فـصـلنامـه علمی ـ پژوهشی علـوم‌محیـطی، دوره یازدهم، شـمـاره ۳، پائیز ۱۳۹۲
Environmental Sciences Journal, Vol. 11, No. 3, Fall 2013

تصمیم‌گیری چندمعیاره برای پیش‌بینی توان توسعه شهری با استفاده از مدل منطق فازی WLC-AHP

(مطالعه موردی: زون جنوبی البرز مرکزی)

علیرضا پورخباز*[۱]، حمیدرضا پورخباز[۲]، سعیده جوانمردی[۳] و محمدجواد امیری[۴]

[۱] استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند
[۲] استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان
[۳] مربی گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان
[۴] استادیار گروه برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ... تاریخ چاپ:.....

چکیده

توسعه سریع نواحی شهری دنیا در قرن ۲۱ مسائل زیست‌محیطی را به دنبال داشته است که به روش‌های جدید تجزیه و تحلیل، و منابع جدید داده‌ها و اطلاعات نیاز دارد. برنامه‌ریزی اکولوژیکی همراه با تصمیم‌گیری چندمعیاره فرایندی است که ارزیابی زیست‌محیطی و اقتصادی ـ اجتماعی کاربری اراضی را با هدف مدیریت منابع طبیعی، حفظ اکوسیستم و حل یا کاهش برخوردهای احتمالی زیست‌محیطی انجام می‌دهد. هدف این تحقیق، تعیین توان اکولوژیک توسعه شهری برای زون جنوبی البرز مرکزی با استفاده از مدل منطق فازی در محیط GIS و Idrisi است. این ارزیابی، پارامترهای اکولوژیک اعم از پارامترهای فیزیکی (شامل توپوگرافی، ارتفاع، شیب، خاک، سنگ مادر، بارندگی، دما و ...) و پارامترهای زیستی (شامل تراکم پوشش گیاهی و مناطق حفاظت شده) را که در کاربری توسعهٔ شهری مؤثرند، با هم ترکیب می‌کند. ابتدا، کاربری اراضی شهری براساس طبقات مدل اکولوژیک حرفی ایران به انواع مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب طبقه‌بندی شد. سپس تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت ارزیابی تناسب اکولوژیکی توسعه برای هر طبقه براساس ارزش و وزن فاکتورها انجام شد و نقشه تناسب طبقات با کمک الگوریتمی که فاکتورها را به روش تلفیقی فازی WLC-AHP ترکیب می‌کند، بسط داده شد. نتایج نشان داد که تصمیم‌گیری چندمعیاره همراه با مدل فازی برای ارزیابی زیست‌محیطی توسعه شهری عملکرد بالایی دارد.

کلماتکلیدی: کاربری توسعهٔ شهری، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل فازی، ترکیب خطی وزنی، تحلیل سلسله‌مراتبی.

Multicriteria Decision Making for Urban Development Capability Predictive Using Fuzzy Logic Model (Case Study: The South Zone of Centeral Alborz)

Ali Reza Pourkhabbaz, *[1] Hamid Reza Pourkhabbaz,[2] Saeideh Javanmardi [3] and Mohammad Javad Amiri[4]

[1] *Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand*
[2] *Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology*
[3] *Instructor of Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology*
[4] *Assistant Professor, Department of Environmental Planning and Management, Faculty of Environment, University of Tehran*

Abstract

The rapidly expanding urban areas of the world constitute an environmental challenge for the 21st century that requires both new analytic approaches and new sources of data and information. Ecological Planning with multi-criteria decision making is a process that evaluates the alternative land uses in relation to its environmental and socioeconomic surroundings, with the purpose of manage the natural resources, preserve the ecosystems and solve or diminish possible environmental conflicts. The objective of this research is to determine an ecological capability of urban development by using Fuzzy Logic Model (FLM) in GIS and IDRISI environments for the south zone of Centeral Alborz. This evaluation incorporated ecological factors in the region, such as physical factors (Topography, Elevation, Slope, Soil, Geology, Precipitation, Temperature) and biological factors (Vegetation density and Conservation areas) affecting in urban development land use. First, Urban land-use was categorized according to the classes of ecological word model in Iran, such as suitable, relatively suitable and unsuitable. Then, Multi-Criteria Decision Making (MCDM) was performed to evaluate ecological suitability of the development for each class, according to appropriately measured and weighted factors and a suitability map for the classes was developed using an algorithm that combines factors in the integrated fuzzy method of Weighted Linear Combination- Analytical Hierarchy Process (WLC-AHP). The results indicated that MCDM with FLM has high functionality for environmental evaluation of urban development .

Keywords: Urban Development Land use, Multi-Criteria Decision Making, Fuzzy Logic Model, WLC, AHP.

* Corresponding author. *E-mail Address*: APourkhabbaz@yahoo.com

۱- مقدمه

در حال حاضر، حجم شهرنشینی یا رشد آن باعث تغییر الگوی کاربری/ پوشش اراضی یک منطقه می‌شود [۱]، به‌طوری که بخش وسیعی از مرغوب‌ترین و مناسب‌ترین اراضی بلافصل شهرها، از جمله زمین‌های کشاورزی و جنگلی مجاور را جذب می‌کند [۲] و بر تنوع زیستی منطقه تأثیر منفی می‌گذارد [۳]. در این راستا، برنامه‌ریزی سرزمین امری ضروری است که بر ارزیابی توان محیط‌زیست استوار است [۴]. در حالتی که معیارهای چندگانه (اعم از کیفی و کمی) مطرح باشند، فقدان استاندارد برای اندازه‌گیری معیارهای کیفی و فقدان واحد برای تبدیل معیارها به یکدیگر تصمیم‌گیری را پیچیده می‌کند. برای رفع این مشکل یا کمینه‌کردن آثار جانبی آن، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شود [۵]. روش ارزیابی چندمعیاره[1] (MCE) یکی از اصولی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) است [۶]، که به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری فضایی برای برنامه‌ریزی سرزمین به‌کار می‌رود [۷ و ۸]. بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای که با آن مواجه‌ایم، از نوع مسائل چندمعیاره است [۹ و ۱۰]. تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره مبتنی بر آنالیز تناسب اراضی در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، منطقه‌ای و زیست‌محیطی است [۱۱]. یکی از متداول‌ترین تکنیک‌ها در این تصمیم‌گیری، روش ترکیب خطی وزنی[2] (WLC) است [۱۲]، که یک روش امتیازبندی مبتنی بر مفهوم میانگین وزنی است و امتیاز کلی برای هر گزینه آن از راه ضرب وزن هر صفت در امتیاز آن، و جمع‌کردن نتایج حاصله ایجاد می‌شود. در ارتباط با تعیین نقاط مستعد توسعه شهری منطقه، از مدل منطق فازی با کمک روش تلفیقی ترکیب خطی وزنی و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP-WLC) استفاده می‌شود. بنابراین در استفاده از منطق فازی، روش ترکیب برای ارزیابی کیفیت اراضی، متفاوت از روش سیستمی ادغام نقشه‌هاست [۱۳]. روش به کار رفته در این منطق نیز روش ترکیب خطی وزنی (WLC) است که یک روش ارزیابی چندمعیاره یا عامل ترکیبی است [۱۴].

در ارزیابی توان اکولوژیک حاشیه شهر تهران برای توسعه شهری با بهره‌گیری از GIS/RS، از روش تجزیه و تحلیل سیستمی و مدل اکولوژیکی حرفی ایران استفاده شد [۱۵]. در تحقیقی دیگر، تحت عنوان سیستم تجزیه و تحلیل فضایی برای مدیریت کاربری اراضی براساس GIS، و مدل‌سازی ارزیابی چندمعیاره در شهر Chansha چین، از تلفیق دامنه وسیعی از داده‌های اکولوژیکی، زیست‌محیطی، توسعه و برنامه‌ریزی شهری کمک گرفته شد [۱۶]. افزایش جمعیت، گسترش بی‌رویه و پرشتاب و توسعهٔ صنایع در منطقه مطالعاتی، ضرورت تعیین قابلیت‌های اکولوژیک و مکان‌یابی صحیح و همسو با مقوله‌های توسعه و محیط‌زیست را نشان می‌دهد [۱۷]. بنابراین هدف تحقیق حاضر، تعیین توان اکولوژیک توسعه شهری برای زون جنوبی البرز مرکزی با استفاده از مدل منطق فازی در محیط GIS و Idrisi است. بر این اساس، فرض بر این است که با کمک تکنیک تلفیقی WLC-AHP می‌توان راستای توسعه شهری در منطقه مطالعاتی را مشخص کرد.

۱- ۱- منطق فازی و توابع عضویت

این نظریه برای اولین‌بار توسط دانشمند ایرانی، پروفسور عسکر لطفی‌زاده برای اقدام در شرایط عدم اطمینان ارائه شد. منطق فازی یک منطق چندمقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن علاوه بر آن که اعداد ۱ یا صفر را اختیار می‌کنند، می‌توان تمامی مقادیر بین این دو عدد را نیز به آن‌ها اختصاص داد [۱۸]. در نظریه مجموعه‌های فازی، مفهوم تابع عضویت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تابع عضویت، مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند [۱۹]؛ در این خصوص می‌توان به توابع خطی[3]، J شکل[4]، S شکل[5] و توابع عضویت[6] اشاره کرد [۲۰]. پیش از انجام عملیات ادغام نقشه‌ها، لازم است تمامی لایه‌های مورد استفاده از اعداد و مقادیر معیار ارائه شده استاندارد شوند. مقیاس معمولی برای استفاده در منطق فازی مقیاسی بین صفر و ۱ است، که می‌توان به جای مقیاس ۱-۰ از مقیاس ۲۵۵-۰ نیز استفاده کرد؛ در این مقیاس، اعداد نزدیک‌تر به ۲۵۵ مرغوبیت بیشتری دارند [۲۱].

۲- مواد و روش‌ها

محدوده این پژوهش بخشی از زون جنوبی البرز مرکزی در استان قزوین است، که در طول جغرافیایی '۳۰° ۴۹ تا '۳۰ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی °۳۶ تا '۳۰ °۳۶ شمالی قرار دارد. مساحت این منطقه در حدود ۲۰۶۰۹۴/۵۶ هکتار است و به‌دلیل داشتن ارتفاعات متعدد همچون رشته کوه البرز در شمال و گسترش آن در جهات شمال شرقی و شمال غربی و کوه‌های پراکنده در نقاط دیگر، از شرایط مناسب زیست‌اقلیمی برخوردار است.

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و به‌شیوه توصیفی ـ تحلیلی است و اطلاعات آن به دو صورت اسنادی (کتابخانه‌ای) و میدانی (پیمایشی) جمع‌آوری شده است. ضمناً از مدل‌های اکولوژیک حرفی و روش‌های تصمیم‌گیری

چندمعیاره مانند منطق فازی، ترکیب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[7] (AHP) و WLC، و نرم‌افزارهای ArcGIS 9.3، Idrisi 32، Excel 2007 و Expert Choice 2000 برای انجام تحقیق استفاده شده است. مدل حرفی برای ارزیابی توان توسعه شهری در ایران شامل فاکتورهایی همچون ارتفاع از سطح دریا (E)، درصد شیب (So)، جهت جغرافیایی (As)، میزان بارندگی (Cp)، دما (Ct)، رطوبت نسبی (Ch)، سرعت باد غالب (Cw)، زمین‌شناسی (سنگ مادر Li)، بافت خاک (Pte)، عمق خاک (Pd)، تحول‌یافتگی خاک (Ps)، دانه‌بندی خاک (Pg)، شرایط زهکشی خاک (Pdr)، فرسایش خاک (Es)، درصد تراکم پوشش گیاهی (Vgo) و دبی آب (Wc) است. مراحل اجرایی این تحقیق عبارت است از:

۱. آماده‌سازی پارامترها با عملیات ژئورفرنس، تصحیح و ویرایش، رقومی‌سازی، تعریف سیستم مختصات (UTM-39N)، درون‌یابی[8]، با کمک توابع ادغام[9] و برش[10] در محیط ArcGIS 9.3.

۲. استخراج محدودیت‌ها و فاکتورها و طبقه‌بندی مجدد محدودیت‌ها به‌صورت صفر و ۱ (براساس منطق بولین).

۳. تعیین وزن و توابع عضویت هریک از فاکتورها پیش از ادغام نقشه‌ها در اجرای مدل فازی [۲۱]. بدین‌منظور، الف) کلیه لایه‌های رستری پس از ورود به نرم‌افزار Idrisi [۲۲]، با کمک تابع عضویت خطی (با اشکال فزاینده به‌طور یکنواخت[11]، کاهنده به‌طور یکنواخت[12] و متقارن[13]) و با استفاده از روابط ۱ و ۲ استانداردسازی شدند [۲۰ و ۲۳].

$$E_{LI} = \frac{Z - C_o}{C_1 - Co} \quad \text{if} \quad Z \rangle C_1 \qquad E_{LI}(Z) = 1 \qquad (۱)$$

$$E_{LD} = \frac{Z - C_2}{C_2 - C_3} \quad \text{if} \quad Z \rangle C_2 \quad E_{LD}(Z) = 1 \qquad (۲)$$

در این روابط C_0، C_1، C_2 و C_3 نقاط کنترل، Z نمره خام گزینه، و E_{LI} و E_{LD} نمره استاندارد شده است.

این توابع براساس کار کارشناسی، مشورت با متخصصین و منابع علمی موجود و نیز آزمون و خطا تهیه شدند. پس از استانداردسازی و براساس منطق فازی، لایه‌ای به وجود آمد که ارزش داده‌های آن در دامنه‌ای بین صفر تا ۲۵۵ قرار داشت؛ در غیر این شرایط، این کار با کشیدن لایه[14] [۲۴ و ۲۵] و به کمک توابع عضویت انجام شد. ب) از آنجا که معیارهای مختلف ماتریس تصمیم در تعیین کاربری اراضی از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند، دانستن ضریب اهمیت یا وزن هریک از این معیارها در تصمیم‌گیری و ارزیابی ضروری است [۲۶]. در این تحقیق نیز با استفاده از دانش متخصصان و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به پارامترهای اکولوژیک وزن داده شد.

۴. تلفیق لایه‌ها با استفاده از قواعد تصمیم‌گیری چندمعیاره[15] (MCDM) به‌منظور دست‌یابی به مناطق مستعد کاربری توسعه شهری. بدین‌منظور، منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل منطق فازی و روش ترکیب خطی وزنی (WLC) مورد ارزیابی قرار گرفت [۲۷]. این روش را می‌توان چنین نشان داد [۲۸]:

$$S = \sum W_i X_i \Pi C_j \qquad (۳)$$

S: مطلوبیت؛

W_i: وزن فاکتور i؛

X_i: امتیاز معیاری فاکتور i؛

C_j: امتیاز محدودیت j ؛

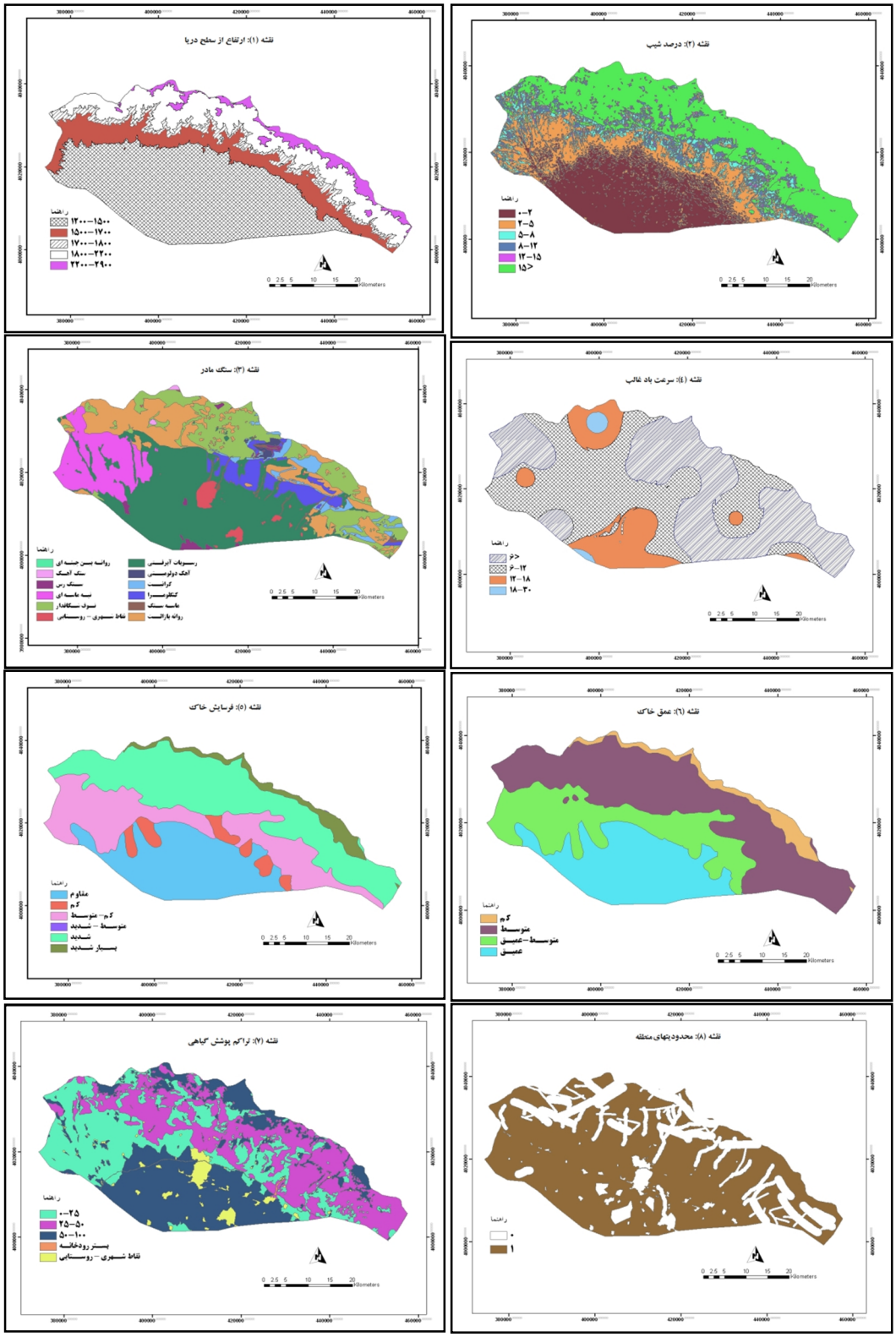
Π: عمل‌گر حاصل‌ضرب.

بدین‌ترتیب، حاصل‌ضرب‌ها به‌صورت برداری جمع شد تا مجموع امتیازات هر پیکسل حاصل شود [۲۹].

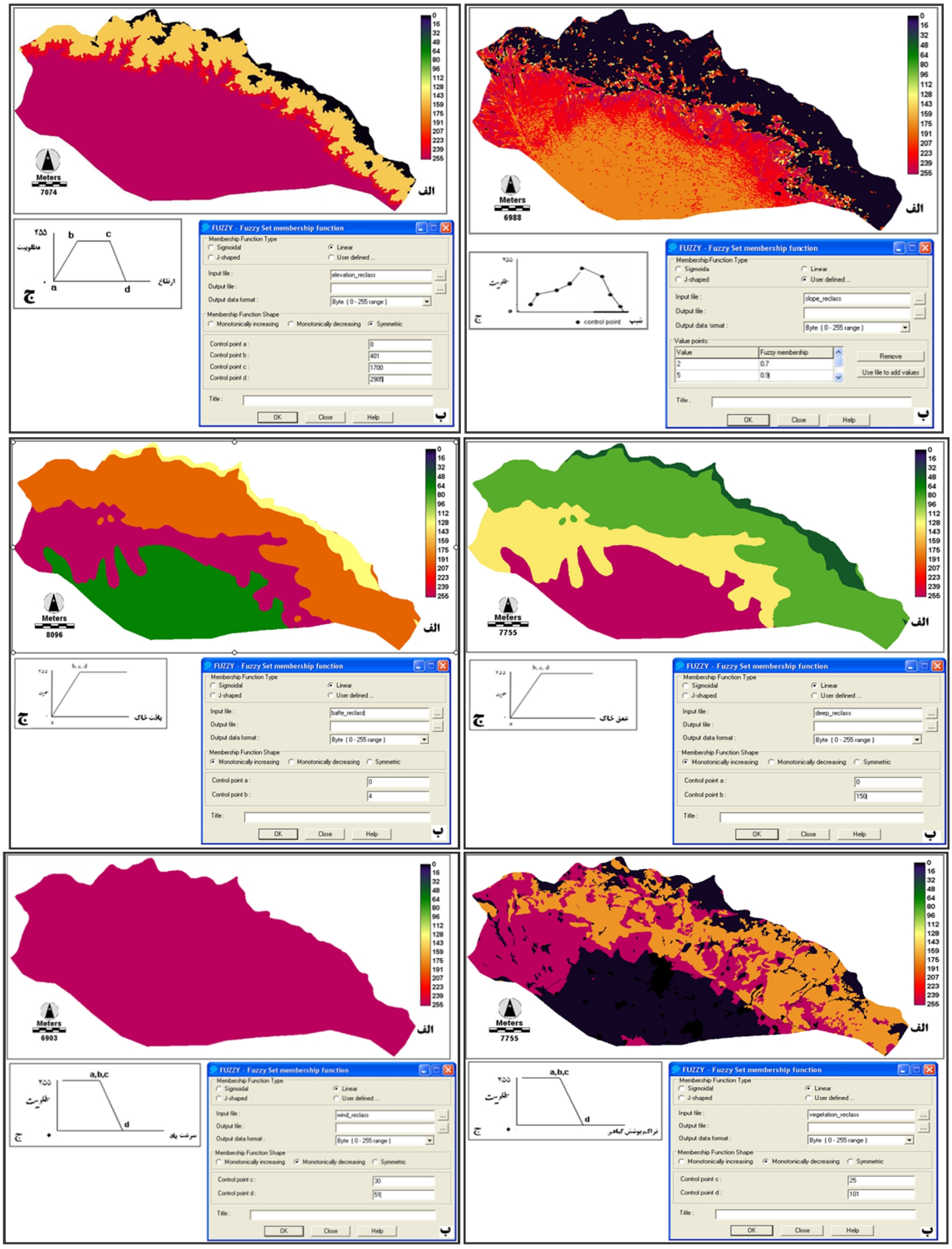
۵. در مرحله آخر، برای مشخص‌شدن طبقات سه‌گانه توسعه شهری روی نقشه حاصل، از ماژول‌های Stretch، هیستوگرام پراکنش داده‌ها (Histo) و تابع طبقه‌بندی مجدد (Reclass) در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد و نقشه نهایی ارزیابی به دست آمد.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از مطالعات پارامترهای اکولوژیک منطقه مورد نظر به نقشه‌های رقومی تبدیل، و با توجه به مدل ارزیابی اکولوژیک کاربری شهری (جدول ۱) مجدداً طبقه‌بندی شدند (شکل ۱). برای اجرای ارزیابی معیارها با منطق فازی، نقشه‌های شیب و راستا با تابع عضویت و سایر نقشه‌ها با تابع عضویت خطی استاندارد شدند. در شکل ۲، تصویر فازی به‌همراه نوع و شکل تابع عضویت و همچنین روش فازی‌سازی تعدادی از فاکتورهای اکولوژیک آورده شده است. وزن‌دهی به فاکتورها یکی از مراحل مهم و اساسی در به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی است. برای انجام این کار سه سطح: هدف (به‌عنوان اصلی‌ترین شاخه)، معیارها و زیرمعیارها ایجاد شد (جدول ۲). سپس داده‌های حاصل از نظرات کارشناسی، در نرم‌افزارهای Excel 2007 و Expert Choice 2000 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و وزن نهایی معیارها و زیر معیارها به دست آمد. به‌منظور ارزیابی توافق نظرات در مورد وزن‌های ماتریس، نسبت سازگاری محاسبه شد، که میزان آن باید کوچک‌تر از ۰/۱ باشد. در شکل ۳ وزن‌های فاکتورهای اکولوژیک نمایش داده شده که بر این اساس، میزان نسبت سازگاری قابل قبول است و صحت این مرحله را تأیید می‌کند.



شکل ۱- نقشه‌های پارامترهای اکولوژیک



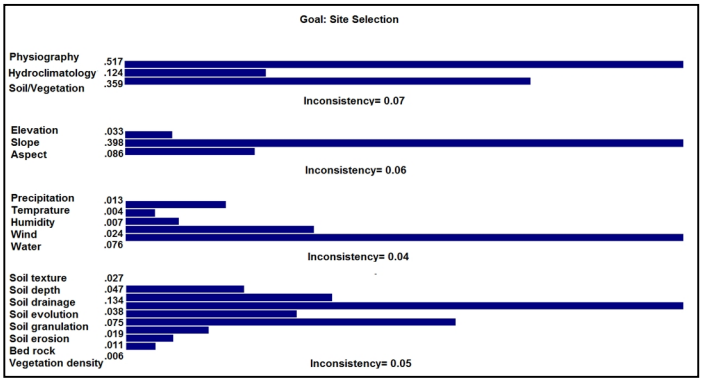
شکل ۲- الف) تصویر فازی؛ ب) روش فازی‌سازی؛ ج) تابع عضویت.

جدول ۱- طبقه بندی داده‌ها برای تعیین توان اکولوژیک کاربری توسعه شهری

شماره طبقه	F1 طبقه اول (مناسب)	F2 طبقه دوم (نسبتاً مناسب)	F3 طبقه سوم (نامناسب)	وزن نهایی
ارتفاع(m)	۴۰۱-۱۷۰۰	۰-۴۰۰/۱۷۰۱-۱۸۰۰	>۱۸۰۰	۰/۰۳۳
شیب (درصد)	۰-۱۲	۱۲/۱-۱۵	>۱۵	۰/۳۹۸
بارندگی(mm)	۳۰۱-۸۰۰	۵۱ -۲۰۰۰	۵۱> و >۲۰۰۰	۰/۰۱۳
دما (°c)	۱۸/۱-۲۶	۱۸/۱-۳۰	۱۸/۱> و >۳۰	۰/۰۰۴
رطوبت نسبی (درصد)	۴۰/۱-۸۰	۲۰/۱-۸۰	۲۰/۱> و >۸۰	۰/۰۰۷
بافت خاک	لومی- لومی رسی	شنی (عمیق)- شنی لومی- لومی (کم عمق تا متوسط)- لومی رسی (کم عمق تا متوسط)- لومی رسی شنی- رسی شنی- لومی شنی	شنی (کم عمق)- رسی سنگین یا نیمه سنگین- خاک هیدرومرف	۰/۰۲۷
فرسایش خاک	بدون فرسایش (مقاوم)- فرسایش خفیف (کم‌تر از ۲۵٪)	بدون فرسایش (مقاوم)- فرسایش خفیف (کم‌تر از ۲۵٪)	نسبتاً شدید تا بسیار شدید (بیش از ۲۵٪)	۰/۰۱۹
تحول‌یافتگی خاک	نیمه‌تحول‌یافته تا تحول‌یافته	نیمه‌تحول یافته	کم تحول یافته	۰/۰۳۸
دانه‌بندی خاک	ریز تا متوسط- متوسط	ریز تا متوسط - متوسط تا درشت	بسیار ریز	۰/۰۷۵
عمق خاک (cm)	۲۶-۱۵۰	۲۶-۵۰	<۲۶	۰/۰۴۷
زهکشی خاک	خوب تا کامل	۲-۱۵	۲-۱۵	۰/۱۳۴
دبی آب (سال/m^3)	>۶۰۰۰	>۳۰۰۰	<=۳۰۰۰	۰/۰۷۶
تراکم پوشش گیاهی (درصد)	<۲۵	<=۵۰	>۵۰	۰/۰۰۶
سرعت باد غالب (km/h)	۱-۳۵	۱-۵۰	>۵۰	۰/۰۲۴
جهت جغرافیایی	دشت (هموار)- جنوب غربی- جنوبی	جنوب شرقی- غربی	شمالی- شرقی- شمال غربی- شمال شرقی	۰/۰۸۶
سنگ مادر	ماسه‌سنگ- روانه‌های بازالت- رسوبات آبرفتی (آبرفت‌های فلات قاره)	سنگ آهک- سنگ رس- آهک دولومیتی- گرانیت- توف‌های شکاف‌دار- روانه‌های بین چینه‌ای- لس- آبرفتی (مخروط افکنه و آبرفت‌های دره‌ساز)- شیل- کنگلومرا	مارن- شیست- تپه‌های ماسه‌ای- دشت‌های سیلابی	۰/۰۱۱

جدول ۲- سلسله مراتب معیارها جهت اجرای فرایندAHP

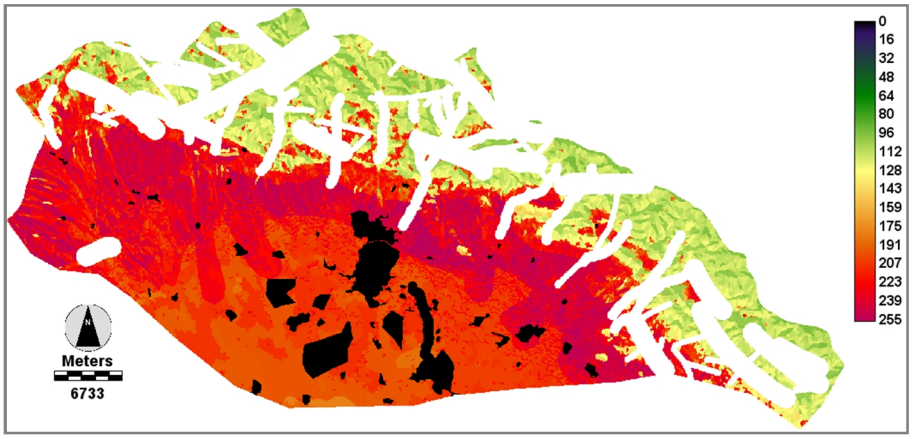
هدف	وزن‌دهی فاکتورها		
معیارها	فیزیوگرافی	هیدروکلیماتولوژی	خاک و پوشش گیاهی
زیر معیارها	ارتفاع، شیب، جهت	بارندگی، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، دبی آب	بافت، عمق، زهکشی، فرسایش دانه‌بندی، تحول‌یافتگی، سنگ مادر، تراکم پوشش گیاهی



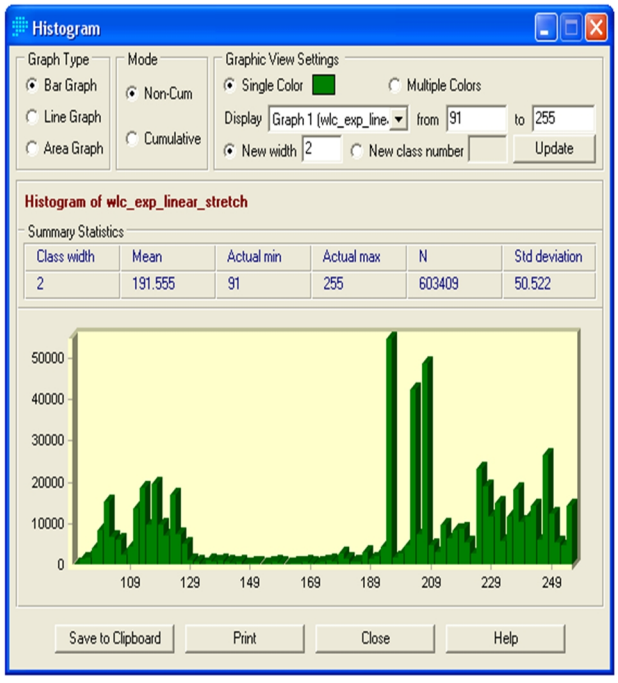
شکل ۳- وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها

۳-۱- تلفیق لایه‌ها با منطق فازی به روش WLC

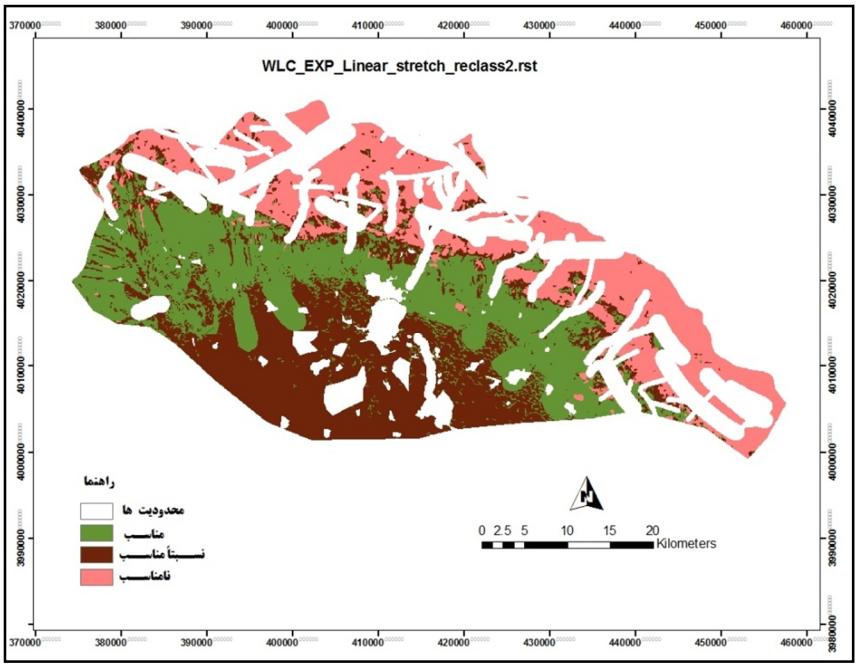
پس از بی مقیاس‌کردن و تعیین بردار وزن معیارها، برای تلفیق لایه‌ها از روش WLC در محیط Idrisi استفاده شد. بدین‌منظور، نقشه استاندارد شده هر فاکتور در وزن آن ضرب، و نهایتاً مجموع آن برای تمام فاکتورها در نقشه محدودیت ضرب شد. نقشه حاصل (شکل ۴) نمایان‌گر لایه‌ای با طیفی از مطلوبیت‌های متفاوت پیکسل‌ها (۰ تا ۲۵۵) است؛ مطلوبیت بیشتر نشان‌دهنده درجه توان بالاتر و مطلوبیت کم‌تر بیان‌گر درجه توان پایین‌تر برای توسعه شهری است. در مرحله آخر، با کمک هیستوگرام این نقشه (شکل ۵) و تعیین نقاط شکست، طبقه‌بندی طبقات سه‌گانه توسعه شهری انجام شد. در شکل ۶ نقشه نهایی طبقه‌بندی شده حاصل از اجرای مدل منطق فازی به‌روش WLC با تابع عضویت خطی دیده می‌شود.



شکل ۴- نقشه نهایی ارزیابی چندمعیاره فازی حاصل از اجرای روش WLC با تابع عضویت خطی



شکل ۵- هیستوگرام پراکنش داده‌ها



شکل ۶- نقشه نهایی طبقات کاربری توسعه شهری حاصل از اجرای مدل فازی به روش WLC با تابع عضویت خطی

نتایج تحقیق نشان می‌دهد (شکل ۱) که «شیب» در توسعه شهری یک عامل مهم است؛ شیب‌های ۱۲-۰ درصد، حدود ۶۰ درصد از منطقه را شامل می‌شود و شمال منطقه به‌دلیل کوهستانی بودن و داشتن شیب‌های تند برای توسعه نامناسب شناخته شد (نقشه ۲). بافت خاک در بخش‌های جنوبی و شمالی منطقه رسی، شنی لومی و لومی شنی و تنها در بخش مرکزی لومی و لومی رسی (مناسب برای توسعه) است. دبی آب نشان داد که میزان آب بالای ۶۰۰۰ متر مکعب در سال برای توسعه شهری مناسب (طبقه ۱) بوده که ۹۵درصد مساحت منطقه را شامل می‌شود، بنابراین منطقه از لحاظ آب، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل توسعه، مشکلی ندارد. توابع عضویت نشان‌گر تغییر تناسب منطقه برای کاربری توسعه شهری به‌ازاء تغییر در واحد هریک از پارامترها است. به‌عنوان مثال، به‌منظور یکنواخت‌سازی لایه عمق خاک، از تابع عضویت نوع خطی و شکل فزاینده استفاده شد. میزان مطلوبیت از صفر تا ۲۵۵ (صفر تا ۱۵۰سانتی‌متر) افزایش می‌یابد و برای مناطق دارای کم‌ترین عمق ۱۵۰ سانتی‌متر در مقدار بیشینه باقی می‌ماند؛ برای سرعت باد غالب نیز از تابع عضویت نوع خطی و شکل کاهنده استفاده شد. میزان مطلوبیت از ۲۵۵ تا صفر (۳۰ تا ۵۱ کیلومتر در ساعت) کاهش می‌یابد. در واقع برای مناطق با سرعت باد بیش از ۵۱ کیلومتر در ساعت در مقدار کمینه، و برای مناطق با سرعت باد کم‌تر از ۳۰ کیلومتر در ساعت در مقدار بیشینه باقی می‌ماند (شکل ۲). نتایج حاصل از تلفیق لایه‌ها به روش WLC در منطق فازی با توابع عضویت خطی (شکل ۶) حاکی از وجود هر سه طبقه توسعه شهری در منطقه مورد مطالعه است. در جدول ۳ درصد مساحت هر یک از طبقات توسعه شهری ارائه شده است.

جدول ۳- درصد مساحت طبقات موجود در منطقه مورد مطالعه حاصل ارزیابی به روش WLC

طبقات توسعه شهری	مساحت با تابع عضویت خطی (هکتار)	درصد
مناسب	۵۵۹۷۲/۲۵	۳۷/۱۱
نسبتاً مناسب	۵۳۸۱۲/۷۵	۳۵/۶۷
نامناسب	۴۱۰۶۷/۲۵	۲۷/۲۲
جمع کل	۱۵۰۸۵۲/۲۵	۱۰۰

همانطور که مشاهده می‌شود مساحت نقاط مناسب توسعه شهری بیش از ۳۵ درصد منطقه مطالعاتی را شامل می‌شود. در نهایت، در ارزیابی اکولوژیک توان توسعه شهری منطقه مورد مطالعه، مدل ریاضی خطی ۴ به دست آمد:

(۴)

WLC_Map=[(0.033*[Fuzzy_e])+(0.398*[Fuzzy_so])+(0.086*[Fuzzy_as])+(0.013*[Fuzzy_cp])+(0.004*[Fuzzy_ct])+(0.007*[Fuzzy_ch])+(0.024*[Fuzzy_cw])+(0.011*[Fuzzy_li])+(0.027*[Fuzzy_pte])+(0.047*[Fuzzy_pd])+(0.134 *[Fuzzy_pdr]) +(0.038*[Fuzzy_ps1]) +(0.075*[Fuzzy_pg]) +(0.076*[Fuzzy_wc]) +(0.006*[Fuzzy_vgo]) +(0.019*[Fuzzy_es])] Π [Boolean_Constraint]

WLC-Map: نقشه نهایی ارزیابی؛ اعداد فرمول: وزن فاکتورها؛ وFuzzy-F: نقشه فازی فاکتورها (مثلاً: Fuzzy-e: نقشه فازی ارتفاع از سطح دریا) و Boolean-Constraint: نقشه بولین محدودیت‌ها.

در این زمینه تحقیقات مشابهی صورت گرفته است، ازجمله استفاده از عوامل اکولوژیکی در ارزیابی کاربری اراضی شهر لانزهو و حومه‌اش در شمال غرب چین، که قابلیت توسعه از طریق آنالیز چندمعیاره (MCA) از این طریق ارزیابی شد [۳۰]. در بررسی حاشیه شهر تهران به‌منظور توسعه شهری نیز، از روی‌هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی و مدل حرفی اکولوژیک چنین حاصل شد که تنها ۳/۵ درصد از کل منطقه مطالعاتی قابل توسعه است. در بررسی یادشده (بر خلاف تحقیق حاضر) وزن همه معیارها یکسان در نظر گرفته شد.

٤- نتیجه‌گیری

نقشه نهایی ارزیابی توان نشان می‌دهد که طبقه مناسب شهری به‌صورت نواری از شرق تا غرب منطقه امتداد یافته (اثبات فرضیه) و کوهستانی بودن شمال منطقه و وجود باغات و اراضی کشت آبی در جنوب منطقه، از عوامل مهم محدودکننده توسعه شهری منطقه مورد نظر است. در نتایج حاصل از روش فازی این محدودیت‌ها مشخص شده است. در هر صورت، لازم است از توسعه بی‌رویه شهری در جهات مختلف شهر قزوین جلوگیری شود. بنابراین مدل منطق فازی WLC-AHP با دادن ارزش درونی و وزن به فاکتورها برای تعیین کاربری اراضی در سایر کاربری‌ها قابل استفاده بوده و نتایج بهتری از منطق بولین ارائه می‌کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از همکاران گروه محیط‌زیست دانشگاه بیرجند و دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان که در انجام این طرح تحقیقاتی کمال مساعدت را داشته‌اند، سپاسگزاری می‌کنند.

پی‌نوشت‌ها

1. Multi Criteria Evaluation
2. Weighted Linear Combination (WLC)
3. Linear functions
4. J-shaped
5. S-shaped
6. User-defined
7. Analytical Hierarchy Process (AHP)
8. Interpolation
9. Merge
10. Clip
11. Monotonically increasing
12. Monotonically decreasing
13. Symmetric
14. Stretch
15. Multi Criteria Decision Making

منابع

[1] Jat M K, Garg P K, Khare D. Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation; **2007**; **16**: 1-18.

[2] MC Pherson E G, Nowak D J, Rowntree R A. Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project, General Technical Report NE-186, US Department of Agriculture, Forest Service; **1994**.

[3] Kloor K. Surprising tale of life in the city. Science 286; **1999**.

[4] Makhdoum M. Fundamental of land use planning. Tehran, Iran, Tehran University Press; **1994**. **[In Persian]**

[5] Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Journal of Progress in Planning; **2004**; **62**: 3-65.

[6] Bogardi I, Bardossy A, Mayas M D, Duckstein L. Risk assessment and fuzzy logic as related

to environmental science. SSSA special publ; **1996**; **47**.

[7] Mayas M D, Bogardi I, Baodossy A. Fuzzy logic and risk-based soil interpretations. Geothermal Journal; **1997**; **77**: 299-315.

[8] Wood L J, Dragicevic S. GIS-Based Multi criteria Evaluation and Fuzzy Sets to Identify Priority Sites for Marine Protection. Biodiversity and Conservation Journal; **2006**; **16**(9): 2539-2558.

[9] Feng S, Xu LD. Decision support for fuzzy comprehensive evaluation of urban development. Fuzzy Sets and Systems; **1999**; **105**: 1-12.

[10] Asgari A, Razani A, Rakhshani P. Urban land use planning. Hamadan, Iran, Noore Elm Press; **2003**. **[In Persian]**

[11] Kalogirou S. Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation. Computers, Environment and Urban Systems Journal; **2002**; **26**(2-3): 89-112.

[12] Heidarzadeh N. Landfill site selection of urban waste using GIS for Tehran. MSc.: Tarbiat Modarres University, Iran; **2002**. **[In Persian]**

[13] Ranst E C, Tang N, Groenemons R, Sinthuorahat S. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in production in peninsular Thailand. Geothermal Journal; **1996**; **70**: 1-19.

[14] Malczewski J. Integrating multicriteria analysis and geographic information systems: the ordered weighted averaging (OWA) approach. International Journal Environmental Technology and Management; **2006**; **6**(1/2): 7-19.

[15] Sayyahnia R. Ecological capability evaluation of Tehran fringe for urban development using GIS and remote sensing. MSc: Tehran University, Iran; **2003**. **[In Persian]**

[16] Yang F, Zeng G, Du C, Tang L, Zhou J, Li Z. Spatial analyzing system for urban land-use management based on GIS and multi-criteria assessment modeling. Journal of Progress in Natural Science; **2008**; **18**: 1279-1284.

[17] Gharakhlou M, Pourkhabbaz H R, Amiri M J, Faraji H A. Ecological capability evaluation of Qazvin region for determining urban development potential points using Geographic Information System. Journal of Urban – Regional Studies and Research; **2010**; **1**(2): 51-68. **[In Persian]**

[18] Sarkargar Ardakani A. Evaluation of fuzzy classification algorithm for mapping of land use and land cover by Satellite images. MSc.: Tarbiat Modarres University, Iran; **1999**. **[In Persian]**

[19] Abolmasov B, Obradovic I. Evaluation of geological parameter for landslide hazard mapping by fuzzy logic. Engineering Geology and the Environment Journal; **1997**; pp. 50.

[20] Gorsevski P V, Jankowski P, Gessler P E. Heuristic approach for mapping Landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. **Control and Cybernetics Journal**; **2006**; **35**: 1-26.

[21] Pourkhabbaz H R. Ecological capability modeling of urban development (Case study: Qazvin fringe). Ph.D.: Tehran University, Iran; **2010**. **[In Persian]**

[22] Eastman R J. Idrisi32, Release 2. Tutorial. Clark University, USA, **2001**; 237 PP.

[23] Schernthanner H. Fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping (Rio Blanco, Nicaragua). M.Sc.: Institute of Geography, NAWI, Paris lodron University Salzburg; **2005**: 94.

[24] Amiri M J. Ecological Capability Modeling of Hyrcanian Forest for improving current forestry word model of Iran (Case study: Mazandaran province). Ph.D.: Forestry, Tarbiat Modares University, Iran; **2009**. **[In Persian]**

[25] Gholamalifard M. Formulating a Spatio-Temporal Model of Landfill Supply and Demand on Urban DynamicsModeling in a GIS Environment (Case Study: Gorgan City). MSc.: Tarbiat Modarres University, Iran; **2006**. **[In Persian]**

[26] Ataei M. Multi-criteria Decision Making. Shahroud, Iran: Shahroud University of Technology Press; **2011**. **[In Persian]**

[27] Rinner C, Malczewski J. Web-enabled spatial decision analysis using ordered weighted averaging. Journal of Geographical Systems; **2002**; **4**(4): 385-403.

[28] Eastman R J. Guide to GIS and Image processing. Clark University, USA, **2006**; 328 PP.

[29] Voogd H. Multi-criteria evaluation for urban and regional planning. Pion, Ltd. London; **1983**.

[30] Dai FC, Lee CF, Zhang XH. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land use planning: a case study. Journal of Engineering Geology; **2001**; **61**: 257-271.