

کاربرد تحلیل حساسیت و تکثیر خطا در تصمیم‌گیری‌های فضایی چند معیاری (مطالعه موردی: مکان‌یابی توسعه شهری در استان تهران)

صبا رضاسلطانی^۱، عبدالرسول سلمان ماهینی^{۲*}، سید مسعود منوری^۱

۱ استادیار گروه محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲ دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۲؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴)

چکیده

در وضعیت‌های مربوط به جهان واقعی، اطلاعات قابل دسترس برای تصمیم‌گیران به لحاظ خطاهای اندازه‌گیری و ادراکی بیشتر غیرمسلّم و نادقیق‌اند. روش‌های تصمیم‌گیری فضایی چند معیاری، بیشتر بدون توجه چندان به خطاها در داده‌های ورودی و گسترش این خطاها در راه‌حل‌های مترتب بر مساله به کار گرفته می‌شوند. این در حالی است که عدم قطعیت می‌تواند در هر یک از لایه‌های داده‌ای در طی تحلیل گسترش یابد و با دیگر منابع خطا شامل ارتباط نامشخص لایه‌های داده‌ای با تصمیم‌های نهایی اتخاذشده ترکیب شود. بنابراین، در این تحقیق، تحلیل خطای فضایی چند معیاری در راستای ارزیابی آثار عدم قطعیت‌های ملازم با نقشه‌های معیار و اولویت‌های تصمیم‌گیران و یا وزن‌ها در رابطه با پیامدهای تصمیم که به مرتب‌سازی گزینه‌ها می‌انجامد مدنظر قرار گرفته است. به طور کلی، مدیریت عدم قطعیت به وسیله ارزیابی تناسب سرزمین به منظور کاربری توسعه شهری به دو طریق در این مطالعه وارد شده است: الف- وارد کردن خطا در هر یک از لایه‌ها به‌منظور شبیه‌سازی این که خطا چگونه طی تحلیل گسترش می‌یابد، و ب- از طریق تغییر وزن معیارها و تعیین آثار آن در رتبه‌بندی مکان‌ها و در نهایت فرایند تصمیم‌گیری. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که حتی داده‌های ضعیف و نادرست نیز می‌توانند برای برنامه‌ریزی به نحو کارآمدی مورد استفاده قرار گیرند و این امر تنها زمانی محقق می‌شود که بدانیم این داده‌ها تا چه حد ضعیف هستند.

کلیدواژه‌ها: تصمیم‌گیری چند معیاری، مدیریت عدم قطعیت، تحلیل حساسیت، تحلیل تکثیر خطا، شبیه‌سازی مونت کارلو

سرآغاز

در بسیاری از رویکردهای ارزیابی چند معیاری، به طور تلویحی فرض می‌شود که اطلاعات کاملی در دسترس است، به گونه‌ای که تصمیم‌گیر به طور دقیق نسبت به معیارهای ملازم بر هر گزینه شناخت دارد. این در حالی است که در وضعیت‌های مربوط به جهان واقعی، اطلاعات قابل دسترس برای تصمیم‌گیران به لحاظ خطاهای اندازه‌گیری و ادراکی بیشتر غیر مسلم و نادقیق‌اند (مالچفسکی، ۱۳۸۵). عدم قطعیت نیز می‌تواند در هر یک از لایه‌های داده‌ای طی تحلیل گسترش یابد و با دیگر منابع خطا شامل ارتباط نامشخص لایه‌های داده‌ای با تصمیم‌های نهایی اتخاذ شده ترکیب شود (ایستمن، ۱۳۸۸).

اصولا برای به‌کارگیری عدم قطعیت‌ها در تحلیل تصمیم چند معیاری، دو رویکرد وجود دارد: روش‌های مستقیم و غیرمستقیم. مورد اول، عدم قطعیت را به صورت مستقیم در ترکیب با قواعد تصمیم‌گیری چند معیاری قرار می‌دهد. تحلیل حساسیت و تحلیل تکثیر خطا، روش‌های پیشنهادی برای جا دادن غیرمستقیم عدم قطعیت‌ها در فرایند تصمیم‌گیری هستند (مالچفسکی، ۱۳۸۵). این دو رویکرد را می‌توان، بر پایه روشی که در آن خطاهای مطرح در داده‌های ورودی تعریف می‌شوند، از هم متمایز کرد. تحلیل حساسیت شامل مجموعه‌ای از روش‌هاست که در ارزیابی چگونگی حساسیت خروجی مدل چند معیاری فضایی نسبت به تغییرات کوچک در ارزش‌های ورودی استفاده می‌شوند. در تحلیل حساسیت، طریقه‌ای مورد توجه قرار می‌گیرد که در آن خطاها در یک مجموعه از داده‌های ورودی بر میزان خطا در خروجی نهایی (پیامدهای معیار) تأثیر می‌گذارند. این رویکرد در راستای تحلیل آثار اختلالات مطرح‌شده در ارزش‌های ورودی بر روی خروجی (پیامدهای معیار) قرار دارد. در سطح گسترده‌تر، می‌توان به این نکته پی‌برد که چگونه تغییرات در مدل بر پیامد حاصل تأثیر می‌گذارند. به طور ویژه، چندین قاعده متفاوت تصمیم‌گیری (روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاری) را می‌توان به کار برد تا مشخص شود که آیا رتبه‌بندی گزینه‌ها به طور برجسته‌ای بر پایه روش مورد استفاده تغییر می‌کنند یا خیر. اگر به موازات تغییر در ورودی، به واسطه افزایش جزئی قواعد متفاوت تصمیم، رتبه‌بندی موردنظر تاثیرناپذیر باقی بماند، از آن می‌توان به عنوان مدرکی برای نشان دادن استحکام رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده کرد. تحلیل تکثیر خطا رابطه تنگاتنگی با تحلیل

حساسیت دارد و در آن به بررسی تأثیر خطاهای شناخته شده در داده‌های ورودی بر روی خروجی نهایی (پیامدهای معیار) پرداخته می‌شود. بنابراین، تمایز بین تحلیل تکثیر خطا و حساسیت در آن است که تحلیل تکثیر خطا مستلزم وجود اطلاعات اولیه در رابطه با خطای ملازم با داده ورودی است. در حالی که، در تحلیل حساسیت اختلالات و تغییرات بر روی خروجی در نظر گرفته می‌شود. روش‌های مربوط به تحلیل خطا و حساسیت در زمانی که خطا یا اختلالات شناخته شده‌اند، به صورت یکسان عمل می‌کنند (مالچفسکی، ۱۳۸۵). نمونه‌ای از تحلیل حساسیت مبتنی بر GIS به منظور ایجاد و بررسی دامنه‌ای از سناریوها در آسیب‌پذیری جامعه محلی نسبت به پخش مواد خطرناک در سال ۱۹۹۵ مطرح شد (Lowry et al., 1995). در این پژوهش، از مدل ساده وزن‌دهی جمعی استفاده شد. نتایج حکایت از آن داشت که رویکرد چند معیاری فضایی با استفاده از GIS در یک روش ساختار یافته و نظام‌مند و مبتنی بر سناریوهای مختلف برای تحلیل آسیب‌پذیری جامعه کارآمد است. در مطالعه‌ای دیگر، با به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر تحلیل تکثیر خطا در شناخت مکان‌های مناسب دفع زباله‌های حاصل از زایدات تشعشع دار در بریتانیا، شرح روشی از روند مترتب بر تحلیل تکثیر خطا بر حسب مدل مبتنی بر GIS ارایه شد (Openshaw et al., 1991). هر چند اهمیت تحلیل عدم قطعیت به دلیل تأثیر بر داده‌ها، مدل‌ها و قضاوت‌های کارشناسان اهمیت بسیار پیدا کرده ولی تاکنون تلفیق تحلیل عدم قطعیت و ارزیابی چند معیاری به نحو جامع و فراگیر انجام نشده است (Chen, et al., 2011) و فقط معدودی از مطالعات بر روی این مفهوم تمرکز کرده‌اند که خود ضرورت انجام این رشته از پژوهش‌ها را در شرایط عدم قطعیت کنونی نشان می‌دهد (Yeh & Li, 2006; Chang et al., 2008; Chen et al., 2011).

در ایران نیز مطالعاتی بر روی مدیریت عدم قطعیت و تحلیل حساسیت به منظور اجتناب از بحران‌هایی مانند زلزله و سیل انجام شده است. از میان این مطالعات، می‌توان به مطالعه تأثیر عدم قطعیت در برآورد پتانسیل خطر لرزه‌ای منطقه (نورزاد و همکاران، ۱۳۸۶)، تحلیل عدم قطعیت تراز سطح آب رودخانه سیستان و بررسی قابلیت سیستم کنترل سیل (افتخاریان و همکاران، ۱۳۸۴) و کاربرد مدل HEC-HMS در تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب دشت کرون

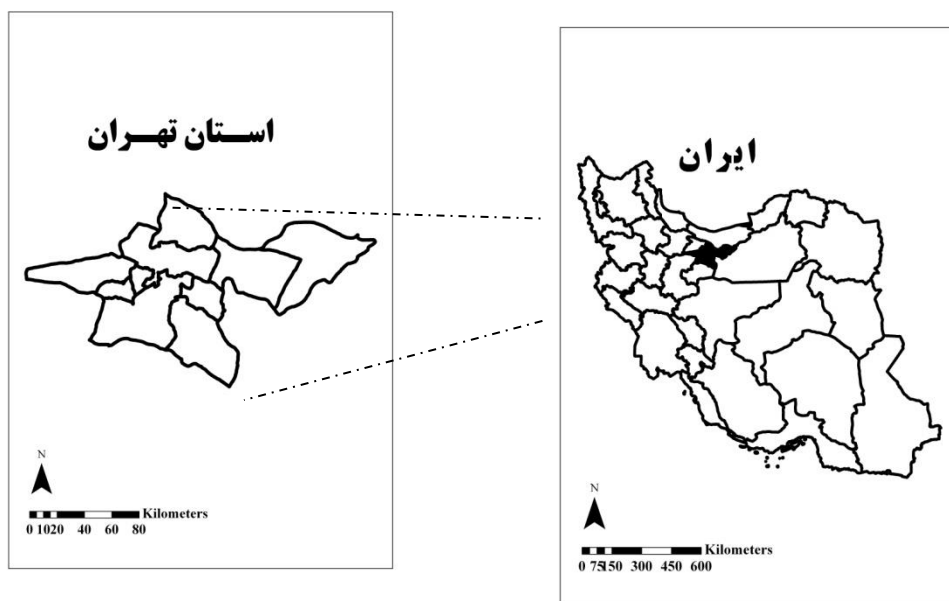
شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعتی حدود ۹۸۱،۱۲ کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی " ۴۲،۱۲ ۴۲ ۳۵° درجه عرض شمالی و " ۲۴ ۲۵،۳ ۵۱° درجه طول شرقی واقع شده است شکل (۱). این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است. در سال ۱۳۸۵، جمعیت این استان ۸۵۸،۱۳،۲۸۱ نفر بوده است. مرکز آن تهران و شهرستان‌های ری، قدس، شهریار، ورامین، دماوند، فیروزکوه، شمیرانات و اسلام‌شهر از دیگر مراکز جمعیتی مهم استان می‌باشند (تارنمای مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵).

(امیراحمدی و شیران، ۱۳۸۸) اشاره نمود. در نتیجه، می‌توان نتیجه گرفت در ایران نیز مانند سایر کشورها تلفیق تحلیل عدم قطعیت با ارزیابی چند معیاری به نحو گسترده انجام نشده است. در تحلیل‌های سنتی مربوط به GIS نیز، معمولاً عدم قطعیت موجود در پایگاه داده به حساب آورده نمی‌شود. در نتیجه، تصمیم‌های خشک به دلیل اتخاذ ریسک بسیار پایین شکل می‌گیرد. در حالی که امروزه، این امکان مهیاست که با احتساب خطاهای موجود در تصمیم‌گیری‌های چند معیاری، با خطا و گسترش آن در قوانین تصمیم‌گیری برخوردار علمی داشت و سطح قابل قبول ریسک را تهیه نمود. به طور کلی، با دانستن کیفیت داده‌ها، می‌توان ریسک نسبی موجود در کل سطح را مشخص کرده و درباره آن ریسک، قضاوت و انتخاب داشت (ایستمن، ۱۳۸۸). این مطالعه به منظور توسعه دیدگاه‌ها نسبت به رویکرد مدیریت عدم قطعیت در ارزیابی چند معیاری و کاربرد آن در مطالعات ارزیابی توان انجام شده است. برای مطالعه موردی، ارزیابی توان توسعه شهری در استان تهران مدنظر قرار گرفته



شکل (۱): منطقه مورد مطالعه

شده برای تحلیل تناسب سرزمین در این بررسی شامل ۱۵ معیار: شیب، جهت، ارتفاع، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، اقلیم، فاصله از گسل، پوشش گیاهی، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده و راه‌ها، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از خطوط فشار قوی برق و گاز، فاصله از کاربری‌های فعلی (صنایع و معادن)، سطح آب‌های زیرزمینی و سرعت وزش باد هستند (احسن، ۱۳۸۲؛ مخدوم،

ارزیابی تناسب توسعه شهری

در این تحقیق، به منظور تعیین عرصه‌های مناسب توسعه شهری در استان تهران، ابتدا با مرور منابع و مصاحبه با کارشناسان و افراد ذی‌صلاح و همچنین مرور قوانین مربوط، معیارهای موردنظر در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب توسعه شهری در استان تهران انتخاب شدند. معیارها و متغیرهای در نظر گرفته

ارزش^(۱۰) باشند، MCE خود، خطای تکثیر یافته خروجی را مشخص می‌کند و آن را در پایگاه داده نتیجه، نمایش می‌دهد. هرچند در این جا دو فرضیه مطرح می‌شود: الف. این که هیچ همبستگی و ارتباطی بین فاکتورها وجود نداشته باشد، و ب. در وزن دهی پارامترها هیچ‌گونه عدم قطعیتی وجود نداشته و عدم قطعیت در وزن‌ها با رسیدن به یک توافق جمعی برطرف شده باشد.

با وجود فرمول‌های متعدد تحلیل تکثیر خطا، به دو دلیل، استفاده از این رهیافت با مشکل مواجه است:

الف. گسترش خطا به طور چشم‌گیری تحت تأثیر ارتباط درونی بین متغیرهاست و این ارتباط ممکن است در ابتدا مشخص نشود.

ب. هم‌اکنون فقط تعداد محدودی فرمول در دسترس است و در بسیاری از عملگرهای GIS، ویژگی گسترش خطا ناشناخته است.

بنابراین، زمانی که این فرضیات برقرار نباشند، یک ارزیابی جدید با عنوان فرایند شبیه‌سازی مونت کارلو مدنظر قرار می‌گیرد (Eastman, 2006). بنابراین، در این مطالعه به این روش پرداخته می‌شود.

شبیه‌سازی مونت کارلو

شبیه‌سازی مونت کارلو یک رویکرد جایگزین را نسبت به روش تحلیلی تکثیر خطا به دست می‌دهد و از آن می‌توان در تعیین حساسیت مدل نسبت به عدم قطعیت ملازم با داده‌های ورودی و پارامترهای مدل که در طول تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاری^(۱۱) پخش شده‌اند، استفاده کرد (مالچفسکی، ۱۳۸۵). در واقع در این روش، به منظور تجزیه و تحلیل تکثیر خطا، آثار خطاها در هر کدام از لایه‌ها شبیه‌سازی می‌شود تا بدین وسیله نحوه تکثیر خطا در طی تحلیل ارزیابی شود. به این ترتیب، تجزیه و تحلیل دو مرتبه انجام می‌گیرد. بار نخست به طریق معمول و بار دوم، از طریق ارزیابی لایه‌هایی که شامل خطاهای معرفی شده هستند. با مقایسه نتایج، تأثیر خطای القا شده مشخص می‌شود. تنها علت تفاوت دو لایه، خطای معرفی شده به داده‌هاست. ابزاری که برای معرفی خطا به لایه مورد استفاده قرار می‌گیرد، رویه تصادفی^(۱۲) است. این رویه تصاویری با ارزش‌های تصادفی به صورت خطی^(۱۳)، نرمال^(۱۴) و یا لوگ نرمال^(۱۵) می‌سازد. به طور مثال، برای معرفی خطا به لایه DEM^(۱۶) با خطای RMS سه

۱۳۸۳؛ کرم، ۱۳۸۴؛ توفیق، ۱۳۸۴؛ منوری و طیبیان، ۱۳۸۵؛ عباسپور و قراگوزلو، ۱۳۸۵؛ Hendrik, 1997; & Merwe; Svoray, et al., 2005; Mansor, et al., 2006; Liu, et al., 2007; Lotfi, et al., 2009.

در مرحله بعد، از روش فرایند سلسله مراتب تحلیلی^(۱) برای تعیین وزن نسبی هر معیار ویژه استفاده شده است. هدف از ارزیابی، انتخاب بهترین گزینه یا بهترین مکان یا مجموعه پیکسل‌ها بر مبنای رتبه‌بندی آن‌ها از طریق ارزیابی چند معیار اصلی است. روش‌های متعددی برای تحلیل ارزیابی چند معیاری وجود دارد. روش ترکیب خطی وزن‌دار^(۲) رایج‌ترین فن در تحلیل ارزیابی تصمیم‌گیری چند معیاری است. این فن روش ساده وزن دهی جمع‌پذیر^(۳) و روش امتیازدهی^(۴) نیز نامیده می‌شود (کرم، ۱۳۸۴). در این تحقیق از روش ترکیب خطی وزن‌دار به منظور تعیین مناطق بالقوه توسعه شهری در استان تهران استفاده شده است. از آنجا که در هر یک از تحلیل‌های مربوط به ارزیابی چند معیاری و همچنین تحلیل تناسب سرزمین، ضروری است که قابلیت اطمینان روش مورد استفاده بررسی شود، بنابراین، در این مطالعه از دو رویکرد تحلیل تکثیر خطا و تحلیل حساسیت در ارزیابی خطاهای موجود در فرایند تصمیم‌گیری استفاده شده است.

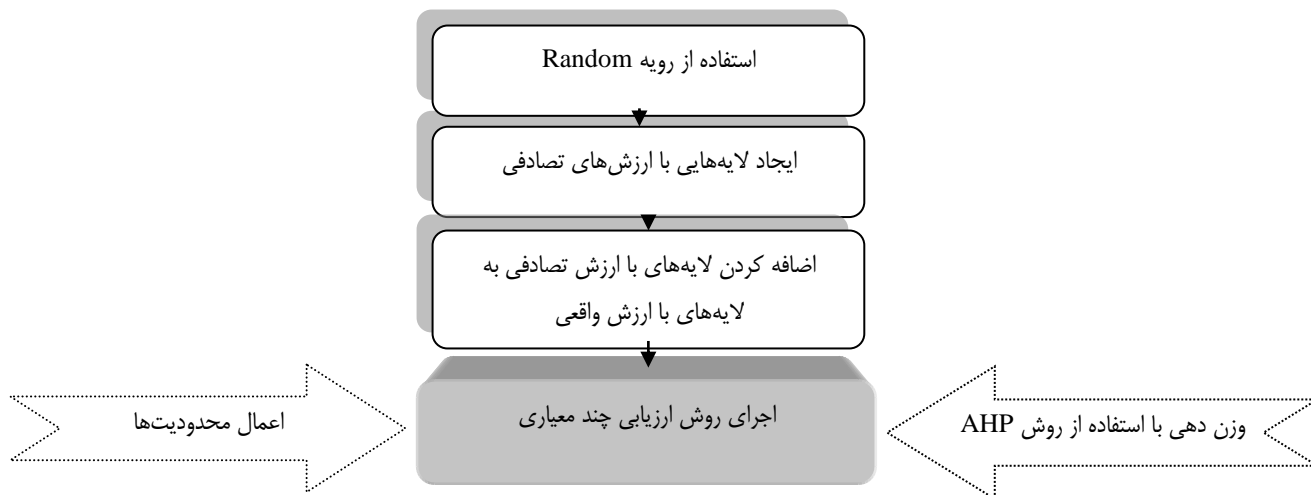
مدیریت عدم قطعیت

تحلیل تکثیر خطا

عدم قطعیت در فرایند تصمیم‌گیری اجتناب‌ناپذیر است. زمانی که عدم قطعیت در لایه‌ها وجود دارد، این خطای تحلیل گسترش می‌یابد و با خطاهای دیگر منابع تلفیق می‌شود. موقعیت‌های زیادی وجود دارد که اثر ترکیبی تغییرات در دو یا چند ورودی را مشخص می‌کند. روش تحلیلی تکثیر خطا^(۵) و شبیه‌سازی مونت کارلو^(۶) را می‌توان در این‌گونه موقعیت‌ها به کار گرفت (مالچفسکی، ۱۳۸۵). فرمول‌های خاصی برای برآورد خطای گسترش یافته، نشأت گرفته از عملگرهای ریاضی GIS (مانند SCALAR و OVERLAY) وجود دارد. به اضافه، نرم‌افزار ایدرسی حاوی دو رویه است که تحت شرایطی خاص، تکثیر خطای اطلاعات را محاسبه می‌کنند. یکی از این رویه‌ها MCE^(۷) و دیگری Surface^(۸) است (Eastman, 2006). اگر همه فاکتورهای ورودی که در MCE مداخله دارند حاوی خطای اطلاعات (خطای ریشه دوم میانگین^(۹)) در قسمت خطای

واقعیت نزدیک نیست ولی شامل خطاهایی است که مشابه واقعیت هستند (Eastman, 2006). نحوه معرفی خطا و اجرای روش ارزیابی چند معیاری در شکل (۲)، نمایش داده شده است.

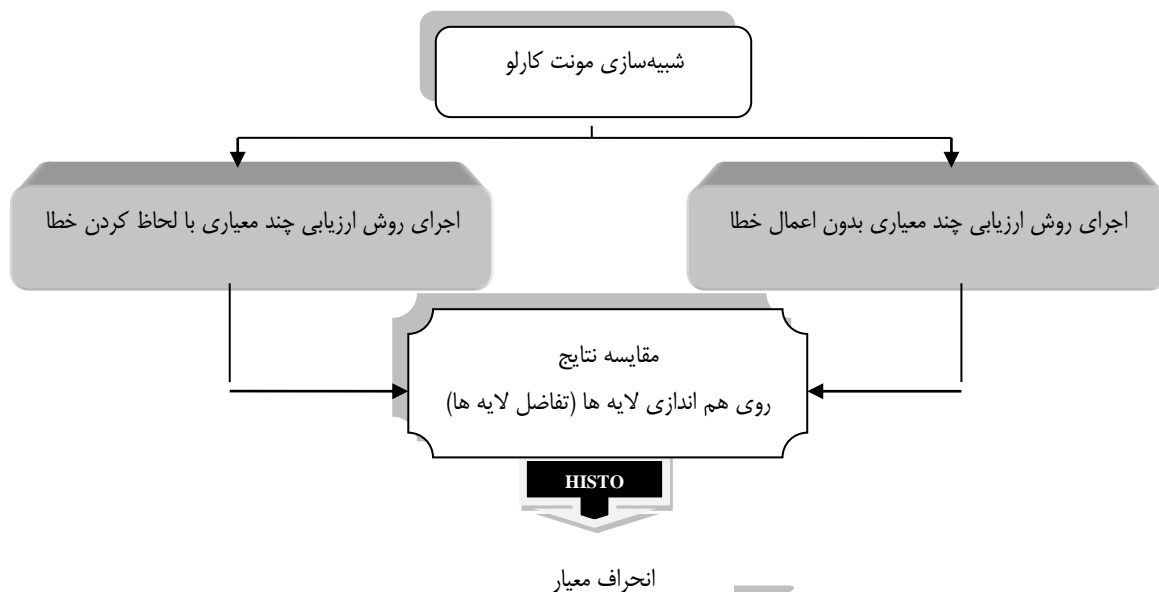
متر، رویه برای ساختن یک سطح با استفاده از توزیع نرمال و با میانگین صفر و انحراف معیار ۳ به کار گرفته می‌شود. این تصویر بعداً به مدل رقومی ارتفاع اضافه می‌شود. هر چند این نتیجه به



شکل (۲): نحوه معرفی خطا، به منظور اجرای روش مونتاژ کارلو

تعداد زیادی شبیه‌سازی دارد تا مشخصات و ویژگی آن شکل گیرد (Eastman, 2006). در داده‌های کمی، انحراف معیار بیشتر به صورت خطای ریشه دوم میانگین (RMS) نشان داده می‌شود. خطای RMS با انحراف معیار در جایی که میانگین یک ارزش صحیح باشد، برابر است. اگر RMS برای یک لایه داده‌ای ایجاد نشده باشد، محاسبه آن لازم و ضروری است (ایستمن، ۱۳۸۸).

در مرحله بعد، به بررسی ارزش پیکسل‌های لایه به دست آمده در فرایند برآورد توزیع خطا از طریق تفاضل^(۱۷) دو تصویر که به دلیل عملیات روی هم‌گذاری^(۱۸) ایجاد شده‌اند، پرداخته می‌شود. نمودار این فرایند در شکل (۳)، نمایش داده شده است. در صورتی که این توزیع طبیعی باشد، انحراف معیار تصویر تفاضل می‌تواند به عنوان یک شاخص برای RMS نهایی ارزیابی شود. در واقع، شبیه‌سازی مونتاژ کارلو تکیه بر استفاده از حجم و تعداد

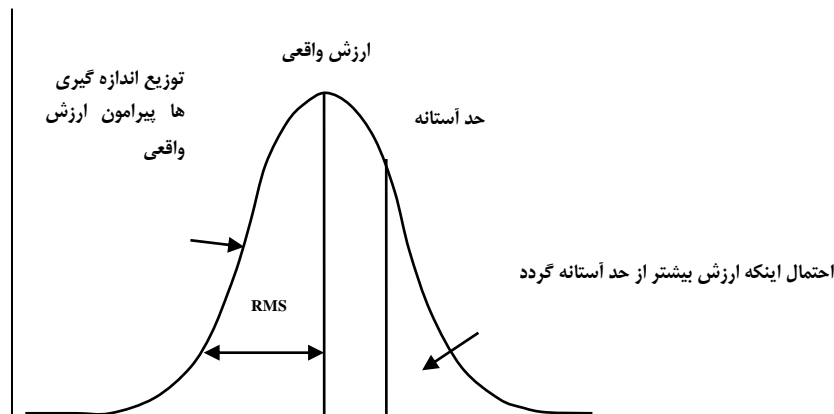


شکل (۳): نحوه اجرای فرایند مونتاژ کارلو

عدم قطعیت پایگاه داده و ریسک تصمیم

با برآورد مقدار خطای اندازه‌گیری (RMS)، برای رسیدن به این مطلب که چگونه این خطا می‌تواند طی قوانین تصمیم‌گیری گسترش یابد، می‌توان از روش‌های مبتنی بر احتمال استفاده نمود. برای این کار، احتمال این که ارزش داده در هر سلول تصویر از حد آستانه مفروض کمتر یا بیشتر است، محاسبه می‌شود. رویه PCLASS^(۱۹) در ایدریسی به این کار می‌آید و به کمک آن به شناخت ریسک تصمیم در تصمیم‌گیری نهایی پرداخته می‌شود. این عمل، به وسیله اندازه‌گیری مساحتی که توسط حد آستانه مشخص می‌شود و در زیر نموداری با انحراف معیار برابر RMS قرار می‌گیرد، انجام می‌شود شکل (۴). نتیجه

یک نقشه احتمال است که در آن ارزش‌ها، بین صفر تا یک متغیر هستند و احتمال این که هر مکان به مجموعه تصمیم تعلق گیرد، در این نقشه مشخص می‌شود. در نتیجه، یک طبقه‌بندی انعطاف‌پذیر در مقایسه با طبقه‌بندی غیر منعطف به دست می‌آید. بدین ترتیب، دیگر نقشه خروجی، یک نقشه غیر منعطف بولین با ارزش داده صفر و یک نیست، بلکه نقشه احتمال منعطفی پدید می‌آید که شامل ارزش پیوسته‌ای بین صفر تا یک است. تصمیم‌گیری نهایی می‌تواند با طبقه‌بندی این نقشه احتمال، بر اساس سطح ریسکی که شخص موردنظر در ذهن دارد، صورت پذیرد (Eastman, 2006).



شکل (۴): استفاده از خطای RMS برای تعیین حد آستانه به منظور طبقه‌بندی احتمال

روش تحلیل حساسیت

علاوه بر خطاهای مترتب بر مجموعه داده‌های GIS، عدم قطعیت در تعیین اولویت‌های تصمیم‌گیر نیز مطرح است. این امر، به این واقعیت مرتبط است که قضاوت نقشی کلیدی در تصمیم‌گیری چند معیاری بازی می‌کند. در واقع، انتخاب در میان مسیرهای پیشنهادی اقدام فقط می‌تواند بر پایه قضاوت صورت پذیرد. با وجود این، باید اعتراف کرد که در بعضی از موقعیت‌ها، تصمیم‌گیران به علت اطلاعات و دانش محدود یا ابهام‌آمیز قادر به ارزیابی نیستند. به‌طور کلی، وزن‌های معیار و ارزش‌های معیار (صفت) مهم‌ترین عناصری هستند که در تحلیل حساسیت مورد توجه قرار می‌گیرند. از این میان، حساسیت نسبت به وزن‌های صفت شاید مهم‌تر باشد. زیرا، وزن‌های معیار به عنوان مبنایی برای قضاوت ارزشی به حساب می‌آید. از سوی دیگر، وزن‌های

معیار نمره‌های ذهنی در رابطه با چیزی هستند که تصمیم‌گیران بر روی آن متفق نیستند و احتمال اختلاف‌نظر بر روی آن‌ها بیش از دیگر پارامترهاست (مالچفسکی، ۱۳۸۵). در این پژوهش، به منظور تعیین وزن نسبی معیارها از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. برای تعیین درجه دقت و صحت وزن‌دهی نیز از نرخ ممتد بودن^(۲۰) استفاده شده است. بیان می‌شود اگر نرخ سازگاری معادل ۰/۱ یا کمتر از آن باشد، وزن‌دهی منطقی بوده است، در غیر این صورت، وزن‌های نسبی داده شده به معیارها باید تغییر یابند و وزن‌دهی مجدداً انجام شود (Lotfi et al., 2009; Svoray et al., 2005). بنابراین، با احتساب این حقیقت که تصمیم‌گیران در مورد وزن‌های معیارها متفق‌القول نیستند، پرسشنامه‌هایی به منظور وزن‌دهی پارامترها در این تحقیق تهیه و توسط بیست نفر از کارشناسان تکمیل شدند. سپس، وزن معیارها و نرخ سازگاری هر پرسشنامه محاسبه

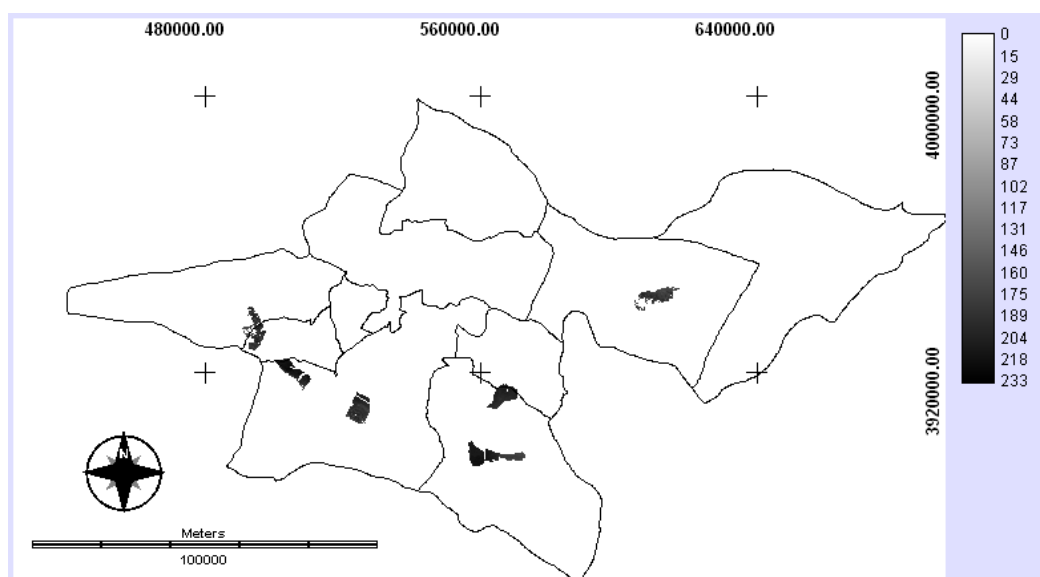
شبیه‌سازی شده، میزان اثر خطا و گسترش آن را نشان داد. نتیجه ارزیابی با اعمال این خطاها در شکل (۶)، نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل (۶)، مشاهده می‌شود، با معرفی خطا به داده‌ها، لکه‌های بیشتری پس از ارزیابی چند معیاری انتخاب خواهند شد که این امر به علت تغییر مرزهای داده‌های کیفی و همچنین توزیع نامتوازن داده‌های کمی پس از اعمال و وارد کردن خطا است.

همان‌طور که اشاره شد، تنها علت تفاوت این دو نتیجه، خطای معرفی شده به داده‌هاست. بنابراین، در مرحله بعد، می‌توان با مقایسه نتایج، تأثیر خطای معرفی‌شده را مشخص کرد. بدین‌منظور، ابتدا با استفاده از فرایند روی هم گذاری نقشه‌ها، لایه تفاضل به‌دست آمد. در مرحله بعد، از نمودار بافت نگار یا هر روش توصیفی دیگر برای برآورد توزیع خطا در لایه تفاضل استفاده می‌شود و با استفاده از آن، انحراف معیار لایه تفاضل به دست آمد. در صورتی که نتیجه توزیع طبیعی داشته باشد، انحراف معیار تصویر تفاضل می‌تواند به‌عنوان یک شاخص برای RMS نهایی تلقی شود (Eastman, 2006). شکل (۷)، نتیجه بررسی بافت نگار تصویر به دست آمده را برای رسیدن به انحراف معیار که برابر با خطای میانگین ریشه دوم است نمایش می‌دهد.

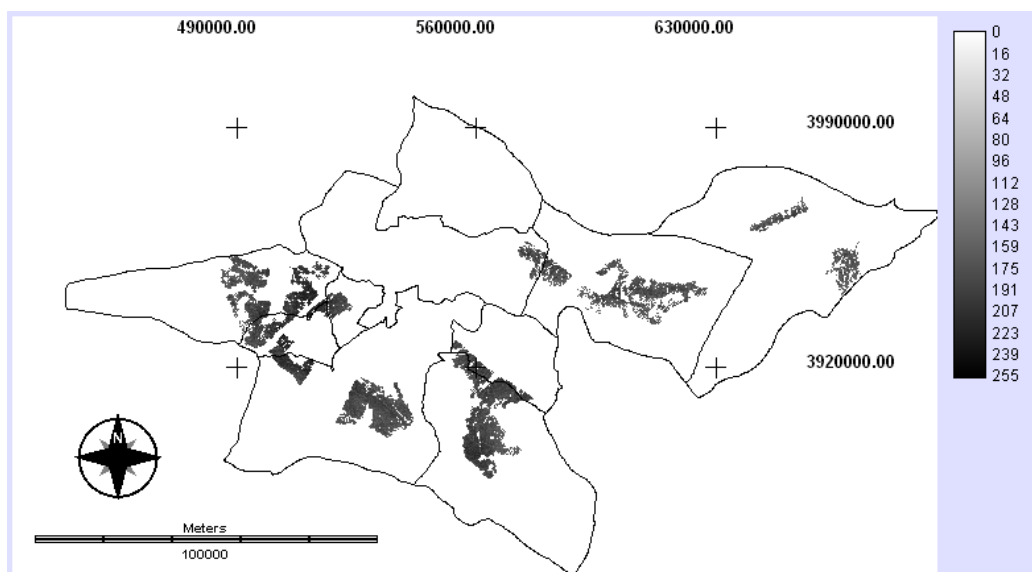
شد و ده پرسشنامه با نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ انتخاب شدند. در نهایت، این وزن‌ها به طور جداگانه در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاری وارد شد و با استفاده از این ده دسته وزن و به کمک ارزیابی چند معیاری، ده نقشه حاصل شد. مکان‌های مشترک حاصل از ارزیابی چند معیاری، برایند تصمیم‌گیری این ده کارشناس تلقی می‌شوند که نشان‌دهنده توافق نظر کارشناسان در این مکان‌ها هستند. این مکان‌ها راهی برای حل اختلاف نظر و رسیدن به توافق جمعی نیز هستند و می‌توانند قویاً به‌عنوان نتیجه ارزیابی چند معیاری معرفی شوند.

یافته‌ها

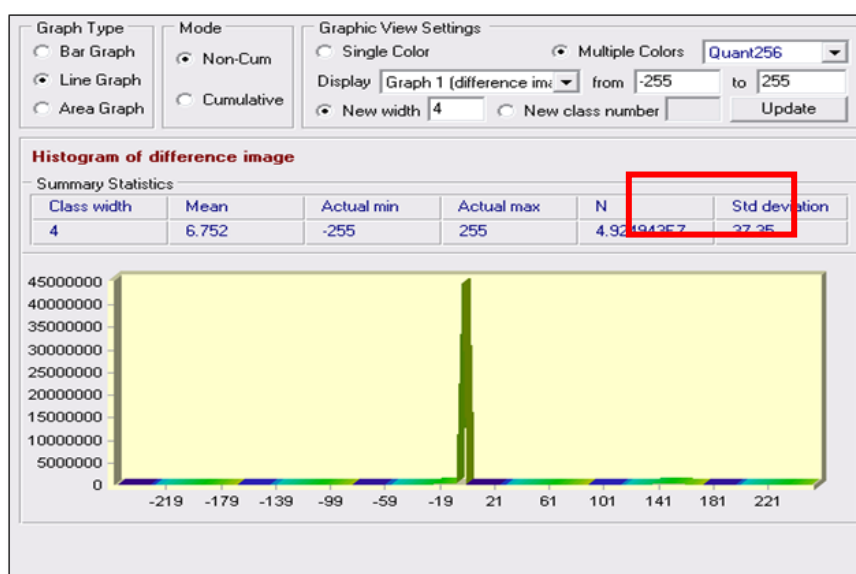
همان‌طور که در قسمت مواد و روش‌ها ذکر شد، در تجزیه و تحلیل تکثیر خطا از طریق روش شبیه‌سازی مونت کارلو، آثار خطاها در هر کدام از لایه‌ها شبیه‌سازی شدند تا بدین وسیله نحوه تکثیر خطا در طی تحلیل ارزیابی شود. به این ترتیب، تجزیه و تحلیل، دو بار انجام گرفت. بار اول، به طریق معمول و بدون اینکه خطایی در لایه‌ها شبیه‌سازی شود. نتیجه به کارگیری لایه‌های بدون خطا با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار در شکل (۵) نمایش داده شده است. در بار دوم، خطاها در لایه‌ها اعمال شدند و در نهایت ارزیابی لایه‌های شامل خطاهای



شکل (۵): نتیجه اجرای ارزیابی چند معیاری به صورت معمول در انتخاب مناطق مناسب توسعه شهری در استان تهران



شکل (۶): نتیجه اجرای ارزیابی چندمعیاری با استفاده از لایه‌های مشتمل بر خطا در استان تهران



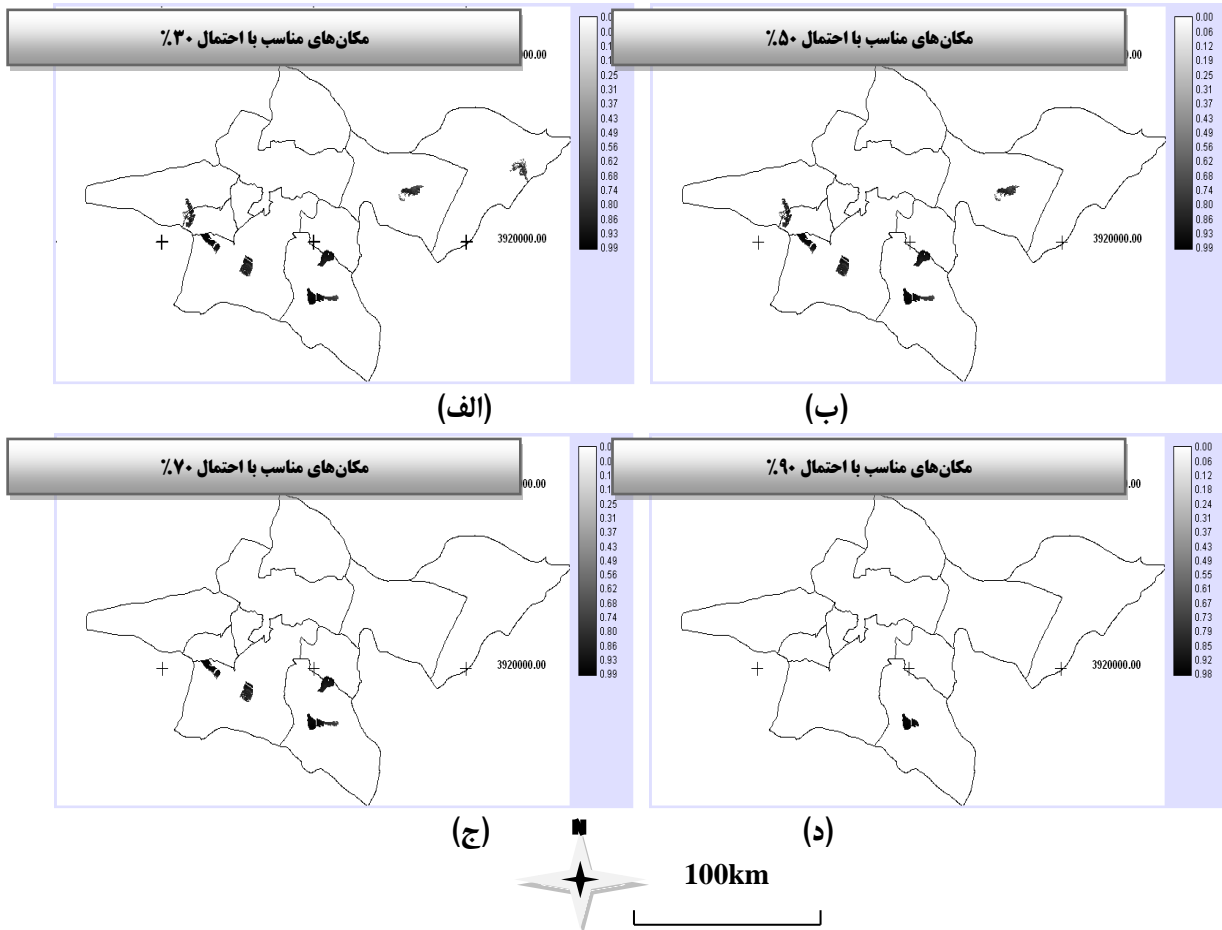
شکل (۷): استفاده از ماژول HISTO برای رسیدن به RMS نهایی

خطای RMS معادل ۳۷/۳۵ (شکل ۷) به فراداده لایه نهایی معرفی شد و رویه PCLASS اجرا شد. نتیجه یک نقشه احتمال با ارزش پیوسته بین صفر تا یک است که احتمال این که هر مکان متعلق به محدوده تصمیم‌گیری باشد را مشخص می‌نماید. با در نظر گرفتن این نقشه احتمال پیوسته، تصمیم‌گیری نهایی می‌تواند از طریق باز طبقه‌بندی نقشه احتمال بر اساس سطوح ریسک تصمیم موردنظر تهیه شود (شکل ۸). برای مثال، شکل (۸-ج) مناطقی را نشان می‌دهد که در آن‌ها به احتمال ۷۰٪

در ایدرسی، خطا می‌تواند در پایگاه داده وارد شود و این خطا می‌تواند خطای RMS برای داده‌های کمی و یا خطای نسبی برای داده‌های کیفی باشد. در طبقه‌بندی بر اساس احتمال از خطای RMS وارد شده برای ارزیابی احتمال این که هر ارزش تصویر، پایین‌تر یا بالاتر از حد آستانه قرار می‌گیرد، استفاده می‌شود. این عمل، به وسیله اندازه‌گیری مساحتی که توسط حد آستانه مشخص می‌شود و در زیر نموداری با انحراف معیار برابر RMS قرار می‌گیرد، انجام می‌شود. بنابراین، در این تحقیق،

همان‌طور که در شکل مشخص است، با افزایش احتمال، تعداد لکه‌های انتخاب شده نیز کاهش می‌یابد.

کاربری توسعه شهری مناسب است. این بدان معناست که سلول‌های داده، از بخت ۷۰٪ برای مناسب بودن و یا بخت ۳۰٪ برای نامناسب بودن برای کاربری توسعه شهری برخوردارند.

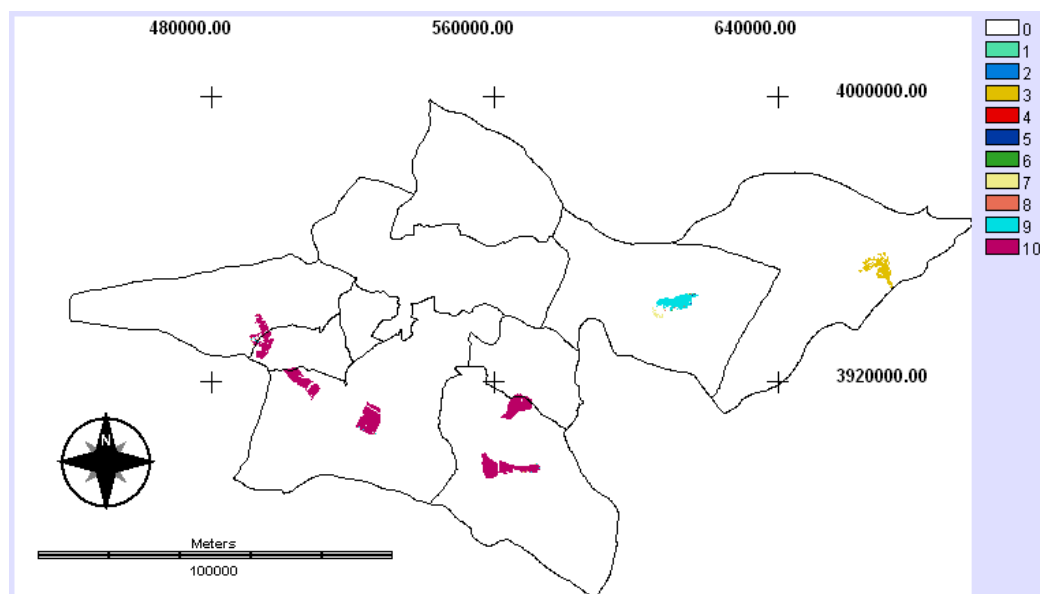


شکل (۸): نتایج ارزیابی چند معیاری بعد از به کارگیری آستانه‌های احتمال مختلف

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه، استفاده از انواع روش‌های شبیه‌سازی در عرصه‌های مختلف علوم فراگیر شده است. هر چند از مدت‌ها پیش بهره‌گیری از این ابزار در علوم مختلف رایج شده است، اما استفاده وسیع از آن به همین اواخر بازمی‌شود. آشنایی با این ابزار کارآمد، امکان جدیدی را در اختیار محققان قرار می‌دهد تا بتوانند صحت نتایج کار خود را آزمایش کنند. از سویی، اهمیت تحلیل عدم قطعیت به دلیل تأثیر بر داده‌ها، مدل‌ها و قضاوت‌های کارشناسان اهمیت بسیار پیدا کرده ولی متأسفانه تاکنون تلفیق تحلیل عدم قطعیت و ارزیابی چند معیاری به نحو جامع و فراگیر انجام نشده است که این خود ضرورت انجام این رشته از

در مدیریت عدم قطعیت و بررسی عدم قطعیت از طریق تغییر وزن معیارها، وزن‌های حاصل از نظرات کارشناسان به طور جداگانه در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاری وارد شدند. با استفاده از ده دسته از وزن‌ها و به کارگیری ارزیابی چند معیاری، ده نقشه حاصل شد. فرض می‌شود لکه‌هایی مشترک از نظر ارزیابی چند معیاری، براینند تصمیم‌گیری این ده کارشناس هستند و نشان‌دهنده اتفاق نظر کارشناسان در این مکان‌ها می‌باشند. از این‌رو، این مکان‌ها همان‌طور که در شکل (۹) نمایش داده شده‌اند، می‌توانند قویاً به عنوان نتیجه ارزیابی چند معیاری معرفی شدند.



شکل (۹): مکان‌های مشترک پس از به‌کارگیری دسته‌های وزنی مختلف حاصل از نظر ده کارشناس (عدد بزرگ‌تر نشان‌دهنده توافق کارشناسان بیشتر است)

متخصصان در مسایل خاص همچون توسعه پایدار شهری پدید آورد. بنابراین، این رویکرد توانسته است یک چارچوب برای مشارکت همگانی در امر تصمیم‌گیری به وجود آورد. بنابراین، امروزه این امکان مهیاست که با احتساب خطاهای موجود در تصمیم‌گیری‌های چند معیاری، با خطا و گسترش آن در قوانین تصمیم‌گیری برخوردی علمی داشت و سطح قابل قبول ریسک را تهیه نمود. به هر حال، استفاده از روش‌های شبیه‌سازی و استفاده از فنون تحلیل حساسیت و تحلیل تکثیر خطا، نشان‌دهنده این واقعیت هستند که حتی داده‌های ضعیف و نادرست نیز می‌توانند برای برنامه‌ریزی به نحو کارآمدی، مورد استفاده قرار گیرند و این امر تنها زمانی محقق می‌شود که بدانیم این داده‌ها تا چه حد ضعیف هستند. زیرا که با دانستن میزان خطای هر لایه و در نظر گرفتن میزان خطا و گسترش آن در فرایند تصمیم‌گیری، ریسک نسبی موجود در جواب نهایی مشخص می‌شود. بنابراین، با دانستن کیفیت داده‌ها، می‌توان ریسک نسبی موجود در کل سطح را مشخص کرد و درباره آن قضاوت و انتخاب مناسبی داشت. تحلیل حساسیت و تحلیل تکثیر خطا نیز می‌تواند تأثیرپذیری گزینه‌های پیشنهادی (خروجی) از تغییرات در ورودی‌ها (داده‌های جغرافیایی و اولویت‌های تصمیم‌گیران) را مشخص کند. این تحلیل باعث

پژوهش‌ها را در شرایط عدم قطعیت کنونی نشان می‌دهد. بنابراین، در این مطالعه سعی شده است، عدم قطعیت‌ها در تحلیل‌های مربوط به ارزیابی تناسب سرزمین به منظور افزایش آگاهی در مورد تاثیر خطا در خروجی تصمیم‌گیری‌های تناسب سرزمین بررسی شود. به‌طور کلی، هدف این تحقیق رسیدن به توسعه پایدار و رسیدن به یک توافق جمعی از طریق در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در فرایند تصمیم‌گیری ارزیابی تناسب توسعه شهری است. نتایج به‌طور کلی نشان می‌دهند که ارزیابی چند معیاری توأم با مدیریت عدم قطعیت می‌تواند چارچوب مناسبی برای مسایل پیچیده‌ای همچون توسعه پایدار شهری فراهم آورد. روش پیشنهادی این تحقیق می‌تواند در مواقعی که داده‌ها با عدم قطعیت همراه هستند و همچنین زمانی که اطلاعات ورودی توأم با خطا هستند مفید واقع شود. این امر به ویژه در کشوری مانند ایران که صحت اطلاعات موجود معمولاً با شبهه مواجه است و داده‌های صحیح و قابل اتکا غالباً در دسترس نیستند بسیار ثمربخش است. نقطه مثبت دیگر این تحقیق در روش وزن‌دهی آن است. روش تحلیل حساسیت مورد استفاده در این مطالعه و در نظر گرفتن سری‌های وزنی متفاوت توسط افراد مختلف توانسته است وسیله‌ای را جهت رسیدن به یک توافق جمعی در میان کارشناسان، صاحب‌نظران و

2. Weighted linear combination (WLC)
3. Simple Additive Weighting (SAW)
4. Scoring
5. Analytical error propagation method
6. Monte Carlo simulation
7. Multi Criteria Evaluation (MCE)
8. SURFACE
9. Root mean square (RMS)
10. Value error
11. Multi Criteria Decision Making (MCDM)
12. RANDOM
13. Rectilinear
14. Normal
15. Lognormal
16. Digital Elevation Model
17. Difference image
18. OVERLAY
19. Probability classification
20. Consistency Ratio (C.R)

درک مناسبی از استحکام راه‌حل پیشنهادی می‌شود. به ویژه این امر زمانی که شناخت نسبت به داده‌های مساله با دقت زیادی همراه نباشد اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. پیشنهاد نهایی این تحقیق این است که در موارد مشابه از توسعه و زمانی که توسعه پیامدهای محیط‌زیستی گسترده‌ای به همراه دارد، از رویکرد مدیریت عدم قطعیت استفاده شود. شایان ذکر است، با تغییرات اندک در روش مورد استفاده این تحقیق، این روش می‌تواند برای تمامی فرایندهای تصمیم‌گیری کاربری سرزمین به کار گرفته شود تا از این رو پیامدهای منفی توسعه سرزمین را به حداقل برساند.

یادداشت‌ها

1. Analytical Hierarchy process (AHP)

فهرست منابع

- احسن، م. (گردآورنده). ۱۳۸۲. مجموعه قوانین و مقررات شهرسازی، جلد اول: از آغاز تا پایان سال ۱۳۷۸، تهران: وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت شهرسازی و معماری: مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
- افتخاریان، ل.؛ ابریشمچی، ا. و تجربی، م. ۱۳۸۴. تحلیل عدم قطعیت تراز سطح آب رودخانه سیستان و بررسی قابلیت سیستم کنترل سیل. هیدرولیک، شماره ۱، صفحه ۳۹-۵۴.
- امیراحمدی، ا. و شیران، م. ۱۳۸۸. کاربرد مدل HEC- HMS در تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی مؤثر بر سیلاب‌دشت کرون. جغرافیا و توسعه، شماره ۷ (پیاپی ۱۶)، صفحه ۱۵۳-۱۷۳.
- ایستمن، ر. ۱۳۸۸. سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدریسی، (سلیمان ماهینی، ع. و کامیاب، ح. مترجم)، چاپ اول، تهران: انتشارات مهر مهدیس، ۵۸۲ ص.
- تارنمای مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵. دسترسی در مهر ۱۳۹۵.
- توفیق، ف. ۱۳۸۴. آمایش سرزمین: تجربه جهانی و انطباق با وضع ایران. تهران: مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، ۵۲۰ ص.
- عباسپور، م. و قراگوزلو، ع. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل‌های توسعه شهری با کاربرد سامانه‌های GIS و RS و مدل‌های زیست‌محیطی. مجله علوم زمین، شماره ۵۷، صفحه ۵۴-۶۱.
- کرم، ع. ۱۳۸۴. تحلیل تناسب زمین برای توسعه کالبدی در محور شمال غرب شیراز با استفاده از رویکرد ارزیابی چند معیاری (MCE) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (ساج)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴، صفحه ۹۳-۱۰۶.
- مالچفسکی، ی. ۱۳۸۵. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری، (پرهیزکار، ا. و غفاری گیلانده، ع. مترجم)، چاپ اول، تهران: انتشارات سمت (۱۹۹۹)، ۵۹۷ ص.
- مخدوم، م. ۱۳۸۳. شالوده آمایش سرزمین، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۸۹ ص.

منوری، م. و طیبیان، س. ۱۳۸۵. تعیین عوامل زیست‌محیطی در مکان‌یابی شهرهای جدید در ایران، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره هشتم، شماره سوم، صفحه ۹-۱.

نورزاد، ا.؛ انصاری، ا. و زمانی، ن. ۱۳۸۶. تأثیر عدم قطعیت در برآورد پتانسیل خطر لرزه ای منطقه، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۴۱ (۱) (پیاپی ۱۰۳)، صفحه ۶۱-۶۹.

Chang, N.B.; Parvathinathan, G. & Breeden, J.B. 2008. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill sitting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87: 139-153.

Chen, H.; Wood, M.D.; Linstead, C. & Maltby, E. 2011. Uncertainty analysis in a GIS-based multi-criteria analysis tool for river catchment management. *Environmental Modelling & Software*, 26: 395-405.

Eastman, J.R. 2006. *IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing, Manual Version 15.00*, IDRISI production, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA.

Liu, Y.; Lv, X.; Qin, X.; Guo, H.; Yu, Y.; Wang, J. & Mao, G. 2007. An integrated GIS-based analysis system for land use management of lake areas in urban fringe. *Landscape and Urban Planning*, 82: 233-246.

Lotfi, S.; Habibi, K. & Koohsari, M.J. 2009. An Analysis of Urban land development using Multi-Criteria Decision Model and Geographical Information System (A Case Study of Babolsar City). *American Journal of Environmental Sciences*, 5: 87-93.

Lowry, J. H. Jr.; Miller, H. J. & Hepner, G. F. 1995. A GIS-based sensitivity analysis of community vulnerability to hazardous contaminations on the Mexico/U.S. border. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61 (11); 1347-1359.

Mansor, S.; Ahmed, N. & Shiriff, R. 2006. GIS Based Multi criteria Approaches to Housing Site Suitability Assessment, shaping the Change, XXIII FIG Congress, Munich, Germany.

Merwe, V.D.; & Hendrik. J. 1997. GIS-aided land evaluation and decision-making for regulating urban expansion: A South African case study. *Geo Journal*, 43: 135-151.

Openshaw, S.; Charlton, M. & Carver, S. 1991. Error propagation: a Monte Carlo simulation. In: I. Masser and M. Blakemore (eds.), *Handling geographical information: methodology and potential application*. Harlow, Essex, England: Longman Scientific and Technical, pp. 78-101.

Svoray, T.; Bar, P. & Bannet, T. 2005. Urban land-use allocation in a Mediterranean ecotone: Habitat Heterogeneity Model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism. *Landscape and Urban Planning*, 72: 337-351.

Yeh, A. G. O. & Li, X. 2006. Errors and uncertainties in urban cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30: 10-28.