Archive of SID

محیط شناسی، سال سی و هفتم، شمارهٔ ۵۷ ، بهار ۹۰، صفحهٔ ۷۷-۹۲

مقایسهٔ روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره AHP ، AHP_OWA و Fuzzy AHP_OWA برای مکان‌یابی مجتمع‌های مسکونی در شهر تبریز

محمدرضا رجبی[۱]، علی منصوریان[۲*]، محمد طالعی[۲]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی mreza.rajabi@gmail.com

۲- استادیار گروه GIS - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار گروه GIS - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی taleai@kntu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۱۱ تاریخ پذیرش:۸۹/۶/۱۵

چکیده

عوامل زیست‌محیطی یکی از حساس‌ترین موضوعاتی هستند که در بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها می‌باید در نظر گرفته شوند. مکان‌یابی از پرکاربردترین تصمیم‌گیری‌های مکانی است که تحت تأثیر بسیاری از عوامل زیست‌محیطی می‌تواند قرار بگیرد. هدف از مکان‌یابی، یافتن مجموعه‌ای از گزینه‌های مکانی مناسب برای یک کاربرد خاص است. مسئلهٔ مکان‌یابی یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره است. روشهای ارزیابی چندمعیاره با ساده‌سازی تعریف راهبردهای تصمیم‌گیری و تسهیل پردازش‌های مکانی می‌توانند در مسائل مختلف تصمیم‌گیری مکانی به شیوه‌های گوناگون استفاده شوند. این مقاله با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره AHP، AHP_OWA و Fuzzy AHP_OWA به شناسایی مناطق مناسب برای احداث مجتمع‌های مسکونی با لحاظ عوامل تأثیرگذار زیست محیطی می‌پردازد. نتایج نشان داد که با AHP امکان استفاده مستقیم از آراء کمّی کارشناسان فراهم می‌شود. با OWA امکان کنترل جبران‌پذیری و ریسک تصمیم‌گیری مهیا می‌شود. همچنین با استفاده از کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی می‌توان اطلاعات کیفی را که کارشناسان از روابط میان عوامل مختلف(حتی با تعداد زیاد عوامل) درک می‌کنند در تصمیم‌سازی وارد کرد. با توجه به سطح انتظارات و نوع نیازهای تصمیم‌گیرندگان مختلف، هرکدام از این روشها می‌تواند به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری، جوابگوی جنبه‌های متفاوت از یک مسئله مکانی باشد. بنابراین بهره‌گیری از یک مدل تلفیقی با استفاده روشهای فوق می‌تواند منجر به ارائه راه حل‌های جامع در مسائل پیچیده ای مانند مکانیابی شود.

کلید واژه

AHP، OWA، کمیت سنج‌های مفهومی فازی، مکان‌یابی مجتمع‌های مسکونی، GIS ، محیط زیست

سرآغاز

تصمیم‌گیری را می‌توان به عنوان مهم‌ترین چالش پیش روی کارشناسان و تحلیل‌گران در حل مسائل مختلف دانست. به‌همین دلیل روشها و الگوریتم‌های مختلفی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری طی چند دههٔ اخیر ارائه شده است. مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی معمولا شامل مجموعه‌ای از موقعیت‌های مکانی است که می‌باید بر اساس چندین معیار مختلف ارزیابی شوند. پردازش‌ها و تجزیه‌وتحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[۱] در GIS را می‌توان به‌منزلهٔ فرایندی که داده‌های مکانی (نقشه‌ها) و مقادیر ارزیابی‌ها (اولویت‌ها و معیارهای تحلیل‌گران) را با هم ترکیب می‌کند، در نظر گرفت (Malczewski, 1999 & 2006). به‌عبارت دیگر GIS-MCDA مدلی مشخص برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌های مکانی ارائه می‌دهد که تحقیقات بسیاری نیز تاکنون روی آن صورت گرفته است. Heywood و همکاران (1995)، پیشنهاد کردند که تجزیه‌وتحلیل‌های چندمعیاره در GIS شامل مقایسه‌ای از نتایج به‌دست آمده از قواعد تصمیم‌گیری مختلف نیز بشود. Jankowski و همکاران (2001)، با عملی‌کردن مدل‌های چندمعیاره در DECADE/CommonGIS روی تجزیه‌وتحلیل‌های تصمیم‌گیری جستجوگرایانه و اکتشافی تأکید کردند. همچنین مطالعات بسیاری روی آماره‌های چندمتغیره در روشهای ارزیابی چندمعیاره صورت گرفته است (Anderienko, 2003). تهیهٔ نقشه‌های مکان‌یابی و ارزیابی مناطق مختلف یکی از مفیدترین کاربردهای GIS برای

نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۱۹۴۰۵۵۲

E-Mail: mansourian@kntu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

برنامه‌ریزی و مدیریت مکانی است (Malczewski, 2004, Collins, et al., 2001). در طول دهۀ اخیر مسئلۀ مکان‌یابی کاربری‌های مناسب بر حسب روشهای ارزیابی چندمعیاره در GIS، به طور افزاینده‌ای استفاده شده است (Barredo, et al., 2000، Joerin, et al., 2001،Dai, et al., 2000). همچنین روشهای مرسوم تجزیه‌وتحلیل چند معیاره در GIS مانند عملگرهای همپوشانی بولین و روشهای ترکیب‌خطی وزن‌دار در بسیاری از مسائل مکان‌یابی و ارزیابی کاربری‌های اراضی استفاده شده‌اند (Malkzewski, 2004,Beedasy & whyatt, 1999). این روشها همچنین با اصول میانگین وزن‌دار مرتب در کاربردهای مختلفی تلفیق شده‌اند (Makropoulos, et al., 2003، Malczewski, et al., 2003، Malczewski & Rinner, 2005).

نتایج حاصل از کاربرد روشهای ارزیابی چندمعیاره را که شامل عملگرهای همپوشانی بولین و ترکیبات خطی وزن‌دار می‌شوند را می‌توان با استفاده از روش میانگین‌گیری وزن‌دار مرتب[۲] (OWA) بهبود داد. روشهای متعارف و سنتی OWA در بسیاری از کاربردهای مکانی در GIS استفاده شده‌اند (Calijuri, 2004، Makropoulos & Butler 2005). OWA از خانوادۀ روشهای ترکیبی چندمعیاره است (Yager, 1988). این روش شامل دو دسته از وزن‌ها می‌شود: وزن‌های مربوط به اهمیت نسبی معیارها و وزن‌های ترتیبی. Rinner و Malczewski (2002)، با اضافه کردن یک ماژول OWA به نرم‌افزار CommonGIS توانایی‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری آن را توسعه دادند. اما مطالعات نشان داده است که روشهای مرسوم OWA کارایی محدودی در مواقعی که معیارهای ارزیابی گسترده باشند، دارند. در این مواقع، ترکیب معیارها به گونه‌ای که مفروضات تصمیم‌گیرنده را در قبال روابط میان معیارها را در نظر گرفته باشد، بسیار دشوار خواهد بود (Malczewski, et al., 2003).

برای مجموعۀ بزرگی از معیارها، شخص با مسئلۀ ترکیب نقشه‌های معیار تا اندازه‌ای که نتایج آن با اولویت‌های در نظرگرفته شده مطابقت داشته باشد، مواجه می‌شود. در چنین حالاتی جنبه‌های کلیدی مسئلۀ تصمیم‌گیری ممکن است بر حسب بعضی از کمیت‌های مفهومی فازی مانند:"اکثر معیارها می‌باید برآورده شوند" یا "۸۰٪ معیارها می‌باید برآورده شوند"، بیان شود. این امر نیازمند تغییری در روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره است به‌طوری‌که بتواند با شرایط شامل این کمیت‌های فازی است مطابقت پیدا کند.

Malczewskiو Rinner (2005)، راهبردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره در GIS را که توانایی تلفیق با کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی دارند مورد بررسی قرار دادند. نمونۀ مطالعاتی آنها ارزیابی کیفیت کاربری‌های مربوط به مناطق مسکونی بود. Malczewski (2006)، از تلفیق کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی و OWA برای ارزیابی چندمعیاری تناسب کاربری‌های اراضی در محیط GIS استفاده کرد. از طرف دیگر ارزش‌دهی و اولویت‌بندی عوامل تأثیرگذار در مسائل مختلف مکانی را می‌توان با روشهای مختلف اجرا کرد. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای مقایسۀ زوجی و وزن‌دهی معیارها می‌تواند ابزاری برای پشتیبان تصمیم‌گیری در مدل‌سازی مسئله و جوابگوی نیازهای موجود باشد. Yager و Kelman (1999) توسعه‌ای از روش AHP[3] با عملگرهای OWA را معرفی و پیشنهاد کردند که توانایی‌های AHP را می‌توان با ترکیب عملگرهای فازی OWA بهبود بخشید. وجود همزمان AHP و OWA در یک مدل می‌تواند منجر به مهیاسازی ابزار تصمیم‌گیری قدرتمندتر برای ساختاردهی و حل مسائل مختلف بشود. فرایند تحلیل سلسله مراتبی روشی شناخته شده برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری است. Malczewski و Boroushaki (2008)، با توسعۀ یک ماژول از ترکیب روشهای چندمعیاری OWA و AHP، شرایطی را مهیا کردند که امکان استفاده از عبارات مفهومی فازی در فرایند تصمیم‌گیری وجود داشته باشد. آنها پیشنهاد کردند که چنین سیستم تجزیه‌وتحلیل چندمعیاره می‌تواند با ساده‌سازی تعریف راهبردهای تصمیم‌گیری راه‌حل‌های مناسبی را ارائه کند. هدف از این مقاله بهره‌گیری از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و OWA و کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی در مدل‌سازی مرحله به مرحله ابعاد مختلف تصمیم‌گیری مکانی برای انتخاب محلی برای احداث مجتمع‌های مسکونی در شهر تبریز است. به نحوی‌که نقشه‌های خروجی تا حدود قابل قبولی اهداف و معیارهای کارشناسان و تصمیم گیرندگان را برآورده سازند. بخش ۲ در این مقاله فرایند تحلیل سلسله مراتبی را معرفی می‌کند. بخش ۳، OWA بر مبنای GIS را تعریف می‌کند. بخش ۴ در خصوص مفهوم کمیت‌سنج‌های فازی و استفاده از این کمیت‌سنج‌ها در روشهای OWA در محیط GIS بحث می‌کند. سپس بخش ۵ استفاده از سه روش مختلف AHP، AHP_OWA و Fuzzy AHP_OWA برای مکان‌یابی در GIS را شرح می‌دهد و سرانجام در بخش ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روشها

روشهای چندمعیاره با شیوه‌های مختلفی می‌توانند اجرا شوند که هر کدام دارای مزایا و معایبی هستند. در این پژوهش در سه مرحله از تلفیق روشهای تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی استفاده شد در ادامه اصول و نحوهٔ عملکرد این مدلهای تصمیم‌گیری به اختصار شرح داده شده است.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی

تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل چندمعیاره، ابزارهای شناخته شدهٔ پشتیبان تصمیم‌گیری هستند که در ارتباط با تصمیم‌گیری در مسائل پیچیده، که جنبه‌های فناوری شده، اقتصادی، محیطی و اجتماعی می‌باید در نظر گرفته شوند، استفاده می‌شوند. برای بهینه‌سازی مسائل مختلف مکان‌یابی، این تکنیک‌ها به دفعات با GIS ترکیب شده‌اند. AHP به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، از مقایسهٔ دوبه‌دوی معیارها استفاده می‌کند تا به درجه‌بندی اولویت‌های مربوط به گزینه‌های مختلف برسد (Saaty & Vagas, 1991).

همهٔ معیارها و عوامل شناسایی شده، در ماتریس مقایسهٔ دوبه‌دو که مبین اولویت‌های نسبی شاخص‌ها است، بیان می‌شوند. بنابراین مقادیر عددی مربوط به اولویت‌بندی، و یا اهمیت نسبی یک شاخص نسبت به دیگری، می‌باید اختصاص‌دهی شده باشند. با تحقیقاتی که توسط Saaty و Vargas (1991) انجام گرفت، یک دامنه برای مقایسهٔ معیارها پیشنهاد شد که شامل مقادیر عددی ۱ تا ۹ می‌شود.

هر کدام از این اعدادنشان‌دهندهٔ درجهٔ اهمیت هستند به‌طوری‌که مقدار "۱"، نشان‌دهندهٔ "اهمیت برابر" و مقدار" ۹" نشان‌دهندهٔ "اهمیت بسیار زیاد" یک شاخص نسبت به دیگری است. در مرحلهٔ بعدی، مقادیر اولویت‌بندی اختصاص داده شده برای تعیین رتبه‌بندی عوامل مربوط که همان مرحلهٔ وزن‌دهی است، ترکیب و تلفیق می‌شوند. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که روش AHP شامل سه گام اصلی می‌شود: (۱) ایجاد ساختار سلسله مراتبی (۲) مقایسهٔ دوبه‌دوی المان‌های ساختار سلسله مراتبی (۳) ارزش‌دهی معیارها. البته مقادیر مربوط به مقایسهٔ دوبه‌دو می‌باید کاملاً به صورت کارشناسی شده تعیین شوند و مقادیری اختیاری در نظر گرفته نشوند. اما اولویت‌ها و سلایق افراد مختلف، متناقض و ناجور بوده و وابستگی این روش به آرای تحلیل‌گران ممکن است باعث آشفتگی و انحراف در محاسبات بشود. به همین دلیل، Saaty (1980) یک اندکس عددی منحصر به فردی برای بررسی استحکام ماتریس مقایسهٔ دوبه‌دو مهیا کرد و نسبت CR به عنوان نسبت اندکس استحکام (CI) بر اندکس میانگین (RI) تعریف شد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (1)$$

Saaty (1980) مقدار اندکس میانگین استحکام، RI، را که برخی از مؤلفان به آن اندکس تصادفی نیز می‌گویند (Wagner, 2002)، به‌عنوان میانگین استحکام ماتریس‌های مربعی از مرتبه‌های مختلف که با مقادیر کاملا تصادفی مقداردهی شده بودند، محاسبه کرد. بنابراین مقادیر استحکام متوسط این ماتریس‌ها از پیش تعیین شده‌اند. مقدار اندکس استحکام مستقیماً از ماتریس اولویت‌بندی شده و با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه خواهد شد:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \qquad (2)$$

که در آن $\lambda_{\max}$ بزرگترین مقدار ویژهٔ ماتریس اولویت بندی و n، مرتبهٔ ماتریس هستند. طبق دانش و تجربیات حاصل از عملی‌کردن‌های مختلف AHP، Saaty و Vargas(1991) پیشنهاد کردند که اگر نسبت استحکام از مقدار " ۰/۱" تجاوز کند، نیاز است که ماتریس مقایسه بازنگری شود.

OWA

روشهای ارزیابی چندمعیاره در GIS معمولا شامل مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی مکانی در قالب نقشه‌ها و لایه‌ها می‌شوند. اما مسئله‌ای که معمولا در تصمیم‌گیری‌های مکانی به‌وجود می‌آید چگونگی ترکیب نقشه‌های معیار با مجموعه‌ای از مقادیر توصیفی (وزن‌ها) و همچنین اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان است. تصمیم‌گیری‌های مکانی می‌باید منجر به انتخاب یک (یا چند) گزینه مکانی بشوند. هر کدام از این گزینه‌ها، $(i = 1,2,...,m)$، با یک دسته مقادیر استانداردسازی‌شده، (a_{ij})، توصیف می‌شوند $(a_{ij} \in [0,1] \; for \; j = 1,2,...,n)$. مسئلهٔ ارزیابی چند معیاره همچنین شامل مجموعه‌ای اولویت به عنوان وزن‌های معیار می‌شود: $w_j \in [0,1]$ برای $j = 1,2,..,n$. با داشتن لایه‌های نقشه و وزن‌های معیار، عملگر ترکیبی OWA به محل سلول i مجموعه‌ای از وزن‌های ترتیبی $v = v_1, v_2, ..., v_n$، اختصاص می‌دهد به طوری‌که برای هر $j = 1,2,..,n$ داشته باشیم : $v_j \in [0,1]$ و $\sum_{j=1}^{n} v_j = 1$. عملگر ترکیبی OWA

www.SID.ir

Archive of SID

بۀصورت زیر تعریف می‌شود (Yager, 1988, Malczewski, et al 2003) :

$$OWA_i = \sum_{j=1}^{n}\left(\frac{u_j v_j}{\sum_{j=1}^{n} u_j v_j}\right) z_{ij} \qquad (3)$$

که در آن، $z_{i1} \geq z_{i2} \geq \ldots \geq z_{in}$ ، با مرتب کردن مقادیر توصیفی $a_{i1}, a_{i2}, \ldots, a_{in}$ به‌دست می‌آید و u_j همان وزن معیار است که بر اساس ترتیب z_{ij}ها مرتب‌سازی شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در این روش از دو نوع وزن استفاده می‌شود: وزن‌های معیار و وزن‌های ترتیبی. وزن‌های معیار نشان‌دهندۀ اهمیت نسبی هر کدام از معیارهای ارزیابی هستند (لایه‌ها و نقشه‌ها). اما وزن‌های ترتیبی بر اساس موقعیت مکانی سلول‌های لایه‌ها و نقشه‌ها اختصاص‌دهی می‌شوند. بدین معنی که تمامی سلولهایی که در یک موقعیت در چند نقشه معیار قرار گرفته‌اند دارای وزن‌های ترتیبی یکسان خواهند بود. بنابراین در یک نقشه همۀ سلولها دارای یک وزن معیار مشترک هستند، اما وزن ترتیبی آنها متفاوت خواهد بود. معادله (۳) را می‌توان همان "ترکیب خطی وزن‌دار" متداول دانست که در آن وزن‌های معیار تغییر یافته‌اند.

ترکیب OWA با کمیت سنج‌های مفهومی فازی

با وجود مجموعه‌ای از نقشه‌های معیار و یک کمیت‌سنج مفهومی فازی، Q، می‌توان با استفاده از یک "عبارت" در ارتباط با معیارهای ارزیابی به ترکیب نقشه‌ها پرداخت. مثلا با عباراتی مانند ذیل می‌توان به ترکیب معیارها پرداخت: "بیشتر معیارها باید برآورده شوند" ، "همه معیارها می‌باید برآورده شوند" ، "حداقل نیمی از معیارها می‌باید برآورده شوند".

این نوع از روشها را ارزیابی چند معیاره هدایت شده با کمیت‌سنج‌های فازی می‌نامند (Yager, 1996). این روش شامل سه گام اصلی می‌شود: (۱) مشخص کردن نوع کمیت سنج Q (۲) تولید یک دسته از وزن‌های ترتیبی مربوط به Q و (۳) محاسبه و ارزیابی مربوط به موقعیت هرکدام از سلول‌ها با استفاده از تابع ترکیبی OWA (Boroushaki & Malczewski, 2010).

کمیت‌سنج‌های مفهومی

براساس نوع عبارات مفهومی می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم‌بندی کرد: کمیت‌سنج‌های مفهومی مطلق و کمیت سنج‌های مفهومی نسبی (Zadeh, 1983). عباراتی مانند "حداقل ۴"، "حدود۵"، "تقریبا ۱۰"، "بیشتر از ۱۰ نباشد" و غیره نمونه‌هایی از کمیت سنج‌های مطلق هستند. کمیت سنج‌های مفهومی نسبی مبین کمیت نسبی مانند "اغلب"، "تعداد زیادی"، "اندکی"، "تقریباً همگی"، "تقریباً نصف" ، "حدود ۶۰ درصد" و غیره هستند. آنها را می‌توان به عنوان دسته‌های فازی در فاصلۀ واحد $[0,1]$ در نظر گرفت. در واقع این کمیت‌سنج‌های مفهومی برای اندازه‌گیری تناسب مجموعه استفاده می‌شوند که در آنها "صفر" بیانگر ۰٪ و "یک" به‌معنی "تناسب ۱۰۰٪" خواهد بود. بنابراین اگر Q یک کمیت‌سنج مفهومی باشد، می‌تواند به‌عنوان یک دستۀ فازی Q از فاصله واحد $[0,1]$ ارائه شود که برای هر $p \in [0,1]$، $Q(p)$ مبین درجۀ سازگاری p با مفهوم بیان شده توسط Q خواهد بود. مثلا اگر عبارت مفهومی Q برابر با "اکثر" در نظر گرفته شود و $Q(0.95) = 1$ پس می‌توان گفت که ۹۵ ٪ کاملا با عبارت مفهومی "اکثر" سازگاری دارد و اگر $Q(0.60) = 0.75$ به این معنی خواهد بود که ۶۰٪ فقط 0.75 با مفهوم "اکثر" سازگاری دارد. نمی‌توان به‌طور دقیق بیان کرد که کدام یک از انواع کمیت‌سنج‌های مفهومی برای ارزیابی چندمعیاره مناسب‌ترند (Malczewski, 2006a).

این مقاله روی یک کلاس از کمیت{سنج‌های نسبی با نام "کمیت‌سنج‌های یکنواخت افزایشی منظم"، RIM[4]، متمرکز شده است. برای تعریف این کمیت‌سنج‌ها معادله مقابل به کار گرفته می‌شود:

$$Q(p) \ .Q(p) = P^{\alpha}, \ \alpha > 0 \qquad (4)$$

به‌عنوان دسته فازی در بازۀ $[0,1]$ ارائه شده است. با تغییر مشخصۀ α می‌توان انواع مختلفی از کمیت‌سنج‌ها و عملگرهای آنها را به‌دست آورد. اگر $\alpha = 1$، $Q(p)$ متناسب با α خواهد بود و بنابراین متناظر با کمیت‌سنج "نصف"(Half) می‌شود.

با میل کردن α به سمت صفر، کمیت‌سنج $Q(p)$ بیانگر یکی از کرانهایش خواهد بود (عبارت "حداقل یکی" یا "At least one") که با عملگر MAX مطابق است. از طرف دیگر با میل کردن α به سمت بی‌نهایت، کمیت‌سنج $Q(p)$ کران دوم خود را ارائه می‌کند (عبارت "همگی" یا "All") که برابر با عملگر MIN است.

وزن‌های ترتیبی

با استفاده از کمیت‌سنج‌های فازی می‌توان به تولید وزن‌های ترتیبی پرداخت. این وزن‌ها بر اساس کمیت‌سنج RIM هستند

www.SID.ir

Archive of SID

(معادلـه (۴)) و آنهـا را مـی‌تـوان بـه شـکل زیـر تعریـف کـرد (Malczewski, 2006b):

$$v_j = \left(\frac{\sum_{k=1}^{j} u_k}{\sum_{k=1}^{n} u_k}\right)^{\alpha} - \left(\frac{\sum_{k=1}^{j-1} u_k}{\sum_{k=1}^{n} u_k}\right)^{\alpha} \qquad (5)$$

توجه به این نکته ضروری است که در ارزیابی چند معیاره در GIS، وزن‌های معیار معمولا دارای این خصوصیت هستند که مجموع آنها برابر یک است($\sum_{j=1}^{n} w_J = 1$). در نتیجه $\sum_{j=1}^{n} u_j = 1$ و معادله (۵) به شکل زیر ساده می‌شود:

$$v_j = \left(\sum_{k=1}^{j} u_k\right)^{\alpha} - \left(\sum_{k=1}^{j-1} u_k\right)^{\alpha} \qquad (6)$$

بنابراین وزن‌های ترتیبی v_j، از وزن‌های معیار w_j حاصل می‌شوند.

وزن‌های معیار

روشهای بسیاری برای بـه‌دسـت آوردن وزن‌هـای معیـار، کـه همان اولویت‌های تصمیم‌گیرنـده در ارتبـاط بـا معیارهـای ارزیـابی هستند، وجـود دارد (Malczewski, 1999). وزن‌دهـی معیارهـا در واقع همان تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های تأثیرگذار در یک فرایند تصمیم‌گیری است که می‌تواند به شیوه‌های مختلف صورت بپذیرد.

روش OWA_AHP فازی

در این مقاله دو روش برای ارزیابی چندمعیاره در GIS معرفـی شد: AHP و OWA. اما توجه به این نکته حائز اهمیـت اسـت کـه این دو روش در یک سطح اجرا نمی‌شوند. AHP ابزاری کلی بـرای ایجاد مدل سلسله مراتبی مسائل تصمیم‌گیری مکانی، پردازش کلی فرایند و ارزیابی هر کدام از فرایندهاست. فرایند ارزیابی در AHP از ترکیـب خطـی وزن‌دار سـاده بـرای محاسـبهٔ مقـادیر هرکـدام از سلول‌های رسترها استفاده می‌کند. عملگرهای OWA نیز چارچوبی کلی برای انجام پردازش‌هایی مانند AHP فراهم می‌آورند. ماهیت و ساختار این دو الگوریتم به گونه‌ای است که از ترکیب آنها می‌تـوان برای ایجاد ابزار تصمیم‌گیری مکانی قدرتمندتر بهره بـرد (Yager, 1999).

از طرف دیگر عملگر OWA می‌تواند در بازهٔ پیوسته‌ای کـه از کمیت‌سنج "همگی" تا کمیت‌سنج "حداقل یکی" حاصل می‌شـود، قرار بگیرد. برای شناسایی محل عملگر OWA در این بازه می‌توان از دو مقـدار Tradeoff و ORness اسـتفاده کـرد (Yager,1996).

Tradeoff برای اندازه‌گیری میزان جبران‌کنندگی معیارهـا اسـتفاده می‌شود و نشان‌دهندهٔ میزان جبران‌شوندگی معیاری ناکارآمد با سایر معیارهای در نظر گرفته شده است. اندازهٔ Tradeoff مقـداری بـین صفر و یک است که "صفر" مبین عدم وجود جبران‌کننـدگی میـان معیارها و "یک" نشان‌دهندهٔ جبران‌کنندگی کامل است. ایـن مقـدار را می‌توان به‌عنوان اندازه‌ای از میـزان پراکنـدگی وزن‌هـای OWA تفسیر کرد (Malczewski, 2006b).

همچنین بـا اسـتفاده از معیـار دیگـری بـا نـام ORness نیـز می‌توان OWA را مـورد بررسـی قـرار داد(Yager, 1988, 1996). مقدار ORness در بازهٔ بین صفر و یک قرار می‌گیرد و مبین میـزان شباهت یـک عملگـر OWA بـه عملگـر منطقـی OR در ترکیـب معیارهاست. بررسی‌های انجام شده روی عملگرهای fuzzy OWA نشان داد که با تغییر میزان α می‌توان نقشه‌های متنوعی بـه‌دسـت آورد و آرا و اولویت‌های بـسیاری از کارشناسـان را بـرآورده سـاخت (Malczewski, 2006b). بنابراین می‌توان α را به گونه‌ای انتخاب کرد که برای انتخاب یک گزینه، فقط معیارهای دارای مقادیر بهتـر تأثیر داده شوند که این حالت منجر به ریسک‌پـذیری بـالا (مقـدار ORnessبـالاتر) و موازنـه پـایین‌تـر بـشود. از آنجـایی کـه تصمیم‌گیرندگان مختلف سلیقه‌های مختلف دارند و ریـسک‌پـذیری آنها نیز متفاوت است با استفاده از OWA می‌توان یک تعادل میـان ریسک تصمیم و جبران‌پذیری آن ایجـاد کـرد و برنامـه‌ای در نظـر گرفت که تعداد مشخصی از معیارها که بـه ترتیـب دارای بیـشترین مقدار هستند، در فرایند جبرانی وارد شوند. اما AHP این ویژگی‌های عملگرهای OWA را ندارد و فرایندی کاملاً جبرانی با مقدار Trade off نزدیک به یک اسـت کـه همـه معیارهـا را براسـاس وزن آنهـا دخالت می‌دهد.

از طرف دیگر AHP دارای میزان ریسک‌پذیری ثابت و پـایین (ORness نزدیک به صفر) است. بنابراین دخالت آن برای حـل هـر نوع مسئله‌ای در نهایت منجر بـه ایجـاد شـرایطی ثابـت بـا جبـران کنندگی بالا و ریسک‌پذیری پایین می‌شـود. امـا از ایـن لحـاظ کـه AHP امکان استفاده مستقیم از آرا کارشناسان را فـراهم مـی آورد، می‌توان برای محاسبه وزن‌های معیار W_j از این روش استفاده کرد. بعلاوه برای حل مشکل عدم توانایی AHP برای مدل‌سازی روابـط، هنگامی که تعداد معیارها زیاد باشد می‌توان از فـازی اسـتفاده کـرد چرا که در بسیاری از موارد، تعریف یک رابطهٔ دقیق برای تعداد زیاد معیارها غیرممکن است. بنـابراین fuzzy OWA_AHP مـی‌توانـد

www.SID.ir

Archive of SID

منجر به تصمیم‌گیری ساختار-مبنا بشود که در آن علاوه بر تحت تأثیر قراردادن آرا مستقیم و مبهم کارشناسان، امکان پوشش ریسک‌پذیری‌های مختلف و میزان جبران‌کنندگی معیارها فراهم شده است.

برای رسیدن به این چارچوب می‌باید فرض کنیم که دو مرحلهٔ اول AHP یعنی تشکیل ساختار سلسله مراتبی و وزن‌دهی نسبی اهداف با استفاده از مقایسه‌های دوبه‌دو برآورده شده است. از این مرحله به بعد مسئله با کمیت‌سنج‌های هدایت شدهٔ OWA پردازش می‌شود. مقادیر کلی مربوط به هر سلول i در دو مرحله قابل محاسبه خواهد بود؛ ابتدا مقادیر هر سلول با در نظر گرفتن هر کدام از اهداف با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{iq} = \sum_{k=1}^{l} v_{k(q)} z_{ik(q)} \qquad (7)$$

$$for\ all\ \ q = 1,2,...,p\ and\ i = 1,2,..,m$$

$$v_{k(q)} = \left(\sum_{k=1}^{l} u_{k(q)}\right)^{\alpha_{(q)}} - \left(\sum_{k=1}^{l-1} u_{k(q)}\right)^{\alpha_{(q)}} \qquad (8)$$

که در آن $z_{ik(q)}$ با مرتب‌سازی دوبارهٔ مقادیر معیارهای مربوط به هدف qام ، $x_{ik(q)}$ به‌دست می‌آید و $u_{k(q)}$ نیز برابر است با وزن ترتیبی معیار kام برای هدف qام. $\alpha_{(q)}$ نیز مشخصه کمیت‌سنج مفهومی مربوط به هدف qام است. با داشتن مقادیر هر کدام از سلولها برای هرکدام از اهداف(s_{iq})، مقدار کلی سلول iام را می‌توان به روش زیر محاسبه کرد:

$$AHP_OWA_i = \sum_{q=1}^{p} v_p z_{iq} \qquad (9)$$

$$for\ all\ i = 1,2,..,m$$

و همچنین

$$v_q = \left(\sum_{q=1}^{p} u_q\right)^{\alpha_g} - \left(\sum_{q=1}^{p-1} u_q\right)^{\alpha_g} \qquad (10)$$

که در آن z_{iq} با مرتب‌سازی دوبارهٔ مقادیر گزینه ها در سطح اهداف(s_{iq}) به‌دست می‌آید. و u_q نیز وزن مرتب شدهٔ هدف qام است. α_g نیز مشخصه متصل به کمیت‌سنج مفهومی مربوط به هدف کلی مسئلهٔ تصمیم‌گیری مکانی است (Boroushaki & Malczewski, 2008).

روش AHP در محیط GIS معمولا به دو طریق استفاده می‌شود. اول، برای محاسبهٔ وزن‌های اهمیت نسبی هر کدام از نقشه‌های معیار که معمولا در مسائل تصمیم‌گیری مکانی که دارای تعداد گزینه‌های زیادی هستند، با مشکل مواجه می‌شود زیرا که مقایسهٔ دوبه‌دوی تمامی گزینه‌ها غیر ممکن خواهد بود (Marinoni,2004). دوم، روش AHP را می‌توان برای ترکیب اولویت‌های هرکدام از سطوح ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری استفاده کرد که گزینه‌های قابل انتخاب را نیز شامل می‌شود. در این مورد نیز تعداد کمی از معیارها را می‌توان ارزیابی می‌شود (Jankowski, et al., 2001).

استفاده از مدل در تصمیم گیری مکانی

به طور کلی تصمیم‌گیری‌های مکانی شامل اهداف و معیارهای مختلف می‌شوند که می‌باید با توجه به اهمیت نسبی که دارند ارزش‌دهی شوند. به همین دلیل استفاده از ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری (DSS)[5] می‌تواند تأثیر بسزایی در تصمیم‌گیری‌ها داشته باشد. در این مقاله از روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل مسائل مکان‌یابی در قالب مدل تصمیم‌گیری بهره‌گیری شده است که در ادامه چگونگی کارکرد این مدل شرح داده شده است.

مدل‌سازی اهداف و معیارهای مسئله

AHP با ساختاردهی مسائل در قالب سلسله مراتبی به حل آنها می‌پردازد (Saaty, 1980). این روش برای ارزش‌دهی، یا رتبه‌بندی یک دسته از گزینه‌ها استفاده می‌شود و بدین ترتیب انتخاب شایسته‌ترین گزینه‌ها ممکن می‌شود. این رتبه‌بندی نسبت به یک "هدفی" صورت می‌پذیرد که در قالب معیارهای مختلف (اهداف جزئی و خصوصیات) ارائه شده است. اولین مرحله در عملی‌کردن AHP، تجزیهٔ مسئله در یک ساختار سلسله مراتبی به گونه‌ای است که شامل عناصر تأثیرگذار مسئله بشود (Marinoni, 2004).

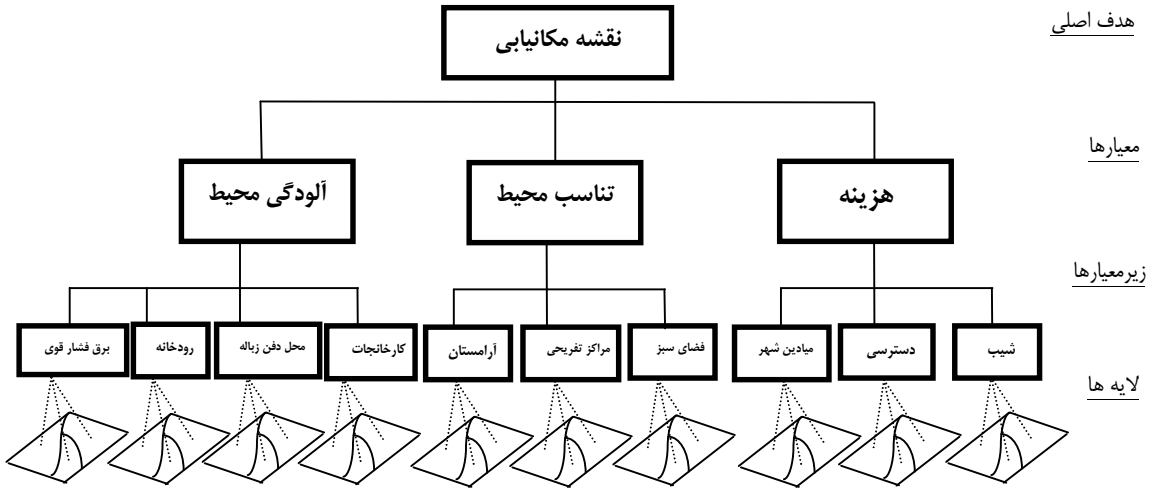
تجزیه‌وتحلیل‌های چندمعیاره در GIS شامل لایه‌های مکانی می‌شوند که در آنها مجموعهٔ اطلاعات توصیفی به سلول‌ها، یا پلیگون‌ها اختصاص‌دهی شده‌اند. در این مقاله برای حل مسئلهٔ مکان‌یابی از ساختار سلسله مراتبی چهار سطحی استفاده شد که شامل هدف اصلی، معیار های اصلی، زیر معیارها و لایه‌ها می‌شود. بنابراین مسئله تصمیم‌گیری مکانی در اینجا از مجموعه‌ای از گزینه‌های مکانی (مانند قطعه زمین‌ها)، مجموعه‌ای از معیارها (هدف اصلی، هدف جزئی و ...) و وزن‌های مرتبط با آنها تشکیل یافته است (شکل شمارهٔ ۱).

در بسیاری از مسائل می‌باید که ابتدا شرایط و عوامل تأثیرگذار با توجه به اهداف مسئله و اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان بررسی شوند تا مدل مناسبی برای تصمیم‌گیری ارائه شود. مکان‌یابی یکی

www.SID.ir

Archive of SID

از پرکاربردترین مسائلی است که بسیاری از تصمیم‌گیری‌های مکانی با آن درگیر هستند. هدف از مکان‌یابی، یافتن مجموعهٔ گزینه‌های مکانی مناسب (مجموعه‌ای از سلول‌ها یا پلیگون‌ها) برای کاربرد خاص است. با رشد شهرها و افزایش جمعیت جوامع بشری، مسئله تامین مسکن به یکی از سیاست‌های اصلی دولت‌ها تبدیل شده است. به‌همین دلیل احداث مجتمع‌های آپارتمانی مسکونی به دلیل اسکان جمعیت چشمگیری از شهروندان در مساحتی محدود، یکی از راهکارهای اصلی برای مهار مشکل از سوی کارشناسان عنوان شده است. اما یکی از نکات حایز اهمیت در احداث این مجتمع‌های مسکونی در نظر گرفتن محلی مناسب است، به‌طوری‌که نیازهای اولیه ساکنان را برآورده سازد. در نظر نگرفتن این مسئله می‌تواند منجر به عدم استقبال متقاضیان مسکن، افزایش هزینه احداث و خسارات جبران‌ناپذیر دیگری بشود. بهمین دلیل می‌باید که ابتدا تأثیرات عوامل مختلف روی محل احداث مجتمع‌های آپارتمانی مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرد و روابط موجود میان آنها در دنیای واقعی شناسایی شود تا اهمیت نسبی آنها نسبت به یکدیگر و اولویت‌بندی به شکل مناسبی در الگوریتم‌ها وارد شود.



شکل شمارهٔ (۱): ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری مکانی در این پژوهش

با تحقیقاتی که صورت گرفت سه هدف مرتبط با مدل‌سازی مکان‌یابی احداث مجتمع‌های مسکونی در شهر تبریز در نظر گرفته شد و سپس به شناسایی معیارهای مرتبط با هرکدام از این اهداف پرداخته شد (شکل شمارهٔ ۲). این اهداف شامل هزینه، تناسب محیط زندگی و آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شدند. هدف هزینه در ارتباط با هزینه‌های احداث و هزینه‌های زندگی در نظر گرفته شد که ارتباط مستقیمی با دسترسی به راهها و مراکز اصلی شهر دارد. همچنین معیار شیب نیز می‌تواند نقش تأثیرگذاری در هزینه‌های مراحل اولیه احداث ساختمان داشته باشد.

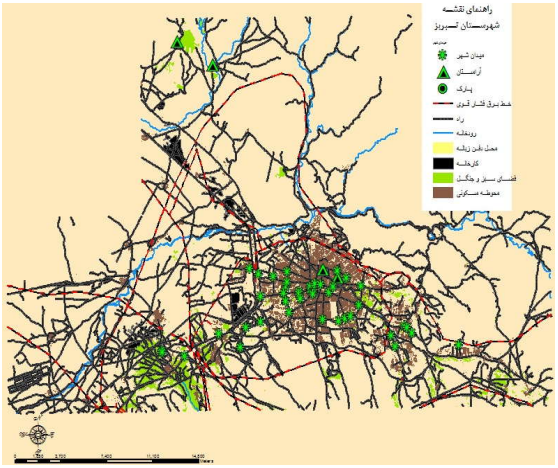
تناسب محیط زندگی به عنوان دومین هدف مطرح شده در قبال مکان‌یابی محل احداث آپارتمان‌های مسکونی، تاحدودی معیارهای مرتبط با کیفیت زندگی را پوشش می‌دهد. به‌همین منظور با تحقیقاتی که انجام شد معیارهای نزدیکی به فضای سبز، نزدیکی به پارک‌ها و مراکز تفریحی در زیرمجموعه این هدف قرار داده شدند تا در مکان‌یابی وارد شوند. همچنین با توجه به آرای کارشناسان شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری و بررسی‌های انجام شده، یک معیار دیگر نیز در قالب هدف تناسب محیط زندگی گنجانده شد که عبارت بود از فاصله از آرامستان. باتوجه به این‌که نزدیکی به آرامستان تأثیرات منفی روی نظر متقاضیان مسکن برای تعیین محل زندگی خواهد داشت در نتیجه این معیار نیز در فرایند مکان‌یابی لحاظ شد.

سومین هدف یعنی آلودگی زیست‌محیطی، برای کاهش تأثیرات انواع مختلف آلودگی‌ها شامل دود و سرو صدای کارخانه‌ها، بو و آلودگی حاصل از دفن و انهدام زباله‌ها و تأثیرات جبران‌ناپذیر امواج الکترومغناطیسی ناشی از خطوط انتقال برق فشارقوی استفاده شد (Lowenthal, et al, 2007). از آنجا که آلودگی‌های مختلف ناشی از کارخانه‌های صنعتی روی سلامتی جسمی و روحی افرادی که در نزدیکی آنها زندگی می‌کنند آثار منفی بسیاری می‌گذارد با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به محل قرارگیری این کارخانه‌های در شهر تبریز و اطراف آن، سعی بر آن شد تا این تأثیرات تا حد ممکن

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش داده شود. از طرف دیگر عامل دیگری که نزدیکی محل مسکونی به آن باعث بروز مشکلات بسیاری می‌گشت، محل انهدام و دفن زباله‌های شهری بود که در نتیجهٔ آن شد اطلاعات مربوط به محل قرارگیری محل دفن و انهدام زباله نیز در مدل مکان‌یابی تهیه شده، وارد شود. مطالعات بیشتر روی عوامل تأثیرگذار در محل زندگی انسان حاکی از این بود که نزدیکی به خطوط فشار قوی در طولانی مدت می‌تواند باعث بروز انواع سرطان‌ها و بیماری‌های عصبی بشود که و بدین ترتیب اطلاعات مربوط به تأثیر این عامل با وزن بیشتری اولویت‌بندی شود (Lowenthal, et al, 2007). همچنین برای کاهش آثار منفی ساختمان‌سازی روی اکوسیستم منطقه، سعی شد که محل در نظر گرفته شده در فاصله دورتری از رودخانه‌های شهرستان تبریز قرار داشته باشد (شکل شمارهٔ ۲).



شکل شمارهٔ (۲): منطقهٔ مورد مطالعه (شهرستان تبریز)

عملی کردن مدل مکان‌یابی AHP در محیط نرم‌افزاری

با تعیین اهمیت نسبی اهداف و معیارها و تشکیل ساختار سلسله مراتبی مربوط به حل مسئله، به جمع‌آوری و آماده سازی داده‌ها پرداخته شد تا برای ورود به مدل مهیا باشند. سپس با استفاده از محیط نرم‌افزار ESRI ArcGIS داده‌های فراهم‌شده، شامل (۱) اولویت‌های کارشناسان و (۲) لایه‌های مکانی، از طریق رابط‌های کاربری مناسب به مدل معرفی شدند. پس از محاسبه وزن‌های لایه‌های تأثیر گذار در روند حل مسئله، می‌باید که لایه‌ها استانداردسازی شوند تا مقادیر آنها در حوزه‌های یکسان قرار بگیرد. از سوی دیگر می‌باید تعیین بشود که کدام یک از معیارها می‌باید بیشینه‌سازی بشوند و کدام یک از آنها باید کمینه بشوند.

با مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته روی ۱۰ لایه تأثیرگذار در فرایند حل این مسئله، مشخص شد که برای تعیین محلی مناسب برای احداث مجتمع‌های آپارتمانی مسکونی در شهر تبریز می‌باید که لایه‌های "فاصله از میادین اصلی شهر"، "فاصله از راهها"، "شیب"، "فاصله از پارک‌ها و مراکز تفریحی" و "فاصله از فضای سبز" کمینه شوند و از طرف دیگر لایه‌های "فاصله از آرامستان"، "فاصله از کارخانه"، "فاصله از مراکز دفن زباله"، "فاصله از رودخانه" و "فاصله از خطوط فشار قوی" بیشینه‌سازی بشوند.

به‌طورکلی برای عملی‌کردن یک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی می‌باید پس از تعیین ساختار مسئله، به واردسازی اولویت‌های کارشناسان و تحلیل‌گران به مدل پرداخته شود. در اولین گام معیارهای اصلی به صورت دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه شدند و با توجه به مطالعات صورت گرفته و نیازهای موجود، به "هزینه"، چهار برابر "تناسب محیط زندگی" و دو برابر" آلودگی" ارزش داده شد. حاصل آن وزنی برابر با ۰/۵۷۱ برای هزینه، ۰/۲۸۶ برای آلودگی و ۰/۱۴۳ برای تناسب محیط و ضریب استحکام برابر با $CR = 0$ بود (شکل شماره ۳).

در دومین مرحله لایه‌های مربوط به "هزینه" مقایسه زوجی شدند که منتج به وزنی برابر با ۰/۶۰۸ برای "فاصله از راهها"، 0.313 برای "فاصله از میادین اصلی شهر" و ۰/۰۷۹ برای "شیب" شد. ضریب استحکام در این مرحله برابر با CR= ۰/۰۱۹ به‌دست آمد که عددی قابل قبول است.

سومین مرحله از فرایند ورود اولویت‌های کارشناسی در مدل AHP به لایه‌های مرتبط با "آلودگی محیط زیست" اختصاص یافت و طی آن لایه "فاصله از خطوط فشارقوی" با توجه به آثار مرگبار آن روی سلامتی افراد، چهار برابر "فاصله از کارخانه"، دوبرابر "فاصله از مراکز دفن زباله" و هفت برابر لایه "فاصله از رودخانه" ارزش‌دهی گشت.

با توجه به این اولویت‌ها، وزن‌های به‌دست آمده عبارت بودند از ۰/۵۲۸ برای "فاصله از خطوط فشار قوی"، ۰/۲۶۶ برای "فاصله از محل دفن زباله"، ۰/۱۳۸ برای "فاصله از کارخانه‌ها" و ۰/۰۶۸ برای "فاصله از رودخانه" به همراه یک ضریب استحکام مناسب CR= ۰/۰۱۶ آخرین مرحله از ورود آرای کارشناسی به مدل مربوط به لایه‌های "تناسب محل زندگی" می‌شد که در آن "فاصله از فضای سبز" چهار برابر "فاصله از پارک‌ها" و دو برابر "فاصله از

www.SID.ir

Archive of SID

آرامستان" کارشناسی شد که این امر منتج به وزنی برابر ۰/۶۳۱ برای "فاصله از فضای سبز"، ۰/۲۲۴ برای "فاصله از آرامستان" و ۰/۱۴۵ برای "فاصله از پارک‌ها" شد. همچنین این ارزش‌دهی منجر به یک ضریب استحکام CR= ۰/۰۲۲ شد که حاکی از بهینه‌بودن ارزشیابی‌ها است (شکل شمارهٔ ۳).

با ورود اولویت‌های کارشناسی در مدل AHP، فرایند مکانی تولید نقشه‌های مکانی در چهار مرحله به صورت عملی عملی‌کردن شد. در مرحلهٔ اوّل یک نقشه مکان‌یابی که تنها معیارهای مرتبط با هزینه را در نظر می‌گرفت در ESRI ArcGIS تولید شد. (شکل شمارهٔ ۴–الف). در مرحلهٔ دوم نقشه مکان‌یابی با معیارهای تأثیرگذار روی آلودگی محیط زیست ایجاد شد (شکل شمارهٔ ۴–ب). در مرحله سوم وزن‌های تولیدی با AHP، در تولید نقشهٔ مکان‌یابی تناسب محل زندگی استفاده شد (شکل شمارهٔ۴–ج). در نهایت با تلفیق تمامی وزن‌ها نقشه مکان‌یابی به‌دست آمد که تمامی عوامل ارزشگذاری شده در آن وارد شده بودند. در این نقشه بهترین مناطق در نزدیکی راههای اصلی که از میدان‌های اصلی شهر می‌گذرند، قرار گرفته‌اند (شکل شمارهٔ۴–د)

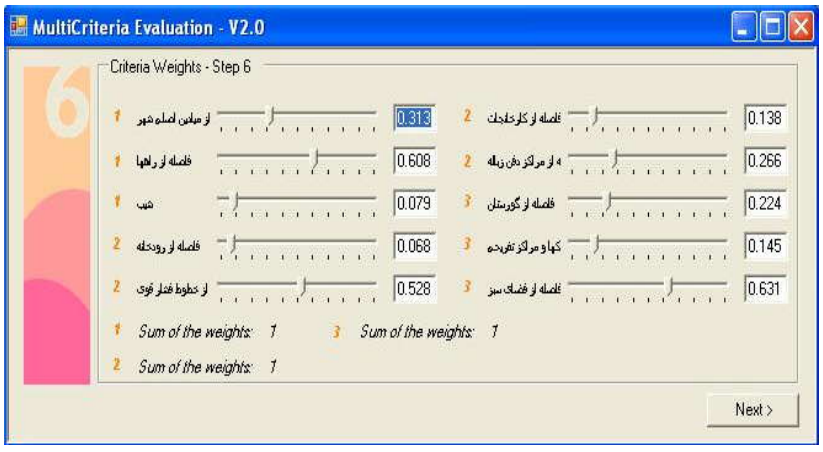
(الف)

(ب)

(ج)

(د)

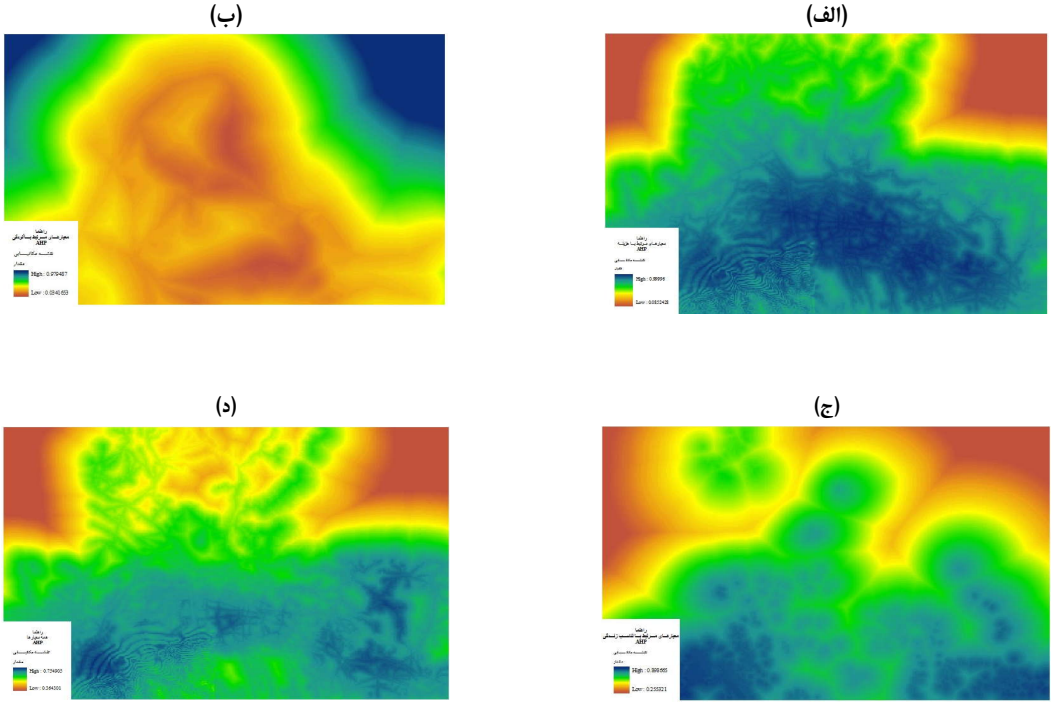
(ه)



www.SID.ir

Archive of SID

شکل شمارهٔ (۳): جداول مقایسه دوبه‌دو و وزن‌دهی (الف) اهداف (ب) هدف "هزینه" (ج) هدف "تناسب محیط زندگی" (د) هدف "آلودگی" (ه) وزن‌دهی نهایی معیارها



شکل شمارهٔ (۴): نقشه مکان‌یابی با استفاده از روش AHP (بدون تلفیق با OWA و Fuzzy) (الف):عوامل محیطی و عوامل مرتبط با هزینه‌ها تأثیر داده شده‌اند (ب): آلودگی‌های زیست‌محیطی تأثیر داده شده‌اند (ج): عواملی تناسب زندگی تأثیر داده شده‌اند (د): همهٔ عوامل تأثیر داده شده‌اند (تأکید بیشتر روی آلودگی‌ها)

عملی‌کردن مدل مکان‌یابی AHP_OWA در محیط نرم‌افزاری

در عملی‌کردن فرایند تحلیل سلسله مراتبی، همانطور که ملاحظه شد با استفاده از آرای مستقیم کارشناسان به وزن‌دهی معیارها و لایه‌ها پرداخته شد. در اینجا می‌توان نحوهٔ عملکرد AHP را مطابق با ترکیب خطی وزن‌دار در نظر گرفت که یک جبران‌پذیری کامل و ریسک‌پذیری متوسط را به طور ثابت و بدون هیچ تغییری برای تمامی عوامل و معیارهای مدل مکان‌یابی بکار می‌گیرد. امکان کنترل این دو عامل به هیچ وجه در فرایند تصمیم‌گیری با AHP وجود نداشت. اما در OWA با تخصیص دسته دومی از وزنها با نام "وزن‌های ترتیبی" این امکان فراهم می‌شود که میزان جبران پذیری عوامل و سطح ریسک‌پذیری مدل کنترل شود(Boroushaki & Malczewski, 2008).

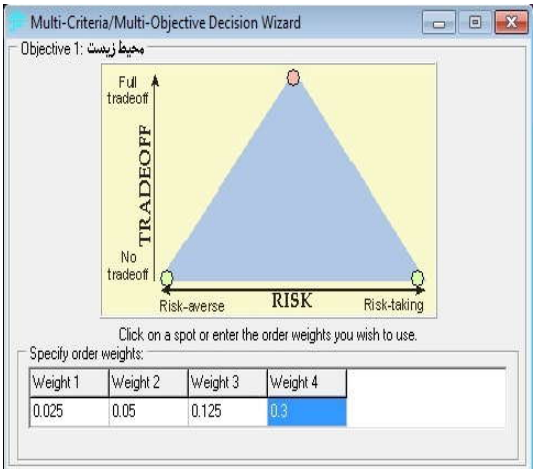
بررسی‌ها نشان داد که سه دسته از عواملی که در این مدل مکان‌یابی برای ورود به مسئله انتخاب شدند در سطوح مختلفی از جبران‌پذیری و ریسک قرار دارند. مثلا بین لایه‌های زیرمجموعهٔ عامل هزینه یک جبران پذیری کامل وجود دارد بدین معنی که از آنجا که هدف از هر سه لایه "فاصله از راهها"، "میادین اصلی" و"شیب" موارد اقتصادی است، می‌توان بیان کرد که اگر هزینه‌ها توسط یکی از آنها رو به افزایش رفت بتوان توسط یکی از دو لایه دیگر انتظار جبران داشت. اما این جبران‌پذیری در دو معیار آلودگی زیست‌محیطی و تناسب محیط زندگی وجود ندارد.

مثلاً در لایه‌های مربوط به آلودگی نمی‌توان انتظار داشت که افزایش خسارات زیست محیطی خطوط فشار قوی، با کاهش آلودگی کارخانه‌ها یا بهینه‌سازی محل‌های دفن زباله جبران شود و یا در لایه‌های تناسب زندگی نمی‌توان عدم تناسب ناشی از نزدیکی به آرامستان را با نزدیکی به فضای سبز قابل جبران دانست.

www.SID.ir

Archive of SID

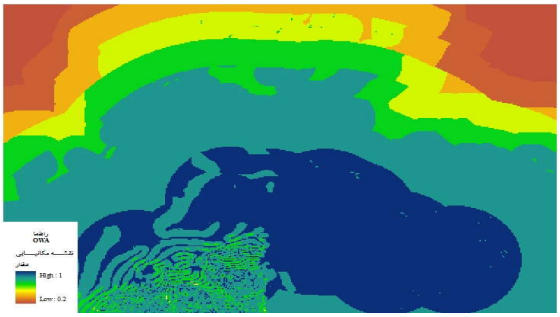
از طرف دیگر سطح ریسک‌پذیری تصمیم را نیز در قبال سه معیار هزینه، آلودگی و تناسب نمی‌توان یکسان در نظر گرفت. با توجه به بررسی‌های انجام شده روی پژوهش‌ها و متون مرتبط با امور برنامه‌ریزی شهری، سطح ریسک‌پذیری بالا برای آلودگی‌های زیست‌محیطی، سطح ریسک‌پذیری پایین برای تناسب محیط زندگی و سطح ریسک‌پذیری متوسط برای هزینه‌ها می‌تواند به‌خوبی جوابگوی نیازهای این مسئله باشد. برای عملی‌کردن OWA در این مرحله از محیط نرم‌افزاری IDRISI بهره‌گیری شد (شکل شمارهٔ ۵).



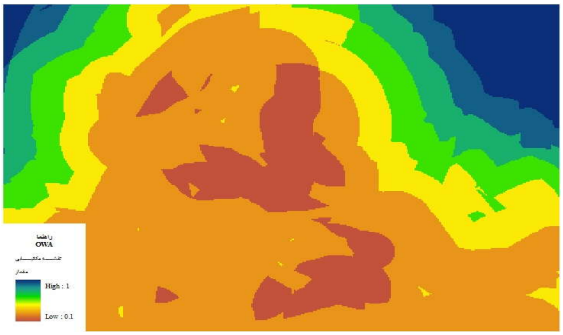
شکل شمارهٔ (۵): ورود وزنهای ترتیبی برای کنترل جبران پذیری و ریسک در نرم‌افزار IDRISI

با استفاده از وزن‌های معیار به‌دست آمده از AHP و مجموعه‌ای وزن‌های ترتیبی کارشناسی شده، در دو مرحله مسئله مکان‌یابی با روش OWA پیاده سازی شد.

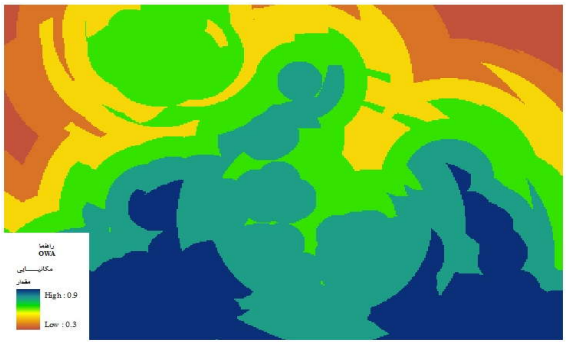
ابتدا و درسطح اول، معیار هزینه و لایه‌های آن با اولویت‌های کارشناسان و در سطح "جبران‌پذیری کامل" با سطح "ریسک‌متوسط" مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این بخش با همان وزن‌های به‌دست آمده از اولویت‌های کارشناسان و وزن‌های ترتیبی یکسان ۰/۳۳۳ برای تمامی سه عامل راه، میدان و شیب، مکان‌یابی صورت گرفت (شکل شمارهٔ۶-الف). سپس با استفاده از عواملی مرتبط با آلودگی زیست محیطی، وزن‌های معیار AHP و وزن‌های معیار برابر با ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۳ در یک سطح "ریسک بالا" و "جبران پذیری نسبتا پایین" به ارزیابی شایستگی نقاط مختلف پرداخته شد (شکل شمارهٔ ۶-ب). در آخرین مرحله از سطح یک، لایه‌های تناسب محل زندگی با یک سطح "ریسک‌پذیری پایین" و" جبران‌پذیری پایین" به همراه وزن‌های ترتیبی ۰/۵، ۰/۳ و ۰/۱۲۵ و وزن‌های معیار AHP تلفیق شدند. پس از این مراحل سه نقشه خروجی حاصل از اعمال OWA، دوباره در یک سطح "ریسک‌پذیری متوسط" و "جبران‌پذیری کاملا" ترکیب شدند تا نقشه نهایی حاصل شد (شکل شمارهٔ۶-د).



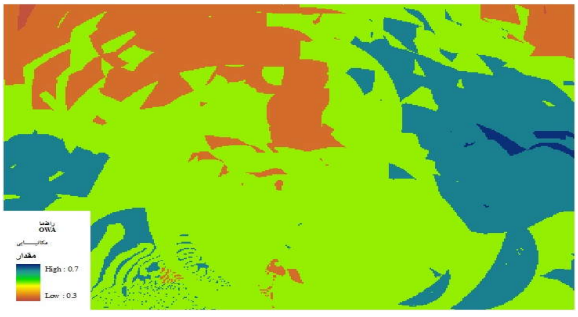
شکل شمارهٔ (۶ الف): ریسک متوسط –جبران پذیری کامل



شکل شمارهٔ (۶ ب): ریسک بالا– جبران پذیری اندک



شکل شمارهٔ (۶ ج): ریسک پایین –جبران پذیری اندک



شکل شمارهٔ (۶ د): ریسک متوسط –جبران پذیری کامل

www.SID.ir

Archive of SID

عملی‌کردن مدل مکان‌یابی Fuzzy AHP_OWA در محیط نرم‌افزاری

تا این مرحله از دو روش چندمعیاره AHP و AHP_OWA برای یک تصمیم‌گیری در خصوص مکان‌یابی استفاده شد. همان‌طور که ملاحظه شد، با این روشها امکان بهره‌گیری از آرای کمی و مستقیم کارشناسان و امکان کنترل ریسک‌پذیری و جبران‌پذیری تصمیم‌گیری فراهم آمد.

اما در بسیاری از موارد کارشناسان و تصمیم گیرندگان، علاوه بر مجموعه‌ای از اولویت‌های کمی، دارای آرای کیفی هستند که امکان مدل‌سازی دقیق آنها وجود ندارد. مخصوصا هنگامی که تعداد معیارها و عوامل زیاد می‌شود، برآوردهای کیفی از روابط میان عوامل تأثیرگذار (مثلا برآورده شدن آنها تا چه سطحی مطلوب خواهد بود)، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در تصمیم‌گیری نهایی داشته باشند. با ورود کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی در مدل AHP_OWA می‌توان علاوه بر مزایای ذکر شده، از اطلاعات کیفی تحلیل‌گران و تصمیم‌گیرندگان حتی در مواقعی که تعداد معیارها رو به افزایش می‌رود، استفاده کرد (Boroushaki & Malczewski, 2008).

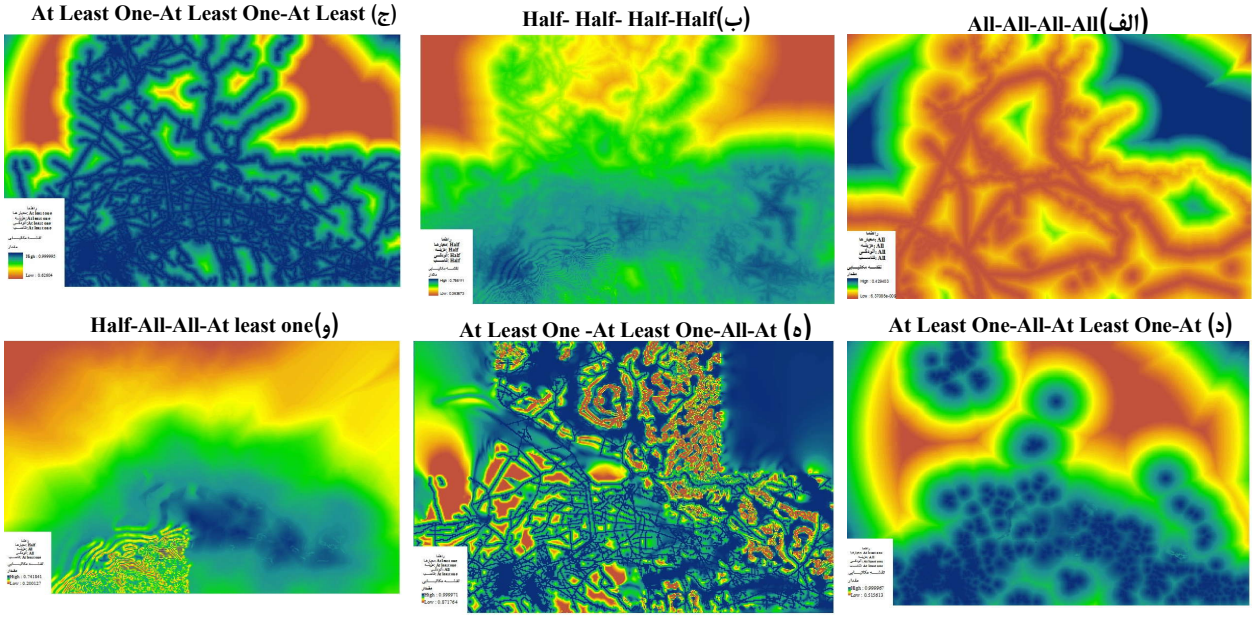
همان‌طور که پیشتر توضیح داده شد، مبنای روش AHP بر مقایسه‌های زوجی نهاده شده است که در حل مسئلهٔ مورد نظر این مقاله با استفاده از مطالعات صورت گرفته و آرای کارشناسان این مقایسه‌ها وارد محیط نرم‌افزاری شد. با توجه به ساختار سلسله مراتبی طراحی شده، این اولویت‌بندی‌ها در دو سطح صورت گرفت. ابتدا اهداف مسئله با یکدیگر مقایسه و ارزش‌دهی شدند وسپس معیارهای در نظر گرفته‌شده برای هر کدام از اهداف، اولویت‌بندی شدند. در مدل Fuzzy AHP_OWA با توجه به سه معیار اصلی هزینه، تناسب محیط زندگی و آلودگی، ابتدا یک مقایسه زوجی برای تعیین وزن‌های معیار سطح ۱ (u_q در فرمول ۱۰)، با استفاده از رابط کاربری مهیا شده، صورت گرفت (شکل شمارهٔ ۳-الف). در این قسمت با توجه به بررسی‌های انجام شده روی مطالعات صورت گرفته در زمینه ساخت و ساز، بالاترین ارزش نسبی به معیار "هزینه" اختصاص یافت تا محلی که با استفاده از مدل fuzzy AHP_OWA پیشنهاد می‌شود در درجهٔ اوّل هزینه‌های کمتری را به سازندگان و ساکنان آینده مجتمع وارد کند. اولویت دوم از معیارهای اصلی به آلودگی محیط زیست اختصاص یافت و به این ترتیب عوامل زیست‌محیطی با ارزش‌دهی مناسبی در مدل مکان‌یابی Fuzzy AHP_OWA گنجانده شدند تا ساخت‌وسازها و مجتمع‌های مسکونی تأثیرات منفی کمتری روی محیط‌زیست داشته باشند. همچنین با مطالعات صورت گرفته در امور برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی، به معیار اصلی "تناسب محیط زندگی" ارزش‌دهی نسبی پایین‌تری اختصاص‌دهی شد(Malczewski & Rinner, 2005).

برای عملی‌کردن ساختارسلسله مراتبی طراحی شده برای حل مسئله بدین شکل عمل شد که ابتدا برای هرکدام از اهداف بطور جداگانه وزن‌دهی معیارها با استفاده از AHP-OWA انجام می‌شود تا به تعداد اهداف، نقشه خروجی تولید شود. سپس این نقشه‌ها دوباره با استفاده از روش AHP-OWA و کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی تلفیق می‌شوند تا خروجی کار یک نقشهٔ تناسب مناطق مختلف شهر تبریز برای احداث مجتمع‌های آپارتمانی مسکونی باشد. بنابراین پس از مشخص شدن مشخصه‌های مربوط به وزن‌دهی معیارها و لایه‌های مختلف به تولید نقشه‌های مکان‌یابی پرداخته شد. درواقع می‌توان گفت که هر کمیت‌سنج مفهومی فازی مبین یک سناریوی مکان‌یابی است که با تغییر مشخصهٔ α منجر به نتایج مختلف می‌شود. در این پژوهش با درنظرگرفتن مقادیر مختلف برای α در هر کدام از سطوح سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارها،(شکل شمارهٔ ۱) به بحث و بررسی نتایج پرداخته شد و با اختصاص چهار مقدار برای α در هر مرحله نقشه‌ای جدید به‌دست آمد. اولین مقدار α مبین یک عبارت مفهومی فازی برای معیارهای اصلی هزینه، تناسب محیط و آلودگی است. از طرف دیگر مقدارهای دوم، سوم و چهارم α به ترتیب به زیرمعیارهای متناظر(لایه‌ها) با هر کدام از معیارهای اصلی تخصیص داده شدند (شکل شمارهٔ ۳). اولین مرحله از fuzzy AHP_OWA با اختصاص اپراتور فازی "همگی" برای تمامی معیارها و زیرمعیارهای مسئله شروع شد. با قرار دادن کمیت‌سنج برابر با مفهوم "همگی" سناریوی مکان‌یابی منجر به بدترین حالت خواهد شد چراکه کمترین مقدار S_q (معادله۹) به هر سلول اختصاص می‌یابد (Boroushaki & Malczewski, 2010). به‌همین دلیل کمیت‌سنج فازی "همگی" را هم‌ارز با اپراتور MIN و عملگر منطقی AND قرار می‌دهند. برای رسیدن به مفهوم "همگی" می‌باید مقدار α در معادله (۱۰)، مقداری بسیار بزرگ قرار داده شود به‌طوری‌که $\alpha \to \infty$ شود. در مدل تهیه شده برای این مسئله مقدار $\alpha = 1000$ قرار داده شد. همان‌طورکه در نقشه تولیدی (شکل شمارهٔ ۷-الف) نمایش داده شده است بهترین مناطق در این نقشه مربوط به مناطقی است که در دورترین موقعیت از همهٔ ده لایهٔ اطلاعاتی که در مدل وارد شدند، قرار گرفته‌اند. به‌عبارت دیگر بهترین مناطق پیشنهادی در منتهی الیه شمال غربی و شمال شرقی از مرکز شهر تبریز قرار گرفته‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

هنگامی‌که از عملگر منطقی AND برای مکان‌یابی احداث مجتمع‌های مسکونی استفاده می‌کنیم، این عملیات به‌صورت "ریسک ناپذیر" اجرا می‌شود و باید محلی انتخاب شود که حتماً تمامی شاخص‌ها را برآورده سازد. از طرف دیگر این عملگر به هیچ وجه امکان جبران‌پذیری برای یک معیار با سایر معیارها را فراهم نمی‌کند (Malczewski & Rinner, 2005). در دومین مرحله، معیارها و زیرمعیارهای مسئله با کمیت‌سنج فازی "نصف" مورد بررسی قرار گرفتند. کمیت‌سنج مفهومی فازی "نصف" با قرار دادن α=1 به‌دست می‌آید که در این حالت مدل به شکل یک ترکیب خطی وزن‌دار خواهد شد. نقشهٔ خروجی با استفاده از این مشخصه تأکید بیشتر روی مناطقی که در فاصله نزدیک‌تری از راههای اصلی و مراکز اصلی شهر تبریز قرار دارند، (شکل شمارهٔ ۷–ب) و شباهت بسیاری با نقشهٔ نهایی روش AHP دارد(شکل شمارهٔ ۴–د). به‌عبارت دیگر این نقشهٔ مکان‌یابی، "دسترسی" و درنتیجه "هزینه" را بیشتر در نظر می‌گیرد. کمیت‌سنج مفهومی فازی "حداقل یکی" در مرحلهٔ سوم از به‌کارگیری fuzzy AHP_OWA اعمال شد.با قرار دادن مقداری کوچک برای α، به‌طوری‌که $\alpha \to 0$ یک نقشهٔ مکان‌یابی به‌دست می‌آید که در آن تأکید بیشتر و مناطق مناسب‌تر در نزدیکی تمامی راههای اصلی و فرعی قرار گرفته‌اند (در اینجا $\alpha = 0.0001$قرار داده شد) (شکل شمارهٔ ۷–ج). از آنجایی که در این کمیت‌سنج بیشترین مقادیر S_q به سلول‌ها اختصاص داده می‌شود، این مشخصه معادل عملگر MAX، یا عملگر منطقی OR است. هنگامی‌که از عملگر منطقی OR برای مکان‌یابی احداث مجتمع‌های مسکونی استفاده می‌شود، این عملیات با "ریسک پایین" اجرا می‌شود و باید محلی انتخاب شود که حداقل یکی از شاخص را برآورده سازد. البته این عملگر نیز به هیچ وجه امکان جبران‌پذیری برای معیارها فراهم نمی‌آورد (Malczewski & Rinner, 2005). در این قسمت از پژوهش با استفاده از کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی (تغییر مشخصه α)، بیش از ۱۲ نقشهٔ مکان‌یابی تولید شد که تعدادی از آنها در در شکل شمارهٔ (۷) نشان داده شده‌اند.



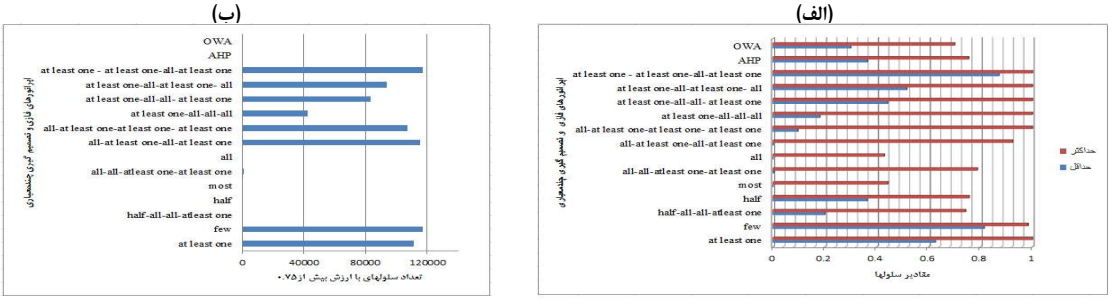
شکل شمارهٔ (۷): تلفیق AHP_OWA با کمیت سنج‌های مفهومی فازی مختلف

با بررسی و مقایسهٔ خروجی‌های این مرحله مشخص شد که با تغییر α از 0.0001 به 1000 و افزایش ریسک‌پذیری تصمیم‌گیری، مقادیر شایستگی که به هر کدام از سلول‌ها تخصیص شد، کاهش یافت که این را می توان ناشی از حرکت از عملگر MAX، به عملگر MIN تفسیر کرد (شکل شمارهٔ ۸–الف). از طرف دیگر با افزایش مقدار α، تعداد سلول‌هایی که در هر کدام از نقشه‌های مکان‌یابی به‌عنوان بهترین مقادیر معرفی می‌شوند، رو به کاهش رفت (Value>0.75) (شکل شمارهٔ ۸–ب). این مسئله این‌گونه توجیه شد که افزایش α از صفر به بینهایت منجر به افزایش ریسک‌پذیری تصمیم می‌شود و درنتیجه از آنجایی که یک انتخاب با ریسک بالا نمی‌تواند شامل طیف گسترده‌ای از گزینه‌ها بشود، از تعداد سلول‌های پیشنهادی برای احداث مجتمع‌های مسکونی کاسته می‌شود. این مسئله را به این شکل نیز می‌توان تفسیر کرد که با افزایش ریسک در مدل تعداد گزینه‌هایی که تمامی شاخص‌های

www.SID.ir

Archive of SID

دهگانه را برآورده سازند، قطعا کاهش خواهد یافت. همچنین همان‌طور که پیشتر اشاره شد، با α=0.5، مدل fuzzy AHP_OWA به ترکیب خطی وزن‌دار تبدیل می‌شود که در آن یک جبران‌پذیری کامل و ریسک‌پذیری متوسط ارائه می‌شود. مقایسه این خروجی با خروجی‌های مربوط به AHP و AHP_OWA نشان داد که نقشه تولیدی با استفاده از کمیت‌سنج فازی Half ، هم‌ارزی بسیاری با نقشه نهایی حاصل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی داشت به‌طوری‌که مقادیر ماکزیمم و مینیمم در نقشهٔ Half که برابر با ۰/۰۳۶۳و۰/۷۴۱۸ بودند، بسیار نزدیک به مقادیر متناظر در نقشه حاصل از AHP شدند (۰/۷۳۴۹ و ۰/۳۵۴۳). از طرف دیگر بررسی تعداد سلولهایی که برای احداث مجتمع‌های مسکونی با مقادیر بالای ۰/۷۵بهدست آمده بودند حاکی از نزدیکی نتایج بود، به‌طوری‌که با کمیت "نصف" تعداد ۳۹سلول و با روش AHP، تعداد ۳۲ سلول به این مقادیر اختصاص داده شده بودند.



شکل شمارهٔ ۸: (الف)– حداکثر و حداقل مقادیر اختصاص دهی شده به سلول‌ها در هر کدام از روشهای پیاده سازی شده ، (ب)– تعداد سلول‌های با بالاترین مقادیر در هر کدام از روشهای پیاده سازی شده

نتیجه‌گیری

مسائل مکان‌یابی تحت تأثیر عوامل و شرایط مختلف قرار دارند که می‌توانند به طرق مختلف اعمال شوند. این مقاله با طی روندی هدفمند و استفاده از سه مدل تصمیم‌گیری AHP، OWA و کمیت سنج‌های مفهومی فازی به صورت مرحله به مرحله به معرفی راهکارهای مناسب برای رسیدن به تصمیم‌گیری مکانی جامع برای پشتیبانی از فرایند انتخاب محل احداث مجتمع‌های آپارتمانی مسکونی در شهرستان تبریز پرداخت. با بررسی‌هایی که صورت گرفت سه نوع معیار در سطح اوّل تصمیم‌گیری انتخاب شد که عبارت بودند از هزینه، آلودگی محیط زیست و تناسب محل زندگی. با توجه به این معیارهای اصلی، ۱۰ لایهٔ اطلاعاتی از شهر تبریز جمع‌آوری و طبقه‌بندی شد. پس از تعیین اهداف و معیارهای تأثیرگذار روی مسئله می‌باید از آنها طی یک مدل تصمیم‌گیری برای انتخاب محل‌های مناسب استفاده می‌شد. ابتدا با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، از اطلاعات کمی کارشناسی در مورد ارزش نسبی عوامل و لایه‌ها برای مکان‌یابی بهره‌گیری و نقشه‌های خروجی نیز تولید شد. اما بررسی بیشتر معیارها حاکی از این بود که این سه معیار اصلی در سطح یکسانی از تصمیم‌گیری از لحاظ جبران‌پذیری و ریسک‌پذیری قرار ندارند. برای مثال ماهیت شاخص‌های زیرمجموعهٔ معیار "هزینه" دارای جبران‌پذیری بالایی بود، با وجود این‌که ریسک تصمیم‌گیری نیز در مورد آنها پایین نبود و در شرایط متوسطی قرار داشت. از طرف دیگر آلودگی‌های زیست‌محیطی به دلیل آثار خطرناکی که روی سلامتی انسان‌ها و محیط‌زیست دارند در سطح بالایی از ریسک‌پذیری می‌باید در نظر گرفته شوند. همچنین عواملی مرتبط با عامل "تناسب محیط زندگی" با وجود جبران‌پذیری و ریسک ناچیز، به گونه‌ای بودند که نمی‌توان از تأثیر آنها در فرایند مکان‌یابی احداث مجتمع‌های مسکونی چشم‌پوشی کرد. پس بهتر بود که با ماهیت "ریسک پایین" و "جبران‌پذیری اندک" در مدل مکان‌یابی وارد شدند. اما امکان ورود این اطلاعات در یک AHP وجود نداشت. بررسی‌ها نشان داد که مدل OWA امکان کنترل سطح جبران‌پذیری و ریسک‌پذیری را در یک تصمیم‌گیری فراهم می‌آورد. اما از آنجا که OWA نمی‌توانست بخوبی AHP، از اولویت‌های مستقیم کارشناسان بهره‌گیری کند، از تلفیق آنها برای اجرای فرایند مکان‌یابی بهره‌گیری شد. در این مرحله نیز با بررسی بیشتر نتایج و آرای کارشناسان یک سری نواقص مورد توجه قرار گرفت. به عنوان نمونه در تصمیم گیری‌هایی با عوامل و عوامل زیاد (مانند این مسئله) امکان بیان دقیق روابط و سطح انتظار از مدل مکان‌یابی، از سوی تحلیل‌گران وجود نداشت و صرفاً یک سری اطلاعات کیفی از چگونگی تعامل شاخص‌ها با یکدیگر، قابل اکتساب بود. با استفاده از روشهای AHP و OWA، و یا تلفیق آنها، ورود این اطلاعات کیفی به مدل تصمیم‌گیری ممکن نبود. این موارد

www.SID.ir

Archive of SID

موجب استفاده از کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی به همراه AHP_OWA شد تا علاوه بر استفاده از آرای کمی کارشناسان و کنترل ابعاد تصمیم‌گیری، اطلاعات کیفی تحلیل‌گران نیز در تصمیم‌گیری وارد شود. بنابراین خروجی‌های تولید شده مطابقت بیشتری با موارد مدنظر برای احداث مجتمع‌های آپارتمانی در شهر تبریز داشت. روشهای AHP، AHP_OWA و Fuzzy AHP_OWA را در بسیاری از تصمیم‌گیری‌های مکانی می‌توان مورد استفاده قرار داد. همچنین می‌توان از تلفیق با سایر روشها و عملگرهای فازی مانند TOPSIS و تصمیم‌سازی گروهی و حتی الگوریتم‌های تکاملی چندهدفی، برای مدل‌سازی بهتر مکان‌یابی بهره گرفت که در پژوهش‌های آتی نگارندگان این مقاله ارائه خواهد شد.

یادداشت‌ها

1–Multi Criteria Decision making Analysis (MCDA)
2- Ordered Weighted Averaging (OWA)
3- Analytical Hierarchy Process (AHP)
4- Regular Increasing Monotone (RIM)
5- Decision Support System (DSS)

منابع مورد استفاده

Anderienko,N. 2003. Intelligent support for geographic data analysis and decision making in the web. J Geogr Inf Decis An 5(2): 115-128.

Barredo,J.I., et al. 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island,Spain. International J. Appl. Earth Observ. Geoinform. 2 (1), 9–23.

Beedasy,J., D.,Whyatt.1999. Diverting the tourists: aspatial decision- support system for tourism planning on a developing island. J. Appl. Earth Observ. Geoinform. 3/4, 163–174.

Boroushaki,S., J.,Malczewski.2008. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. Computers & Geosciences 34 ,399–410.

Boroushaki,S., J.,Malczewski. 2010. Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making. Computers & Geosciences 36, 302–312.

Calijuri,M.L .2004. Multi-criteria analysis for the identification of waste disposal areas. Geotechnical and Geological Engineering 22 (2), 299–312.

Collins,M.G., F.R.,Steiner, M.J.,Rushman. 2001. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. Environ. Manage. 28 (5), 611–621.

Dai, F.C. 2000. "GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study" Engineering Geology 61: 257-271.

Heywood,I., J.,Oliver, S.,Tomlinson.1995. Building an exploratory multi-criteria modelling environment for spatial decision support. In: Fisher, P. (Ed.), Innovations in GIS, vol. 2. Taylor & Francis,London, pp. 127–136.

Jankowski, P., Anderienko, N., Anderienko,G.2001. Map-centered exploratory approach to multiple criteria spatial decision making. International Journal of GIScience 15(2): 101-127.

Joerin, F., Theriault, M., Musy, A., 2001. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. International Journal of Geographical Information Science15, 153–174.

Lowenthal,R. M., D.M.,Tuck and I.C.,Bray .2007. "Residential exposure to electric power transmission lines and risk of lymphoproliferative & myeloproliferative disorders:a case-control study", Internal Medicine Journal, 37(9):614-619.

Makropoulos,C., D.,Butler, C.,Maksimovic.2003. A fuzzy logic spatial decision support system for urban water management. J.Water Resour. Plann. Manage. 129 (1), 69–77.

www.SID.ir

Archive of SID

Makropoulos ,C., D.,Butler.2005. Spatial ordered weighted averaging: incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multi-criteria decision-making. Environmental Modelling & Software 21 (1), 69–84.

Malczewski,J. 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. Wiley, New York, NY, 392 pp.

Malczewski,J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progr. Plann.62(1),3–65.

Malczewski,J. 2006a. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science 20 (7), 703–726.

Malczewski,J. 2006b. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation 8 (4), 270–277.

Malczewski,J., C.,Rinner. 2005. Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: a case study of residential quality evaluation. Journal of Geographical Systems 7 (2), 249–268.

Malczewski,J.,et al .2003. GIS multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): case study of developing watershed management strategies. Environment and Planning A 35 (10), 1769–1784.

Marinoni,O. 2004. Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. Computers & Geosciences 30 (6), 637–646.

Rinner,C., J., Malczewski .2002. Web-enabled spatial decision analysis using ordered weighted averaging. J. Geogr. Syst. 4 (4), 385–403.

Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, NY, 437 pp.

Saaty,T.L., L.G.,Vargas. 1991. Prediction, Projection and Forecasting. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251 pp.

Wagner,E.D. 2002. Public key infrastructure (PKI) and virtual private network (VPN) compared using a utility function and the analytic hierarchy process (AHP). M.Sc. Thesis,Virginia Polytechnic Institute and State University, 50 pp.

Yager,R.R. 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 18 (1), 183–190.

Yager,R.R. 1996. Quantifier guided aggregation using OWA operators. International Journal of Intelligent Systems 11 (1), 49–73.

Yager,R.R., A.,Kelman. 1999. An extension of the analytical hierarchy process using OWA operators. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems 7 (4), 401–417.

Zadeh,L.A. 1983. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. Computers and Mathematics with Applications 9, 149–184.

www.SID.ir