از FAHP و TOPSIS به شرح زیر است:

جدول ۶. مهم‌ترین زیرلایه‌ها و طبقه‌های پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی با مدل FAHP و TOPSIS

ترتیب	پارامترهای مؤثر	زیرلایه‌ها و طبقه‌های مؤثر	وزن‌های به‌دست‌آمده در مدل
۱	واحدهای فرسوده	خیلی فرسوده، قدیمی، بینابین، جدید نوساز، دردست ساخت	۰/۴۹۱
۲	کاربری اراضی	بایر، باغ، ورزشی، اداری، تجاری، مذهبی، مسکونی، فضای سبز، فرهنگی	۰/۲۰۹۱
۳	مراکز آموزشی	مراکز آموزشی عالی،	۰/۲۱۹۲
۴	تأسیسات و تجهیزات	مراکز درمانی، مراکز تجاری، ایستگاه پلیس، مراکز خدماتی	۰/۲۳۷۷
۵	میزان جمعیت	۱۰،۰۰۰ -۵۰۰،۰۰۰	۰/۲۳۷۵
۶	مراکز فرهنگی	فرهنگی- ورزشی، فرهنگی- آموزشی، فرهنگی- مذهبی، فرهنگی	۰/۱۹۳۸
۷	شبکه‌های ارتباطی	اتوبان، خیابان، کوچه، بن‌بست	۰/۲۰۱۵
۸	فضاهای متعبر	تمامی فضاها	۰/۱۸۳۹

منبع: نگارندگان

دخالت‌دادن داده‌های کم و ناقص پارامترها و درنظرگرفتن بازه‌ای مشخص و واقعی برای این داده‌ها در جهت وزن‌دهی و طبقه‌بندی اطلاعات از طریق مدل FAHP و TOPSIS، سبب افزایش دقت در مکان‌یابی شده است. یکی از نتایج مهم این پژوهش این است که هریک از سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، ضعف‌ها و قوت‌های مختص به خود را دارند. یکی از راه‌های بهبود بخشیدن یا حذف ضعف‌های هریک از این سیستم‌ها، استفاده از دو یا چند تکنیک در قالب یک سیستم ترکیبی است. البته باید توجه داشت که ترکیب این سیستم‌ها باید از پشتوانه‌ای منطقی و توجیه علمی برخوردار باشد. در این مقاله، نویسندگان برای حل مسائل فضایی، روش جدیدی را با استفاده از ترکیب مجموعه‌های فازی، سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پیشنهاد کردند تا از این طریق، به تصمیم‌گیرندگان مسائل فضایی کمک کنند تا از میان گزینه‌ها- مکان‌های مستعد برای ایجاد فضای سبز شهری در منطقهٔ ۱۵ شهر تهران- بهترین گزینه را با اطمینان بیشتر و دشواری کمتر انتخاب کنند. در این زمینه، علاوه بر اینکه با استفاده از مجموعه‌های فازی در ترکیب با مدل سلسله‌مراتبی، ابهام، بخشی از سیستم مدل می‌شود، میزان خطای تورش ناشی از مقایسهٔ دوبه‌دو لایه‌ها نیز کاهش می‌یابد. درنهایت، ترکیب مدل FAHP با مدل TOPSIS استفادهٔ همزمان

نظرهای کارشناسی در کنار ایده‌آل‌های لایه‌های اطلاعاتی را ممکن می‌سازد. طبقه‌بندی مکان‌های منطقهٔ ۱۵ شهر تهران برای ایجاد فضای سبز با استفاده از تکنیک ترکیبی FAHP و TOPSIS به‌صورت خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف انجام گرفت. می‌توان به زمین‌هایی که تناسب خیلی خوب و خوب دارند (قسمت‌هایی که با رنگ آبی و سبز مشخص شده‌اند)، برای ایجاد فضای سبز شهری توجه کرد. این زمین‌ها از هر جهت، برای ایجاد فضای سبز، برتر از سایر زمین‌ها هستند و از نظر تراکم جمعیتی، نیاز بیشتری به فضای سبز دارند.

منابع

۱. آل شیخ، ع . ا .، سلطانی، م .ج. و هلالی. ح.، ۱۳۸۱، **کاربرد GIS در مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی،** شمارهٔ هفدهم، شمارهٔ ۴، صص ۲۳– ۳۸.

۲. آرنوف، استن، ۱۳۷۵، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ترجمهٔ سازمان نقشه‌برداری کشور، چاپخانهٔ سازمان نقشه‌برداری، تهران.

۳. اصغرپور، م. ج.، ۱۳۸۸، **سامانهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره،** دانشگاه تهران، تهران.

۴. علایی طالقانی، م، ۱۳۸۱، **ژئومرفولوژی ایران، شماره‌های ۱۳۳۰ و ۱۳۳۷،** چاپ اول، نشر قومس، تهران.

۵. قدسی‌پور، ح .، ۱۳۸۵، **مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره،** انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، تهران.

۶. مرکز آمار ایران، ۱۳۸۶، ۱۳۷۵، **سالنامهٔ آماری استان فارس.**

۷. مهدوی، محمد، ۱۳۸۲، **هیدرولوژی کاربردی،** جلد اول و دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

8. Alsheikh, M., Soltani A. and Helali A., 2001, **Applications GIS in Flood Spreading Site Selection,** Journal of Geographic Research, 551, P. 51. *(In Persian)*

9. Asgharpour, M. J., 2009, **Multi-Criteria Decision-Making,** University of Tehran Publications. *(In Persian)*

10. Bellman, R. E. and Zadeh, L. A., 1970, **Decision Making in a Fuzzy Environment,** Management Science, No. 17, PP. 141-164.

11. Boender, C. G. E., De Graan, J. G. and Lootsma, F. A., 1989, **Multi Criteria-Decision Analysis With Fuzzy Pairwise Comparisons**, Fuzzy Sets and Systems, No. 29, PP. 133-134.

12. Buckley, J. J., 1985, **Fuzzy Hierarchical Analysis**, Fuzzy Sets and Systems, 17, 233.

13. Chang, D. Y., 1996, **Applications of the Extent Analysis Method on fuzzy AHP**, European Journal of Operational Research, No. 95, PP. 649–655.

14. Chen, G. and Pham, T. T., 2001, **Introduction to Fuzzy Sets Fuzzy,** Logic and Fuzzy Control Systems, CRC Press, Florida.

15. Cheng, C. H., Yang, K. L. and Hwang, C. L., 1999, **Evaluating Attack Helicopters by AHP Based on Linguistic Variable Weight,** European Journal of Operational Research, No. 116, PP. 423-435.

16. Deng, H., 1999, **Multi Criteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparisons,** International Journal of Approximate Reasoning, No. 21, PP. 215-231.

17. Higgs, G., 2006, **Integrating Multi-Criteria Techniques with Geographical Information Systems in Waste Facility Location to Enhance Public Participation**, Journal of Waste Management & Research, Vol. 24, PP. 105-117.

18. Hwang, C. L. and Yoon, K., 1981, **Multiple Attributes Decision-Making Methods and Applications,** Springer, Berlin.

19. Jankowski, P., 1995, **Integrating Geographical Information Systems and Multiple Criteria Decision-Making Methods,** International Journal of Geographic Information Systems, Vol. 9, No. 3, PP. 251-273.

20. Jiang, H. and Eastman, R. R., 2000, **Application of Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation in GIS,** International Journal of Geographic Information Systems, Vol. 14, No. 2, PP. 173-184.

21. Malczewski, J., 1999, **GIS and Multi-Criteria Decision Analysis,** John Wiley and Sons, New York.

22. Mian, S. A. and Christine, N. D., 1999, **Decision-Making Over the Project Life Cycle: An Analytical Hierarchy Approach,** Project Management Journal, Vol. 30, No. 1, PP. 40–52.

23. Olson, D. L., 2001, **Comparison of Weights in TOPSIS Models,** Mathematical and Computer Modelling, Vol. 40, No. 7, PP. 721-727.

24. Parhizkar, A. and Ghafari, A., 2006, **Geographic Information System and Multi- Criteria Evaluation,** ASMI Publication, Tehran. *(In Persian)*

25. Qodousi, M, 2002, **Yesterday, Today and Tomorrow Urban Parks**, Shahriha (Municipalities) Publications, 551, PP. 11. *(In Persian)*

26. Sanayinezhad, S. H., 2002, **An Introduction to Geographic Information Systems**, Jihad e Daneshgahi Mashhad Publication, Mashhad. *(In Persian)*

27. Teshnelab, M., 1999, **Fuzzy Systems and Fuzzy Control,** khajeh Nassir Toosi University of Technology (KNTV) Publication, Tehran. *(In Persian)*

28. Van Laarhoven, P. J. M. and Pedrycz, W., 1983, **Fuzzy Extension for Saaty's Priority Theory**, Fuzzy Sets and Systems, No. 11, PP. 229-241.